

Systemtheorie zwischen Naturwissenschaft und Sozialwissenschaft – eine Zustandsbeschreibung

*W. Hinderer, Fraunhofer-Institut
für Informations- und Datenverarbeitung, Karlsruhe.*

Ausgearbeitete Fassung des Referats „Über die Notwendigkeit einer allgemeinen Allgemeinen Systemtheorie“ auf dem 9. Workshop der Deutschen Gesellschaft für Systemforschung (DGSF) „Systemtheorie 1988-1998 – cui bono?“ am 18.-20. März 1998 in Karlsruhe

Zusammenfassung

Man kann nicht gerade sagen, dass die Systemtheorie der vergangenen 10 Jahre auf einer Erfolgswelle geschwommen wäre. Stellenweise wird das Wort heute eher abschätzig gebraucht. Es soll hier der Versuch gemacht werden, die Gründe dafür offenzulegen und – soweit sie im Bereich der naturwissenschaftlichen Systemtheorie liegen – Möglichkeiten für eine Problemlösung aufzuzeigen. Neben dem aktuellen Zeitgeist erweist sich speziell die systematisch noch immer nicht bewältigte Existenz des Computers als mitverantwortlich für die gegenwärtige Lage. Wege für eine naturwissenschaftliche Einordnung des Phänomens Computer und der Computer-Software sollen aufgezeigt werden. Speziell die Reflexion des Symbolbegriffs soll einen Brückenschlag zwischen einer Systemtheorie im Sinne Luhmanns und einer Systemtheorie im Sinne Bertalanffys nahelegen.

Einleitung

Eine neue Form von „Science Wars“ zwischen Humanwissenschaften und Naturwissenschaften hat sich herausgebildet. Hat man sich vor 10 Jahren wenigstens Mühe gegeben, geduldig einander zuzuhören und möglichst auch zu verstehen, so ist der Diskursfaden mittlerweile sehr dünn geworden. Es gibt sicherlich mehrere Ursachen hierfür. Allen voran und vordergründig der stärker gewordene Existenzkampf wissenschaftlicher Programme und die Rangelei um rarer gewordene Mittel. Mitverantwortlich ist auch die Situation nach der Wende 1989: Ein modellmäßiges Vakuum war entstanden, eine Phobie gegenüber Theorie überhaupt. Das Vakuum wird durch den monetären Liberalismus eher karikiert als ausgefüllt. Ist 150 Jahre nach dem Kommunistischen Manifest eine neue Suche nach Paradigmen fällig? Beobachtet wird die Auseinandersetzung von einer an wissenschaftlichen Dingen immer desinteressierter werdenden Öffentlichkeit.

In der Vergangenheit haben der Systemtheorie viele Leuchttürme den Weg gewiesen, u.a.

- Ludwig von Bertalanffy, dem wir den Systembegriff zum wesentlichen Teil verdanken, zudem den Funktionsbegriff in seiner Relation dazu und in seinen Brüchen dazu [Bert-68],
- Norbert Wiener mit seinem Zugang zu ganzheitlichem Denken in rückgekoppelten Systemen [Wie-63],
- Ross Ashby, der den anfassbaren Homöostaten schuf ([Ashb-54], pp 93 ff). Das war eine Apparatur, die zur Demonstration eines Systems mit vielen Gleichgewichtszuständen diente. – Frage: gibt es auch einen *Autopoieostaten*, d. h. eine Apparatur, die das Prinzip der Autopoiesis demonstriert?
- Richard Bellman mit seiner dynamischen Systemtheorie [Bel-57],
- Leon Brillouin mit seinen Arbeiten zum Informationsbegriff [Bri-62],
- Ilya Prigogine mit seiner Theorie der Attraktoren und der Bäcker-Transformation [PrSt-80],
- Manfred Eigen mit seiner molekularen Systemtheorie [EiWi-75],
- Robert Rosen mit der ersten Anwendung der Kategorientheorie auf (biologische) Systeme überhaupt [Ros-58],
- Michael A. Arbib/Ernest G. Manes, die den engen Zusammenhang zwischen den Kategorien als „Theorie mathematischer Systeme“ und der Systemtheorie „dort draußen“ darlegten [ArMa-75a],
- Richard Emil Kalman mit der kategorientheoretisch orientierten linearen Systemtheorie [Kal-69],
- Joseph Goguen mit den Grundbegriffen Beobachtbarkeit und Erreichbarkeit in seiner mathematischen Systemtheorie [Gog-73],
- Carl Adam Petri, der die Netztheorie schuf und frühe Einsichten in die physikalische Natur von Rechenprozessen und von Kommunikation hatte [Pet-79],
- George Klir und seine General Systems Theory [Klir-69],
- Lotfi Zadeh, dessen Fuzzy Sets gleich zu Anfang eine mathematische Begründung bekamen (z. B. in [ArMa-75b]),
- Douglas R. Hofstadter, der die Symbolverarbeitung in Systemen, u.a. im Computer, als zentralen Aspekt in die Systemtheorie einbrachte [Hof-79],
- Robert Havemann, der in einer schwierigen Umgebung die Relevanz naturwissenschaftlicher Begrifflichkeit für soziale und soziotechnische Systeme betonte [Hav-64],
- Niklas Luhmann, der, losgekoppelt von naturwissenschaftlicher Begrifflichkeit, eine umfangreiche Theorie sozialer Systeme aufbaute [Luh-84].

System – Umgebung – Oberfläche

Gegenwärtig wird, wenn in der Öffentlichkeit oder in den Medien von Systemtheorie die Rede ist, in erster Linie die soziologische Teildisziplin gemeint. Von daher wird eine formale Belastbarkeit systemtheoretischer Begriffe überhaupt nicht erwartet. Das ist ein Problem für die naturwissenschaftlich orientierte Systemtheorie. Sie gerät mit ihrem Bemühen um die Verfügbarmachung einer sauberen, belastbaren systemtheoretischen Modellierung leicht in die Mühlsteine zwischen dieser Verwechslung einerseits und Business- und Marketingstrategien andererseits. Diese fordern eine schnelle Anwendbarkeit von Modellbildungen, auch wenn dies auf Kosten einer sauberen Systematik geht.

Sicherlich gibt es, wenn man genau nachschaut, in der Literatur so viele verschiedene Systembegriffe wie es Autoren gibt. Eine fruchtbare und disziplinübergreifende Diskussion könnte sich zunächst auf wenige Aspekte konzentrieren. In der soziologischen Systemtheorie, und besonders bei Niklas Luhmann, spielt der Begriff der *Umgebung* eines Systems eine wesentliche Rolle. In der naturwissenschaftlichen Systemtheorie dagegen entfällt der Umgebungsbegriff weitgehend. Ein System hat eine (Benutzungs-) *Oberfläche*. Durch sie ist charakterisiert, wie das System bei welcher Einwirkung reagiert. *Wie* die Einwirkung zustande kommt, bleibt dabei offen. Das System wird als Menge von *Subsystemen*, die in einer durch die *Systemstruktur* festgelegten Beziehung zueinander stehen, beschrieben. Die Systemstruktur greift nicht an den Subsystemen selbst, sondern an deren Oberfläche an. Das System „merkt“ also nicht, wenn ein Subsystem gegen ein anderes ausgetauscht wird, solange dessen Systemoberfläche – oder auch Verhalten – gleich bleibt.

Die Systemoberfläche ist das holistische Gegenstück zur reduktionistisch definierten Systemstruktur. Das Ganze – nämlich die Systemoberfläche – ist mehr als die Summe der Teile – nämlich die durch die Systemstruktur verbundenen Subsysteme. Dennoch wird dieses Ganze ausschließlich durch die Systemstruktur bewirkt. Die Systemstruktur ist in Form von Konstruktionsunterlagen erschöpfend beschreibbar. Die Systemoberfläche ist dagegen formaler Beschreibung nur über eine Modellbildung zugänglich, in der die momentan nicht interessierenden Aspekte der Oberfläche weggelassen werden. Als Modell für die Oberfläche eines Systems kann auch wieder eine Systembeschreibung dienen. Die Subsysteme heißen in diesem Fall *Subfunktionen*. Subfunktionen und die Subsysteme des ursprünglichen Systems sind nicht notwendig eindeutig einander zuordenbar. Ein Subsystem kann mehrere Subfunktionen zugleich erfüllen (in der Biologie: Organellen) und umgekehrt können Subfunktionen aus dem nicht isolierbaren Zusammenwirken mehrerer Subsysteme resultieren: z.B. die Funktion des Schwerpunktes bei einem Fahrzeug. Auch „tiefsitzende“ Systemkomponenten tragen zur Oberfläche bei. So liegt etwa beim Automobil das Armaturenbrett nicht „näher“ zur Systemoberfläche als der Motor. Der Motor hat dadurch, dass er die Fortbewegung erst ermöglicht, im Gegenteil sogar einen besonders zur Oberfläche „durchschlagenden“ Effekt. Bei der inge-

neursmäßigen Systemkonstruktion wären Teile, die nichts zur (gewünschten) Systemoberfläche beitragen, entbehrlich.

Die Subsysteme eines Systems sind ihrerseits wieder Systeme im gleichen Sinne, so dass ein System dank seiner Beschreibung automatisch eine geschichtete Ordnung von Subsystemen, Sub-Subsystemen,... aufweist. Was Luhmann nun Umgebung nennt, ist im Grunde nichts anderes als die Systemstruktur auf der nächsthöheren Ebene. Der wesentliche Unterschied zwischen der (luhmannschen) Umgebung eines Systems und der (naturwissenschaftlich-systemtheoretischen) Oberfläche eines Systems besteht darin, dass durch die Oberfläche keine Festlegung eines Systemzweckes passiert: Eine Tastatureingabe in ein „Eingabe-Subsystem“ muss nicht von Menschenhand, sie könnte auch auf die eine oder andere Art maschinell geschehen. Durch die Charakterisierung eines Systems über seine Oberfläche ist es quasi zur Umfunktionalisierung freigegeben. Die biologische Evolution hat dies ausgiebig vorexerziert, z. B. indem dieselbe Knochenstruktur als spindeldürres Gerüst bei der Fledermaus zum Fliegen, beim Menschen als Hand zum „Handeln“ dient.

Der Symbolbegriff und der Auftritt des Computers

An der Wiege des Computers stand ein *Mechanismus der Referenz*. Alles andere, was sonst noch dazu gehört, war vorher schon da. Die maschinelle Referenz ist das einzig Neue am Computer und daher auch der zentrale Punkt. Anstatt eines Objekts, etwa eines Word-Dokuments oder einer Webseite, können Benutzer eines Computers durch maschinelle Referenzierung ein anderes Objekt, nämlich einen Namen oder ein Link, weiterverarbeiten lassen. Umgekehrt können sie über den Namen des Objekts durch maschinelle Dereferenzierung wieder zum Objekt selbst gelangen. Diese Fähigkeit der Referenzierung liegt als *Symbolmechanismus* auch an der Basis jeglicher Kultur und Sprache.

Wir können nicht sicher sein, dass der Symbolmechanismus neben Kultur und nun Computer nicht auch anderwärts wirkt und schon immer wirkte. Naheliegend wäre dies im System Genetischer Code/Zellstoffwechsel und im Zentralen Nervensystem/Gehirn. Denkbar wäre aber auch, dass sich eines Tages der Symbolmechanismus als an weiteren natürlichen Prozessen beteiligt erweist: Meeresströmungen? Erdmagnetismus? Das Wetter? Sonnenprotuberanzen? Stanislaw Lem sagt in seinem Golem [Lem-84], dass selbst die intelligenteste Amöbe in der Blutbahn eines Philosophen nicht entscheiden könne, ob es sich bei den „Gewittern“ im Gehirn um Denkprozesse handelt.

Die Werkzeuge der Menschen machen dank der neuen Fähigkeit der Referenzierung aktuell eine Revolution durch, die der Entstehung des Menschen in der biologischen Evolution aus dem Tierreich vergleichbar ist: Die Werkzeuge bekommen die Fähigkeit, miteinander zu sprechen. Es ist nicht zu erwarten, dass die Werkzeuge dadurch aus ihrer Werkzeugrolle ausbrechen, wie das in mancher Science Fiction-Geschichte der Fall ist. Zumindest dürfte der Weg

bis hin zu dieser Gefahr noch sehr lang sein. Vor 150 Jahren wurde die Physik um die Elektrizitätslehre erweitert, was eine massive Zunahme der Möglichkeiten der Werkzeugkonstruktion brachte. Das Hinzukommen der Möglichkeiten der Symbolverarbeitung ist eine konsequente Fortsetzung dieser Entwicklung. Nichts spricht dafür, dass es sich dabei um die letzte Erweiterung der Physik handelt.

Die pure Möglichkeit der *maschinellen* Realisierung von Sprache bringt eine Veränderung der Perspektive, unter der Symbole zu betrachten sind, mit sich. Die Physik wehrt sich heute noch generell dagegen, dass Symbole physikalischer Natur seien. Sie reduziert die Funktionsweise des Computers auf den reinen Hardware-Aspekt. Dabei bleibt sie die Antwort auf die Frage schuldig, wie denn das Funktionieren eines Computerprogramms – etwa in einer CNC-Maschine oder in einer ABS-Bremse – physikalisch erklärt werden soll. Eine Lösung wäre, dass der Mechanismus der Referenz ebenso wie etwa die Wärme als physikalisches Epiphänomen gesehen wird. Da der Symbolmechanismus physikalische Realität ist, sollte die Informatik als Ingenieursdisziplin eigentlich, wie etwa die Elektrotechnik, zur Physik gehören [Hin-92a].

Der Umgang mit Symbolen, wie er im Computer geschieht, traf sowohl geisteswissenschaftliche als auch naturwissenschaftliche Denktraditionen ziemlich unvorbereitet. Eine Folge ist, dass Begriffe nicht mehr stimmen bzw. fehlen bzw. missverständlich belegt werden, z. B.

- der Symbolbegriff selber. Die einen verstehen unter einem Symbol etwas, dessen Verständnis einer besonderen kulturellen Leistung bedarf, etwa eines gemeinsam erlebten Konflikts. Die anderen sehen in einem Symbol eine Referenz. – Zwischen „symbolischer Politik“ und „symbolischer Datenverarbeitung“ liegen Welten.
- der Wissensbegriff. Die einen verstehen unter Wissen etwas, das einen oder mehrere Menschen als Träger haben oder gehabt haben muss. Für die anderen kann auch eine Karosserieform oder eine Flossenform Wissen enthalten, unabhängig von Menschen.
- der Informationsbegriff (siehe auch [KoJa-96]). Auch hier sehen die einen es als erforderlich an, dass Menschen die Information besitzen. Die anderen kommen damit aus, den *Unterschied* des Wissens zu zwei Zeitpunkten als Information bezeichnen. Demnach wäre also der Unterschied einer Flossenform im Kambrium und heute Information über die Benutzungsbedingungen der Flosse, d. h. also über deren Umwelt.

Ähnlich geht es mit dem Sprachbegriff und vielen weiteren Begriffen.

Der Symbolbegriff ist in der humanwissenschaftlichen Tradition selber mit viel „Symbolgehalt“ befrachtet, während er im Kontext des Computers etwas sehr physikalisch-Reales ist [KoHi-91]. Wie soll man das nennen: Dass ein Web-Browser von einer Webadresse direkt nach Tasmanien umschaltet? Und umgekehrt maschinell anstatt eines Objekts die Referenz darauf weiterbehandelt und sie z. B. in eine Liste einfügt? Ist die Verbindung zum Grundmechanismus der Sprache berechtigt und damit die Wortwahl „Symbolik“ naheliegend? Leider rief man damit in interdisziplinären Diskussionen bisher eher Missverständnisse denn Klarheit hervor. Es läge nahe, sich auf die Existenz jeweils zweier oder mehrerer verschiedener

solcher Begriffe zu einigen, aber leider sind die mit den Begriffen verbundenen Denkmöglichkeiten meist zu ubiquitär, als dass eine Einigung hierüber in der Hand der Diskutierenden läge. Vom wissenschaftlichen Standpunkt ist eine einheitliche Begrifflichkeit erstrebenswert, die sowohl formal belastbar ist, als auch genügend offen ist für das Aufsetzen lebensweltlicher Systeme im Sinne Luhmanns.

Die Referenzeigenschaft eines Symbols ist von seinem *Informationsgehalt* sorgsam zu unterscheiden. Nehmen wir den Fall, dass im Zuge eines Experiments eine Abfolge von Karten, die aus einem 32 Blatt-Skatspiel gezogen und dann wieder zurückgelegt werden, durch eine geeignete Zeichenfolge zu beschreiben ist. Da $32=2^5$, sind zur Notierung einer Spielkarte, wie auch immer man es anstellt, mindestens 5 Bit erforderlich. Dieses ist der *Informationsgehalt* des Zeichens, das als *Referenz* auf die Spielkarte verweist. Die Bedeutung von Symbolen für die Computertechnologie und auch für die Kultur liegt in erster Linie in der Referenzeigenschaft und nicht in der Informationseigenschaft. Der Informationsgehalt physikalischer Objekte gehört zu dem, was schon vor dem Computerzeitalter und auch außerhalb des Referenzmechanismus seit jeher in der Natur als Mechanismus wirksam ist. Man kann sagen, dass die Informationseigenschaft konzeptionell mit der Referenzeigenschaft nichts zu tun hat. In der Diskussion um Information und Informationsgesellschaft wird leider oft nicht getrennt zwischen dem Aspekt der Information samt ihrer technischen Behandlung und dem Aspekt der Symbolik, d. h. des Mechanismus, dessen erstmaliger technischer Einsatz durch den Computer die eigentliche Revolution verursacht hat.

Schließlich sei auch auf den Unterschied zwischen dem Symbolbegriff und dem Bildbegriff verwiesen. Schon vor Beginn des Computer-Zeitalters sah Karl Bühler die charakteristische Eigenschaft eines Symbols darin, Zeiger zu sein, ohne mit dem Bezeichneten eine physische Ähnlichkeit zu haben [Büh-34]. Das Wort „Hund“ hat nichts von der Gestalt eines Hundes. Und die Wörter „Elefant“ und „Elegant“ haben, außer dass sie ähnlich aussehen, nichts miteinander zu tun. Beim Bild dagegen liegt eine strukturelle Ähnlichkeit mit dem Urbild unter dem einen oder anderen Aspekt vor.

Die Reflexion des Symbolbegriffs unter neuen Bedingungen berührt auch seine tiefen kulturellen, religiösen und mythologischen Wurzeln. Ist die Bibelstelle Joh. 1,1: „Am Anfang war das Wort“ eine Vorwegnahme der heute wieder zu entdeckenden Bedeutung von Symbolen für Vorgänge in der belebten und unbelebten Welt? Die Studierzimmer-Szene in Goethes Faust I relativiert dies, indem sie darauf verweist, dass das griechische Wort „logos“ mehr als nur die Übersetzungsmöglichkeit mit „Wort“ enthält:

Geschrieben steht: Im Anfang war das Wort!
Hier stock ich schon! Wer hilft mir weiter fort?
Ich kann das Wort so hoch unmöglich schätzen,
Ich muss es anders übersetzen,
Wenn ich vom Geiste recht erleuchtet bin.
Geschrieben steht: Im Anfang war der Sinn.

Bedenke wohl die erste Zeile,
Dass deine Feder sich nicht übereile!
Ist es der Sinn, der alles wirkt und schafft?
Es sollte stehn: Im Anfang war die Kraft!
Doch, auch indem ich dieses niederschreibe,
Schon warnt mich was, dass ich dabei nicht bleibe.
Mir hilft der Geist! Auf einmal seh ich Rat
Und schreibe getrost: Im Anfang war die Tat!

Wort – Sinn – Kraft – Tat. Das ist ein Vektor, der in Kurzform den Symbolmechanismus beschreibt: in Kultur *und* Computer.

Eine oder zwei Welten?

Bis zum Auftritt des Computers konnten Symbole ohne Einbuße an Erklärungskraft dem Bereich abstrakter geistiger Betätigung zugerechnet werden. Sie wurden als Klammer zwischen einer geistigen Welt und einer materiellen Welt gesehen. Max Born hatte in seinem Aufsatz „Symbol und Wirklichkeit“ [Bor-64] dieses Verständnis des Symbolbegriffs. Er meinte damit die Formeln und formalen Strukturen, mit denen physikalische Realität modelliert wird. Die Referenz geht dort also aus der Welt physikalischer Objekte heraus in die Welt formaler Strukturen. Im Computer und auch in kulturellen Symbolsystemen *ist diese Referenz aber intern*: Ein Symbol oder eine Referenz ist eine konkrete Verbindung von einem Objekt (ein gesagtes oder geschriebenes Wort, eine Darstellung,...) zu einem anderen Objekt (ein Gegenstand, eine Struktur, eine andere Referenz,...), wobei die Referenz und das Referierte demselben Obersystem angehören und die Verbindung in dessen Struktur „implementiert“ ist. Durch diese Implementierung (sowohl in Kultur- als auch in technischen Systemen *Semantik* genannt) ist die Verbindung eines Symbols zu seiner „Bedeutung“ materiell vorhanden. Auch z. B. die Beziehung zwischen dem Namen einer Person und der Person selber ist systemintern als materielle Struktur vorhanden: Um sie zu sehen, muss man in der Beschreibung lediglich den Schritt von der individuellen Ebene hinauf auf die kulturelle Ebene tun.

Was seit Plato Gegenstand naturphilosophischer Debatten ist und was gegenwärtig eher als unwesentlicher Diskussionschauplatz gehandelt wird, könnte zur Lösung der Probleme wichtig werden. Es geht um die Frage, ob vom physikalischen Standpunkt aus die Wirklichkeit besser als *eine* materielle Welt oder als *zwei* Welten zu beschreiben sei.

In der letzteren, *platonistischen* Auffassung gibt es einerseits das für sich gestaltlose materielle Universum mitsamt den in ihm wirkenden naturgesetzlichen Mechanismen, andererseits das zeitlose und körperlose Universum der formalen Strukturen. Die Wirklichkeit setzt sich in dieser Sicht aus beiden Universen zusammen. – Was würde denn von einem mit Bleistift auf ein Blatt Papier gemalten Kreis übrigbleiben, wenn man die Kreiseigenschaft an ihm konsequent ignorieren würde? Das wäre zunächst einmal nicht einfach. Es liefe wohl auf die bloße

Grafitansammlung auf dem Papier hinaus. Hier zeigt sich, wie innig formale Strukturen mit unserem Alltag verwoben sind: Formale Strukturen im weitesten Sinne (die hinter Ideen, Möglichkeiten und Plänen liegenden formalen Strukturen eingeschlossen) spielen die Rolle von Modellen, mit denen die materielle Wirklichkeit begreifbar wird und Gestalt bekommt. Das hat sich bei Mensch und Kreatur von Beginn an so fest verankert, dass es gar nicht mehr weiter auffällt.

Ab und zu gibt es allerdings schlagartig neue Modelle und damit neue Sichtweisen auf die Wirklichkeit. Ein Alltagsproblem wird leichter, wenn es die „richtige“ Form hat. Auf gestalterische Weise wird dies verdeutlicht an einer mancherorts (z.B. im Foyer des Hauses SAP in Walldorf) anzutreffenden Skulptur bestehend aus einer tonnenschweren, exakt in Kugelform geschliffenen Granitkugel, die durch normalen Leitungswasserdruck auf einer dicht schließenden Manschette getragen wird und langsam auf der Manschette rotiert.

Eine Modellierung wie sie hier verstanden wird, ist eine möglichst strukturerhaltende (man sagt auch: funktorielle) Zuordnung $F: A \rightarrow B$ vom Modell A in das Modellierte B. Die Zuordnung ist normalerweise nicht umkehrbar, d. h. B darf Elemente (Aspekte) enthalten, die durch F überhaupt nicht erfasst werden. Für einen Sachverhalt kann es mehrere zueinander alternative Modelle geben, die die Bedingung der Funktorialität mehr oder weniger gut erfüllen. Zur Verständigung über einen Sachverhalt und auch zu seiner Bewältigung im Handeln ist i. a. die Entscheidung für eines dieser Modelle notwendig.

Die Rolle einer Naturwissenschaft kann darin gesehen werden, zu einem realen Sachverhalt B ein erklärendes Modell A samt der funktoriellen Beziehung F zu finden. Im Gegensatz dazu kann die Rolle einer Ingenieurwissenschaft darin gesehen werden, dass sie sich zwar der gleichen, von den Naturwissenschaften gefundenen Beziehung F bedient, aber nicht das (Urbild-) Modell A zu einem (Bild-) Sachverhalt B sucht, sondern umgekehrt die (Bild-) Realisierung B zu einem (Urbild-) Modell A, das hier nun Entwurf heißt. In dieser Terminologie des Modellbegriffs, die auf Ernst Mach zurückgeht, gehört z. B. das Modell Ellipse zum Universum formaler Strukturen und die durch die Ellipse modellierte Planetenbewegung zur körperlich-zeitlichen Realität. Leider ist es ausgerechnet für die Mathematik als „Herrin der Modelle“ umgekehrt: Für sie ist die Planetenbewegung ein Modell der Ellipse.

Streng genommen unterliegt auch unsere banale Alltagslogik (besser: Alltagsphysik) einer Modellbildung durch formale Strukturen: Die Tatsache, dass es nicht möglich ist, dass es am selben Ort zugleich regnet und nicht regnet, ist Anwendung von Physik, nicht von Mathematischer Logik. Die Physik benutzt in diesem Fall ihrerseits das formale Modell der Mathematischen Logik und der Booleschen Algebra. Dass dieses Modell mehr oder weniger *zutrifft*, macht daraus Physik. Auch das Zählen, der Geldverkehr etc. sind in diesem Sinne Anwendung von Physik, die das formale Modell der Natürlichen Zahlen und der Arithmetik mit Erfolg nutzen, um in der Wirklichkeit zurechtzukommen.

Sogar die Mengenlehre ist ein Modell eines physikalischen Zusammenhangs. Betrachtet man einmal Mengen als Ganzes und nimmt bei den relevanten Definitionen nicht auf die Elemente einer Menge Bezug (das ist möglich mit Hilfe der Begriffsbildungen der Kategorientheorie), dann gibt es eine zur Mengenlehre vollkommen spiegelbildliche (duale) Mengenlehre, die die gleiche mathematische Berechtigung hat. Dennoch passt diese duale Mengenlehre *nicht* auf unsere physikalische Mengenwirklichkeit, weil in ihr z. B. das Distributivgesetz

$$a(b + c) = ab + ac$$

nicht gilt. In „unserer“ Welt dagegen gilt das Distributivgesetz für Zahlen und auch für Mengen. Letztlich ist die Mengenlehre, wie wir sie benutzen, dadurch charakterisiert, dass in ihr der Abbildungsbegriff, also das, was gemeinhin als Pfeil „ \rightarrow “ notiert wird, mit der physikalischen Kausalität korrespondiert.

Der momentane Zeitgeist tendiert eher zur *aristotelischen* Auffassung der *einen* Welt. Diese Auffassung, die auch formale, mathematische Gegenstände in der materiellen Welt angesiedelt sieht, hängt zusammen mit anderen Vorstellungen, die nichts direkt mit Mathematik, aber um so mehr mit der Wahrnehmung von Wirklichkeit zu tun haben. Gemäß diesen Vorstellungen scheint für selbstverständlich gehalten zu werden, dass sich Wirklichkeit beliebig erschöpfend beschreiben ließe. Man sieht das z. B. in der öffentlichen Rezeption der Steuergesetzgebung, in der der Gesetzgeber ungefragt die Aufgabe erhält, die Richtlinien „unhintergebar“ zu gestalten. Jedenfalls liegt der schwarze Peter bei offensichtlichem Missbrauch nicht bei denen, die Schlupflöcher ausnutzen, sondern beim Gesetzgeber.

Als weiteres Anschauungsmaterial sei die Anekdote von der schweizerischen Behandlung des BSE-Problems erwähnt: Es galt dort zwar das Verbot, Tiermehl an Rinder zu verfüttern. Verfütterung von Tiermehl an Schweine war aber erlaubt. – Und es war auch erlaubt, Schweinefutter an Rinder zu verfüttern. Der Effekt war, dass die BSE-Seuche sich ausbreiten konnte und der schweizerische Rindermarkt nachhaltig beschädigt wurde. In der Öffentlichkeit ist es sehr schwer, das Handeln der Tierzüchter als verwerflich und böswillig darzustellen, viel eher werden die Behörden beschuldigt, dass sie so etwas zugelassen haben.

Vom platonistischen Standpunkt ist das Verlangen, die materielle Wirklichkeit *erschöpfend* zu beschreiben, abwegig. Das würde auf die Umkehrbarkeit der Modellierungszuordnung $F: A \rightarrow B$ durch eine Zuordnung $F': B \rightarrow A$, in der also jedem Aspekt der Wirklichkeit ein Aspekt des Modells entspräche, hinauslaufen.

Beitrag des Computers zur Klärung: Zwei Welten

Wie kann nun hier die Tatsache der Existenz des Computers zur Klärung beitragen? Wenn früher Symbole und formale Strukturen in einen Topf geworfen werden konnten, so führt das, angewandt auf die Vorgänge in Computern, zu Widersprüchen: Symbole haben in Form von Referenzen ihre Realisierung im Computer gefunden. Spätestens seit dieser Realisierung ist

ihre Zeitlichkeit und Körperlichkeit innerhalb wie außerhalb des Computers offenbar. Im Grunde war dies schon vorher klar, denn auch die Kulturgeschichte lehrt, dass Symbole räumlich-zeitlichen Veränderungen unterliegen. Im Gegensatz dazu haben formale Strukturen *keine* Realisierung im Computer gefunden, denn die Zahlenrechnung ist infolge der Endlichkeit der verfügbaren Rechnerausrüstung inexakt und durch äußere Einflüsse (Strahlung) kann die Genauigkeit einer Berechnung zusätzlich beeinträchtigt werden, selbst unter der Annahme, dass die Software fehlerfrei ist. Formale Strukturen wie etwa die Arithmetik spielen bezüglich der Vorgänge im Innern eines Computers genau dieselbe Rolle, die sie etwa in einem Analogrechner oder in sonst einer technischen Apparatur spielen: nämlich als Modelle. Um dieses deutlich zu machen, ist Klarheit über die physikalische Rolle von Computersoftware insgesamt notwendig.

Ein Programm ist eine formale Modellierung, analog etwa zu einem Schaltplan. Ebenso wie der Maschinenbauingenieur eine Blaupause einer Maschine als deren formales Modell entwirft, entwirft die Programmiererin ein Programm als formales Modell der später resultierenden Anwendung. Nach der platonistischen Auffassung existiert das Programm ebenso wie die Blaupause unabhängig von einem papiernen oder sonstigen Träger – und existierte schon immer – im formalen Universum.

Im Programm, das aus vielen Komponenten bestehen kann, gibt es nun Referenzierungen und Dereferenzierungen durch Prozeduraufrufe und durch weitere programmiersprachliche Konstruktionen, z. B. Indexoperationen. *Alle* Programmelemente, also diese Referenzierungen und auch die Elemente, die nicht Referenzierungen sind, also Verzweigungen, Zuweisungen u.s.w., sind nur formale Modellierungen dessen, was beim Lauf eines oder vieler, möglicherweise weltweit verteilter Computer, nachdem in ihnen das Programm installiert wurde, real und physikalisch vor sich geht.

Zwei Fehleinschätzungen gilt es also zu vermeiden:

- Dass ein auf einem Träger in einer bestimmten Notation vorhandenes Programm so leicht in einen Computer gebracht werden kann und dieser dann auch entsprechend dem Programm losläuft, darf nicht zur Verwechslung des formalen Programms mit dem geladenen Computer führen.
- Die Darstellung des Programms auf dem Träger (CD-ROM, Speicher, Papier,...) mit Hilfe einer Symbolik ist nicht das Wesentliche des Referenzmechanismus im Computer: Das Wesentliche ist die Tatsache, dass das Programm mit Teilen seiner selbst (ein Prozedurname, ein Index, eine Webadresse) auf andere Teile seiner selbst (die Prozedur, das Matrixelement, die Webseite) verweist und dass dieser interne Verweis in den beteiligten Computern maschinell nachvollzogen wird.

Cartesischer vs. Platonischer Schnitt

Symbolmanipulation gehört also nicht dem formalen, sondern dem physischen Bereich an. Wenn man davon ausgeht, dass auch die Funktion des Gehirns zu einem wesentlichen Teil auf dem Referenzmechanismus beruht, dann ist auch geistige Tätigkeit generell physischer Natur. Auf dieser Linie liegen auch alternative Heil- und Entspannungsmethoden sowie fernöstliche Philosophien, die die Trennungslinie, die in unserer westlichen Tradition zwischen Körper und Geist gezogen wurde – den sog. Cartesischen Schnitt zwischen *res cogitans* und *res extensa* [Atm-96] – als falsch erkennen. Der Schnitt verschiebt sich, so dass auf der einen Seite alles Körperlich-Zeitliche (einschließlich Geist und Symbolik) und auf der anderen Seite alles Formale liegt. Im Analogieschluss wäre diese Linie „Platonischer Schnitt“ zu nennen. Dieser verläuft, auf die Wissenschaften bezogen, genau zwischen Physik und Mathematik:

- Physik als das Bestreben, Wirklichkeit durch formale Modellbildung ideenmäßig zu begreifen und (in der Ingenieurtechnik) zu gestalten, und
- Mathematik als das Bestreben, formale Strukturen Wirklichkeit werden zu lassen – im Gehirn und anderswo.

Es soll hier nicht verschwiegen werden, dass die platonistische Sichtweise auch in der Mathematik selber nicht unumstritten ist. Siehe dazu die kenntnisreiche Streit-Monografie [Her-97].

Was ist zu tun?

Der Symbol- oder Referenzbegriff wird durch den Platonischen Schnitt vollkommen vom Begriff des Formalen Systems getrennt – im Gegensatz zu Max Born und zum Cartesischen Schnitt. Symbole sind nicht zeitlos und körperlos, die Primzahlen oder der Satz des Pythagoras aber sehr wohl. Gerade die Trennung zwischen Symbol und Formalem System macht in vielen Diskursen nach wie vor Schwierigkeiten, da die Problematik der Existenz des Computers weder in der Naturwissenschaft noch in der Philosophie hinreichend reflektiert ist. Die Trennung ist eigentlich nur dann denkbar, wenn man im platonistischen Sinne von der Existenz einer materiellen Welt und einer anderen, zeit- und körperlosen formalen Welt ausgeht. Referenz/Symbolik als physische Realität spielt sicherlich eine zentrale Rolle beim Bemühen um Verständigung zwischen der Theorie sozialer Systeme (Luhmann) und naturwissenschaftlicher Systemtheorie. Wenn die Physik der Symbole begrifflich sauber von formaler Modellierung getrennt ist und damit als „diesseitig“ angesehen wird, kann sie ihre Rolle als Bindeglied zwischen technischen und sozialen Systemen spielen.

Gerade in der Betrachtung von Symbolen und Symbolstrukturen als gewöhnliche Subsysteme eines realen Systems liegt eine mächtige Möglichkeit der Formalisierung. Systemtheorie könnte auf diese Weise eine formale Begründung erhalten, die die Informatik mit einschließt.

Es gibt gute algebraische Modellierungen für den Symbolmechanismus und für die Verzweigungsstruktur eines Programms – alternativ und parallel. Die Kategorientheorie, die innerhalb der Mathematik quasi als ausgereifte „Systemtheorie der Mathematik“ gilt, enthält einen Erkenntnisreichtum, der gehoben werden muss, will man die Probleme der Komplexität und Korrektheit von Modellen realer Systeme in den Griff kriegen. Das gilt auch für das Bestreben nach Wiederverwendung einmal geschaffener Software-Komponenten durch deren objektorientierte Programmierung: Der formale Objektbegriff stammt nämlich ursprünglich aus der Kategorientheorie.

Nicht alle Systeme sind als symbolbehaftet anzusehen. Jede wissenschaftliche Disziplin hat die ihr eigenen Systemmodelle und Paradigmen, die sie von anderen Disziplinen unterscheiden. Das Konzept der Referenz ist spezifisch für die Computer-Software und für eine allgemeine Theorie der Organisation: jener Theorie, deren Modellen das Paradigma des Flussdiagramms und seiner Varianten (z. B. Petri-Netze) zu Grunde liegt. Trotz erfolversprechender Ansätze ist das Flussdiagramm samt des Problems seiner Zerlegung und Hierarchisierung theoretisch noch nicht durchdrungen – mit schwerwiegenden Folgen für die Methodik des Software Engineering. Die Probleme bezüglich korrekter Computer-Software sind in den vergangenen Jahren eskaliert, weil die Anforderungen von Nutzerseite gestiegen sind, andererseits aber zu wenig in die Methoden zur Erreichung formaler Korrektheit investiert wurde.

Hier besteht nun ein wesentlicher Unterschied zu Humanwissenschaftlichen Systemmodellen. Diese können nicht im selben Maße wie synthetische Systemmodelle korrekt sein, da sie nicht von der elementaren Seite her („von unten“) aufgebaut sind, sondern „von oben“. D. h. der Rekurs zu immer feineren und elementareren Subsystemzerlegungen kann bei sozialen Systemen prinzipiell nicht beliebig weit getrieben werden. Soziale Modelle setzen nicht auf einer naturgesetzlichen physischen Realität auf, sondern auf *als fundamental angenommenen* Grundmodellen und Annahmen (z. B. rechtlicher Art), die ihrerseits nicht in Frage gestellt werden, obwohl sie ganz offensichtlich Diskrepanzen zur Realität aufweisen. Dennoch sind soziale Systeme „von dieser Welt“. Auch sie gründen letztlich auf physischen Gegebenheiten. Und die Existenz eines belastbaren, naturwissenschaftlich angebundenen Symbolbegriffs könnte zu einer Verbesserung der Situation im interdisziplinären systemtheoretischen Diskurs führen, so dass sich Zug um Zug die Begrifflichkeiten aufeinander zubewegen.

Es besteht Nachholbedarf. Das zurückliegende Jahrzehnt war für einen beträchtlichen Teil der Wissenschaft von einer Überbetonung marktwirtschaftlicher Notwendigkeiten geprägt. Alte, belastbare Monografien über methodisches Arbeiten bei der Herstellung von Software sind in der Flut des Marketing untergegangen. Um die Beschäftigung mit der Frage, welche Natur tatsächlich hinter Verteiltheit und lokaler Autonomie von technischen Systemen, aber auch von sozialen oder ökologischen Systemen steckt, wird nach wie vor ein großer Bogen gemacht, der – globalisierte – Markt interessiert sich einfach nicht dafür. Es gab einmal eine theoretisch untermauerte Einsicht, dass für technische wie auch für soziale Systeme Koexistenz und lokale Autonomie einerseits und darwinistische Selektion bzw. Konflikt andererseits

nur zwei Seiten ein und derselben Medaille sind. Diese Einsicht ist wieder verloren gegangen. Nur die Alternative wird kultiviert, wie Peter Gross darstellt [Gro-94]. Der Aspekt des Nebeneinander ist unsichtbarer denn je.

Dies spiegelt sich im Bereich der Programmierung und des Software Engineering wieder. Die unkorrekte, weil unkoordinierte oder an Zeitbedingungen gekoppelte Programmierung von ereignis-koordinierten parallelen Abläufen ist immer noch weit verbreitet und so etwas wie eine Todsünde der Computerprogrammierung. Computersoftware ist durch die dadurch erzeugten nicht notwendig reproduzierbaren Bugs ähnlich verseucht wie durch den seinerzeit unter dem „Zwang des Marktes“ in die Programme eingefügten Jahr 2000-Bug. Die Lösung der Software-Krise ist nach wie vor nicht in Sicht. Die Teildisziplin, die sich einmal der sauberen methodischen Behandlung paralleler Abläufe annahm, hieß vor 10 Jahren „Prozessinformatik“. Diese Bezeichnung hat eine begriffliche Wandlung vollzogen. Heute bezeichnet man damit die Praxis des Geschäfts-Computing...

Ein neues Problem nähert sich von der Seite der Biotechnologie her. Noch ist es zwar so, dass die Genetik mit der Sequenzierung ganzer Organismen gerade erst begonnen hat und sich daher ein Zusammenhang zur Systemtheorie und Softwaretechnik noch nicht aufdrängt. Dennoch ist zu befürchten, dass künftig zu den Software-Bugs in Computerprogrammen durch systemtheoretische Unwissenheit bedingte *genetische Bugs* in gentechnisch entworfenen Organismen hinzukommen, mit nicht zurückholbaren Auswirkungen.

Im Dialog zwischen der sozialwissenschaftlichen und der naturwissenschaftlichen Systemtheorie ist die Inangriffnahme weiterer Begriffsarbeit angesagt: Neben dem Symbolbegriff betrifft dies die Begrifflichkeit von Information, Wissen, Sprache, Vertrauen, ... Wenn es irgend möglich ist, sollten dabei um der besseren Belastbarkeit willen auf unterster Ebene Anthropomorphismen vermieden werden. Sind Begriffe erst einmal belastbar ohne Zuhilfenahme eines menschlich-sozialen Kontextes definiert, können menschbezogene „Überbauten“ errichtet werden, die somit auf einem solideren und im interdisziplinären Kontext fruchtbareren Fundament ruhen. Frühere Ergebnisse der (früheren) Prozessinformatik legen die Vermutung nahe, dass dabei auch eine neue, hoffnungsvolle, Sicht auf den Begriff der Freiheit möglich ist: in lokal autonomen Systemen – technischen wie sozialen – *ist* Freiheit enthalten. Nicht normativ als Soll, sondern deskriptiv als Ist. Lokal autonome Systeme sind leistungsfähiger und überlebensfähiger als zentrale, global gesteuerte Systeme [Hin-92b].

Die Sprache hat den Menschen in der Evolution weit katapultiert, im Grunde hat er die kulturellen und evolutionären Folgen noch nicht verdaut. Speziell seit Gutenberg ist ein Ungleichgewicht entstanden. Die Buchdruckkunst und die abendländische Kultur der Wortigkeit können in der Rückschau als Vehikel des Projektes der Neuzeit, einschließlich der Reformation und der Aufklärung, gesehen werden. Nach dem erfolgreichen Aufbegehren dieser Kultur gegen Hierarchie und Bevormundung kann es nun im Zuge der Bewältigung des Phänomens Computer und Genetischer Code zu einer naturwissenschaftlich belastbaren theoretischen Einordnung des Wortbegriffs *und damit auch zu seiner Relativierung* kommen. Es wird deut-

lich, dass die bislang fehlende Trennung zwischen Wort (oder auch: Symbol) und formaler Struktur nicht den tatsächlichen Verhältnissen entsprach. Die Korrektur liegt in der Wiederbelebung des Platonischen Schnitts: Wort und Geist sind so materiell wie der Körper. Alle sind aber nicht denkbar und lebbar ohne das zeitlose und körperlose Universum des Formalen auf der anderen Seite des Platonischen Schnitts. Dieses Universum der formalen Strukturen gibt nicht nur dem Wort, sondern jeglichem Handeln Gestalt.

Im Zuge der Rückkehr des Wortes in seinen natürlichen materiellen Kontext wäre es nicht verwunderlich, wenn durch die möglich gewordenen Multimediatechniken tatsächlich eine Zurückdrängung des Wortes aus der Kultur stattfindet. Wortigkeit wird mehr und mehr auf die Computernetze verlagert. Sie wird dort zur Kommunikation der Computer *miteinander*, nicht so sehr zu ihrer Kommunikation mit dem Menschen eingesetzt. Das muss kein Verlust sein, wenn damit eine menschliche Körperlichkeit zu neuer Blüte gelangt, die das Wort wie selbstverständlich mit einschließt.

Wenn formale Strukturen und Mathematik, durch den Platonischen Schnitt von Wort und Symbol getrennt sind, dann wird eine Relativierung von Wort und Symbol nicht zu einer weiteren Zurückdrängung des Formalen, sondern im Gegenteil zu seiner höheren Einschätzung führen. Josef Weizenbaum sagt zwar [Wei-78]: „Es hat viele Diskussionen über „Computer und menschliches Denken“ gegeben. Der Schluss, der sich mir aufdrängt, ist hier, dass die relevanten Probleme weder technischer noch mathematischer, sondern ethischer Natur sind...“. Damit hat er sicherlich im Grunde recht. – Aber: Sind die relevanten Probleme nicht doch *auch* mathematischer Natur? Mehr Mathematik bei der Analyse und beim Design technischer und lebensweltlicher Systeme würde mehr Nachdenklichkeit und weniger Opportunismus bewirken.

Literatur

- [ArMa-75a] Arbib, M. A., E. G. Manes: Arrows, Structures, and Functors: The Categorical Imperative, New York (1975)
- [ArMa-75b] Arbib, M. A., E. G. Manes: A Category- Theoretic Approach to Systems in a Fuzzy World, Synthese 30, pp 381-406, Dordrecht (1975)
- [Ashb-54] Ashby, W. R.: Design for a Brain, John Wiley, New York (1954)
- [Atm-96] Atmannspacher, H.: Complexity, Meaning, and the Cartesian Cut, in: Kornwachs, K., K. Jacoby (eds.): Information: New Questions to a multidisciplinary concept, Akademie Verlag, Berlin, 1996, pp. 229–244.
- [Bel-57] Bellman, R.: Dynamic Programming, Princeton University Press (1957)
- [Bert-68] Bertalanffy, L. von: General Systems Theory, New York (1968)
- [Bor-64]: Born, M.: Symbol und Wirklichkeit, Universitas XIX, S. 817-834 (1964)

- [Bri-62] Brillouin, L.: Science and Information Theory, 2nd ed. Academic Press New York (1962)
- [Büh-34] Bühler, K.: Sprachtheorie, Gustav Fischer-Verlag, Stuttgart (1934, 21965)
- [EiWi-75] Eigen, M., R. Winkler: Das Spiel, Piper-Verlag, München (1975)
- [Gog-73] Goguen, J. A.: Realization is Universal, Mathematical Systems Theory 6, pp 359-374 (1973)
- [Gro-95] Gross, P.: Die Multioptionsgesellschaft, Suhrkamp (1995)
- [Hav-64] Havemann, R.: Dialektik ohne Dogma?, Rowohlt-Taschenbuch, Hamburg (1964)
- [Her-97] Hersh, R.: What is Mathematics, *Really?*, Oxford University Press (1997)
- [Hin-92a] Hinderer, W.: Systemtheorie – Informatik – Physik – Mathematik – Ingenieurwissenschaften. Thesen zu einer Verbindung unter dem Gesichtspunkt von Realität und Modell. Wechselwirkung Nr. 57, S. 25-28 (Oktober 1992)
- [Hin-92b] Hinderer, W.: Macht und Herrschaft aus der Sicht eines Naturwissenschaftlers. DGFSF-Newsletter 3'1, S. 11-14 (1992)
- [Hof-79] Hofstadter, D. R.: Gödel, Escher, Bach: an Eternal Golden Braid, Basic Books, New York (1979)
- [Kal-69] Kalman, R. E.: Advanced theory of linear systems, in: Kalman, R. E., P. L. Falb, M. A. Arbib: Topics in mathematical system theory, Mc Graw-Hill, New York (1969)
- [Klir-69] Klir, G. J.: An Approach to General System Theory, Van Nostrand, New York (1969)
- [KoHi-91]: Kornwachs, K., W. Hinderer: Physik der Symbolverarbeitung. Vortrag auf dem 2. Workshop der DGFSF am 26.-28.4.90 in Karlsruhe, Kurzfassung in: DGFSF-Newsletter 2'1, S. 26-29 (1991)
- [KoJa-96]: K. Kornwachs, K. Jacoby (eds.): Information: New Questions to a multidisciplinary concept, Akademie Verlag, Berlin (1996)
- [Lem-84] Lem, S.: Also sprach Golem, Insel-Verlag (1984)
- [Luh-84] Luhmann, N.: Soziale Systeme. Grundriß einer allgemeinen Theorie. Frankfurt am Main: Suhrkamp (1984)
- [Pet-79] Petri, C. A. (Hrsg.): Ansätze zur Organisationstheorie Rechnergestützter Informationssysteme, Berichte der GMD, Nr. 111, Oldenbourg, München, Wien (1979)
- [PrSt-80] Prigogine, I., I. Stengers: Dialog mit der Natur, Piper-Verlag, München (1980)

Systemtheorie zwischen Naturwissenschaft und Sozialwissenschaft

- [Ros-58] Rosen, R.: The Representation of Biological Systems from the Standpoint of the Theory of Categories, Bulletin of Mathematical Biophysics, Vol. 20, pp. 317-341 (1958).
- [Wei-78] Weizenbaum, J.: Die Macht der Computer und die Ohnmacht der Vernunft, Suhrkamp (1978)
- [Wie-63] Wiener, N.: Kybernetik, Düsseldorf, Wien (Econ) (1963)