

Dieses Kapitel ist der Behandlung wichtiger Grundlagen und der Einführung zentraler Begriffe gewidmet. Der Gebrauch schlecht definierter Ausdrücke mit zentraler Bedeutung sollte in einem guten Buch bzw. in fundierten Theorien vermieden werden. In gewissem Sinne stellen der Verlauf dieses Buches und seine Inhalte ein wissenschaftliches Experiment dar, indem immer Fragen an die Natur im Allgemeinen und an die Robotik im Speziellen gestellt werden. Aus den Antworten und aus den Daten werden vorläufige Vermutungen, das heißt *Hypothesen*, abgeleitet, diese der Gemeinschaft der Leser vorgestellt und damit auch der Validierung bzw. Kritik ausgesetzt. Eine Hypothese, die wiederholt solchen Tests standgehalten hat und die durch viele Beobachtungen und Experimente belegt werden kann, wird schließlich in den Status einer *Theorie* erhoben.

2.1 System

Das Erkenntnisobjekt der System- und Modelltheorie aus Sicht dieses Buches sind Phänomene der belebten und unbelebten Natur unter Einschluss des Menschen und seinen Fähigkeiten bzw. der von ihm geschaffenen Artefakte.¹ Das Ziel der Theorien ist es, die in den verschiedenen natur- und geisteswissenschaftlichen Disziplinen behandelten Phänomene nach einheitlichen Prinzipien zu erfassen, zu deuten und zu beschreiben, um auf diese Weise eine interdisziplinäre Integration der Denkansätze, Untersuchungsmethoden und Gestaltungstechniken zu erreichen. System- und Modelltheorie stellen somit das basale Instrumentarium bereit, um sich im weiteren Verlauf dieses Kapitels weitere notwendige Begriffe erschließen zu können.

¹ Siehe auch Popper [1973](#).

2.1.1 Systeme

Im Allgemeinen spricht man von Systemen, wenn die folgenden Eigenschaften gegeben sind:

- Ein System erfüllt eine bestimmte Funktion, d. h. es lässt sich durch einen Systemzweck definieren, den der Beobachter ihm zuschreibt.
- Ein System besteht aus einer bestimmten Konstellation von Systemelementen und Wirkungsverknüpfungen (Relationen), die seine Funktionen bestimmen.
- Ein System verliert seine Systemidentität, wenn seine Systemintegrität zerstört wird. Das impliziert, dass ein System nicht teilbar ist, d. h. es existieren Elemente und Relationen in diesem System, deren Herauslösung oder Zerstörung die Erfüllung des ursprünglichen Systemzwecks beziehungsweise der Systemfunktion nicht mehr erlauben würde: Die Systemidentität hätte sich verändert oder wäre gänzlich zerstört.

Das Gemeinsame an allen „Systemen“ ist, dass an ihnen Elemente unterscheidbar sind, und dass diese Elemente in irgendeinem sinnvollen Zusammenhang stehen. Dabei können sie schon rein formal in einen Sinnzusammenhang gebracht werden, indem man sie mental und gedanklich nach Ähnlichkeiten, Symmetrien, Passungen oder aber Gegensätzen zusammenstellt. Auf diese Weise ist etwa das „periodische System der Elemente“ entstanden, und auf derselben konstruktiven Linie liegt ein „Lotto-Wettssystem“, aber auch das „Wahnsystem“ eines Geisteskranken. In all diesen Fällen meint man mit System ein abstraktes Schema, mit dem der Betrachter Ordnung in seine Wahrnehmungen und Ideen bringt. Er produziert sozusagen auf diese Art und Weise ein Idealsystem. Ein systematischer Zusammenhang kann aber auch darin liegen, dass die Elemente kausal interagieren. Ein solcher Zusammenhang wird dann nicht nur vom Betrachter subjektiv konstruiert, sondern tritt ihm handgreiflich als Realkategorie entgegen. In diesem Sinn spricht man etwa von einem „Zentralnervensystem“, vom „retikulären“ oder „endokrinen System“, vom „Sonnensystem“ und eben auch von einem „Robotersystem“. Auch ein Organismus, eine soziale Gruppe, ein Arbeiter an seinem Arbeitsplatz, die Straßen einer Stadt samt Verkehrsampeln, Kraftfahrzeugen und Fußgängern sind reale Systeme in diesem Sinne.

Insofern orientieren sich auch die zu betrachtenden Systeme dieses Buches im Regelfall an Realsystemen. Unter einem solchen realen System versteht man Teile der beobachtbaren oder meßbaren Wirklichkeit, die sich durch eine – wie auch immer geartete – Beschreibungsmethodik erfassen lassen. Insofern ist ein solches System auch ein zunächst von seiner Umgebung abgegrenzter Gegenstand, das heißt, dass zwischen System und Umwelt differenziert werden muss und dass das System durch seine Systemgrenze von seiner Umwelt getrennt ist. Zwischen System und Umwelt können dabei verschiedene Wechselwirkungen gemessen werden, wie beispielsweise beim Energie-, Stoff- oder Informationsaustausch. Auf diese Weise können einerseits Zustandsgrößen der Umwelt auf das System und seine Entwicklung in der Zeit Einfluss nehmen, umgekehrt kann das Systemverhalten zu Veränderungen in der Umwelt führen.

Die Abgrenzung eines Systems ergibt sich jedoch nicht nur aus seinen physikalischen Grenzen, sondern aus der Fragestellung der Systembetrachtung. Ein wichtiger Bestandteil dieser Betrachtungsweise ist die Umgebung, wobei damit nicht die gesamte übrige Welt gemeint ist. Vielmehr konstituiert sich diese Umgebung aus denjenigen Objekten, die für die Fragestellung der Systembetrachtung wichtig erscheinen und die sich außerhalb des Systems befinden. Diese Grenzziehung darf dabei nicht als eine Art Einschränkung aufgefasst werden. Vielmehr ist dieser konstruktive Schnitt auch deshalb zweckmäßig, weil die kognitiven Strukturen des Menschen bezüglich seiner Auffassungskapazität in Bezug auf systemische Vorgänge und Abläufe eher begrenzt erscheinen. Zum anderen ist ein System ein nach bestimmten Prinzipien geordnetes Ganzes. Es besteht aus Elementen (Komponenten, Modulen, Teilsystemen etc.), die zueinander in Beziehung stehen. Oftmals implizieren gerade diese Relationen eine wechselseitige Beeinflussung, in dem erst aus den Beziehungen heraus ein (Sinn)Zusammenhang entsteht und sich erkennen lässt. Insofern kann man zwischen einer Makro- und einer Mikroperspektive unterscheiden, indem in der Makroperspektive das System als Ganzes und in der Mikroperspektive die inhärenten Systemelemente betrachtet werden. Gerade aus der Makroperspektive lassen sich Beobachtungen machen, die alleine aus der Verhaltensbetrachtung der Elemente, d. h. aus der Mikroperspektive nicht erklärbar sind. Das Ganze ist in solch einem Falle dann eben mehr, als die Summe der Einzelelemente (Emergenz).

Unabhängig von dieser Emergenz zeigt jedes System gegenüber seiner Umgebung gewisse Kennzeichen, Merkmale, Eigenschaften, die als Attribute bezeichnet werden. Als solche Attribute kommen unter anderem vor:

- Komplexität
- Dynamik
- Wechselwirkung mit dem Systemumfeld
- Determiniertheit
- Stabilität
- ohne Energiezufuhr von aussen vs. mit Energiezufuhr von aussen
- diskret (zeit- oder Zustandsdiskret) vs. kontinuierlich
- zeitvariant (Systemverhalten ändert sich mit der Zeit) vs. zeitinvariant (Systemverhalten ist zeitunabhängig)
- linear vs. nichtlinear
- geregelt vs. ungeregelt
- adaptiv (anpassend)
- autonom (unabhängig von äußerer Steuerung)
- selbstregulierend (Selbstregulation)
- selbstkonfigurierend (Selbstkonfiguration)
- autopoietisch (sich selbst produzierend)
- selbstreferentiell (informationell abgeschlossen gegen die Umwelt, d. h. seine eigenen Informationen erzeugend)
- denkend

Abb. 2.1 Systembegriff

- lernend
- sozial: Kommunikationen und Handlungen von individuellen und kollektiven Akteuren im Kontext von personalen Beziehungen, Gruppenzusammenhängen, Organisationen und Gesellschaften
- Kognitiv-soziotechnisch: ein System, das aus Personen und Maschinen besteht. Ein solches soziotechnisches System ist beispielsweise ein Unternehmen mit seinen Arbeitsplätzen.

Attribute, die weder Eingangsgrößen (Input) noch Ausgangsgrößen (Output) sind, sondern die Verfassung des Systems beschreiben, werden Zustände genannt. Zwischen den Attributen eines Systems bestehen Beziehungen in Form von Funktionen. Sind diese Funktionen unbekannt, so bezeichnet man das System auch als Black Box (Abb. 2.1).

Systeme können meistens in Teil- oder sogenannte Subsysteme untergliedert werden, die untereinander und mit der Umwelt verbunden sind und mit Hilfe von Kommunikationskanälen Daten und Informationen austauschen. Systeme sind gleichzeitig auch Bestandteile von übergeordneten Metasystemen.

Die einzelnen Subsysteme und deren Beziehungen untereinander lassen sich durch *Relationen* R_{ij} beschreiben. Die Menge dieser Relationen werden unter dem Begriff der *Struktur* zusammengefasst. Insofern kann man davon sprechen, dass sich die Systeme über bzw. durch Strukturen organisieren und oftmals auch erhalten.² Eine Struktur umschreibt also das Muster bzw. die Form der Systemelemente und ihrer Beziehungsnetze, die dafür notwendig sind, damit ein System entsteht, funktioniert und sich erhält. Im Gegensatz dazu bezeichnet man eine strukturlose Zusammenstellung einzelner Elemente als *Aggregat* (Abb. 2.2).

Es lassen sich also zweierlei Aspekte bei der Beschreibung von Systemen ausmachen, einerseits die funktionalen Zusammenhänge zwischen den Attributen eines Systems und die strukturellen Zusammenhänge zwischen den Subsystemen eines größeren Gesamtsystems. Die Feststellung, ein System sei mehr als die Summe der Eigenschaften seiner Teile, beruht gerade darauf, dass die Relationen zwischen den Teilen dem Gesamtsystem eine zusätzliche Qualität verleihen können, die nicht unmittelbar aus den Eigenschaften der Teilsysteme gefolgert werden kann. An dieser Stelle hat sich ebenfalls der Einbezug des Modellbegriffs bewährt, indem ein System als Ganzes nicht als realer Gegenstand betrachtet wird, sondern vielmehr als Modell dieser Realität. Als ein solches Modell aufgefasst,

² Vgl. Ebeling et al. 1998.

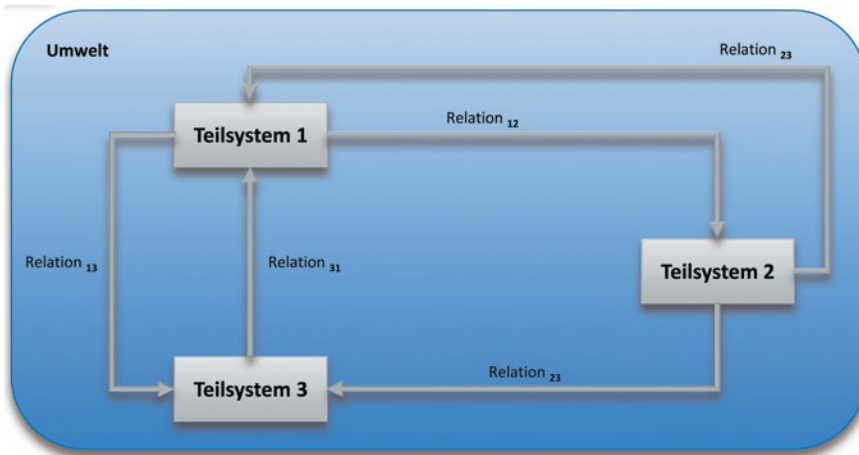


Abb. 2.2 Teil (Sub-)Systeme und Relationen

reduziert sich dann oftmals die endlose Fragestellung nach richtig oder falsch eher zu der Frage nach der Zweckmäßigkeit. Die Modellierung eines Systems muss sich daher einerseits mit der Ermittlung der Funktionen zwischen den Attributen der Teilsysteme und andererseits mit der Ermittlung der Systemstruktur (Summe der Relationen) eines Gesamtsystems befassen.

Das Systemverhalten kann von bestimmten Eingangsgrößen als Koppelgrößen zu anderen Systemen mitbestimmt werden oder gedächtnisbehaftet und damit zeitvariant sein. Hinter dieser Zeitvarianz verbergen sich oft Alterungserscheinungen, Verschleiß oder unberücksichtigte Einflußgrößen, die schlimmstenfalls sogar einen Systemausfall bedingen können. Je nach Voraussetzung und Perspektive ergibt sich eine Reihe von wesentlichen und unwesentlichen Koppelgrößen. So lässt sich ein System makroperspektivistisch als ein ganz konkreter Ausschnitt aus einer Realität auffassen, in der Aktionen stattfinden, also Prozesse ablaufen. Aber auch im System selbst finden solche Aktionen statt, was zu Zustandsänderungen führt. Die zeitliche Zustandsabfolge in einem System wird dann als aktionsbasierter *Prozess* bezeichnet.

2.1.2 Systemtheorie

Die *Systemtheorie* ist zunächst eine interdisziplinäre Wissenschaft, deren Gegenstand in der formalen Beschreibung und Erklärung der strukturellen und funktionalen Eigenschaften solcher natürlichen, sozialen oder technischen Systeme besteht. Sie erhebt dabei den Anspruch, eine *exakte* Wissenschaft zu sein. Sie will die Wirklichkeit nämlich nicht nur interpretieren, sondern erklären und ihr Wahrheitskriterium ist nicht das subjektive Evidenzgefühl, sondern sie unterwirft sich dem Regulativ falsifizierbarer Beweisführung.

Exaktheit allein genügt aber noch nicht als Kriterium. Die Systemtheorie ist daher auch *empirisch*. Sie hat es eben nicht nur mit gedanklichen Konstrukten, sondern auch mit der Realität, eben mit Systemen, zu tun. In diesem Sinne lässt sich jede exakte Aussage über empirisches Geschehen in drei Komponenten zerlegen. Sie enthält:

- eine (sprachliche oder mathematische) Formel, die den (deterministischen oder statistischen) Zusammenhang zwischen Variablen beschreibt,
- Operationen zur Messung der Variablen,
- die Bestimmung der *Systemklasse*, in der die Messung durchzuführen ist.

Empirische Aussagen betreffen immer den Zusammenhang zwischen Variablen. Solche Aussagen können auf verschiedenste Weise formalisiert sein, beispielsweise als logische Ausdrücke:

$$A \Leftrightarrow F$$

was soviel heißt: wie „A ist genau dann der Fall, wenn F der Fall ist“. Meist lassen sie sich aber auch in Form einer mathematischen Gleichung darstellen:

$$y = \frac{1}{2} xz^2$$

Die obige Gleichung ist zunächst reine Mathematik, d. h. sie wird erst dann zu einer *empirischen* Aussage, wenn der Leser darüber informiert wird, dass darin z beispielsweise die Fallzeit einer Kugel im Schwerfeld der Erde, y den von dieser Kugel zurückgelegten Fallweg und x die Erdbeschleunigung bedeuten soll. Erst durch diese Zuweisung kann die betreffende Formel als Fallgesetz interpretiert werden.

Im Idealfall hat der Formalismus den Charakter eines empirischen *Gesetzes*, wenngleich die Tatsache erwähnt werden muss, dass die Realität hinter dem Ideal oft zurückbleibt, oder das Gesetz doch zumindest oft nur hypothetischen Status hat. Die Ausdrücke x , y und z bezeichnet man als *Variablen*. Variabel heißt zunächst veränderlich und daher umfasst eine Variable die Menge der möglichen (Zahlen)werte, die diese Variable aufnehmen kann.

Wenn beispielsweise die Zimmertemperatur durch eine Variable dargestellt wird, so soll damit zum Ausdruck gebracht werden, dass das Thermometer zu verschiedenen Zeiten verschiedene Werte anzeigen kann, beispielsweise 18, 20 oder 22 °C. Diese Zahlenwerte stehen nicht gleichsam nackt da, sie sind vielmehr benannt und haben damit eine Bedeutung.

Im Sprachgebrauch der Systemtheorie ist es durchaus üblich, hier von der *Dimension* der Variablen zu reden. Der Systemtheoretiker nennt das, was er durch Angabe der Meßvorschrift definiert und durch – oft in eckige Klammern gefasste – Symbole wie [cm], [kg],

[V] usw. bezeichnet, auch die dimensionale Größenart der Variablen. Die Dimension der Variablen ist definiert durch Angabe der Operation, mit der man die Variable misst. Daher kommt der geläufige Ausdruck von der *operationalen Definition*. Mit dieser Definition ist zugleich die Menge möglicher Messergebnisse vorgegeben, d. h. man kann die Dimension auch als das Band auffassen, das die möglichen Skalenwerte zu einer Ganzheit, eben der Variablen, vereint.

Ein System ist ein konkret *instanziiertes* Objekt und die Realität besteht im Regelfall aus einer Vielzahl solcher konkreten Instanzen. Um hier die Übersicht zu erhalten, greift man zu einer Abstraktion, indem man mehrere solcher Systeme einer Systemklasse zuordnet. Unter einer solchen *Systemklasse* versteht man eine Abstraktion in Form einer Zusammenfassung mehrerer konkreter Systeme, die in irgendwelchen wesentlichen Punkten, den Klassenmerkmalen, übereinstimmen.

Eine solche Systemklasse wäre etwa „Menschen“ oder „Säugetiere“ oder „die Menge der kognitiven Robotersysteme“.

Zahlreiche Einzelwissenschaften haben sich immer wieder die Frage gestellt, mit welcher Betrachtungsweise sie an die Wirklichkeit herangehen sollen, um die dahinter liegenden Theorien oder Gesetzmäßigkeiten besser erfassen zu können.³ Mit dieser reduktionistischen Herangehensweise ist es ihnen bisher noch nicht in ausreichendem Maß gelungen, diese Wirklichkeit zu verstehen. Gerade in den Naturwissenschaften zeigt sich der Drang, die eher unübersichtliche Welt mit ihrer inhärenten, scheinbaren Wirklichkeit in einzelne und immer kleinere Forschungsbereiche aufzuteilen, um damit im Umkehrschluss eventuell die Sicht – sozusagen die Antenne – für das Ganze zu verlieren.⁴ Erschwerend kommt hinzu, dass eine interdisziplinäre Kommunikation durch diese multivariante Zugangsweise zunehmend schwieriger wird. Dies führt dazu, dass unter Umständen das Rad zweimal erfunden wird, dieses jedoch unbesehen bleibt, weil man das Rad eben mit zwei Namen versteht. Die allgemeine Systemtheorie ist somit auch eine Formalwissenschaft, die sich zum Ziel gesetzt hat, die Prinzipien von ganzen Systemen zu untersuchen, unabhängig von der Art der Elemente, Beziehungen und Kräfte, die bestehen oder wirken und damit Bestandteile dieser Systeme sind. Damit sind folgende Zielstellungen verbunden:

- Die Suche nach einem neuen, besseren Weg, die Wirklichkeit zu erfassen.
- Die Suche nach einer Möglichkeit, bruchstückhaftes Einzelwissen wieder sinnvoll in den Gesamtzusammenhang setzen zu können.
- Die Suche nach einer gemeinsamen Basissprache aller beteiligten Wissenschaften, um eine Verständigung und einen Vergleich der Erkenntnisse zwischen den Beteiligten zu ermöglichen.⁵

³ Vgl. Hauffe 1981.

⁴ Vgl. Popper 1935.

⁵ Siehe auch Oeser 1976.

Die Systemtheorie kann in diesem Sinne als eine Metatheorie aufgefasst werden, deren Ziel es ist, Erscheinungen in ihrer Gleichartigkeit besser zu erkennen und dafür eine einheitliche Terminologie und Methodologie anzubieten. Ausgestattet mit den bisherigen Eigenschaften kann der Systemtheorie die Aufgabe zugewiesen werden, Gesetze und Systeme ohne Bezug zur Dimension miteinander ganz im Dienste der Erkenntnisgewinnung zu verbinden. Dies kann aus zwei formal entgegengesetzten Perspektiven geschehen. Eine erste Möglichkeit besteht darin, ein Gesetz vorzugeben und dann nach einem System zu fragen, dessen Variablen – und zwar gleichgültig davon, welche Messvorschriften für sie gelten mögen – eben diesem Gesetz gehorcht. So ist denkbar, dass ein triviales Gesetz, etwa $a + b = c$, einem Konstrukteur als Vorgabe dient, um ein System zu entwickeln, das nichts anderes leistet, als eben diesem Gesetze zu folgen.

Diese Vorgehensweise entspricht genau der, wenn man dem Techniker den Auftrag zum Bau einer Addiermaschine gibt. Denn diese gehorcht ersichtlich gerade dem genannten Gesetz, und ihrem Benutzer ist es völlig gleichgültig, in welchen physikalischen Dimensionen dieses Gesetz realisiert wurde: Er will hinterher nur die reinen Zahlen ablesen und sich darauf verlassen können, dass es eben immer genau die Summe von a und b ist.

Dieses Beispiel erweist sich als Grenzfall eines sehr allgemeinen Auftrages, der heute in zunehmendem Maße an die Techniker ergeht, nämlich, für irgendwelche empirisch gegebenen, aber schwer kontrollierbaren Systeme ein Modell anzufertigen. Dabei geht es vor allem um die Verwirklichung eines Systemgesetzes mit anderen – und beliebigen – qualitativen Mitteln.

Ein weiteres wichtiges Beispiel, das in diesem Zusammenhang fällt, ist die *Simulation*. Auch ein Simulator, etwa der Flugsimulator in der Pilotenausbildung, ist ein Modell, das gewisse gesetzmäßige Zusammenhänge, wie sie im Ernstfall zwischen den Bedienungsinstrumenten, den meteorologischen Bedingungen und dem Flugverhalten herrschen, mit elektronischen Mitteln nachbildet.

Die eben genannten Anwendungsgebiete, bei denen es jeweils darum geht, zu einem Satz vorgegebener Regeln mit beliebigen Mitteln ein System zu erstellen, fasst man unter dem Oberbegriff *Systemsynthese* zusammen.

Diesem systemsynthetischen Ansatz entgegengesetzt ist eine Fragestellung, bei der das System vorgegeben und die in ihm gültige Gesetzmäßigkeit gesucht wird. Entsprechend spricht man hierbei von einer *Systemanalyse*.⁶ So ist beispielsweise das Hauptanwendungsgebiet der Systemtheorie in Biologie, Psychologie und Soziologie eher systemanalytischer Natur. Auch hier stellt sich die Frage, inwiefern es sinnvoll ist, bei der Systemanalyse von qualitativen Aspekten abzusehen. Es gibt dafür vor allem zwei triftige Gründe. Da wäre zunächst die Tatsache zu nennen, dass eine Disziplin, die kausale Zusammenhänge unter

⁶ Siehe auch McMenamin und Palmer 1988.

Absehung von der Qualität zu behandeln erlaubt, vom Zwang zu metaphysischer Stellungnahme bei allen Fragestellungen befreit, in denen man recht schnell in die Nachbarschaft des *Leib-Seele-Problems* gerät.⁷ Es ist leicht abzusehen, welche Entlastung diese Betrachtungsweise insbesondere auf den Gebieten dieses Buches mit sich bringt. Aber der Erkenntnisgewinn reicht noch viel weiter. Wie man weiß, hat sich seit einigen Jahrzehnten in der Psychologie eine Gegenströmung zum Behaviorismus etabliert, die als *Kognitivismus* bezeichnet wird. Das systemtheoretische Begriffsinventar ist geradezu unerlässlich, um das kognitivistische Denken davor zu bewahren, durch den missverstandenen eigenen Ansatz auf gedankliche Abwege gelenkt zu werden. Ein zweites Argument ist praktisch noch wichtiger. Wenn ein System – etwa ein lebendiger Organismus – als Vorbild zur Analyse vorgegeben ist, dann weiß man effektiv meist gar nichts über die Natur der Variablen, die im Innern dieses „schwarzen Kastens“, (black box) miteinander interagieren. Problemen dieser Art begegnet man generell bei der Entwicklung von Robotersystemen, bei der man auf Vorbilder der Natur angewiesen ist.

Abschließend und wissenschaftstheoretisch betrachtet sind Systemtheorien demnach keine empirischen, d. h. auf Erfahrung beruhende oder aus Versuchen gewonnenen Theorien an sich. Sie sind vielmehr *Modelle*, die zur Formulierung von empirischen Theorien über komplexe Gegenstände verwendet werden.

2.1.3 Systemvarianten

Ein System charakterisiert sich aus seinen Elementen und deren Beziehungen und wird demzufolge als eine Menge von atomaren Elementen definiert, die auf irgendeine Art und Weise miteinander in Beziehung stehen.

Die einfachsten materiellen Systeme sind die Atome, aus denen sich in großer Varietät die nächst höheren Systeme, die Moleküle entwickeln. Diese wiederum bilden in ihrer Komplexität die mikro-, makro- und teleskopischen Systeme der belebten und unbelebten Natur, also die Elemente, Mineralien, organischen Substanzen, Zellen, Lebewesen, Planeten, Planetensysteme, usw. Von Menschen (künstlich) geschaffene materielle Systeme sind (gewonnene) Rohstoffe, Werkstoffe (z. B. Metalle, Kunststoffe, etc.), Werkzeuge, Maschinen, Produktionsanlagen, Datenverarbeitungsanlagen, Gebäude, Verkehrswege, Nachrichtennetze, biotechnische Systeme (z. B. Agrikultur, Viehzucht, durch tierische oder menschliche Kraft betriebene Maschinen), soziale Systeme (z. B. Familien, Gruppen, Teams, Bündnisse, etc.), sozioökonomische Systeme (z. B. Firmen, Vereine, Gesellschaften, Genossenschaften, Gewerkschaften, etc.) und soziotechno-ökonomische Systeme (z. B. Betriebe, Anstalten, etc.). Gegen die materiellen sind immaterielle Systeme abzugrenzen. Ein immaterielles System lässt sich ebenfalls als ein Gefüge von Komponenten und Beziehungen definieren, bei denen es sich jedoch um Konventionen handelt, die der Kommunikation, der sozialen Ordnung, sowie der Gedankenordnung dienen. Beispiele dafür sind Sprachen, Codes, Satzungen, Algorithmen, Ver-

⁷ Siehe auch Seifert 1989.

fahrensvorschriften etc. Die Komponenten dieser Systeme sind Symbole (Laute, Gebärden, Zeichen) mit semantischem Gehalt oder Symbolkombinationen.⁸ Die Beziehungen zwischen den Komponenten sind relationale Verknüpfungen (Mengenzugehörigkeit, Rangfolge und Reihenfolge) sowie operationale Verknüpfungen (logische und arithmetische Operationen). Sind immaterielle Systeme bewusst schematisiert, so nennt man sie formale Systeme. Beispiele hierfür sind Grammatiken, Algebren und Gesetzeswerke. Zu den nichtformalen immateriellen Systemen zählen u. a. Verhaltensmuster, Traditionen und Rangordnungen.

Diese Definition legt nicht die Art der Systemelemente oder die Art ihrer Beziehungen zueinander, noch ihre Anordnung, ihre Intension, ihren Sinn oder die Art ihrer Beziehung zu ihrem Umfeld fest. Damit wird zum Ausdruck gebracht, dass es sich bei der Definition eines Systems um eine sehr formale Festlegung handelt, die einerseits auf sehr viele Sachverhalte zutrifft, andererseits einer weiteren Präzisierung ihrer Bestandteile bedarf, um gegebenenfalls ein noch besseres Verständnis zu erreichen. Als atomares Element eines Systems kann zunächst einmal jener Teil verstanden werden, den man nicht weiter aufteilen will oder kann. Dabei kann ein System immer auch Bestandteil eines größeren, systemumfassenden Super- oder Metasystems sein. Gleichzeitig können die atomaren Elemente eines Systems wiederum ein Subsystem abbilden.

So bildet beispielsweise ein Bienenvolk ein soziales System, das aus einzelnen Elementen, den Bienen, besteht. Die Bienen wiederum stellen ein organisches System dar. Somit ist der Organismus der Biene ein Subsystem im Verhältnis zum sozialen System des Bienenvolkes. Ein, das System des Bienenvolks umgebendes Supersystem, ist beispielsweise durch die sie umgebende Flora und Fauna gegeben.

Damit wird deutlich, dass die Begriffe Super- und Teil- bzw. Subsystem relativ zu ihrer jeweiligen Bezugsebene sind und für sich allein genommen noch keine Hierarchiestufen darstellen. Erst im Gesamtkontext, im Zueinander-in-Beziehung-setzen verschiedener Systemkategorien, ergibt sich erst eine sinnvolle Systemrelation. Unter dem Begriff der *Beziehung* ist somit eine Verbindung zwischen Systemelementen zu verstehen, welche das Verhalten der einzelnen Elemente und des gesamten Systems potenziell beeinflussen können.

So werden in dem Versuch, ein real geführtes Expertengespräch im Rahmen der Nachbearbeitung zu modellieren, einzelne Sequenzen des Expertengesprächs als Knoten und die einzelnen Aussageinheiten als Teile des Systems Expertengespräch über Beziehungen (Kanten) zugeordnet.

Die Grenzen zwischen System und Nicht-System lassen sich aufgrund der Beziehungen ausmachen. So kann es zu einem Beziehungsübergewicht kommen, wenn innerhalb der Gesamtheit eines Systems ein größeres Maß an Beziehungen zwischen den einzelnen Elementen besteht, als von der Gesamtheit des Systems zu seinem Umfeld. Man kann sich dabei die Grenzen des Systems als Ellipse vorstellen, in der Interaktionen im Inneren dieser

⁸ Siehe auch Chaitin 1987.

<http://www.springer.com/978-3-642-39857-5>

Handbuch Robotik

Programmieren und Einsatz intelligenter Roboter

Haun, M.

2013, XVI, 604 S. 193 Abb., 43 Abb. in Farbe.,

Hardcover

ISBN: 978-3-642-39857-5