

## Logik der Information

Allgemeines.....	2
Ausgangssituation und Stand der Wissenschaft.....	3
Informationen und Daten.....	10
Nachrichten und Signale.....	13
Kommunikation zwischen Systemen:.....	15
Informationen und Mengen.....	16
Informationen und Beziehungen.....	18
Beziehungsregeln.....	25
Beziehungsmodell.....	29
Intelligenz und Wissen.....	37
Informatiksysteme.....	44
Information und Materie.....	45
Information und Beobachtung.....	51
Information und Entropie.....	52
Nachwort.....	56

München, 1994

## Allgemeines

Information ist ein bestimmendes Element menschlichen Lebens, mit ziemlicher Sicherheit sogar des Lebens an sich. Alle wahrnehmbaren Gegenstände und Vorgänge der Welt werden schon durch die Wahrnehmung als Abbild in unserem Bewußtsein zur Information und als Konsequenz daraus in Sprache "gegossen". Neben der materiellen Welt gibt es dual dazu eine Welt der Information, die in Ausschnitten gewöhnlich als *Modell* bezeichnet wird. Individuelles Verhalten beruht auf der **Gewinnung** und der **Verarbeitung** von Informationen über unsere Umwelt. Soziales Verhalten setzt zusätzlich den Austausch von Informationen, also **Kommunikation** durch Sprache und Schrift voraus.

Während in der Vergangenheit die materiellen Dinge wie Nahrung, Wohnung usw. im Zentrum menschlicher Interessen und Aktivitäten standen, womit überwiegend körperliche Arbeit verbunden war, so sind dies heute die Informationen, die naturgemäß überwiegend mit geistiger Arbeit verbunden sind. Die neue Technik bietet neue Möglichkeiten, die unsere individuellen und sozialen Lebensgewohnheiten, am Arbeitsplatz und zu Hause, einschneidend verändern wird. Über ihre Zulässigkeit zu diskutieren ist wenig sinnvoll. Vielmehr ist es unser aller Aufgabe - nicht nur die der Informatiker - die neuen Möglichkeiten mit ihren Auswirkungen gründlich zu erforschen und sie für die Gestaltung unseres Lebens zu nutzen. In letzter Konsequenz werden nach und nach alle Lebensgewohnheiten und Lebensumstände in Frage gestellt und neu überdacht werden müssen. Wie tief die Informatik auch in die Psyche der Menschen eingreifen wird, läßt sich anhand von Entwicklungen wie "Virtual

Reality" oder "Cyber Space" erst erahnen.

**Die Informatik beeinflusst das Leben des Menschen in allen Bereichen. Es ist unser aller Aufgabe, ihre Möglichkeiten zu erforschen und zu nutzen.**

Voraussetzung für die Ethik einer Wissenschaft oder Technik ist ihre Offenheit für alle Mitglieder der Gesellschaft. Das bedeutet Zugänglichkeit für jedermann und Transparenz ihrer Inhalte. Es darf keine "Götter" geben, die allein im Besitz des Wissens sind. Niemand darf das Recht oder die Möglichkeit haben, über einzelne Anwendungen oder Nichtanwendungen allein zu entscheiden. Viele Produkte können sowohl zum Nutzen als auch zum Schaden der Menschen eingesetzt werden. Deshalb sind in erster Linie die "Konsumenten" von Information verantwortlich für die moralische oder ethische Zulässigkeit informationstechnischer Produkte und Anwendungen.

### **Ausgangssituation und Stand der Wissenschaft**

Das Verständnis des Informationsbegriffs stammt ursprünglich aus der Nachrichtentechnik (Shannon und Weaver 1949) und wird dort mit "Unsicherheit" bzw. deren Beseitigung gleichgesetzt. Im Vordergrund steht hier der *Informationszuwachs* durch Nachrichten, der als Informationsgehalt betrachtet und gemessen oder berechnet wird. Dabei spielt einerseits die beim Empfänger bereits vorhandene Information und andererseits die Form der Nachrichtendarstellung (Codierung) eine

wesentliche Rolle. Der logische Inhalt der Informationen und ihre Beziehungen zueinander werden hierbei nicht betrachtet.

Im Gegensatz dazu erfordern der Aufbau und der Gebrauch von Informationssystemen eine Logik der Informationsverarbeitung und -darstellung, die unabhängig ist von einzelnen Situationen oder Nutzern, da sie jederzeit und an jedem Ort, systemunabhängig und für jedermann gleichermaßen nutzbar sein muß. Dabei stehen die logischen Beziehungen der Informationen zueinander im Vordergrund, so daß es möglich ist, aus vorhandenen Informationen neue Informationen zu erzeugen (Auswertungen, logisches Schließen). Erst bei der Nutzung oder Anwendung der Informationen spielen die technischen und empfängerseitigen Eigenheiten wieder eine Rolle - vorwiegend zum Zwecke der Optimierung von Leistung, Ergebnis oder Kosten.

Seitens der Informatik ist eine einheitliche Definition des Informationsbegriffs bisher nicht vorgenommen worden. In der Literatur finden sich sehr viele unterschiedliche und ungenaue (oder keine) Definitionen. Die Grundbegriffe *Daten*, *Nachrichten*, *Informationen* und *Wissen* werden entweder einfach gleichgesetzt oder individuell unterschiedlich verstanden. Die Begründung ist wohl darin zu suchen, daß die Technik der Informationsverarbeitung auf der Basis der binären Digitaltechnik der wissenschaftlichen Erforschung weit vorausgeeilt ist. Die Erfolge der Technik, bedingt durch die wirtschaftlichen Vorteile ihres Einsatzes, verdrängen die Notwendigkeit eines theoretischen Fundaments der Informatik. Dagegen zeigt deren Entwicklung, vor allem die mit der Softwaretechnik zusammenhängenden Probleme (Softwarekrise), daß eine umfassende und präzise Theorie trotzdem dringend notwendig wäre. Die

vielen neueren Entwicklungen wie "Künstliche Intelligenz", "Fuzzy Logic", "neuronale Netze" oder "objektorientierte Programmierung" deuten auf ein Defizit des Grundverständnisses hin trotz ihrer jeweils großen Erfolge. Im Gegensatz dazu haben sich die Befehlssätze von Prozessoren wie auch die herkömmlichen Programmiersprachen, die eher auf einem intuitiven als auf einem theoretischen Fundament basieren, in Jahrzehnten kaum geändert. Aus diesen Gründen scheint eine Ergänzung der Informationstheorie, die besonders für die Verarbeitung von Informationen geeignet ist, notwendig zu sein.

Die Entwicklung insbesondere der Datenbanktheorien mit der Relationentheorie im Vordergrund hat gezeigt, daß hier immer noch viele Defizite und Ungereimtheiten bestehen (z.B. die effiziente Darstellung von 1:n- und m:n-Beziehungen). Die gepriesene Redundanzfreiheit relationaler Systeme trifft nur für die Informationsgehalte an sich zu, nicht jedoch für die Darstellung der Information. Die zur Relationentheorie gehörige Theorie der Funktionalen Abhängigkeiten und der Normalformen ist eine künstliche Theorie, um die Mängel der eigentlichen Theorie wieder zu kompensieren. Darüber hinaus wird versucht, sowohl durch sogenannte "Non-Standard-Databases" für spezielle Anwendungen wie CAD oder GIS (Geographische Informationssysteme), oder durch deduktive Datenbanken die Schwächen der Relationentheorie zu korrigieren.

Ein weiteres Indiz für das fehlende Grundverständnis ist das Maß für den Gehalt von Informationen. Aus der binären Digitaltechnik stammt das "bit". Es ist jedoch leicht einsehbar, daß dieses Maß für die Verarbeitung von Informationen unzureichend ist. Beispiel: Um eine Auswahl aus drei Möglichkeiten darzustellen, benötigt man zwei bit, ebenso wie für die

Auswahl aus vier Möglichkeiten!

**Das "bit" ist ein Maß für die Darstellung von Information im Binärsystem, kein geeignetes Maß für den Informationsgehalt!**

Information kann sowohl aus der Sicht eines informationserzeugenden und informationsdarstellenden, als auch aus der Sicht eines informationserkennenden und informationsinterpretierenden Systems betrachtet werden. Zur Darstellung von Information zum Zweck der Übertragung, Speicherung und Präsentation wird zumeist eine von drei Möglichkeiten genutzt:

1. Zeichen und Zeichenketten
2. Bildpunkte (Pixel) und Bilder
3. Bildpunkte und Formen, Figuren oder Symbole.

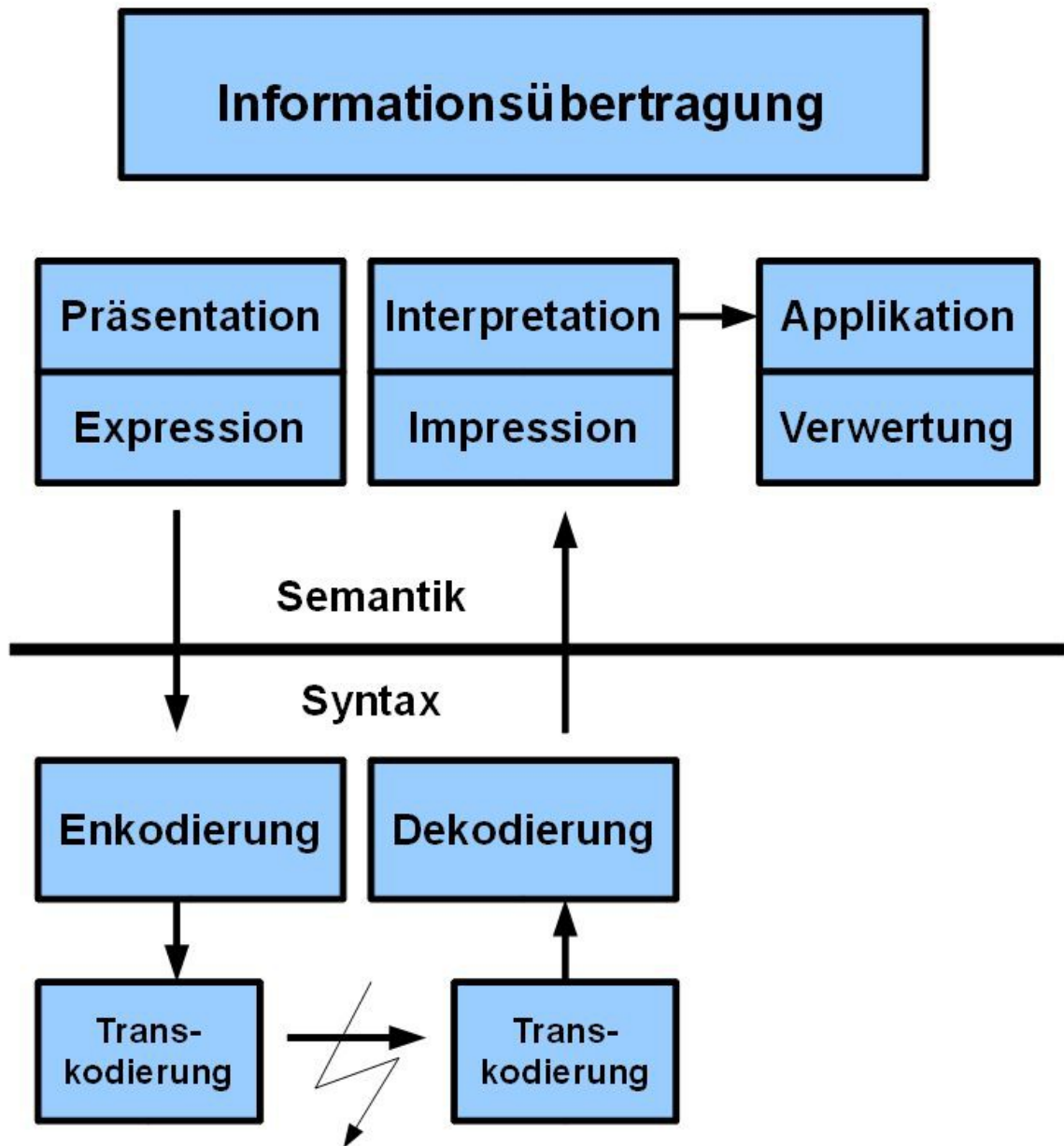
Ein Informationsmaß dieser Darstellungsformen ist einfach zu berechnen. Es ergibt sich zu  $c^n$ , wobei  $c$  der Umfang des Zeichenvorrats und  $n$  die Länge einer Zeichenkette ist. In Fall 2 und Fall 3 bedeutet  $c$  die Anzahl der Farben und  $n$  die Anzahl der Bildpunkte des Informationsträgers. In Fall 3 kann  $c^n$  auch als Potenzmenge gedeutet werden, wobei jede mögliche Form ein Element der Potenzmenge aus der Menge der Bildpunkte ist.

Eine weitere, weniger genutzte, aber in der realen Welt häufig vorkommende Möglichkeit ist die Anordnung der Elemente endlicher Mengen (Permutationen). In diesem Fall ergibt sich die Informationsmenge zu  $(n!)$  bei  $n$  Elementen.

Information ohne Übertragung ist sinnlos - sogar unmöglich. Übertragung von Information und damit verbundene Prozesse müssen daher im

Mittelpunkt aller Überlegungen stehen. In der folgenden Abbildung sind die grundlegenden, vor- und nachbearbeitenden Funktionen zur Informationsübertragung dargestellt. Die Begriffe Expression und Impression beschreiben die subjektiven Anteile bei Sender und Empfänger, d.h. die Abbildung von Semantik in Syntax und umgekehrt.

Transkodierungen sind rein technische Kodeumsetzungen, die in jedem Übertragungssystem meist mehrfach vorkommen, wie z.B. Mikrofon, D/A- und A/D-Umsetzung, Lautsprecher- oder Bildschirmausgabe. Transkodierungen finden auch im Organismus und im Gehirn statt. Sie sind häufig Störungen ausgesetzt oder sind variabel, besonders zwischen komplexen Systemen, so daß sie grundsätzlich auch Interpretationen beinhalten. Daraus ergeben sich Schlußfolgerungen für die Erkenntnistheorie. Während Transkodierungen auf der syntaktischen Ebene ausgeführt werden, sind Interpretationen als Transkodierungen auf der semantischen und sogar auf der pragmatischen Ebene zu betrachten.





Unausgesprochene Voraussetzung der Übertragung ist die Übereinstimmung von Enkodierung und Dekodierung. Bei technischen Übertragungssystemen wie auch bei Sprache und Schrift ist dies apriori gegeben. Im allgemeinen ist dies in der Natur aber nicht der Fall. Hier kann Kommunikation nur zustande kommen, wenn der Schlüssel zur Dekodierung mit übertragen wird in Form von Redundanz. Um den Schlüssel zu "verstehen" ist ein evolutionärer Lernprozess erforderlich. Redundanz hat aus diesem Grund eine weitaus größere Bedeutung als nur zur Kompensierung von Rauschen.

Shannon hat mit seiner Informationstheorie eine Theorie der Übertragung mittels Zeichensystemen (Syntax) geliefert. Die Mathematik liefert komplementär dazu die Theorie der Informationsverarbeitung mit Symbolen. Dagegen ist eine Theorie der interpretativen Informationsverarbeitung (Semantik) nur bruchstückhaft vorhanden.

Die Syntax der Information ist immer an ihr materielles oder energetisches Substrat gebunden. Es gibt sie nicht in "freier" Form. Die semantische Information kann entweder als anschauliche Information der Sinneserfahrung entstammen oder als abstrakte Information aus dem Denken (z.B. Mathematik) und aus der Kommunikation hervorgehen. Nur zu ihrer Darstellung ist sie an ein Substrat gebunden. Es wäre nun allerdings ein Irrtum zu glauben, dass semantische Information eine transzendente, von Materie und Energie unabhängige Eigenexistenz hätte; denn zu ihrer Erkennung ist die Wahrnehmung und die Interpretation ihrer Darstellung notwendig, auch in ihrem Produktionsapparat, dem Gehirn.

Man kann Information nicht erzeugen ohne apriori Erkenntnis von Materie und Energie.

Wichtig ist, daß neue Semantik - Semantik überhaupt - auf keinen Fall direkt aus der Syntax abgeleitet werden kann, sondern nur aus bereits vorhandener Semantik: also aus Syntax, deren Semantik bereits bekannt ist. Dem bleibt noch hinzuzufügen, daß die Semantik besonders natürlicher Sprachen über nichts anderes als Zeichensysteme darstellbar ist (Metainformation), also selbst wieder einer Syntax bedarf, der wieder eine Semantik zugeordnet ist ... !

### **Informationen und Daten**

Der Informationsbegriff wird hier - zunächst ohne Begründung und natürlich ohne Anspruch auf Alleingültigkeit - folgendermaßen definiert:

Eine **Information** ist genau eine binäre Beziehung.

Eine binäre Beziehung oder binäre Relation ist eine Verknüpfung zweier Objekte. Die beiden Objekte sind Elemente einer oder verschiedener Mengen. Die Begriffe werden später genauer erläutert.

Zum Vergleich sind verschiedene Darstellungen einer "Information" aufgeführt, die teils in der Informatik Anwendung finden. Dabei fällt die Strukturgleichheit dieser Darstellungen auf, was als Indiz für die Richtigkeit der Definition gewertet werden kann.

## Strukturanalogien von Informationen

natürliche Sprache	Subjekt	Prädikat	Objekt	
logische Aussage	Individuum	Prädikat- klasse	Prädikatwert	wf
Relationentheorie	Attributwert	Attribut	Attributwert	w
Chen- Datenmodell	Entity	Relation	Entity	w
Datenbank	Primary key	Column	Value	w
Graphentheorie	Knoten	Kante	Knoten	w
<b>binäre Relation</b>	<b>Objekt</b>	<b>Beziehung</b>	<b>Objekt</b>	<b>wf</b> <b>u</b>

Zu jeder Information gehört im Prinzip ein Wahrheitswert (w=wahr/f=falsch/u=ungewiß). Dieser wird in der Praxis jedoch meist weggelassen, da nur wahre Informationen interessieren (gespeichert werden); oder der Wahrheitswert steckt durch sprachliche Negation in der Information selbst. Da eine Aussage in der Logik als Atom betrachtet wird, bezieht sich die Negation auf die gesamte Aussage, in der Sprache dagegen kann durch die Stellung des Negators "nicht", bzw. durch

Betonung in der Verbalsprache, jeder einzelne Partikel negiert werden! Der Wahrheitsgehalt von Informationen ist unmittelbar an ihre Semantik gebunden.

Für eine vollständige Darstellung von Informationen reichen die Wahrheitswerte "wahr" und "falsch" nicht aus. Ein Wahrheitswert "ungewiß" oder "unbekannt" ist notwendig, um alle Beziehungen, die aus den vorhandenen Objekten gebildet werden können (kartesisches Produkt der Objektmengen) und zunächst weder wahr noch falsch sind, mit einem definierten Wahrheitswert belegen zu können. In der Praxis führt das Fehlen dieses Wahrheitswertes häufig zu großen Problemen (z.B. das Problem der sogenannten Defaultwerte in Datenbanken, speziell bei Zahlen, oder Probleme der Mustererkennung).

**Es gibt Informationen mit dem Wahrheitswert "ungewiß" - tertium datur!**

Dies erscheint mir als ein fundamentales Prinzip für eine Theorie der Informationen. Die etablierte Informationstheorie und Informationstechnik bauen jedoch auf der aus der klassischen Logik stammenden 2-elementigen Menge der Wahrheitswerte auf. Auf der andern Seite beruht die n-elementige Basis der von Lotfi Zadeh 1965 begründeten "Fuzzy Logic" eher auf einem pragmatischen Lösungsansatz als auf einer Theorie.

Da in der Praxis meist nur wahre Informationen von Interesse sind, kann man die Wahrheitswerte "Falsch" und "Ungewiß" gleichsetzen, oder "Falsch" gänzlich weglassen, so daß man unter diesen Umständen weiterhin mit der binären Logik auskommt. Später wird allerdings gezeigt, daß sogar eine **vierwertige Logik** notwendig ist, um Information

vollständig darstellen zu können.

Informationen und Daten werden in der Fachliteratur wie auch in der Umgangssprache meist nicht unterschieden. In der Praxis ist eine Unterscheidung aber sehr wohl von Bedeutung.

**Daten** sind Teile einer Information (Prädikatwert, Attributwert, Objekt).

Die ergänzenden Teile zur Information werden häufig getrennt von den Daten "aufbewahrt", z.B. als Spaltenüberschrift einer Tabelle, oder der Mensch hat die Bedeutung der Daten "im Kopf", z.B. "Wassertemperatur" beim Ablesen eines Thermometers.

### Nachrichten und Signale

Zur Abgrenzung gegenüber dem Informationsbegriff und zur Ergänzung der Begriffe sei hier (m)eine Definition für Nachrichten aufgeführt:

Eine **Nachricht** ist der zu übertragende Teil einer Information, der beim Empfänger zu einer vollständigen Information führt.

In der Regel ist der zu übertragende Teil eines der Objekte, die zueinander in Beziehung stehen. Der Informationsgehalt der Nachricht ist abhängig von der Anzahl, möglicherweise auch von der Eintrittswahrscheinlichkeit der Auswahlmöglichkeiten aus der Menge der Objekte. Typische Beispiele hierfür sind die Übertragung von Meßdaten oder die Antwort auf eine Frage.

Die Definition schließt auch den (Sonder-)Fall ein, daß eine Nachricht die gesamte Information enthält, vor allem dann, wenn der Empfänger nicht auf eine bestimmte Nachricht wartet - im Gegensatz zu Frage und Antwort. Vor allem bei den durch die Medien verbreiteten Nachrichten werden in der Regel ganze Informationen übertragen.

Der Begriff Signal:

Ein **Signal** markiert den Zeitpunkt, ab dem eine festgelegte Information "wahr" oder "falsch" ist.

Ein Signal ist ebenfalls Teil einer Information, jedoch repräsentiert es einen Wahrheitswert oder den Übergang von einem Wahrheitswert zu einem anderen. Dies setzt folglich voraus, daß die Information an sich dem Empfänger bereits bekannt ist! Ein Startschuß oder ein Pfiff z.B. markiert für einen Sportler den Beginn eines bestimmten Wettkampfs. Häufig kommt es vor, daß unterschiedlichen Informationen jeweils ein eigenes Signal zugeordnet ist: Beispiel Verkehrsampel. Ein Signal hat in der Regel den Informationsgehalt 1 bit.

## Kommunikation zwischen Systemen:

**Es gibt genau vier Möglichkeiten der Kommunikation zwischen zwei Systemen.**

1. Steuerung durch Sender	halbsynchron	interrupt/push	Unterbrechung
2. Steuerung durch Empfänger	halbsynchron	polling/pull	Rundruf
3. Steuerung von außen	synchron	clock	Uhr
4. keine Steuerung	asynchron	mailbox	Briefkasten

Die asynchrone Kommunikation erfordert entweder einen Puffer oder einen Empfänger, der "rund um die Uhr" empfangsbereit ist. Die halbsynchrone Kommunikation erfordert jeweils einen Rückkanal, d.h. einen Übertragungskanal vom Ausgang des Empfängers zum Eingang des Senders, wobei die Funktionen Sender und Empfänger vertauscht werden. Die synchrone Übertragung erfordert eine externe Steuerung (Uhr).

Die 1:n, n:1 und m:n-Kommunikation bauen auf diesen Grundformen auf. Die Systeme der modernen Kommunikations- und Medientechnik sind Realisierungen davon.

Die Übertragung von Information beruht auf der homomorphen (strukturerhaltenden) Abbildung zwischen Zeichensystemen. Lediglich die Syntax von Information kann übertragen werden, nicht jedoch die zugehörige Semantik, auch wenn genau dies der alleinige Zweck der Syntax ist. Die Semantik muß, falls notwendig, explizit durch zusätzliche

Information übertragen werden. Sprachlich z.B. durch die Formulierungen "d.h.", oder "dies bedeutet, daß ..".

### **Informationen und Mengen**

Der Mengenbegriff ist ganz wesentlich für die Informationstheorie, wie sich später noch zeigen wird. Dazu ist jedoch eine Erweiterung des klassischen Mengenbegriffs notwendig, um alle Mengen, die in der Realität vorkommen, zu erfassen.

Der Mathematiker Georg Cantor (1845-1918) definierte 1874 eine "Menge" als Zusammenfassung gleichartiger aber einzeln unterscheidbarer und daher identifizierbarer Elemente. Dazu gibt es in der Mathematik eine ausgereifte Theorie und in einzelnen Programmiersprachen findet man rudimentäre Konstrukte zum Umgang mit Mengen. Die reale Welt, mit der die Informatik leben muß, besteht aber überwiegend aus Mengen, die nicht dieser Definition genügen, sondern eine sehr große Zahl nicht unterscheidbarer Elemente umfassen! Bei diesen Mengen stehen daher nicht die Elemente, sondern Teilmengen mit den entsprechenden Operationen im Vordergrund. Diese Art von Mengen wird außer ihrer Bezeichnung nur durch ihre Kardinalität bestimmt, die durch Zahlen repräsentiert wird. Dabei wird zusätzlich eine "Maßeinheit" als Normierungsfaktor sowie zur Klassifizierung von Teilmengen verwendet.

**Es gibt Mengen mit nicht unterscheidbaren, nicht identifizierbaren Elementen.**

Beispiele solcher Mengen sind Flüssigkeiten, Schüttgut usw. sowie auch



Raum und Zeit. Raum und Zeit unterscheiden sich von den anderen Beispielen dadurch, daß jeder Raum- oder Zeitpunkt meist als einzigartig betrachtet wird, während das Wasser aus dem Wasserhahn oder der elektrische Strom aus der Steckdose quasi unendlich vorhanden und vollständig austauschbar ist. Allerdings haben eine Wasseruhr oder ein Stromzähler die gleiche Funktion wie eine Uhr oder ein Metermaß, d.h. auch das Wasser oder der elektrische Strom können wie Raum oder Zeit bei Erfordernis genau identifiziert werden.

Herkömmliche Programmiersprachen bieten weder Datentypen noch Operatoren zur Handhabung dieser Art von Mengen! Andererseits macht die auf Lotfi Zadeh zurückgehende "Fuzzy-Set-Theorie" genau diese Art von Mengen zu ihrem Forschungsgegenstand und versucht, eine Theorie darauf aufzubauen.

## **Informationen und Beziehungen**

Der Begriff BEZIEHUNG (oder Relation) ist nicht neu in der Informatik. Er wird zur Beschreibung von Datenmodellen (Entity-Relationship-Modell von Chen) verwendet. Allgemein wird damit eine Verknüpfung zwischen verschiedenen Objekten ausgedrückt.

Hier wird die Bedeutung etwas enger gefaßt:

Eine **Beziehung** ist eine Verknüpfung zweier Objekte.

Demzufolge gilt auch:

Eine **Information** ist eine Verknüpfung zweier Objekte.

Die beiden Objekte können einer einzigen oder verschiedenen Mengen angehören. In der Alltagssprache werden zur Bezeichnung einer Verknüpfung - eines "Beziehungstyps" oder "relationship" - sprachliche Konstrukte verwendet wie "ist zugeordnet", "liegt in", "ist Nachfolger von", "ist Nachbar von", "ist Vater von", "gehört zu" usw.

Zur Vater-Sohn-Beziehung gehört immer die Sohn-Vater-Beziehung als Umkehrbeziehung, die sprachlich als Aktiv-Passiv oder mit korrespondierenden Begriffen wie Sohn-Vater ausgedrückt wird. Diese Symmetrie der Informationen wird in der Informatik nur sehr wenig genutzt!

### **Jeder Beziehung ist eine Umkehrbeziehung zugeordnet**

Zur Bezeichnung der Verknüpfung wird nachfolgend das abstrakte Zeichen "/" verwendet, das jede beliebige Verknüpfung symbolisiert. Die Umkehrbeziehung wird hier dargestellt durch "\". Eine "Nichtbeziehung" wird bezeichnet mit "#".

Beziehungen lassen sich nun mit den angegebenen Sprachelementen beschreiben. Um über Beziehungen auch reden zu können, wird nachfolgend die "Vater-Sohn-Beziehung" stellvertretend für alle Beziehungen verwendet. Sie ist jedoch nicht mit der realen Vater-Sohn-Beziehung zu verwechseln!

/ =: Beziehungstyp: Vater-Beziehung

// =: Hüllenbeziehung zu "/": Vorfahren-Beziehung

\ =: Umkehrbeziehung zu "/": Sohn-Beziehung

\ \ =: Hüllenbeziehung zu "\": Nachfahren-Beziehung

# =: Nicht-Beziehung zu "/" und "\":  $a\#b = \neg (a//b \vee b\\a)$

inclusive: Nicht-Beziehung zu "/" und "\":  $\neg (a/b \vee b\backslash a)$

- =: Äquivalenzbeziehung: Bruderbeziehung

a-b  $\hat{=}$  Es gibt c: c/a UND c/b

Eine Beziehung zwischen a und b wird somit syntaktisch so dargestellt:

a/b =: a ist Vater von b

b\ a =: b ist Sohn von a

Einige Standardbeziehungen kommen in praktisch jeder Situation vor. Sie sind auf allen Rechnern immanent implementiert. So z.B.:

a<b oder abc - Relation für Zahlen, ASCII-Code, Alphabet

L und R seien Mengen von Objekten, "/" ist ein Beziehungstyp, L und R können identisch sein. Dann ist

$$B = L / R$$

die Menge der Beziehungen mit Elementen aus L bzw. R. B ist folglich eine Teilmenge des kartesischen Produkts der Mengen L und R. Ihre

Kardinalität ist ersichtlich das Produkt der Kardinalitäten von L und R, also  $n \cdot m$  oder  $n^2$ ; wenn  $L=R$ .

Wenn in einer Beziehung  $B = L/R$  die Objektmengen L und R identisch sind, dann können Elemente der Menge sowohl Vater als auch Sohn sein. Dadurch ergeben sich auf Grund der Verkettungsmöglichkeit der Beziehungen komplexere Strukturen wie Hierarchien (Bäume) und Netze.

**Strukturen (Ordnungsrelationen, Hierarchien, Netze) basieren auf der Verkettung von Beziehungen zwischen Elementen identischer Mengen.**

Die Komponenten von Strukturen sind also jeweils eine Menge und ein Beziehungstyp. Meist werden die Beziehungen zwischen den Objekten durch Striche dargestellt. Dadurch entstehen die vertrauten Graphen (vgl. Knoten und Kanten). Auf sie ist daher vor allem die Graphentheorie anwendbar, was auch bedeutet, daß die Graphentheorie eine Spezialisierung der Informationstheorie ist.

### **Realisierung und technische Darstellung von Beziehungen**

Informationen werden mittels der binären Digitaltechnik dargestellt und verarbeitet. Anhand des Beziehungsmodells als visualisiertes Problem ist jedoch zu überlegen, ob es prinzipiell geeignetere Methoden geben könnte. Im wesentlichen besteht die Aufgabe darin, die Beziehungen zwischen den Objekten technisch zu realisieren, wobei zwischen jeweils zwei Objekten eine Verknüpfung herzustellen ist, die den zutreffenden Wahrheitswert repräsentiert. Die Verknüpfung muß dann abgefragt und wieder gelöst

werden können. Dabei kommt es darauf an, die drei Wahrheitswerte in technische Zustände umzusetzen, was wegen des binären Codierungssystems nicht trivial ist. Anders ausgedrückt ist für jeden Beziehungstyp eine  $m \times n \times 3$ -Matrix technisch zu realisieren. Wenn man den Wahrheitswert "Falsch" ignoriert, dann kommt man mit einer  $m \times n \times 2$ -Matrix aus.

Die aus der Booleschen Algebra bekannte Wahrheitstafel zur Darstellung der Verknüpfung logischer Aussagen muß um den Wahrheitswert "Ungewiß" erweitert werden:

A	B	A+B	AorB	notA
W	U	U	W	F
F	U	F	U	W
U	U	U	U	U

Offensichtlich liegt hier eine Antinomie in der Weise vor, als NOT UNGEWIß = UNGEWIß angegeben ist im Widerspruch zu den Grundgesetzen der Logik. Um dies zu verhindern wird ein zusätzlicher Wahrheitswert BEKANNT (B) mit  $B = WAHR \text{ OR } FALSCH$  eingeführt. Damit wird NOT UNGEWIß = BEKANNT.

Dazu ist eine Erweiterung der Wahrheitstabelle erforderlich.

A	B	A+B	AorB	notA
W	B	B	W	F
F	B	F	B	W
U	B	U	B	B
B	B	B	B	U

Mit den vier Wahrheitswerten WAHR, FALSCH, UNGEWIß und BEKANNT kann eine Zuordnung aller Objekte zweier Mengen zu einem Beziehungstyp vollständig mit definierten Wahrheitswerten belegt werden. Jeder Information ist also ein definierter Wahrheitswert zugeordnet. Die Wahrheitswerte sind naturgemäß mit 2 bit bzw. mit einem "Doppelbit" einfach darstellbar.

Es ist zu unterscheiden zwischen einer *objektiven Logik* und einer *subjektiven Logik*, d.h. der objektiven Wahrheit und dem subjektiven Wissen (Metainformation) um die Wahrheit. In Informationssystemen ist das Wissen relevant, während die objektive Logik möglicherweise als Integritätsbedingung (z.B. NOT-NULL- und UNIQUE-constraints in Datenbanken) in Erscheinung tritt. Beispielsweise hat jede Person ein (und nur ein) Geburtsdatum, dessen Existenz, nicht jedoch dessen Wert dem Informationssystem also apriori bekannt ist; dagegen hat nicht jede Person eine (andere evtl. mehrere) eMail-Adresse, deren Existenz also ungewiß ist. Diese Unterschiede lassen sich nur mit einer vierwertigen Logik formal darstellen.

Aus einem undurchsichtigen Behälter mit Kugeln soll eine der Kugeln

zufällig gezogen werden. Verschiedene Situationen sind denkbar:

- im Behälter sind genau eine schwarze und eine weiße Kugel; dann ist die gezogene Kugel entweder schwarz oder weiß und die Farbe der gezogenen Kugel bestimmt eindeutig die Farbe der verbleibenden Kugel: tertium non datur - oder die klassische Logik.
- im Behälter sind mehrere weiße und schwarze Kugeln; die gezogene Kugel ist mit einer bestimmten Wahrscheinlichkeit entweder weiß oder schwarz: es gelten die bekannten Gesetze der Kombinatorik und der Wahrscheinlichkeitstheorie.
- im Behälter sind mehrere Kugeln in unterschiedlichen Grautönen; die gezogene Kugel ist mehr weiß oder mehr schwarz und kann einer Klasse der Grauwerte zugeteilt werden: der Anwendungsbereich der fuzzy logic.
- im Behälter sind außer schwarzen und weißen Kugeln auch Bonbons oder Kieselsteine; es ist also ungewiß, ob überhaupt eine Kugel gezogen wird; die reale Welt, mit der sich die praktische Informatik abmühen muß: der Anwendungsbereich der vierwertigen Logik.
- vollständigshalber sei der Fall grauer Kugeln mit Kieselsteinen erwähnt; er ist aber nur eine unwesentliche Erweiterung der fuzzy logic.
- 

Fazit: die klassische Logik kann nur funktionieren, wenn bereits bestimmte "Vorurteile" vorausgesetzt werden.

Anmerkung:

lange nach Niederschrift habe ich durch gezielte Recherchen im Internet von den Arbeiten mehrerer Autoren zu mehrwertigen Logiken erfahren: Lukasiewicz (1920), Post (1920), Kleene (1952) und Belnap (1977). Besonders Belnaps vierwertige Logik hat verblüffende Ähnlichkeit mit den von mir hier vorgestellten Thesen.

Daß die Anzahl der Wahrheitswerte mit der Basis Zwei des binären Zahlensystems, das zur Codierung der Daten verwendet wird, übereinstimmt, ist kein "Naturgesetz der Logik" wie häufig stillschweigend angenommen wird, sondern ist gewissermaßen ein Zufall. Die Abbildung der Zahlenbasis Zwei - 0 und 1 - auf die Wahrheitswerte "Wahr" und "Falsch" - oder die Umkehrabbildung - ist zwar zutreffend, aber nicht zwingend. Genausogut können n Wahrheitswerte in einem Zahlensystem zur Basis n dargestellt werden.

**Die Gleichsetzung von Binär-Logik und Binär-Codierung ist aus technischer Sicht zutreffend, jedoch nicht zwingend.**

Die Grundüberlegung der Informatik ist, wie Informationen technisch gespeichert und verarbeitet werden können. Die Technik der Speicherung wie auch die Befehlssätze von Prozessoren haben sich seit den Anfängen nicht wesentlich geändert, obwohl ihre Schwächen und Lücken, wie z.B. assoziative Adressierung, seit langem bekannt sind.



Eine wesentliche Eigenschaft heutiger Rechnerarchitekturen ist die sogenannte Von-Neumann-Architektur. Eine Alternative hierzu ist die Vereinigung von Prozessor und Speicher, d.h. die informationsverarbeitenden Schritte werden nicht in einem separaten Prozessor, sondern direkt im Speicher ausgeführt. Das hier vorgestellte Informationsmodell ermöglicht diese Architektur, indem die Operationen auf das Erzeugen und Löschen von Verbindungen zwischen Objekten abgebildet werden. Ein weiteres Merkmal neuerer Architektur ist die starke Parallelität der Verarbeitungsschritte, deren Voraussetzungen ebenfalls durch das Informationsmodell geschaffen werden.

### **Beziehungsregeln**

Aus der Mathematik sind die Ordnungsrelationen bekannt. Sie sind definiert durch sogenannte Axiome. Durch Erweiterung der Axiome für Ordnungsrelationen kommt man zu Beziehungsregeln, die auch allgemeinere Strukturen bestimmen. Sie entsprechen im übrigen den Regeln, die den Kern von Expertensystemen bilden - den "wenn-dann" - Regeln!

Beziehungsregeln erfüllen mehrere Funktionen:

- durch Anwendung, d.h. die Ersetzung der Symbole durch Symbole realer Objekte, ergeben sie reale Beziehungen.
- sie bilden Plausibilitäts- und Integritätsbedingungen für

Informationen.

- aus gegebenen Beziehungen werden neue Beziehungen erzeugt (rechte Seite der Regelgleichung).
- sie reduzieren die Anzahl der möglichen Beziehungen zwischen den Elementen der beteiligten Mengen, beherbergen also Information.

Nachfolgend sind einige Beziehungsregeln aufgeführt:

Reflexivität:	$a/a$	direkt reflexiv
	$a//a$	indirekt reflexiv, zirkulär
Antireflexivität	$\neg a/a$	zirkelfrei
Symmetrie:	$a/b \wedge b/a$	symmetrisch
Asymmetrie:	$a/b \Rightarrow \neg b/a$	Ordnungsbeziehung
	$a//b \Rightarrow \neg b//a$	zirkelfrei
Antisymmetrie:	$a/b + b/a \Rightarrow a=b$	stark antisymm., Teilmengenbeziehung
	$a/b + b/a \Rightarrow a \neq b$	schwach antisymm., Bruderbeziehung
Transitivität:	$a/b + b/c \Rightarrow a/c$	$<, >$ -Beziehung
Intransitivität	$a/b + b/c \Rightarrow \neg a/c$	Eltern-Kind-Beziehung
Exklusivität:	$a/b + a/c \Rightarrow b=c$	{jeder Vater/Sohn hat
	$a \setminus b + a \setminus c \Rightarrow b=c$	nur einen Sohn/Vater}
Monotonie:	$a/b + a/c \Rightarrow b \# c$	direkt monoton
	$a//b + a//c \Rightarrow b \# c$	maschenfrei

weitere, auch komplexere Beziehungsregeln sind denkbar, so z.B.:

Additivität:  $a/x + b/y \Rightarrow U\{a, b\} / U\{x, y\}$  (U = Vereinigung bzw. Addition)

Funktionalität:  $a/x \Rightarrow f(a)/g(x)$

Strukturen entstehen durch Beziehungen zwischen Elementen einer Menge und unterscheiden sich durch die Kombinationen verschiedener Beziehungsregeln:

Struktur	Beziehungsregel		Beziehungstypen
Netz, Kaskade *	Antireflexivität, Intransitivität, Asymmetrie		mehrere Väter und mehrere Söhne
Hierarchie, Baum	Antireflexivität, Intransitivität, Asymmetrie	Monotonie, Exklusivität	maschenfrei, höchstens ein Vater oder ein Sohn
Ordnung, Kette	Antireflexivität, Intransitivität, Asymmetrie	Monotonie, Exklusivität	maschenfrei, höchstens ein Vater und höchstens ein Sohn
Ordnungsrelation: $\leq, =, \geq$	Antisymmetrie, Reflexivität, Transitivität		Vorfahren/ Nachkommen

\*Bemerkung: als Kaskade wird hier ein zirkelfreies Netz bezeichnet.

Beispiel Netzplantechnik.

Kaskaden entstehen immer bei Zeitabhängigkeit, Energieabhängigkeit (Entropie) und dgl.

## Beziehungsmodell

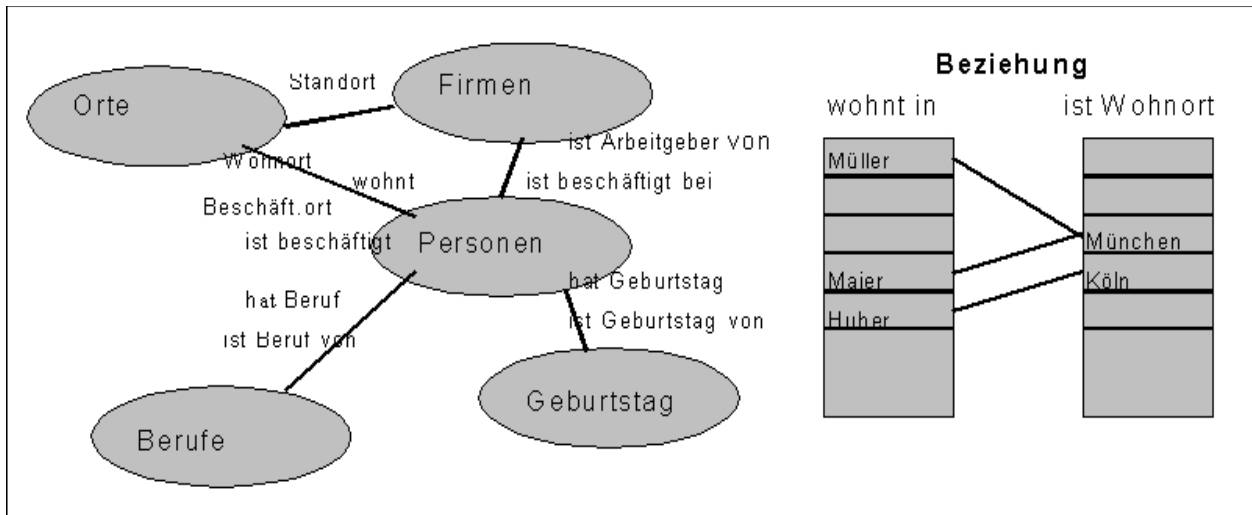
Das Beziehungsmodell veranschaulicht die relevanten Entities und deren Beziehungen untereinander. Es ist ein "semantisches Datenmodell", weil die verwendeten Begriffe ihre Bedeutung beibehalten. Das Vorbild für semantische Datenmodelle ist das Entity-Relationship-Modell von Chen, das den zu betrachtenden Weltausschnitt in Mengen (Entities), Relationen und Attributen abbildet. Attribute im Sinne des ER-Modells bzw. der Relationentheorie sind in Wirklichkeit aber selbst Mengen und werden deshalb hier als solche betrachtet. Dieses Datenmodell enthält folglich nur noch Mengen und Beziehungen zwischen jeweils zwei Mengen! Dies führt zu einer wesentlichen Reduzierung der Komplexität im Datenmodell. Begrifflich korrekter sollte man es Informationsmodell nennen, da es vollständige Informationen repräsentiert.

Es gibt drei verschiedene Arten von Bezeichnern, die notwendig und ausreichend sind, um die reale Welt auf ein Informationsmodell abzubilden:

Identifizierer,  
Klassifizierer und  
Relationierer.

Identifizierer (Nominatoren) bezeichnen einzelne Objekte, auch wenn mehrere Objekte denselben Namen tragen können, Klassifizierer bezeichnen Mengen oder Teilmengen von Objekten und Relationierer (Prädikatoren) bezeichnen Beziehungen zwischen Objekten.

Beispiel eines Beziehungsmodells (semantisches Datenmodell)



Aus zwei Mengen mit den Kardinalitäten  $m$  und  $n$  lassen sich folglich  $m \times n$  Informationen erzeugen. Der Gehalt jeder einzelnen Information ist grundsätzlich 1, kann aber einen Wert bis höchstens  $m \times n$  annehmen. Wenn es nur eine einzige wahre Information gibt (z.B. Altersangabe einer einzelnen Person), dann ist deren Informationsgehalt am höchsten, nämlich genau  $m \times n$ . Der Gehalt einer Nachricht ist maximal  $m$  oder  $n$ , je nachdem aus welcher Menge ein Element zu übertragen ist. Zur Vereinfachung sei für jede Information die gleiche Eintrittswahrscheinlichkeit vorausgesetzt.

Im Gegensatz zum Informationsmaß der Nachrichtentechnik ist das Informationsmaß der Informatik nicht von den Eigenschaften des Empfängers (Neuigkeitswert versus apriori-Wissen), sondern von denen der Informationen selbst abhängig; genauer von den logischen Implikationen, die sich aus einer Information (ihrer Bedeutung/Semantik) ergeben. Die Aussage zum Beispiel "ich bin 50 Jahre alt" impliziert, daß jede andere Aussage zum Lebensalter falsch ist. Damit hat diese Aussage

einen hohen Informationsgehalt: bei  $n$  Auswahlmöglichkeiten den Informationsgehalt  $n$ . Die Aussage "ich bin nicht 40 Jahre alt" dagegen hat nur einen Informationsgehalt von 1, da sie die Anzahl der offenen Auswahlmöglichkeiten nur um 1 verringert. Die Aussage "ich bin weniger als 50 Jahre alt" schließt alle Auswahlmöglichkeiten über 50 aus. Bei angenommen insgesamt 90 Auswahlmöglichkeiten reduziert sich die Anzahl also um 40, so daß ein Informationsgehalt von 40 gegeben ist. Wichtig ist hier die scharfe Unterscheidung zwischen subjektiver Nachricht und objektiver Information.

Die Semantik von Information ergibt sich aus ihrer Einbettung in die Beziehungsstruktur. Das heißt, die Semantik eines Objektes ist die Menge seiner Beziehungen zu anderen Objekten. Damit kann auch Semantik objektiviert und formalisiert werden. In der Fachliteratur wird von *semantischen Netzen* gesprochen.

Informationsverarbeitung ist nach diesem Modell zum Einen das Erzeugen von Mengen bzw. deren Elementen oder Teilmengen und von Beziehungstypen (Data Definition). Zum anderen ist es das Einbringen neuer und Löschen bestehender Beziehungen (Verbindungslinien) zwischen den Elementen der durch den Beziehungstyp verknüpften Mengen (Data Manipulation), mit anderen Worten das Erfassen und Ändern von Informationen oder Daten.

Die dritte wichtige Gruppe von Operationen ist das Bilden von Teilmengen (Data Extraction). Teilmengen können eine eigene Bezeichnung erhalten und enthalten diejenigen Elemente der Grundmenge mit Beziehung zu bestimmten Elementen der anderen Objektmenge - oder weiterer Objektmengen. Zum Beispiel würde eine Liste (Teilmenge) "alle Kölner

Informatiker" alle Personen aufweisen, die in Köln wohnen und von Beruf Informatiker sind, also eine Verbindungslinie zu "Köln" in der Menge Orte (Beziehungstyp Wohnort) und zu "Informatiker" in der Menge Berufe haben.

Eine Teilmenge  $K$  ("alle Kölner"), deren Elemente  $p$  (Personen) zu einem Element  $k \in \text{Orte}$  ("Köln") in Beziehung stehen, wird formal so dargestellt:

$$K = \{p: p/k\}$$

Es ist offensichtlich, daß hier vor allem die Mengenalgebra und die Prädikatenlogik zur Anwendung kommen. Durch logische, vorwiegend konjunktive Verknüpfung mit weiteren Beziehungen kann  $K$  beliebig spezifiziert werden. Damit werden umfangreichere Tabellen (Relationen) konstruiert.

Die Teilmengenbildung dient obendrein der Aggregation und Strukturierung von Informationen. Teilmengen können auf der Struktur innerhalb einer einzelnen Menge gebildet werden, auf denen wiederum eine Struktur definiert werden kann, so daß sehr komplexe, geschachtelte Strukturen entstehen. Eine Teilmenge kann wiederum Element einer Menge sein und Beziehungen eingehen (vgl. dazu 1. Normalform nach Codd). Beispiel: die Organisationsstruktur eines Unternehmens.

Während die Relationentheorie von Codd die Bildung willkürlicher Tabellen und sodann deren Zerlegung in Form der Normalisierung oder den Operationen Selektion und Projektion vorsieht, werden hier komplexe Relationen durch logische Spezifikation auf der Basis binärer Relationen konstruktiv erzeugt. Eine solche Spezifikation definiert somit direkt eine "Benutzersicht". Dabei ist allerdings zu beachten, daß ein Tupel einer



Relation, das im Prinzip eine konjunktive Verknüpfung logischer Aussagen darstellt, mehr Information enthält als die zu Grunde liegenden binären Beziehungen. Beispiel:

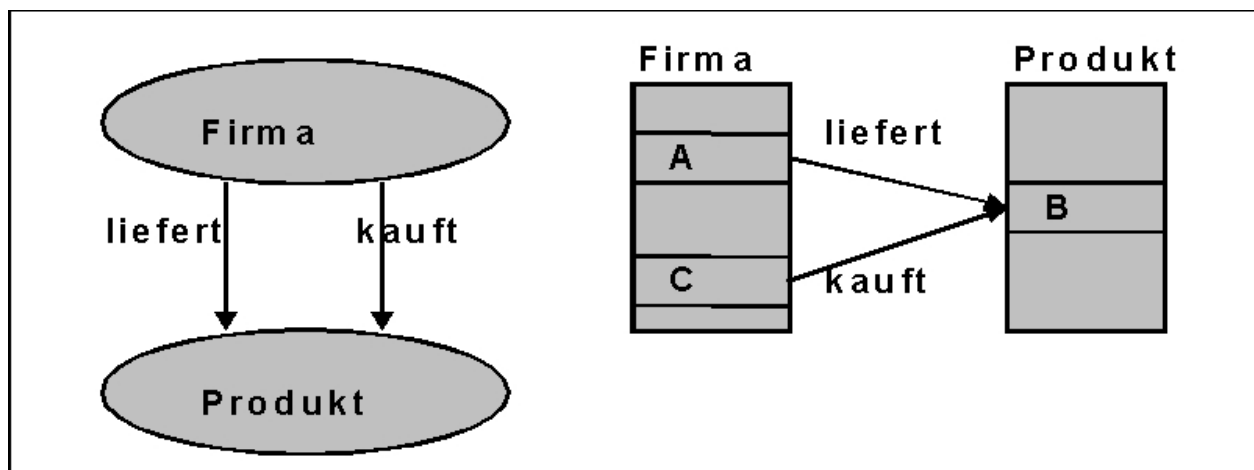
Aussage:

Firma A liefert Produkt B an Firma C.

Als Tupel einer Relation:

Firma/Lieferant	Produkt	Firma/Käufer
A	B	C

Als Binärbeziehungen im semantischen Datenmodell:



Alle Beziehungen sind m:n-Beziehungen, d.h. ein Produkt kann von verschiedenen Lieferanten an verschiedene Käufer geliefert werden. Die Verknüpfung der Beziehungen zu einer kombinierten Aussage wie oben dargestellt, ist in diesem Fall, im Gegensatz zu dem entsprechenden

Relationstupel, nicht eindeutig. Eine Lösung liegt darin, Produkt und Firma/Lieferant zu einem einzigen Entity zu verknüpfen, wie z.B. "VW Golf", wie es in der Praxis auch häufig vorkommt und anzustreben ist. Dadurch wird aus einer zu vermeidenden m:n-Beziehung zwischen Produkt und Lieferant eine n:1-Beziehung, so daß eine konjunktive Verknüpfung eindeutig ist.

Beziehungen können mit Strukturen verknüpft werden. Gegeben seien z.B. eine hierarchische Struktur "A gehört zu B", eine Beziehung "a wohnt in A" und eine Beziehungsregel "A gehört zu B UND a wohnt in A = a wohnt in B". Dann gilt mit A=München, B=Bayern und a=Peter:

München gehört zu Bayern UND Peter wohnt in München = Peter wohnt in Bayern.

Dies ist offenkundig nichts anderes als ein Mini-Expertensystem.

Ein Gegenbeispiel:

München gehört zu Bayern UND Peter ist Bürgermeister von München = Peter ist Bürgermeister von Bayern.

Offensichtlich ist vorauszusetzen, daß die Relationen "semantisch kompatibel" sind bzw. die Beziehungsregeln die Semantik widerspiegeln.

"Lernen" ist u.a. das Erkennen von Beziehungsregeln, vor allem das Erkennen von Teilmengen mit bestimmten Beziehungen, und die Schlußfolgerung daraus auf weitere Beziehungen. Aus der Erkenntnis beispielsweise, daß jedes (oder kein) Element einer Menge eine bestimmte Beziehung hat, läßt sich schließen, daß auch ein neu hinzukommendes Element dieselbe Beziehung haben wird. Auf diesem Induktionsprinzip

können lernende Systeme konstruiert werden.

Eine weitere, häufig auftretende Bedingung ist, daß jedes Element nur eine einzige Beziehung zu einem anderen Element eingehen kann oder darf. So hat jeder Mensch nur einen einzigen Geburtstag. Auf diese Weise können Beziehungsregeln als Plausibilitäts- und Integritätsbedingungen formuliert werden.

Daß die Struktur der Beziehungen sehr komplex werden kann, ist im Beispiel daran zu erkennen, daß sowohl Personen als auch Firmen eine Beziehung zu Orten haben und zwischen Personen und Orten mehrere Beziehungen bestehen. Dadurch können Redundanzen und Integritätsbedingungen entstehen: Firmenstandort und Beschäftigungsort beispielsweise müssen i.a. identisch sein!

So können verschiedene Bedingungen für Informationen gebildet werden, die nichts anderes als Beziehungsregeln darstellen und als solche zu realisieren sind:

Integritätsbedingungen: ist immer / ist nie

Restriktionsbedingungen: muß sein / darf nicht sein

Optimierungsbedingungen: soll sein / soll nicht sein

Die wesentlichen klassischen Operationen der mentalen Informationsverarbeitung sind:

- Klassifizierung und Identifizierung
- Generalisierung und Spezialisierung
- Aggregation und Disaggregation (Segregation).

Es sind Operationen auf Mengen:

- Klassifizierung ist die Zusammenfassung von Elementen einer Menge mit markanten Eigenschaften in Teilmengen (Klassen).
- Generalisierung ist die Zusammenfassung von Elementen verschiedener Mengen mit gemeinsamen Eigenschaften zu einer Obermenge.
- Aggregation ist die Zusammenfassung von zueinander in Beziehung stehenden Elementen verschiedener Mengen zu einem Element der durch die Beziehung bestimmten Menge.

Die Operationen dienen der Reduzierung von redundanter oder unwesentlicher Information zur effizienteren Verarbeitung und Kommunikation mittels Gedächtnis, Verstand und Sprache oder Schrift. Sie erlauben die implizite Zuordnung von Eigenschaften zu Elementen durch Schlußfolgerung bzw. Vermutung und haben dadurch auch eine wichtige Lernfunktion.

## Intelligenz und Wissen

Intelligenz ist nach dem allgemeinen Verständnis in erster Linie die Verarbeitung von Informationen im Gehirn. Daher stammt letztlich die unsinnige Wortschöpfung von der "künstlichen Intelligenz". Besser würde man von "intelligenten Maschinen" sprechen und auch das wäre maßlos übertrieben.

### **Definition des Intelligenzbegriffs:**

**Intelligenz** ist die Fähigkeit

- Ziele zu erkennen, zu bestimmen, auszuwählen und zu setzen,
- Wege zum Ziel zu finden (Zwischenziele suchen und planen) und
- zielgerichtete Handlungen auszuführen oder zu veranlassen.

Sowohl Ausgangssituation als auch Ziele sind Zustände. Die "Lebensaufgabe", sei es eine Systementwicklung oder die eigene Verhaltenssteuerung, besteht nun darin, einen Weg vom Ausgangszustand zum Zielzustand zu finden. Sprachlich wird dazu oftmals nicht der Zielzustand, sondern nur eine Änderung zum Ausgangszustand beschrieben: z.B. Verbesserung, Verkürzung, Verminderung, Erhöhung, Beschleunigung, Steigerung und dergleichen. Grundsätzliche Lebensziele sind in der Abb. "Formen der Intelligenz" dargestellt.

Intelligenz setzt sich zusammen aus den Fähigkeiten

- zur Wahrnehmung von Gegenständen und Vorgängen,
- zum logischen Denken,
- zum Speichern und Erinnern von Informationen sowie
- zur Umsetzung von Informationen in Handlungen, Gesten und Sprache.

Diese Fähigkeiten beruhen teilweise auf organischen oder körperlichen Funktionen, die vererbbar sind und der Evolution unterliegen. Somit kann auch gesagt werden, daß Intelligenz in diesem Sinne vererbbar ist.

Wahrnehmungsfähigkeit, Erinnerungs- und Denkfähigkeit zusammen bestimmen die Lernfähigkeit eines Menschen zur Anreicherung seines Wissens.

Der Umfang der Handlungsmöglichkeiten eines Lebewesens bestimmt die Nutzungsmöglichkeiten der Intelligenz. Die Handlungsmöglichkeiten sind hauptsächlich bestimmt durch die körperlichen und organischen Fähigkeiten und damit ebenfalls vererbbar.

Die Wahrnehmung eigenen Handelns schließt einen Regelkreis im Sinne der Kybernetik und ist eine Voraussetzung zur Erreichung der gesetzten Ziele, da nur auf diese Weise störende Einflüsse von außen oder falsch gesetzte Zwischenziele korrigiert werden können.

Eine wesentliche Komponente der Intelligenz ist die Einbeziehung von Phantasie und Intuition zur Erreichung von Zielen, für die es keine bekannten Wege gibt. Hier liegt im Kern der Unterschied zur maschinellen Intelligenz, die zwar den organischen Fähigkeiten des Menschen

hinsichtlich Schnelligkeit überlegen ist wenn es darum geht, bestehende Relationen zwischen Objekten der Welt zu berechnen, aber nicht fähig ist, neue Relationen zu bilden. Auch menschliche Intelligenz kann nicht wirklich Neues hervorbringen, sondern nur das, was sie in der Welt vorfindet, neu kombinieren.

Die Basis für die Festlegung der Wege und Zwischenziele ist Wissen.

**Wissen** ist die Menge von Informationen, die notwendig und geeignet ist zur Bestimmung und Durchführung zielgerichteter Handlungen.

Die Definition schließt Denkvorgänge als mentale Handlungen mit ein. Wissen ist also zweck- oder zielgerichtet, während Informationen an sich zweckneutral, und damit im Prinzip nutzlos(!) sind. Informationen sind erst dann sinnvoll, wenn sie das Verhalten beeinflussen; eine Eigenschaft, die man allerdings nicht immer prognostizieren kann und die oftmals erst zu einem späteren Zeitpunkt eintritt, wie die Schulbildung etwa. Wahrnehmung ist die Erfassung von Informationen, nicht von Wissen. Erst das Lernen, z.B. durch Lebenserfahrung, führt zu Wissen. Wissen ist demzufolge an handlungsfähige Subjekte gebunden und kommt nicht in "freier Form" vor.

Wissen ist Prämisse für bestimmtes Handeln, während andererseits als Ergebnis des Handelns neue Information entsteht, die wiederum Wissen für neues Handeln bilden kann. Es ist also möglich, daß vorhandenes Wissen ein bestimmtes Handeln ermöglicht, wie auch umgekehrt, daß bestimmtes Handeln die Beschaffung des dafür notwendigen Wissens voraussetzt. Wissen kann differenziert werden in Wahrnehmungswissen, das auf der *Syntax* von Information beruht, und in Verhaltenswissen, das

auf der *Semantik* von Information beruht.

Aus diesen Gründen ist nicht Information ein Produktionsfaktor der Wirtschaft, wie oft behauptet wird, sondern erst spezifisches Wissen (Know-how) wird zum Produktionsfaktor, während Information nur der Rohstoff dazu ist. Der Begriff des Rohstoffs ist nur dann sinnvoll, wenn das Verwendungsziel bekannt ist oder explizit angegeben wird. Information ist somit Rohstoff für Entscheidungen bei Handlungsalternativen.

### **Information ist Rohstoff, Wissen ist Produktionsfaktor der Wirtschaft.**

Wissen beinhaltet die Kenntnis von Ergebnissen und Konsequenzen einzelner Handlungen. Wissen ist also die Menge der Informationen zu einem Handlungs- oder Prozeßmodell nach dem Schema: "wenn ich dies tue, dann wird jenes passieren" und "um dies zu erreichen, muß ich jenes tun". Somit gehört zur Intelligenz auch die Fähigkeit, solche Regeln zu erkennen und anzuwenden (Wissenserwerb).

Eines der Hauptmerkmale menschlicher Intelligenz ist das schier unerschöpfliche Gedächtnis, das die gesamte Lebenserfahrung eines Menschen beinhaltet, gegenüber dem sehr beschränkten Datenspeicher eines Computers. Die Folge ist, daß ein Mensch zur Verhaltenssteuerung sehr viel "Umfeld-" oder "Sekundärinformation" aus seinem Vorrat an Erfahrungsinformation einbeziehen kann, über die ein Computersystem nicht oder nur nach expliziter Programmierung verfügen würde.

Ein weiteres Merkmal menschlicher Intelligenz ist die Einbeziehung impliziter Information bei sprachlichen Aussagen auf Grund von Erfahrung oder Konvention. Zum Beispiel die Aussage "es regnet" bedeutet implizit, daß es hier und jetzt regnet. Einem Computer müßte diese zusätzliche



Information explizit mitgeteilt werden. Viele Beschränkungen der Informations- und Kommunikationstechnik sind derart durch die Eigenheiten der Umgangssprache, bzw. die sich darin widerspiegelnde Art des Denkens bedingt.

Die vielzitierte Softwarekrise der Informatik ist am wenigsten ein Problem der Softwarekonstruktoren. Es ist zum einen ein Problem des mangelhaften Verständnisses von Information in der Informatik selbst, sowie ein Problem des historisch bedingten, "informatikfeindlichen" Umgangs mit Informationen. Letzteres äußert sich zum Beispiel in unsystematischen und unvollständigen Formulierungen staatlicher Gesetze und Verordnungen wie dem Steuer- oder dem Umweltrecht, die nur mit großen Schwierigkeiten in rechnergestützte Informationssysteme umzusetzen sind und damit hohe und unnötige volkswirtschaftliche Kosten oder gar Schäden verursachen. Solange dies nicht erkannt wird, ist mit einem Ende der Softwarekrise nicht zu rechnen.

Aus all diesen Gründen ist es ziemlich unsinnig, die tatsächlichen oder die wünschenswerten Funktionen und Eigenschaften eines Computers mit denen des Gehirns zu vergleichen, zumal ohnehin niemand weiß, wie das Gehirn logisch funktioniert. Entscheidend ist vielmehr, ob man für jede Aufgabe eine geeignete Maschine konstruieren kann. Ebenso sinnlos ist die philosophische Frage, ob man einen Computer mit "Seele" oder "Bewußtsein" konstruieren kann, da man dazu die beiden Begriffe zum mindesten erst genau erforschen und spezifizieren müßte.

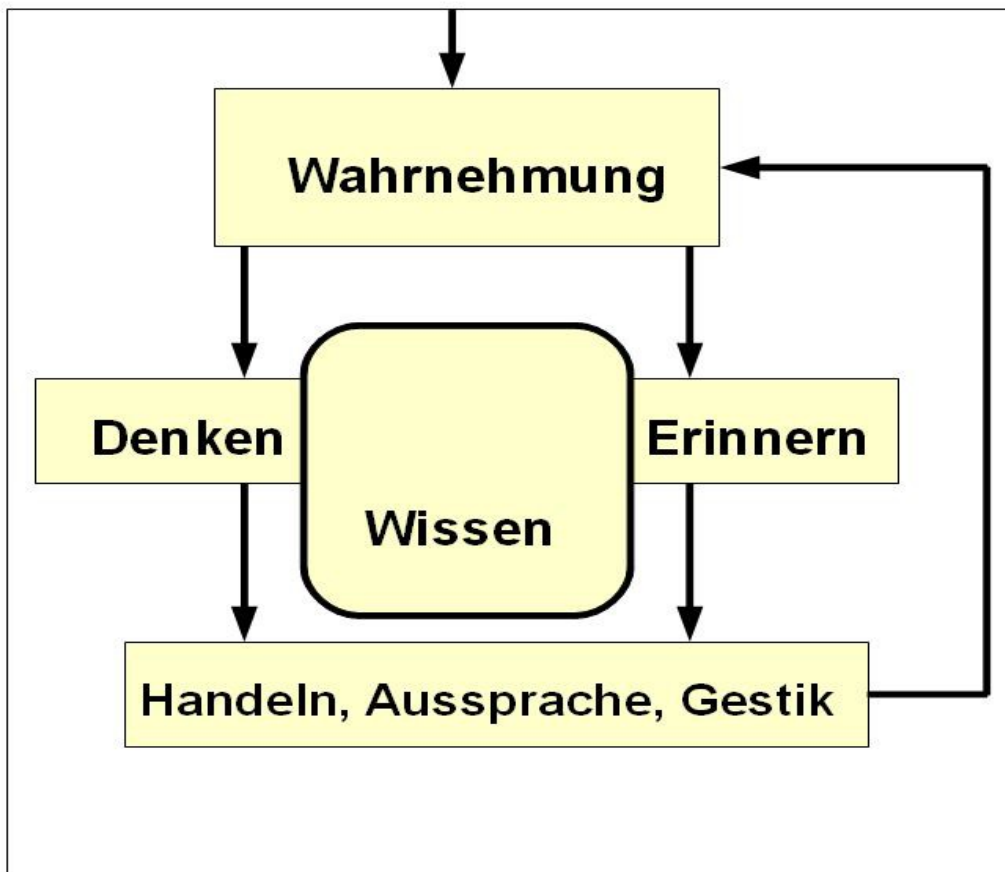
Die folgende Tabelle ist ein Versuch, die komplexe Bedeutung des Begriffes *Intelligenz* zu "sezieren", um die einzelnen Bestandteile der Erscheinungsformen menschlicher Intelligenz zu identifizieren. Sie sagt

nichts über die Funktionsweise aus.

### Formen der Intelligenz

Form	Ziel, Motiv	Träger	Erwerb	Prothesen
<b>biologisch</b>	Lebenserhalt.	Instinkt	Evolution	Mechanik
	Hunger, Angst	Körper	Training	
<b>formal</b>	Existenzsicher.	Verstand	Ausbildung	Computer
	Wohlstand	Gedächtnis		
<b>sozial</b>	Macht	Bewußtsein	Erziehung	Ämter, Titel
	Prestige		Erfahrung	Waffen
<b>mystisch</b>	"Himmel"	Unterbewußts.	Erziehung	Religionen
	Paradies	Seele		Ideologien

## Komponenten der Intelligenz



## Informatiksysteme

Entsprechend der vorbezeichneten Einteilung kann man die folgenden Informatiksysteme unterscheiden:

<b>Datensysteme</b>	Datenbanken
<b>Informationssysteme</b>	Informations-/Dokumentationssysteme
<b>Wissenssysteme</b>	Expertensysteme
<b>Zielsysteme</b>	???

Daten- und Informationssysteme sind Stand der Technik, Wissenssysteme sind als sogenannte Expertensysteme in Entwicklung und Gebrauch, während Zielsysteme lediglich eine Projektion der obigen Strukturierung darstellen und bisher nicht angedacht sind. Wirklich "intelligente" Maschinen müßten aber solche Systeme beinhalten, um selbständig Ziele und Zwischenziele setzen zu können! Die meisten solcher Maschinen sind nur auf ein einziges Ziel ausgerichtet, während der Mensch sich ständig neue Ziele setzen bzw. Zwischenziele suchen muß.

### **Intelligente Maschinen müssen über ein Zielsystem verfügen.**

Ein "Zielsystem" muß Ziele und Zwischenziele (Pfade zum Ziel) kennen und die Fähigkeit beinhalten, Abweichungen zwischen dem geplanten Pfad zum Ziel und dem augenblicklichen Standort festzustellen und zu korrigieren. Dies sind die Grundfunktionen der Systemkybernetik. Dazu gehören die Fähigkeiten zur Wahrnehmung und zum Soll-Ist-Vergleich,

wobei das Soll in einem Gedächtnis festgehalten werden muß. Menschliche Intelligenz beinhaltet die Fähigkeiten zum Auffinden und Auswählen alternativer Pfade zu einem Ziel, bzw. das Ändern eines Zieles bei Nichterreichbarkeit. Diese wiederum schließen die Fähigkeiten zur Bewertung von Alternativen und zur rationalen Entscheidung ein. Ein wesentlicher Aspekt der Intelligenz des Menschen ist seine Kreativität und seine Phantasie, um neue Ziele zu erkennen und zu bestimmen.

Die praktische, bisher ungelöste Schwierigkeit liegt in der formalen und vollständigen Beschreibung von Zielen, so daß die Zielerreichung algorithmisierbar und dadurch automatisierbar wird.

### **Information und Materie**

Sowohl in der Informatik als auch in der Nachrichten- und Kommunikationstechnik spielt der Träger von Information, das **Substrat** der Information, keine Rolle. Diese Fachbereiche zeichnen sich gerade dadurch aus, daß sie davon abstrahieren und sich deswegen unabhängig machen, womit der revolutionäre Erfolg dieser Technologien zu begründen ist. Generell ist das *Substrat* von Information in seinen verschiedenen Formen so charakteristisch und bedeutsam wie *Syntax* und *Semantik* und bleibt besonders für die Bio- und die Humanwissenschaften von höchster Wichtigkeit.

**Information ist unmittelbar oder mittelbar immer an Materie gebunden.**

## **Information ist eine eindeutige Abbildungsmöglichkeit materieller Strukturen aufeinander.**

Mit andern Worten: Information hat keine Eigenexistenz, sondern ist vielmehr ein "Phänomen" materieller Existenz. Ein Beweis für diese Behauptung kann nicht gegeben werden. Die Frage ist, ob es einen Gegenbeweis gibt, d.h. ob es Information ohne jeden Bezug zu Materie gibt. Auch Licht bzw. Energie als Informationsträger geht von Materie aus und dient ausschließlich der Informationsübertragung. Aus der Ableitung von Information aus materiellen Strukturen ergibt sich unmittelbar eine Verwandtschaft von Information und Entropie.

Die Behauptung hat daneben Konsequenzen auch für metaphysische, parapsychologische, mystische und ähnliche Phänomene. Es würde u.a. bedeuten, daß auch Gedanken sich höchstens mit Lichtgeschwindigkeit fortpflanzen können.

## **Informationen sind in Materie kodiert und werden erst durch Bewegung von Materie - d.h. durch Transkodierung - nutzbar.**

Diese Behauptung beruht auf Beobachtung. Die Kodierung wird nur durch Bewegung der Materie "lesbar". Dabei sind in der Regel mehrere Bewegungsschritte und Umkodierungen - d.h. Informationsübertragungen - notwendig bis die Information letztlich im Bewußtsein des Menschen ankommt. Zeichen und Zeichensysteme dienen dazu, materielle Strukturen bereitzustellen, die geeignet sind, Information zwischenzuspeichern, um sie übertragbar, haltbar und disponibel (z.B. kopierbar) zu machen.

Konsequenz aus der Behauptung ist, daß Information nicht ohne Übertragung oder Kommunikation existiert bzw. erst dadurch entsteht und

nutzbar wird. Beispiel: Eine CD-ROM ist lediglich eine Scheibe Metall mit strukturierter Oberfläche. Erst durch die Laserabtastung kann die Information gelesen werden.

Während die Information also in der Struktur von Materie gespeichert ist, wird sie erst durch den Fluß der Materie zu dem, was wir als Information wahrnehmen. Es ist zu beachten, daß die Quellstruktur durch das Lesen der Information verändert oder zerstört werden kann (Bestrahlung, Kontrastmittel) oder die Struktur selbst flüchtig ist. Ist in diesem Fall die Zielstruktur, also das Abbild der Quellstruktur, nicht persistent, dann geht die Information verloren.

Die der Materie aufgeprägte Struktur stellt die Syntax der Information dar und ist offensichtlich unabhängig vom Betrachter, während die Semantik der Information von einem informationserkennenden oder informationsinterpretierenden und letztlich von einem informationsverwertenden System bestimmt wird. Implizit ist damit auch gesagt, daß die Methode des Lesens auf die Methode des Speicherns (Codierung und Decodierung) genau abgestimmt sein muß, um die "richtige" oder verwertbare Information zu erhalten. Dies ist nur möglich durch gezielte Konstruktion oder kohärente Evolution. Die Anwesenheit von Information ist also von der Anwesenheit eines geeigneten Beobachters, d.h. eines wahrnehmungsfähigen, informationserkennenden Systems abhängig. Die Quelle jeder Information ist Differenzierung - beim informationserzeugenden wie auch beim informationserkennenden System. Der Informationsgehalt ist proportional zum Ausmaß der Differenzierung und umgekehrt proportional zur Regelmäßigkeit oder Ordnung der Struktur.

Ein nicht unwichtiger Parameter, besonders in der Biologie, ist die

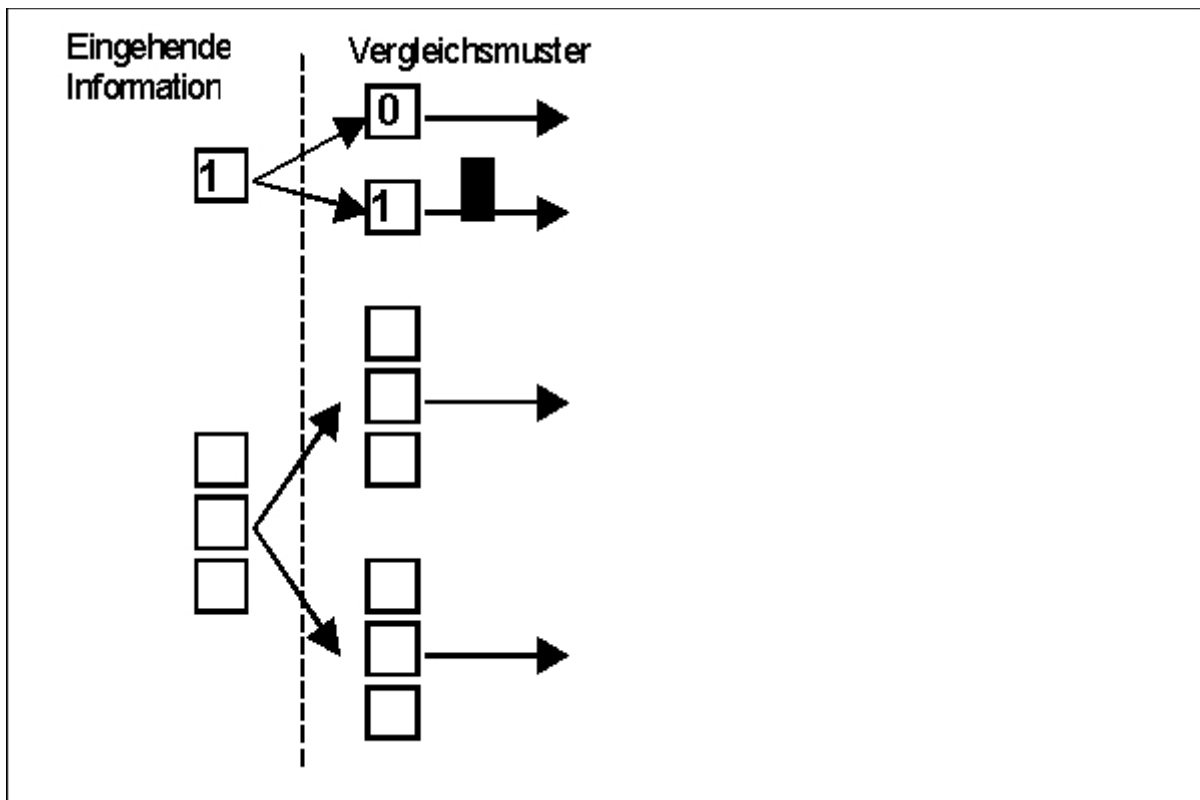
*Informationsdichte* der informationstragenden Struktur, die abhängig ist von der Systemdichte, der Körnigkeit oder Granularität des Substrats. Es ist unzweifelhaft, daß die Informationsdichte im Vergleich zu der schon sehr hohen Dichte des Gehirns noch beträchtlich gesteigert werden kann, wenn atomare oder subatomare Teilchen als Speicher- und Schaltelemente eingesetzt werden. Die Konsequenzen daraus sollen der Entwicklung der nächsten Jahrzehnte und der Spekulation überlassen bleiben.

Bei natürlichen Systemen ist der Fluß, bzw. die Veränderung von Materie die Ursache für die Entstehung von Information (Evolutionsprozess), während bei konstruierten, speziell technischen Systemen, die Information als Steuerungselement Ursache ist für Transport und Bearbeitung von Materie; d.h. sie dient hier einem vorgegebenen Zweck.

### **Erkennung und Identifizierung von Information**

Lokale Zustandsänderungen im Universum führen unwillkürlich zur Erzeugung von Information. Die Erkennung der Information ist eine grundlegende Funktion der Kognition und erfordert eine höhere Komplexität als deren Erzeugung. Es ist dafür gewissermaßen eine zusätzliche Dimension der informationserkennenden Struktur erforderlich. Das Ergebnis des Erkennungsprozesses kann dagegen ein einzelnes Bit sein.





Zur Identifizierung eines einzelnen Bits sind zwei Schalter notwendig, die jeweils einen der beiden möglichen Zustände repräsentieren und identifizieren. Zur Identifizierung eines Informationsmusters von 3 bit sind folglich  $2^3$  Schalter notwendig. Die Funktionsweise gleicht der eines Dekodierers. Wesentlich ist, daß die zu erkennenden Informationsmuster im informationserkennenden System in einem "Gedächtnis" bereits vorgegeben sind, um sie identifizieren zu können. Damit ergibt sich für die Informationserkennung bei Lebewesen ein "Henne-Ei-Problem"; d.h. woher kommt die Vergleichsinformation erstmalig? Eine mögliche Lösung liegt in der Vorgabe elementarer Vergleichsmuster im Verlauf der Evolution sowie in Lernprozessen durch redundante Wahrnehmung und durch Kommunikation. Das Vorhandensein äquivalenter Vergleichsmuster, also ein Modell der Außenwelt in der Innenwelt, bildet das Gedächtnis.

Nach diesem Prinzip wird die komplexe, von außen aufgenommene Information drastisch reduziert, bevor sie intern weiterverarbeitet wird. Zusätzlich werden Identifizierungsschritte hintereinandergeschaltet, um die Leistung weiter zu steigern. Dasselbe Prinzip wird seit langem in der Informatik zur Abfrage von Datenbanken verwendet: Indizierung in Form von (meist binären) Bäumen.

Ein Informationssystem auf der Basis eines Computers verarbeitet Symbole nach den Gesetzen der Mathematik und der Logik. Die Bedeutung der Symbole basiert auf einer Absprache zwischen dem Konstrukteur und dem Benutzer des Informationssystems. Die Verknüpfung von Syntax und Semantik findet also außerhalb des Computers durch Präsentation der Information in Symbolen und durch Interpretation der Symbole statt. Das Gehirn des Menschen aber führt diese Zuordnung selbsttätig durch. Das heißt, im Gehirn findet nach der Wahrnehmung der syntaktischen Sinnesreize von außen eine zweite, innere Wahrnehmung der semantischen Symbole statt. Die Syntax dient nur als Transportmittel der Information. Die Verarbeitung der Informationen im Gehirn, also das Denken, spielt sich auf der semantischen Ebene ab, was der Mensch schließlich als Bewußtsein empfindet bzw. als Empfindungen interpretiert. Dies ist der entscheidende Unterschied zwischen dem menschlichen Gehirn einerseits und dem Computer wie möglicherweise auch dem tierischen Gehirn andererseits. Die erstmalige Zuordnung von Syntax und Semantik erfolgt durch evolutionäres Lernen.

## Information und Beobachtung

Die Übertragung von Information ist möglich, weil materielle Strukturen im Bereich unserer Alltagserfahrung reproduzierbar bzw. homomorph abbildbar sind. Diese Bedingung gilt nicht mehr im Bereich der Quantenphysik, so dass dort andere Gesetze der Beobachtung gelten. Die Wissenschaftler und die Medien berichten dazu von sehr "seltsamen" Beobachtungen, wie z.B. der Verschränktheit von Quanten. Die uns vertrauten Gesetze der Information, wie die Möglichkeit der Vervielfältigung oder Kopie, der Übertragung, der Speicherung usw. gelten im Bereich der Quanten nicht mehr uneingeschränkt und sind gründlich zu hinterfragen.

Man stelle sich in einem Gedankenexperiment vor, als Beobachter allein in einem Universum zu sein, in dem nur noch ein einziges Photon sich herumtreibt. Die Existenz des Photons wird in dem Moment erkennbar, in dem es auf den Photonenrezeptor des Beobachters trifft. Im gleichen Moment aber wird es von diesem absorbiert und hört dadurch auf zu existieren. Das heisst, der Erkenntniszustand des Beobachters ist sowohl vor der Beobachtung als auch danach falsch! Es entsteht somit ein Paradoxon:

1. Photon existiert, ist aber nicht beobachtet.
2. Photon ist beobachtet, existiert aber nicht mehr als freies Photon.

Zu bedenken ist, dass nicht die Beobachtung an sich wahr oder falsch sein kann, sondern die aus der Beobachtung abgeleitete Aussage: das Photon existiert oder existiert nicht. Die menschliche Alltagserfahrung sagt, dass nur existente Dinge beobachtet werden können (im Gegensatz zu

Halluzinationen), so dass im Umkehrschluss beobachtete Dinge immer existent sind und die Beobachtung daher meist unausgesprochen mit der Aussage identifiziert wird. Dies aber gilt offensichtlich nicht bedingungslos, sondern man muss sogar sagen, es gilt überhaupt nicht. Mit andern Worten: Aus Beobachtungen direkt abgeleitete Aussagen sind in jedem Fall falsch! Sie können nur Zustände der Vergangenheit beschreiben und selbst diese gelten nur unter Berücksichtigung von Zeitverschiebungen für die Laufzeit von Beobachtungssignalen. Das Paradoxon kann aufgelöst werden durch einen quasi unendlichen Strom identischer Beobachtungen, so wie es der Alltagserfahrung entspricht.

### **Information und Entropie**

In manchen Publikationen liest man in verwirrender Weise, daß Information und Entropie verwandt oder gar dasselbe, oder auch das Gegenteil voneinander sind. Es wird einerseits argumentiert, daß Information quantitativ im umgekehrt proportionalen Verhältnis zur Entropie steht, daß in einem abgeschlossenen System also zunehmende Ordnung (Negentropie) auch zunehmende Information bedeutet. Die Begründung ist - auf Shannon beziehend - daß Ordnung mit geringerer Wahrscheinlichkeit auftritt, daher mehr Unsicherheit reduzieren kann und gemäß Definition mehr Information beinhaltet, während ein Zustand höherer Unordnung mit höherer Wahrscheinlichkeit eintritt, weniger Unsicherheit reduziert und daher weniger Information beinhaltet (Léon Brillouin 1951:

Information=Negentropie=Ordnung).

Demgegenüber ist zu argumentieren, daß eine Struktur hoher Ordnung (Schachbrett) weniger Zeichen (ergo weniger Kanalkapazität) benötigt zu ihrer Beschreibung als eine Struktur geringer Ordnung (Blumenwiese); daß eine Struktur hoher Ordnung also weniger Information beinhaltet als eine Struktur geringer Ordnung (Information=Entropie). Zur Beschreibung - und ebenso zur Konstruktion - eines Schachbretts genügen wenige Angaben. C.F. von Weizsäcker hat Entropie als potentielle Information und Negentropie als aktuelle Information bezeichnet. Hier soll für die Entropie, das ist also die nicht verfügbare oder fehlende Information über ein System, der Begriff "**Disformation**" verwendet werden. Sie ist auch die zur Beschreibung notwendige, bzw. in der Beschreibung enthaltene und übertragene Information; das heißt also, die Beschreibung ist nicht die im System bereits enthaltene Information, sondern sie ergänzt als Nachricht diese Information (=Disformation!), bewirkt somit den Informationszuwachs beim Empfänger im Sinne Shannons. Das System selbst wird dadurch nicht verändert. Information und Disformation zusammen ergeben die vollständige, maximal mögliche Information bzw. Ordnung eines Systems.

Die Ordnung eines (Informations-)Systems ist weniger eine Eigenschaft des Systems, als vielmehr eine Bewertung des Beobachters, inwieweit er Ordnung in der zu Grunde liegenden Struktur des Systems als semantische Information für sich erkennen kann. Die Anordnung der Elemente eines Puzzle beispielsweise wird dann als geordnet angesehen, wenn sich das gewünschte Bild ergibt. Sie könnten aber auch nebeneinander, sortiert nach einem beliebigen Kriterium angeordnet werden. Der Unterschied ist die Zweckmäßigkeit der Ordnung im Hinblick

auf die Zweckmäßigkeit der Information und diese unterscheidet Information und Wissen.

Es ist sowohl zu unterscheiden zwischen syntaktischer und semantischer Information (und Informationsgehalt!), als auch zwischen Information aus Sicht eines informationserzeugenden (-beschreibenden oder -kodierenden) Systems und eines informationserkennenden (kognitiven) Systems oder zwischen Informationsgehalt eines Senders und Informationsbedarf (Disformation) bzw. Informationszuwachs eines Empfängers. Dabei ist nicht apriori notwendig, daß die von Sender und Empfänger verwendeten Zeichensysteme (Kodierungen) übereinstimmen, wenngleich es aus naheliegenden Gründen zweckmäßig ist. Notwendig ist nur, daß auf der einen Seite Differenzierungen erzeugt und auf der anderen Seite Differenzierungen erkannt werden können. Das bedeutet unmittelbar, daß Information gleichermaßen vom beobachteten wie vom beobachtenden System abhängig ist. Im Gegensatz zu Energie und Materie ist die Existenz von Information nicht ohne die Anwesenheit eines beobachtenden Systems gegeben! Entscheidend für das Informationsmaß ist sowohl die Anzahl der unterscheidbaren Differenzen (Anzahl verschiedener Zeichen) als auch die Regelmäßigkeit ihrer Anordnung. Ein ganz wesentliches Kriterium für die Bestimmung von Information ist der Umstand, daß die Erkennbarkeit eines Objektes der Welt bereits eine Struktur voraussetzt, die somit für nutzbare Information nicht mehr zur Verfügung steht, weil sie unveränderlich an die Erkennbarkeit des Objektes als solches gebunden ist und als **Präformation** bezeichnet werden kann. Die "Gesamtformation" einer Struktur ergibt sich so aus der Summe von (nicht nutzbarer) Präformation, (nutzbarer) Information und Disformation. Blumenwiese und Schachbrett unterscheiden sich also grundlegend in ihrer Präformation, die bereits in

der Bedeutung des Wortes "Schachbrett" enthalten ist, während die Größenangabe die zur Vollständigkeit noch fehlende Information, also gleich der Disformation ist. Unter den sechs Zahlen einer Lottoziehung könnte die Zahl 30 mal die kleinste, mal die größte Zahl sein, die 1 wäre aber immer die kleinste und 49 immer die größte. 1 und 49 hätten diesbezüglich also hohe Präformation und null Information!

Da Information, wie weiter oben beschrieben, an materielle Strukturen gebunden ist, muß Energie aufgewendet werden, um Information zu erzeugen, zu übertragen und auch zu erkennen, zu identifizieren und zu messen. Die "Verarbeitung" von Information dagegen erfordert prinzipiell keine Energie, denn die Verarbeitung ist ein logischer, kein physischer Vorgang. In der technischen Praxis allerdings ist auch die Verarbeitung in aller Regel an physische Vorgänge gekoppelt, wie an den Datentransport zwischen Speicher und Prozessor. Ein abgeschlossenes System im Zustand höchster Entropie kann bei Zuführung externer Energie maximale Information bzw. Ordnung aufnehmen (importieren), das ist die in der Beschreibung enthaltene bzw. mit den Sinnen wahrnehmbare Disformation; es kann aber keine nutzbare Information abgeben (exportieren), sondern nur die nicht nutzbare Präformation, z.B. die zufällige Position und Bestimmung der Blumen auf der Wiese. Die Aufnahme einer Informationseinheit ist dann mit dem geringsten Aufwand verbunden. Die Informationskapazität des Gehirns ist nicht nur seiner Größe, sondern insbesondere seiner Plastizität als Irregularität oder Unordnung zuzuschreiben; das sind die Eigenschaften, die meist als Komplexität verstanden werden. Im Zustand höchster Ordnung dagegen (z.B. Schachbrett oder sortierte Reihenfolge, also geringe Komplexität) kann ein System maximale Information abgeben und maximale

Disformation als Unordnung aufnehmen. Jede weitere Zufuhr von Ordnung bzw. Energie erhöht dann nur die Redundanz.

Eine zufällige Verteilung, wie die Blumen in einer Wiese, hat kaum semantische Information, ihre Beobachtung und Beschreibung aber erfordert ein Höchstmaß an Aufwand bzw. syntaktischer Information! Daher ist es lernpsychologisch äußerst wichtig und infolgedessen auch lebenswichtig für ein Individuum, in der Lebenswelt Muster und Ordnungen zu erkennen. Die Verschwommenheit und Abstraktheit des Informationsbegriffes und die unklaren Zusammenhänge mit Energie und Entropie verführen in der Auseinandersetzung mit der unvorhersehbaren Lebenswelt immer wieder zu den absurdesten Spekulationen. Das sind naturgemäß besonders Spekulationen über den menschlichen Geist und über biologische Systeme im allgemeinen, in denen geheimnisvolle Informationen wirksam gesehen werden, so wie im Altertum die chaotischen und unverstandenen Naturerscheinungen dem Ordnung stiftenden Wirken von Göttern zugesprochen wurden.

### **Nachwort**

Zusammenfassend bedeutet dies insbesondere, daß beispielsweise das menschliche Bewußtsein und die Intelligenz sowohl auf der Ebene (d.h. in der Sprache) der Information phänomenologisch erklärt werden können, wie es in der klassischen Philosophie und auch in der Psychologie der Fall ist, als auch materialistisch-funktional auf der Ebene der Chemie, Physik und Molekularbiologie, wie es Naturwissenschaftler mit den heute



verfügbaren Analysegeräten versuchen. Zwischen den beiden grundsätzlich disjunkten Sprachebenen gibt es nur sehr wenige, sporadische Beziehungen, wie z.B. die Sprachfähigkeit und die dazugehörigen Gehirnareale (Broca- und Wernickezentrum). Als dritte Sprachebene zwischen den beiden anderen liegt diejenige der Anatomen, Anthropologen und Mediziner mit organisch-wirkungsbezogenen Erklärungsmustern. Pharmakologen fungieren als Dolmetscher zwischen den Sprachebenen der Mediziner wie auch bereits der Psychologen einerseits und der Chemiker andererseits.

Es darf vermutet werden, daß die Funktion des Gehirns nicht auf der in der Digitaltechnik verwendeten Minimalzahl unterscheidbarer Zustände, also zwei, beruht, sondern auf einer sehr großen Zahl von Zuständen. Und es darf vermutet werden, daß die Funktion des Gehirns nicht auf mechanisch-deterministischen Schaltern, sondern auf stochastischen Prinzipien beruht, ähnlich den Gesetzen der Thermodynamik. Nur so sind die einheitliche Wahrnehmungsleistung aller Individuen einer Spezies, die Zuverlässigkeit, die Robustheit, die Stabilität und trotz dem die Flexibilität des Gehirns zu erklären. Darüber hinaus kann vermutet werden, daß bewußtes Wahrnehmen, Denken und Erinnern ein und dieselbe biologische Funktion sind, da es keine externe Instanz geben kann, die zwischen den Funktionen "umschaltet". Das "Umschalten" könnte selbst nur wieder eine Funktion des Gehirns sein.

Information ist ein emergentes Phänomen der materiellen Welt und nicht real existent. Sie entsteht erst durch die Wahrnehmung des Menschen (oder anderer informationserkennender Systeme) und seiner Interpretation der wahrgenommenen Formen. Information ist deshalb keinesfalls

gleichzusetzen mit Materie und Energie, obwohl sie untrennbar mit diesen verbunden ist. Sie ist daher immer an die grundlegenden Gesetze von Physik und Chemie gebunden. Das ändert nichts an ihrer Erscheinungsform und an ihrer Bedeutung für den Menschen. Im Gegenteil ist es umso faszinierender, wie materielle Strukturen in Form von Organismen aufeinander einwirken können. Es ändert jedoch manche Weltbilder hinsichtlich dem Wesen von Bewußtsein, Intelligenz, Geist und Seele und der Bedeutung und der Wertigkeit des Menschen in der Welt. Dessen Verhalten wird weniger von Kognition, als vielmehr von Suggestion und Illusion geleitet. Die Kognition bildet dazu nur den Auslöser. Informationen erzeugen im Bewußtsein nicht Informationen, sondern Szenarien. Deshalb ist das Gehirn kein Computer und der Computer kein Gehirn.

Die Loslösung der Information von ihrem Substrat steigert ihre Disponibilität und verringert ihre Redundanz. Dadurch zwingt sie zur Interpretation, provoziert Mißverständnisse und verliert ihre Verlässlichkeit. Information hat sich wegen ihrer Disponibilität zur ökonomischen Ware gewandelt und damit ihre wichtigste Funktion, die Regelung der zwischenmenschlichen Beziehungen, eingebüßt.

Leben ist Informationsmangel, Drang zur Eroberung von Erkenntnis. Der Grundzustand des Lebens ist Unordnung. Allwissenheit würde bedeuten, keine Überraschungen, keine Freude, keine Angst zu haben. Die vollständige Kenntnis des menschlichen Genoms könnte den Menschen zur Maschine machen: alles kann repariert, perfektioniert werden. Der perfekte Endzustand macht Erkenntniszunahme unmöglich und unnötig. Totale Information würde das Ende dessen bedeuten, was das Leben ausmacht.