

Der folgende umfangreiche Beitrag

## „Ordnung und Information in Technik und Natur“

wurde als Vortrag am 8. Oktober 1981 während des zweitägigen wissenschaftlichen Seminars (07. - 08.1981) unter dem Generalthema „**Struktur und Information in Technik und Natur**“ in der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt in Braunschweig gehalten und in dem PTB-Bericht ATWD-18 publiziert.

Diesem längeren Aufsatz kommt inzwischen eine gewisse historische Bedeutung zu, da hier zum ersten Mal die Anfänge der von mir entwickelten „Naturgesetzlichen Informationstheorie“ vorgestellt wurden.

Der heutige Stand ist in meinem Buch „Information – Der Schlüssel zum Leben“ (CLV-Verlag, 5. Auflage 2016) nachzulesen und wird als „Theorie der Universellen Information“ (TUI) bezeichnet. Ihrem Wesen nach ist diese Theorie insofern besonders, als sie eine **naturgesetzliche** Informationstheorie darstellt. Kennzeichnend hierfür sind die drei nachstehend neuen Aspekte:

1. Information ist eine nicht-materielle Größe, die daher nicht der Materie zugeordnet werden kann.
2. Erstmals wurden Naturgesetze für eine nicht-materielle Größe formuliert (NGI = Naturgesetze für Information).
3. Die **Naturgesetze der Information** (NGI) erlauben weitgehende Schlussfolgerungen, die als Beweisform anzusehen sind. So wie die „Unmöglichkeit eines Perpetuum mobile“<sup>1</sup> aus dem physikalischen Energiesatz folgt, lässt sich aufgrund eines NGI die „Unmöglichkeit eines Perpetuum mobile der Information“ formulieren, das in der Anwendung manch eine eingefahrene Theorie widerlegt.

Werner Gitt

Januar 2018

---

<sup>1</sup> Als **Perpetuum mobilia** (lat. „*sich ständig Bewegendes*“) werden hypothetische Geräte oder Vorgänge bezeichnet, die nicht realisierbar sind:

- 1) Ein **Perpetuum mobile erster Art** ist eine Maschine, die dem 1. Hauptsatz der Thermodynamik (= Energieerhaltungssatz) widerspricht. Eine solche Maschine würde aus dem Nichts Energie erzeugen, aber dagegen spricht ein Naturgesetz, und darum ist es prinzipiell nicht möglich.
- 2) Ein **Perpetuum mobile zweiter Art** ist eine Maschine, die Arbeit aus der Umgebungswärme gewinnt, ohne dass ein Temperaturgefälle notwendig wäre. Eine solche Maschine verletzt zwar nicht den Energie-Erhaltungssatz, jedoch ein anderes Naturgesetz, nämlich den zweiten Hauptsatz der Thermodynamik, weil die Umwandlung von Arbeit in Wärme immer irreversibel geschieht.
- 3) Ergänzend zu den beiden zuvor genannten Perpetua mobilia können wir ein **Perpetuum mobile dritter Art** definieren. Es wäre ein Prozess, bei dem Information ohne Intelligenz entstehen könnte. Vorgänge solcher Art sind prinzipiell auszuschließen wegen der Naturgesetze der Information.

**Physikalisch-  
Technische  
Bundesanstalt**

**PTB-Bericht**

PTB-ATWD-18

Oktober 1981

W. Gitt (Herausgeber)

STRUKTUR UND INFORMATION IN TECHNIK UND NATUR

(Vorträge des 37. PTB-Seminars)

ISSN 0341-6682

**PTB**

## Die Serien der PTB-Berichte

Abteilung Akustik	PTB-Ak
Abteilung Atomphysik	PTB-APh
Abteilung Allgemeine Technisch-Wissenschaftliche Dienste	PTB-ATWD
Dosimetrie	PTB-Dos
Abteilung Elektrizität	PTB-E
Elektronische Entwicklung	PTB-EW
Forschungs- und Meßreaktor Braunschweig	PTB-FMRB
Institut Berlin der PTB	PTB-JB
Literaturzusammenstellungen und Veröffentlichungsverzeichnisse	PTB-L
Abteilung Mechanik	PTB-Me
Medizinische Meßtechnik	PTB-MM
Neutronendosimetrie	PTB-ND
Internationale Organisation für Gesetzliches Meßwesen	PTB-OIML
Abteilung Optik	PTB-Opt
Radioaktivität	PTB-Ra
Abteilung Sicherstellung und Endlagerung radioaktiver Abfälle	PTB-SE
Abteilung Wärme	PTB-W

### Physikalisch-Technische Bundesanstalt Braunschweig und Berlin

Die Physikalisch-Technische Bundesanstalt (PTB) ist natur- und ingenieurwissenschaftliches Staatsinstitut und zugleich technische Oberbehörde im Dienstbereich des Bundesministers für Wirtschaft. Sie beschäftigt etwa 1300 Mitarbeiter, davon 300 mit wissenschaftlicher Vorbildung, in 18 allgemeinen Referaten und mehr als 100 Laboratorien, die in 9 Abteilungen in Braunschweig (Mechanik, Elektrizität, Wärme, Optik, Akustik, Atomphysik, Reaktorstrahlung, Allgemeine Technisch-Wissenschaftliche Dienste, Sicherstellung und Endlagerung radioaktiver Abfälle-SE) und im Institut Berlin der PTB zusammengefaßt sind.

*Aufgaben der Bundesanstalt:* Physikalische und ingenieurwissenschaftliche Forschung – Präzisionsbestimmung physikalischer Konstanten – Realisierung und Weitergabe physikalischer Einheiten – Darstellung von Temperatur- und Zeitskalen – Bauartprüfung und Zulassung von Meßgeräten, Spielgeräten und zivilen Schußwaffen – Bauartprüfung auf dem Gebiet der Sicherheitstechnik, des Strahlenschutzes, der Heilkunde und der Überwachung des Straßenverkehrs – Technische Prüfung und Genehmigung der Beförderung und Aufbewahrung von Kernbrennstoffen – Auftragsprüfung und wissenschaftlich-technische Beratung – Ausarbeitung technischer Vorschriften und Richtlinien – Mitwirkung in nationalen und internationalen Fachgremien – Meßtechnische Bildungs- und Entwicklungshilfe.

*Veröffentlichungen:* **PTB-Mitteilungen** (zweimonatlich erscheinendes wissenschaftliches und amtliches Fachorgan der PTB), **Jahresbericht der PTB** (erscheint im Februar des folgenden Jahres), **PTB-Berichte** (als Manuskript gedruckte Einzelarbeiten; sie erscheinen nach Fachgebieten geordnet in mehreren Serien), **PTB-Prüfregeln** (Regeln für die Prüfung von Meßgeräten und Betriebsmitteln mit Beschreibung der Prüfverfahren), **Eichanweisung** (allgemeine Verwaltungsvorschriften für die Eichung von Meßgeräten), **Eichordnung** (technische Rechtsvorschriften für die Eichung von Meßgeräten), **Technische Richtlinien** (Informationen und Empfehlungen für die staatlich anerkannten Prüfstellen für Meßgeräte), **Informationsbroschüren**, **Presse-Informationen**.

*Anschriften:* Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Bundesallee 100, 3300 Braunschweig – Telefon: 05 31 / 59 21, Durchwahl über 5 92 – Telex: 9 52 822 ptb d – Telegramme: bundesphysik braunschweig

Institut Berlin der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt, Abbestraße 2-12, 1000 Berlin 10 (Charlottenburg) – Telefon: 0 30 / 3 48 11, Durchwahl über 34 81 – Telegramme: bundesphysik berlin.

PHYSIKALISCH - TECHNISCHE BUNDESANSTALT

Abteilung Allgemeine technisch-wissenschaftliche Dienste

Bericht ATWD-18

STRUKTUR UND INFORMATION IN TECHNIK UND NATUR

(Vorträge des 37. PTB-Seminars)

von

Werner Gitt (Herausgeber)

Braunschweig, Oktober 1981

ISSN 0341-6682

## Inhaltsübersicht

	Seite
Vorwort	1
Ziel des 37. PTB-Seminars	3
Prof. Dr. med. E. Blechschmidt: Gestaltungsvorgänge in der menschlichen Embryonalentwicklung	5
Prof. Dr. med. K. Trincher: Die Nicht-Anwendbarkeit der Theorie der dissipativen Strukturen in der Biologie und das Biothermodynamische Grundgesetz	19
Dr. rer. nat. J. Scheven: Welche Aussagen sind aufgrund der Fossilien möglich?	37
Prof. Dr. rer. nat. V. Gutmann: Strukturdynamik und Energieübertragung	57
Prof. Dr. rer. nat. B. Vollmert: Bedingungen für die Bildung von Makromolekülen	77
Prof. Dr. rer. nat. H. Schneider: Datierungsmethoden und ihre physikalische Relevanz	105
Prof. Dr. phil. A. Locker: Selbstorganisation - systemtheoretisch und metatheoretisch betrachtet	137
Prof. Dr. rer. nat. Dipl.-Ing. E. Bertsch: Mutationen aus der Sicht der Informatik	155
Prof. Dr.-Ing. W. Gitt: Ordnung und Information in Technik und Natur	165

## Vorwort

Das am 07. und 08. Oktober 1981 in der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt (PTB) stattfindende PTB-Seminar dürfte insofern eine Sonderstellung in der Reihe dieser Seminare einnehmen, als versucht wird, durch eine interdisziplinäre Veranstaltung einen breiten Bogen innerhalb der Naturwissenschaften zu schlagen. So dürfen wir dankbar feststellen, daß es möglich war, namhafte Wissenschaftler ihres Fachgebiets als Vortragende zu gewinnen. Es muß das Grundanliegen aller wissenschaftlichen Bemühungen sein, durch Forschung die Sachverhalte der Natur so wirklichkeitsgetreu wie möglich zu erfassen und dann in Form von Naturgesetzen, Naturkonstanten, Formeln und Sätzen darzulegen. Auch die PTB arbeitet an dieser Aufgabe und hat insbesondere im Bereich des Messens mit hoher Präzision große Erfolge zu verzeichnen. Eine wichtige Voraussetzung für eine fruchtbringende wissenschaftliche Arbeit ist der "know-how"-Transfer unter den Wissenschaftlern; dabei darf die kritische Betrachtung gängiger Modellvorstellungen nicht zu kurz kommen. Da Modelle ihrem Wesen nach nur Näherungen der wirklichen Sachlage darstellen und darum prinzipiell verbesserungsfähig sind, tragen sie den Charakter der Vorläufigkeit. Sind Tatsachen und Modellvorstellungen mit Hypothesen zu einer Theorie verarbeitet, so haftet ihr durch das hypothetische Element unausweichlich Unsicherheit an - bestenfalls können ihre Aussagen mit einer gewissen Wahrscheinlichkeit angegeben werden.

Noch nicht gesicherte wissenschaftliche Aussagen enthalten wegen lückenhafter empirischer Erkenntnisse eine spekulative Komponente und stellen somit eine vorläufige Erklärung einer Tatsache dar. Es ist leider immer wieder zu beobachten, daß im Rahmen der Wissenschaften noch nicht genügend ausdiskutierte Probleme in der Sekundärverbreitung (z. B. Schulbücher, Massenmedien, Populärwissenschaft) als endgültig geklärt unterstellt werden. Eine auf diese Weise festgeschriebene Aussage kann dem Fortgang wissenschaftlicher Arbeiten oft hinderlich sein. Max Planck (Vorträge und Erinnerungen, S. Hirzel Verlag, Stuttgart, 1949, S. 13) hat eine solche Situation sehr pointiert formuliert: "Eine neue wissenschaftliche Wahrheit pflegt sich nicht in der Weise durchzusetzen, daß ihre Gegner überzeugt werden und sich als belehrt erklären, sondern vielmehr dadurch, daß die Gegner allmählich aussterben und daß die heranwachsende Generation von vornherein mit der Wahrheit vertraut gemacht wird."

Er bringt damit zum Ausdruck, daß es nicht immer leicht ist, einen neuen Weg zu beschreiten.

Bei aller Würdigung seiner hervorragenden wissenschaftlichen Leistungen möchten wir Max Planck nicht voll zustimmen, weil wir hoffen, daß Fachleute in sachlicher Auseinandersetzung sich von Tatsachen überzeugen lassen - ganz im Sinne von Newtons bekannter Äußerung "Um neue Tatsachen anzuerkennen, brauche ich keine Hypothesen, sie zu erklären."

Wir freuen uns über die zahlreichen neuen Forschungsergebnisse, die in den Manuskripten dargelegt sind und begrüßen es, daß die Autoren auch gängige Hypothesen einmal kritisch betrachten und neue Wege aufzeigen. Möge dieses Seminar zu einer fruchtbaren und sachlichen Diskussion führen.

Werner Gitt

Ziel des 37. PTB-Seminars

W. Gitt

In den Naturwissenschaften sind heute zwei sich negativ auswirkende Entwicklungen erkennbar:

1. Durch die zunehmende Spezialisierung der Wissenschaftler auf den häufig sehr engen Bereich der eigenen Forschung kommt es unter den Vertretern der verschiedenen Fachbereiche weitgehend zu einer Entfremdung. Man versteht kaum noch die Fachsprache des anderen, und die Arbeitsmethoden und -prinzipien in anderen Disziplinen sind einem noch weniger geläufig. So wiederholt es sich - bildlich gesprochen -, daß das Rad immer wieder neu erfunden wird. Der Schaden einer solchen Entwicklung ist einsichtig.
2. In den Naturwissenschaften ist immer wieder zu beobachten, daß sich mancherorts Spekulationen und Aussagen philosophischen Ursprungs breit gemacht haben, die einer ausschließlich auf Fakten begründeten Forschung hinderlich sind.

Um beiden o. g. Tendenzen entgegenzuwirken, muß einem "know-how"-Transfer zwischen den unterschiedlichen Disziplinen der Naturwissenschaften große Bedeutung beigemessen werden. Außerdem muß es für wichtig erachtet werden, sich über die Grenzen naturwissenschaftlicher Aussagefähigkeit Rechenschaft zu geben. Diesen Zwecken soll das o. g. Seminar dienen.

ORDNUNG UND INFORMATION IN TECHNIK UND NATUR

W. Gitt \*

Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Braunschweig

Die Begriffe 'Ordnung' und 'Information' spielen nicht nur in einigen wissenschaftlichen Spezialdisziplinen, sondern in vielen Bereichen unserer realen Welt eine zentrale Rolle und werden dabei in sehr unterschiedlichen Zusammenhängen verwendet. In den Wissenschaften ist es wegen der häufig unterlassenen Präzisierung und Abgrenzung dieser Begriffe, d. h. wegen ihrer Verwendung im umgangssprachlichen Sinne, immer wieder zu Mißverständnissen und Fehlinterpretationen gekommen. Daher bedürfen diese schwer zu fassenden Begriffe einer sehr eingehenden Untersuchung, deren Ergebnisse interdisziplinär hilfreich sein sollen.

In der vorliegenden Arbeit werden der Begriff 'Ordnung' in vier Bereiche und der Begriff 'Information' in fünf Ebenen gegliedert. Durch diese Systematisierung sowie durch die Herausstellung zahlreicher Definitionen, Kennzeichen und allgemeiner Gesetzmäßigkeiten wird versucht, insbesondere das Wesen der Information für einen möglichst breiten Anwendungsbereich zu beschreiben, der weit über die Grenzen der Informatik hinausgeht. So sprechen z. B. die Ergebnisse der Arbeit in ihrer Konsequenz gegen die immer wieder behaupteten Postulate der Selbstentstehung von Information und stellen damit die weithin akzeptierte Evolutionslehre in Frage.

The terms 'order' and 'information' play an important part not only in some special scientific areas of work but also in many domains of everyday life, and they are used in a variety of contexts. In the field of science, dissensions and misinterpretations have occurred again and again because these terms were not defined precisely enough but used in a merely colloquial way. Hence, these terms difficult to be defined call for a very thorough investigation whose results, hopefully, shall be an interdisciplinary aid to science. In the paper at hand,

\*Dir. u. Prof. Dr.-Ing. W. Gitt, Leiter der Datenverarbeitung bei der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt in Braunschweig

the term 'order' shall be arranged into four domains and the term 'information' into five levels. By introducing this system as well as by highlighting numerous definitions, criteria, and general laws we shall try to describe especially the essence of information for as wide a range of applications as possible, a range by far exceeding the limits of computer science. As an example, the results of this paper contradict the repeatedly maintained proposition of the selforganisation of information; thereby, they make questionable the doctrine of evolution so widely accepted.

### 1 Was ist Ordnung?

In den Naturwissenschaften ist man darum bemüht, die Phänomene so genau wie möglich zu beschreiben, d. h. man versucht sie durch mathematische Formeln quantifizierbar darzustellen oder aber in allgemeingültigen Sätzen zu formulieren. Für den Begriff Ordnung scheint dies zunächst aussichtslos zu sein. So schreibt P. G. Wright [28]:

"It is not to be expected that there will be any exact correlation between precise quantitative concepts and intuitive qualitative ideas which cannot be other than imprecise."

In [9] sind einige Sätze angegeben, die als Ausgangspunkt der Betrachtungen dienen können:

Satz 1 (Norbert Wiener): Je wahrscheinlicher ein Schematyp ist, desto weniger Ordnung enthält er, denn Ordnung ist ihrem Wesen nach ein Mangel an Zufälligkeit.

Satz 2: Ordnung ist ein Zustand geringerer Wahrscheinlichkeit und stellt sich darum nicht von selbst ein.

Satz 3 (R. Arnheim): Unordnung ist das Endresultat des Übergangs von einer Elementarverteilung niedriger Wahrscheinlichkeit zu einer Elementarverteilung hoher Wahrscheinlichkeit.

Der Begriff Ordnung kann nicht losgelöst von den Begriffen Wahrscheinlichkeit, Struktur, Komplexität und Information betrachtet werden, wenn wir ihn möglichst allgemein fassen wollen. Zahlreiche Verfasser haben sich mit mehr oder weniger eng gefaßten Teilproblemen befaßt wie "Magnetische Ordnung" [26], "Phasenübergänge in Physik und Biologie" [25], "Dissipative Strukturen" [14], "Synergetik" [10], Komplexität von Schneeflocken [21], "Spinnennetze: Plan

und Baukunst" [ 2] und sie im Rahmen ihrer speziellen Aufgabenstellung beschrieben. Wir wollen hier den Versuch unternehmen, eine möglichst breit angelegte Systematik für den Ordnungsbegriff zu gewinnen, die z. B. Kristalle ebenso enthält wie die äußerst komplexen Strukturen der Biologie. Ein Kristall ist offenbar von wesentlich anderer Ordnungsart als z. B. das Durchblutungssystem in einem Muskel (Bild 1), die Mittelohrstruktur (Bild 2) oder die mikroskopische Struktur der menschlichen Augenlinse (Bild 3 und 4) [15].

Nach Bild 5 wollen wir Ordnung in zwei große, prinzipiell zu unterscheidende Bereiche aufteilen, die sich jeweils in zwei Teilbereiche gliedern:

1. Naturgesetzlich bedingte Ordnung (Ordnung "von selbst"; ohne Code)
  - a) wahrscheinlichkeitsbedingte Ordnung
  - b) energetisch bedingte Ordnung
2. Absichtsbedingte Ordnung (Ordnung nach Plan, Idee, Konzept; mit Code)
  - a) Hardware (über Code entstanden)
  - b) Software (durch Code dargestellt)

### 1.1 Naturgesetzlich bedingte Ordnung

Die hier betrachteten Ordnungsphänomene lassen sich ausschließlich im Rahmen der Naturgesetze von Physik und Chemie unter Einbezug der Anfangsbedingungen erklären.

a) Wahrscheinlichkeitsbedingte Ordnung bzw. Unordnung: Es handelt sich hierbei um Systeme, deren Teilchen untereinander nicht oder nur wenig wechselwirken. Als typisches System dieser Art können ideale Gase angesehen werden. Der Ordnungsgrad solcher Systeme läßt sich 'quantitativ' durch ihre Entropie beschreiben. Für abgeschlossene Systeme gilt der 2. Hauptsatz, der besagt:

Satz 4: Es ist unmöglich, daß in der Natur ein Vorgang von selbst abläuft, bei dem weiter nichts geschieht, als daß die Entropie abnimmt.

Häufig hat die zunehmende Entropie die anschauliche Bedeutung von zunehmender Unordnung. In den folgenden Beispielen ist der zeitliche Richtungssinn der Vorgänge durch eine Tendenz abnehmender Ordnung, d. h. Entropiezunahme, gekennzeichnet:

- Temperatenausgleich zweier sich berührender Eisenblöcke mit unterschiedlichen Temperaturen

- Druckausgleich zweier verbundener Gasvolumina mit unterschiedlichem Druck
- Mischung von Gasen
- Konzentrationsausgleich zweier verbundener Gefäße mit Salzlösungen unterschiedlicher Konzentration

Die nach bestimmten Kriterien getrennten, sortierten oder einheitlich ausgerichteten Partikel charakterisieren einen höheren Ordnungsgrad als die miteinander vermischten Zustände. Von selbst stellen sich immer die ungeordneten Zustände ein; sie haben eine höhere Wahrscheinlichkeit (vgl. Sätze 1 bis 3) als die geordneten.

b) Zeitliche und räumliche Strukturen: Im Rahmen eines neuen Forschungszweiges von H. Haken, der Synergetik, wird versucht, diese Ordnungsphänomene zu behandeln [10]:

"Synergetics is concerned with the cooperation of individual parts of a system that produces macroscopic spatial, temporal, or functional structures."

In diesen Bereich gehören Strukturen wie z. B. Kristallisationsvorgänge, Instabilitätsphänomene, dissipative Strukturen, die alle durch ihre speziellen Energiezustände charakterisiert sind. Von den dissipativen Strukturen sind bisher die Bénard-Struktur und die Zhabotinski-Reaktion am eingehendsten beschrieben. Diese Beispiele sind zu den Parade Pferden für die Entstehung von Ordnung "von selbst" avanciert. Der häufig verwendete Begriff "Selbstorganisation" ist jedoch insofern äußerst ungünstig gewählt, da die Erzeugung solcher Strukturen an eine ganze Reihe von genau einzuhaltenden Anfangsbedingungen gekoppelt ist. Will man z. B. die Zhabotinski-Reaktion mit ihren periodischen Farbumschlägen realisieren, so benötigt man dazu eine eingehende Versuchsbeschreibung. Der zulässige Parameterbereich zur Realisierung dieser Ordnung liegt häufig in sehr engen Grenzen. Ihre Aufrechterhaltung ist an eine genau definierte Energiezufuhr gebunden; ändert sich diese oder variiert man andere Systemparameter, so bricht die Struktur im allgemeinen zusammen. All diesen Strukturen liegt offensichtlich kein Code (Definition siehe Abschnitt 2.1) zugrunde.

In zahlreichen Publikationen wird unterstellt [z.B. 4,13,27], daß mit Hilfe der o.g. Ordnungsphänomene Evolutionsprozesse des Lebens erklärt werden könnten. Dies ist jedoch eine unbegründete Annahme. Wir können darum den folgenden Zitaten nur zustimmen:

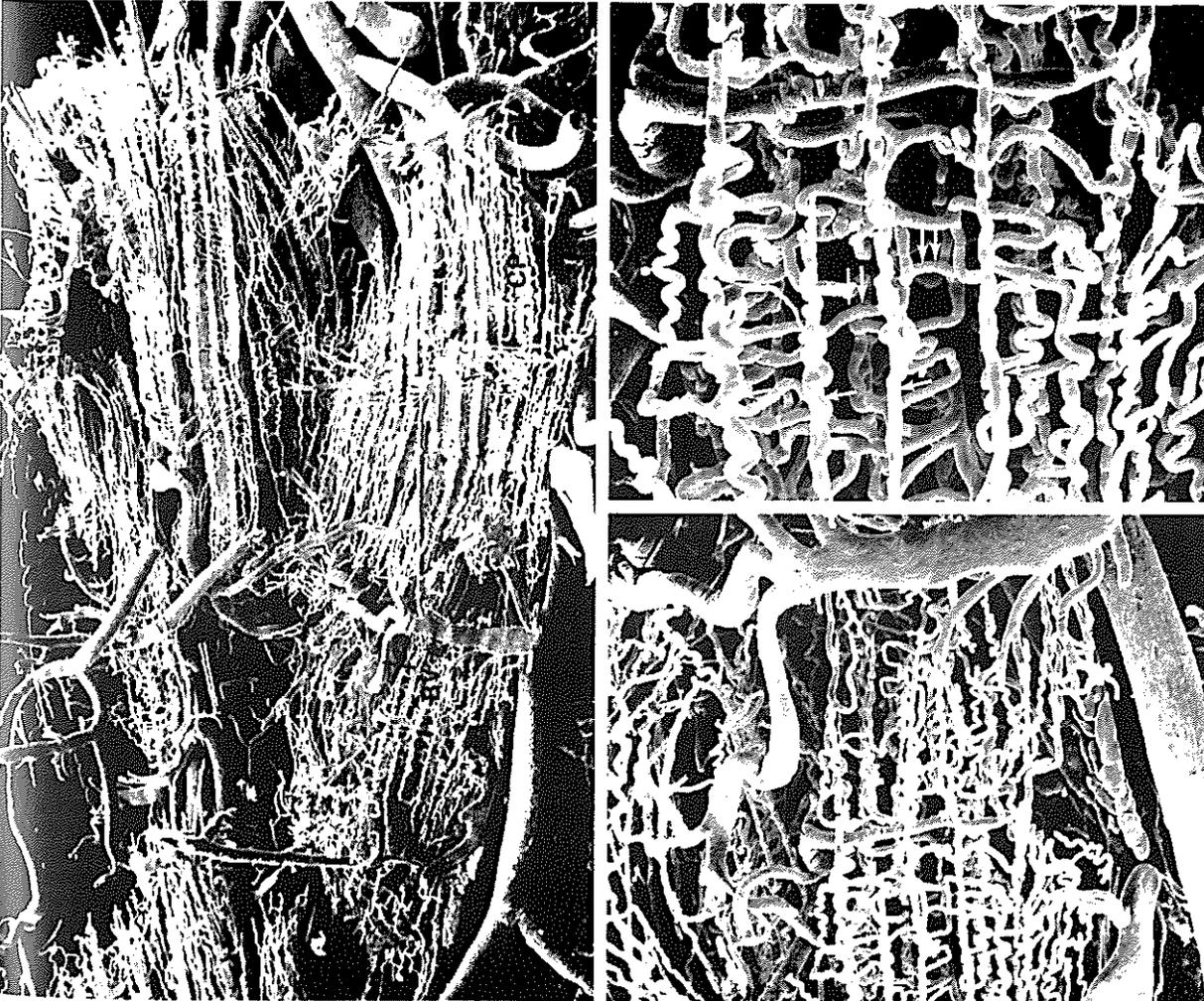
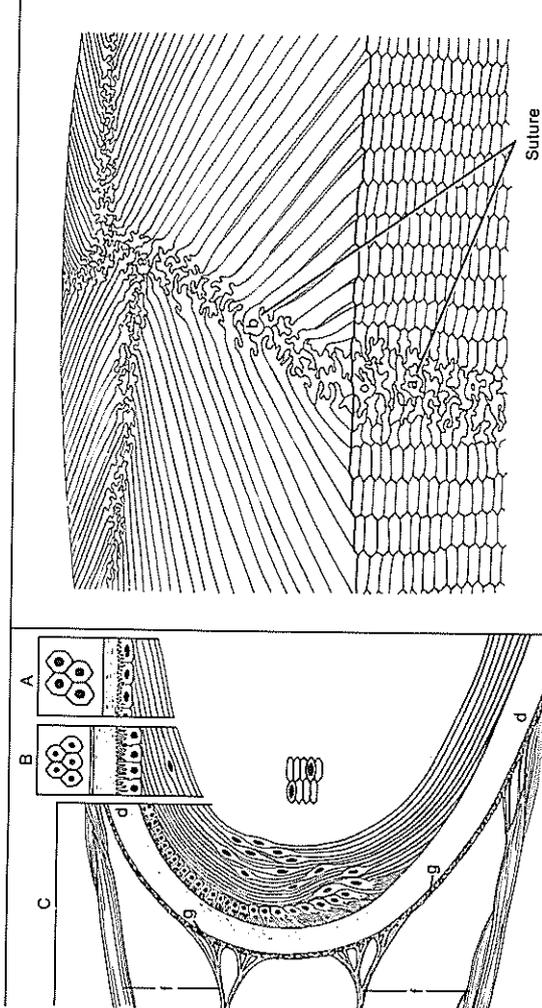
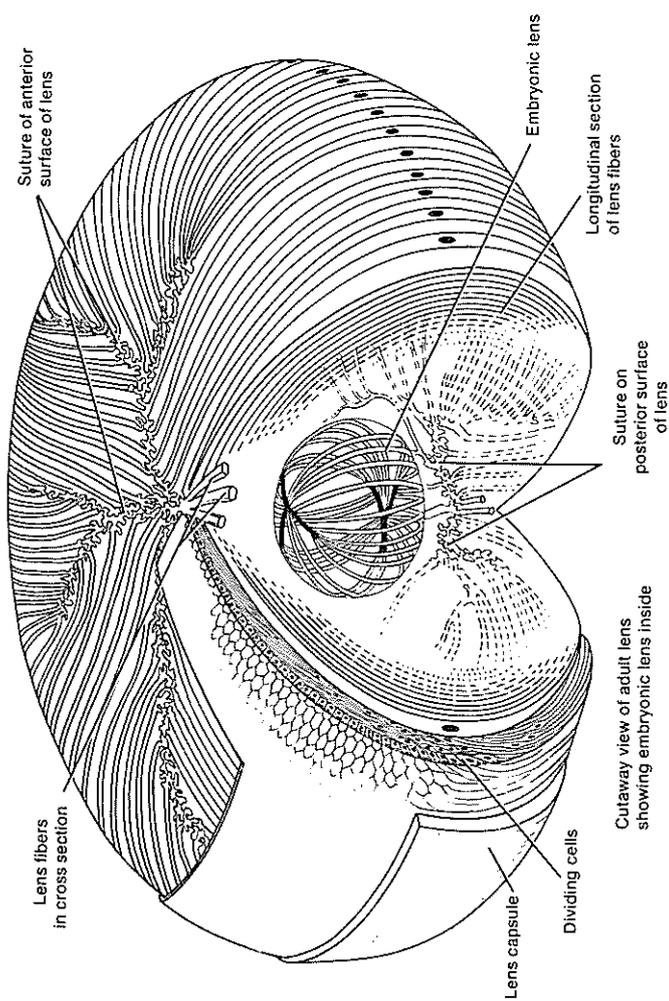


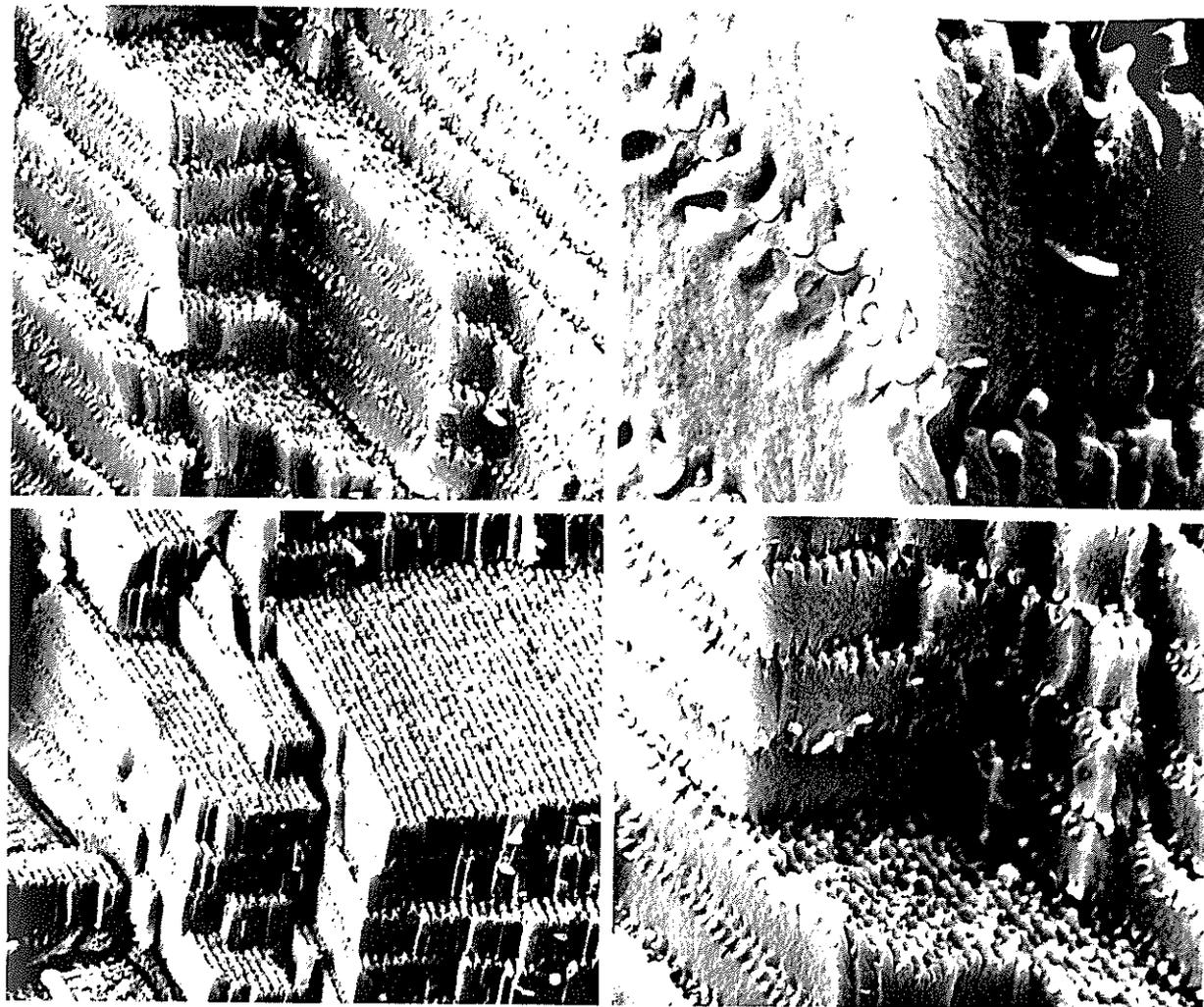
Bild 1 Blutzirkulationssystem in den Skelettmuskeln der Ratte  
 Oben: 48fache Vergr. eines Ausschnitts aus dem Netz der Blutgefäße (BV=Adern; CP=Kapillargeflecht). Unten links: Ausschnitt aus dem ob. Bild in 135facher Vergr. Unten rechts: Ausschnitt in 260facher Vergr. (einfache Pfeile weisen auf lange gerade Kapillargefäße, doppelte Pfeile auf querverlaufende Kapillarschleifen zur Querverbindung der langen geraden Kapillargefäße).



Bild 2 Aufbau des menschlichen Mittelohres  
 Oben: 28fache Vergr. des außerordentlich komplizierten Mechanismus des Mittelohres mit den drei Mittelohrknöchelchen Hammer (Ma), Amboß (In) und Steigbügel (St) sowie einem Teil des Schläfenbeins (TB) und der Trommelhöhle (TC). Unten links: Ausschnitt aus d. ob. Bild in 36facher Vergr. (LP=Linsenfortsatz des Amboß; AL-ringförmige Sehne). Unten rechts: 32fache Vergr. des Steigbügels mit Fußplatte (FP), Steigbügelschenkel (Cr) und Steigbügelköpfchen (Ne).



**Bild 3** Aufbau der menschlichen Augenlinse  
 Oben: die äußerst komplizierte Gesamtstruktur der menschlichen Augenlinse (Durchmesser ca. 10 mm; Höhe ca. 5 mm). Unten links: Schnitt durch die Augenlinse (d=Linsenkapsel; g=perikapsuläre Zonularlamellen) in ca. 20facher Vergr. Unten rechts: Darstellung des regelmäßigen Aufbaus des Augenlinsengewebes aus abgeplatteten hexagonalen Fasern mit dem Nahtsystem.



**Bild 4** Mikroskopische Struktur der Augenlinse  
 Die vier unterschiedlich starken Vergrößerungen (oben links 650fach; oben rechts 970fach; unten links 1550fach; unten rechts 5530fach) zeigen den regelmäßigen Aufbau des Gewebes der Augenlinse aus abgeplatteten hexagonalen Fasern, die durch einzigartig beschaffene "Kugelgelenke" (Pfeile in den beiden unteren Vergrößerungen) elastisch verbunden sind.

SYSTEME, DEREN TEILCHEN  
UNTEREINANDER NICHT ODER  
NUR WENIG WECHSELWIRKEN

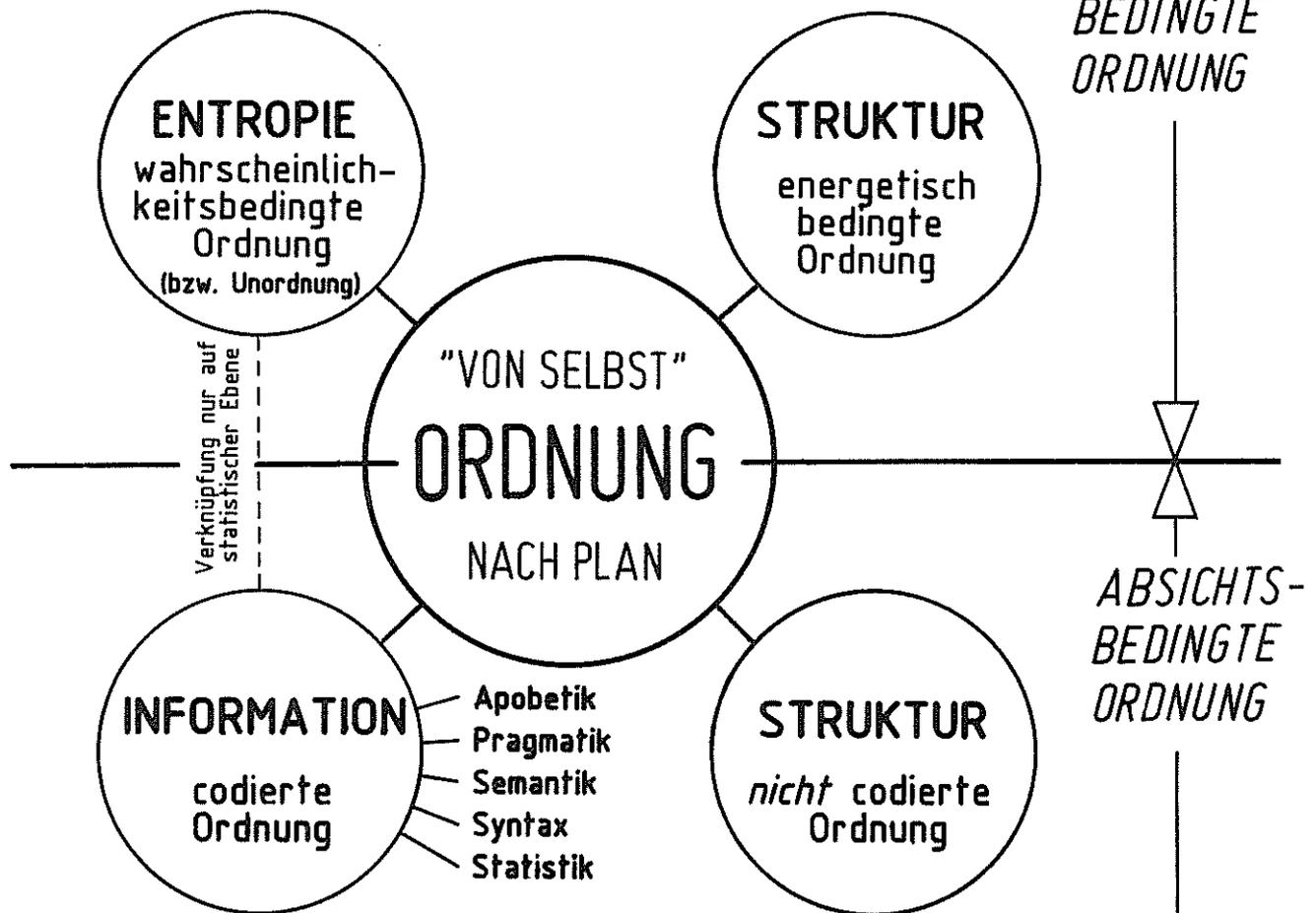
ZEITLICHE UND RÄUM-  
LICHE STRUKTUREN  
(Synergetik)

Zunahme von Entropie bedeutet  
Zunahme von Unordnung

- Temperaturausgleich
- Mischung von Gasen
- Konzentrationsausgleich
- Druckausgleich

- Kristalle (z.B. Schneeflocke)
- Bénard-Struktur
- Zhabotinski-Reaktion
- Instabilitäten
- Laser

NATUR-  
GESETZLICH  
BEDINGTE  
ORDNUNG



SOFTWARE

Natürliche und formale Sprachen

- Technische Baupläne (Bauzeichnungen, Design)
- Technische Zeichnungen (Konstruktionszeichnung, Schaltbilder)
- Rezepturen
- Genetischer Code
- Menschliche Sprachen (deutsch, englisch, russisch)
- EDV-Sprachen (FORTRAN, ALGOL, PL/I, BASIC)
- Schrift, chem. u. math. Formelsprache  
Noten, Pictogramme, Flaggenrecode  
Algorithmen

HARDWARE

Grundlage dieser Ordnung bilden  
Pläne, die ihrerseits codiert sind

- Architektonische Ordnung (Bauwerke, Kunstwerke)
- Technische Ordnung (Geräte, Maschinen, Computer)
- Chem. Produkte (Kunststoffe, Arzneimittel, Speisen)
- Lebewesen (Pflanzen, Tiere, Menschen)

Bild 5 Ordnung in Natur und Technik

D. Flamm [ 6]: "Können wir vielleicht den Vorgang der Kristallisation zur Erklärung der Entstehung des Lebens verwenden? Diese Frage will ich sofort kategorisch mit Nein beantworten. Die Kristallisation ist ein Vorgang, der zum thermodynamischen Gleichgewicht führt, und thermodynamisches Gleichgewicht ist ein Synonym für Tod."

H. Kuhn [17]: "Die Frage ist nun: Wie sollen wir den Anfang für die angestrebte Kausalkette finden? Häufig wird in den sogenannten Bénard-Strukturen ein entscheidender Modellfall zur Untersuchung der Prinzipien bei der Lebensentstehung gesehen. Eine Flüssigkeit in einer flachen Schale wird von unten her erwärmt. Beim Überschreiten eines bestimmten Temperaturgradienten entstehen aufgrund von Schwankungen, die sich verstärken, stationäre Wirbelstrukturen (dissipative Strukturen). Nun haben aber diese Strukturen nicht die Eigenschaft der Vervielfältigung... Eine Struktur muß verdoppelt werden können und zudem noch so komplex sein, daß nach einem Fehler bei der Verdoppelung das gewonnene Objekt noch immer in der Lage ist, verdoppelt zu werden."

## 1.2 Absichtsbedingte Ordnung

Bei den hierunter zusammengefaßten Ordnungsstrukturen reichen Naturgesetze und Anfangsbedingungen zu ihrer Verwirklichung nicht aus. Es läuft zwar alles im Rahmen der Naturgesetze ab, aber sie spielen nur die Rolle eines Werkzeugs. Das entscheidende und markante Kennzeichen ist die dahinterstehende geistige Idee, der Plan, das ingenieurmäßige Konzept. Für alle diese Strukturen gilt, daß sie entweder über Code entstanden sind (Hardware) oder daß es sich um aufgezeichnete Information handelt, die durch Code dargestellt ist (Software); d. h. diese Ordnungsart ist durch einen Code repräsentiert.

In unserem Zusammenhang wollen wir den Begriffen Hardware und Software, die in engerem Sinne im Bereich der elektronischen Datenverarbeitung definiert sind, eine so weitgefaßte Bedeutung geben, daß sie alle absichtsbedingten Ordnungsstrukturen erfassen (vgl. Bild 5):

a) Hardware: Hierunter wollen wir die materielle Realisierung solcher Ordnung verstehen, die auf der Grundlage codierter Pläne erstellt wurde. Diese Strukturen enthalten im allgemeinen selbst keinen Code, aber ihre Ordnung basiert auf einem Code, d. h. sie sind das Ergebnis von Software. Alle Systeme sind exakte Abbildungen (Realisierungen) der Herstellungsanweisung (= zugehörige Software; in Bild 5 korrespondieren gegenüberliegende Bezeichnungen von Hardware und Software).

Satz 5: Der hohen Komplexität und Strukturierung der in schöpferischer Absicht gestalteten Gebilde entspricht ein hohes Maß an Ordnung, obwohl die elementaren Bestandteile (Bauteile) ungeordnet sind oder erscheinen.

Wir können hier vier Unterteilungen vornehmen:

- Architektonische Ordnung: (z. B. Häuser, Staudämme, Brücken, Kunstwerke)  
Von der einfachen Baubude bis zum Dresdner Zwinger ist immer ein Bauplan nötig.
- Technische Ordnung: Hierzu gehören Halbfabrikate (z. B. Rohre, Profileisen) ebenso wie Fertigfabrikate (Geräte, Maschinen, Meßinstrumente, Computer), deren Erstellung aufgrund technischer Zeichnungen geschieht.
- Chemische Produkte (z. B. Kunststoffe, Arzneimittel, Speisen) beruhen auf Rezepturen.
- Lebewesen (Pflanzen, Tiere, Menschen): Ihnen liegt ein Bauplan zugrunde, der im genetischen Code festgelegt ist.

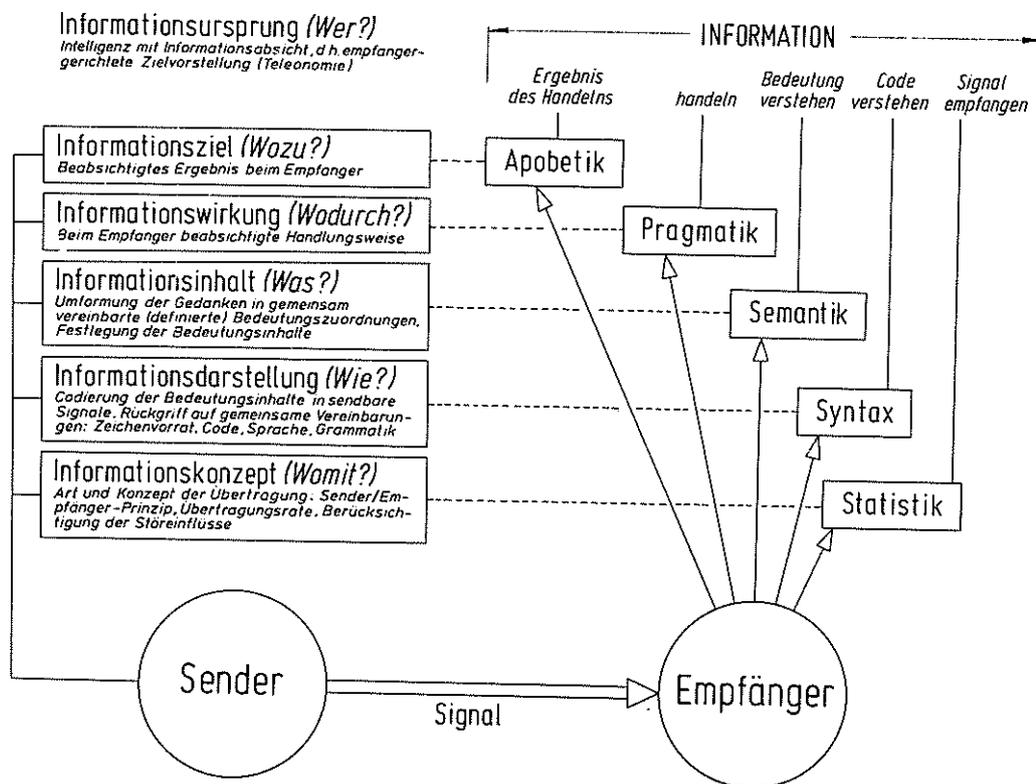
b) Software: Hierunter wollen wir alle gedanklichen Konzepte subsumieren, die aus einer geistigen Quelle (Sender) stammen. Diese Konzepte finden ihren sichtbaren Ausdruck in Form codierter Ordnung, die wir mit Information bezeichnen. Ganz allgemein wird Information in Form von Sprachen dargestellt. Wir unterscheiden natürliche und formale (künstliche) Sprachen, die gemäß Bild 5 einen weiten Bereich umfassen wie z. B. technische Baupläne, Schaltbilder, Stromlaufpläne, Rezepturen, genetischer Code, menschliche Sprachen in Schrift und Ton, EDV-Sprachen, diverse Formelsprachen für Spezialzwecke.

## 2 Der Informationsbegriff

Um den Informationsbegriff in seiner ganzen Breite zu erfassen, müssen wir zwei Gesichtspunkte beachten:

1. Es gehört zum Wesen jeder Information, daß sie von jemandem ausgesandt und an jemanden gerichtet ist. Wo Information auch immer auftritt, haben wir es stets mit einem Sender und einem Empfänger zu tun (Ein Buch ist sinnvollerweise immer für den Leser geschrieben).
2. Zu jeder Information gehören - wenn auch in graduell unterschiedlicher Ausprägung - fünf Aspekte: Statistik, Syntax, Semantik, Pragmatik und Apobetik.

Anmerkung: Bei Meßvorgängen oder bei der Beschreibung von Ordnungsphänomenen, wie sie unter 1b) beschrieben wurden, wird gelegentlich auch von "Information" gesprochen, die aufgrund des Messens oder Beschreibens gewonnen wurde. Nach unserer o. g. Festlegung sollte man in solchen Fällen nicht von Information, sondern besser von Meßdaten, Systemkenntnis u. a. sprechen, da weder ein Sender noch eine auf Code beruhende Information vorliegt.



**Bild 6** Der prinzipielle Vorgang der Informationsübertragung von Sender zu Empfänger mit den fünf kennzeichnenden Aspekten codierter Information: Statistik, Syntax, Semantik, Pragmatik und Apobetik. Auf der Senderseite sind diesen Aspekten zugeordnet: Informationskonzept der Übertragung, Informationsdarstellung (Codierung der Nachricht), Informationsinhalt (Bedeutungsinhalt der Nachricht), Informationswirkung und Informationsziel. Die einander zugeordneten Ebenen der Information sind durch die gestrichelten Linien angedeutet.

In Bild 6 [ 9] finden wir diese beiden Grundprinzipien grafisch veranschaulicht. Die gestrichelten Verbindungslinien sollen andeuten, daß die fünf Informationsaspekte sowohl auf der Senderseite als auch auf der Empfängerseite von gleicher Wichtigkeit sind. Da der Informationsbegriff nicht nur im engeren Bereich der Informatik von Bedeutung, sondern in einer Vielzahl von wissenschaftlichen Fachbereichen relevant ist, kommt es darauf an, interdisziplinär verständlich zu bleiben. Eine solche Zielsetzung verfolgt die von Norbert Wiener begründete Kybernetik, die B. Hassenstein [12] wie folgt zum Ausdruck bringt:

"Ziel der Kybernetik ist es, eine Begriffswelt zu schaffen, die neutral genug ist, um in beiden Bereichen (Technik und Biologie) angewendet werden zu können, und die es erlaubt, daß sich Techniker, Biologen und mit ihnen natürlich auch Physiker und Mathematiker über gemeinsame Probleme in einer gemeinsamen wissenschaftlichen Sprache verständigen können."

Wir sind davon überzeugt, daß darüber hinaus auch die Linguistik einzubeziehen ist, um diese Forderung für den Informationsbegriff angemessen zu erfüllen. Bevor wir uns mit den einzelnen Aspekten der Information befassen, sollen einige grundsätzliche Aussagen zu den Begriffen Code und Signal vorangestellt werden.

## 2.1 Code

Zur Darstellung und Sendung gedanklicher Information (Semantik) ist ein Code erforderlich, der zur Verschlüsselung von Bedeutungsinhalten dient. Der Code selbst ist im allgemeinen nicht Bedeutungsträger, sondern er dient zur Sprachrealisierung. Nach DIN 44300 ist ein Code definiert als

"Eine Vorschrift für die eindeutige Zuordnung (Codierung) der Zeichen eines Zeichenvorrats zu denjenigen eines anderen Zeichenvorrats (Bildmenge)."

Beispiel:

A	→	X1	→	eindeutige Zuordnung
B	↔	X2	↔	umkehrbar eindeutige Zuordnung
C	↔	X3		
D	→	X1		
E	→	X1		

DIN 44300 enthält noch zwei wichtige Anmerkungen:

- Die Zuordnung braucht nicht umkehrbar eindeutig zu sein
- Auch wenn mit Code oftmals nur der als Bildmenge auftretende Zeichenvorrat bezeichnet wird, ist die Auffassung "Ergebnis einer Zuordnung Zeichenvorrat A zu Zeichenvorrat B nach Vorschrift" unterlegt.

Der Entwurf 1981 der NTG [20] ist noch klarer als die DIN-Norm 44300 und definiert den Code als eine

"auf einmaliger, freier Vereinbarung beruhende, aber dann fixierte Vorschrift für eindeutige Zuordnung (Codierung) der Zeichen eines Zeichenvorrats zu denjenigen eines anderen Zeichenvorrats (Bildmenge)."

Wir wollen hier die wichtige Aussage festhalten, daß jeder Code immer auf Konvention beruht, d. h. die einmalige, jedoch freie Vereinbarung zwischen Sender und Empfänger ist ein markantes Kennzeichen jedes Codes. Die grundsätzlichen Kennzeichen eines Codes sollen hier einmal zusammengestellt werden, um auf diese Weise eine Möglichkeit zu gewinnen, zwischen Code und Nichtcode zu unterscheiden:

- Eindeutigkeit der Zuordnung, die jedoch nicht umkehrbar eindeutig sein muß
- Grundsätzliche Freiheit in der Wählbarkeit der Zuordnung.  
Die Wahlkriterien hängen von den verfolgten Zielen ab:
  - Anschaulichkeit, Symbolhaftigkeit (z. B. Hieroglyphen, Piktogramme)
  - Geringe Zeichenzahl (Blindenschrift, Keilschrift)
  - Geringer Platzbedarf der Speicherung (z. B. Stenographie, genetischer Code)
  - Einbau von Redundanz zur Herabsetzung der Störempfindlichkeit (diverse Computercodes, natürliche Sprachen (geschriebene deutsche Sprache z. B. hat eine Redundanz von 66 %))
  - Fehleranzeigende (Dreierprobe) und fehlerkorrigierende Codes (genetischer Code)
- Grundsätzliche Freiheit im Aufbau des Codes
  - Binärcode (alle EDV-Codes)
  - Ternärcode (hat sich nicht durchgesetzt)
  - Quaternärcode (genetischer Code mit vier Buchstaben A, C, G, T)
  - Hieroglyphencode, Flaggencode
- Die Zuordnung des Zeichenvorrats beruht immer auf Konvention
- Der materielle Codeträger schränkt die Wahlfreiheit des Codes nicht ein (z. B. sind auf Papier diverse Codierungen darstellbar)
- Dieselbe semantische Information kann prinzipiell auf verschiedene Weise codiert werden (z. B. in deutsch, englisch, chinesisch)
- Dieselbe semantische Information kann auf verschiedenen materiellen Trägern gespeichert werden (z. B. Buch, EDV-Speicher)
- Unterschiedliche materielle Träger bedeuten keine Einschränkung in der semantischen Information (z. B. Buch, EDV-Speicher, Tonband)
- Die Codelänge macht keine Aussage zur semantischen Informationsdichte (kurze präzise Ausdrucksweise oder mit vielen Worten gar nichts sagen)

- Code beruht nicht auf Zufälligkeit
- Materie kann nicht von selbst Code bilden (d.h. keine Selbstorganisation!)

#### Bedingungen für das Vorliegen eines Codes:

Es ist nicht immer leicht erkennbar, ob ein Code vorliegt oder nicht. Wir haben es beim Vorliegen einer unbekanntenen Zeichenfolge mit zwei verschiedenen Problemen zu tun: Die Prüfung, ob überhaupt ein Code vorliegt, und wenn das zutrifft, seine Entschlüsselung.

Der Schwänzeltanz der Bienen ist ein einleuchtendes Beispiel dafür, daß man einen tatsächlich vorhandenen Code - die tanzartigen Körperbewegungen - zunächst für ein zufälliges Spiel ansah. Erst als es K. v. Frisch nach sorgfältigen Studien gelang, die rhythmischen Bewegungen eindeutig in Bedeutungsbeziehungen zu decodieren, war der Nachweis erbracht, daß es sich hier um einen Code handelt. Im Falle der altägyptischen Hieroglyphen war man schon immer davon überzeugt, daß es sich um einen Code handele, aber die Entzifferung gelang trotz größter Anstrengungen nicht. Erst als man im Jahre 1798 den Stein von Rosette fand, auf dem Texte in hieroglyphischer, demotischer und griechischer Schrift verzeichnet sind, gelang die Decodierung. Mit Hilfe der folgenden Bedingungen kann eine zu untersuchende Sequenz daraufhin geprüft werden, ob ihr ein Code zugrundeliegt:

#### 1. notwendige Bedingungen (Hinweise für Vorliegen eines Codes):

- Antreffen erkennbarer gleicher Zeichen, die in unregelmäßiger Folge auftreten (z. B.: -.-.-.-.\*--.)
- Die räumlichen (oder auch zeitlichen) Abstände der Zeichen sind verschieden, d. h. die Reihenfolge gleicher Zeichen ist unregelmäßig (Voraussetzung: Die Information enthält mehr als 1 Bit)
- geordnete Zeichenblöcke (z. B. Reihen, Spalten, Blöcke)
- die Nichtzufälligkeit ist erkannt

#### 2. hinreichende Bedingungen:

##### a) für das Vorliegen eines Codes:

(trivialer Fall: Die Konvention der Codevereinbarung ist bekannt)  
Das Vorliegen einer Codierung wird zur Gewißheit, wenn die Entschlüsselung (Decodierung) der dahinter stehenden Absicht gelingt (Beispiel: Hieroglyphen, genetischer Code).

oder

b) für den Nachweis, daß kein Code vorliegt:

Nach Chaitin [ 3 ] kann die Zufälligkeit einer Zeichenfolge prinzipiell nicht mathematisch bewiesen werden.

Eine Zeichenfolge ist allerdings als Nichtcode erkennbar, wenn

- sie vollständig auf der Ebene von Physik und Chemie erklärbar ist (d.h. ausschließlich materiell deutbar ist)

Beispiel 1: Die 1967 von J. Bell und A. Hewish aus dem Weltraum empfangenen periodischen Impulse wurden zunächst als Code angesehen (Little Green Men). Später stellte sich heraus, daß die "Nachricht" eine rein physikalische Ursache hatte (neuer Sterntyp: Pulsare).

- die Zufälligkeit bekannt ist (z. B. Entstehungsursache oder Mitteilung darüber). Das gilt auch dann, wenn in der Zeichenfolge zufällig gültige Zeichen irgendeines Codes auftreten.

Beispiel 2: Zeichen aus Zufallsgenerator:

AZITG KFD MAUER DFK KLTXA WIFE TSAA

Die Wörter 'MAUER' und 'WIFE' sind zwar gültige Wörter der deutschen bzw. englischen Sprache, dennoch stellen sie keinen Code dar, da sie nachweislich durch Zufall entstanden und nicht auf Konvention beruhen.

## 2.2 Signal, Signalübertragung, statistische Information

Zum Zweck der Übertragung von Information muß die Nachricht in geeignete Phänomene (z. B. physikalische Größen) umcodiert (gewandelt) werden. Die sich so in der Übertragung befindende Information wird Signal genannt.

Beispiel: Die Worte des Redners werden in ein Mikrofon gesprochen und dort in elektrische Signale codiert. Die über einen Kanal und Verstärker transportierten Signale werden erst im Lautsprecher wieder zur Information "Sprache".

Derjenige Teil des Übertragungssystems, in dem der Signaltransport geschieht, ist der Bereich der Signalübertragung. Im allgemeinen wird bei der Signalübertragung nicht die ursprüngliche Form der Nachricht (Datensatz  $A_1$ ) übertragen, sondern eine codierte Fassung wird als gesendetes Signal  $S_1$  auf den Kanal gegeben. Auf der Empfängerseite wird das Signal  $S_2$  empfangen, das im

störungsfreien Falle mit  $S_1$  übereinstimmt; der Code-Umsetzer (Wandler  $W_2$ ) führt die Decodierung in den Ausdruck  $A_2$  durch. Wenn keine Übersetzung in eine andere Sprache vorlag, sollen die Datensätze  $A_1$  und  $A_2$  übereinstimmen. Als technische Wandler sind elektroakustische, optoelektronische, Analog/Digital- und Digital/Analog-Wandler üblich.

Die nach DIN 44300 festgelegte Definition für Signal als "die physikalische Darstellung von Nachrichten oder Daten" ist zu speziell und nur auf den technischen Bereich fixiert und bedarf daher einer geeigneten Verallgemeinerung. Die von H.-J. Flechtner [ 7 ] angegebene Definition ist erheblich weitreichender und allgemein genug, um auch alle in Tab. 1 angegebenen Signalarten zu erfassen:

"Ein Signal ist eine räumliche oder zeitliche Folge von Zeichen, wobei die Folge ein Ganzes, ein Zeichenmuster ist... Die besondere Art von Regelmäßigkeiten oder Regeln, die irgendein Muster zu einem Zeichenmuster und damit zu einem Signal machen, ist durch ein Ordnungsprinzip bestimmt, das wir einen Code nennen."

In jedem Falle ist ein Signal das Resultat einer irgendwann einmal investierten geistigen Leistung. Darum können wir Flechtner zustimmen [ 7 ]:

"Das Bilden eines Signals aber ist das Codieren eines geistigen Vorgangs; ob dieser geistige Gehalt bedeutend oder unbedeutend, wertvoll, brauchbar oder sinnlos ist, darüber enthält das Signal nichts. Ein solches Urteil kann erst auf Grund einer Nachrichtenverarbeitung im Empfänger entstehen. Ob dieses Codieren von einem schöpferischen Genie selbst, von einem begabten Schreiber oder gar von einer Maschine vorgenommen wird, macht zwar einigen, aber keinen prinzipiellen Unterschied."

Die Signale selbst sind materielle Phänomene, die gemäß Tab. 1 in physikalischer, chemischer oder physikalisch/chemischer Gestalt in Erscheinung treten. Im Sinne der obigen Definition sind z. B. die 1967 von J. Bell und A. Hewish aus dem Weltraum empfangenen periodischen Impulse keine Signale in unserem Sinne, da sie von interstellaren Radioquellen (Pulsare) stammen und ihnen damit keine Sendeabsicht unterstellt werden kann. Sie wären allerdings zu Signalen geworden, wenn sich die ursprüngliche Annahme bewahrheitet hätte, es handele sich um eine Sendung, die von intelligenten Wesen stamme (man nannte sie damals "Little Green Men"). \*)

\*) nach der persönlichen Überzeugung des Verfassers sind solche Wesen auszuschließen

Für die Fragen der Signalübertragung spielen die Syntax und Semantik der Information überhaupt keine Rolle. Es ist für die Übertragung kein Unterschied, ob es sich um eine wichtige und sinnvolle Information handelt oder ob reiner Nonsens oder zufällige informationslose Daten gesendet werden. Auf dieser Ebene ist lediglich der statistische Aspekt der Information relevant. Dieser Informationsaspekt wird im Rahmen der Shannonschen Informationstheorie ausgiebig behandelt. Wir wollen jedoch festhalten, daß wir uns an dieser Stelle noch deutlich unterhalb der syntaktischen Ebene befinden, da vereinbarte Sprachregelungen (Syntax, Grammatik) noch nicht notwendig sind. Der Shannonsche Informationsbegriff erkennt zwar einen Informationsgehalt an, aber ohne Rücksicht darauf, ob eine Information richtig oder falsch ist, ob sie verstanden wird oder nicht, ja sogar ob mit dem Zeichensatz überhaupt etwas ausgedrückt wird oder nicht. Dieser sehr hohe Preis, die Information bis auf die statistische Ebene zu reduzieren, war notwendig, um Information mathematisch beschreibbar zu machen; darum werden ausschließlich meßbare Eigenschaften berücksichtigt. Der statistische Informationsgehalt eines Ereignisses oder Symbols hängt davon ab, mit welcher Wahrscheinlichkeit es dort, wo es auftritt, zu erwarten ist. Für die statistische Information ist es also ohne Belang, ob eine Buchstabenreihe einen höchst sinnvollen Text darstellt oder aber durch Würfeln zustande gekommen ist.

Für die Übertragung der Information von Sender zu Empfänger sind 4 verschiedene Wege möglich:

1. ohne Code-Umsetzer, ohne Übersetzung
2. mit Code-Umsetzer, ohne Übersetzung (Zweig ① in Bild 7)
3. ohne Code-Umsetzer, mit Übersetzung
4. mit Code-Umsetzer, mit Übersetzung (Zweig ② in Bild 7)

Werden bei der Übertragung verschiedene Signalträger verwendet (Übertragungskette), so wird für die jeweilige Codierung ein eigener Code-Umsetzer (Wandler) benötigt. Die Codierung in sendefähige Signale darf nicht verwechselt werden mit der erstmaligen und notwendigen Codierung, um die Gedanken in Bedeutungsträgern darzustellen (erste Formulierung der Quellbedeutung in gewählter Sprache).

Auf der statistischen Ebene der Information sind dennoch eine Reihe markanter Details für eine sichere Übertragung erforderlich:

- Konzeption eines aufeinander abgestimmten Codierungs- und Decodierungssystems (z. B. elektroakustische Wandler: Mikrophon/Lautsprecher) einschließlich des Übertragungskanal

	Signalart und Beispiele für Signalübermittlung	Signalträger	Speicherungsmöglichkeit
<i>physikalisch</i>	<u>optisch:</u> - graphisch als Schrift, Bild, Zeichnung, Symbol - Mimik, Gestik (Taubstummensprache, Pantomime) - Körpergebärden (Balztänze, Kampfhaltung, Schwänzeltanz der Bienen) - Blinksignale - Flaggensignale - Lochkarte, Lochstreifen	Licht	Buch, Brief Film  Lochkarte, Lochstreifen
	<u>akustisch:</u> - gesprochene Sprache - Klopfsignale - Lock- und Warnlaute im Tierreich - Signale techn. Instrumente: Lautsprecher Urwaldtrommel Musikinstrumente Nebelhorn, Sirene	Schall	Tonband Schallplatte
	<u>taktil:</u> - Blindenschrift - Codierung einer Walze	Oberflächen- gestalt	Blindenschrift Nockenwalze der Drehorgel
	<u>elektrisch:</u> - Telefonie - Rundfunk, Fernsehen	Spannung elektromagn. Wellen	Tonband Bildkassette
	<u>magnetisch:</u> - Magnetaufzeichnung	Magnetfeld	Magnetband Magnetplatte Magnetkarte
<i>chemisch</i>	<u>chemisch:</u> - genetische Sprache - Hormonsystem - Geruchssignal	chemische Verbindungen	Chromosomen, DNS Hormone
<i>physik./chem.</i>	<u>elektrisch/chemisch:</u> - Nervensystem	elektr. Impulse	Neuronen, Gehirn

Tab. 1 Signalarten in Natur und Technik

- Konzeption für die verwendete Signalart (s. Tabelle 1)
- aneinander angepaßte Signalpegel
- senderorientierte Signalabstimmung des Empfängers (z. B. Einstellung des Rundfunkempfängers auf eine bestimmte Senderfrequenz)
- Entscheidung, ob Sendung in analoger (kontinuierliche Funktion) oder digitaler Form (Daten, die nur aus binären Zeichen bestehen) geschehen soll
- abgestimmte Übertragungsrate (Kanalkapazität, Abtastrate)
- Konzept mit möglichst störungsfreier und unverzerrter Signalübertragung

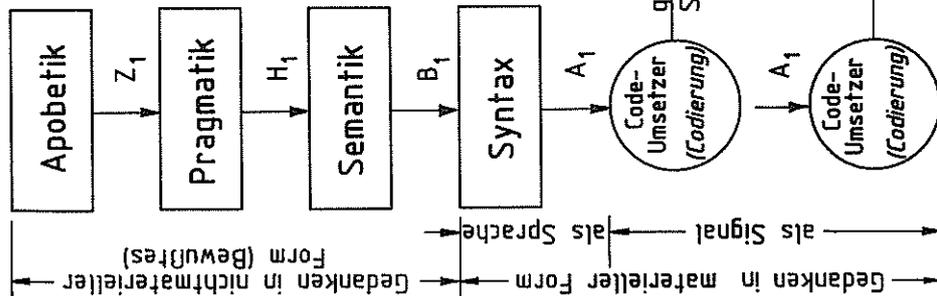
#### Biologische Beispiele für chemische und elektrisch/chemische Signalübertragung:

Der lebende tierische und menschliche Körper verfügt über zwei Informationssysteme für das Zusammenwirken aller Zellen und Organe: Die Hormone und das Nervensystem. Die Nerven stehen strukturell mit allen Organen in Verbindung, während die Hormone vorwiegend durch das Blut zum Wirkungsort transportiert werden.

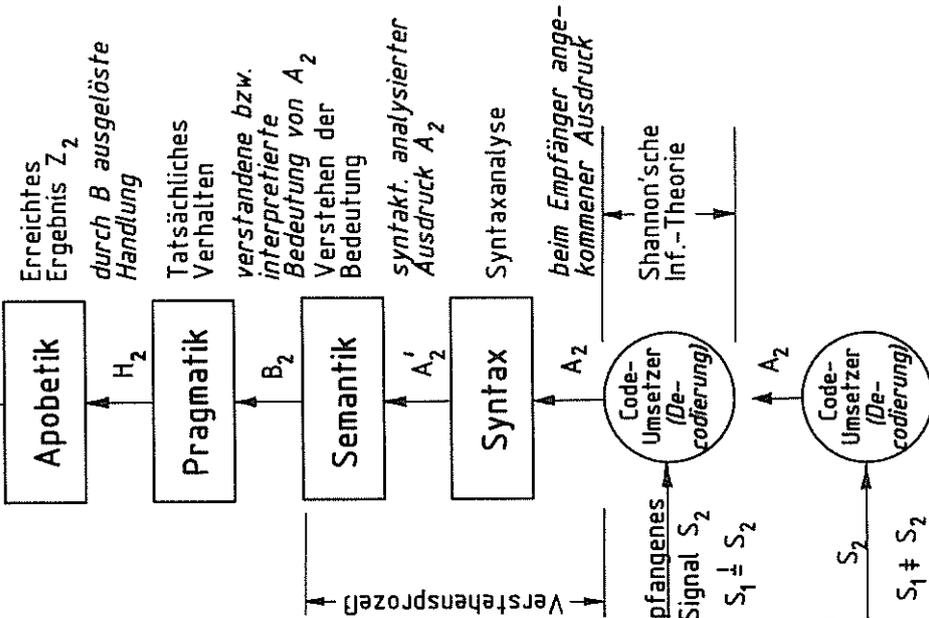
Chemische Signalübertragung: Die Geschwindigkeit der chemischen Signalübertragung mit Hilfe von Hormonen entspricht der Geschwindigkeit der Blutströmung (Sekunden oder Bruchteile einer Minute); beim Nervensystem dauert es nur Millisekunden bis Sekunden. Die Hormone sind chemisch genau bestimmte Substanzen, die eine ihnen eigentümliche Tätigkeit auf bestimmte Organe oder Gewebe entfalten, sowohl im Sinne des Anreizes wie des Bremsens. Mehr als 30 Hormone mit z. T. komplizierter chemischer Struktur kontrollieren ständig oder periodisch nahezu alle physiologischen Prozesse des Wirbeltierorganismus. Die Hormone erreichen zwar mit dem Blut alle Körperzellen, aber nur an bestimmten Zellen kommen sie zur Auswirkung. Die anzusprechenden Zellen verfügen über spezifische Empfänger (Rezeptoren), um nur an den vorgesehenen Stellen die Information weiterzugeben. Jeder einzelne anzusprechende Empfänger ist auf ein ganz bestimmtes Signal (Hormon) abgestimmt. Diese genaue Signalabstimmung ist einem Rundfunkgerät vergleichbar, das auf eine ganz bestimmte Senderfrequenz eingestellt ist.

Elektrisch/chemische Signalübertragung: Im Nervensystem sind die Nerven die Vermittler (Kanal) zwischen all unseren Sinnesorganen und dem Gehirn einerseits, sowie zwischen dem Gehirn und Rückenmark und den Muskeln andererseits. Die Nerven übertragen die Meldungen über aufgenommene Reize von den Sinnesorganen an das Gehirn und vermitteln ebenso Gehirnbefehle an die Körperperipherie zur Auslösung bestimmter Bewegungen. Für die Signalübertragung

# SENDER ( Index 1 )



# EMPFÄNGER ( Index 2 )



## mit Übersetzung

Signalübertragung (Nachrichtentechnik)

Datenübertragung (Information im eng. Sinne)

Kommunikation = Informationsübertragung bis zur Semantik

Reaktion

Informationsübertragung im weitesten Sinne

Bild 7 Prinzip der Informationsübertragung

werden in den Nerven elektrische Impulse benutzt, die aus kurzen, nur etwa  $1/1000$  s langen Einzelimpulsen gleicher Dauer und gleicher Intensität, aber unterschiedlicher Frequenz bestehen. Es stellt sich die Frage, warum bei der Konzeption dieses Informationssystems gerade die zeichenärmste aller Signalsprachen ausgewählt wurde, obwohl das Spektrum der semantischen Information ein äußerst weitreichendes ist. Die Antwort wurde zuerst von dem englischen Physiologen W. H. Rushton gefunden [12]. Es ist hier ein geniales informationstheoretisches Verfahren realisiert, bei dem die Kapazität der Informationsübertragung in einem Nachrichtensystem auf eine solche Weise herabgesetzt wird, daß dabei gleichzeitig eine Abnahme der Störempfindlichkeit parallel geht. In der Technik wurde ein solches Verfahren erst in den 30er Jahren erfunden und als Puls-Code-Modulation bezeichnet. Es gilt festzuhalten [12]:

"Die vom lebenden Nervensystem benutzte Zeichensprache entspricht nun genau diesem nicht mehr weiter zu vervollkommenden theoretischen Ideal einer störungsunempfindlichen Signalübertragung; es ist in gewisser Hinsicht also die theoretisch überhaupt erreichbare Endstufe der Puls-Code-Modulation. Dabei hat der Verlust an Übertragungskapazität gegenüber dem Gewinn an Sicherheit kein Gewicht. Die Monotonie der Zeichensprache des Nervensystems erklärt sich auf diese Weise also überzeugend als Ausdruck der höchsten überhaupt erreichbaren Störungsunempfindlichkeit."

### 2.3 Syntaktische und semantische Information

Im Rahmen der Informationsaspekte Syntax und Semantik haben wir es mit zwei Prozessen zu tun:

1. Formulierungsprozeß (senderseitig)
2. Verstehensprozeß (empfängerseitig)

Den Bereich der Informationsübertragung, der diese beiden Prozesse umspannt, nennen wir Kommunikation. Eine Kommunikation ist dann vollständig, wenn es dem Sender gelingt, die in nichtmaterieller Form vorliegenden Gedanken dem Empfänger in vollem Umfang zugänglich zu machen. Gemeint ist also die Übertragungsstrecke vom Bewußtsein des Senders zum Bewußtsein des Empfängers. Für den Formulierungsprozeß bedarf es immer einer Sprache.

#### 2.3.1 Sprache

Alle dazu geeigneten Formantenapparate, die Bewußtseinsinhalte (Bedeutung) darzustellen vermögen, nennen wir Sprache. Wir unterscheiden dabei zwischen natürlichen und künstlichen Sprachen.

Natürliche Sprachen sind in erster Linie alle menschlichen Sprachen (deutsch, englisch, lateinisch, chinesisches), aber im weitesten Sinne auch die Formantenapparate des Tierreichs (z. B. Balztänze, Schwänzeltanz der Bienen, Lockrufe der Vögel, Geruchssignale bei Schmetterlingen). Eine künstliche Sprache (formale Sprache) ist eine konstruierte Sprache, deren Regeln explizit sind und vollständig gestellt werden. Die Ausdrücke werden durch explizite und willentliche Anwendung der Regeln erzeugt. Eine formale Sprache ist ein reduziertes, strikt auf einen bestimmten Zweck orientiertes Verständigungsmittel. Streng genommen kann eine formale Sprache nur dann wirklich "Sprache" genannt werden, wenn sie mit Regeln der Interpretation verbunden ist, die es erlauben, zu den richtig gebildeten Ausdrücken Bedeutungen hinzuzufügen. In erster Linie ist hier außer der Kunstsprache Esperanto an die zahlreichen Programmiersprachen zu denken. Angesichts der fast unübersehbaren Anzahl solcher Sprachen für alle möglichen Spezialanwendungen könnte man schon von einer babylonischen Sprachenverwirrung sprechen. Im Rahmen unserer beabsichtigten weiten Fassung gehören zu den formalen Sprachen auch alle Ausdrucksmöglichkeiten des technischen Bereichs wie Bauzeichnungen, technische Konstruktionszeichnungen, Schaltpläne der Elektrotechnik, Hydraulik und Pneumatik, Blockschaltbilder, Bonddiagramme, Datenflußdiagramme. Alle diese Formantenapparate basieren auf Konventionen mit festen einmalig vereinbarten Regeln und Bedeutungszuordnungen der einzelnen Symbole. Natürlichen und formalen Sprachen ist gemeinsam, daß sie sprachlicher Zeichen (Lexeme, Symbole) bedürfen.

Nach diesen Betrachtungen können wir die Kennzeichen einer Sprache wie folgt markieren:

- Eine Sprache dient zur Informationsdarstellung und kann als die Gesamtheit aller richtig gebildeten Sätze aufgefaßt werden
- Sätze setzen sich aus Wörtern zusammen und werden mit Hilfe einer bestimmten Grammatik, d. h. einer endlichen Gesamtheit von Bildungsregeln, erzeugt und sind die Träger von Bedeutungsinhalten
- Wörter sind Zeichenkombinationen, die eine auf Konvention beruhende Bedeutung haben. Die Wortlänge kann im Rahmen einer Sprache konstant (z. B. EDV-Codes, genetischer Code) oder unterschiedlich sein (z. B. natürliche Sprachen, Morsecode)

<u>Beispiele:</u>	χ ρ ο υ ο ς	= Zeit (griechisch)
	П Р И Б О Р	= Gerät (russisch)
	... --- ...	= SOS, das Seenotzeichen (Morsecode)
	G C A	= Alanin (genetischer Code)
	SUBROUTINE	= Unterprogrammbeginn (FORTRAN)

- Den Gesamtvorrat der elementaren Zeichen einer Sprache nennt man Zeichenvorrat (Buchstaben). Ist der Zeichenvorrat in vereinbarter Reihenfolge geordnet, so spricht man von einem Alphabet
- Sprache besteht aus zwei Ebenen, der Syntax (Satzbau, Zusammenbau der Wörter zu Sätzen) und der Semantik (Bedeutung).
- Sprache besteht auf der Ebene der Syntax aus mindestens zwei Bereichen, der Lexik und der Grammatik [24]
- Sprache sowie ihre Lexik und Grammatik beruhen auf Konvention. (Das wird dem Nichtkenner einer Fremdsprache besonders deutlich. Das Erlernen einer Fremdsprache besteht darin, möglichst sämtliche Konventionen kennenzulernen)
- Auf der Ebene der Semantik können wir lautliche Mittel (nur bei der gesprochenen Sprache: Phonetik, Intonation) und strukturelle Mittel unterscheiden
- Die Bedeutungszuweisung zu den Wörtern (Zeichenkombinationen, Symbole) beruht auf Konvention. Sprache kann somit als eine Abstraktion von gegenständlichen und nichtgegenständlichen Sachverhalten aufgefaßt werden

Der bekannte Sprachwissenschaftler N. Chomsky gliedert die Grammatik in drei Komponenten: eine syntaktische, eine phonologische und eine semantische. Die syntaktische Komponente erzeugt eine abstrakte Struktur, die durch die beiden anderen Komponenten "interpretiert" werden muß. So erlaubt die Grammatik schließlich, mittels abstrakter Strukturen Bedeutungen mit akustisch dechiffrierbaren Zeichen zu verbinden.

Sprache kann auch als Ausdrucksform von Gedanken definiert werden. So schreibt H. Kuchling [16]

"Zwar könne man den Gedanken nicht sehen, aber ihn muß es geben, denn gäbe es ihn nicht, könnten die von uns verwendeten Wörter keinen Sinn, keine Bedeutung haben. Gedanken können in Sätzen der deutschen, russischen oder irgendeiner anderen Sprache ausgedrückt werden, also kommt es nicht auf die jeweilig verwendete Sprache an, sondern nur auf das, was durch sie ausgedrückt wird. Also sind die sprachlichen Ausdrücke gegenüber den Gedanken das Unwesentlichere, weil sie eben nur äußerliche, jederzeit austauschbare "Hülle" sind. Sie haben daher keinerlei Erkenntniswert."

Zur Bezeichnung desselben Sachverhalts können mehrere sprachliche Mittel dienen:

- konkurrierende syntaktische Konstruktionen
- Parallelkonstruktionen
- synonymische Möglichkeiten

Synonyme spielen im Rahmen sprachlicher Ausdrucksformen eine wesentliche Rolle. Sie können wie folgt definiert werden [24]:

"Synonyme sind sprachliche Möglichkeiten, die einen gegebenen außersprachlichen Sachverhalt als gemeinsamen Bezugspunkt mit verschiedenen sprachlichen Mitteln, aber doch auf inhaltlich ähnliche (in begrenzten Fällen sogar auf inhaltlich gleiche) Weise darstellen."

### 2.3.2 Informationsübertragung und funktionale Abhängigkeiten

Wir wollen nun auf die Informationsübertragung eingehen, wie sie in Bild 7 graphisch dargestellt ist. Dabei erweist es sich als vorteilhaft, funktionale Abhängigkeiten einzuführen (Index 1 soll für Sender und Index 2 für Empfänger stehen).

#### Senderseitige Syntax und Semantik:

$B_1^i$  ist die gedankliche Vorstellung des Senders, also jene noch in keiner Weise codierte Bedeutung

$B_1$  sind die in Form von Sprache tatsächlich zum Ausdruck gebrachten Gedanken (semantischer Inhalt der Sätze)

$B_1^i \neq B_1$  oder  $B_1^i \approx B_1$  gilt dann, wenn

- der Sender sich nicht richtig auszudrücken vermag oder
- die sprachlichen Mittel nicht ausreichen oder
- er etwas formuliert, was er gar nicht so gemeint hat.

Mit der Problematik,  $B_1^i$  in  $B_1$  umzusetzen hat sich der bekannte Mathematiker G. Frege [ 8] befaßt. Er drückt dies so aus:

"Ich bin hier nicht in der glücklichen Lage eines Mineralogen, der seinen Zuhörern einen Bergkristall zeigt. Ich kann meinen Lesern nicht einen Gedanken in die Hände geben mit der Bitte, ihn von allen Seiten recht genau zu betrachten. Ich muß mich begnügen, den an sich unsinnlichen Gedanken in die sinnliche sprachliche Form gehüllt dem Leser darzubieten."

$A_1$  sind die in einer gewählten Sprache unter Einbeziehung der syntaktischen Regeln und semantischen Mittel abstrakt formulierten Ausdrücke (Texte, Daten) oder Symbole.

Symbole sind Zeichen, die gleichzeitig Bedeutungsträger sind (z. B. Piktogramme sind bildhafte Symboldarstellungen mit festgelegter international verständlicher Bedeutung wie z. B. Verkehrssymbol, Bettsymbol für Hotelübernachtung)

Schaltbilder enthalten Symbole mit festgelegter Bedeutung

(z. B.  Widerstand,  Ventil).

Für die in einem Ausdruck A enthaltene Bedeutung B können wir formal schreiben:

$$B = \text{sem}(A) \quad (1)$$

und lesen "B ist die Semantik des Ausdrucks A". Außerdem wollen wir noch den komplementären Sachverhalt und die Leermenge einführen, die auch entsprechend für die anderen Aspekte der Information eingebracht werden sollen:

$\bar{B} = -B$   $\bar{B}$  ist die zu B entgegengesetzte (komplementäre) Bedeutung (z. B. Lüge);  $\bar{B}$  ist nicht immer definiert

$B = \emptyset$  Leermenge, d. h. B ist ohne Bedeutung oder ist eine logisch unsinnige Information

Da gedankliche Äußerungen und Mitteilungen in Gestalt bedeutungstragender Zeichen, d. h. in Sprachen, realisiert werden, gibt es wegen der mannigfachen Ausdrucksformen die Möglichkeit, die gleiche Bedeutung B auf verschiedene Weise auszudrücken. Das trifft sowohl für die natürlichen wie auch für die formalen Sprachen zu:

$$\text{sem}(A_p) = \text{sem}(A_q) \quad (2)$$

Für die Ausdrücke  $A_p$  und  $A_q$  gilt Gleichung (2), wenn :

- $A_p$  und  $A_q$  gleich sind ( $A_p = A_q$ ) oder
- $A_p$  und  $A_q$  zu verschiedenen Sprachen gehören ( $A_p \neq A_q$ ) oder
- $A_p$  und  $A_q$  Synonyme sind ( $A_p \neq A_q$ )

Beispiel 1: Gleiche Bedeutung, aber unterschiedliche Ausdrücke in verschiedenen Programmiersprachen:

$A_{1,1} = \{ \text{'IF' X < 0 'THEN' X := - X;} \}$  ALGOL

$$\begin{aligned}
 A_{1,2} &= \{X \leftarrow X \cdot -X\} && \text{APL} \\
 A_{1,3} &= \{\text{IF}(X.\text{LT}.0) X=-X\} && \text{FORTRAN} \\
 A_{1,4} &= \{\text{IF } X \text{ LESS THAN } 0 \text{ THEN MULTIPLY } X \text{ BY } -1 \text{ GIVING } X.\} && \text{COBOL}
 \end{aligned}$$

Die obigen Ausdrücke haben die gleiche Bedeutung, d. h. es gilt:

$$\begin{aligned}
 B &= \text{sem}(A_{1,1}) = \text{sem}(A_{1,2}) = \text{sem}(A_{1,3}) = \text{sem}(A_{1,4}) && (3) \\
 &= \{\text{Betrag von } X\}
 \end{aligned}$$

Neben dem funktionalen Zusammenhang "B ist die Bedeutung (Semantik) von  $A_{1,1}$ " wollen wir eine logische Funktion  $L\{x\}$  mit den beiden Werten 0 (=falsch) und 1 (=richtig) einführen, wobei  $X$  ein sprachlicher Ausdruck, eine Bedeutung, eine Handlung oder ein Ergebnis sein kann. Da z. B. der Ausdruck  $A_{1,1}$  nach den Regeln des ALGOL-Reports syntaktisch richtig geschrieben ist, können wir diesen Sachverhalt durch die logische Funktion auch so ausdrücken:

$$L\{\text{synt}(A_{1,1})\} = 1, \quad (4)$$

wobei mit  $\text{synt}(A)$  die syntaktische Untersuchung des Ausdrucks  $A$  gemeint ist.

Beispiel 2: Die beiden Ausdrücke

$$A_p = \{\text{Die Schule br\underline{a}nnt}\}$$

$$A_q = \{\text{Die Schule br\underline{e}nnt}\}$$

unterscheiden sich dadurch, daß der eine syntaktisch richtig und der andere falsch ist:

$$L\{\text{synt}(A_p)\} = 0 \quad A_p \text{ ist syntaktisch falsch}$$

$$L\{\text{synt}(A_q)\} = 1 \quad A_q \text{ ist syntaktisch richtig}$$

Für die Bedeutung eines Ausdrucks benötigen wir zwei logische Funktionen, wobei die eine losgelöst vom Empfänger zu betrachten ist (Symbol  $\mathcal{L}$ ) und die andere die Eigenschaft des Empfängers berücksichtigt (Symbol  $L$ ).

Die logische Funktion (losgelöst vom Empfänger)

$$\mathcal{L}_1 = \mathcal{L}\{\text{sem}(A_q)\} = \begin{cases} 0 \\ 1 \end{cases} \quad (5)$$

sagt aus, daß für den Fall  $\mathcal{L}_1 = 0$  "die Schule in Wirklichkeit gar nicht brennt" und bei  $\mathcal{L}_1 = 1$  "die Schule tatsächlich brennt". Die logische Funktion berücksichtigt das Verstehen der Semantik (vgl. Gl. (6)).

Der sprachlich formulierte Ausdruck  $A_1$  wird im allgemeinen senderseitig nach Bild 7 mit Hilfe eines Code-Umsetzers\* in ein gesendetes Signal umgesetzt. Der Code-Umsetzer auf der Empfängerseite decodiert das Signal in den empfangenen Ausdruck  $A_2$ . Wir befassen uns nun mit dem Verstehensprozeß, den wir in Syntax und Semantik zerlegen können.

### Empfängerseitige Syntax

$A_2$  ist der beim Empfänger angekommene Ausdruck (z. B. Text, Datensatz, Schaltbild)

$A_2'$  ist zwar von der "materiellen Struktur" her mit  $A_2$  identisch, aber es gelingt dem Empfänger, die syntaktische Analyse dieses Ausdrucks vorzunehmen.

Für den Verstehensprozeß sind also  $A_2$  und  $A_2'$  zu unterscheiden:

Beispiel 1: Ein auf einem Fernschreiber angekommener spanischer Text wird von einem Empfänger  $E_1$  als fremdsprachlicher Text erkannt. Da er weder Vokabel- noch Grammatikkenntnisse der spanischen Sprache besitzt, kann er den Text noch nicht einmal syntaktisch analysieren. Er bleibt unterhalb des Blockes "Syntax" in Bild 7 stehen.

Beispiel 2: Ein zweiter Empfänger  $E_2$  besitzt gute Kenntnisse der spanischen Sprache, ihm sind sämtliche Vokabeln des angekommenen Textes bekannt, und er ist in der Lage, eine Satzanalyse durchzuführen. Es handelt sich aber bei dem vorliegenden Text um eine schwierige wissenschaftliche Darlegung, von der er nichts versteht, d. h. die Bedeutung des Textes bleibt ihm verborgen.  $E_2$  gelangt also in Bild 7 bis  $A_2'$ .

### Empfängerseitige Semantik

$B_2'$  ist die in  $A_2$  enthaltene Bedeutung.

$B_2'$  ist unabhängig davon, ob sie verstanden wird oder nicht. Es ist hierbei nur wesentlich, daß durch den Übertragungsvorgang  $B_2'$  empfängerseitig angelangt ist. Wenn die Übertragung fehlerfrei verlief, dann gilt  $B_2' = B_1$ .

$B_2$  ist die vom Empfänger verstandene bzw. aus  $A_2$  interpretierte Bedeutung. Im Normalfall wünscht der Sender, daß die von ihm zum Ausdruck gebrachte Bedeutung auch vom Empfänger in vollem Umfang verstanden wird. Wenn dies nicht der Fall ist, können folgende Gründe vorliegen:

\* nach DIN 44300 ist ein Code-Umsetzer "ein Umsetzer, in dem den Zeichen eines Code A Zeichen eines Code B zugeordnet werden".

- Bei der Signalübertragung können Störsignale die Botschaft verfälschen.  
Gegenmaßnahmen:
  - Verwendung fehleranzeigender Codes (z. B. Dreierprobe bei Computern)
  - Verwendung eines Signalübertragungsverfahrens mit sehr geringer Störungsempfindlichkeit (z. B. Puls-Code-Modulation beim Nervensystem)
  - Verwendung fehlerkorrigierender Mechanismen (z. B. Fehlerreparaturmechanismen bei der DNS-Replikation [23]: Exzisions-Reparatur, Postreplikations-Reparatur, SOS-Reparatur)
  - Semantische Reparatur aufgrund des Kontextes
- Sender und Empfänger haben ein unterschiedliches Vorverständnis bei der Verwendung gleicher Begriffe (Beispiel: Die Begriffe "Frieden", "Freiheit" und "Demokratie" werden in West und Ost unterschiedlich verstanden)
- Der Empfänger erkennt nicht den vollen Bedeutungsumfang des vom Sender verfaßten Textes, weil es sich entweder um sehr schwierige Zusammenhänge handelt (z. B. philosophische Texte) oder aber der Text eine geringe Verständlichkeit aufweist. W. Briest [1] hat sich damit befaßt, wie man Verständlichkeit quantitativ erfassen kann.

Sonderfall: Die Kryptographie (Geheimschrift) stellt sich die umgekehrte Aufgabe, nämlich  $A_2$  so darzustellen, daß der (nicht gewünschte) Empfänger  $B_2$  gar nicht oder bewußt verfälscht erhält, d. h.  $B_2 = \emptyset$  oder  $B_2 = \overline{B_2'}$ . Die Kryptographie ist ein besonders eindrucksvolles Beispiel für  $B_2 \neq B_2'$ .  $B_2'$  ist in dem Ausdruck  $A_2$  zwar voll enthalten, aber der unerwünschte Empfänger kann die Bedeutung nicht entnehmen.

Die empfängerbezogene logische Funktion (vgl. hingegen Gl.(5)!)

$$L_1 = L \{ \text{sem}(A) \} = \begin{cases} 0 \\ 1 \end{cases} \quad (6)$$

sagt aus, daß für den Fall  $L_1 = 1$  die Bedeutung des Ausdrucks verstanden wird und für  $L_1 = 0$  nicht.

Beim Verstehensprozeß wird die empfangene Zeichenkombination analysiert und in entsprechende Gedanken abgebildet. Der gesamte Prozeß umfaßt die drei Bereiche:

- Signalempfang (statistische Ebene der Information)
- Satzanalyse (syntaktische Ebene der Information) und
- Bedeutungsermittlung (semantische Ebene der Information)

Diesen drei Anteilen entspricht im Rahmen der Informationsübertragung die folgende Aufteilung (vgl. Bild 7 ):

- Signalübertragung (von  $A_1$  bis  $A_2$ : in diesem Bereich ist die Frage nach der Syntax oder der Semantik des Gesendeten noch gar nicht von Belang)
- Datenübertragung (von Block Syntax/Sender bis Block Syntax/Empfänger) In Anlehnung an die Datenübertragung bei Computern spielt hier die Syntax bereits eine Rolle (z. B. Formatierung von Datenblöcken)
- Kommunikation (von  $B_1$  bis  $B_2$ ) liegt vor, wenn die Informationsübertragung von Sender zu Empfänger jeweils die Ebene der Semantik erreicht.

Bild 7 veranschaulicht noch einen wichtigen Sonderfall der Kommunikation: die Übersetzung. Wenn zwischen Sender S und Empfänger E keine gemeinsamen Sprachkonventionen vorliegen, so ist ein Übersetzer Ü erforderlich, der beide Konventionen (gleicher Zeichenvorrat und Bedeutungszuordnungen von S zu Ü und von Ü zu E) kennt. Obwohl die Ausdrücke  $A_1$  und  $A_2$  sich unterscheiden, wird die Forderung gestellt, daß der Sachverhalt (Bedeutung  $B_1$ ) richtig und ohne semantischen Informationsverlust übersetzt wird. Im Bereich der Computer ist für jede Programmiersprache ein Compiler erforderlich, der die Informationen in die jeweilige Maschinensprache übersetzt.

Handelt es sich bei dem Empfänger um eine Maschine oder sonst ein irgendwie erstelltes Aggregat, so muß der Konstrukteur, d. h. der Planer des Konzepts, alle möglichen gedanklichen Prozesse schon vorweggenommen haben, oder aber sie verlagern sich auf den Anwender (z. B. den Programmierer als Anwender des Computers). Im Endglied der Informationskette (Sender, Empfänger) steht jedoch immer eine geistige Größe.

#### 2.4 Pragmatische und apobetische Information

Inzwischen haben wir drei Aspekte der Information abgehandelt: Statistik, Syntax, Semantik. Bis hinaus zur Ebene der Semantik taucht noch gar nicht die Frage nach der Zielsetzung und dem Ergebnis der Informationsübertragung auf. Darum müssen wir noch zwei sehr wichtige Begriffe abhandeln. Für den Aspekt der Zielvorstellung des Senders, dem auf der Empfängerseite das Ergebnis gegenübersteht, war in [9] der Begriff der Apobetik (griech. apobeinon = Ergebnis, Erfolg, Ausgang) erstmals eingeführt worden.

Um das geplante Ergebnis zu erreichen, stellt der Sender die Überlegung an, durch welche Handlungsweise der Empfänger zu dem geplanten Ziel kommt. Dieser Aspekt des Handelns wird durch den Begriff Pragmatik zum Ausdruck gebracht.

In Bild 7 finden wir diese beiden Informationsaspekte sender- wie auch empfängerseitig dargestellt. Die einzelnen Aspekte sowie ihre funktionellen Zusammenhänge sollen nun besprochen werden:

Apobetik des Senders:

$Z_1$  ist die Zielvorstellung des Senders S. Es ist das beabsichtigte Ergebnis, das der Sender beim Empfänger zu erreichen wünscht.

Pragmatik des Senders:

$H_1$  ist die vom Sender konzipierte Handlung, wobei er wünscht, daß der Empfänger sie in dieser geplanten Weise ausführt.

Beispiel 1: Sender: Konstrukteur

$Z_1 = \{\text{Herstellung einer Kurbelwelle}\}$

$H_1 = \{\text{ingenieurmäßiges Durchdenken des Herstellungsprozesses}\}$

$B_1 = \{\text{Konstruktionsgedanken}\}$

$A_1 = \{\text{technische Zeichnung}\}$

Pragmatik des Empfängers:

$H_2$  ist die Reaktion, die vom Empfänger ausgelöst wird aufgrund der verstandenen Bedeutung  $B_2$ : angeregte Handlung, Anreiz zur Tat, Stimulation zu einem bestimmten Verhalten.

$H_2 = \text{pragm}(B_2)$   $H_2$  ist die Pragmatik der Bedeutung  $B_2$ .

Fallunterscheidungen:

- a)  $H_2 = H_1$  wenn der Empfänger E die vom Sender S beabsichtigte (gewünschte) Handlungsweise  $H_1$  auch so ausführt.

Diesen Sachverhalt können wir auch mit Hilfe der logischen Funktion L ausdrücken:

$$L_2 = L \{H_2\} = 1$$

- b) In allen anderen Fällen ist der Wert der logischen Funktion  $L_2 = 0$ , da  $H_1$  nicht so ausgeführt wird.

$H_2 \neq H_1$  wenn der Empfänger anders handelt als von S beabsichtigt

$H_2 = \overline{H_1} = -H_1$  wenn der Empfänger gerade entgegengesetzt handelt

$H_2 = \emptyset$  Der Empfänger reagiert überhaupt nicht (keine Handlung).

Falls keine Handlung erwünscht ist, so gilt  $L_2 = 1$ , wie das folgende Beispiel zeigt:

In einem FORTRAN-Programm bewirkt die STOP-Anweisung, daß das laufende Programm beendet wird, d. h. nicht mehr handelt. Da diese Reaktion aber so vom Sender beabsichtigt war, gilt:

$$H_2 = \text{pragm (STOP)} \neq \emptyset$$

$$L \{H_2\} = 1, \text{ da } H_2 = H_1$$

Um im Rahmen der Pragmatik sowohl menschliches, tierisches und maschinelles Handeln zu erfassen, können wir verschiedene Arten unterscheiden:

- |   |   |                      |
|---|---|----------------------|
| - programmiertes Handeln (Maschine)                 | } | i. allg. $H_1 = H_2$ |
| - instinktives Handeln (im Tierreich)               |   |                      |
| - dressiertes Handeln (z. B. Polizeihund)           |   |                      |
| - erlerntes Handeln (z. B. Umgangsformen)           |   |                      |
| - einsichtiges Handeln (Mensch)                     | } | $H_2$ freigestellt   |
| - intuitives Handeln (Mensch)                       |   |                      |
| - intelligentes Handeln nach freiem Willen (Mensch) |   |                      |

#### Apobetik des Empfängers:

$Z_2$  ist das durch die Handlung  $H_2$  beim Empfänger erwirkte Ergebnis.

$$Z_2 = \text{apbk}(H_2) \quad Z_2 \text{ ist die Apobetik der Handlung } H_2$$

Fallunterscheidungen:

- a)  $Z_2 = Z_1$  Der Empfänger hat die Zielvorstellung des Senders voll erfüllt.

$$L \{Z_2\} = 1 \quad \text{Zielvorstellung des Senders erreicht}$$

#### Beispiele:

- Der Dreher (Empfänger) hat die Kurbelwelle ( $Z_2=Z_1$ ) nach den Zeichnungen des Konstrukteurs ( $A_1, B_1$ ) angefertigt
- Die Nullstelle der Funktion ( $Z_2=Z_1$ ) ist mit Hilfe des FORTRAN-Programms ( $A_1, B_1$ ) errechnet ( $H_2$ ) worden.
- Der Zeitungsleser (Empfänger) hat die Witzspalte ( $A_2=A_1$ ) der Zeitung gelesen, den Witz verstanden ( $B_1$ ), er hat gelacht ( $H_2$ ), und er bleibt weiterhin Abonnent ( $Z_2=Z_1$ ).

Der Wert der logischen Funktion beträgt 1 in allen obigen Beispielen.

b) In allen anderen Fällen gilt  $L\{Z_2\} = 0$  :

$Z_2 \neq Z_1$  Der Empfänger hat das vom Sender beabsichtigte Ergebnis  $Z_1$  nicht erreicht.

$Z_2 = \overline{Z_1} = -Z_1$  Durch die Handlung  $H_2$  des Empfängers wurde gerade das Gegenteil erreicht.

Beispiel: Auf die Frage nach dem Weg zum Bahnhof biegt der Autofahrer rechts ab, obwohl die Antwort links lautete.

$Z_2 = \emptyset$  überhaupt kein Ergebnis erreicht.

Die Informationsübertragung von  $H_1$  bis  $H_2$  wollen wir gemäß Bild 7 Reaktion und von  $Z_1$  bis  $Z_2$ , d. h. von der Zielsetzung bis zur Zielerfüllung, 'Informationsübertragung im weitesten Sinne' nennen.

Die o.g. Beispiele wollen wir nun auch von der Empfängerseite aus betrachten:

Zu Beispiel 1: Empfänger: Dreher

$A_2 = \{\text{eine korrekte technische Zeichnung liegt dem Dreher vor}\}; L\{\text{synt}(A_2)\} = 1$

$B_2 = \{\text{der Dreher kann alle Aussagen der technischen Zeichnung verstehen}\}; L\{\text{sem}(A_2)\} = 1$

$H_2 = \{\text{der Dreher begibt sich an die Drehbank und beginnt den spanabhebenden Vorgang}\}; L\{H_2\} = 1$

$Z_2 = \{\text{die Kurbelwelle liegt fertig vor}\}; L\{Z_1\} = 1$

Sollwerte einer idealen Informationsübertragung: Die Zielvorstellung des Senders ( $Z_1$ ) ist dann erreicht, wenn beim Empfänger das Ergebnis ( $Z_2$ ) vorliegt, d. h.  $Z_2 = Z_1$ .

Dazu sind mehrere Einzelbedingungen erforderlich:

a)  $B_1' = B_1$ ;  $B_1 = \text{sem}(A_1)$  Die Gedanken des Senders ( $B_1'$ ) und die Bedeutung des Ausdrucks  $A_1$  stimmen überein.

b)  $A_1$  wird störungsfrei übertragen:  $A_2 = A_1$   
oder korrekt übersetzt:  $B_2' = B_1$ ,  $A_2 \neq A_1$ , aber  $B_2' = \text{sem}(A_1) = \text{sem}(A_2)$

c) Der Empfänger versteht  $A_2$  im Sinne des Senders:  $B_2 = B_1'$ .

Daraus folgt  $B_2 = B_1'$ : was der Sender gedacht hat, hat der Empfänger auch voll verstanden.

Anmerkung: H.R. Hansen et al. beklagen in dem Kapitel "Informationssysteme und die Ohnmacht des Bürgers" ihres Buches [11] gerade die Verletzung dieser Bedingung. Der Einsatz von EDV-Systemen hat zu einer Ausdrucksweise geführt, bei der der Bürger seine Strom- und Wasserrechnungen nicht mehr verstehen und kontrollieren könne.

- d) Der Empfänger handelt richtig im Sinne des Senders:  $H_2 = H_1$   
 e) Das Ergebnis des Empfängers stimmt mit der Zielvorstellung des Senders überein:  $Z_2 = Z_1$

### 3 Beispiele für Informationsübertragung

Mit Hilfe der in dieser Arbeit dargelegten Gesetzmäßigkeiten und Definitionen zum Informationsbegriff sind wir nun in der Lage, Vorgänge hinsichtlich ihrer Sender/Empfänger-Spezifitäten zu untersuchen und zu beschreiben. An je einem Beispiel aus Natur und Technik soll dies gezeigt werden. Insbesondere wird dargelegt, wo die Grenzen naturwissenschaftlicher Aussagen liegen.

1. Natur: Wir haben gesehen, daß das Vorhandensein eines Codes auch einen Sender impliziert. Wenn der Sender auch nicht in allen Fällen ausgemacht werden kann, so darf daraus nicht der falsche Schluß auf seine Nichtexistenz gezogen werden. Wir wissen heute, daß die semantische Informationsdichte im DNS-Molekül die höchste überhaupt bekannte ist, aber merkwürdigerweise begegnen uns hier immer wieder Aussagen, die uns angesichts der dargelegten Informationssätze paradox erscheinen müssen. Der Nobelpreisträger Jacques Monod sagte [19]: "Es ist absurd und absolut unsinnig zu glauben, daß eine lebende Zelle von selbst entsteht; aber dennoch glaube ich es, denn ich kann es mir nicht anders vorstellen."

Niemand käme auf die Idee, nur weil man den Autor der Ilias nicht kennt, zu behaupten, einen Verfasser habe es nie gegeben. Um so erstaunlicher mutet es an, wenn im Namen der Wissenschaft an exponierter Stelle eine dazu völlig analoge These nicht nur als ein mitzubedenkender Fall genannt, sondern doktrinär vertreten wird. So äußerte der Biologe H. Markl [18] während der Jahresversammlung des "Deutschen Verbandes technisch-wissenschaftlicher Vereine":

"Die Evolutionstheorie läßt auch keine Annahme für die Erklärung der Entstehung des Menschen zu... umso unvermeidlicher folgen daraus die Konsequenzen für eine kontinuierlich-mechanistische und monistische Erklärung aller Lebensvorgänge.

Dieser Erklärungsanspruch an Darwinscher Theorie ist an Kühnheit und Folgenreichtum für das Selbstverständnis des Menschen und das seiner Stellung in der Natur ohnegleichen; in dieser Hinsicht verblaßt dagegen - ungeachtet der unvergleichlich höheren wissenschaftlichen Stringenz und Klarheit - selbst die Kopernikanische Weltrevolution, Newtons Himmelsmechanik und Einsteins Relativitätstheorie."

Wie kann es zu so absoluten Darlegungen kommen, wo wir es doch gerade im Bereich des Lebens mit sehr komplexen, äußerst zweckmäßigen und auf ein Ziel hin ausgerichteten Konzepten ( $Z_1$ ) und deren Ergebnissen ( $Z_2$ ) zu tun haben? Selbst diese Ergebnisse stellen in sich schon hochgradig ausgeklügelte Informationssysteme dar. Das Vorliegen eines decodierbaren Codes weist nach den dargelegten Untersuchungen unmißverständlich auf einen Vereinbarer mit planerischer Tätigkeit hin. Es ist darum nicht einzusehen, warum ausgerechnet der die Lebewesen bestimmende äußerst informationsreiche genetische Code keinen Vereinbarer gehabt haben soll. Naturwissenschaft vermag zwar mit ihren begrenzten Mitteln (Wägen und Messen und deren Auswertung, Aufstellung nachprüfbarer Gesetzmäßigkeiten) den Sender nicht zu erkennen, sie darf ihn aber deshalb auch nicht leugnen. Wenn dies immer wieder durch Modelle nach der Bauart von "Zufall und Notwendigkeit" geschieht, sollte man sich darüber im klaren sein, daß der Boden realer naturwissenschaftlicher Aussagen verlassen wird und man sich in den Bereich der Spekulation und der vielfältigen philosophischen Lehrmeinungen begeben hat.

Die behandelten fünf Informationsaspekte wollen wir nun am Beispiel der genetischen Information "durchbuchstabieren":

a) Sender: Kann naturwissenschaftlich nicht beschrieben werden\*)

$Z_1 = \{\text{Absicht zur Realisierung des Lebens}\}$

$H_1 = \{\text{Konzept für die erstmalige Realisierung sowie für die fortwährende Replikation}\}$

$B_1 = \{\text{Bedeutungsinhalte}\}$

$A_1 = \{\text{sprachliche Fixierung}\}$

b) Empfänger: Lebewesen, Zellen

$A_2 = \{\text{Der Bauplan des Lebens ist in Form des genetischen Codes in den DNS-Molekülen in chemischer Schrift niedergelegt}\}$

$L \{\text{synt}(A_2)\} = 1$

\*) Anmerkung des Verfassers: Wenn der naturwissenschaftliche Zugang nicht gelingt, heißt das nicht, daß es auch anderweitig nicht möglich ist.

$B_2 = \{\text{Transkription: Lesen und Verstehen der Bedeutung der Information in den DNS-Molekülen, enzymatische RNS-Synthese}\}$

$$L \{B_2\} = 1$$

$H_2 = \{\text{Ausführung der in genetischer Sprache beschriebenen Anweisungen:}$

- Proteinsynthese in der lebenden Zelle (Translation)
- Struktureller Aufbau des gesamten Organismus (Embryogenese, Wachstum, Erneuerung)
- Realisierung aller biologischen Funktionen}

$$L \{H_2\} = 1$$

$Z_2 = \{\text{Existenz des Lebens}\}; L \{Z_2\} = 1$

Durch die Bilder 8 und 9 werden diese Vorgänge graphisch veranschaulicht. Bild 9 zeigt insbesondere den für den Zellaufbau erforderlichen geschlossenen Kreis der Informationsübertragung in vereinfachter Darstellung. Der Translationsvorgang entspricht der Pragmatik, er ist aber insofern in den Kreisprozeß der semantischen Information einzubeziehen, da die DNS-Synthese nur unter enzymatischer Katalyse geschehen kann. Bild 9 dokumentiert eindrücklich, daß ein solcher Kreisprozeß von Anfang an fertig vorliegen muß und nicht auf kontinuierlichem Weg entstehen kann. Das Hyperzyklen-Modell [5] ist damit nicht nur aus chemischer Sicht zu verwerfen [22], sondern auch aus dem Blickwinkel der Informationsaspekte.

2. Technik: Als ein sehr einleuchtendes Beispiel mag hier der Vorgang des Programmierens genannt sein.

a) Sender: Programmierer

$Z_1 = \{\text{gesuchte Nullstelle der Funktion } f(x) = \ln(x^3 + \sqrt{x+1} - 1)\}$

$H_1 = \{\text{Entscheidung für das numerische Verfahren nach Newton}\}$

$B_1 = \{\text{Konzept für ein EDV-Programm und Entscheidung für die Programmiersprache FORTRAN}\}$

$A_1 = \{\text{Liste des FORTRAN-Programms}\}$

b) Empfänger: Computer und Programmierer

$A_2 = \{\text{das FORTRAN-Programm liegt in Form eines Kartendecks vor und ist nach den Konventionen der FORTRAN-Sprache syntaktisch richtig formuliert}\}; L \{\text{synt}(A_2)\} = 1$

$B_2 = \{\text{das FORTRAN-Programm ist logisch richtig, d. h. es enthält keine semantischen Fehler bezüglich des ausgewählten Verfahrens und kann von dem Compiler der verwendeten Rechenanlage (z. B. TR440) in ein lauffähiges Programm übersetzt werden}\}; L \{B_2\} = 1$

$H_2$  = {das FORTRAN-Programm wird mit den Ausführungskommandos UEBERSETZE, MONTIERE, STARTE am TR440 zum Lauf gebracht und erfolgreich beendet}  $L\{H_2\} = 1$

$Z_2$  = {die gesuchte Nullstelle der gegebenen Funktion  $f(x)$  liegt als Ergebnis auf der Programmliste ausgedruckt vor  $X_0 = 0.860048$ };  $L\{Z_2\} = 1$

#### 4 Informationsübertragung: Ein Vergleich zwischen Natur und Technik

Wir wollen nun einen Vergleich der Datenübertragungsraten durchführen.

1. Natur: Schon die einfachsten Zellen sind äußerst komplizierte Systeme. So enthält das wegen seiner Einfachheit leicht untersuchbare Bakterium *Escherichia coli* bereits 2500 verschiedene Proteine, obwohl es nur  $10^{-13}$  g wiegt und nur 2  $\mu\text{m}$  lang ist. Sein DNS-Molekül ist ausgestreckt 1 mm lang (das des Menschen ca. 2 m), und der codierte Konstruktionsplan umfaßt rund 4 Millionen Buchstaben (Nucleotide); das entspricht einem Buch von etwa 1000 Druckseiten. Die Zellteilung dauert etwa 20 min, d. h. in dieser Zeit sind alle Aspekte der Informationsübertragung (einschl. Apobetik  $Z_2$ ) ausgeführt. Das bloße Erkennen der Buchstaben des genetischen Codes (Syntax  $A_2$ , Semantik  $B_2$ ) geht sogar noch 1000mal schneller vor sich [6] und entspräche dem Lesen aller Bände der "Encyclopaedia Britannica" in einer halben Minute. Das entspricht einer Übertragungsrate von  $4 \cdot 10^6 / (20 \cdot 60 \cdot 10^{-3}) = 3,3 \cdot 10^6$  Buchstaben pro Sekunde.

2. Technik: Den o.g. Zahlenwert wollen wir mit den Datenübertragungsgeschwindigkeiten der Großrechenanlage TR440 der PTB in Vergleich setzen. Die Magnetbandgeräte MBG 263 mit 320 Sprossen/cm und einer Bandgeschwindigkeit von  $v = 1,9$  m/s erlauben somit eine Lesegeschwindigkeit von ca. 60800 Sprossen/s entsprechend 52000 Bytes/s und erreichen damit nur 1,6 % der Übertragungsrate von *E. coli*. Auch die Magnetplatten WSP430 mit 800 000 Bytes/s Übertragungsrate liegen mit 24 % noch deutlich darunter.

#### 5 Schlußbemerkung

Im Rahmen dieser Arbeit wurde der Begriff 'Information', der sowohl im Bereich der Technik als auch der Natur eine zentrale Rolle spielt, ausgiebig behandelt. Die Gliederung in fünf Aspekte zeigt einerseits die Vielschichtigkeit des Wesens der Information auf und andererseits ihre nicht zu übersehende Gleichartigkeit in Technik und Natur. Dabei fällt auf, daß sich die in der Natur vorkommenden Systeme gegenüber der 'künstlichen Hardware' im allgemeinen als die konzeptionell ausgeklügelteren, informationsreicheren, informationsdichteren und auch störungsunempfindlicheren herausstellen.

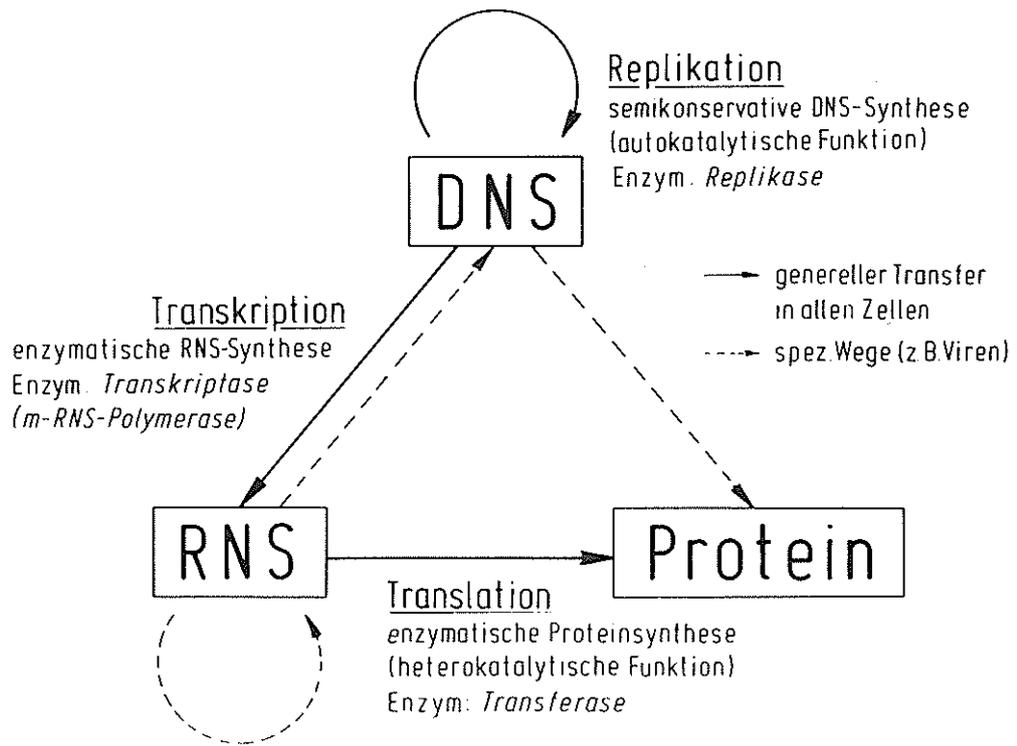


Bild 8 Informationsübertragung in der lebenden Zelle

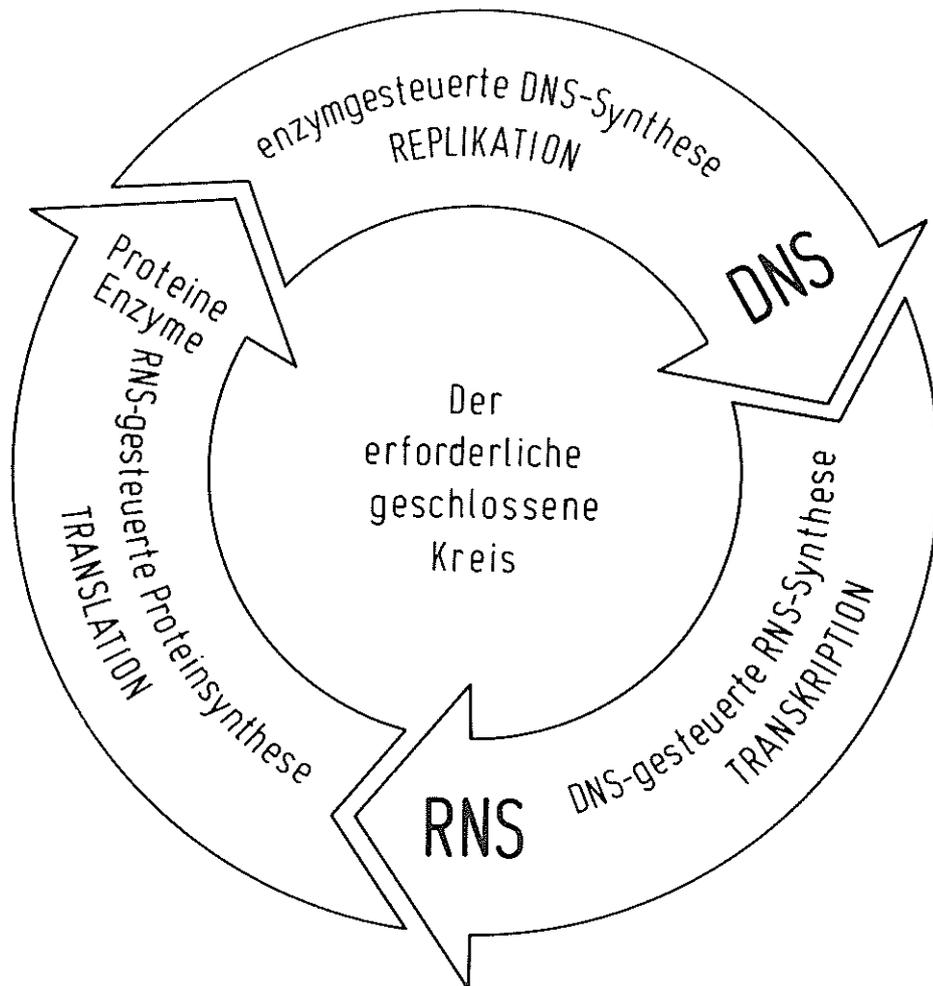


Bild 9 Der informationsgesteuerte Kreisprozeß in der lebenden Zelle

Literatur

- [ 1] W. Briest: Kann man Verständlichkeit messen? Zeitschrift für Phonetik, Akademie-Verlag Berlin, 27 (1974), S. 540-560
- [ 2] J.W. Burgess, P.N. Witt: Spinnennetze: Plan und Baukunst, Naturwissenschaftliche Rundschau 31 (1978), S. 269-282
- [ 3] G.J. Chaitin: Information-Theoretic Computational Complexity, IEEE Transactions on Information Theory, Vol. IT-20, No. 1, January 1974
- [ 4] M. Eigen: Selforganisation of Matter and the Evolution of Biological Macromolecules, Naturwissenschaften 58 (1971), S. 465-523
- [ 5] M. Eigen, P. Schuster: The Hypercycle, Naturwissenschaften 64 (1977), S. 541-565, 65 (1978), S. 7-41 und 65 (1978), S. 341-369
- [ 6] D. Flamm: Der Entropiesatz und das Leben: 100 Jahre Boltzmannsches Prinzip, Naturwissenschaftliche Rundschau 32 (1979), S. 225-239
- [ 7] H.-J. Flechtner: Grundbegriffe der Kybernetik, Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft mbH, 4. Auflage 1969, 423 S.
- [ 8] G. Frege: Kleine Schriften, Wissenschaftliche Buchgesellschaft, Darmstadt, 1967, 434 S.
- [ 9] W. Gitt: Information und Entropie als Bindeglieder diverser Wissenschaftszweige, PTB-Mitt. 91 (1981), S. 1-17
- [10] H. Haken: Synergetics - Are Cooperative Phenomena Governed by Universal Principles? Naturwissenschaften 67 (1980), S. 121-128
- [11] H.R. Hansen, K.T. Schröder, H.J. Weihe: Mensch und Computer, R. Oldenbourg Verlag, München Wien 1979, 349 S.
- [12] B. Hassenstein: Was ist "Information"? Naturwissenschaft und Medizin 3 (1966), S. 38-52
- [13] E. Jantsch: Die Selbstorganisation des Universums, Hanser Verlag, 1979, 464 S.
- [14] E. Kahrig, H. Beßerdich: Dissipative Strukturen, VEB Georg Thieme, Leipzig 1977, 116 S.
- [15] R.G. Kessel, R.H. Kardon: Tissues and Organs, a text-atlas of scanning electron microscopy, W.H. Freeman and Company, San Francisco, 1979, 317 S.
- [16] H. Kuchling: Sprache und objektive Wahrheit, Wissenschaftliche Zeitschrift der Humboldt-Universität zu Berlin, Math.-Nat. R. XXII (1973), S. 105-107
- [17] H. Kuhn: Modellvorstellungen zur Entstehung des Lebens, Phys. Blätter 34 (1978), S. 208-217

- [18] H. Markl: Der Wandel des naturwissenschaftlich-technischen Weltbildes in den letzten 30 Jahren als Faktor für die Zukunft aus der Sicht des Biologen, DTV-Schrift Nr. 12 (1980), S. 23-39
- [19] J. Monod: Vortrag bei CERN in Genf 1964
- [20] NTG 1203: Daten- und Textkommunikation, Entwurf 1981
- [21] F. Papentin: Complexity of Snowflakes, Naturwissenschaften 67 (1980), S. 174-177
- [22] P. Rüst: Vermögen Eigens Hyperzyklen eine spontane Lebensentstehung plausibel zu machen? Erscheint demnächst (Journal of Theor. Biol.)
- [23] W. Schumann: Mechanismen der DNA-Reparatur, Biologie in unserer Zeit 10 (1980), S. 33-38
- [24] K.E. Sommerfeldt: Valenztheorie und lexikalische Synonymie, Zeitschrift für Phonetik, Akademie-Verlag Berlin, Bd. 28 (1976), S. 167-178
- [25] K. Stierstadt: Phasenübergänge in Physik und Biologie, Phys. Blätter 34 (1978), S. 304-316
- [26] H. Weitzel: Magnetische Ordnung und Neutronenbeugung, Physik in unserer Zeit 4 (1973), S. 48-56
- [27] W. Wieser, E. Gnaiger: Über die Thermodynamik von Lebensprozessen, Biologie in unserer Zeit 10 (1980), S. 104-109
- [28] P.G. Wright: Entropie and Disorder, Contemp. Phys. 11 (6), 581