

# Über das Phänomen: "Information"

**Matthias Rauterberg**  
Fachbereich Informatik  
Universität Oldenburg

## Überblick:

|  |  |
|--|--|
| 0. Vorwort .....                             |  |
| 1. Forschungsgeschichtliche Relevanz .....   |  |
| 2. Information und Semiotik.....             |  |
| 3. Information und Erkenntnistheorie.....    |  |
| 4. Information und maschinelles Lernen ..... |  |
| 5. Information und menschliches Lernen.....  |  |
| 6. Information und Handeln .....             |  |
| 7. Zusammenfassung .....                     |  |
| 8. Literatur .....                           |  |

## **0. Vorwort**

Da es in dieser Abhandlung um die Darstellung und Weiterentwicklung von inhaltlichen Vorstellungen zum Phänomen der "Information" geht, gibt es die Schwierigkeit der geeigneten Begriffswahl. In den Kapiteln eins bis fünf wird zunächst der Begriff "Information" in seinem herkömmlichen, vieldeutigen Sinne verwendet. Erst im sechsten Kapitel wird der Begriff "Information" mit einem neuen Inhalt gefüllt.

Im ersten Kapitel soll zunächst ein kurzer Abriß bisheriger Vorstellungen gegeben werden. In den nächsten Kapiteln zwei und drei werden einige grundsätzliche, schwer in ihren Auswirkungen auf eine inhaltliche Neuorientierung zu überblickende Problembereiche angesprochen.

In den beiden Kapiteln vier und fünf soll kurz eine Übersicht zum Thema "Lernen" gegeben werden, sodaß man dann im sechsten Kapitel die nötige Grundlage zum Verständnis des hier vorgestellten Ansatzes besitzt. Da jedoch im Rahmen dieser Abhandlung eine geeignete Lerntheorie nicht vorgestellt werden kann, werden nur einige grundsätzliche Aspekte angesprochen.

## 1. Forschungsgeschichtliche Relevanz

Nachdem der Versuch der Übernahme eines Informationskonzeptes auf der Basis der SHANNONSchen Informationstheorie für Anwendungen in den Sozialwissenschaften in den 60er Jahren als gescheitert angesehen werden muß, wird der Begriff "Information" meistens unexpliziert verwendet. Der Anwendungsbereich des SHANNONSchen Ansatzes hat sich bis heute im wesentlichen nur in der Nachrichten- und Codierungstheorie durchsetzen können. Dies liegt im wesentlichen daran, daß bei SHANNON der Empfänger nicht lernen kann.

Das nachrichtentechnische Modell geht von einem Sender, einem Kanal und einem Empfänger aus. Der Sender sendet Nachrichten über den Kanal an den Empfänger. Im weiteren wird nun der Empfänger als System, und zwar als informationsverarbeitendes System bezeichnet, welches zusätzlich die Eigenschaft zu Lernen hat und dann später mit Handlungskompetenz ausgestattet ist. Der Sender wird nun allgemein als Umgebung dieses Systems betrachtet und die "Informations"-Übertragung zwischen dieser Umgebung und dem System erfolgt zunächst über die systemeigenen "Sinnes"-Kanäle.

Die Informationsverarbeitung soll im Kontext dieser Arbeit nur durch das lernende System erfolgen. Wenn eine "Informations"-Verarbeitung durch Kanaleigenschaften hinzukommt, so sollte sich der Kanal selbst als lernendes System betrachten lassen.

|    |   |             |
|----|---|-------------|
| 1. | Information als Nachricht;                    | (Syntax)    |
| 2. | Information als Bedeutung der Nachricht;      | (Semantik)  |
| 3. | Information als Wirkung der Nachricht;        | (Pragmatik) |
| 4. | Information als Prozeß;                       |             |
| 5. | Information als Wissen;                       |             |
| 6. | Information als Bestandteil der Weltstruktur; |             |

**Tabelle 1:** Überblick über die verschiedenen Möglichkeiten dem Informationsbegriff eine bestimmte Bedeutung zu geben.

Der inflationäre Gebrauch des Begriffes "Information" läßt eine Neuorientierung geraten erscheinen. Die human-wissenschaftlichen Ansätze zur "Informationsverarbeitung" haben sich in ihren Grundlagen von den bisher erstellten Informationstheorien zum Teil weitgehend abgekoppelt und benutzen den Informationsbegriff entweder umgangssprachlich im Sinne der veralteten Begriffe "Auskunft", "Nachricht", bzw. im Sinne der neutraleren Begriffe "Daten", "Signal", "Stimulus" oder schneiden ihn sich auf die jeweilige Ziel- und Problemstellung passend zu (LACHMAN et.al., 1979, S.75).

Die Loslösung von den Grundvorstellungen der quantitativen Informationstheorien und damit einhergehende Auffächerung läßt sich wissenschaftshistorisch nachvollziehen und liegt sehr wahrscheinlich nach in noch weitgehend ungelösten Problemen auf der erkenntnistheoretischen Ebene.

Zur Zeit lassen sich im großen und ganzen sechs verschiedene Bedeutungen des Informationsbegriffes unterscheiden (siehe Tab.1).

Wenn man sich näher mit dem Komplex "Information" beschäftigt, so wird man feststellen, daß eine Reihe wesentlicher Eigenschaften in den verschiedenen Ansätzen unberücksichtigt bleiben. Einer der wesentlichsten Aspekte ist wohl darin zu sehen, daß das informationsverarbeitende System lernen kann und muß.

So tun sich alle informationstheoretischen Ansätze mit der Bezeichnung der "Information" vor und nach Empfang einer Nachricht sehr schwer. Es gibt eine Reihe von verschiedenen Vorschlägen zur Lösung dieses Problems (siehe Tab.2).

|           |        | VOR EMPFANG                 | NACH EMPFANG             |
|-----------|--------|-----------------------------|--------------------------|
| HARTLEY   | (1928) | Entscheidungsfreiheit       | Entscheidungsgehalt      |
| SHANNON   | (1949) | Ungewißheit<br>Wahlfreiheit | Gewißheit<br>Information |
| BRILLOUIN | (1964) | Ungewißheit                 | Information              |
| ZUCKER    | (1974) | potentielle Information     | aktuelle Information     |
| TOPSØE    | (1974) | Entropie                    | Informationsmenge        |

**Tabelle 2:** Die verschiedenen Ansätze zur begrifflichen Unterscheidung des Informationsgehaltes einer Nachricht vor und nach Empfang einer Nachricht.

So hat denn auch WEIZSÄCKER (1974) dieses Problem sehr treffend in folgendem Zitat auszudrücken versucht:

"Informationen verändern, wenn sie erfolgreich sind, die Basis ihrer eigenen Quantifikation" (WEIZSÄCKER, 1974, S.88).

Dieser fundamentale Sachverhalt kann nur auf einem lerntheoretischen Hintergrund sinnvoll erfaßt werden. Es ist daher unumgänglich zur Bestimmung eines menschengerechten Informationskonzeptes, sich mit dem Phänomen "Lernen" intensiv auseinanderzusetzen.

Zunächst sollen also die Voraussetzungen aufgezählt werden, die eine jede informationstheoretische Rahmenkonzeption erfüllen müßte:

1. Ein lernendes System wird durch den Empfang und die Verarbeitung von Informationen verändert, was auch die Semantik und Pragmatik dieser Informationen bei wiederholter Übertragung beeinflusst.
2. Lernende und handelnde Systeme verändern durch ihre Aktivitäten den Informationsgehalt der Umgebung bezüglich dieses Systems.
3. Die Semantik und Pragmatik der informationstragenden Nachrichten wird nicht - wie bisher - als unabhängig vom Wissensstand des jeweiligen Empfängers betrachtet.
4. Die semantische und pragmatische Übertragungsqualität der Information wird nicht - wie bisher - als unabhängig vom physikalischen Trägerprozeß angesehen.

5. Nachrichten können sowohl informieren, als auch des-informieren; es gibt also etwas wie negative Information, bzw. Des-Information; bisher wird der Informationsgehalt als wertfrei, bzw. positiv neutral angesehen.
6. Informationen, die informieren sollen, müssen in irgendeiner Art und Weise die Qualität der Neuartigkeit in sich tragen.

Um diese sechs Anforderungen erfüllen zu können, wird eine geeignete Wahrnehmungs-, Lern und Handlungstheorie benötigt. Im Spannungsfeld zwischen diesen drei Ansätzen kann dann der Informationsgehalt von Nachrichten in einem Informationsverarbeitungsprozeß bei einem wahrnehmenden, lernenden und handelnden System genauer bestimmt werden.

Bevor auf die Bereiche "Lernen" und "Information" eingegangen werden kann, müssen zwei Bereiche vorgestellt werden, die die Problematik bei einer inhaltlichen Füllung des Informationsbegriffes von seiner Tiefenstruktur her verdeutlichen.

## **2. Information und Semiotik**

In der Theorie der allgemeinen Zeichenlehre werden die drei Bereiche: Syntax, Semantik und Pragmatik unterschieden. Die wissenschaftliche Behandlung der Syntax von Sprach- und damit auch von Kommunikationssystemen ist formal zunächst grundsätzlich problemlos gegeben.

Es ist jedoch das Abbildungsverhältnis der extern, objektiv gegebenen Gegenstände, Entitäten und Phänomene der realen Welt auf das Zeichensystem zu bestimmen. Da man nun aber die reale Welt nicht ohne ein irgendgeartetes Zeichensystem selbst wiederum wissenschaftlich untersuchen und darstellen kann, muß man sich grundsätzlich mit einer nicht überprüfbaren Annahme behelfen:

die syntaktische Struktur des zu untersuchenden Zeichensystems korrespondiert mit der semantischen Struktur der natürlichen Sprachsysteme (TUGENDHAT & WOLF, 1983, S.95).

LEIBNIZ geht sogar noch einen Schritt weiter und unterstellt eine Äquivalenz zwischen der in Zeichensystemen verwendeten Ordnung, bzw. Struktur zwischen den Zeichen einerseits und der Ordnung zwischen den abgebildeten Objekten in der realen Welt andererseits.

Diese sehr plausible Annahme ist jedoch leider nicht empirisch überprüfbar, weil diese Überprüfung eine völlig semantikfreie Methodologie voraussetzt und diese Semantikfreiheit genau aus demselben Grunde nicht überprüft werden kann.

Eine Vorstellung gemäß dieser Annahme wurde z.B. bei dem bekannten Programm zur Manipulation von Klötzchen auf einer Tischoberfläche von WINOGRAD (1972) konzeptualisiert und direkt programmiert. Das Programm enthält also intern ein komplettes Modell der zu manipulierenden Außenwelt und funktioniert nur, wenn das interne Modell mit der Realität in der Außenwelt übereinstimmt.

KLAUS (1972) hat daher völlig konsequent dieses Problem mit einer eigenen Begrifflichkeit versehen; er nennt das Verhältnis zwischen dem kognitiven Abbild und dem realen Objekt "Sigmatik", um sich jedoch sofort von der weiteren philosophisch-wissenschaftlichen Untersuchung dieses Problembereiches zu distanzieren (KLAUS, 1972, S.70).

Es wird dieses grundsätzliche erkenntnistheoretische Problem ausgegrenzt. Dies geht zum Teil sogar so weit, daß die Existenz von realen Objekten vollständig als irrelevant im Rahmen semiotischer Untersuchungen angesehen wird (ECO, 1971, S.70-71).

Es hat sich jedoch als sehr sinnvoll herausgestellt, eine - in ihrer Bestimmung noch genauer zu klärende - objektive Existenz von realen Objekten zu konstatieren. Da jedoch die Semantik einer Nachricht, wie sich im folgenden zeigen wird, im wesentlichen vom Wissensstand des Empfängers abhängt, läßt sich eine Objektivität nur durch die gemeinsamen Anteile der Wissensbereiche über die einzelnen lernenden Systeme hinweg denken. Hierbei kommt es insbesondere auf den handlungsleitenden Anteil am Interpretationsprozeß durch das jeweilige lernende System an.

Objektivität wird hier also als Übereinkunft zwischen "Experten" konstituiert, welche sich aufgrund ihrer besonderen Machtverhältnisse und Wahrnehmungsbezüge zu externen Nachrichtenquellen (zB. Meßgeräte, Analysemethoden, Interpretationsparadigmen, etc.) auszeichnen. Diese Aushandlung der Objektivität erfolgt in der Regel über einen gesamt-gesellschaftlichen Aneignungsprozeß und ist somit nur in historischen Dimensionen zu begreifen und zu beeinflussen.

Es bleibt also die Frage, wie kommen wir überhaupt an die Eigenschaften der externen Entitäten heran ?

Im folgenden kann die Problematik dieser Frage nur kurz angerissen werden. Dazu ist es sinnvoll, sich dem Phänomen der Wahrnehmung zuzuwenden. Jedes lernende System - nun mit Handlungskompetenz - benötigt Sinneskanäle. Der interne Aufbau dieser Sinneskanäle legt die primäre Sinnesmodalität der über diesen Kanal vermittelbaren Nachrichten fest. Die Sinneskanäle lassen sich in primäre (mit der Wissensbasis des lernenden Systems direkt in Verbindung stehende) und sekundäre (z.B. Meßinstrumente, Analysemethoden, etc.) Sinneskanäle unterscheiden. Die primären Sinnesmodalitäten sind evolutionär vorgegeben und garantierten bisher eine adäquate Orientierung im natürlichen und gesellschaftlichen Handlungskontext.

Der über diese beiden Arten von Sinneskanäle vermittelbare Nachrichtenumfang kann als die potentiell wahrnehmbare Gesamtheit aufgefaßt werden. Erst die erlernte Wissensbasis erlaubt eine handlungsleitende Interpretation dieser Wahrnehmungsgesamtheit. Diese extern vorgegebene Wahrnehmungsgesamtheit übersteigt normalerweise in ihrer Komplexität den interpretierbaren Anteil (NEISSER, 1979, S. 68), sodaß in der Regel nur Ausschnitte aus dieser Wahrnehmungsgesamtheit als semantisch unterlegte Bereiche möglich sind.

Die externen Entitäten (bei KANT "die Dinge ansich") haben von sich aus unendlich viele Merkmale, d.h. Dimensionen, nach denen sie von anderen Entitäten, bzw. Phänomenen unterschieden werden können. Aus dieser unendlichen Mannigfaltigkeit "wählt" die jeweilige Sprachgemeinschaft diejenigen Unterscheidungs

dimensionen aus, die einerseits phylogenetisch mitgegeben sind (z.B. die Wahrnehmungsdimensionen der einzelnen Sinneskanäle) und darüber hinaus diejenigen, die im gesellschaftlichen Reproduktionsprozeß als relevant angesehen werden (siehe DAHLBERG, 1979a, S.58).

Die Anwendung eines einmal ausgewählten Klassifikationsschemas bezogen auf eine konkrete Entität soll nun als Bestimmungsprozeß\* bezeichnet werden. Dieser Bestimmungsprozeß kann sowohl durch direkte, primäre Wahrnehmung, sowie durch Anwendung einfacher, konkreter Meßgeräte (z.B. Thermometer, Armbanduhr, Fernglas, etc.) realisiert werden. Zusätzlich kann sich ein Bestimmungsprozeß auch als komplexes System selbst (z.B. gesellschaftspolitische Sichten der "freien Marktwirtschaft"; das Konzept des "Unbewußten" in der Psycho-Analyse; etc.) erweisen. Dieser Begriff des Bestimmungsprozeß läßt sich vergleichbar mit dem Assimilationsbegriff von PIAGET (1936; 1937) inhaltlich füllen.

"Der Mensch erfährt die Wirklichkeit durch seine Assimilations-schemata hindurch. Er erfaßt von ihr soviel, als diese hergeben. Assimilationsschemata sind: sensomotorische und soziale Handlungen, Operationen, Methoden, Verfahren und Begriffe." (AEBLI, 1980, S.184).

Der einfachste Bestimmungsprozeß wäre eine Konstante, die nur sich selbst bestimmt. Dann käme ein binärer Schalter, welcher lediglich zwei Zustände "wahrnehmen" könnte. Wesentlich komplexere Bestimmungsprozesse sind Expertensysteme und Teilchenbeschleuniger, wie gesagt, bis hin zu sprachlichen Begriffen und gesellschaftspolitischen Ideologien, welche die für sich jeweils geltenden, erkenntnisrelevanten Unterscheidungsdimensionen festlegen. Für viele, sehr komplexe Bestimmungsprozesse kommt bisher nur der handelnde Mensch selbst als "Meß-Gerät" in Frage. Daher darf man sich auch nicht wundern, daß bei Eingriffen - wie in der Neurochirurgie - in die neuroanatomische Struktur dieses Meßgerätes "Mensch" eine Reihe von ansonsten "meßbaren" Phänomenen verloren gehen können.

Die Bestimmungsprozesse legen jedoch nur die schematische Konzeption der "Realität" fest. Die konkrete inhaltliche Ausfüllung der einzelnen Klassifikationsschemata muß jeweils über die sinnliche Wahrnehmung selbst erfolgen. Dies bewahrt uns vor einer rein idealistischen Position. Deshalb muß es auch etwas außerhalb des wahrnehmenden Systems geben; dieses Etwas wurde oben als "unendliche Mannigfaltigkeit" bezeichnet.

Die Eigenschaften der externen Welt werden also qualitativ durch diese Bestimmungsprozesse und quantitativ durch die wahrgenommene Gesamtheit konstituiert. In wie weit hierunter auch abstrakte Entitäten als real gefaßt werden können, soll als nächstes diskutiert werden.

### **3. Information und Erkenntnistheorie**

In der Literatur zum Informationsbegriff tauchen immer wieder zwei Aspekte auf. Der erste Aspekt kann am prägnantesten mit dem Ausspruch von Norbert WIENER wiedergegeben werden:

---

\* Sehr ähnliche Vorstellungen hat schon HERBART (1825, S.143) bei der Erläuterung seines Apperzeptionsbegriffes dargelegt.

"Information ist Information, weder Energie noch Materie!"

Hinter diesem Satz steht das Universalienproblem, welches sich etwas verkürzt in der Frage zusammenfassen läßt:

"Sind abstrakte Entitäten real?" (AYER, 1984, S.5).

Universalien lassen sich grob in zwei Kategorien aufteilen, die Kategorie der "Qualität" und die Kategorie der "Relation". Welcher dieser beiden Kategorien die Entität "Information" zuzuordnen ist, oder ob gar eine weitere Grund-Kategorie postuliert werden muß, bleibt vorerst ungeklärt. OESER (1976) hat einen Ausweg versucht, indem er Information als "Eigenschaft von Eigenschaft" herausgearbeitet hat.

Festzuhalten bleibt, daß der Entität "Information" eine zentrale, erkenntnistheoretische Bedeutung zukommt und daß diese Entität möglicherweise nur sehr abstrakt gefaßt werden kann.

Der zweite Aspekt ist ähnlich gelagert und hat als philosophischen Hintergrund das "Leib-Seele-Problem". Bei diesem Problembereich geht es letztlich unter anderem auch darum, ob und in welcher Art nicht primär materiell-energetisch faßbaren Entitäten Seinscharakter zugesprochen werden kann, bzw. muß (BUNGE, 1984; STOERIG, 1985).

Falls man der Entität "Information" eine über den materiell-energetischen Seinscharakter hinausgehende Eigenständigkeit zugestehen würde, müßte man sich ebenso dem Vorwurf, daß das Gesetz von der Erhaltung der Energie verletzt wird, stellen, wie er den nicht-monistischen Ansätzen zur Lösung des Leib-Seele-Problems gegenüber erhoben wird (siehe hierzu STOERIG, 1985).

Wichtig für die Angemessenheit dieses Vorwurfes ist die dabei - häufig nur implizit - gemachte Annahme, daß es sich bei lernenden Systemen - insbesondere also auch beim Menschen - um geschlossene Systeme (im Sinne der Thermodynamik) handelt. Daß dies jedoch eine mehr als inadäquate Annahme ist, läßt sich auch aus neueren Erkenntnissen der Systemtheorie und Thermodynamik glaubhaft machen (PRIGOGINE, 1979; RAUTERBERG, 1985). Festzuhalten bleibt, daß der Mensch als lernendes und handelndes Wesen wie ein offenes System zu betrachten ist.

|      |              |                                      |
|------|--------------|--------------------------------------|
| 1683 | I. Newton    | Gravitation und Masse                |
| 1842 | R. Mayer     | Wärme und Energie                    |
| 1877 | L. Boltzmann | Wahrscheinlichkeit und Entropie      |
| 1905 | A. Einstein  | Masse und Energie                    |
| 1917 | A. Einstein  | Gravitation und Beschleunigung       |
| 1946 | J.v. Neumann | Steuerung und Information            |
| 1949 | Cl. Shannon  | Entropie und Information             |
| ?    | ?            | Information, Materie und Energie,... |

**Tabelle 3:** Äquivalenzen, die den Fortschritt der Wissenschaften förderten (ergänzt nach VÖLZ; 1982, S.334).

Wenn man nun davon ausgeht, daß ein lernendes System als ein offenes System aufgefaßt werden kann, läßt sich das Phänomen "Information" als eigenständige Seinsqualität denken. Zu fragen bleibt dann noch, wie sieht die Wechselwirkung zwischen den beiden Seinsbereichen "Materie" und "Energie" einerseits und der Seinsqualität "Information" andererseits aus. Eine solche Fragestellung und eine Antwort auf diese Frage würde dann auch eine Klärung der beiden unvermittelt nebeneinander her bestehenden Positionen "das Sein bestimmt das Bewußtsein" und "das Bewußtsein bestimmt das Sein" ermöglichen.

Die wissenschaftliche Herausforderung der nächsten Jahre wird darin bestehen, die Wechselwirkung zwischen den verschiedenen Seinsbereichen und Seinsqualitäten genauer zu bestimmen. So haben auch die bisher gefundenen Äquivalenzen zwischen zunächst getrennt gedachten Phänomenen immer einen wesentlichen Erkenntnisfortschritt gebracht (siehe Tab.3).

Der Mensch als bestimmendes System schafft Realität. In diesem Sinne läßt sich der handelnde Mensch als ein Umsetzer ("Transformator") von abstrakten Entitäten in reale Gegebenheiten ausmachen. In wie weit etwas real ist, kann erst in einem konkreten Handlungskontext festgestellt werden. Etwas ist dann umso mehr real, je öfter es auf grund seiner Beständigkeit im raum-zeit Kontinuum wiederholt wahrnehmbar ist. Alles was empfunden, gedacht, gesprochen und gehandelt wird, ist real; es hat jedoch einen unterschiedlich großen raum-zeitlichen Kontext der Wahrnehmbarkeit und von daher auch eine unterschiedlich große Chance zur Verobjektivierung.

#### **4. Information und maschinelles Lernen**

In dem Forschungsbereich zum maschinellen Lernen lassen sich zwei verschiedene Ansätze ausmachen:

der eine Forschungsstrang geht von semantisch sehr reichhaltigen Modellen aus und versucht die weitere Wissensakquisition in automatisierter Form unter Anwendung von spezifischem Meta-Wissen zu erreichen. Dabei müssen die heuristischen Strukturen dieses Meta-Wissens aus psychologischen Untersuchungen gewonnen werden, um dann als nicht weiter veränderbare Meta-Ebene in den Modellierungen eingesetzt zu werden. Dieses Meta-Wissen wird und muß als "naturgegeben" vorausgesetzt werden. Ein Lernen auf dieser Ebene kann bisher durch das jeweilige Modell grundsätzlich nicht eingelöst werden (HABEL et.al., 1985); das vorrangige Problem dieses Forschungsbereiches zur adäquaten Einbeziehung von Lernen besteht wahrscheinlich darin, einen möglichst semantik-freien, allgemeinen Generalisierung-, bzw. Abstraktions-Algorithmus zu finden, welcher dann das Meta-Wissen generieren könnte;

der andere Forschungsstrang geht von allgemeinen, in der Regel assoziativen Speichermodellen aus. In diesem Forschungsfeld werden die globalen Eigenschaften von neuronalen Modellen auf ihre biologische und psychologische Plausibilität hin überprüft. Der Lernprozeß wird dabei als selbst-organisierter Aufbau der internen "kognitiven" Strukturen aufgefaßt, der überwiegend durch die Lerngeschichte des Systems als irreversible "Programmierung durch Erfahrung" inhaltlich bestimmt wird

(FINDLER, 1979; ANDERSON, 1981; HINTON et.al., 1981; HINTON, 1985, HOPFIELD, 1985; PALM, 1988); das noch offene Problem dieses Bereiches besteht darin, von ihrer Semantik her hochwertige Problemlösungsprozesse - wie sie bisher bei der traditionellen KI-Forschung im Mittelpunkt stehen - einbeziehen zu können.

Ein weit verbreitetes Konzept des Gedächtnisses in der ersten Forschungsrichtung kann zutreffend als "Bibliothek"-Modell bezeichnet werden. Der große Nachteil dieses Modells liegt darin, daß das Wissen dort wie in einem Regal abgestellt wird, um bei Bedarf herausgeholt, aktiviert und in einem "working-memory" verarbeitet zu werden. Diese Sichtweise wird von NEISSER (1974; 1982) aufs heftigste kritisiert.

Die kognitiven Verarbeitungsprozesse beim Menschen zeichnen sich dagegen aus meiner Sicht dadurch besonders aus, daß diese Informationsverarbeitung direkt auf der Wissensbasis selbst stattfindet (siehe dazu den Ansatz von ANDERSON, 1983). Der "Wahrnehmungsstrom" durchfließt und verändert permanent die Wissensbasis. Dies verdeutlicht, wie eng Informationsverarbeitung und Lernen direkt und unmittelbar miteinander zusammenhängen.

Die meisten Lernmodelle in der traditionellen KI benötigen Kontroll-, bzw. Meta-Wissen, sind aber in der Regel nicht in der Lage, den Aufbau und den Erwerb gerade dieses Wissens zu erklären. SCHANK (1984) spricht daher auch selbstkritisch von einer "Lern-Barriere". Dies würde sich erst dann wahrscheinlich grundsätzlich ändern, wenn ein sehr genereller Abstraktionsalgorithmus für z.B. regelbasierte Programme gefunden wird (siehe hierzu die Forschungsergebnisse zum "induktiven Lernen": MICHALSKI et.al., 1983, S.83ff; MICHALSKI et.al., 1986, S.43-244).

Es spricht also sehr vieles dafür, die Forschung zum maschinellen Lernen stärker auf den Bereich zu verlagern, bei dem es um die Erforschung von allgemeinen Speicherstrukturen geht und nicht sosehr um die Erforschung von Strukturen mit semantisch sehr hochwertigen Basiselementen. Es hat sich gezeigt, daß man bei assoziativen Speicherstrukturen das oben erwähnte Meta-Wissen nicht voraussetzen muß, sondern vielmehr entstehen lassen kann.

Folgt man der bei RAUTERBERG (1985) dargestellten Konzeption von verschiedenen Lernformen, so stellt sich die Frage, ob Computer zur Informationsverarbeitung generell in der Lage seien, neu in der folgenden Art und Weise: welcher Ebene der einzelnen Lernformen kann die Informationsverarbeitung von Computern - im Vergleich zum Menschen - zugeordnet werden.

## **5. Information und menschliches Lernen**

In dem Forschungsgebiet zum menschlichen Lernen besteht eine weitgehende Zusammenhangslosigkeit der verschiedenen Lern-Phänomene. Dies läßt zu recht auch schon FOPPA vom "Scheitern der Lerntheorien" sprechen (1975, S.377). Statt einer Vereinheitlichung haben sich "Miniatur-Theorien" des Lernens etabliert. Zwei Ursachen für dieses Scheitern lassen sich ausmachen:

1. "Die Lerngesetze werden aus den einfachsten beobachtbaren Verhaltensänderungen niedrig organisierter Lebewesen abgeleitet und auf höhere Organisationsstufen verallgemeinert. Hier spielt die unausgesprochene Überzeugung eine Rolle. daß diese

einfachen Lernvorgänge gleichzeitig die Grundform aller Lernprozesse oder deren Elemente darstellen. (...).

2. Die Lerngesetze sind aber auch in anderer Hinsicht an einem Extremfall orientiert. Obwohl niemand daran zweifelt, daß sich in Wirklichkeit die situativen Bedingungen während des Lernvorganges dauernd verändern, wird im Experiment die Lernsituation weitgehend konstant gehalten. Dagegen ist an sich nichts einzuwenden, wenn nicht versucht wird, die Konstanz der Reizgegebenheit lediglich als Abstraktion der menschlichen Lernbedingungen auszugeben. Gerade das wird aber in der Regel getan. (...). Nicht die Tatsache, daß unter relativ invarianten Bedingungen gelernt wird, bedarf der Erklärung, sondern daß trotz variabler Gegebenheiten ein Lernfortschritt möglich ist" (FOPPA, 1975, S.377-379).

Theoretische Versuche einer Vereinheitlichung der verschiedenen Lernformen sind eher eine Ausnahme als die Regel. Insbesondere sind hier die Arbeiten von BATESON (1972) und GAGNE (1982) zu erwähnen. Auch PIAGET hat sich mit diesem Problem auseinandergesetzt.

"Will man einen angemessenen Lernbegriff darlegen, muß man zuerst erklären, wie es dem Subjekt gelingt, zu konstruieren und zu erfinden, nicht bloß, wie es wiederholt und abbildet" (PIAGET, 1983, S.47-48).

In der Theorie von PIAGET ist es daher sehr wichtig, daß Erkenntnis sich aus den Interaktionen zwischen dem lernenden System und den Objekten in seiner Umwelt ergibt - "aus Interaktionen, die reichhaltiger sind als alles, was die Objekte von sich aus liefern können" (PIAGET, 1983, S.47). Dieser Aspekt läßt es dann auch dringend geraten scheinen, Lernen im engen Zusammenhang zu aktivem Handeln zu sehen und nicht als bloße kognitive Abbildung extern vorgegebener Realitäten (ANZAI & SIMON, 1979).

Das menschliche Gedächtnis wirkt nun wie ein "Fischer-Netz", durch das der Wahrnehmungsstrom der einzelnen Wahrnehmungsgesamtheiten hindurchströmt. Die invarianten Anteile reichern die gespeicherte Struktur des "Fischer-Netzes" fortlaufend an und differenzieren es aus. Es findet eine Art kognitiver "Sedimentation" statt. Das "Netz" bildet sich also aus den im Laufe der Zeit eingefangenen Invarianten (siehe hierzu auch die Diskussion im Bereich des Konnektionismus um die "Thermodynamischen Lern-Modelle").

Es entstehen mit zunehmender Wissensanreicherung abstraktere Invarianten, die dann mit zunehmendem Abstraktionsgrad fester in der kognitiven Struktur verankert sind. Diese abstrakteren Invarianten erlauben den durch sie abgedeckten Wissensbereich zu strukturieren und die Handlungen auf der Basis dieses Wissensbereiches einzuschätzen und zu steuern. Diese Invarianten bilden eine Art Meta-Ebene für diejenige Wissensebene, aufgrund derer sie durch Abstraktion sich herausgebildet haben. Diese Meta-Ebene ist stabiler als die sie konstituierende Ebene, aber in ihrer Rückbezüglichkeit nicht unabhängig.

Das menschliche Gedächtnis befindet sich in einem fortlaufenden kumulativen Veränderungsprozeß (WOODWORTH & SCHLOSBERG, 1973, S.1019); weil dies so ist, können die zurückliegenden Bewußtseinsinhalte niemals wieder erreicht werden (NEISSER, 1974). Jede gemachte Erfahrung verändert die Struktur des

Wissensbestandes irreversibel: sowohl durch Anreicherung mit neuen Aspekten, als auch durch Verfestigung des schon gespeicherten Wissens.

"Wenn Erfahrungen einmal erworben sind, ist es kaum möglich, sie ungeschehen zu machen,..." (ELSTER, 1981, S.102).

Die neu hinzukommenden Gedächtnisinhalte lassen permanent den schon vorhandenen Wissensbestand in einem anderen Licht erscheinen.

"Die Erinnerung selbst ist nicht ein 'Akt', sondern ein momentanes Bewußtsein der vorausgegangenen Phase und gleichzeitig die Grundlage für die Erinnerung der nächsten Bewußtseinsphase. Da jede dieser Phasen das Bewußtsein der jeweils vorausgegangenen darstellt, schließt sie, in einer Kette von vermittelten Intentionen, die gesamte Sequenz von Erinnerungen in sich, die bis dahin abgelaufen sind" (HUSSERL, 1964, S.161-162).

Eine genauere Darstellung einer brauchbaren lerntheoretischen Konzeption würde den Rahmen dieser Abhandlung sprengen (siehe dazu BATESON, 1972; KLIX, 1976; RAUTERBERG; 1985, S.114-152).

## **6. Information und Handeln**

Um das benötigte Ausmaß an Information\* aufrecht zu erhalten, muß nun das lernende System fortlaufend in seiner Wahrnehmungsgesamtheit die semantiktragenden Entitäten bestimmen. Diese Bestimmungsprozesse setzen sich dabei aus einzelnen Handlungen zusammen. Will das System z.B. bestimmen, ob eine wahrgenommene Entität "hart" oder "weich" ist, so muß es die Handlung "Anfassen" ausführen.

Handlungen lassen sich nach ihrem Ausmaß an "Bestätigung" und ihrem Ausmaß an "Erstmaligkeit" (siehe auch WEIZSÄCKER, 1974) einordnen. "Bestätigung" führt in der Regel zu einer Verfestigung des vorhandenen Wissensbestandes; darüberhinaus kann "Bestätigung" als die Tendenz zur möglichst hochgradigen Ausnutzung von Komplexität durch entsprechende kognitive Strukturierungsleistungen angesehen werden.

"Erstmaligkeit" kommt in der Bestimmung neuer Anteile bezüglich des gespeicherten Wissensbestandes zum Tragen und ist die Tendenz zur Erzeugung und Aufrechterhaltung von Inkongruität durch Handeln und aktives Eingreifen in die Realität, bzw. durch Veränderung der Wahrnehmung dieser Realität. "Erstmaligkeit" liegt also nun in der Differenz zwischen den subjektiv wahrgenommenen und den handlungsleitend interpretierbaren Wahrnehmungsgesamtheiten begründet.

In der psychologischen Forschung gibt es - entsprechend zu diesem Gegensatzpaar der "Erstmaligkeit" und der "Bestätigung" - seit den fünfziger Jahren eine kontrovers geführte Diskussion zwischen den beiden folgenden Forschungsrichtungen:

den Neugier-Forschern (BERLYNE, 1960; HUNT, 1963; VOSS & KELLER, 1981) einerseits und

---

\* Dieser Aspekt wird auch von GLANZER (1958) als Motiv der Informationszufuhr ("rate of flow of information") und von LIVSON (1967) als Motiv zur Aufrechterhaltung einer Informationsprozeß-Rate ("rate of flow of information") diskutiert.

den Dissonanz-Forschern (FESTINGER, 1957; 1964; IRLE, 1975; FREY, 1981) andererseits.

Beide Forschungsrichtungen gehen von einer - wie auch immer gearteten - Diskrepanz zwischen dem informationsverarbeitenden, lernenden System einerseits und seiner Umgebung als Nachrichtenquelle andererseits aus.

Die Neugierforscher, bzw. Vielfaltstheoretiker gehen von einem Informationssuchverhalten ("information seeking") aus, daß dazu dienen soll, einen gewissen Grad an Diskrepanz zwischen System und Umgebung aufzubauen. So läßt sich zeigen, daß lernende Systeme in Situationen, die in Richtung auf sensorische Deprivation gestaltet sind, von sich aus anfangen, aktiv zu werden, um die Wahrnehmungsvielfalt in ihrer Umgebung zu erhöhen. Diese Diskrepanz wird von HUNT (1963) als Inkongruität bezeichnet und beinhaltet - wie sich in den späteren Diskussionen gezeigt hat - "Inbalance", "Inkongruenz", "Inkonsistenz" und "Dissonanz".

"Zwischen den Extremen von Reizentzug und nicht zu bewältigender Inkongruenz des Reizeinstromes liegt ein breites Band in den Kontinua von Reizvariation, Geordnetheit und Inkongruenz im Informationseinstrom, der offenbar als angenehm und unterhaltend erlebt wird und zu aufsuchendem Verhalten der Neugier, wie Exploration und manipulativer Tätigkeit herausfordert." (HECKHAUSEN; 1980).

Es müssen also diese Aspekte zur Motivierung von Handlungen ohne scheinbar extern vorgegebene "Anreize" adäquat berücksichtigt werden. So konnte gezeigt werden (HARLOW, 1950), daß sich Affen ohne jede Art von externer Belohnung intensiv und ausdauernd mit dem Öffnen von Riegelmechanismen beschäftigten. Diese Affen hielten sich zum Zeitpunkt der Experimente in weitgehend reizarmen Käfigen auf; wird die Umgebungskomplexität sogar noch stärker eingeschränkt - wie dies in Experimenten zur sensorischen Deprivation der Fall ist -, dann fangen die Versuchspersonen binnen kürzester Zeit an zu halluzinieren. Heimkinder, die für etliche Jahre unter zum Teil sehr sterilen Lebensbedingungen (d.h., weitgehend ohne Sozialkontakte) aufgezogen wurden, zeigten schwere psychische Schädigungen (siehe die Ergebnisse zum Hospitalismus-Syndrom).

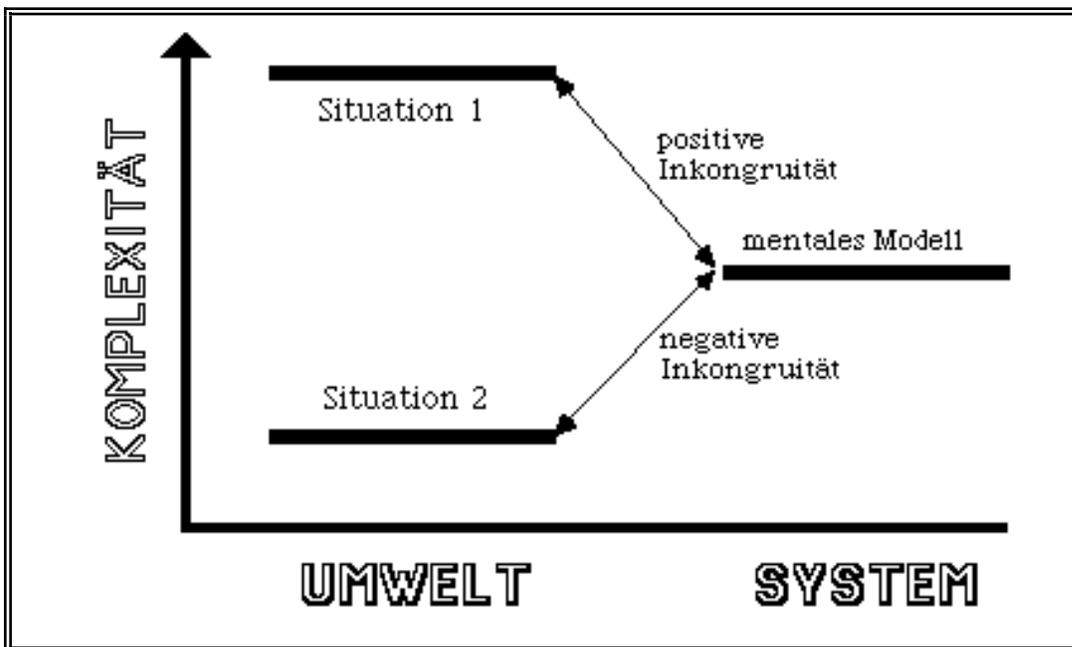
Die Dissonanztheoretiker dagegen berufen sich in ihrem Menschenbild auf die mehr als fragwürdige generelle Gültigkeit des Homöostasemodells für psychische Phänomene. Dabei nehmen sie an, daß die tragenden Prozesse der menschlichen Informationsverarbeitung einzig und allein darauf ausgerichtet sind, den durch irgendwelche störenden Einflüsse aus der Umwelt von seinem homöostatischen Gleichgewicht ausgelenkten "kognitiven Haushalt" in dieses schnellst möglich zurück zu bringen. Einmal im Gleichgewicht angelangt, verharrt die Psyche dort so lange, bis eine erneute Störung - die sogenannte kognitive Dissonanz - sie zur aktiven Reduzierung dieser Störung veranlaßt.

Die Höhe der kognitiven Dissonanz ist nach FESTINGER (1957, S.18) abhängig vom Verhältnis der dissonanten zu den konsonanten Kognitionen sowie von der Wichtigkeit der in der dissonanten Beziehung zueinander stehenden Kognitionen. Kognitive Dissonanz kann dadurch entstehen, daß eine Person eine Entscheidung zwischen zwei oder mehreren Alternativen (z.B. zu rauchen oder nicht zu rauchen) getroffen hat. Je höher nun die Anzahl und Wichtigkeit derjenigen Kog

nitionen ist, die mit der getroffenen Entscheidung im Widerspruch stehen, desto größer ist die entstehende Dissonanz. Um diese kognitive Dissonanz zu reduzieren, stehen die folgenden drei Möglichkeiten zur Verfügung: 1.) Addition neuer konsonanter Kognitionen; 2.) Subtraktion von dissonanten Kognitionen (Ignorieren, Vergessen, Verdrängen, etc.) und 3.) Substitution von dissonanten mit konsonanten Kognitionen.

Hinter diesem Menschenbild der Dissonanztheoretiker steht nun das implizite Leitbild des "*homo oeconomicus*", der an der Knappheit seiner Ressourcen sich orientierend, alles was er tut, nur tut, um hinterher möglichst nichts mehr tun zu müssen" (FLOSSDORF, 1978, S.90). Diesem Menschenbild liegen die Vorstellungen aus den Theorien über geschlossene Systeme strukturell zu Grunde.

Ein sehr ansprechender Versuch diese beiden Aspekte - den Aufbau von Inkongruitäten und den Abbau von Inkongruitäten - zusammenzubringen, ist in der "GIAL: General Incongruity Adaption Level-Theory" (STREUFFERT & STREUFFERT, 1978) unternommen worden.



**Abbildung 1:** Die Differenz zwischen der Komplexität des mentalen Modells und der Umgebung ergibt dann die positive oder negative Inkongruität.

Aufbauend auf dieser Forschungstradition ist es nun wichtig, ein brauchbares Maß für die Inkongruität, bzw. Diskrepanz zu gewinnen, um die im folgenden kurz skizzierten Zusammenhänge und Vorhersagen auch empirisch überprüfen zu können. Dabei ist das Konzept der "Komplexität" sehr hilfreich, ohne daß diese Kategorie hier von ihrer Binnenstruktur her näher beleuchtet werden kann.

Es scheint zunächst ausreichend zu sein, das Ausmaß an Komplexität proportional zur Anzahl Zustände pro Zeiteinheit zu denken. Dabei läßt sich die kognitive Komplexität aus den drei folgenden Dimensionen zusammengesetzt denken (nach MANDL & HUBER, 1978, S.16):

Differenziertheit ist definiert als die Anzahl der elementaren Nachrichtenkanäle in einer komplexen kognitiven Struktur (z.B. multidimensionale Wahrnehmung).

Diskriminiertheit bedeutet Feinheit der Unterscheidung der Nachrichten hinsichtlich eines bestimmten Nachrichtenkanals.

Integriertheit stellt die Anzahl der möglichen Verbindungen bzw. alternativen Verknüpfungen zwischen den verschiedenen Nachrichtenkanälen dar, die das lernende System in einem handlungsleitenden Urteilsbildungsprozeß zusammen verarbeiten kann.

Da die Messung der Komplexität ein integraler Bestandteil dieses informationstheoretischen Ansatzes ist und bisher noch keine hinreichend gute Meßtheorie vorliegt, muß an dieser Stelle auf die zukünftigen Forschungsergebnisse zu dieser Frage verwiesen werden (siehe auch SCOTT, OSGOOD & PETERSON, 1979).

Aus der GIAL-Theorie unter Einbeziehung lerntheoretischer Aspekte ergeben sich nun einige wichtige Konsequenzen. So kann man nun die Inkongruität zwischen lernendem System und seiner Umgebung als Differenz zwischen der Komplexität der wahrnehmbaren Umgebung und der kognitiven Komplexität der Interpretationscodes - häufig auch als mentales Modell bezeichnet - bestimmen (siehe Abb. 1). Das mentale Modell umfaßt dabei die erworbenen, handlungsleitenden Bestimmungsprozesse und das Bild der subjektiven Weltsicht.

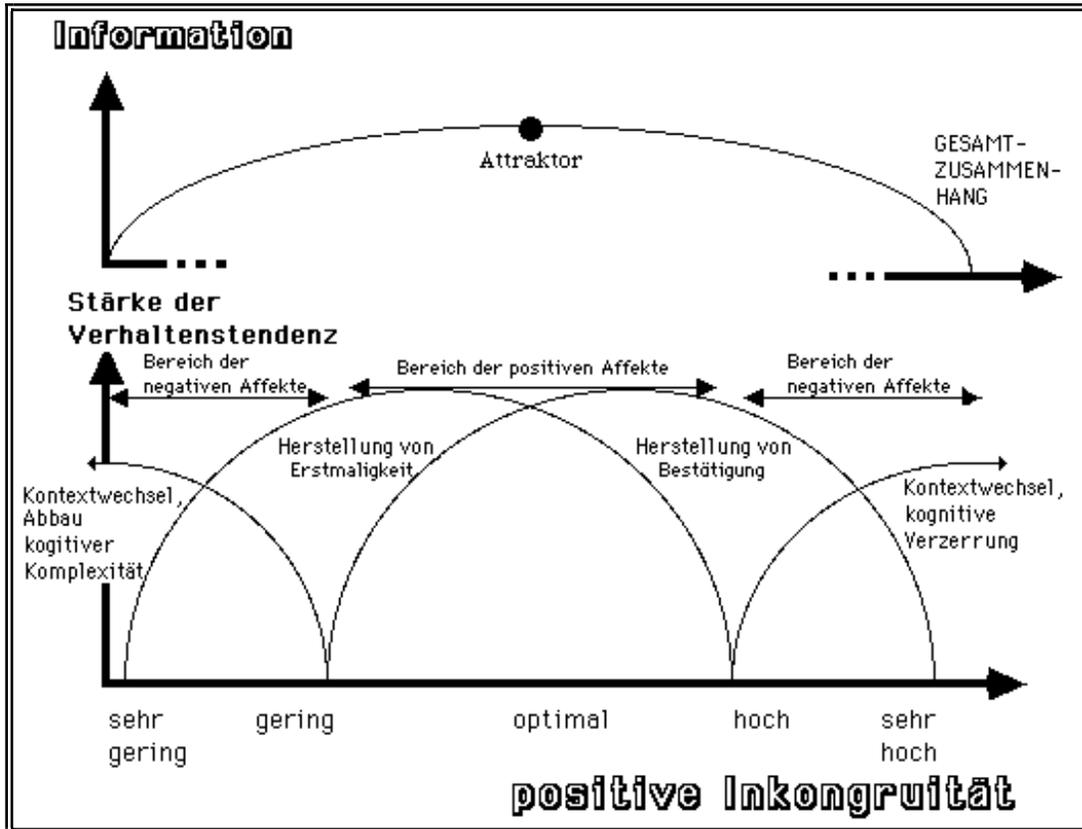
Je nachdem, wie das Größenverhältnis zwischen externer und interner Komplexität ist, ergibt sich eine positive oder negative Inkongruität (siehe Abb.1). Die positive Inkongruität bedeutet, daß die Umgebungskomplexität größer als die des mentalen Modells ist. Das lernende System muß also noch seinen "Informationsbedarf" aus dieser Inkongruität befriedigen. Umgekehrt bedeutet eine negative Inkongruität, daß die Komplexität des mentalen Modells von der Umgebung größer ist als die direkt erfahrbare Umgebung (z.B. in Experimenten zur sensorischen Deprivation). Je nachdem, welches Vorzeichen nun die Inkongruität hat, ergeben sich andere Handlungskonsequenzen für das lernende System.

Es ist nun wichtig, zu unterscheiden zwischen der von Seiten des lernenden Systems wahrgenommenen Komplexität der Umgebung und der Umgebungskomplexität, wie sie "objektiv" bestimmt werden kann (siehe auch VÖLZ, 1982, S.326). Die objektiv bestimmbare Komplexität liefert jedoch nur die zu einem konkreten historischen Zeitpunkt maximal interpretierbare Wahrnehmungsgesamtheit. Für das jeweilige individuelle, lernende und handelnde System ist die durch dieses System selbst wahrgenommene Umgebungskomplexität maßgeblich. Das mentale Modell des lernenden System muß also in zwei Komplexitätsbereiche aufgeteilt werden: den Bereich der systembezogenen Wahrnehmungskomplexität und den Bereich der systemeigenen Handlungskomplexität.

Die Inkongruität, wie sie hier zugrunde gelegt wird, ist also die Komplexitätsdifferenz zwischen der Komplexität der systembezogen wahrgenommenen Gesamtheit und der systemeigenen Handlungskomplexität. Wenn nun die wahrgenommene Umgebungskomplexität größer als die interne Komplexität ist, wird von positiver Inkongruität gesprochen; umgekehrt heißt diese Komplexitätsdifferenz negative

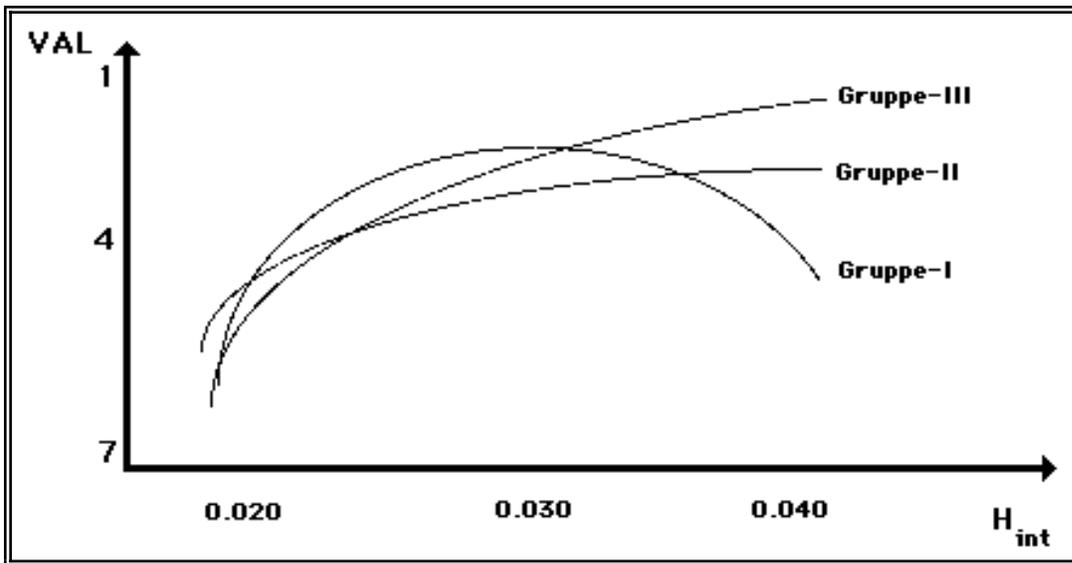
Inkongruität, wenn die Komplexität des internen Wissens größer ausfällt als die externe Umgebungskomplexität (siehe Abb.1).

In Abhängigkeit also von dieser Inkongrui



\* Zum Attraktor-Begriff in der informationstheoretischen Diskussion siehe HAKEN (1986).

So konnten RAAB & EBNER (1982) in dem folgenden Experiment zeigen, daß es den informativen Attraktorzustand in Abhängigkeit vom Wissensstand und optimaler Inkongruiät gibt. Sie haben drei Gruppen\*\* mit unterschiedlichem Ausmaß an musikalischer Bildung verschiedene Klangmuster vorgespielt. Die einzelnen Studenten hatten dann diese Klangmuster hinsichtlich ihrer "Interessantheit" (Valenz) zu beurteilen. Jedem Studenten wurde eine Reihe von Klangmustern vorgespielt, die sich jeweils in ihrer Komplexität ("Entropie") unterschieden. Es ergaben sich für jede der drei Gruppen unterschiedliche, umgekehrt u-förmige Beurteilungskurven. Mit zunehmender Bildung an Musikalität (Gruppe-I bis Gruppe-III) lagen nun die Beurteilungs-Optima auch bei zunehmender Komplexität der Klangmuster (siehe Abb. 3).



**Abbildung 3:** Beurteilungskurven zwischen Reizkomplexität ( $H_{int}$ ) und "Interessantheit" (VAL) von den drei bezüglich ihres Ausmaßes an musikalischer Bildung variierenden Versuchspersonengruppen (nach RAAB & EBNER, 1982).

Zwei Verhaltenstendenzen stehen dem lernenden System zur Aufrechterhaltung seines optimalen Inkongruiätslevels zur Verfügung: das "Herstellen von Erstmaligkeit" und das "Herstellen von Bestätigung" (siehe Abb.2).

Das "Herstellen von Erstmaligkeit" beinhaltet z.B. die Einführung von Unterschieden; diese Verhaltenstendenz hat die aktive Erzeugung von wahrnehmbarer Komplexität zum Ziel. Dies erfolgt zum Teil zielgerichtet (wie beim hypothesengeleiteten Problemlösen), aber auch ohne erkennbare Intention (wie beim Spielen, Explorieren, etc.). Hier kommt also das Moment der Neuartigkeit in der Erfahrungsbildung zum Tragen. Diese Neuartigkeit kann nun in zweierlei Hinsicht erfolgen: zum einen das wiederholte Anwenden von Klassifikationsschemata auf

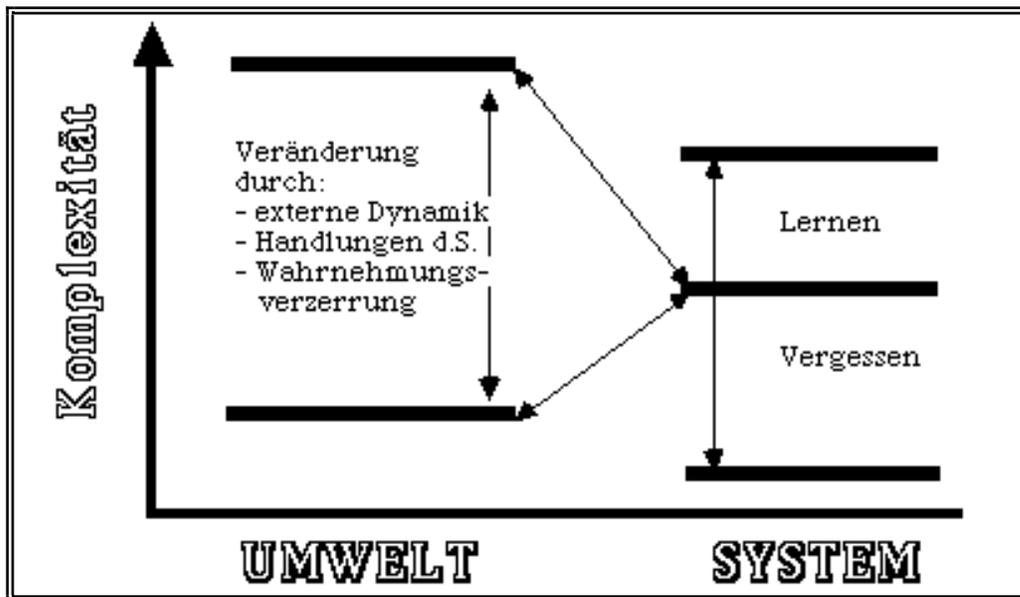
\*\* Gruppe-I = 16 Studenten einer Technischen Universität; Gruppe-II = 16 Studenten einer Pädagogischen Akademie; Gruppe-III = 16 Studenten einer Musikalischen Hochschule.

neue Elemente des Klassifikationsbereiches und zum anderen das Erstellen neuer Klassifikationsschemata.

Das "Herstellen von Bestätigung" umfaßt Wiederholung, Erzeugung von Redundanz, bzw. Herausbildung von Invarianten und kann allgemein Komplexitätsreduktion bedeuten. Hierunter fallen alle Spielarten von Dissonanzreduktion, Beseitigung von Widersprüchen, etc. Darüberhinaus wirkt die wiederholte Anwendung von Bestimmungsprozessen bestätigend (z.B. die ausgeprägte Neigung zu repetitiven Handlungen bei autistischen Kindern). Die ausgebildeten kognitiven Schemata werden weiter verfestigt. Die Bestätigung der kognitiven Schemata erfolgt auf natürliche Art und Weise durch das permanente und latente Lernen in der Handlung. Da sich der Mensch in der Regel in einer komplexen Umgebung aufhält, kommt der Verhaltenstendenz "Herstellen von Bestätigung" ein größerer Stellenwert zu als der Verhaltenstendenz "Herstellen von Erstmaligkeit".

Falls sich das lernende System in den beiden Grenzbereichen mit diesen Verhaltenstendenzen nicht stabilisieren kann, kommen weitere Handlungsmuster zum Tragen: Flucht, bzw. Kontextwechsel; wenn dies nicht gelingt, erfolgt kognitive Verzerrung bei sehr hoher Inkongruität oder Abbau kognitiver Komplexität bei sehr geringer Inkongruität.

Daß z.B. Komplexitätsreduktion Information schafft, kann man sich an folgendem Beispiel verdeutlichen: in der deskriptiven Statistik werden die erhobenen Daten hinsichtlich einzelner Kenngrößen zusammengefaßt; man läßt also bestimmte Varianzanteile außer acht; erst durch diese Reduktion der Daten kann man häufig nur zu sinnvoll interpretierbaren Aussagen kommen.



**Abbildung 4:** Zusammenspiel zwischen der Veränderung von Komplexität auf Seiten der Umwelt und auf Seiten des lernenden Systems bezüglich Wahrnehmung, Lernen und Vergessen.

Es wird nun allgemein ein umgekehrt u-förmiger Zusammenhang sowohl zwischen Information und positiver Inkongruität, als auch zwischen Des-Information und negativer Inkongruität postuliert (siehe Abb.5). Jedes handlungsfähige lernende System versucht nun ein optimales Ausmaß an Inkongruität und damit an Information aufrechtzuerhalten. Das Optimum im Bereich der positiven Inkongruität ist in der Regel ein stärkerer Attraktor als das Optimum im Bereich der negativen Inkongruität. Es scheint jedoch lernende Systeme zu geben, bei denen dieses Verhältnis der Attraktorstärke wechseln kann. Einige psychotische Erkrankungen von Menschen deuten darauf hin, und zwar solche, bei denen das lernende System durch äußere Bedingungen gezwungen wurde, sich über eine längere Zeit in einem "irrealen" oder stark deprivierten Wahrnehmungsraum zurecht zu finden. Der Wendepunkt zwischen positiver und negativer Inkongruität kann somit als Bifurkation verstanden werden.

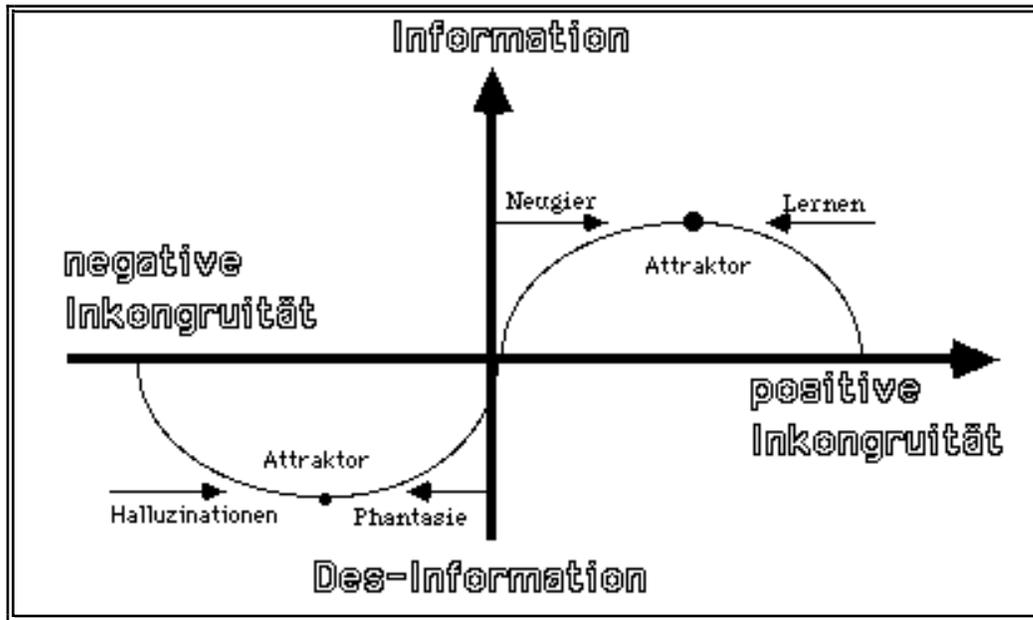
Lernen baut nun Inkongruität ab (siehe Abb.4). Wenn man nun konstante Umgebungskomplexität voraussetzt und von einem hohen, d.h. suboptimalen Inkongruitätslevel ausgeht, wird durch Lernen Information erzeugt; wenn man aber dann von dem optimalen Inkongruitätslevel ausgeht, wird Information eben durch das weiter ablaufende Lernen vernichtet.

Durch die systembezogene Erfahrungsbildung, sprich individuelle Lerngeschichte nimmt die kognitive Komplexität des mentalen Modells stetig zu, sodaß die Inkongruität bei konstanter Umgebungskomplexität ständig abnimmt. Das lernende System reagiert auf diese Konsequenz mit dem gesamten Verhaltensrepertoire, welches Forschungsgegenstand der Neugierforscher ist (siehe Abb.2: "Herstellen von Erstmaligkeit"). Sollte dagegen durch eine eigenständige Dynamik der Umgebung diese Umgebung ihre Komplexität wesentlich über die interne Komplexität des mentalen Modelles erhöhen, so würde das lernende System sich andererseits im Sinne der Dissonanztheorie (FESTINGER, 1957) verhalten (siehe Abb.2: "Herstellen von Bestätigung").

Durch Lern- und Vergessensvorgänge kann die Komplexität des mentalen Modells der wahrgenommenen Umgebungskomplexität angepaßt werden (siehe Abb.4). Zu den Vergessensprozessen werden hierbei auch aktive Hemmungs- und alle anderen Prozesse gezählt, die dazu dienen, die Lern- und Informationsverarbeitungskapazität einzuschränken (z.B. alle Arten von Drogen wie Alkohol, Tranquilizer, etc.). Darüberhinaus hat das System die Möglichkeit durch eine Wahrnehmungsverzerrung die wahrgenommene Komplexität der Umwelt zu verändern, um auf ein optimales Inkongruitätsausmaß zu gelangen. Da jedoch der Wahrnehmungsprozeß phylogenetisch, ontogenetisch und gesellschaftlich bedingt ist, läßt sich die Wahrnehmungskomplexität insgesamt nur schwer beeinflussen, sodaß das System in der Regel zunächst an seiner Lerndynamik verändernd ansetzt.

Das sicherlich häufigste Handlungsmuster zur Schaffung von Inkongruität ist die Veränderung der Systemumgebung, z.B. durch exploratives Neugierverhalten. Das lernende System hat die Möglichkeit durch sein kommunikatives Handeln - im weitesten Sinne - auf die Dynamik seiner Umgebung Einfluß zu nehmen. Durch dieses kommunikative Handeln wird ständig Objektivität - im obigen Sinne - geschaffen.

Der Bereich der negativen Inkongruität zeichnet sich durch eine wahrnehmungsmäßig stark verarmte Umgebung aus, die vom deprivierten System durch entsprechende Eigenaktivitäten ausgeglichen werden. Darüber hinaus umfaßt das Spektrum der Des-Information alle Bereiche wie Werbung, Lügen, gezielte Fehlinformationen und alle anderen Nachrichten, die mit der Realität nicht in Übereinstimmung zu bringen sind und damit die Weltsicht des Empfängers verzerren (im Sinne von "Vereinzeln", "Subjektivieren", etc.).



**Abbildung 5:** Zusammenhang zwischen positiver und negativer Inkongruität und Information, bzw. Des-Information. Der Attraktor im Bereich der positiven Inkongruität ist in seiner Stärke in der Regel größer als der Attraktor im Bereich der negativen Inkongruität.

Eine ungewohnte Konsequenz aus diesem Ansatz stimmt mit den Ergebnissen von FREY (1969) überein. Die 'Vagheit der natürlichen Sprache' als sprachliche Inkongruität ist eine Voraussetzung dafür,

"daß wir uns überhaupt sinnvoll verständigen können" (FREY, 1969, S.58).

Nun ist das optimale Ausmaß an Inkongruität selbst nicht für alle lernenden Systeme gleich, sondern liegt je nach Lerngeschwindigkeit und Wissensaneignungsdynamik auf unterschiedlich hohem Niveau. Daraus folgt, daß nur Systeme mit einem hohen Inkongruitätslevel in der Lage sind, sich in entsprechend dynamischen Umgebungen aufhalten zu können, bzw. diese eigenständig aufsuchen oder herstellen.

Zusätzlich zu diesem dynamischen Aspekt läßt sich die absolute Position des Komplexitätsausmaßes auf der Komplexitätsskala beschreiben. Systeme mit hoher mentaler Komplexität bedürfen daher auch eine wesentlich komplexere Umgebung,

um aus dem Unterschied - aus der Komplexitätsdifferenz - zum eigenen kognitiven Modell genügend Information schöpfen zu können.

Die unterschiedlichen Qualitäten einer Nachricht kommen zunächst über die unterschiedlichen Sinnes-, bzw. allgemeiner: Nachrichten-Kanäle zustande. Darüberhinaus entstehen zusätzliche Qualitäten über die Kombination und Wechselwirkung dieser Nachrichtenkanäle.

## **7. Zusammenfassung**

In dieser Zusammenfassung soll nicht auf die Problemaufrisse der ersten fünf Kapitel eingegangen werden, sodaß hier nur die inhaltlich neuen Aspekte des letzten Kapitels zu Sprache kommen sollen.

Es soll also Information als eine Eigenschaft der Inkongruität zwischen dem mentalen Modell des lernenden Systems und seiner Umgebung aufgefaßt werden. Diese Inkongruität läßt sich als Komplexitätsdifferenz beschreiben. Damit diese Inkongruität jedoch maximal informativ wird, muß sie sich in einem auf das System bezogenen optimalen Ausmaß ansiedeln lassen.

Zur Bestimmung der Inkongruität muß in eine wahrgenommene und eine handlungsleitende Komplexität unterschieden werden. Die Differenz zwischen der individuell subjektiv wahrgenommenen und der intersubjektiv ausgehandelten, d.h. objektiven externen Komplexität läßt sich über die unterschiedlich strukturierten Wissensbestände von Experten, bzw. der Gesamtheit von Experten und Nicht-Experten bestimmen.

Je nach Höhe der wahrgenommenen Inkongruität hat Lernen einen unterschiedlichen Effekt auf das Ausmaß an Information.

Es müssen die unterschiedlichen Qualitäten der verschiedenen Wahrnehmungsbezüge zur externen Realität bedingt durch den jeweiligen physikalischen Trägerprozeß der einzelnen Nachrichtenkanäle berücksichtigt werden.

Inkongruitäten lassen sich erst dann als Information fassen, wenn sich die Wahrnehmung dieser Inkongruitäten in Handlungen - im weitesten Sinne - niederschlägt.

Kommunikation als informatorischer Austauschprozeß ist nur auf der Grundlage eines gewissen Ausmaßes an Inkongruität (Vagheit, Ambiguität, Unbestimmtheit, Underdeterminiertheit, etc.) möglich.

Inkongruität beinhaltet Freiheit: eine Freiheit, die sich dadurch ausdrückt, daß grundsätzlich neue Wege beschritten und neue Zusammenhänge erkannt werden können.

## **Danksagung:**

An dieser Stelle möchte ich mich sehr herzlich für die fruchtbaren Anregungen von Frau Ina Terziyska und die spannenden Diskussionen mit ihr bedanken.

## **8. Literatur**

AEBLI, H. (1980):

Denken: das Ordnen des Tuns. Band I: Kognitive Aspekte der Handlungstheorie. Stuttgart: Klett Cotta.

- AEBLI, H. (1981): Denken: das Ordnen des Tuns. Band II: Denkprozesse. Stuttgart: Klett Cotta.
- ANDERSON, J.A. & HINTON, G.E.(1981): Models of information processing in the brain. in: HINTON, G.E. & ANDERSON, J.A. (eds.): Parallel models of associative memory. Hillsdale: Lawrence Erlbaum.
- ANDERSON, J.R. (1983): The Architecture of Cognition. Cambridge (Mass.) London: Harvard University Press.
- ANZAI, Y. & SIMON, H. (1979): The Theory of Learning by Doing. Psychological Review, Vol. 86, No. 2, 124-140.
- AYER, A.Y. (1984): Philosophy in the twentieth century. London: Unwin.
- BATESON, G. (1972): Steps to an ecology of mind. New York: Ballantines Books.
- BERLYNE, D.E. (1960): Conflict, arousal, and curiosity. New York: McGraw Hill.
- BRILLOUIN, L. (1964): Scientific Uncertainty and Information. New York London: Academic Press.
- BUNGE, M. (1984): Das Leib-Seele Problem. Tübingen: Mohr.
- DAHLBERG, I. & DAHLBERG, W. (Hrsg) (1979a): Studien zur Klassifikation, Band 4: Klassifikation und Erkenntnis I. Frankfurt a.M.: Gesellschaft für Klassifikation.
- DAHLBERG, W. (Hrsg.) (1979b): Studien zur Klassifikation, Band 5: Klassifikation und Erkenntnis II. Frankfurt a.M.: Gesellschaft für Klassifikation.
- ECO, U. (1972): Einführung in die Semiotik. München: Fink.
- ELSTER, J. (1981): Logik und Gesellschaft: Widersprüche und mögliche Welten. Frankfurt a.M.: Suhrkamp.
- FESTINGER, L.A. (1957): A theory of cognitive dissonance. Stanford: Stanford University Press.
- FESTINGER, L.A. (1964): Conflict, decision, and dissonance. Stanford: Stanford University Press.
- FLOSSDORF, B. (1978): Kreativität: Bruchstücke einer Soziologie des Subjektes. Frankfurt: Syndikat.
- FOLBERTH, O.G. & HACKL, C. (Hrsg.) (1986): Der Informationsbegriff in Technik und Wissenschaft. Fachberichte und Referate. Band 18. München: Oldenbourg.
- FREY, G. (1969): Semantische Probleme der Informationstheorie und Kybernetik. in: DITFURTH, von H. (Hrsg.); Information über Information. Hamburg: Hoffmann & Campe.
- FREY, D. (1981): Informationssuche und Informationsbewertung bei Entscheidungen. Bern Stuttgart Wien: Huber.
- GAGNE, R.M. (1982): Die Bedingungen des menschlichen Lernens. Hannover: Schödl.
- GLANZER, M. (1958): Curiosity, exploratory drive, and stimulus satiation. Psychological Bulletin. 55, p.302-315.
- HAEFNER, K. (1986): Grundprinzipien der Informationsverarbeitung. Computer Magazin, Nr.: 1 bis 12.
- HAKEN, H. (1986): How can we implant Semantics into Information Theory. in: FOLBERTH, O.G. & HACKL, C. (Hrsg.): Der Informationsbegriff in Technik und Wissenschaft. München Wien: Oldenbourg.
- HARLOW, H.F. (1950): Learning and satiation of response in intrinsically motivated complex puzzle performance by monkeys. Journal of Comparative and Physiological Psychology, 43, p.289-294.

- HARTLEY, R.V.L. (1928): Transmission of information. Bell System Technical Journal, 7(3), p.535-563.
- HECKHAUSEN, H. (1980): Motivation und Handeln. Berlin Heidelberg New York: Springer.
- HERBART, J.F. (1824): Psychologie als Wissenschaft. Erster Teil; Königsberg.
- HERBART, J.F. (1825): Psychologie als Wissenschaft. Zweiter Teil; Königsberg.
- HINTON, G.E. (1985): Learning in parallel networks. BYTE, April, p.265-273.
- HOLLAND, J.; HOLYAK, NISBETT, THAGARD, (1986): Induction, process of inference, learning, and discovery. Cambridge (Mass.): MIT Press.
- HOPFIELD, J.J. (1985): Neural networks and physical systems with emergent collective computational abilities. Proc. Natl. Acad. Sci. USA, 82, p.1874-1878.
- HUNT, J.M.V. (1963): Motivation inherent in information processing and action. in: HARVEY, O.J. (ed.): Motivation and social interaction: cognitive determinants. New York: Roland.
- HUSSERL, E. (1964): The phenomenology of internal time consciousness. The Hague: Nijhoff.
- IRLE, M. (1975): Lehrbuch der Sozialpsychologie. Göttingen Toronto Zürich: Hogrefe.
- KELLER, J.A. (1981): Grundlagen der Motivation. München Wien Baltimore: Urban & Schwarzenberg.
- KLAUS, G. (1972): Semiotik und Erkenntnistheorie. Berlin: Deutscher Verlag der Wissenschaften.
- KLING, J.W. & LORRIN, A.R. & et.al. (1971): WOODWORTH & SCHLOSBERG's: Experimental Psychology. (3.veränderte und ergänzte Auflage), London: Methuen.
- KLIX, F. (1976): Information und Verhalten. Bern Stuttgart Wien: Hans Huber.
- LACHMAN, R., LACHMAN, J. & BUTTERFIELD, E. (1979): Cognitive psychology and information processing. New York Toronto London: Wiley & Sons.
- LIVSON, N. (1967): Toward a differentiated construct of curiosity. Journal of Genetic Psychology, 111, p.73-84.
- MANDL, H. & HUBER, G.L (Hrsg.) (1978): Kognitive Komplexität: Bedeutung, Weiterentwicklung, Anwendung. Göttingen Toronto Zürich: Hogrefe.
- MICHALSKI, R.S.; CARBONELL, J.G. & MITCHELL, T.M. (eds.) (1983): Machine learning. Vol.-1. Palo Alto: Tioga.
- MICHALSKI, R.S.; CARBONELL, J.G. & MITCHELL, T.M. (eds.) (1986): Machine learning. Vol.-2. Los Altos: Morgan Kaufmann.
- NEISSER, U. (1974): Kognitive Psychologie. Stuttgart: Klett.
- NEISSER, U. (1979): Kognition und Wirklichkeit: Prinzipien und Implikationen der kognitiven Psychologie. Stuttgart: Klett.
- NEISSER, U. (1982): Memory observed. San Francisco: Freeman.
- OESER, E. (1976): Wissenschaft und Information. Band 2: Erkenntnis als Informationsprozeß. Wien München: Oldenbourg.
- PALM, G. (1988): Assoziatives Gedächtnis und Gehirntheorie. Spektrum der Wissenschaft. Juni, S.54-64.
- PIAGET, J. (1936): Das Erwachen der Intelligenz beim Kinde. Stuttgart: Klett; 1969.
- PIAGET, J. (1937): Der Aufbau der Wirklichkeit beim Kinde. Stuttgart: Klett; 1974.
- PIAGET, J. (1983): Meine Theorie der geistigen Entwicklung. Frankfurt: Fischer.

- PRIGOGINE, I. (1979): Vom Sein zum Werden. München: Pieper.
- RAAB, E. & EBNER, H. (1982): Rhythmus und musikalisches Erleben: der affektive Eindruck einstimmiger rhythmischer Strukturen von variierender Komplexität. Zeitschrift für experimentelle und angewandte Psychologie, 29(2), 315-342.
- RAUTERBERG, M. (1985): Die Verarbeitung von Information bei lernenden Systemen. Diplomarbeit. Hamburg: Fachbereich Informatik;
- SCHANK, R.C. (1984): The cognitive computer. Reading (Mass.) Menlo Park: Addison Wesley.
- SCOTT, W.A.; OSGOOD, D.W. & PETERSON, C. (1979): Cognitive Structure: theory and measurement of individual differences. New York Toronto London Sydney: J.Wiley & Sons.
- SHANNON, C. (1962): The mathematical theory of communication. Urbana.
- STOERIG, P. (1985): Leib und Psyche. München: Fink.
- STREUFERT, S. & STREUFERT, S.S. (1978): Behaviour in the complex environment. Washington: Winston.
- TOPSØE, F. (1974): Informationstheorie. Stuttgart: Teubner.
- TUGENDHAT, E. & WOLF, U. (1983): Logisch-semantische Propädeutik. Stuttgart: Reclam.
- VOSS, H.-G. & KELLER, H. (Hrsg.) (1981): Neugierforschung: Grundlagen, Theorien, Anwendungen. Weinheim Basel: Beltz.
- VÖLZ, H. (1982): Information I. Berlin: Akademie-Verlag.
- VÖLZ, H. (1983): Information II. Berlin: Akademie-Verlag.
- WEIZSÄCKER von, E. (1974): Erstmaligkeit und Bestätigung als Komponenten der pragmatischen Information. in: WEIZSÄCKER von, E. (Hrsg.): Offene Systeme, Band I. Beiträge zur Zeitstruktur von Information, Entropie und Evolution. Stuttgart: Klett.
- WIENER, N. (1963): Kybernetik: Regelung und Nachrichtenübertragung im Lebewesen und in der Maschine. (2.veränderte Auflage). Düsseldorf Wien: Econ.
- WINOGRAD, T. (1972): Understanding Natural Language. New York: Academic Press.
- WOODWORTH & SCHLOSBERG (1971): siehe KLING, J.W. & LORRIN, A.R.
- ZUCKER, F. (1974): Information, Entropie, Komplementarität und Zeit. in: WEIZSÄCKER von, E. (Hrsg.): Offene Systeme, Band I. Beiträge zur Zeitstruktur von Information, Entropie und Evolution. Stuttgart: Klett.

# Arbeitspapiere der GMD 385



---

**Barbara Becker (Hrsg.)**

**Zur Terminologie in der Kognitionsforschung**

**Workshop in der GMD**

**16. - 18. November 1988**

---

April 1989

---

GESELLSCHAFT FÜR MATHEMATIK  
UND DATENVERARBEITUNG MBH

---