

# Kognitionspsychologie – eine Psychologie der Informationsverarbeitung

Gerd Lürer  
Georg-Elias-Müller-Institut für Psychologie

## Inhalt

- 1 Einleitung
- 2 Wegbereiter der Kognitionspsychologie
  - 2.1 Turing Machine
  - 2.2 Nachrichtentechnik
- 3 Psychologie der Informationsverarbeitung
  - 3.1 Symbolische Informationsverarbeitung
  - 3.2 Probleme der symbolischen Informationsverarbeitung
  - 3.3 Subsymbolische Informationsverarbeitung: Neuronale Netze und Konnektionismus
  - 3.4 Kritik an der subsymbolischen Informationsverarbeitung

# Kognitionspsychologie – eine Psychologie der Informationsverarbeitung

## 1 Einleitung

- Thomas Kuhn: Paradigmen in der Wissenschaft halten eine Generation
- Die vereinfachte Sichtweise über den Siegeszug der Kognitionspsychologie: Nach einer 30-40jährigen Herrschaft des S→R-Paradigmas (Blackbox) des Behaviorismus ist ein neues White-box-Paradigma unvermeidlich. Daraus soll die Kognitionspsychologie als Ablösung des Behaviorismus entstanden sein.
- Gegenbeispiel: Einer der strengsten (Neo-) Behavioristen war Clark L. Hull. Er entwickelte eine vollständige Theorie des Lernens und formalisierte sie in mathematischen Formeln. 1927/28 notierte Hull – er war ausgebildeter Ingenieur – in seinem "Idea-Book":  
"... all kinds of action, including the highest forms of intelligent and reflective action and thought, can be handled from the purely materialistic and mechanic standpoint."

Hull konstruierte *mechanische* und *elektrochemische* Analogien für Konditionierungsprozesse. Er sah darin einen Beitrag, Psychologie von Mystik zu befreien. Hull sprach von *psychic machines*.

## 2 Wegbereiter der Kognitionspsychologie

### 2.1 Turing-Maschine

- Alan Mathinson Turing (1912 - 1954) verband Beweisverfahren für mathematische Probleme mit den schrittweise Verrichtungen von Operationen einer hypothetischen Maschine.
- Eine Turing-Maschine besteht aus einem Kopf, durch den ein beliebig langer Papierstreifen gleitet. Der Streifen ist in Felder eingeteilt. Jedes Feld enthält ein Symbol oder ist leer. Der Kopf liest jedes Feld, kann ein Symbol löschen oder drucken und den Streifen auf das nächstfolgende oder das vorangegangene Feld voranschieben oder rückwärts bewegen. Mit diesen wenigen Operationen kann man jedes Programm zur Lösung eines Problems ausführen.
- Turing suchte die Analogie zwischen seiner Maschine und der Arbeitsweise des menschlichen Gehirns *nicht* auf der Ebene des Verhaltens von Neuronen und ihren Vernetzungen, sondern auf der Ebene von Information und Informationsverarbeitung. "The electrical circuits which are used in electronic computing machines seem to have the essential property of nerves. They are able to transmit information from place to place, and also to store it".
- Folgerung von Turing: Das menschliche Gehirn arbeitet bei der Informationsverarbeitung wie eine Turing-Maschine.

## 2.2 Nachrichtentechnik

- Mit seiner Informationstheorie gelang Claude Elwood Shannon (1916 – 2001) die Quantifizierung der Informationsmenge mit dem bit-Maß.
- D. Broadbent (1958) entwarf eine Theorie der Aufmerksamkeit mit Begriffen wie Filter, Kanalkapazität und durchgeleiteter Informationsmenge. Spätere Experimente invalidierten diese Theorie, weil ihr Phänomene wie die Chunkbildung entgegenstanden.
- Plausibel nachgewiesen werden konnte jedoch, daß Diagnostiker zur Bildung ihres Urteils in einer Diagnose aus einem großen Angebot von Informationen maximal 2.5 bis 3 bit nutzen können.
- Die Informationstheorie wurde seit Mitte der 60er Jahre des letzten Jahrhunderts in der Psychologie kaum noch weiterverfolgt.

### 3 Psychologie der Informationsverarbeitung

#### 3.1 Symbolische Informationsverarbeitung

- Newell & Shaw (1957): Logic-Theorist (LT)  
Rechnet alle aussagenlogischen Beweise aus dem Werk von Whitehead & Russell (1935): Principia Mathematica nach.
- Newell, Shaw & Simon (1956/1957) GPS – A system that simulates human thought. – Es werden heuristische Strategien wie z. B. die Means-Ends-Analysis algorithmisiert.
- Newell & Simon (1972). Human Problem Solving  
Standardwerk der Kognitionspsychologie mit Anwendungen auf höhere geistige Prozesse sowie einer ausgearbeiteten Theorie der menschlichen Informationsverarbeitung.
- Herbert A. Simon (1916 – 2001) erhält 1978 den Nobelpreis für Wirtschaftswissenschaften aufgrund seiner Arbeiten über Entscheidungsprozesse ("bounded rationality").

Newell & Simon (1972)

## Definition eines Informationsverarbeitungs-Systems (IPS)

1. There is a set of elements, called *symbols*.
2. A *symbol structure* consists of a set of *tokens* (equivalently, *instances* or *occurrences*) of symbols connected by a set of *relations*.
3. A *memory* is a component of an IPS capable of storing and retaining symbol structures.
4. An *information process* is a process that has symbol structures for (some of) its inputs or outputs.
5. A *processor* is a component of an IPS consisting of:
  - (a) a (fixed) set of *elementary information processes* (eip's);
  - (b) a *short-term memory* (STM) that holds the input and output symbol structures of the eip's;
  - (c) an *interpreter* that determines the sequence of eip's to be executed by the IPS as a function of the symbol structures in STM.
6. A symbol structure *designates* (equivalently, *references* or *points to*) an object if there exist information processes that admit the symbol structure as input and either:
  - (a) affect the object; or
  - (b) produce, as output, symbol structures that depend on the object.
7. A symbol structure is a *program* if (a) the object it designates is an information process and (b) the interpreter, if given the program, can execute the designated process. (Literally this should read, "if given an input that designates the program.")

- Überprüfung von schrittweisen Problemlösungen z. B. an sog. kryptarithmetischen Aufgaben wie:

$$\begin{array}{r} \text{DONALD} \\ + \text{GERALD} \\ \hline \text{ROBERT} \end{array} \quad D = 5$$

- Aus den anfänglichen Simulationsversuchen wird später die Suche nach Architekturen für Informationsverarbeitungsprogramme, die höhere kognitive Prozesse beschreiben und erklären sollen. Dabei spielt die Einführung von Wissensbasen eine immer größere Rolle, die es im GPS noch nicht gab. Kognitive Architekturen sind Strukturen von Programmen, die auf Wissensbasen operieren und komplexe intelligente Leistungen erzeugen können.

Beispiel:

J. R. Anderson: ACT-R-Theorie

Diese Architektur simuliert z. B. die Entwicklung der Sprache von Kindern in den ersten 6 Lebensjahren

- Besonderes Beispiel: D. Dörner, Bamberg: Bauplan für eine Seele.  
Architektur, die kognitive Leistungen wie auch Emotionen und Motivationen simuliert, neuerdings auch Sprache.

### 3.2 Probleme der symbolischen Informationsverarbeitungsforschung

- Hand-shaking zwischen Modell-Entwicklungen und experimenteller Forschung ist nicht befriedigend verlaufen.
- Kritiker werfen dieser Forschungsrichtung "Modell-Schreinerei" vor.

### 3.3 Subsymbolische Informationsverarbeitung: Neuronale Netze und Konnektionismus

- Der spanische Neuroanatom Ramón y Cajal (1852 - 1934) identifizierte durch Anwendung spezieller mikroskopischer und Einfärbungsmethoden den Aufbau von Neuronen mit ihren vernetzten Verzweigungen im Kortex.
- In der Psychologie zeigte die erste Behavioristen-Generation wenig Interesse am neuronalen Substrat der Assoziationen zwischen Reiz und Reaktion.
- Mit der "kognitiven Wende" zu Beginn der 50er Jahre des 20. Jahrhunderts blieb zunächst das Interesse an Gehirnprozessen gering. Irgendeiner verständnisweiternden Verbindung zwischen der hardware des Computers und der wetware des Gehirns wurde zunächst nicht nachgegangen.
- Eine Ausnahme bildet die frühe Arbeit von McCulloch (Schüler des Behavioristen C. L. Hull) und Pitts (Mathematiker) aus dem Jahre 1941. Sie verglichen "nerve-nets" mit einer Turing-Machine. Sie bestätigten, daß die binäre Boolesche Logik sowohl die elektrischen Schaltungen in einem künstlichen System als auch die Reizübertragung zwischen Neuronen beschreiben.
- 1951 promovierte Marvin Minsky über eine "lernende Maschine", die wie ein neuronales Netz aufgebaut war. Danach wandte er sich aber von diesem Netzwerk-Ansatz ab.

- 1958 baute der Psychologe Frank Rosenblatt sein "Perceptron". Diese Maschine bestand aus einem Raster aus 400 Fotozellen, die mit einer Schicht von 512 neuronartigen Zellen verbunden war. Ihm gelang damit das Erkennen aller Buchstaben des Alphabets. Rosenblatt:  
"The perceptron has established ... the feasibility and principle of non-human systems which may embody human cognitive functions at a level far beyond that which can be achieved through present-day automatons."
- 1969 publizierten Minsky und Papert eine mathematische Analyse über Perceptrons, mit der sie die prinzipiellen Grenzen von Netzwerkmodellen nachweisen wollten. Es kam zum Absterben der Netzwerkforschung mit gleichzeitiger Bevorzugung des Ansatzes der symbolischen Informationsverarbeitung. Analogien zwischen Hirnforschung und kognitiver Informationsverarbeitung kamen zum Erliegen.
- Die konnektionistische Revolution begann 1982 mit einem Artikel des theoretischen Physikers John Hopfield in den Proceedings der amerikanischen Academy of Science. Hopfield argumentierte auf einem Analyseniveau, das näher an den Neurowissenschaften lag als auf der traditionellen Architektur von Computern. Er konnte die Eigenschaften neuronaler Netze soweit vereinfachen, daß sie mathematischen Beschreibungen zugänglich wurden.

- Eigenschaften von Hopfield-Netzen: (1) Es arbeitet inhaltsadressierbar: das Angebot eines Musters aktiviert ein entsprechend gespeichertes Muster ohne Zwischenschaltung eines Indexes und ohne das Durchforsten einer Adressenliste. (2) Das Angebot eines Teilmusters aktiviert dennoch ein gesamt gespeichertes Muster. (3) Für mehrdeutige Muster wird der statistisch wahrscheinlichste Anschluß gesucht. (4) Muster, die große Übereinstimmungen zeigen, verschmelzen zu einem gemeinsamen Muster. Damit kann das System generalisieren und kategorisieren. (5) Das Ausschalten individueller Elemente hat lediglich eine teilweise abträgliche Wirkung ("fail-soft") auf die Leistung.
- Hopfield wies nach, daß in einem Netzwerk einfacher homogener Elemente relativ dauerhafte Gleichgewichtsmuster entstehen, die als physikalisches Substrat für die Informationsspeicherung verstanden werden können.
- Hopfield kam damit der von Hebb (1949) aufgestellten Regel nahe, nach der die gemeinsame Aktivität zweier Neurone zur Verstärkung der Verbindung zwischen diesen Neuronen führt.
- Mitte der 80er Jahre kommt es zum schnellen Wachstum des Konnektionismus. Nach der *Computermetapher* blüht nun die *Gehirnmetapher*.

- In der Psychologie wird von Brain-style-Modelling gesprochen, wenn Netzwerke die Informationsverarbeitung bewerkstelligen. Einen hohen Grad an Bewährung haben diese Modelle vor allem in den Gebieten Mustererkennung, Wahrnehmung, Lernen und Gedächtnis erfahren (*Rumelhart, D. E., McClelland, J. L. & The PDP-Research Group (Eds.)(1986). Parallel distributed processing: Explorations in the microstructure of cognition. Cambridge, MA: MIT-Press, 2 Vol.*).
- Die konnektionistische Modellierung mit Netzwerken birgt die Chance in sich, generelle Prinzipien der Informationsverarbeitung (wie z. B. die Parallelverarbeitung oder das Emergenz-Prinzip) gemeinsam mit den Neurowissenschaften zu bearbeiten. Dennoch ist der Begriff "Brain-style-Modelling" sicherlich noch zu euphemistisch.

### 3.4 Kritik an der subsymbolischen Informationsverarbeitung

- Fodor: Rückfall in das Black-box-Paradigma, da lediglich mit aktivitätsthroughströmten Netzen ohne jede Bedeutungs-zuweisung umgegangen wird.
- Subsymbologische Informationsverarbeitung läßt sich bisher nicht auf höhere kognitive Prozesse wie Denken, Problemlösen und abwägendes Urteilen anwenden.