



Hauptseminar im WS 2002/2003

Joachim Funke

Psychologisches Institut, Uni Heidelberg

Kognitive Modellierung

- 1 Modellierung als neuer Weg der theoretischen Psychologie
- 2 „Unified theories of cognition“
- 3 Produktionssysteme: ACT-R
- 4 Konnektionismus
- 5 Multinomiale Modellierung
- 6 PSI-Theorie



Opwis, K. (1992). *Kognitive Modellierung. Zur Verwendung wissensbasierter Systeme in der psychologischen Theoriebildung*. Bern: Huber.

Schaub, H. (1993). *Modellierung der Handlungsorganisation*. Bern: Huber.

Schmid, U. & Kindsmüller, M.C. (1996). *Kognitive Modellierung. Eine Einführung in die logischen und algorithmischen Grundlagen*. Heidelberg: Spektrum Akademischer Verlag.

1 Modellierung als neuer Weg der theoretischen Psychologie

✿ nach der Ära des Behaviorismus in der Folge der kognitiven Wende drei Methoden zur Untersuchung interner Prozesse (nach Strube, 1990):

- ◆ Empirische Untersuchungen der Organisation, Funktion und Ressourcenlimitationen des kognitiven Apparats
- ◆ theoretische Analysen kognitiver Funktionsbereiche
- ◆ Modellierung kognitiver Strukturen und Prozesse durch die Konstruktion virtueller kognitiver Maschinen



Strube, G. (1990). Neokonnektionismus: Eine neue Basis für die Theorie und Modellierung menschlicher Kognition? *Psychologische Rundschau*, 41, 129-143.

Definitionen von Kognitiver Modellierung 1

✿ Kognitive Modellierung (nach Tack, 1995, S. 177):

- ◆ Versuch, für „ausgewählte kognitive Leistungen Symbolstrukturen (für Daten und Regeln) anzugeben und zu zeigen, daß mit eben diesen Daten und Regeln die zu erklärende kognitive Leistung erbracht werden kann”

✿ Kognitive Modellierung (nach Wallach, 1998, S. 37):

- ◆ „die Spezifikation und Implementation virtueller kognitiver Systeme, bestehend aus rekonstruierten repräsentationalen Strukturen und einer diese enkodierenden und interpretierenden Kognitiven Architektur“



Wallach, D. (1998). *Komplexe Regelungsprozesse. Eine kognitionswissenschaftliche Analyse*. Wiesbaden: Deutscher Universitäts-Verlag.

Definitionen von Kognitiver Modellierung 2

✿ Unterscheidung rekonstruktiver und generativer Aspekte (Lüer & Spada, 1990):

- ◆ *rekonstruktiv*: Konzeptualisierung jener Strukturen und Prozesse, die mentalen Aktivitäten zugrunde liegen
- ◆ *generativ*: durch den Ablauf implementierter Modelle werden die Phänomene nicht nur beschrieben, sondern auch erzeugt und erlauben damit einen Vergleich empirisch-experimenteller mit modellgenerierten Daten



Lüer, G. & Spada, H. (1990). Denken und Problemlösen. In H. Spada (Ed.), *Lehrbuch Allgemeine Psychologie* (pp. 189-280). Bern: Huber.

Vorteile formaler Modelle (vgl. Wallach, 1998, S. 40)

- ✿ erleichtern das Aufdecken inkonsistenter Annahmen
- ✿ erleichtern den Nachweis unvollständiger Annahmen
- ✿ erleichtern die Identifikation überflüssiger Annahmen
- ✿ erleichtern das Aufdecken impliziter Vorannahmen
- ✿ gestatten präzisere empirische Vorhersagen
- ✿ gestatten anspruchsvollere Prüfungen (leichtere Widerlegbarkeit durch präzisere Vorhersage)
- ✿ sind präziser kommunizierbar als verbal formulierte Modelle



Wallach, D. (1998). *Komplexe Regelungsprozesse. Eine kognitionswissenschaftliche Analyse*. Wiesbaden: Deutscher Universitäts-Verlag.

Zur Methodologie der Kognitiven Modellierung 1

(vgl. Wallach, 1998, S. 44)

vier grundlegende Phasen:

✿ Aufgabenanalyse

- ◆ was sind für die Aufgabenbewältigung notwendige Wissensvoraussetzungen?
- ◆ was sind modellrelevante Eigenschaften der Kognitiven Architektur?

✿ Durchführung empirischer Untersuchungen, je nach Modelltyp:

- ◆ idiographisches Modell: Rekonstruktion *eines* ausgewählten Pbn
- ◆ prototypisches Modell: Konstruktion *eines* Modells für alle Pbn
- ◆ individualisiertes Modell: *sowohl* allgemeine *als auch* individuelle Komponenten

Zur Methodologie der Kognitiven Modellierung 2

(vgl. Wallach, 1998, S. 44)

✿ Modellimplementierung

- ◆ neben profunden Programmierkenntnissen auch Kreativität gefordert
- ◆ inkrementelle Modellentwicklung, unter Heranziehung von Daten

✿ Geltungsprüfung der Modellierung

- ◆ Identifikationsproblem: Problem von (a) Entdeckung und (b) Eindeutigkeit
- ◆ Suffizienzproblem: welchen Auflösungsgrad muß man wählen?

Suffizienz der Modellierung

(vgl. Wallach, 1998, S. 55)

- ✿ Korrespondenz zwischen Original und Modellierung kann auf mehreren Ebenen bewertet werden:
 - ◆ Produkt-Korrespondenz
 - Rekonstruierbarkeit des Endprodukts (exakt oder als Bereich)
 - ◆ Korrespondenz von Zwischenschritten
 - Prozeßmodellierung
 - ◆ Temporale Korrespondenz
 - z.B. Latenzzeiten rekonstruierbar
 - ◆ Lern-Korrespondenz
 - Berücksichtigung von Mechanismen zum Wissenserwerb
 - ◆ Fehler-Korrespondenz
 - Modellierung spezifischer Fehler bzw. Fehler-Verteilungen
- ✿ daher: unterschiedliche „Grade“ der Adäquatheit kognitiver Modellierungen

Empirische Gültigkeitsprüfungen

(vgl. Wallach, 1998, S. 56)

statistische Verfahren

- ✿ z.B. Auszählung verschiedener *Klassen* von Verhalten

Protokoll-Trace-Vergleich

- ✿ sequentielle Zwischenschritte werden verglichen
- ✿ informationsreiche Aufzeichnungen des Vp-Verhaltens nötig

Modellexperimente

- ✿ aus Simulationsstudien abgeleitete Vorhersagen werden experimentell geprüft
- ✿ zentrale Prüfinstanz der Kognitiven Modellierung!

Probleme der Modellprüfungen (1)

Probleme der Modellprüfungen sind wesentlichen Probleme der Kommunizierbarkeit

✿ „theory implementation gap“ (Cooper & Shallice, 1995):

- ◆ Diskrepanzen zwischen sprachlich formulierter Theorie und deren Implementation
- ◆ Idiosynkrasie der gewählten Programmiersprache macht Überprüfung schwierig

✿ „irrelevant specification“ (Newell, 1990):

- ◆ theoretisch nicht gehaltvolle Zusatzannahmen müssen getroffen werden, um die Theorie überhaupt lauffähig zu machen
- ◆ aber vielleicht sind gerade diese Zusatzannahmen lösungsentscheidend?
- ◆ keine klare Trennung von „essential theory“ und „implementation details“

Probleme der Modellprüfungen (2)

Abhilfe:

- ✿ Verwendung allgemein verbreiteter Kognitiver Architekturen
- ✿ mit dem Ziel der Vereinheitlichung von Theorie und Modellbildung



Newell, A. (1990). *Unified theories of cognition*. Cambridge, MA: Harvard University Press.

Kognitive Psychologie: Symbolverarbeitungsansatz

Informationsverarbeitungs-Ansatz (IVA)

✿ Grundgedanke

- ◆ Mensch wird als informationsverarbeitendes System konzipiert
- ◆ grobe Architektur: Eingabe, Verarbeitung und Speicherung, Ausgabe

✿ Drei Grundfragen in der Konzeption eines informationsverarbeitenden Systems:

- ◆ Architektur
- ◆ Repräsentation
- ◆ Prozesse

IVA: (a) Architektur

Architektur

✿ aus welchen Komponenten besteht das System?

- ◆ Sensorik
- ◆ KZG
- ◆ LZG
 - semantisch
 - heuristisch
 - epistemisch
 - episodisch
- ◆ Motorik

✿ Anderson's (1983) Konzeptio:
[Figure 1.2]

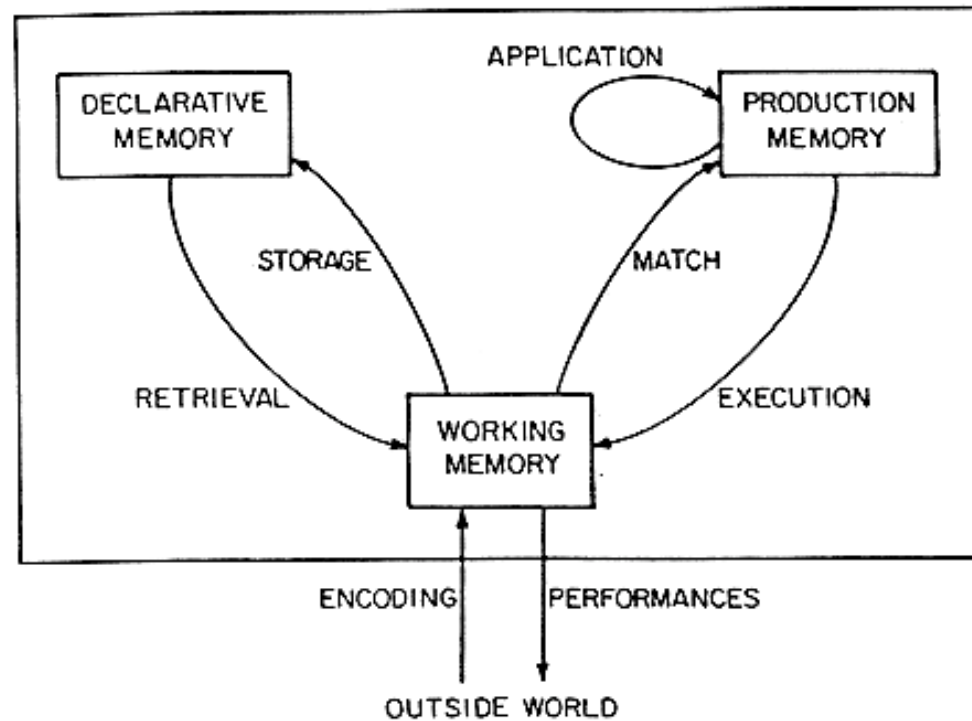


Figure 1.2 A general framework for the ACT production system, identifying the major structural components and their interlinking processes.



Anderson, J.R. (1983). *The architecture of cognition*. Cambridge, MA: Harvard University Press.

IVA: (b) Repräsentation

Repräsentation

✿ wie werden Aspekte der Außenwelt intern repräsentiert?

- ◆ zeitliche Abfolge
- ◆ räumliche Bilder
- ◆ abstrakte Propositionen
- ◆ evtl. noch motorische Form von Repräsentationen

✿ Bsp. von Anderson [Figure 1.3]

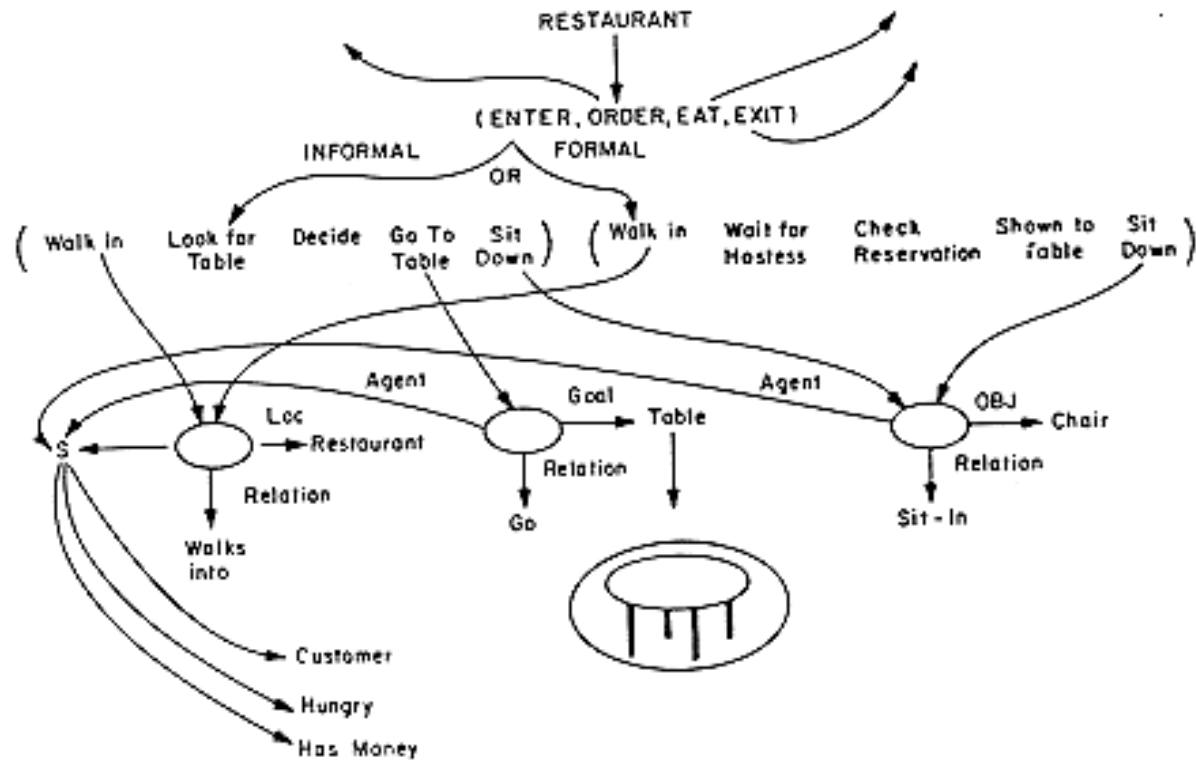


Figure 1.3 An example of a tangled hierarchy formed from cognitive units. See Chapter 2 for discussion of the conventions.

IVA: (c) Prozesse

wie kann mit den Repräsentationen umgegangen werden?

- ✿ Aktivationsausbreitung

- ✿ „Inferenzmaschine“

Repräsentationen und Prozesse müssen immer aufeinander bezogen werden!

- ✿ Repräsentationen ohne Prozesse sind tot

- ✿ Prozesse ohne Repräsentationen sind hohl

Symbolverarbeitung und mentale Prozesse

was “prozessieren” mentale Prozesse?

- ✿ Perzeptionen, Ideen, Bilder, Vorstellungen, Hypothesen, ...
- ✿ nach Ansicht von Vertretern der ”Cognitive Science” handelt es sich um Symbole
- ✿ ”mind is a symbolic system”
 - ◆ Symbole sind meistens keine isolierten Einheiten, sondern Bestandteil eines Symbolsystems

finite vs. infinite Symbolsysteme

- ✿ finit: Verkehrsschilder
- ✿ infinit: Buchstaben, Zahlen, Notenschrift



Johnson-Laird, P. (1988). *The computer and the mind. An introduction to cognitive science.* Cambridge, MA: Harvard University Press.

Pinker, S. (1997). *How the mind works.* New York: W.W. Norton & Company.

Kennzeichen von Symbolsystemen

- ◆ die Symbole selbst (z.B. '1', '2', ...; 'I', 'V', 'X', 'L', 'C', 'D', 'M'; ABC)
- ◆ die Domäne, die symbolisiert wird (z.B. Hotelzimmer)
- ◆ Prinzipien zur Regulation der Relation zwischen Symbolen und Objekten
 - z.B. XIV := (X) (IV), nicht (XI)(V); Verbot von IVX
- ◆ nicht jedes Symbol muß Bedeutung haben: z.B. Zimmer 13
- ◆ Symbole sind kein Selbstzweck, sondern machen Sachverhalte der Domäne deutlich
- ✿ gute Notation spart Zeit, in dem sie wichtige Information explizit macht:
 - ◆ z.B. an der Gefängniswand: /// < /////
 - ◆ dort deutlich schlechter: XI > III

“Physical Symbol System” (PSS) 1 / 3

✿ intelligente Systeme werden als PSS konzipiert (vgl. Newell & Simon, 1972: GPS; Anderson, 1983: ACT*; Newell, 1990: SOAR)

◆ **Definition PSS:**

- “is built from a set of elements, called symbols, which may be formed into symbol structures by means of a set of relations” (p. 8)

◆ **Komponenten:** PSS besteht aus

- (a) einem Gedächtnis für Symbole & Symbolstrukturen
- (b) einer Menge von Verarbeitungsprozessen, die Symbolstrukturen als Funktion sinnlicher Stimuli erzeugen, die Symbolstrukturen produzieren, die motorische Aktionen verursachen und Symbolstrukturen im Gedächtnis verändern

“Physical Symbol System” (PSS) 2 / 3

- ◆ **Umwelt-Interaktion:** PSS interagiert mit seiner Umwelt in zwei Arten:
 - (1) es empfängt Sinnesreize und wandelt diese in Symbolstrukturen im Gedächtnis;
 - (2) es wirkt auf die Umwelt bedingt durch produzierte Symbolstrukturen (sowohl aufgrund der gegenwärtigen als auch aufgrund der früheren Umwelt)

- ◆ **Symbole:**
 - sind Muster;
 - ihre physikalische “Natur” ist irrelevant in bezug auf ihre Rolle für das Verhalten;
 - Muster werden zu Symbolen dadurch, daß sie auf etwas verweisen oder etwas darstellen (“they can designate or denote”)

“Physical Symbol System” (PSS) 3 / 3

◆ “consciousness”:

- Symbolische Theorien machen keine spezifischen Annahmen darüber, welche Verarbeitungsprozesse bewußt oder unbewußt ablaufen;
- Ausnahme: Symbole im KZG sind normalerweise bewußt und häufig verbal zugänglich; aber: “symbolisch” ist nicht gleichbedeutend mit “verbal” (images!)

„constraints on mind“ (Newell, 1980)

- ✿ 1. behave as an (almost) arbitrary function of the environment (universality)
- ✿ 2. operate in real time
- ✿ 3. exhibit rational, i.e., effective adaptive behavior
- ✿ 4. use vast amounts of knowledge about the environment
- ✿ 5. behave robustly in the face of error, the unexpected, and the unknown
- ✿ 6. use symbols (and abstractions)
- ✿ 7. use (natural) language
- ✿ 8. exhibit self-awareness and a sense of self
- ✿ 9. learn from its environment
- ✿ 10. acquire its capabilities through development
- ✿ 11. arise through evolution
- ✿ 12. be realizable within the brain as a physical system
- ✿ 13. be realizable as a physical system



Newell, A. (1980). Physical symbol systems. *Cognitive Science*, 4, 135-183.

Physical symbol system hypothesis (Newell, 1980, p. 170)

✿ Hypothesis:

- ◆ **The necessary and sufficient condition for a physical system to exhibit general intelligent action is that it be a physical symbol system**

- ◆ „necessary“:
 - jedes beliebige physikalische System, das allgemeine Intelligenz zeigt, kann als Instanz eines physikalischen Symbolsystems angesehen werden

- ◆ „sufficient“:
 - jedes beliebige physikalische System kann weiter organisiert werden, so daß es allgemeine Intelligenz aufweist

- ◆ „general intelligent action“:
 - same scope of intelligence seen in human action: that in real situations behavior appropriate to the ends of the systems and adaptive to the demands of the environment can occur, within some physical limits

Computer und Symbole

”Computer sind Zahlenfresser” (number crunchers) ist ein doppeltes Mißverständnis, denn

- ✿ Computer arbeiten nicht mit Zahlen, sondern Ziffern (die man als Zahl interpretieren kann, aber eben auch anders!)
- ✿ Computer vollbringen nicht nur Rechenleistungen, sondern vieles andere (z.B. Textverarbeitung)

zwei symbolische Fähigkeiten des Computers

- ✿ Fähigkeit zur Symbolmanipulation
- ✿ interne Operationen werden durch Symbole kontrolliert

2 „Unified theories of cognition“ (UTC)

- ✿ UTC: „nützliche Fiktion“ im Sinne von Herrmann (1983)
- ✿ Vorzüge von UTC sensu Newell (1990, p. 18):
 - ◆ Auffinden einheitsstiftender Prinzipien ist Ziel jeder Wissenschaft
 - ◆ UTC stellen mentale Strukturen und Prozesse *in toto* dar
 - ◆ UTC reflektieren den Einfluß multipler *constraints* auf die Struktur des kognitiven Apparats
 - ◆ UTC erlauben theoretische Analyse und kumulative Einordnung empirischer Befunde
 - ◆ UTC heben das Identifikationsproblem auf
 - ◆ UTC führen zu einer Amortisierung theoretischer Konstrukte
 - ◆ UTC bahnen den Weg zu Anwendungen (Bsp. LISP-Tutor)
 - ◆ UTC verändern Theorieentwicklung: vom diskriminativen Vorgehen weg und hin zum approximativen Vorgehen
 - ◆ UTC lösen das *irrelevant specification problem*

„Kognitive Architekturen“

warum KA?

- ✿ Festlegung einer KA determiniert, welche Operationen als primitiv angesehen werden (d.h. für diese wird keine weitere Prozeßklärung geleistet)
- ✿ Komplexere kognitive Prozesse sind dann Konkatenationen solcher primitiver Operationen
- ✿ fixe Parameter zur Einschränkung der Freiheitsgrade bei der Modellierung:
 - ◆ Speicherstrukturen
 - ◆ Verarbeitungsmechanismen
 - ◆ Ressourcenbegrenzungen

Abgrenzung von Kognitiver Architektur und Wissensstruktur

Pylyshyn (1986, 1989):

- ✿ wie kann man Eigenschaften der KA von denen der repräsentierten Wissensbestände (=Wissensstruktur) abgrenzen?
- ✿ Drei Kriterien zur Prüfung der Äquivalenz zwischen kognitiven Prozessen und ihrer formalen Modellierung
 - ◆ 1) Kognitive Impenetrierbarkeit
 - wenn ein Prozeß nicht durch Ziele eines Agenten beeinflußt werden kann (impenetrierbar: visuelle Täuschungen; Gedächtnissuche nach Sternberg)
 - ◆ 2) intermediäre repräsentationale Zustände
 - in postulierte „primitive“ Übergänge dürfen keine weiteren Zwischenzustände eingefügt werden, da sonst weitere Dekomposition möglich
 - ◆ 3) Komplexitätsäquivalenz
 - Forderung nach temporaler Äquivalenz: Beziehung zwischen Eingabe und Laufzeit muß gleichen funktionalen Zusammenhang aufweisen



Produktionensysteme

- ✿ Produktionensysteme stellen eine umfassende Rahmenvorstellung zur Funktionsweise des kognitiven Apparats dar
- ✿ Strukturmodelle des Gedächtnisses werden mit Annahmen über den Prozeß der Informationsverarbeitung verknüpft

Bekannte Systeme:

- ✿ SOAR (Newell, 1990)
- ✿ ACT-R (Anderson, 1993; Anderson & Lebiere, 1998)



Anderson, J.R. (1993). *Rules of the mind*. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.

Anderson, J.R. & Lebiere, C. (Eds.). (1998). *The atomic components of thought*. Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.

Rosenbloom, P. S., Laird, J. E., & Newell, A. (Eds.). (1993). *The Soar Papers: Research on integrated intelligence*. Cambridge, MA: MIT Press.

Produktionensysteme: Komponenten

Komponenten eines Produktionensystems:

✿ Regelbasis

- ◆ enthält operatives Wissen, formal als Produktionsregel beschrieben:
 - wenn Bedingung B_1, B_2, \dots, B_N , dann Aktion A_1, A_2, \dots, A_N

✿ Datenbasis

- ◆ enthält Faktenwissen
 - wenn in der Datenbasis Elemente vorhanden sind, die dem Bedingungsteil von Produktionsregeln entsprechen, sind diese Produktionen prinzipiell ausführbar

✿ Interpreter

- ◆ verbindet Regel- und Datenbasis in Form eines mehrstufigen Zyklus („recognize-act-cycle“)

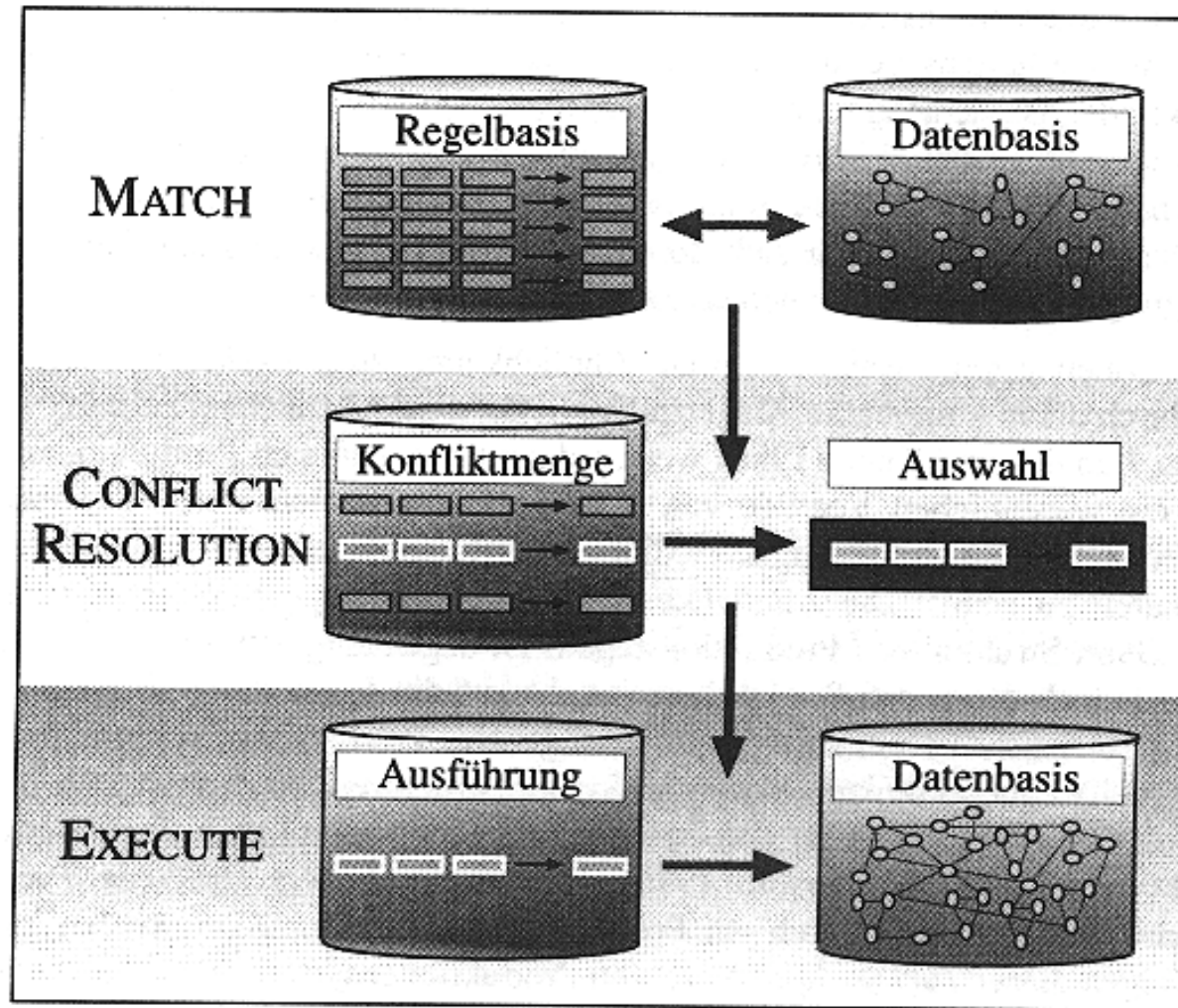
dreiphasiger Ablauf des Interpreters: „recognize-act-cycle“ (1)

- ◆ (1) Pattern Match („recognize“)
 - beansprucht ca. 90% der Rechenzeit
 - konsistente Bindung von Variablen gefordert
 - bei Passung von Daten und Bedingungsteil kommt es zur Instantiierung von Produktionen
 - die Menge aller Instantiierungen ist die *Konfliktmenge*
- ◆ (2) Conflict Resolution
 - Reihenfolgedominanz: „first-come-first-serve“ (schlechtes Prinzip!)
 - Spezifität: bevorzugt wird Produktion mit spezifischerem Bedingungsteil
 - Refraction: Elimination bereits zuvor ausgewählter *identischer* Instantiierungen
 - Recency: aktuelle Daten bevorzugt
 - Production recency: neu erlernte Produktionen bevorzugt
 - Zielspezifikation: Präferenz zielorientierter Produktionen
 - Stärke von Produktionen
 - Zufallsauswahl (wenn alle anderen Kriterien versagen)

dreiphasiger Ablauf des Interpreters: „recognize-act-cycle“ (2)

- ◆ (3) Execution („act“)
 - Aktionsteil der selektierten Produktion wird ausgeführt

„recognize-act-cycle“ (aus Wallach, 1998, S. 77)



Vorteile von Produktionensystemen

(nach Wallach, 1998, S. 77f.)

- ✿ Homogenität, Modularität und Abstraktheit
- ✿ sowohl ziel- als auch datengesteuerte Verarbeitung möglich
- ✿ zentrale Ähnlichkeiten zu S-R-Theorien, jedoch ohne deren Beschränkungen
- ✿ Aufbau analog zu gedächtnispsychologischen Strukturvorstellungen
- ✿ Grundlage zur Erklärung menschlicher Lernprozesse (keine a-historische Theoriebildung)

Entwicklungslinien verschiedener Architekturen

(aus Wallach, 1998, S. 79)

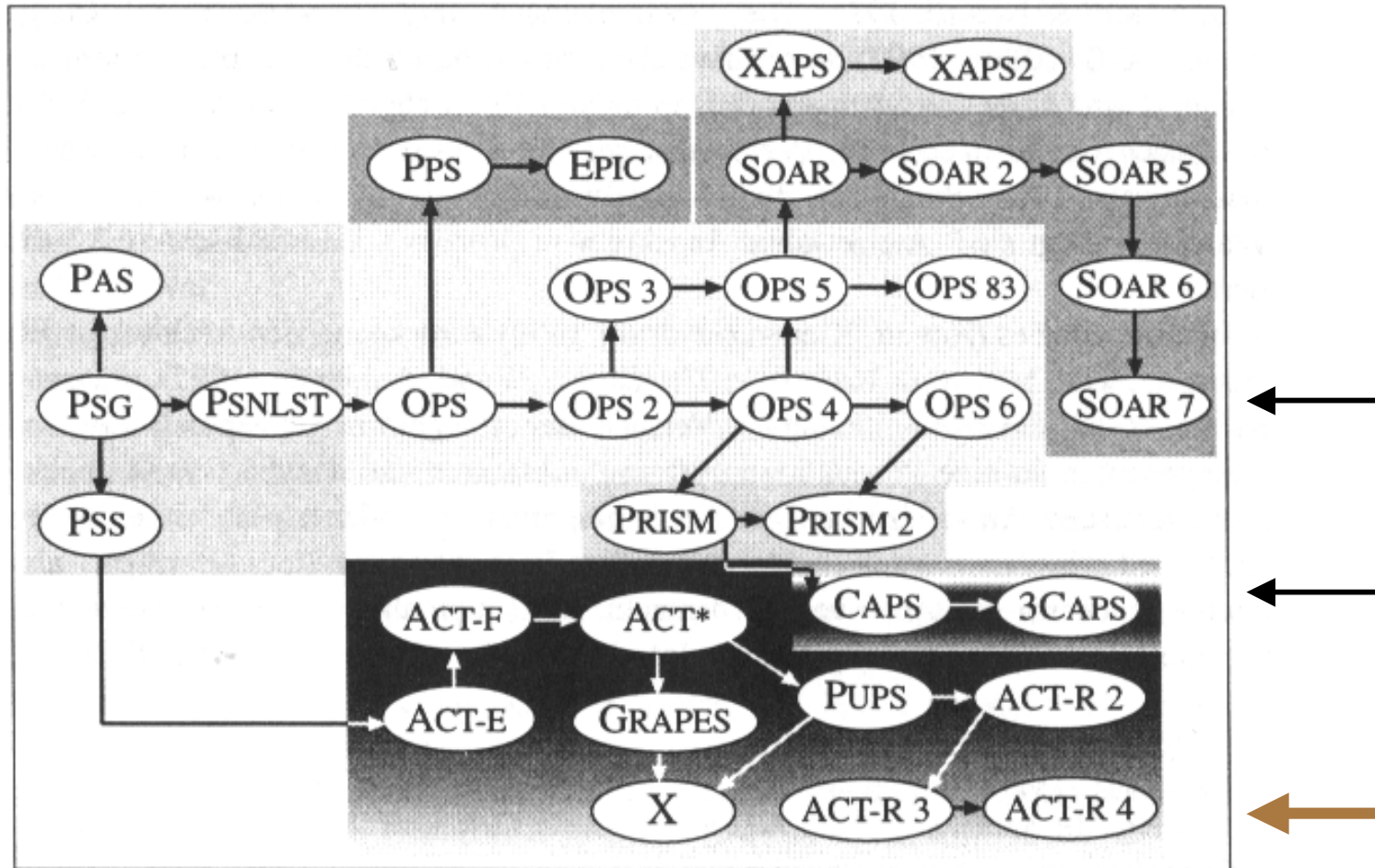


Abbildung 10: Entwicklungslinien verschiedener Produktionensystem-Architekturen

3 Produktionssysteme: ACT-R

✿ Die Grundkonzeption:

- ◆ eine Theorie menschlichen Wissens und des Wissenserwerbs

✿ zwei Arten von Wissen:

- ◆ deklarativ: “Rau ist Bundespräsident”

- als Chunks gepackt
- kommen ins System durch Wahrnehmung oder durch Produktionen

- ◆ prozedural: Fahrrad fahren

- in Produktionsregeln gefaßt
- jede Produktion stellt einen elementaren Kognitionsprozeß dar
- werden durch *Ziele* gesteuert, die in einem eigenen Stack verwaltet werden
- zu jedem Zeitpunkt nur *ein* Ziel im Vordergrund
- werden aus deklarativen Chunks durch *Kompilation* gebildet

✿ neben symbolischen auch subsymbolische Prozesse

- ◆ Geschwindigkeit und Erfolg des Zugriffs auf Chunks

Die “no-magic” Doktrin von ACT-R

(nach Anderson & Lebiere, 1998, p. 14-17)

- ◆ 1. Experimentelle Fundierung
 - jedes ACT-R-Modell sollte möglichst genau dem Verhalten einer Vp in einem spezifischen experimentellen Paradigma entsprechen
- ◆ 2. Detaillierte Vorhersage
 - Bsp. free recall: nicht nur Anzahl, sondern auch Reihenfolge und Latenz der Nennung
- ◆ 3. Lernen durch Erfahrung
 - prinzipiell *alles* Wissen soll durch Erfahrung erworben werden
- ◆ 4. Erklärung auch von komplexeren kognitiven Phänomenen
 - nicht auf dem Niveau einfacher Phänomene stehenbleiben
- ◆ 5. Prinzipiengeleitete Parameterwahl
 - constraints bei der Parameterwahl, nicht willkürliche Festsetzung
- ◆ 6. Neurale Plausibilität
 - angestrebte Korrespondenz zwischen Gehirn & ACT-R

ACT-R Architektur 4.0

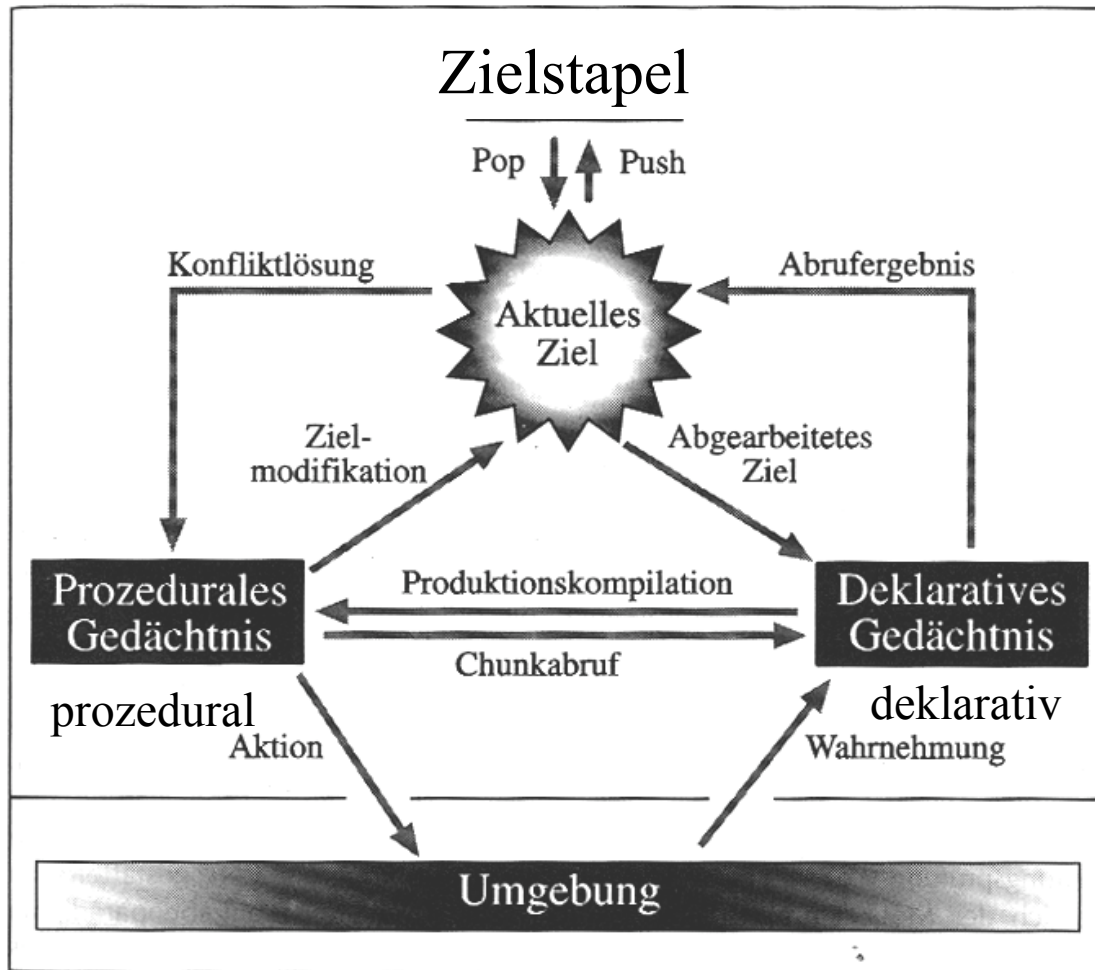


Abb. 1: Systemarchitektur von ACT-R

(aus Tack & Wallach, 1999, p. 565)

Grundbegriffe 1: *goal stack (goal buffer)*

- ✿ enkodiert die Hierarchie von Intentionen, die das Handeln leiten
- ✿ Prinzip: *first in - last out* (oder *last in - first out*), das unterste Ziel ist das allgemeinste, alle darüberliegenden sind untergeordnete *subgoals*
- ✿ ACT-R ist ein *fixed attention*-System: es wird pro Zeitpunkt immer nur ein Ziel fokussiert, nur eine Produktionsregel feuert.
- ✿ ACT-R versucht immer, das Ziel, das zuoberst auf dem *goal stack* liegt, zu erreichen
- ✿ *pop goal* = das Ziel wird vom Zielstapel entfernt (weil es erreicht ist oder obsolet geworden ist) und das System fokussiert ein neues Ziel

Grundbegriffe 2: *pushing and popping goals*

- ✿ In ACT-R gibt es eine Reihe von Kommandos, die Veränderungen auf der Aktionsseite der Produktionsregel hervorrufen und den *goal stack* erweitern, entleeren oder verändern.
- ✿ **!Push!** ist ein Mechanismus, um den Fluss der Produktionen zu kontrollieren, indem ein *chunk* in den *goal stack* verschoben wird. Dieses übernimmt dann die Kontrolle, d.h. es ist aktiv und Produktionen stimmen mit diesem *chunk* überein.
- ✿ Nach dem Kommando !push! muss noch ein Hinweis auf den *chunk* folgen, etwa der Art !push! =subgoal.
- ✿ **!Pop!** Mit dem Befehl !pop! hingegen richtet sich der Fokus weg vom derzeitigen *chunk* hin zu dem nächsten Element im Zielstapel. Das zuvor fokussierte Ziel ist im *goal stack* nicht mehr länger verfügbar.

Grundbegriffe 3: *Conflict resolution process* 1

- ✿ Bildung eines *conflict set* aus den Produktionsregeln, die mit dem *current goal* kompatibel sind
- ✿ Auswahl der Produktionsregel, die feuern soll
- ✿ die ausgewählte Produktion kann
 - ◆ das derzeitige Ziel verändern
 - ◆ Handlungen auslösen
 - ◆ *retrieval requests* an das deklarative Gedächtnis richten

Grundbegriffe 3: *Conflict resolution process 2*

- ✿ Im Prozess der *conflict resolution* wird aus der Menge der passenden Produktionsregeln diejenige ausgewählt, die feuern soll.
- ✿ Zur Lösung dieses Problems verhilft der mit jeder Produktionsregel assoziierte Vorteil (gain), der den Anteil widerspiegelt, zu dem die Produktionsregel zum Erreichen des Systemziels beitragen wird. Dieser Vorteil setzt sich aus drei Quantitäten zusammen:
 - ◆ P: Wahrscheinlichkeit, mit der die Produktionsregel zum Ziel führt
 - ◆ G: Wert (value) des Ziels
 - ◆ C: angenommene (geschätzte) Kosten der Zielerreichung
- ✿ Der Vorteil (*gain*) der Produktionsregel ist definiert als
 - ◆ Expected Gain = E = PG - C

Bsp. „addition model“: Chunk-Repräsentation

6

ANDERSON AND LEBIERE

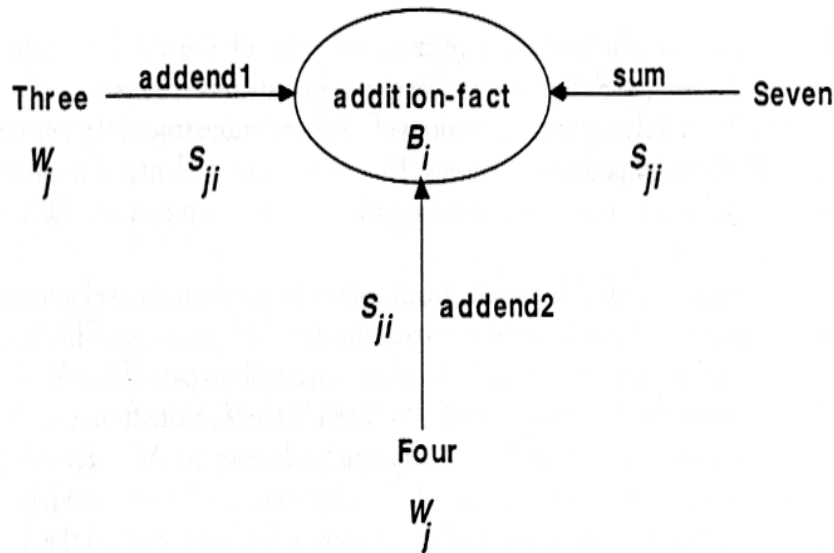


FIG. 1.1. A network representation of an ACT-R chunk.

```
Fact3+4
  is a  ADDITION-FACT
  addend1 Three
  addend2 Four
  sum Seven
```

```
Fact00  0.000
  isa ADDITION-FACT
  addend1 Zero
  addend2 Zero
  sum Zero
```

```
.....
Fact99  0.000
  isa ADDITION-FACT
  addend1 Nine
  addend2 Nine
  sum Eightteen
```

```
-----
Fact101 0.000
  isa ADDITION-FACT
  addend1 Ten
  addend2 One
  sum Eleven
```

```
Fact181 0.000
  isa ADDITION-FACT
  addend1 Eightteen
  addend2 One
  sum Nineteen
```

```
-----
Zero  0.000
  isa NUMBER
  tens Zero
  value 0
  units Zero
```

```
...
Nineteen 0.000
  isa NUMBER
  tens One
  value nil
  units Nine
```

Bsp. „addition model“: chunk types

ADDITION-FACT "a chunk type to represent $\text{addend1} + \text{addend2} = \text{sum}$ "

addend1

addend2

sum

NUMBER

"an abstract representation of numbers

slots:

tens - the tens digit number wme

value - the numerical value (i.e. 1 or 2 or 3 ...)

units - the ones digit number wme

"

tens

value

units

- 43 - Es gibt natürlich mehr als diese zwei Typen!

Bsp. „addition model“: Produktionsregeln 1: Initialisierung

(p Start-Problem

"

IF the goal is to do an addition problem but no column has
been identified

THEN set a subgoal to add the digits in the ones column
note that the tens column is the next one to work on
and setup the note slot of the new goal to pass a value
back to the carry slot of the current goal when popped

"

=goal>

isa ADDITION-PROBLEM

column nil

==>

=newgoal>

isa ADD-COLUMN

column Ones

note =carry

carry Zero

=goal>

column Tens

carry =carry

!push! =newgoal

)

Bsp. „addition model“: Produktionsregeln 2: Einlesen Zahl 1

```
(p Read-Number1
  "
  IF the goal is to add the numbers in a column and the top
  number has
    not been read yet
    and there is a number in the top row of the column
  THEN note in the goal that this is one of the numbers to be
  added
  "
  =goal>
    isa ADD-COLUMN
    number1 nil
    column =col
  =object>
    isa VISUAL-OBJECT
    value =num1
    row Top
    column =col
  ==>
  =goal>
    number1 =num1
)
```

Bsp. „addition model“: Produktionsregeln 3: Einlesen Zahl 2

```
(p Read-Number2
  "
  IF the goal is to add the numbers in a column and the bottom
  number has
    not been read yet
    and there is a number in the bottom row of the column
  THEN note in the goal that this is one of the numbers to be
  added
  "
  =goal>
    isa ADD-COLUMN
    number2 nil
    column =col
  =object>
    isa VISUAL-OBJECT
    value =num2
    column =col
    row Bottom
  ==>
  =goal>
    number2 =num2
)
```

Bsp. „addition model“: Produktionsregeln 5: Addieren

```
(p Add-Numbers
```

```
"
```

```
IF the goal is to add the numbers in the column
```

```
and both numbers have been read
```

```
and another number is their sum
```

```
THEN note that other number as the answer
```

```
"
```

```
=goal>
```

```
isa ADD-COLUMN
```

```
number1 =num1
```

```
number2 =num2
```

```
answer nil
```

```
=fact>
```

```
isa ADDITION-FACT
```

```
addend1 =num1
```

```
addend2 =num2
```

```
sum =sum
```

```
==>
```

```
=goal>
```

```
answer =sum
```

```
)
```

Bsp. „addition model“: Produktionsregeln 6: Ausgeben

(p Extract-Answer

"

IF the goal is to add the numbers in the column and the sum has been

computed and the sum has a ones digit and a tens digit

THEN set the answer to the ones digit

and note the tens digit as the carry

"

=goal>

isa ADD-COLUMN

answer =sum

note nil

carry Zero

=sum>

isa NUMBER

tens =num

units =number1

==>

=goal>

answer =number1

note =num

)

Bsp. „addition model“: Trace

Solving Problem:

12
+ 88

Cycle 0 Time 0.000: **Start-Problem**

Cycle 1 Time 0.050: Read-Number1

Cycle 2 Time 0.100: Read-Number2

Cycle 3 Time 0.150: Add-Numbers

Cycle 4 Time 0.200: Extract-Answer

Cycle 5 Time 0.250: Write-Answer

the answer to column Ones is: 0

Cycle 6 Time 0.300: Next-Column

Cycle 7 Time 0.350: Read-Number1

Cycle 8 Time 0.400: Read-Number2

Cycle 9 Time 0.450: Add-Numbers

Cycle 10 Time 0.500: Process-Carry

Cycle 11 Time 0.550: Extract-Answer

Cycle 12 Time 0.600: Write-Answer

the answer to column Tens is: 0

Cycle 13 Time 0.650: Next-Column

Cycle 14 Time 0.700: Read-Number2

Cycle 15 Time 0.750: Last-Column-Carry

the answer to column Hundreds is: 1

Cycle 16 Time 0.800: Stop-Problem

Top goal popped.

Run latency: 0.850

Solution:

12
+ 88

100

Bsp. „addition model“: Mehr dazu im Internet

✿ Das komplette Additionsmodell liegt im Internet und kann interaktiv bedient werden, mit Trace sowie allen Modellparametern:

◆ <http://act.psy.cmu.edu/act/book/Chapter1/addition.html>

Kriterien zur Differenzierung Kognitiver Architekturen

- ✿ a) Repräsentation permanenten Wissens
- ✿ b) Konzeption eines deklarativen Gedächtnisses
- ✿ c) Konzeption eines Arbeitsgedächtnisses
- ✿ d) Konzeption eines prozeduralen Gedächtnisses
- ✿ e) Mechanismen zur Konfliktlösung
- ✿ f) Mechanismen zum Wissenserwerb (Lernen)
- ✿ g) Interaktion mit einer Umwelt

a) Repräsentation permanenten Wissens

Wissen in zwei Formen: deklarativ und prozedural

Unterscheidungsmerkmale d/p:

- ✿ Verbalisierbarkeit/Vorführbarkeit
- ✿ priming-Effekte (via Aktivationsausbreitung)/ -
- ✿ flexible Nutzung/Nutzungsspezifität
- ✿ Erwerb diskontinuierlich/graduell
- ✿ Behaltenskurven unterschiedlich
- ✿ evtl. unterschiedliche Hirnareale

b) Konzeption eines deklarativen Gedächtnisses

deklaratives Gedächtnis in ACT-R:

✿ organisierte Struktur von *Chunks*

✿ Chunk:

- ◆ schema-artige getypte Struktur, mit *slots* und *fillers*
- ◆ Typ eines Chunks: z.B. “Additionsfakt”
- ◆ slots: kategoriale Attribute
- ◆ filler: spezifische Merkmalsausprägung eines slots

✿ Bsp.

(Drei	isa	Zahl
Wert		3)

c) Konzeption eines Arbeitsgedächtnisses

- ✿ zentrale Eigenschaft eines AG: limitierte Kapazität

Annahmen in ACT-R:

- ✿ Summe der Aktivierung, die von Aktivationsquellen W_j ausgehen, wird als konstant angenommen
 - ◆ dies limitiert die Menge verfügbarer Kontextaktivierung
- ✿ in Match-Phase können nur solche Chunks gebunden werden, deren Gesamtaktivierung A_i über einer festgesetzten Abrufschwelle θ liegt
 - ◆ Beschränkung auf ausreichend hoch aktivierte Chunks

d) Konzeption eines prozeduralen Gedächtnisses

✿ Leitmodell:

“cognitive skills are realized as production rules” (Anderson, 1993, p. 1)

✿ Produktionen werden bei vollständigem, aber auch bei nur *partiell*em Match prinzipiell ausführbar

✿ Ermittlung eines *Match-Scores*

✿ zwei Arten von partiellem Match:

◆ ein Chunk erfüllt das im Bedingungsteil einer Produktion geforderte Muster nur unvollständig (in ACT-R möglich; nicht möglich in SOAR, EPIC, 3CAPS)

◆ Variablen können im Bedingungsteil nicht konsistent gebunden werden (in ACT-R nicht möglich)

Produktionsregeln (PR): vier Forderungen

(Anderson & Lebiere, 1998, p. 26f.)

- ◆ 1. Modularität
 - PR sind prozedurale Atome
 - Lernen komplexer Fertigkeiten kann auf das Lernen simpler Regeln reduziert werden
- ◆ 2. Abstraktion (Generalisierung)
 - durch den Gebrauch von Variablen entsteht eine Regel, die sich auf viele Situationen anwenden läßt
 - Loslösung von klassischen S-R-Annahmen
- ◆ 3. Ziel-Bezogenheit (Spezialisierung)
 - Restriktion des Anwendungsbereichs einer Produktion
 - bei gleichen äußeren Umständen (z.B. 2 Ziffern) entscheidet Ziel über die Operation (Subtraktion, Addition)
- ◆ 4. Konditionale Asymmetrie
 - Kontroll-Fluß geht bei Produktionen immer von Kondition zu Aktion (im Unterschied zu Musterergänzungssystemen, Prolog, etc.)
 - im deklarativen Gedächtnis dagegen Symmetrie ($4*3=3*4=12$, $12/4=3$)

e) Mechanismen zur Konfliktlösung

✿ folgen Andersons Arbeiten zur *Rationalen Analyse*

✿ *Brauchbarkeitskalkül* beruht auf

- ◆ Wahrscheinlichkeit **P**, daß die Ausführung der Produktion zielführend ist
- ◆ Kosten **C** der Zielerreichung bei Selektion der Produktion (ermittelt über den Zeitbedarf)
- ◆ maximale Zeit **G** für die Bearbeitung des Ziels, spiegelt dessen Wert wieder

✿ und ermittelt eine Rangfolge in der Konfliktmenge möglicher Produktionen gemäß

- ◆ Netto-Nutzen **E** einer Produktion $E = P * G - C$
- ◆ dh. bei niedrigem Zielwert **G** werden die Kosten **C** stärker gewichtet
- ◆ dh. bei hohem Zielwert **G** wird die Wahrscheinlichkeit **P** höher gewichtet

Konfliktlösung bei SOAR

(aus Wallach, 1998, S.108)

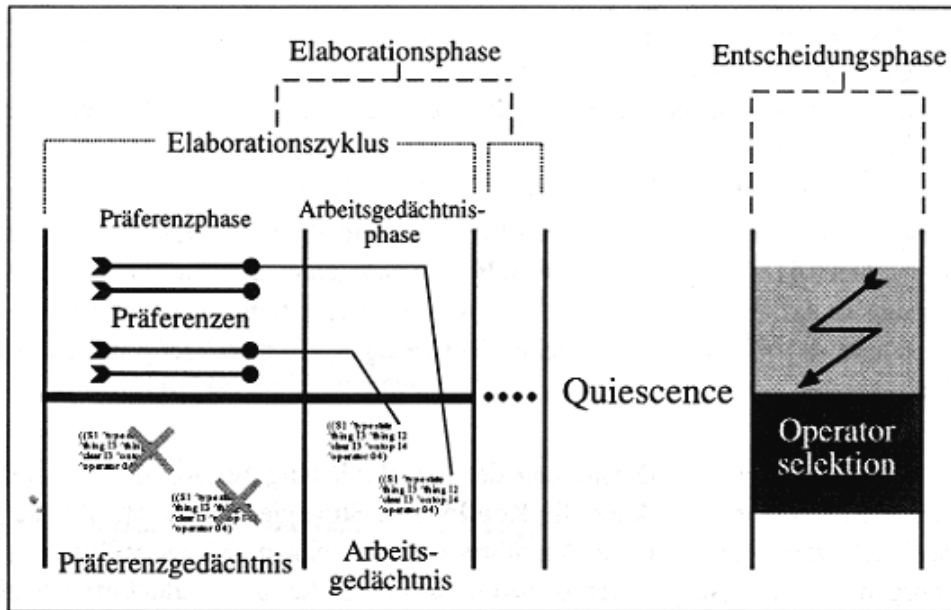


Abbildung 17a: Konfliktlösung bei SOAR

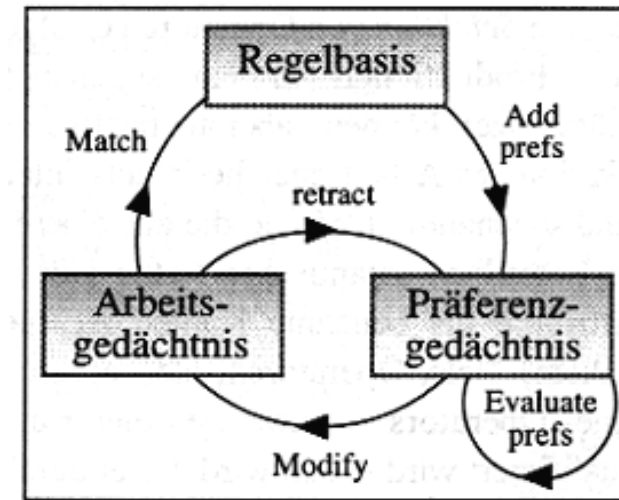


Abb. 17b: Zur Interaktion von Regelbasis, Präferenz- und Arbeitsgedächtnis

f) Mechanismen zum Wissenserwerb (Lernen)

Erwerb deklarativen Wissens:

- ✿ symbolisch: Chunks als Produkte
 - ◆ der Wahrnehmung *externer* Gegebenheiten
 - ◆ von im Aktionsteil von Produktionen enthaltenen *internen* Prozessen
- ✿ subsymbolisch: Parameter B (Basisaktivierung), S (assoziative Verknüpfung zwischen Chunks)

Erwerb prozeduralen Wissens:

- ✿ symbolisch: Produktionen
- ✿ subsymbolisch: Parameter S (Verknüpfungsstärke), q & r (Wahrscheinlichkeit erfolgreicher Anwendung), a & b (Aufwand bei Anwendung)

Kompilation deklarativen in prozedurales Wissen

g) Interaktion mit einer Umwelt: Architektur von ACT-R/PM (Perceptual & motor)

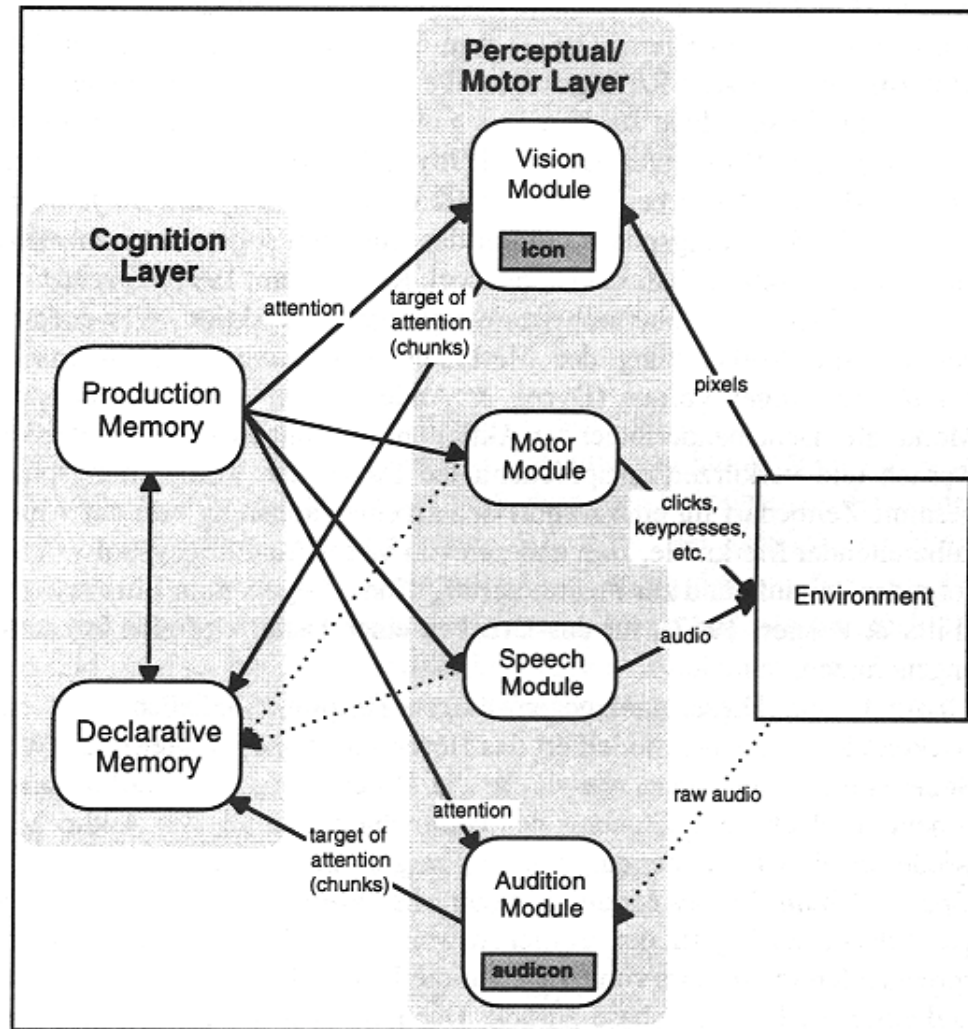


Abbildung 21: Architektur von ACT-R/PM

Lernen 1: Erwerb deklarativen Wissens - symbolische Ebene

- ✿ traditionellerweise zwei philosophische Konzeptionen von Lernen (oder Wissensenkodierung):
 - ◆ a) Lernen durch Enkodieren von Wissen durch die Sinnesorgane
 - ◆ b) Wissen wird im Bewusstsein geschaffen
- ✿ zwei Quellen für die Entstehung von **chunks** in ACT-R:
 - ◆ a) direktes Enkodieren von externen Umweltgegebenheiten (eher konkretes Wissen)
 - ◆ b) Entstehen von *chunks* aus internen Prozessen, die im Aktionsteil enthalten sind (dabei handelt es sich aber nur um *goal chunks*, die Lösungen bereits gelöster Probleme beinhalten - eher abstraktes Wissen)
- ✿ wenn ein Ziel gepoppt wird und der *goal chunk* mit einem bereits existierenden *chunk* übereinstimmt, werden diese beiden *chunks* zu einem verschmolzen

Lernen 2: Erwerb prozeduralen Wissens - symbolische Ebene

- ✿ in ACT* zunächst Annahme, dass Produktionsregeln in vier Schritten gelernt werden:
 - ◆ 1) Diskriminierung
 - ◆ 2) Generalisierung
 - ◆ 3) Komposition
 - ◆ 4) Prozeduralisierung
- ✿ Problem: Wissen basiert auf Prozeduren und kann nicht flexibel verwendet werden. Daher Annahme, dass Kategorisierungsverhalten in ACT-R auf deklarativem Wissen basiert.
- ✿ in ACT-R Annahme, dass Lernen von Produktionsregeln auf Analogien basiert: *production compilation*

Lernen 2: Production compilation (oder knowledge compilation)

✿ *Production compilation* beinhaltet folgende Stufen:

- ◆ 1. Setzung des Ziels, eine *dependency structure* zu bilden, die die deklarative Repräsentation der Produktionsregel darstellt.
- ◆ 2. Bei Erreichung des Ziels wird dieses gepoppt und es entstehen sowohl ein *dependency chunk* als auch eine Produktionsregel.
- ◆ 3. Ist die neu entstandene Produktionsregel identisch mit einer bereits existierenden, so werden beide Produktionsregeln verschmolzen und die alte Regel wird verstärkt.

Lernen 3: Erwerb deklarativen Wissens - subsymbolische Ebene 1

✿ Statistisches Lernen

- ◆ Subsymbolische Parameter in ACT-R sind Wahrscheinlichkeitsschätzungen der Ereignisse und der „Kosten“ einer Handlung. Das Lernen bezieht sich hier also auf eine statistische Schätzung von Wahrscheinlichkeiten und Kosten.
- ◆ Zentrale Fragen: Welche chunks sollen wie schnell abgerufen werden?
- ◆ die deklarativen Parameter determinieren das Ausmaß der Aktivierung der chunks
- ◆ gelernt werden
 - a) die Basisaktivierung der chunks (B_i) sowie
 - b) die Stärke der Assoziationen zwischen den chunks (S_{ji}).
- ◆ Lernen passiert auf der Grundlage von Erfahrung mit vergangenen Ereignissen, anhand derer die Quantitäten der Parameter geschätzt werden

Lernen 3: Erwerb deklarativen Wissens - subsymbolische Ebene 2

Activation-based retrieval

- ✿ Die Aktivität der chunks in ACT-R hängt ab von
 - ◆ a) der Erfahrung mit dem chunk in einer vorherigen Situation
 - ◆ b) der Relevanz des chunks für den derzeitigen Kontext
- ✿ Die Aktivierung von chunk i ist definiert als

$$A_i = B_i + \sum w_j s_{ji}$$

- B_i : base level activation
- w_j : source activations
- s_{ji} : strengths of association

Lernen 4: Erwerb prozedurales Wissens - subsymbolische Ebene

- ✿ Zentrale Fragen: Welche Produktionsregeln sollen wie schnell feuern?
- ✿ folgende Parameter bestimmen das Feuern der Produktionsregeln und müssen gelernt werden:
 - ◆ S_p (bestimmt die zur Verfügung stehende Zeit für das Feuern),
 - ◆ die Wahrscheinlichkeitsparameter q (Wahrscheinlichkeit, dass eine Produktionsregel erfolgreich ist) und p (Wahrscheinlichkeit, dass das Ziel erreicht wird)
 - ◆ und zwei Kostenparameter a (Kosten der Durchführung der Produktion) und b (zukünftig entstehende Kosten nach dem Feuern der Produktion und bis zum Erreichen des Ziels)
- ✿ Production strength equation:
 - ◆ $S_p = \ln (\sum t_j^{-d}) + \beta$

Abschließender Vergleich verschiedener Architekturmerkmale

(aus Wallach, 1998, S.124)

	ACT-R 4.0	SOAR	EPIC	3CAPS
Permanentes deklaratives Gedächtnis	√	—	√	√
Ressourcenbeschränktes Arbeitsgedächtnis	√	—	—	√
Aktivationsausbreitung	√	—	—	√
Perzeptuell-motorischen Schnittstelle	ACT-R/PM	—	√	—
Goalstack	√	√	—	—
Arbeitsweise des Interpreters	<i>vorwärts- verkettend</i>	<i>vorwärts- verkettend</i>	<i>vorwärts- verkettend</i>	<i>vorwärts- verkettend</i>
Partieller Matcher	√	—	—	—
Konfliktlösung	<i>PG-C</i>	<i>Entscheidungszyklen</i>	<i>Parallele Produktionen -anwendung</i>	<i>explizit durch Pro- duktionen</i>
Lernmechanismen	<i>vgl. 2.3.6</i>	<i>Chunking</i>	—	—

Tabelle 1: Vergleich von Architekturmerkmalen

4 Konnektionismus

interdisziplinäres Forschungsgebiet

- ✿ Informatik, Physik, Mathematik, Neurophysiologie, Linguistik, Psychologie

Inhalt

- ✿ Erforschung und Konstruktion informationsverarbeitender Systeme, die sich aus einer Menge einfacher, gleichartiger Einheiten zusammensetzen und deren Verarbeitungsprinzip die Kommunikation zwischen diesen Einheiten ist.
- ✿ Die Verarbeitung erfolgt parallel durch gleichzeitige Aktivität vieler Einheiten

Zielsetzung

- ✿ Modellierung kognitiver Prozesse mittels derartiger Ansätze

Leitbild: Neurone

C. Kemke: Der Neuere Konnektionismus

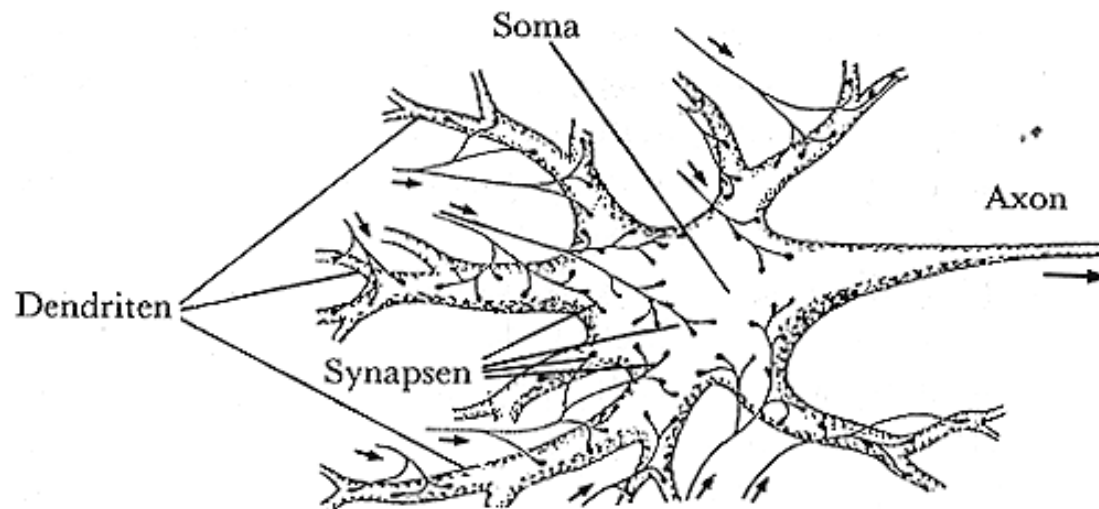


Abb. 1. Darstellung eines Neurons mit Soma (Zellkörper), Dendriten, Synapsen und Axon (nach [21])



Kemke, C. (1988). Der neuere Konnektionismus. Ein Überblick. *Informatik-Spektrum*, 11, 143-162.

„neurally inspired modelling“ (1)

✿ Neurone sind langsam

- ◆ FELDMAN: 100-step constraint

✿ sehr viele Neurone

- ◆ ca. 10^{10} bis 10^{11}

✿ Neurone erhalten Input von vielen anderen Neuronen

- ◆ 1 Neuron kann 1.000 bis 10.000 Synapsen an seinen Dendriten haben
- ◆ Zuverlässigkeit resultiert aus Stabilität des statistischen Verhaltens vieler Einheiten

✿ Lernen

- ◆ bedeutet Veränderung der Verbindungen

✿ Neurone kommunizieren auf besondere Weise

- ◆ durch Exzitation bzw. Inhibition, nicht durch Symbole

„neurally inspired modelling“ (2)

- ✿ klare geometrische und topologische Struktur des Gehirns (in anderen Modellierungen kaum beachtet)
- ✿ Information ist kontinuierlich verfügbar (Kaskaden- vs. Stufen-Modell)
- ✿ „graceful degradation“ bei Schädigung oder Überlastung
- ✿ verteilte anstatt zentrale Kontrolle
- ✿ Relaxation als „Berechnungsmodus“
 - ◆ anstelle Kalkulation einer Lösung iterative Suche, um großer Zahl schwacher Beschränkungen zu genügen
- ✿ was NICHT beachtet wird:
 - ◆ Hemisphärität
 - ◆ andere, zusätzliche Info-Kanäle als elektrische: hormonelle, chemische, etc.

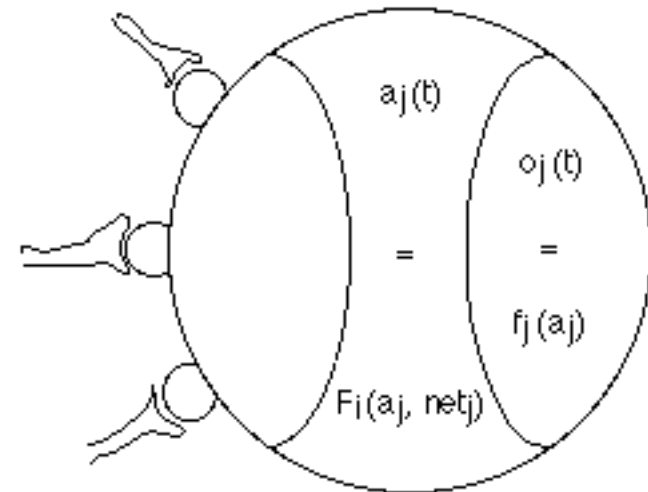
„parallel distributed processing“

Grundannahme

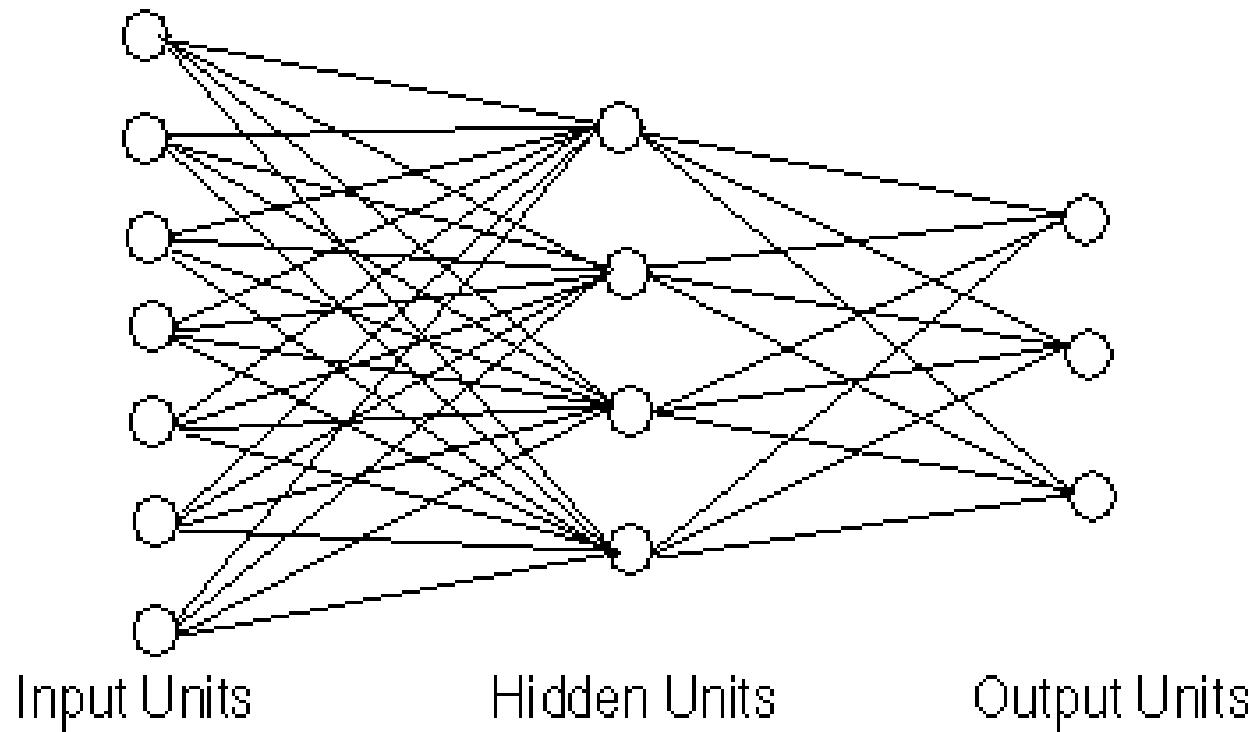
- ✿ Info-Verarbeitung erfolgt über das parallele Zusammenspiel einer großen Menge einfacher Verarbeitungselemente („units“), die exzitatorische bzw. inhibitorische Signale zu anderen Einheiten senden

Anwendungen

- ✿ motorische Kontrolle
 - ◆ z.B. Schreibmaschine
- ✿ Wahrnehmung
 - ◆ z.B. phonemische Restauration
- ✿ Gedächtnisabruf
 - ◆ z.B. spontane Generalisierung



Einfaches Netzwerk



Repräsentation

✿ Speicherprinzip:

- ◆ es wird nicht ein Muster gespeichert, sondern die Verbindungsstärke zwischen den Units ändert sich
- ◆ dadurch ist spätere Rekreation des Musters möglich

✿ lokale versus verteilte Repräsentation:

- ◆ ein Muster -> eine Einheit („Großmutterneuron“)
- ◆ ein Muster -> viele Einheiten (PDP-Prinzip)

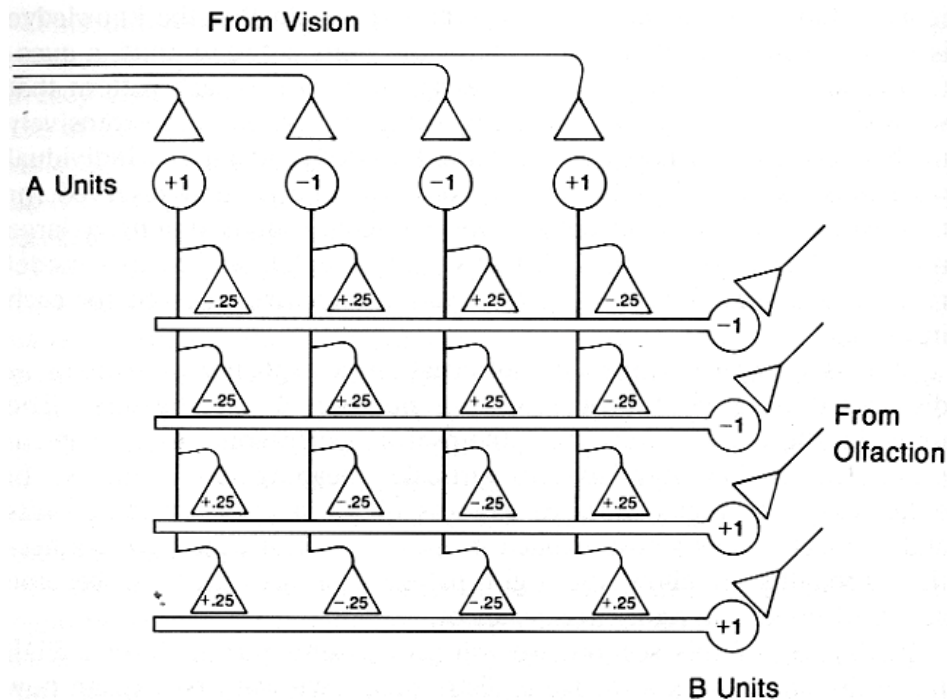
✿ Lernregel z.B. nach Hebb (1949):

- ◆ Wenn Einheit A und B simultan erregt sind, erhöhe die Stärke ihrer Verbindung
- ◆ allgemein: Anpassung der Verbindungsstärke zweier Einheiten A und B proportional zum Produkt ihrer simultanen Aktivierung



Hebb, D. (1949). *The organization of behavior*. New York: Wiley.

Einfacher „Pattern Associator“



Koppelung zwischen vier Input-Units (A, „vision“) und vier Ausgabe-Units (B, „olfaction“)

bestimmte Seh-Muster (1, -1, -1, 1)
lösen Geruchsempfindung (-1, -1, 1, 1)
aus

unvollständige Eingabe (1, -1, 0, 1)
ergibt abgeschwächte
Ausgabe (-0.75, -0.75, 0.75, 0.75)

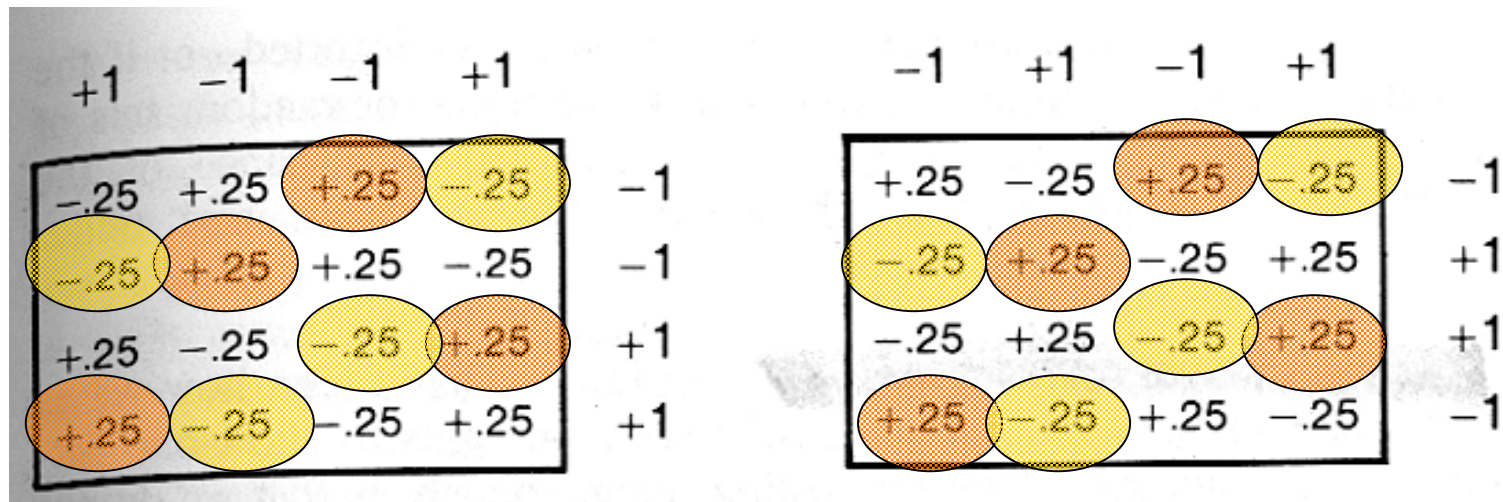


Rumelhart, D. E., & McClelland, J. L. (1986). *Parallel distributed processing. Explorations in the microstructure of cognition, Volume 1: Foundations*. Cambridge, MA: MIT Press.

McClelland, J. L., & Rumelhart, D. E. (Eds.). (1986). *Parallel distributed processing. Explorations in the microstructure of cognition. Volume 2: Psychological and biological models*. Cambridge, MA: MIT Press.

(aus: PDP-Bibel, 1986, Vol 1, p. 34)

Zwei verschiedene Muster



Überlagerung mehrerer Muster in *einer* Matrix möglich (distribuierte Repräsentation)

Eindeutige Wiedererkennbarkeit solange gesichert, wie die verschiedenen Assoziationen unkorreliert sind

(aus: PDP-Bibel, 1986, Vol 1, p. 38)

Konnektionismus: Historisches

- ✿ THORNDIKE: Law of effect
- ✿ HULL vs. TOLMAN: formales Modell vs. kognitive Landkarte
- ✿ HEBB (1949): Modifikation der Synapsen
- ✿ LASHLEY (1950): „Engramme“ als verteilte Repräsentation
- ✿ SELFRIDGE & NEISSER (1960): Pandämonium
- ✿ ROSENBLATT (1962): Perzeptron
- ✿ MINSKY & PAPERT (1969): Kritik
- ✿ McCLELLAND & RUMELHART (1981)
- ✿ „PDP-Bibel“ von McCLELLAND & RUMELHART (1986)

Kontextabhängige Wahrnehmung (top-down)

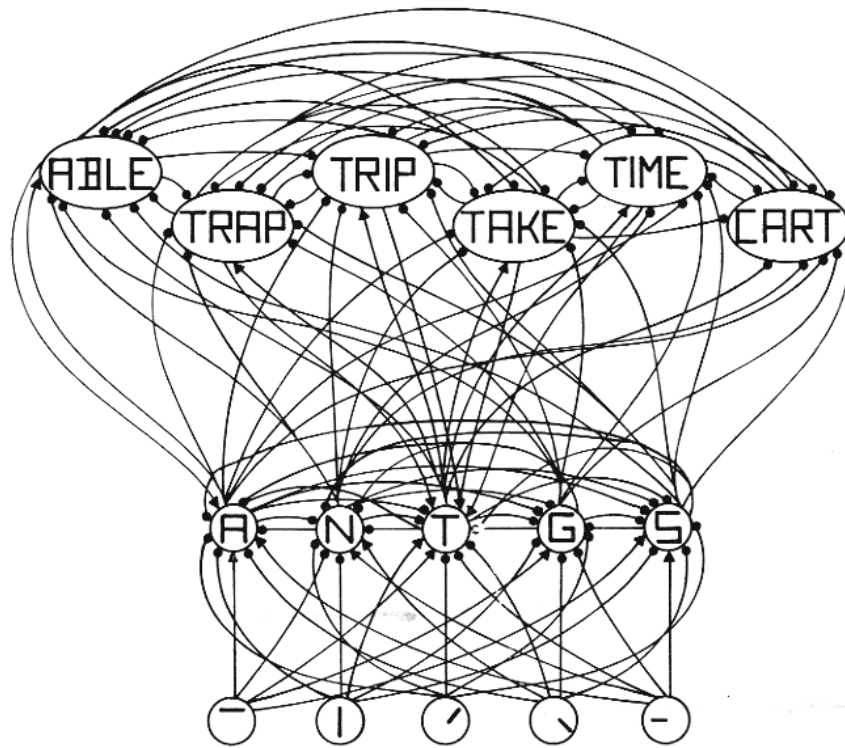


Mehrdeutige Zeichenfolgen

- ✿ 1: Beispiel von Selfridge (1955)
- ✿ 2: Drei mehrdeutige Zeichen (R/P, E/F, D/B), die sich aber gegenseitig beschränken („constrain“)
- ✿ 3, 4, 5: die gleichen Zeichen wie in 2, aber diesmal in anderem Kontext und daher mit anderer Identität
- ✿ Die Technik der Tintenflecke stammt von Lindsay & Norman (1972).

(aus: PDP-Bibel, 1986, Vol 1, p. 8)

Perzeptuelle Vervollständigung vertrauter Muster



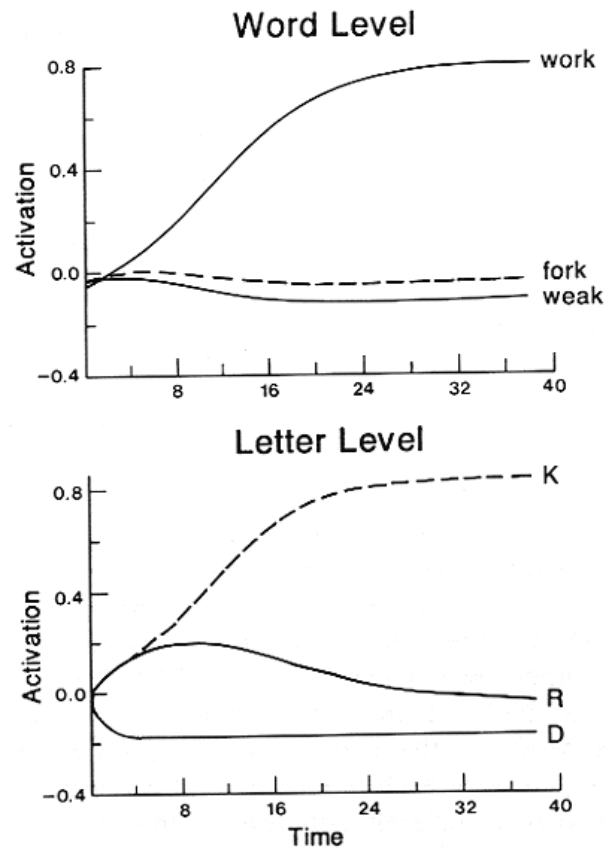
Gezeigt werden Buchstabendetektoren (Mitte) für die erste Buchstabenposition im Verhältnis zu möglichen Worten (oben) bzw. einzelnen Merkmalen (unten).

innerhalb der Ebene von Buchstaben und Wörtern: wechselseitige Inhibition

aber auch Inhibition zwischen oben und mitte, um wechselseitige Konsistenz herzustellen

(aus: PDP-Bibel, 1986, Vol 1, p. 22)

Erkennen unter Störbedingungen



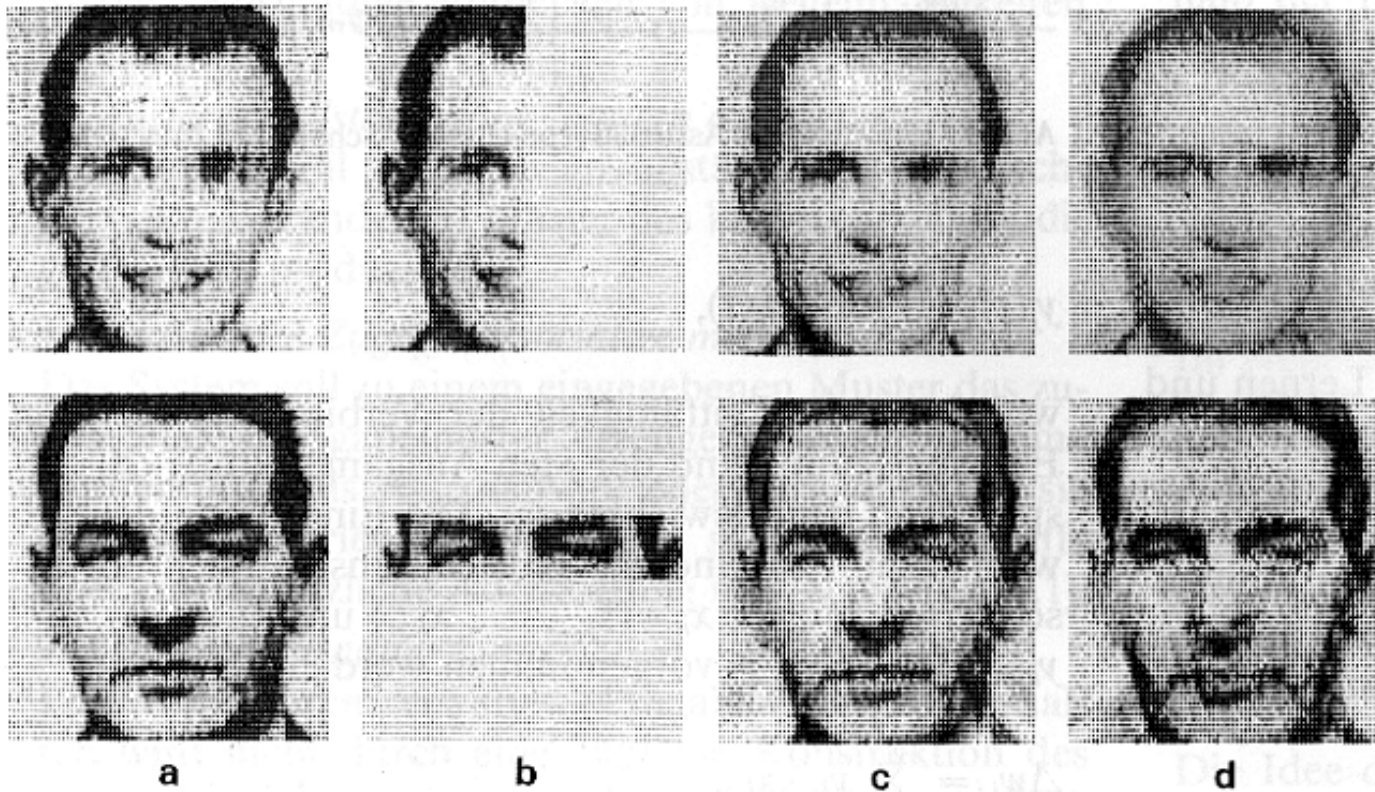
Der Buchstabe an vierter Position ist zu erkennen

Aktivierungen erfolgen auf Buchstaben- und Wort-Ebene und stützen sich wechselseitig

bei non-words setzt sich kein Wort durch, aber ein einzelner Buchstabe kann durchaus zum Favoriten werden

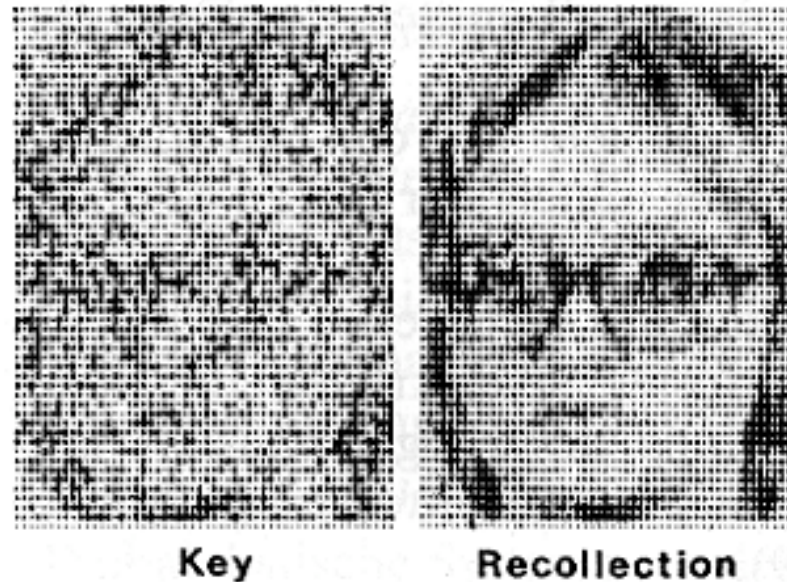
(aus: PDP-Bibel, 1986, Vol 1, p. 23)

Kohonen-Netz: Bildverarbeitung



Assoziativer Zugriff auf digitalisierte Bilder. a) Originalbilder, b) Zugriffsschlüssel, c) Ausgabemuster bei 160 gespeicherten Bildern, d) Ausgabemuster bei 500 gespeicherten Bildern [aus Kemke, 1988, S. 158]

Kohonen-Netz: Assoziativer Zugriff bei verrauschtem Material

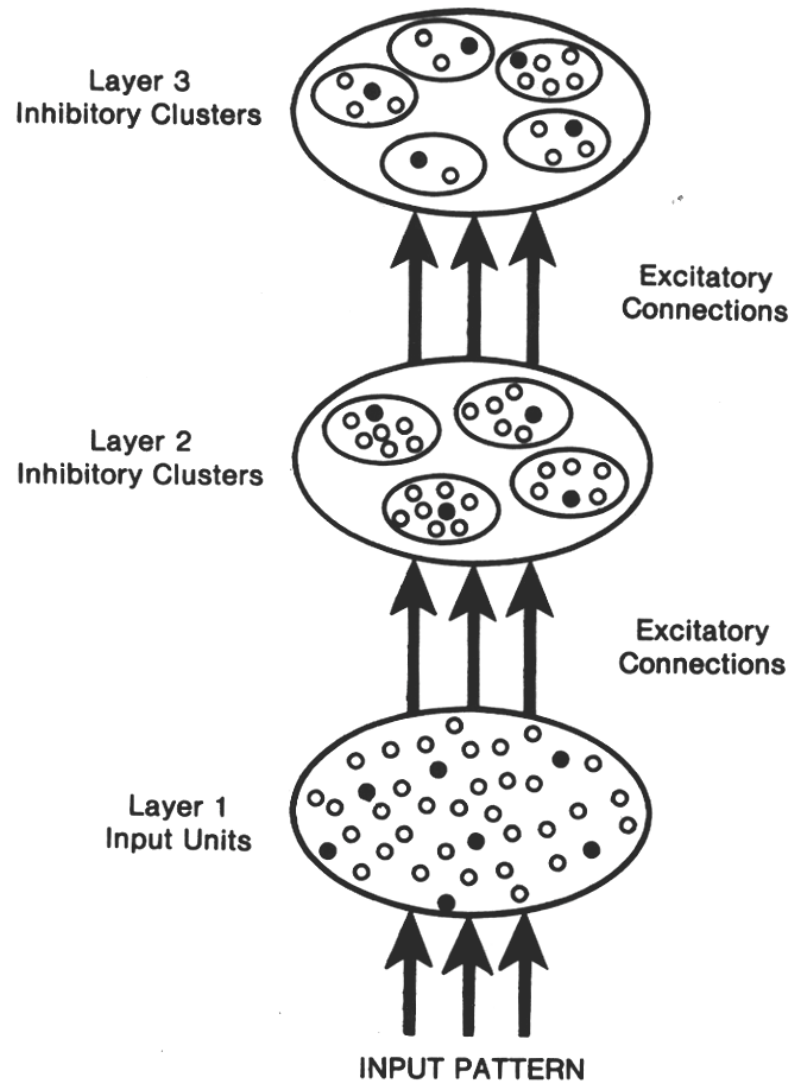


Assoziativer Zugriff auf ein mit weißem Rauschen überlagertes Bild bei 100 gespeicherten Bildern [aus Kemke, 1988, S. 158]



Kemke, C. (1988). Der neuere Konnektionismus. Ein Überblick. *Informatik-Spektrum*, 11, 143-162.

Wettbewerbslernen



mehrschichtiges Modell mit folgenden Eigenschaften:

- ✿ *zwischen* den Schichten bestehen exzitatorische Verbindungen
- ✿ *innerhalb* der Schichten stehen die Cluster im Wettbewerb durch wechselseitige Inhibition

Eigenschaften konnektionistischer Modelle

✿ graceful degradation

- ◆ auch bei *fehlerhaften* Abruf-Cues wird immer noch ein „best match“ gefunden
- ◆ kein spezieller Mechanismus zur Fehlerkorrektur erforderlich

✿ default assignment

- ◆ Heuristik: je ähnlicher sich zwei Dinge sind hinsichtlich *bekannter* Merkmale, umso wahrscheinlicher werden sie sich auch ähneln bei unbekanntem Merkmalen

✿ spontaneous generalization

- ◆ Aktivierung eines Gruppenmerkmals instantiiert typische Werte für einzelne Dimensionen
- ◆ Bsp. Jets & Sharks: Gangzugehörigkeit liefert typische Werte für Alter, Schule, Familienstand, nicht aber für Beruf (wg. Gleichverteilung über Jets & Sharks hinweg)

Konnektionismus: Kritik

- ◆ Broadbent, D. E. (1985). A question of levels: Comments on McClelland and Rumelhart. *Journal of Experimental Psychology: General*, 114, 189-192.
- ◆ Levelt, W. J. M. (1991). Die konnektionistische Mode. *Sprache & Kognition*, 10, 61-72.
- ◆ McCloskey, M. (1991). Networks and theories: The place of connectionism in cognitive science. *Psychological Science*, 2, 387-395.
- ◆ Strube, G. (1990). Neokonnektionismus: Eine neue Basis für die Theorie und Modellierung menschlicher Kognition? *Psychologische Rundschau*, 41, 129-143.

5 Multinomiale Modellierung (MM)

✿ Mittelweg zwischen

- ◆ einem rein experimentellen Zugang
- ◆ einem rein theoretischen Zugang

✿ Ziel:

- ◆ Messung unbeobachtbarer, latenter, kognitiver Prozesse aufgrund von beobachtbaren Daten
- ◆ mit minimalen, aber substantiellen Annahmen über kognitive Zustände

✿ Vorgehen:

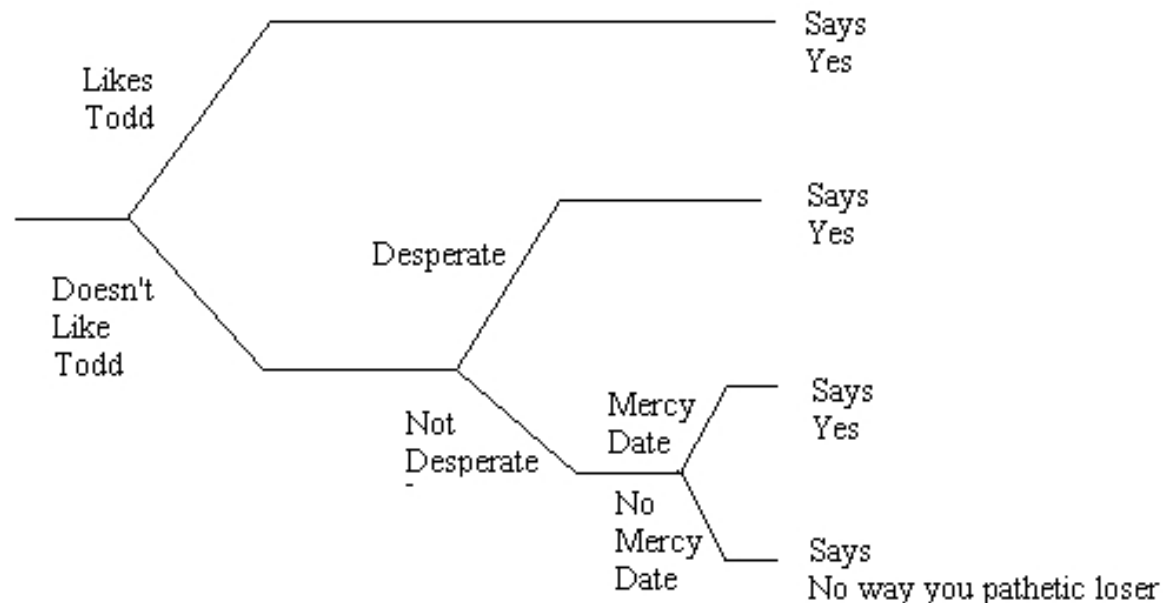
- ◆ Situationen schaffen, in denen verschiedene kognitive Prozesse zu diskreten, meßbaren Zuständen führen
- ◆ Modellpassung (Fit) feststellen

✿ Websites:

- ◆ <http://irvin.psyc.memphis.edu/gpt/>
- ◆ <http://www.uark.edu/misc/lampinen/tutorials/multinomial.htm>

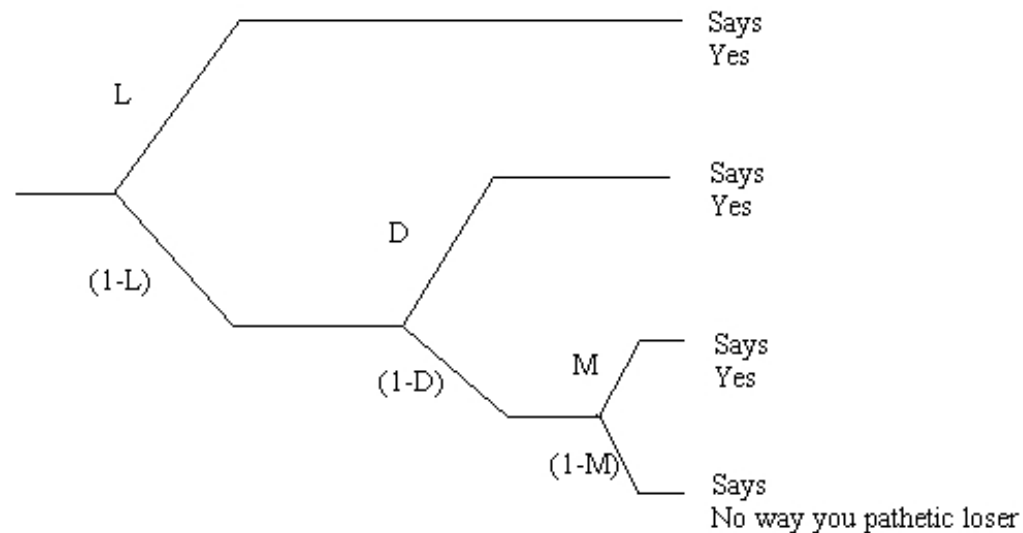
Einfaches Beispiel (from <http://www.uark.edu/misc/lampinen/tutorials/multinomial.htm>)

- Say Todd asks Betty to go to the homecoming dance with him. What's the probability that Betty will say yes? To come up with an answer to that question, you might want to consider some of the reasons Betty might have for saying yes:
 - ✿ Betty really likes Todd
 - ✿ Betty is desperate because no one else has asked her yet
 - ✿ Betty feels sorry for Todd because he's such a loser
- Each of these different reasons for saying "yes" could be represented in a tree diagram:



Einfaches Beispiel ff.

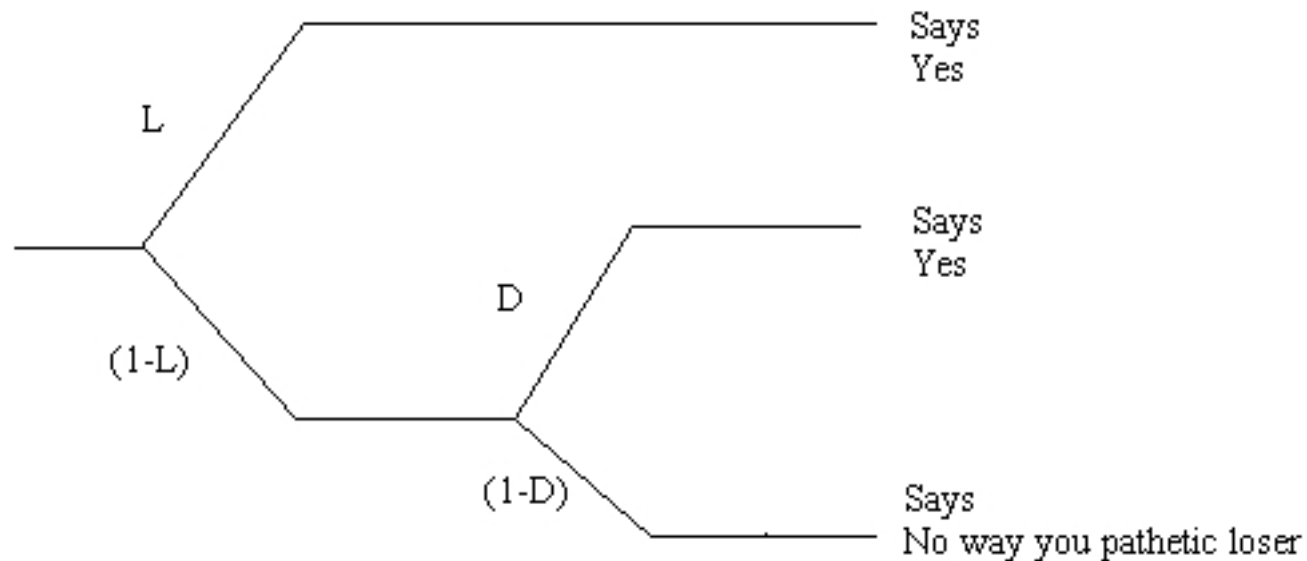
- The probability of her saying "yes" then depends on the independent probability of each of those things happening. So there's some probability that Betty really likes Todd. Let's call that probability "L". Similarly desperate "D" and mercy "M".
 - ✿ L --> The probability that Betty likes Todd
 - ✿ D --> The probability that Betty is desperate
 - ✿ M --> The probability that Betty has mercy on Todd
- For each of those cases you can also define the probability of that thing not happening. The probability that Betty doesn't like Todd is one minus the probability of liking Todd (1-L) etc.
- That allows us to redraw the original diagram, but this time include variables representing the different probabilities.



- $P(\text{Betty says "yes"}) = L + (1-L)D + (1-L)(1-D)M$

Einfaches Beispiel ff.: Parameterschätzung durch Experimente

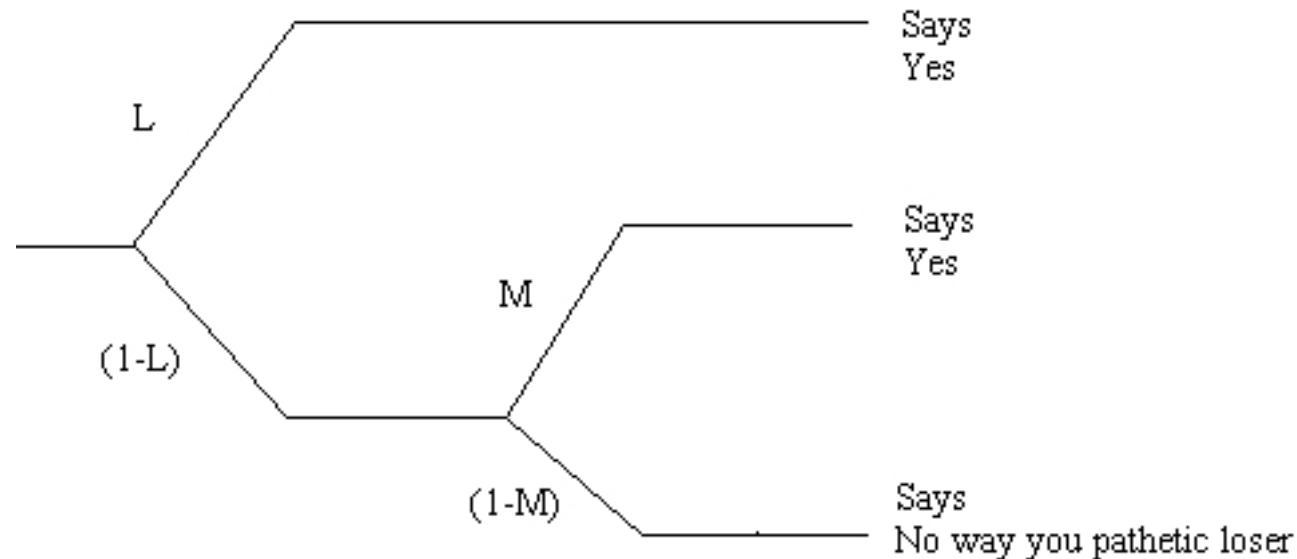
- This is done by setting up situations where according to your theory the tree diagram would not be quite the same any more. For instance, imagine Todd asked Betty out, but before that happened, you let Betty know that there were other girls Todd could go out with who would say "yes". That would eliminate the need for Betty to show mercy on him, and the only reason to say "yes" now is either because she likes him or because she's desperate.



- The equation representing the probability of saying "yes" now becomes:
 - ✿ $P(\text{Betty says "yes"}) = L + (1-L)D$

Einfaches Beispiel ff.: Parameterschätzung durch Experimente 2

- You could also set up a situation in which you let Betty think there are other guys who will ask her out even if she says "no" to Todd. This would rule out desperation as a motive. Now the diagram would look like this:



- The equation representing the probability of saying "yes" now becomes:
 - ✿ $P(\text{Betty says "yes"}) = L + (1-L)M$

Einfaches Beispiel ff.: Parameterschätzung durch Experimente 3

- Having set up these three different situations you can now run the experiment (on multiple Betty's and Todd's) using the three different situations. Let's say you ran the experiment on 100 Betty-Todd combos in each of the three situations. You might find that
 - ✿ In situation 1, Betty says "yes" 65% of the time
 - ✿ In situation 2, Betty says "yes" 40% of the time
 - ✿ In situation 3, Betty says "yes" 55% of the time
- So you end up with three equations representing these results:
 - ✿ $L + (1-L)D + (1-L)(1-D)M = .65$
 - ✿ $L + (1-L)D = .40$
 - ✿ $L + (1-L)M = .55$
- To gain estimates of the three parameters, a model fitting program is used. The program basically does the following things:
 - ✿ Systematically tries different values for L, D, and M
 - ✿ Sticks those values into the above equations
 - ✿ Keeps repeating that, until it comes up with values of L, D and M that are as close as possible to the right values.
- Once that's done, the program provides you with the best estimate of the parameters you were trying to estimate (i.e. L, D, M). Obviously, this is kind of a silly example, but multinomial modeling in principle can be used to model all sorts of interesting psychological phenomenon.

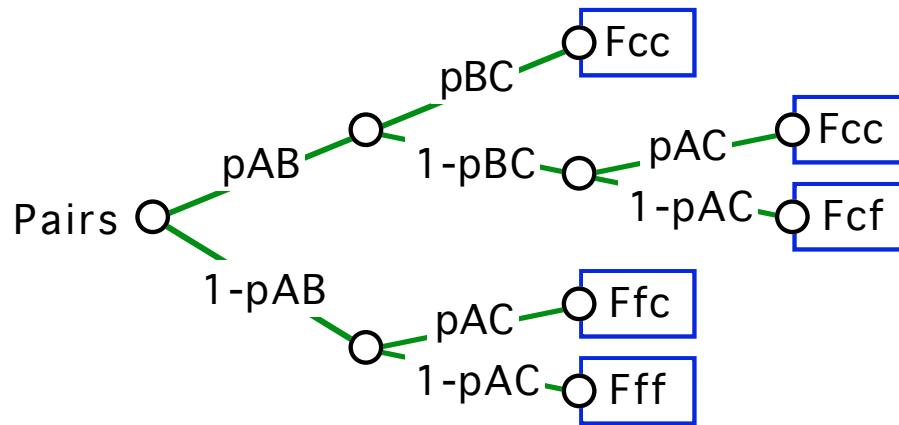
MM: Kernannahmen

- ✿ einer diskreten, endlichen Menge kognitiver Zustände können ganz bestimmte beobachtbare Verhaltensweisen zugeordnet werden
 - ◆ Zuordnung von Verhalten zu kognitivem Zustand nicht immer eindeutig, wohl aber klare Zuordnung von Zustand zu Verhalten
 - ◆ die meisten Verhaltensweisen können aus unterschiedlichen Zuständen kommen, aber ein angenommener kognitiver Zustand führt zu eindeutigem Verhalten
 - ◆ Bsp.:
 - richtige Antwort in einem Test (=Verhalten) kann durch Wissen (=Zustand 1) oder Raten (=Zustand 2) zustande kommen
 - ◆ aus den empirisch leicht erfaßbaren Verhaltensklassen müssen die Parameter eines angenommenen Modells geschätzt werden
 - ◆ Zur Modellprüfung braucht man mehr Verhaltensklassen als latente Parameter, da sonst Modell nicht identifizierbar!



Riefer, D.M. & Batchelder, W.H. (1988). Multinomial modeling and the measurement of cognitive processes. *Psychological Review*, 95, 318-339.

Bsp. Paar-Assoziations-Lernen (PAL)



Beispiel aus dem Demo-Datensatz der Freeware AppleTree (für Macintosh) von Rainer Rothkegel, zu finden unter <http://www.rainer-rothkegel.de/AppleTree/>

experimentelle Situation:

- ☀ nach seriellem Listenlernen sollen in Testphase auf Reiz A die Listennachfolger B und C produziert werden

vier Ereignisklassen:

- ☀ cc, cf, fc, ff

Zustände:

- ☀ pAB, pAC, pBC

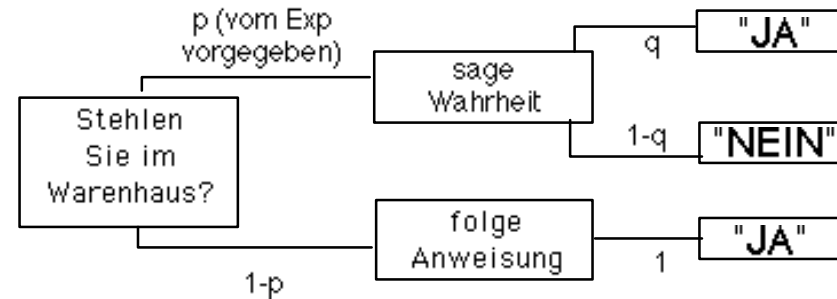
Gleichungen:

- ☀ Pairs Fcc $pAB \cdot pBC$
- ☀ Pairs Fcc $pAB \cdot (1-pBC) \cdot pAC$
- ☀ Pairs Fcf $pAB \cdot (1-pBC) \cdot (1-pAC)$
- ☀ Pairs Ffc $(1-pAB) \cdot pAC$
- ☀ Pairs Fff $(1-pAB) \cdot (1-pAC)$
- ☀ dh. $F_{cc} = pAB \cdot pBC + pAB \cdot (1-pBC) \cdot pAC$

Bsp. Randomized-Response Technik (RRT)

- ◆ Suche nach einfach anzuwendender wahrheitserhöhender Methode in Umfragen zu peinlichen, sozial unerwünschten oder gar strafbaren Themen wie

- sexuelle Präferenzen
- kriminelle Handlungen
- Steuerhinterziehung



- ◆ Prinzip:
 - Zufallsgenerator entscheidet, ob Befragter ehrlich antworten soll oder ein „Ja“ unabhängig vom Frageinhalt gibt (d.h. Parameter p liegt fest)
 - Befragter weiß nicht, wann der Würfel welche Reaktion vorgeschrieben hat
- ◆ auf aggregierter Ebene kann bei Kenntnis der Grundwahrscheinlichkeit dennoch der Anteil kritischer Antworten q geschätzt werden



Clark, S.J. & Desharnais, R.A. (1998). Honest answers to embarrassing questions: Detecting cheating in the randomized response model. *Psychological Methods*, 3, 160-168.

Bsp. Steuerhinterziehung, Musch et al. (2001)

- ◆ Internet-Umfrage zum Thema Steuerhinterziehung, Probanden werden 1 von 3 Bedingungen zufällig zugewiesen
 - N=124 Direkte Frage
 - N=244 RRT-Bedingung mit $p_1(\text{konstant ja})=0.17$ (geboren in Jan od Jul)
 - N=200 RRT-Bedingung mit $p_1(\text{konstant ja})=0.83$ (alle anderen Monate)
- ◆ Auswertung derartiger Daten via MM
 - bei direkter Frage 28% Steuerhinterzieher
 - bei RRT 44% Steuerhinterzieher



Musch, J., Bröder, A., & Klauer, K. C. (2001). Improving survey research on the world-wide web using the randomized response technique. In U.-D. Reips & M. Bosnjak (Eds.), *Dimensions of internet science* (pp. 179-192). Lengerich: Pabst Science Publishers.

Stärken und Schwächen der MM

◆ Stärken:

- Separierung verschiedener kognitiver Prozesse und Bestimmung von deren Anteilen
- klare Modellierung
- Modellprüfung durch experimentelle Variationen, die angenommene Modellparameter beeinflussen (=Validierung der Parameter)

◆ Schwächen:

- geforderte Unabhängigkeit einzelner Vp-Antworten über mehrere aufeinander folgende Durchgänge
- bei großen Stichproben führen bereits kleine Modellabweichungen zum Scheitern der Modellgeltungstests
- Bäume suggerieren einen sequenziellen Prozeß, der nicht notwendig existiert (es geht nur um die *Kombination*, nicht die Sequenz von Prozessen)
- kaum Parameterschätzung auf Individuen-Ebene



Batchelder, W.H. & Riefer, D.M. (1999). Theoretical and empirical review of multinomial processing tree modeling. *Psychonomic Bulletin & Review*, 6, 57-86.

6 PSI-Theorie (Dörner, 1999; Dörner et al., 2002)

6.1 Überblick über die Gesamtkonzeption

6.2 Modellierung von Emotionen

Dörners Ziele:

- ✿ die allgemeine Struktur eines verhaltenserzeugenden Systems beschreiben
- ✿ Verhalten und zugrundeliegende Prozesse in polytelischen, dynamischen und intransparenten Situationen erklären (inkl. Fehlern und „Irrationalitäten“)



Dörner, D. (1999). *Bauplan für eine Seele*. Reinbek bei Hamburg: Rowohlt.

Dörner, D., Bartl, C., Detje, F., Gerdes, J., Halcour, D., Schaub, H., et al. (2002). *Die Mechanik des Seelenwagens. Eine neuronale Theorie der Handlungsregulation*. Bern: Hans Huber.

6.1 Überblick über die Gesamtkonzeption

Konstruktion von \square :

✿ Eine kleine überlebensfähige Dampfmaschine

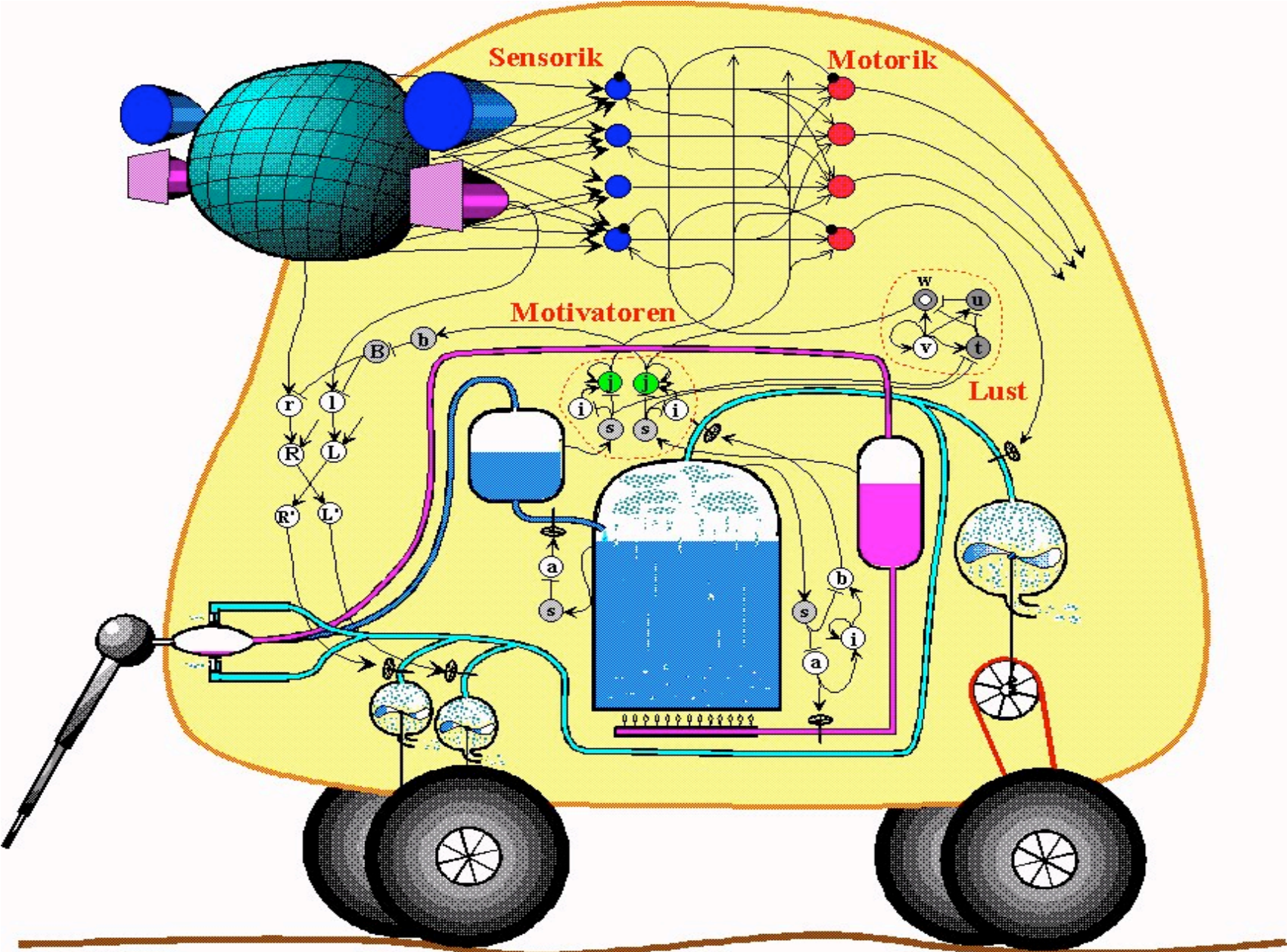
Konzeption der Umwelt von PSI

✿ setzt 2 „primäre“ materielle Bedürfnisse von PSI voraus: Wasser und Benzin

Frage: Wie muß PSI ausgestattet sein, um in dieser Umwelt selbsterhaltungsfähig zu werden?

✿ Zunächst folgende Grundausstattung:

- ◆ Sensoren, um Benzin/Wasser zu orten
- ◆ Fähigkeit zur zielgerichteten Bewegung
- ◆ Lust-Unlust-System



Optimierung der Überlebensfähigkeit von PSI

1. Bedürfnisse/ Motive

✿ drittes materielles Bed.: Schmerzvermeidung

✿ „informationelle Bedürfnisse“:

◆ Bestimmtheit

◆ Kompetenz

◆ Affiliation

✿ Motivselektor wählt das Bed. aus, das die Handlungssteuerung übernehmen soll (nach ExW-Prinzip)

Optimierung der Überlebensfähigkeit von PSI (2)

2. Gedächtnis

- ✿ besteht aus Schemata
- ✿ ein einheitliches Gedächtnisformat: Protokollfaden
- ✿ Entstehung von Schemata über einige Setzungen, die den Verfall der Gedächtnisspur betreffen
- ✿ Vorteile der Konzeption:
 - ◆ Ökonomie
 - ◆ immer neue Explorationen nötig
 - ◆ Gedächtnisinhalte werden abstrakt
- ✿ Im Output werden typische Gedächtnisleistungen der verschiedenen Instanzen von Mehrspeichermodellen beobachtbar!!

Optimierung der Überlebensfähigkeit von PSI (3)

3. Handlungsregulation

- ✿ handlungsleitende Absicht=ausgewähltes Motiv und damit verknüpfte Informationen aus dem Gedächtnis
- ✿ innere Prozesse:
 - Gedächtnissuche
 - Planen (Wegteilstücke □ heuristische Prozeduren)
 - V-I-Verhalten

4. Emotion

- ✿ Modulationen des Verhaltens über Aktiviertheit, Selektionsschwelle, Auflösungsgrad (später genauer)

5. Sprache

Das Leben von PSI

3 bzw. 4 Phasen:

- ✿ 1. Lernphase (mühsam; viel V-I-Verhalten)
- ✿ 2. Lernphase (effektiver; mehr Planungstätigkeit)
- ✿ 3. Routinephase
- ✿ 4. „Abenteuersuche“

Zukunftsmusik

- ✿ z.B. PSIs bestimmte „Persönlichkeiten“ verleihen über Fixierung bestimmter Werte (Bspe. im Netz)

6.2 Modellierung von Emotionen

Verhalten von PSI wird u.a. durch (stark veränderliche) emotionale Lage gesteuert

zentrale Rolle spielen Bestimmtheits- und Kompetenzmotivator

- ✿ in Abhängigkeit von ihnen verändern sich Verhaltensprogramme und Modulatoren
- ✿ Änderung der Motivationspegel mit „Zacke“
(□ Orientierungsreaktion)

Modellierung von Emotionen (2)

Modulatoren:

- Aktiviertheit (\square Bedürfnisdruck); davon abhängig:
- Selektionsschwelle
- Auflösungsgrad

Abhängigkeit der Wirkungen im Regelkreis auch von der Umweltbeschaffenheit

Funktionalität von Emotionen

Exp. Von Hille:

- PSIs mit Modulatorsystem sind in dynamischer Umwelt am leistungsfähigsten

theoretische Argumentation:

- „Koevolution“ von Intellekt und Emotion: beide ergänzen sich!
- Bei PSI:
 - Intellekt steuert die Art des Verhaltens
 - Emotion entspricht der Form des Verhaltens
 - □ paßt Verhalten den Begleitumständen an
- keine „Modultheorie“:
 - Intellekt und Emotion sind untrennbar verbunden: Jeder kognitive Prozeß ist moduliert!

Unzulänglichkeit der Emotionskonzeption

Mangelndes Bewußtsein von PSI (u.a. kein Wissen um die eigenen Gefühle)

Implementation/Ausweitung dieser Ebene würde ...

- ... die Modellierung weiterer, bislang fehlender Gefühle ermöglichen (z.B. Stolz, Scham)
- ... PSI noch leistungsfähiger machen, denn es könnte emotionale „Teufelskreise“ bzw. deren negative Konsequenzen vermeiden lernen

Abschließende Bewertung

Begrüßenswert:

- ✿ Schritt in Richtung „unified theory“
- ✿ Mut zum „großen Wurf“

Kritikpunkte:

- ✿ Konzeptualisierung der Umwelt zu mechanisch
- ✿ mehr gut gesicherte empirische Befunde als „Eckdaten“ heranziehen
- ✿ Bewußtsein, Metakognition u.ä. bleibt bislang unbefriedigend erklärt

Einordnung bezüglich der „constraints on mind“ von Newell bzw. der Suffizienzkriterien von Wallach:

- ✿ PSI-Theorie schneidet gut ab!

Literatur 1/4

✿ Allgemeines zum Thema „Kognitive Modellierung“

- ◆ Anderson, J. R. (2002). Spanning seven orders of magnitude: A challenge for cognitive modeling. *Cognitive Science*, 26, 85-112.
- ◆ Opwis, K. (1992). *Kognitive Modellierung. Zur Verwendung wissensbasierter Systeme in der psychologischen Theoriebildung*. Bern: Huber.
- ◆ Schmid, U. & Kindsmüller, M.C. (1996). *Kognitive Modellierung. Eine Einführung in die logischen und algorithmischen Grundlagen*. Heidelberg: Spektrum Akademischer Verlag.
- ◆ Tack, W.H. & Wallach, D.P. (1999). Möglichkeiten kognitiver Architekturen. In W. Hacker & M. Rinck (Eds.), *Zukunft gestalten*. (pp. 558-570). Lengerich: Pabst Science Publishers.
- ◆ Wallach, D. (1998). *Komplexe Regelungsprozesse. Eine kognitionswissenschaftliche Analyse*. Wiesbaden: Deutscher Universitäts-Verlag.

✿ Tools

- ◆ Macho, S. (2002). Cognitive modeling with spreadsheets. *Behavior Research Methods, Instruments, & Computers*, 34, 19-36.

Literatur 2/4

✿ zum Thema „Produktionssysteme“

- ◆ Anderson, J.R. & Lebiere, C. (Eds.). (1998). *The atomic components of thought*. Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- ◆ Newell, A. (1990). *Unified theories of cognition*. Cambridge, MA: Harvard University Press.

✿ Multinomiale Modellierung

- ◆ Batchelder, W.H. (1999). Multinomial processing tree models of cognition. In W. Hacker & M. Rinck (Eds.), *Zukunft gestalten* (pp. 65-73). Lengerich: Pabst Science Publishers.
- ◆ Batchelder, W.H. & Riefer, D.M. (1999). Theoretical and empirical review of multinomial processing tree modeling. *Psychonomic Bulletin & Review*, 6, 57-86.

✿ Knowledge Spaces

- ◆ Albert, D. & Lukas, J. (Eds.). (1999). *Knowledge spaces. Theories, empirical research, and applications*. Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum.
- ◆ Doignon, J.-P. & Falmagne, J.-C. (1985). Spaces for the assessment of knowledge. *International Journal of Man-Machine Studies*, 23, 175-196.

Literatur 3/4

✿ Konnektionismus

- ◆ Feldman, J.A. & Ballard, D.H. (1982). Connectionist models and their properties. *Cognitive Science*, 6, 205-254.
- ◆ Kemke, C. (1988). Der neuere Konnektionismus. Ein Überblick. *Informatik-Spektrum*, 11, 143-162.
- ◆ McClelland, J.L. & Rumelhart, D.E. (Eds.). (1986). *Parallel distributed processing. Explorations in the microstructure of cognition*. Volume 2: Psychological and biological models. Cambridge, MA: MIT Press.
- ◆ McClelland, J.L. & Rumelhart, D.E. (1989). *Explorations in parallel distributed processing. A handbook of models, programs, and exercises*. Cambridge, MA: MIT Press.
- ◆ Rumelhart, D.E. & McClelland, J.L. (1986). *Parallel distributed processing. Explorations in the microstructure of cognition*, Volume 1: Foundations. Cambridge, MA: MIT Press.

Literatur 4/4

✿ Konnektionismus-Kritik

- ◆ Estes, W.K. (1991). Cognitive architectures from the standpoint of an experimental psychologist. *Annual Review of Psychology*, 42, 1-28.
- ◆ Levelt, W.J.M. (1991). Die konnektionistische Mode. *Sprache & Kognition*, 10, 61-72.
- ◆ McCloskey, M. (1991). Networks and theories: The place of connectionism in cognitive science. *Psychological Science*, 2, 387-395.

✿ PSI-Architektur von Dörner

- ◆ Dörner, D. (1999). *Bauplan für eine Seele*. Reinbek bei Hamburg: Rowohlt.
- ◆ Dörner, D., Schaub, H. & Strohschneider, S. (1999). Komplexes Problemlösen - Königsweg der Theoretischen Psychologie? *Psychologische Rundschau*, 50, 198-205.
- ◆ Schaub, H. (1993). *Modellierung der Handlungsorganisation*. Bern: Huber.

Internet-Ressourcen

✿ Kognitive Modellierung via ACT (Pittsburgh):

◆ <http://act.psy.cmu.edu:80/ACT/>

✿ Kognitive Modellierung via SOAR:

◆ <http://bigfoot.eecs.umich.edu/~soar>

✿ Multinomiale Modellierung via GPT:

◆ <http://irvin.psyc.memphis.edu/gpt/>

✿ Konnektionismus (via Stanford):

◆ <http://plato.stanford.edu/entries/connectionism/>

◆ [http://uhavax.hartford.edu/disk\\$userdata/faculty/compsci/www/neural-networks-tutorial.html](http://uhavax.hartford.edu/disk$userdata/faculty/compsci/www/neural-networks-tutorial.html)

✿ Knowledge Spaces (via Irvine):

◆ <http://www.spaces.uci.edu/>

Skriptbewertung

Angaben zu meiner Person:

- weiblich Alter: ____ Jahre Hauptfach: Psychologie anderes Fach: Gasthörer
- männlich Fachsemester: ____ Teilnahme an der **Veranstaltung** : regelmäßig unregelmäßig

Angaben zur Nutzung des Skripts:

- 1. Ich habe das Skript komplett bearbeitet.**
stimmt 1 - 2 - 3 - 4 - 5 - 6 - 7 stimmt nicht
- 2. Ich habe das Skript während der Veranstaltung durch Bemerkungen ergänzt.**
stimmt 1 - 2 - 3 - 4 - 5 - 6 - 7 stimmt nicht
- 3. Ich bearbeite das Skript auch außerhalb der Veranstaltung.**
stimmt 1 - 2 - 3 - 4 - 5 - 6 - 7 stimmt nicht

Bewertung:

- 4. Das Skript erleichtert das Verfolgen der Veranstaltung.**
stimmt 1 - 2 - 3 - 4 - 5 - 6 - 7 stimmt nicht
- 5. Das Skript ist übersichtlich gestaltet.**
stimmt 1 - 2 - 3 - 4 - 5 - 6 - 7 stimmt nicht
- 6. Das Skript enthält die entsprechenden Inhalte der Veranstaltung.**
stimmt 1 - 2 - 3 - 4 - 5 - 6 - 7 stimmt nicht
- 7. Das Skript ist auch ohne Besuch der Veranstaltung nützlich.**
stimmt 1 - 2 - 3 - 4 - 5 - 6 - 7 stimmt nicht
- 8. Die im Skript enthaltenen Texte sind verständlich.**
stimmt 1 - 2 - 3 - 4 - 5 - 6 - 7 stimmt nicht
- 9. Die im Skript enthaltenen Abbildungen sind verständlich.**
stimmt 1 - 2 - 3 - 4 - 5 - 6 - 7 stimmt nicht
- 10. Ich werde das Skript zur Prüfungsvorbereitung nutzen.**
stimmt 1 - 2 - 3 - 4 - 5 - 6 - 7 stimmt nicht
- 11. Das Skript sollte (in jeweils aktueller Version) im Internet liegen.**
stimmt 1 - 2 - 3 - 4 - 5 - 6 - 7 stimmt nicht

Verbesserungsvorschläge:

Fehler, die ich meine entdeckt zu haben (bitte Seitenangabe):

Bitte in mein Postfach werfen!