



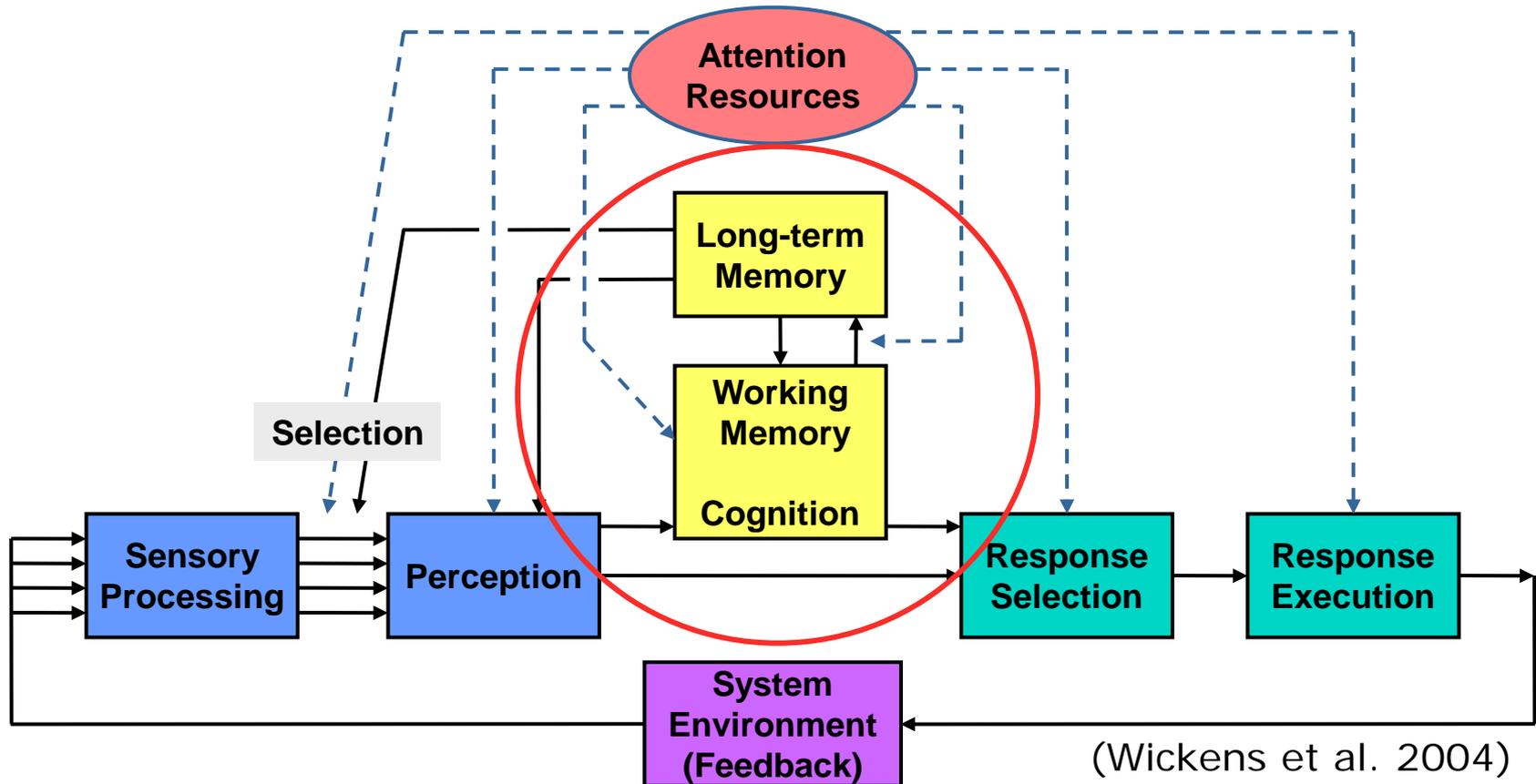
TECHNISCHE  
UNIVERSITÄT  
DRESDEN

---

# Gedächtnis und Handlungsregulierung

VL Mensch-Maschine-Interaktion  
Professur für Prozessleittechnik

# Informationsverarbeitungsstufen

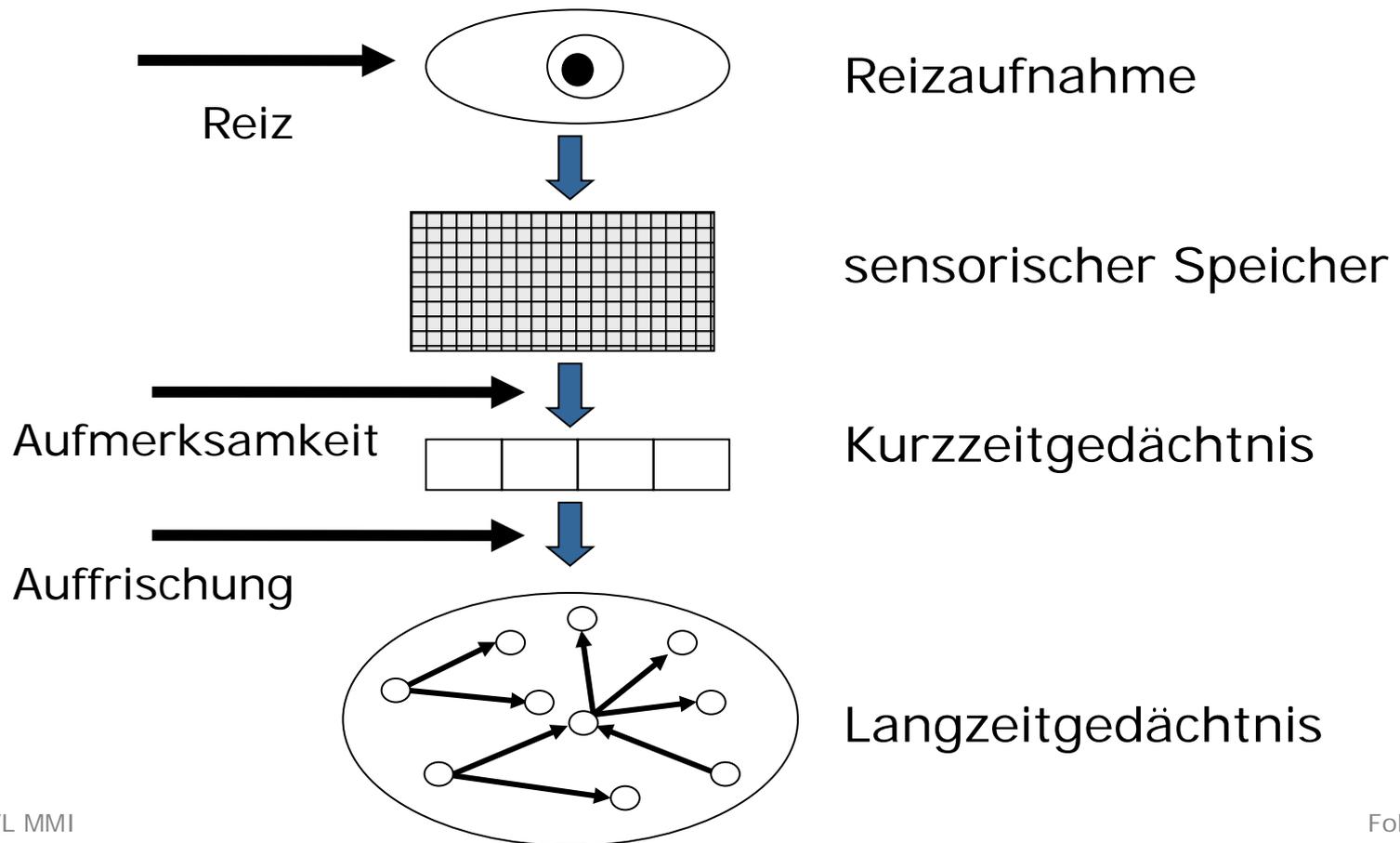


# Übersicht

- Gedächtnismodelle: Vom Reiz zur Lernerfahrung
  - Funktionale Strukturen
  - Experimentelle Paradigmen
  - Kapazität, Organisation, Verfallsdauern
- Kognition & Handeln in Mensch-Maschine-Systemen
  - Regulationsebenenmodell
  - Mentale Modelle
  - Feedback

# Mehrstufiges Gedächtnismodell

(Atkinson & Shiffrin 1968)



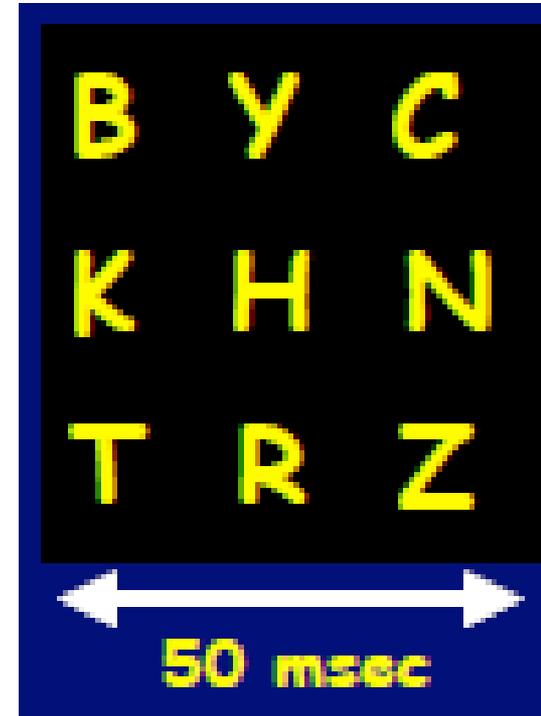
# Sensorische Speicher

- Visuelles System: iconic memory (IM)
  - Form, Größe, Farbe, Ort
  - (! Nicht Bedeutung !)
- Auditorisches System: echoic memory (EM)
  - Töne
- Empirische Belege:
  - Sensorische große Speicher mit schneller Verfallszeit
  - IM: 250 – 500 Millisekunden (Sperling 1960)
  - EM: 4-5 Sekunden

# Visual Sensory Memory

(Sperling 1960)

- Zeige 9 zufällige Buchstaben für 50 Millisekunden
  - Zeit reicht nicht für's Lesen, führt aber zu einem visuellen Eindruck
- Bedingung 1: ALL
  - Erinnerere **sofort** möglichst viele Bst.
- Bedingung 2: ROW
  - Erinnerere **sofort** möglichst viele Bst. der durch einen Ton (hoch, mittel, tief) angezeigten Reihe
- Bedingung 3: DELAY+ROW
  - Erinnerere möglichst viele Buchstaben der nach einer Verzögerung durch einen Ton angezeigten Reihe



# Visual Sensory Memory

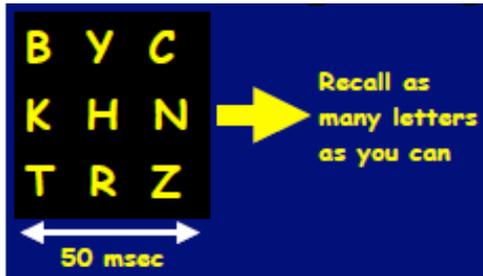
Sperling (1960)

- Papier & Stift
- Bedingung 1:  
möglichst viele  
Buchstaben  
merken
- ...

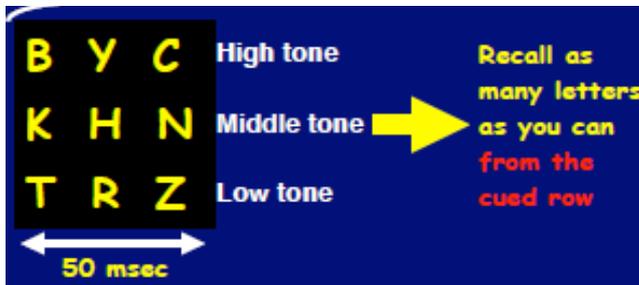


# Ergebnisse

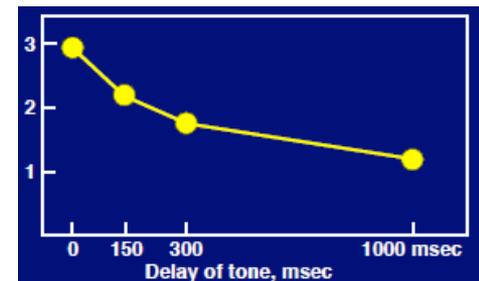
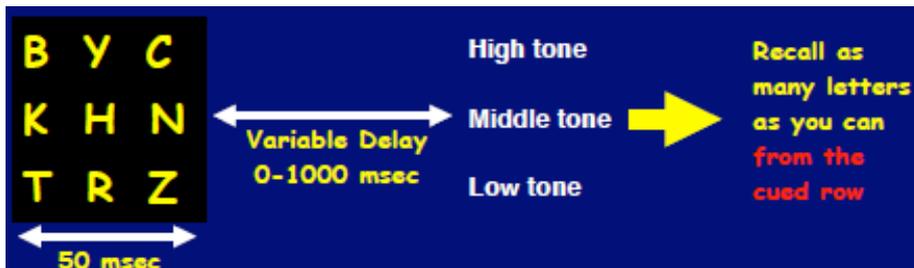
Sperling (1960)



4-5 Buchstaben werden erinnert

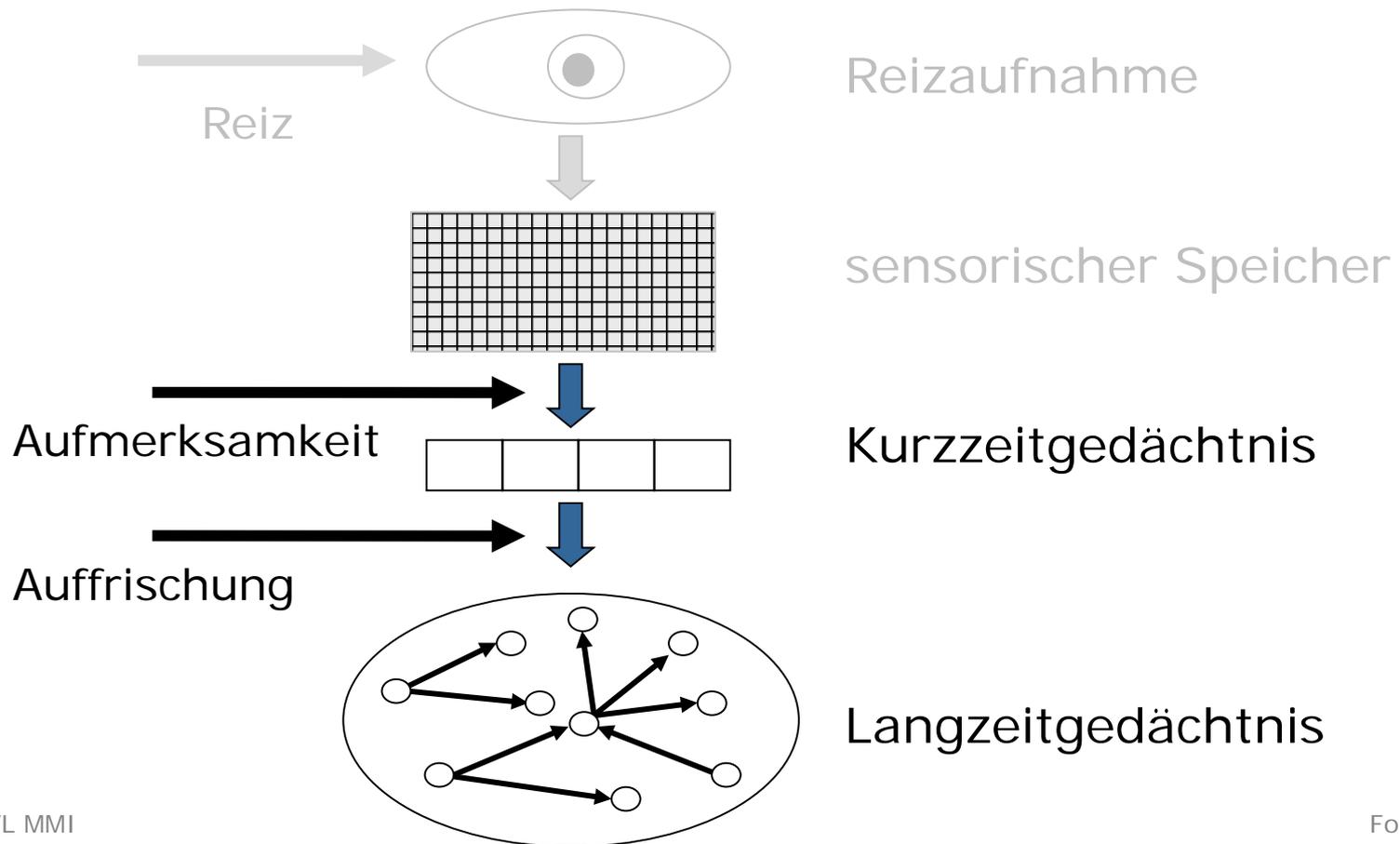


Alle Buchstaben der Reihe werden erinnert



# Mehrstufiges Gedächtnismodell

(Atkinson & Shiffrin 1968)



## Kurzzeitgedächtnis/Arbeitsgedächtnis

- Information aus dem Sensorischen Speicher gelangt (wenn Aufmerksamkeit darauf gerichtet wird) in das Kurzzeitgedächtnis
- Information kann durch wiederholung aufgefrischt werden („rehearsal“)
- Empirische Befunde
  - Begrenzte Kapazität von  $7 \pm 2$  'chunks' (Miller 1956), etwa 4 (Cowan 2001)
  - Falls nicht aufgefrischt werden kann, bleiben Gedächtniselemente 15-30 Sekunden erhalten (Peterson & Peterson 1959)

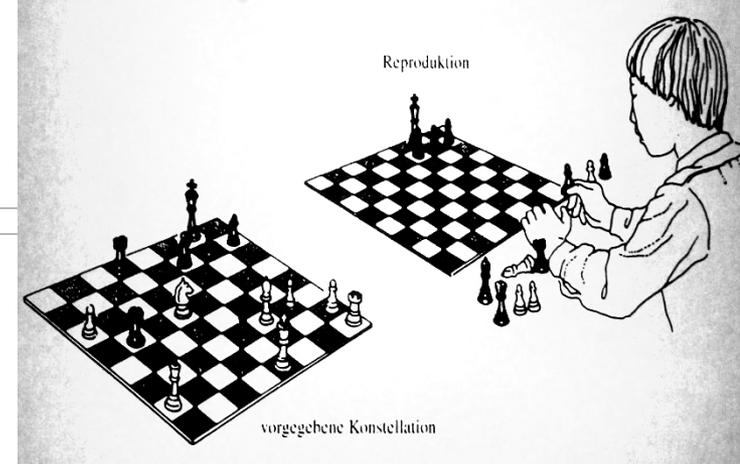
# Gedächtniskapazität

(Miller, 1956)

- Exp1: Erinnern binärer Ziffernfolgen:
  - 011001101000100111010011010
  - Leistung:  $7 \pm 2$  digits.
- Exp2: Training Kodierung als 3-er Gruppen
  - 000 = 0, 001 = 1, 010 = 2, 011 = 3
  - 100 = 4, 101 = 5, 110 = 6, 111 = 7
  - 110100011111 = 110 100 011 111 = 6437
  - Leistung:  $7 \pm 2$  "chunks"

# Expertise und Arbeitsgedächtnis

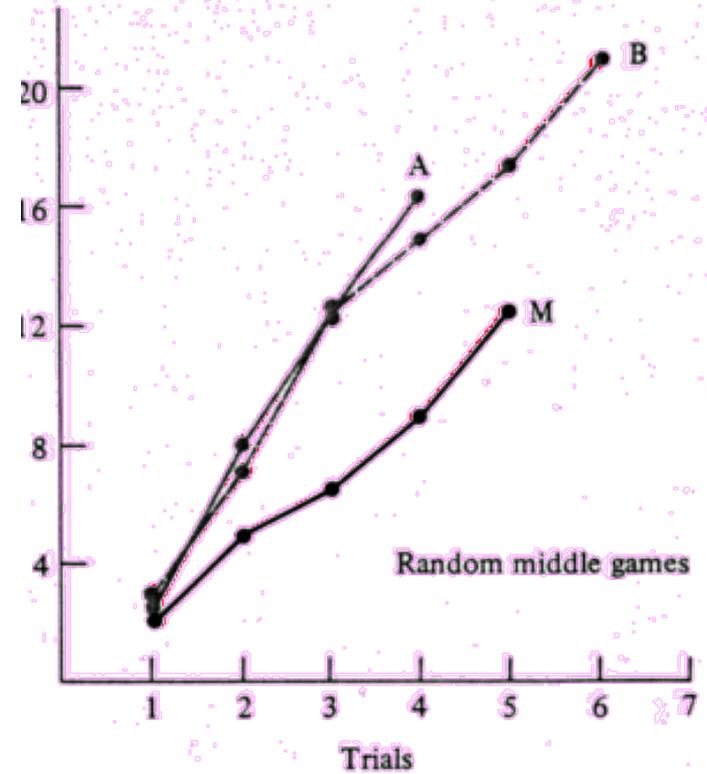
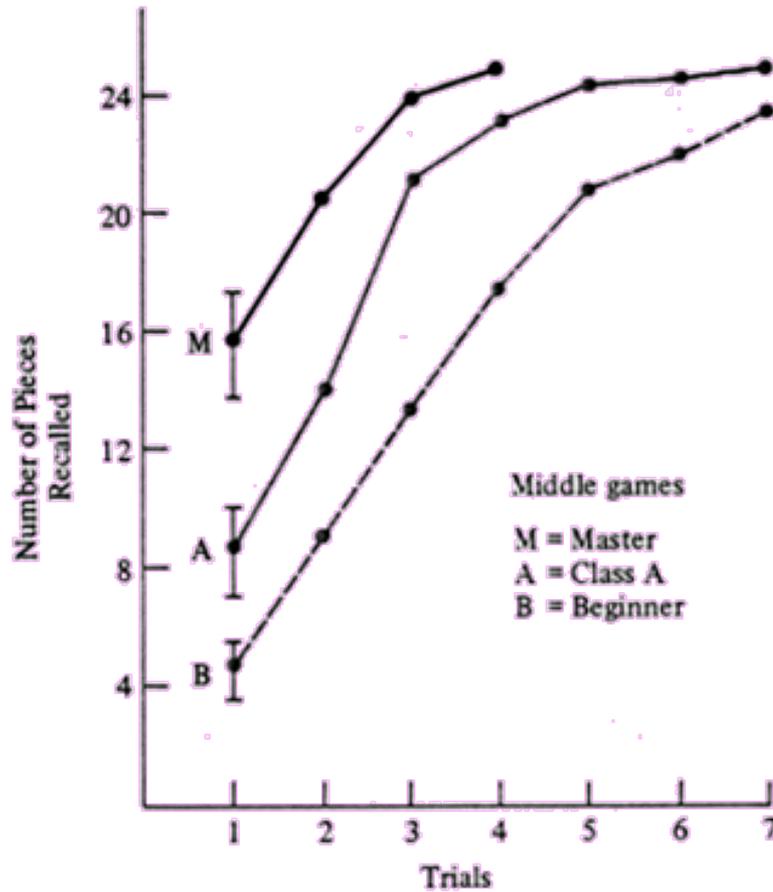
- Schach (Chase and Simon, 1973)
  - Schachspiel erfordert umfangreiches Gedächtnis
  - Gute Schachspieler erinnern Stellungen und zugehörige beste Züge
  - Frage: Erhöht Expertise Kapazität Arbeitsgedächtnis?
    - Meister - ~ 50,000 Std. Erfahrung
    - Class A – Sehr gute Spieler
    - Anfänger
- Experiment:
  - VPn haben 5 Sekunden Zeit eine Stellung aus einem Mittelspiel zu beobachten
  - Anschließend rekonstruiert VPn Stellung aus Gedächtnis
  - Gemessen wird Anzahl richtiger Figuren



## Chase & Simon (1973)

- Exp1: Stellungen, die häufig vorkommen
  - Ø Richtige Figuren: Meister: 16; Class A: 9 ; Anfänger: 5.
  - Mit Übung erreichen alle die selbe Leistung, die Master sind schneller als Class A, diese wiederum schneller als die Anfänger.
- Exp2: Zufällige Konfigurationen
  - Alle drei Gruppen anfänglich gleiche Leistung
  - Meister werden mit Übung weniger besser als Class A und Anfänger.

# Gedächtnis für Schachpositionen



## Größeres Arbeitsgedächtnis bei Experten?

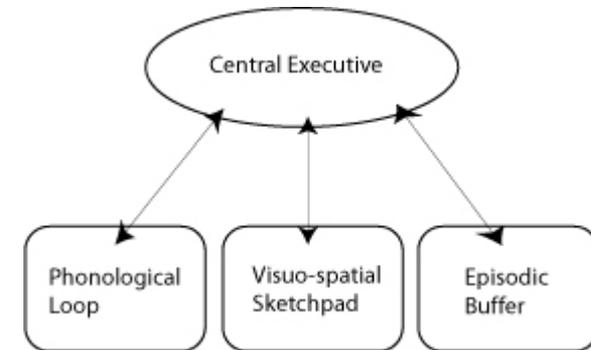
- Analyse der Antworten zeigt auf, dass größere sinnhafte Gruppen ("Chunks") gebildet werden, z.B:
  - „long pause - rook, rook, queen, king - long pause – pawns“
- Gruppengröße(Meister) > Gruppengröße(Class A) > Gruppengröße(Novizen)

## Chunking revisited

- Analogie Chunks / Zeiger und Strukturen in Rechnern
  - Chunks sind/haben Zeiger von STM auf komplexere Elemente des LTM
- Wiederholung und Übung steigert die Chunking-Leistung.
  - Hypothese: Es stehen mehr Strukturen (im LTM) zur Verfügung, mit denen Verknüpfungen erzeugt werden können.
- Chunking kann durch Verweis auf bekannte Elemente des LTM unterstützt werden.

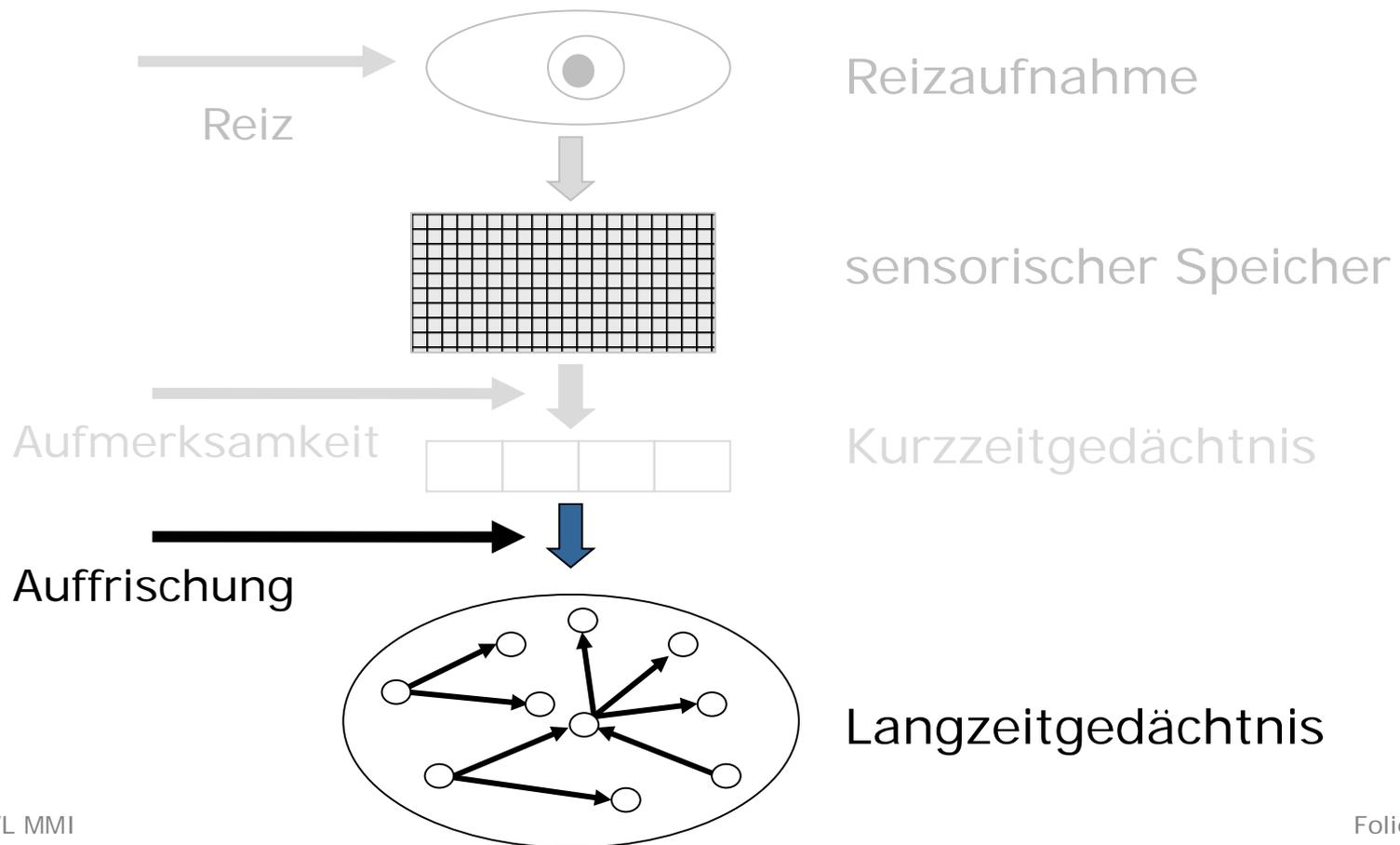
## Neuere Arbeitsgedächtnismodelle (Baddeley & Hitch 1974, Baddeley 2000)

- Zentrale Exekutive
  - Kontrolle und Regulierung kognitiver Prozesse.
    - Informationsfusion zu koärenten Epochen
    - Koordinierung der Teilsysteme
    - Auswahl von Strategien
  - Ggf. mehrer Teilsysteme (Myake et al. 2000)
- Phonological loop
  - phonological store + articulatory rehearsal component
  - Quellen: äußere Reize, „stilles Artikulieren“ von Schrift
  - phonological store: Inneres Ohr, das Tonsequenzen speichert
  - articulatory process: Innere Stimme zur Verhinderung von Datenverlust.
  - Empirische Belege: Phonologische Ähnlichkeit, Wortlängeneffekt, ...
- Visuospatial sketchpad
  - Räumliche Information, Logie (1995): visual cache + inner scribe
  - Große individuelle Unterschiede in der Nutzung
- Episodic buffer (Baddeley, 2000)
  - Vernetzung von Informationen unterschiedlicher Modalität (visual, spatial, verbal) und zeitlicher Sequenz.
  - Vernetzung zu LTM und Bedeutung



# Mehrstufiges Gedächtnismodell

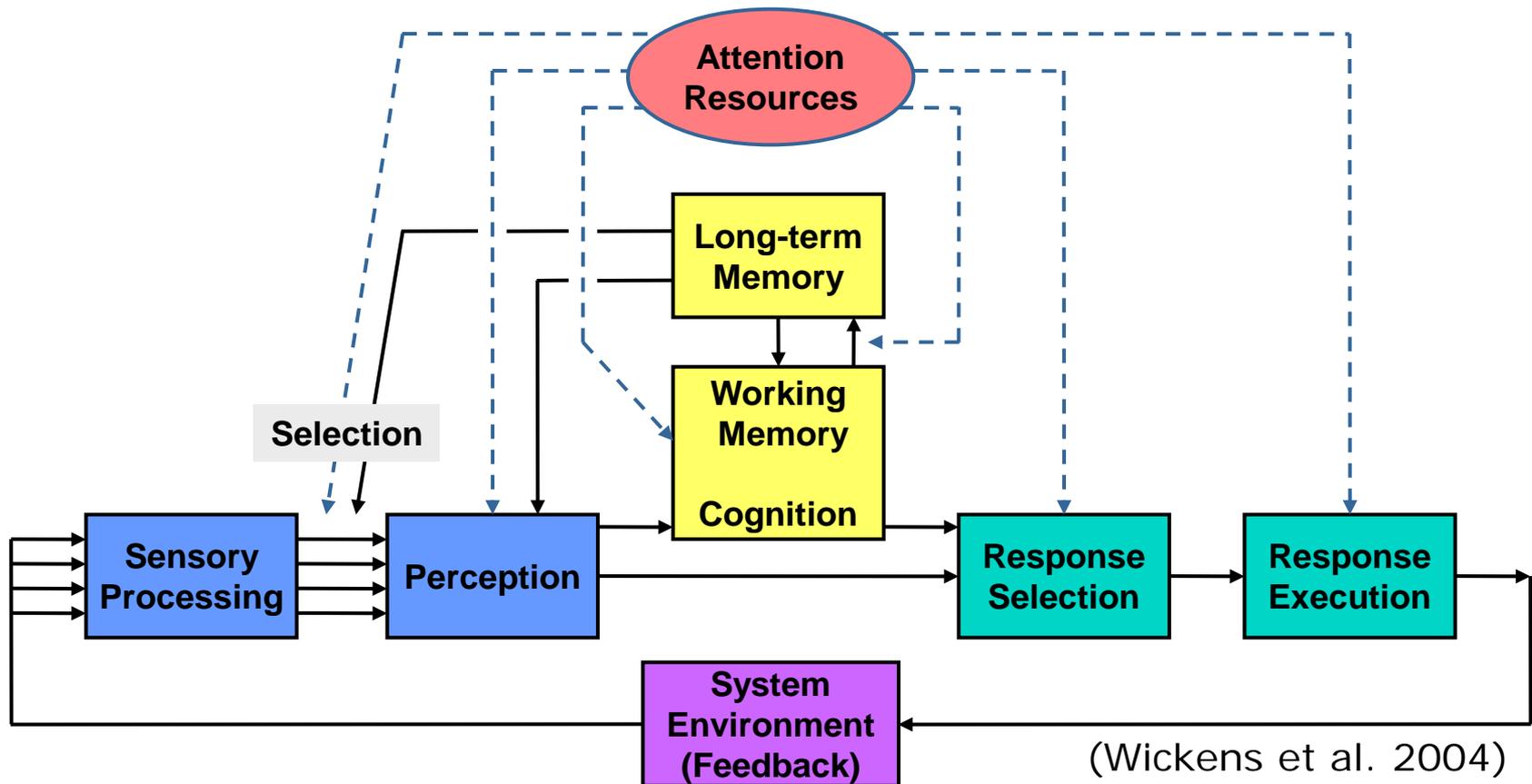
Atkinson & Shiffrin (1968)



# Langzeitgedächtnis

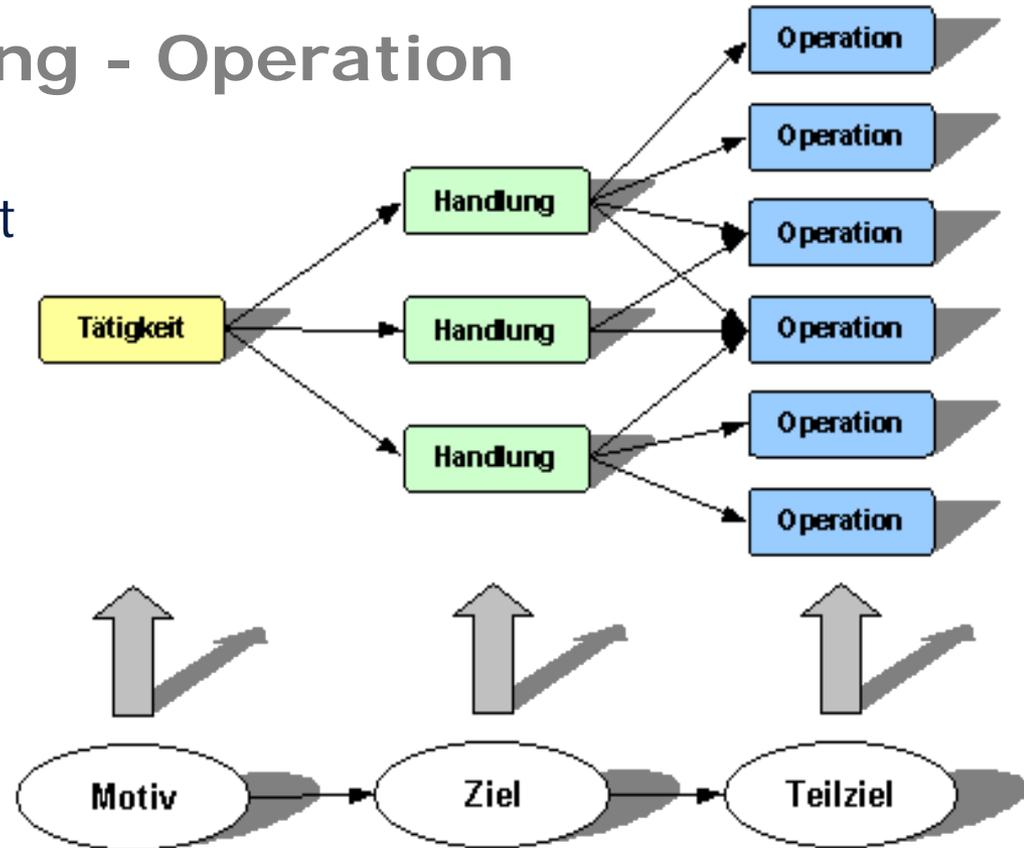
- Überwiegend semantische Enkodierung
- Assoziative Vernetzung
- Potentiell unbeschränkte Speicherkapazität mit unbefristeter Haltbarkeit.
  - Veränderungs- & Konstruktionsprozesse
- Vergessen
  - Aktivierung unterhalb Abrufschwelle
  - kein „sicherer“ Abruf mehr möglich
  - Erinnern möglich durch
    - Zufällige AktivierungAktivierung über Netzwerkkante

# Informationsverarbeitungsstufen



## Tätigkeit – Handlung - Operation

Die menschliche Tätigkeit  
existiert nicht  
anders  
als in Form  
einer Handlung  
oder einer Kette  
von Handlungen  
(Leontjew, 1979,  
cf. Hacker, 2000, S 69)



(Bildquelle: Walliser 1999)

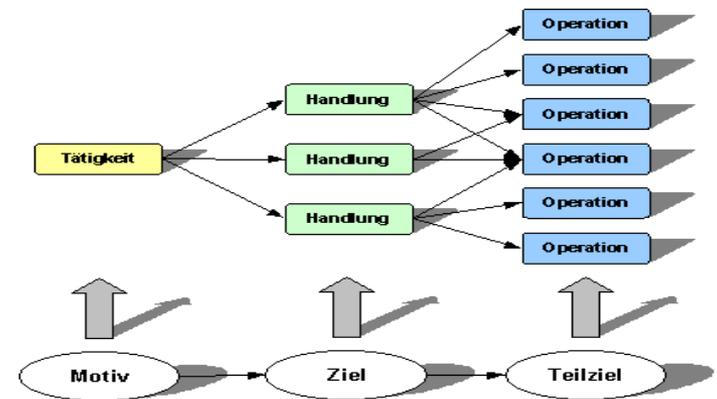


## Handlung (Hacker 2000)

**Handlung** bezeichnet [...] eine in sich geschlossene Einheit der Tätigkeit.

H. bilden die **kleinste psychologische Einheit** der **willensmäßig gesteuerten** Tätigkeit.

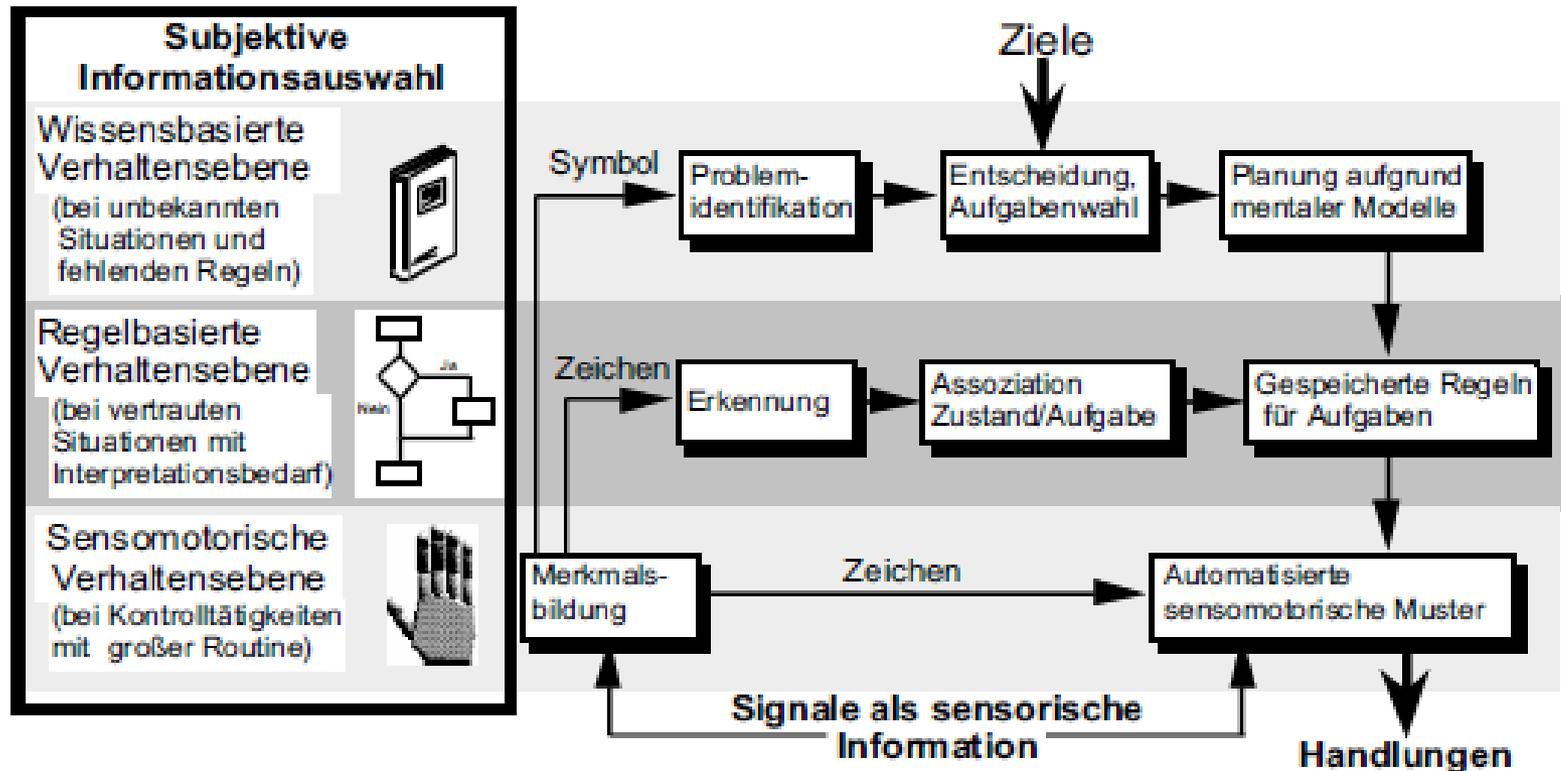
**Teilhandlungen** oder **Operationen** sind nur unselbständige Bestandteile der Tätigkeit, da ihre Resultate nicht bewusst (als Ziel) antizipiert werden [...] Eine Beteiligung kurzlebiger Teilziele ist möglich.



Die Abgrenzung dieser H. erfolgt durch das **bewusste Ziel**, das die mit einer **Vornahme** verbundene **Vorwegnahme** des Ergebnisses der H. darstellt.

Nur kraft des **Ziels** sind Handlungen selbständige **abgrenzbare Grundbestandteile** oder Einheiten der Tätigkeit.

# Ebenenmodell der Handlungsregulation (Rasmussen 1983)



(Bildquelle: Zühlke 2005)

# Sensomotorische Verhaltensebene

- erlernte und stark automatisierte sensomotorische Verhaltensweisen
- Ablauf unbewusster Programme
  - nicht bewusstseinspflichtige Abbilder und Bewegungsentwürfe
  - keine willentliche Aufmerksamkeit oder Steuerung notwendig.

## Sensomotorische Verhaltensebene @ MMI

- Kontrolltätigkeiten in normalen Betriebssituationen (z.B. Überwachung von Prozess- und Maschinendaten),
- Einfache Problemlösungstätigkeiten, die häufig auftreten und dadurch routiniert bearbeitet werden.
- Beispiel: intuitives Drücken des Not-Aus-Schalters nach einem Signalreiz

## Regelbasierten Verhaltensebene

- erlernte Handlungsschemata
- Durch Merkmalsextraktion gebildeten Zeichen (Merkmale) sind zunächst mit ähnlichen, bekannten Aufgaben oder Zuständen zu verbinden, für die bereits erlernte oder aus Instruktionen abgeleitete Regeln existieren.
  - wenn Zustand= ..., dann führe aus ...
- Im Vergleich zu SV höhere Informationsinterpretation und Reduktion der Signale.
- Sukzessiver Vergleich mit gespeicherten Regeln

## Regelbasierten Verhaltensebene @ MMI

- Entscheidungs- und Problemlösetätigkeiten in bekannten/bereits erfahrenen Bereichen in allen Lebenszyklen
  - Engineering (> 80%)
  - Diagnose bekannter Fehler
  - Überwachende Kontrolle

## Wissenbasierte Verhaltensebene

- Wenn keine Regel vorhanden ist, muss eine Regel entwickelt werden.
  - Reduktion von komplexen funktionelle und strukturelle Zusammenhänge auf Symbole
  - Identifikation und Bewertung von Zuständen und deduktiv/induktiv/abduktive Ableitung von Entscheidungen für die zu lösende Aufgabe.
  - Planung aufgrund interner Modelle (LTM!)

## Wissensbasierte Verhaltensebene @ MMI

- Wissensbasiertes Verhalten wird erst eingesetzt, wenn andere Ebenen nicht zum Ziel führen!
- **stereotypisches Verhalten:** Rückfall auf untere Verhaltensebenen in Situationen mit hohem Informationsbedarf, großem Informationsangebot und Stress (z.B. DeKeyser 1986).

## Mentale Modelle

- Prozesse auf wissensbasierten Verhaltensebene benötigen ein **dynamisches Weltbild** mit vielen verschiedenen **aufgabenbezogenen Modellen** der Umwelt.
- Persönliche Abbilder in Form innerer Vorstellung
  - von Objekten und deren Funktion,
  - vom dynamischen Verhalten technischer Systemen,
  - des dazugehörigen Prozesses,
  - von Verhaltensmustern und Handlungen
  - der für einzelne Arbeitssituationen interessierenden Umwelt.
- Das mentale Modell von einem Objekt oder einer Arbeitssituation gibt es nicht.

# Charakteristika mentaler Modelle (Norman 1983)

- **Unvollkommen:** nur eine begrenzte Anzahl von Eingangs- und Ausgangsgrößen wird berücksichtigt, lediglich vereinfachte Darstellung der Realität,
- **Unbeständig:** können vergessen oder verändert werden,
- **nicht voneinander abgrenzbar:** ähnliche Modelle können sich vermischen,
- **unökonomisch:** unbenötigte Modelle bleiben trotzdem erhalten, und
- werden nur dann eingesetzt, wenn keine sensomotorischen „Programme“ für die aktuelle Aufgaben- oder Problemstellungen vorliegen.

# Modellgenese

- Entstehung durch individuelle Prozesse
  - Wahrnehmen
  - Schlussfolgern
  - Lernen
  - Entscheiden
  - Bewerten und Weitergeben von Gedanken
- → Unterschiedliche Nutzer haben unterschiedliche mentale Modelle über Funktion und Verhalten einer Einrichtung oder eines Prozesses

# Entwicklung technischer Systeme

- Entwickler: **Entwicklermodell**
  - Erwirbt mentales Modell aus Planung und Konstruktion
  - Vertiefte Vorstellung über Zusammenhänge und Funktionsweise
- Benutzer: **Benutzermodell**
  - Erwirbt mentales Modell aus Handbuch, Erfahrung, eigenen Schlussfolgerungen

# Feedback-Gestaltung

- MMI-Entwicklungsziel
  - Kongruenz zwischen Entwickler/Benutzermodell durch Gestaltung von Aufgaben, Nahtstellen und Feedback
- Drei Arten von Feedback
  - Handlungsfeedback
  - Statusfeedback
  - Zielfeedback

# Handlungsfeedback

- Das Handlungsfeedback gibt dem Nutzer eine sofortige Rückmeldung darüber, dass das technische System seine Handlung erkannt hat.
- Nicht nur „visuelle“ Anzeige!
  - Tasten: taktil-auditiver Knackfroscheffekt
  - Touchscreen: auditiver Piepton

## Statusfeedback

- Das Statusfeedback gibt dem Nutzer eine Rückmeldung über den Grad der Zielerreichung.
- Insbesondere bei nicht offensichtlichen Systemreaktionen, die länger als 2 s dauern!
  - Text: „Programm wird geladen...“
  - Sanduhr: Dauert an
  - Verlaufsbalken: Dauert an + weiterer Zeitbedarf

## Zielfeedback

- Das Zielfeedback meldet das Erreichen des Handlungsziels an den Nutzer zurück und schließt damit den aktuellen Handlungsschritt ab.

# Literatur

- Atkinson, R.C. & Shiffrin, R.M. (1968) Human memory: A proposed system and its control processes. In K.W. Spence and J.T. Spence (Eds.), *The psychology of learning and motivation*, vol. 8. London: Academic Press.
- Baddeley, A.D. (2000). The episodic buffer: a new component of working memory? *Trends in Cognitive Science*, 4, 417-423.
- Baddeley, A.D., & Hitch, G. (1974). Working memory. In G.H. Bower (Ed.), *The psychology of learning and motivation: Advances in research and theory* (Vol. 8, pp. 47--89). New York: Academic Press.
- Cowan, N. (2001). The magical number 4 in short-term memory: A reconsideration of mental storage capacity. *Behavioral and Brain Sciences*, 24, 87-185
- Miller, G. A. (1956). [The magical number seven, plus or minus two: Some limits on our capacity for processing information.](#) *Psychological Review*, 63, 81-97
- Peterson, L.R., & Peterson, M.J. (1959). Short-term retention of individual verbal items. *Journal of Experimental Psychology*, 58, 193-198.
- Chase, W. G., & Simon H. A. (1973). Perception in chess. *Cognitive Psychology*.
- Sperling, G. (1960). The information available in brief visual presentations. *Psychological Monographs: General and Applied*, 74(11), 1-30.

# Decision Ladder

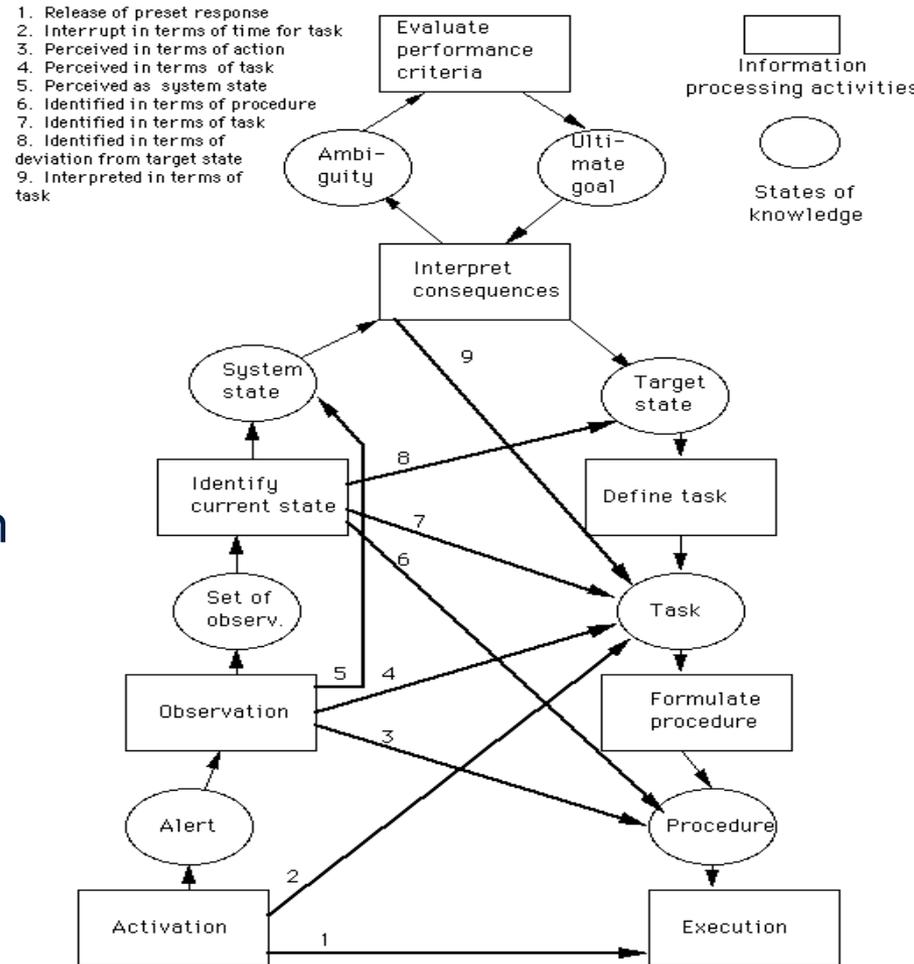
- Literatur
  - Rasmussen, J. (1983). Skills, Rules, and Knowledge; Signals, Signs and Symbols and Other Distinctions in Human Performance Models. IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, SMC-13(3):257-266
  - Rasmussen, J., Pejtersen, A.M. & Goodstein L.P. (1994). Cognitive Systems Engineering. New York, NY: Wiley. pp 64 ff.

## Decision Ladder

- Menschen
  - wählen ihre Ziele aktiv aus
  - suchen nach relevanter Information
- Menschliche Handlung in bekannten Umgebungen
  - Zielgerichtet, nicht ziel-gesteuert
- Menschliche Handlung in unbekanntem Umgebungen
  - Ggf. ziel-gesteuert – ausprobieren unterschiedlicher Ansätze um ein Ziel zu erreichen, der beste wird ausgewählt.
  - Ansätze können intern ausgeführt / simuliert werden

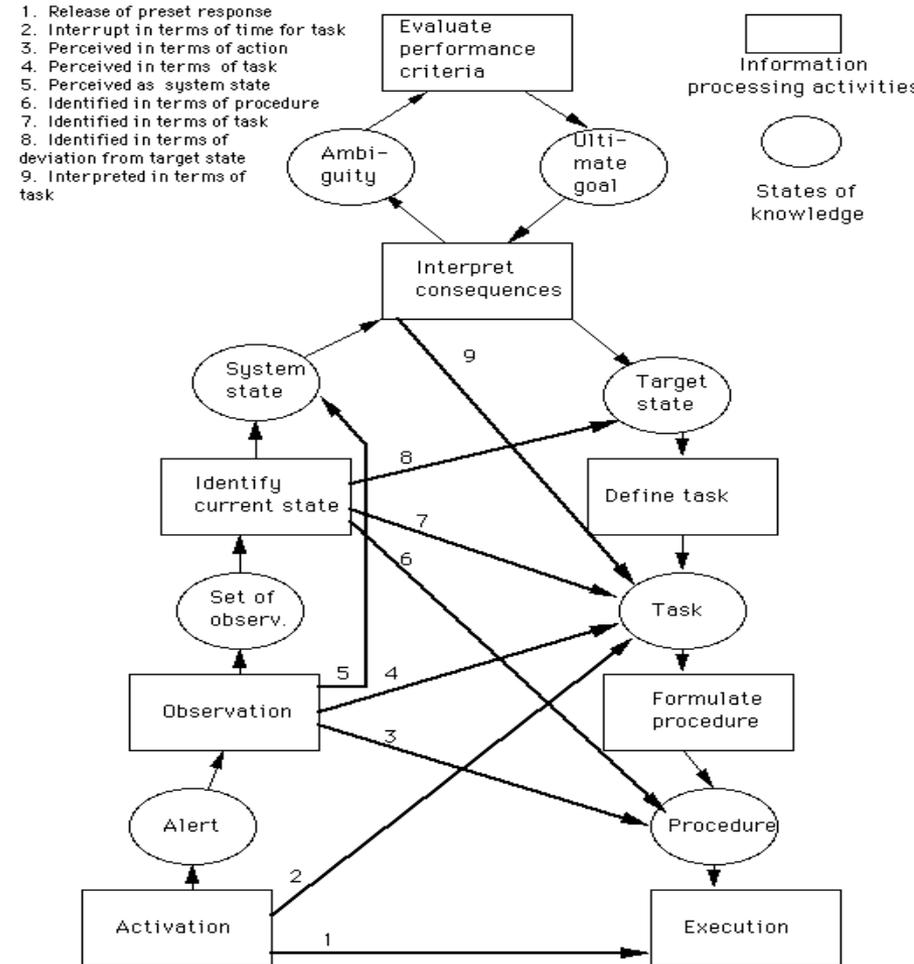
# Decision Ladder

- Hierarchie mit 3 Ebenen:
  - skill-based
  - rule-based
  - knowledge-based
  - SRK-Framework
- Abkürzungen werden durch Erfahrung und Training aufgebaut
- Abkürzungen sind weniger beanspruchend!



# SRK-Framework

- Skill-based: routine actions
  - Smooth, automated
  - Feed-forward control
  - Initiated by signals
- Rule-based: familiar problems
  - If state x then action y
  - Feed-forward control
  - Initiated by signs
- Knowledge-based: novel situations
  - Mental Models → local goals, actions, observations
  - Feed-back control
  - Initiated by symbols

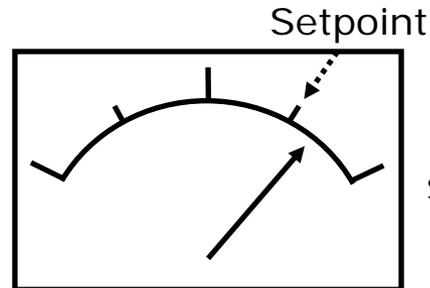


# Signal – Sign - Symbol



## •Signal

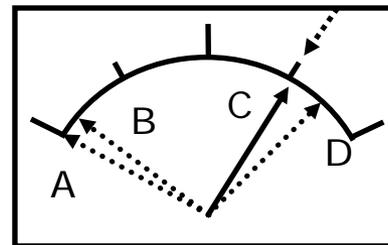
–Time-space variables such as the deviation between the actual value of a flowmeter and a desired set point.



- Keep at set point
- Use deviation as error signal
- Track continuously

## •Sign

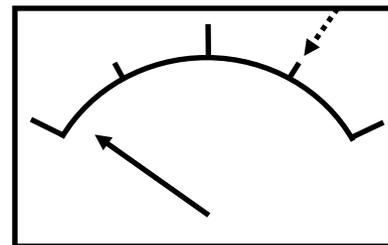
–Indicating a state in the environment with reference for certain conventions for acts.



- If valve open  
If C, OK  
If D, adjust flow
- If valve closed  
If A, OK  
If B, recalibrate

## •Symbol

–Abstract constructs, defined by a formal structure of relations and processes.



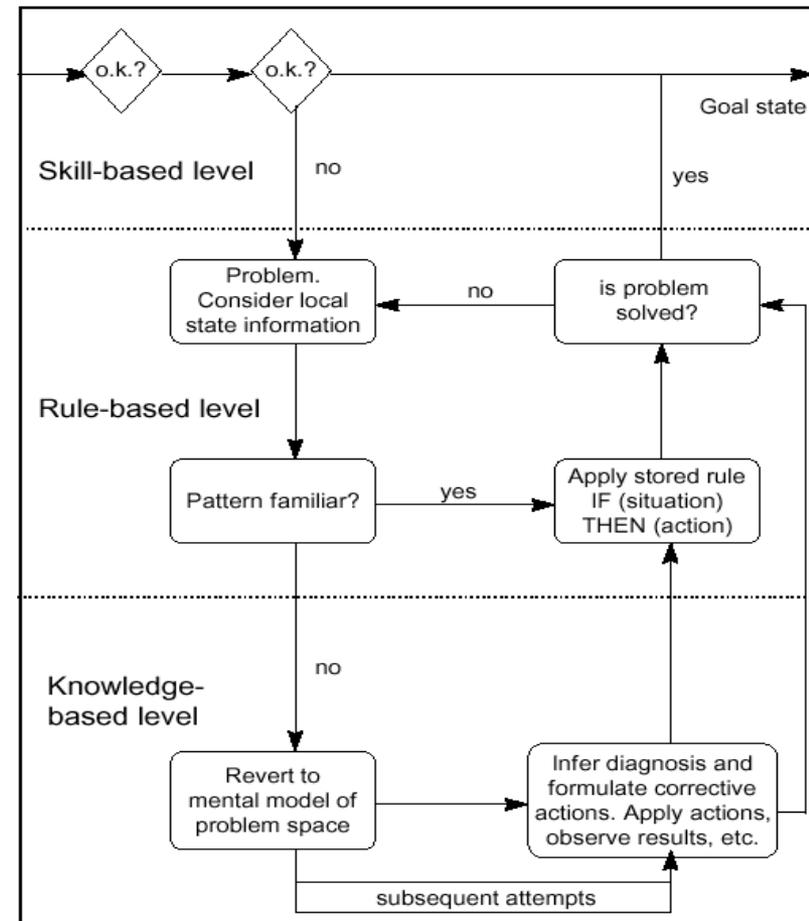
- If, after calibration, is still B, begin to read meter and speculate functionality (could be a leak)

# Generic Error-Modelling System

- Literatur
  - Reason, J. (1987) Generic Error-Modelling System (GEMS): A cognitive Framework for Locating Common Human Error Forms. In: Rasmussen, J., Duncan, K. & Leplat, J. (Hrsg.) New Technology and Human Error. Chichester, New York: Wiley. pp 63-86
  - Reason, J. (1990) Human Error. Cambridge: Cambridge UP. pp 53 ff

## GEMS

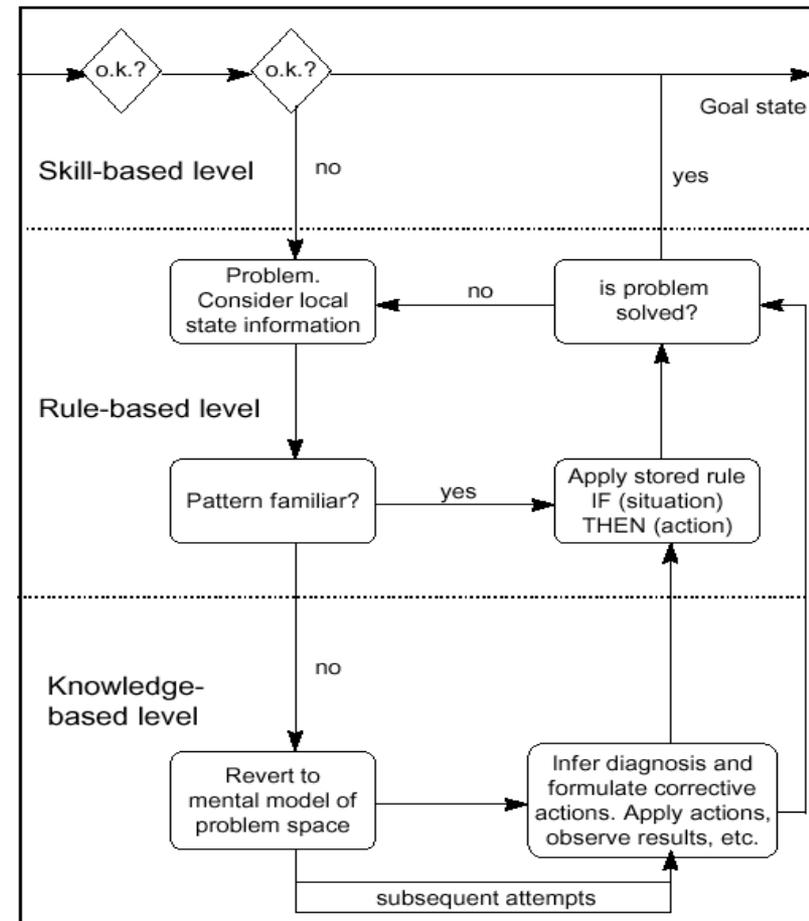
- Conceptual model to predict human error
- based on SRK-framework
- Two basic error types
  - Slips (S)
    - Execution failures
    - Wrong action
  - Mistakes (R,K)
    - Planning errors
    - Wrong intention



**Figure 1:** Reason's (1990) Generic Error-Modelling System

# GEMS

- Failure in Attentional checking (o.k.)
  - Errortype: Slips, Lapses
  - Inattention & overattention
- Assertion
  - „Humans, if given a choice, would prefer to act as context-specific pattern recognizers rather than attempting to calculate or optimize“ (Rouse, 1981)



**Figure 1:** Reason's (1990) Generic Error-Modelling System