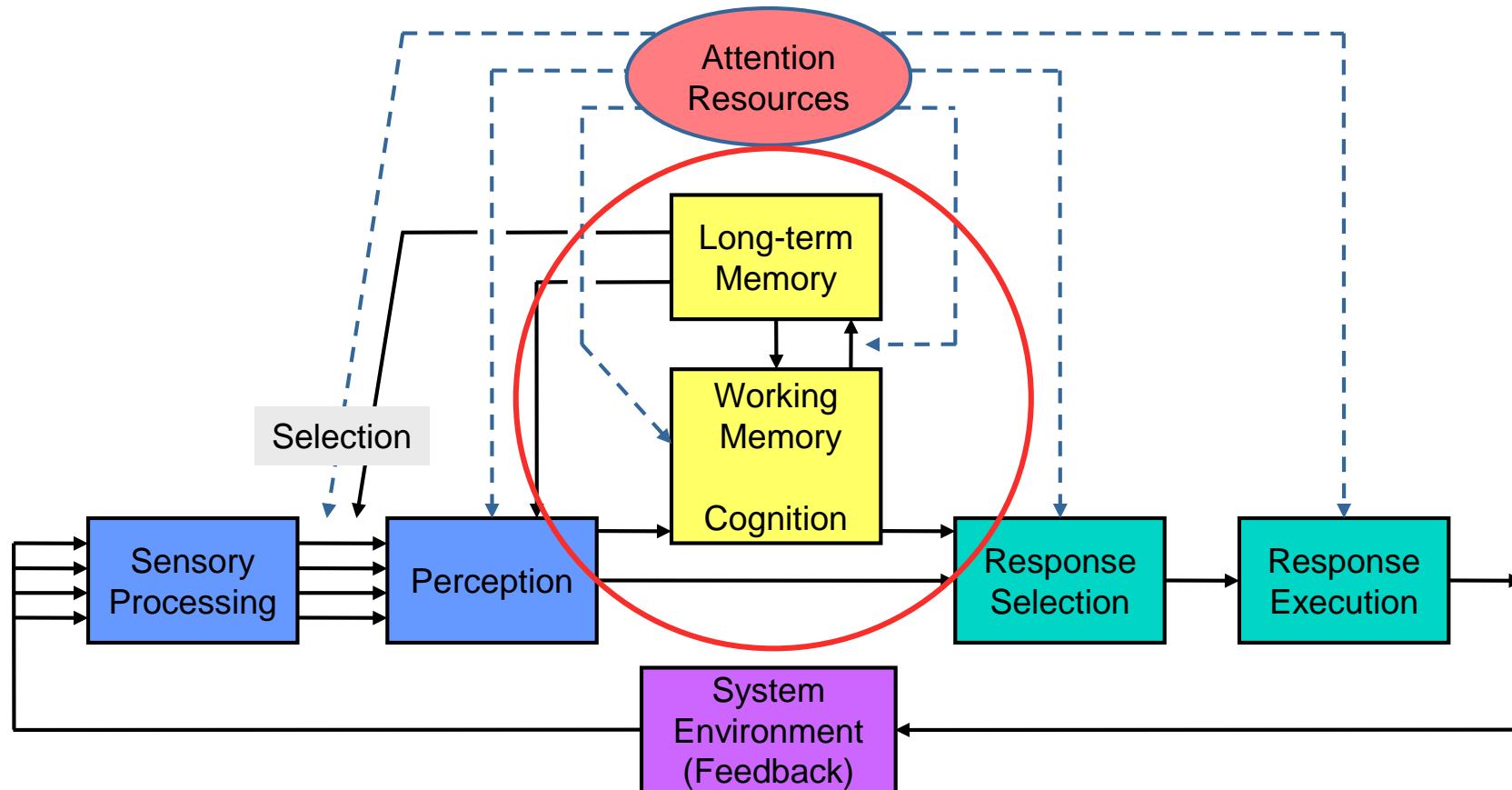


Professur für Prozessleittechnik und Arbeitsgruppe Systemverfahrenstechnik

Human Factors 2: Gedächtnis und Handlungsregulation

Wintersemester 2021/22

Informationsverarbeitungsstufen (Wickens et al. 2004)



Ziele und Inhalt

Gedächtnismodelle: Vom Reiz zur Lernerfahrung

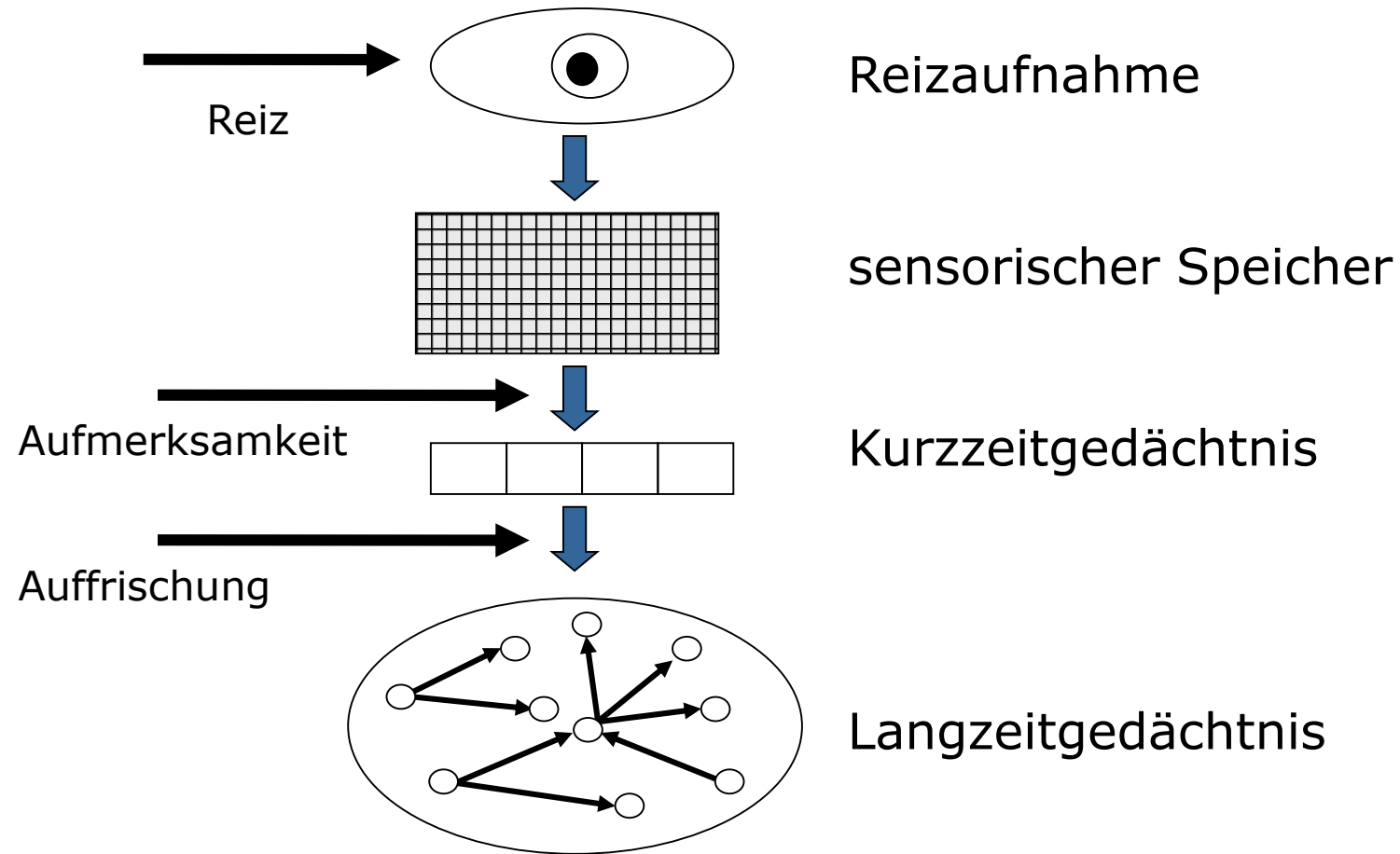
- Funktionale Strukturen
- Experimentelle Paradigmen
- Kapazität, Organisation, Verfallsdauern

Kognition & Handeln in Mensch-Maschine-Systemen

- Regulations-Ebenenmodell
- Mentale Modelle
- Feedback

Gedächtnismodelle

Mehrstufiges Gedächtnismodell (Atkinson und Shiffrin 1968)



Mehrkomponentenmodell des Arbeitsgedächtnisses (Baddeley und Hitch 1974, Baddeley 2000)

Zentrale Exekutive

- Kontrolle und Regulierung kognitiver Prozesse
- Ggf. mehrere Teilsysteme (Myake et al. 2000)

Phonological Loop

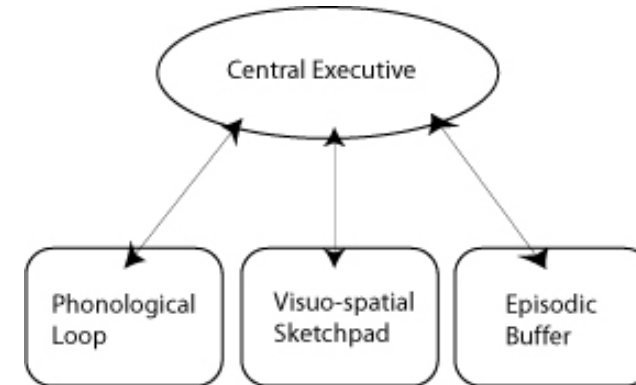
- phonological store + articulatory rehearsal component
- Quellen: äußere Reize, „stilles Artikulieren“ von Schrift

Visuospatial Sketchpad

- Räumliche Information: visual cache + inner scribe (Logie 1995)
- Große individuelle Unterschiede in der Nutzung

Episodic Buffer (Baddeley 2000)

- Vernetzung von Informationen und zeitlicher Sequenz.
- Vernetzung zu LTM und Bedeutung



Sensorische Speicher

Visuelles System: iconic memory (IM)

Gespeicherte Inhalte

- Form, Größe, Farbe, Ort
- ! Nicht Bedeutung !

Verfallszeit

- 250 – 500 Millisekunden (Sperling 1960)

Auditives System: echoic memory (EM)

Gespeicherte Inhalte

- Töne
- ! Nicht Worte !

Verfallszeit

- 4-5 Sekunden

Iconic Memory Experiment (Sperling 1960)

Zeige 9 zufällige Buchstaben für
50 Millisekunden

- Zeit reicht nicht für das Lesen, führt aber zu einem visuellen Eindruck

Bedingung 1: ALL

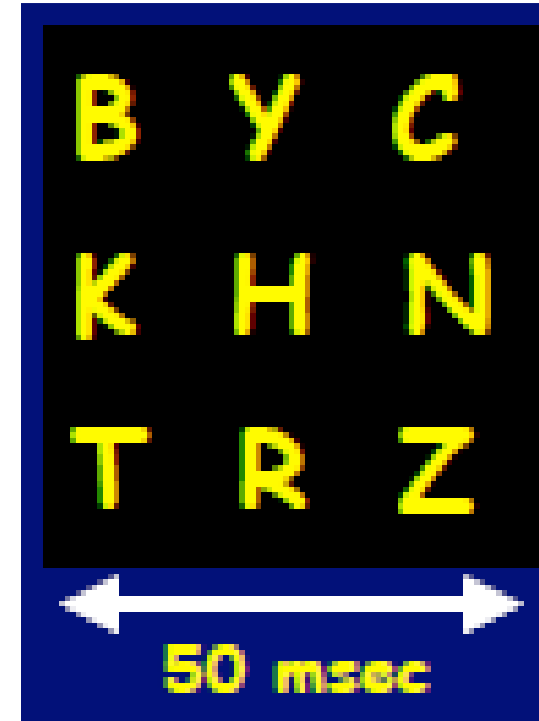
- Erinnere sofort möglichst viele Bst.

Bedingung 2: ROW

- Erinnere sofort möglichst viele Bst. der durch einen Ton (hoch, mittel, tief) angezeigten Reihe

Bedingung 3: DELAY+ROW

- Erinnere möglichst viele Buchstaben der nach einer Verzögerung durch einen Ton angezeigten Reihe



Iconic Memory Experiment (Sperling 1960)

Papier & Stift

Bedingung 1: möglichst viele
Buchstaben merken

...



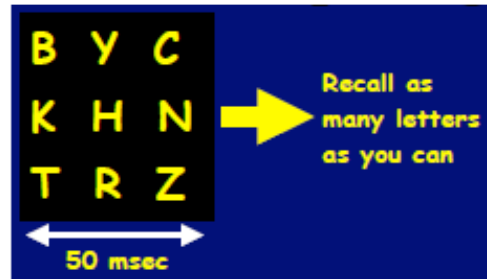
Iconic Memory Experiment (Sperling 1960)

Zweiter Versuch

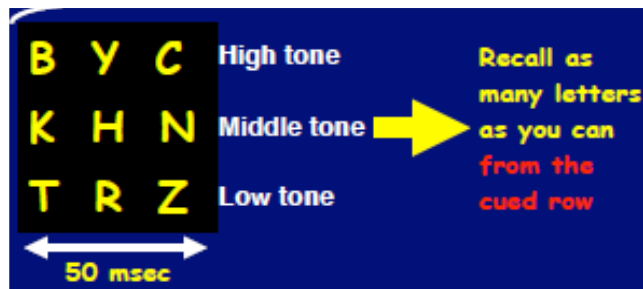


Iconic Memory Experiment - Ergebnisse

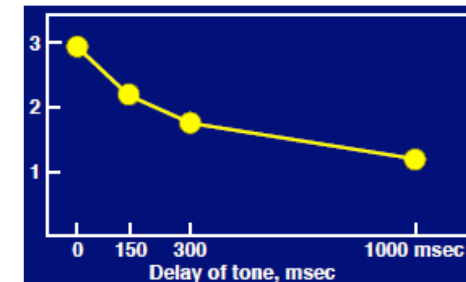
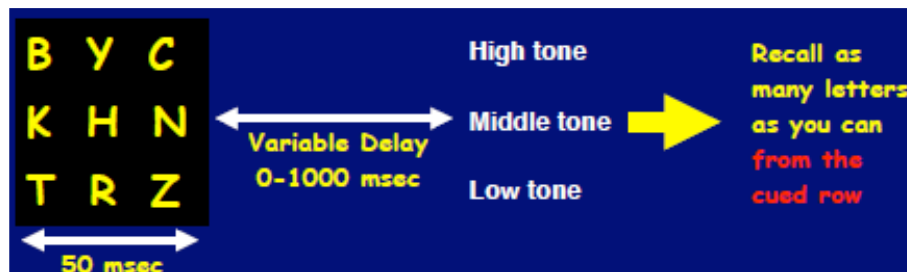
(Sperling 1960)



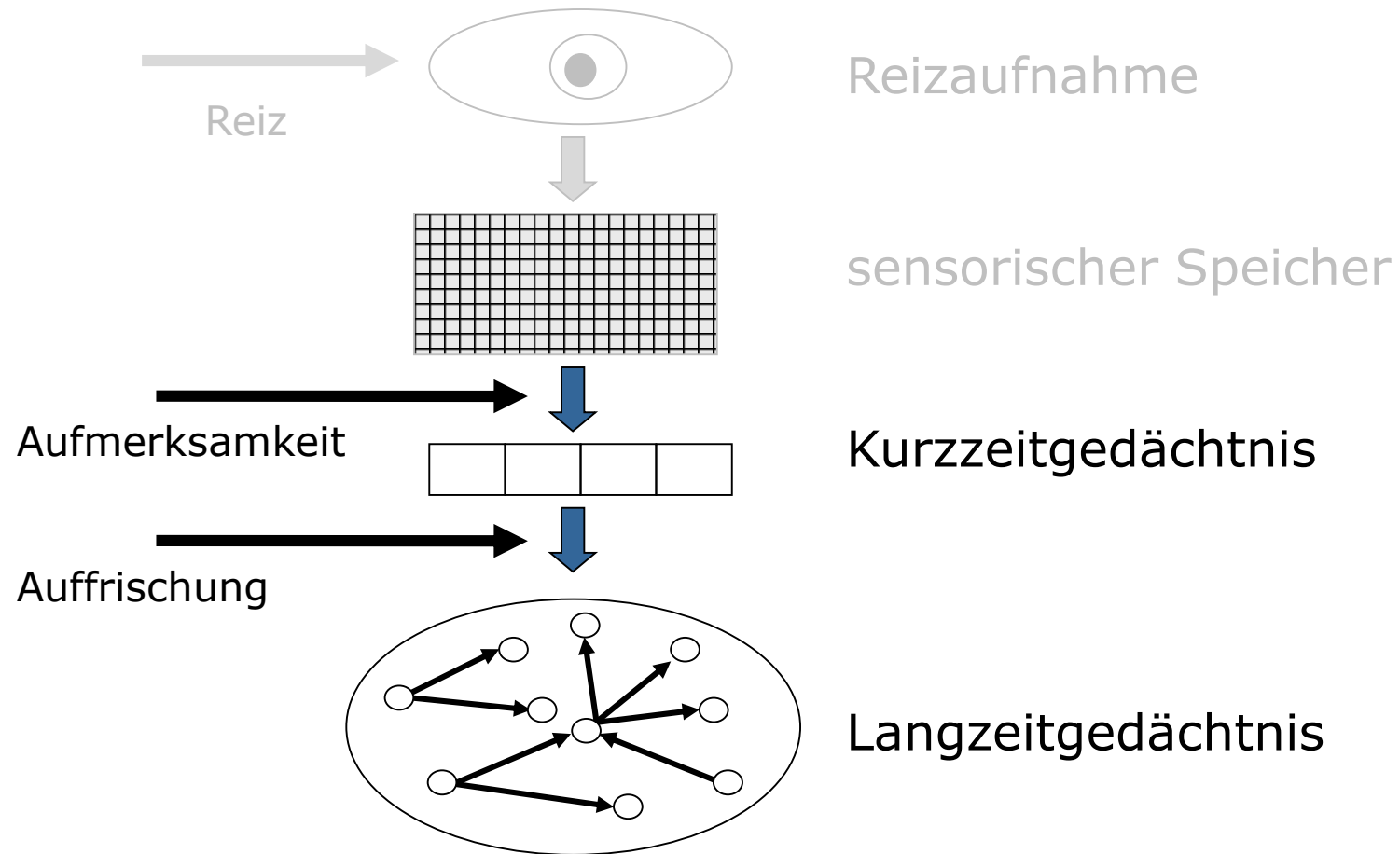
4-5 Buchstaben werden erinnert



Alle Buchstaben der Reihe werden erinnert



Mehrstufiges Gedächtnismodell (Atkinson und Shiffrin 1968)



Kurzzeitgedächtnis/Arbeitsgedächtnis

Aufmerksamkeit

- Information aus dem Sensorischen Speicher gelangt in das Kurzzeitgedächtnis

„Rehearsal“

- Information kann durch Wiederholung aufgefrischt werden
- Ansonsten Verlust der Informationen

Empirische Befunde

- Begrenzte Kapazität von 7 ± 2 chunks (Miller 1956), etwa 4 (Cowan 2001)
- Falls nicht aufgefrischt werden kann, bleiben Gedächtniselemente 15-30 Sekunden erhalten (Peterson und Peterson 1959)

Gedächtniskapazität (Miller 1956)

Exp1: Erinnern binärer Ziffernfolgen:

- 011001101000100111010011010
- Leistung: 7 ± 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 ± 2 chunks

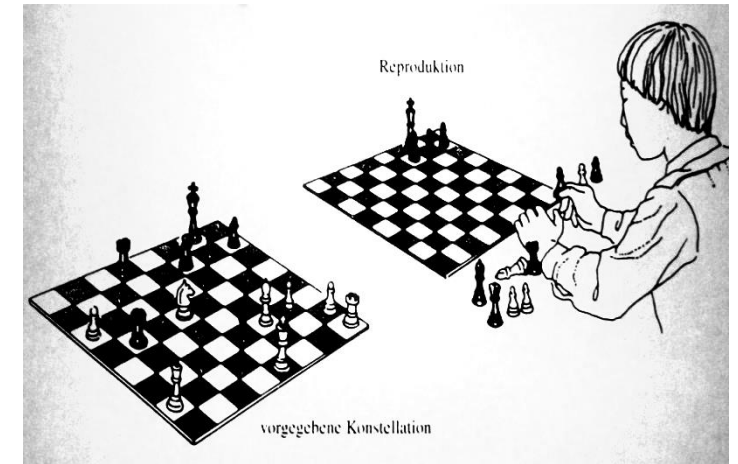
Expertise und Arbeitsgedächtnis

Schach (Chase und 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 und Simon (1973)

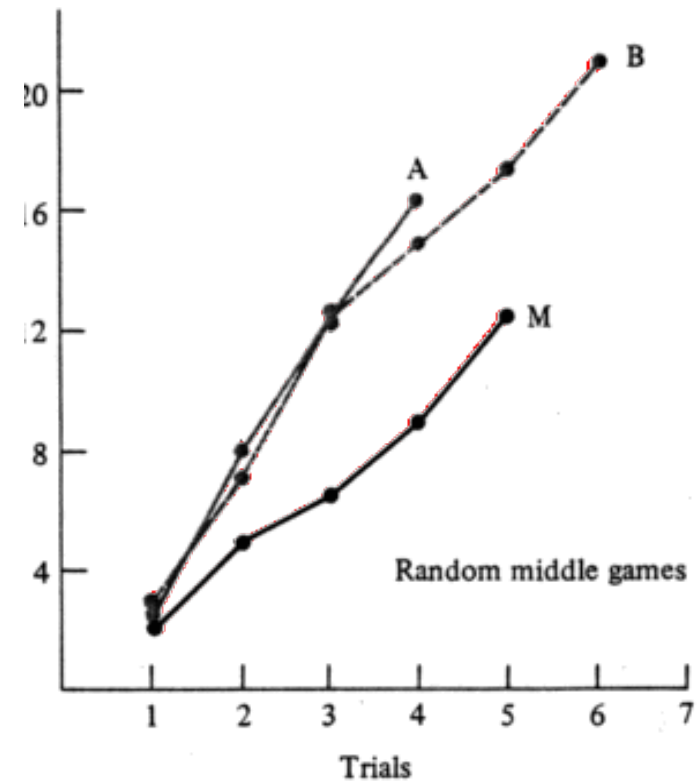
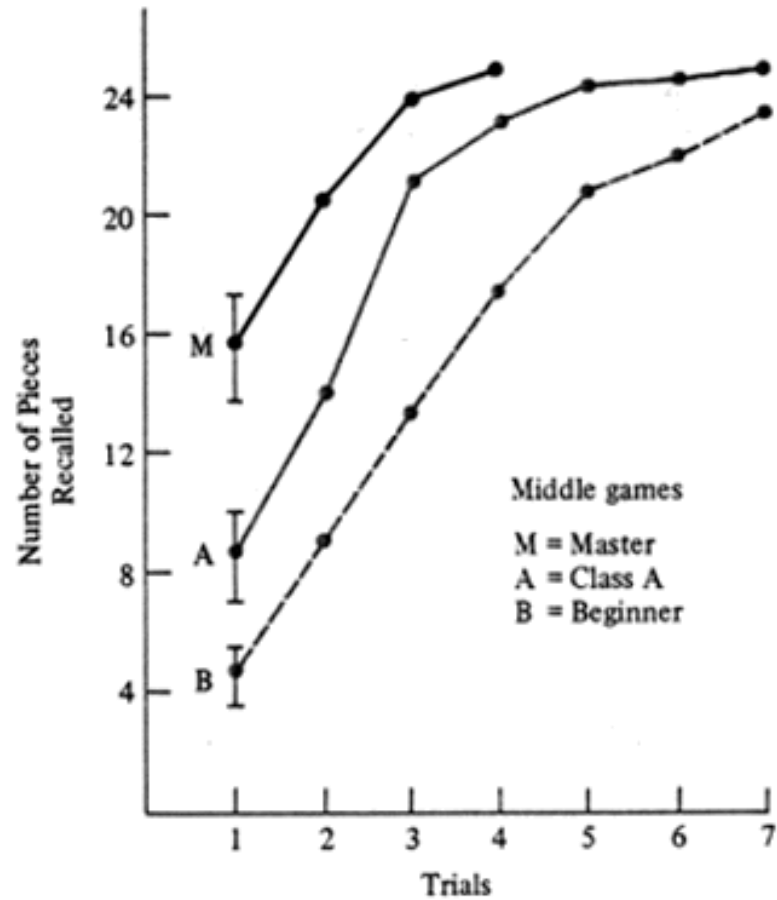
Experiment 1: Stellungen, die häufig vorkommen

- Ø Richtige Figuren
 - Meister: 16
 - Class A: 9
 - Anfänger: 5
- Mit Übung erreichen alle dieselbe Leistung, die Meister sind schneller als Class A, diese wiederum schneller als die Anfänger.

Experiment 2: Zufällige Konfigurationen

- Alle drei Gruppen zeigen 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“

Größere Gruppen bei größerer Erfahrung

- Gruppengröße (Meister) > Gruppengröße (Class A) > Gruppengröße (Anfänger)

Chunking revisited

Analogie Chunks / Zeiger und Strukturen in Rechnern

- Chunks sind/haben Zeiger von STM auf komplexere Elemente des LTM

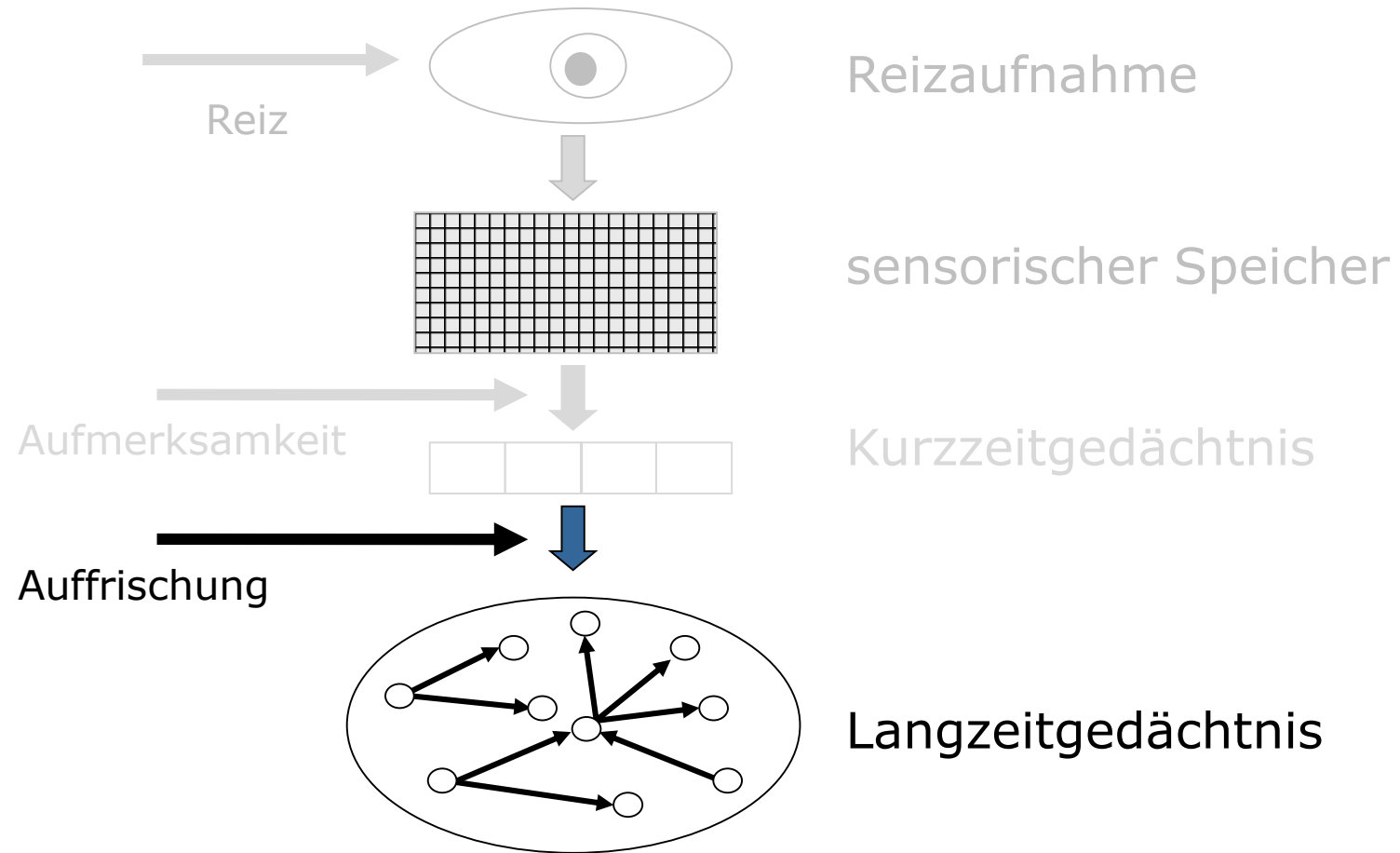
Wiederholung und Übung steigert die Chunking-Leistung.

- 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.

Mehrstufiges Gedächtnismodell

(Atkinson und Shiffrin 1968)



Langzeitgedächtnis

Überwiegend semantische Enkodierung mit assoziative Vernetzung

Potentiell unbeschränkte Speicherkapazität mit unbefristeter Haltbarkeit.

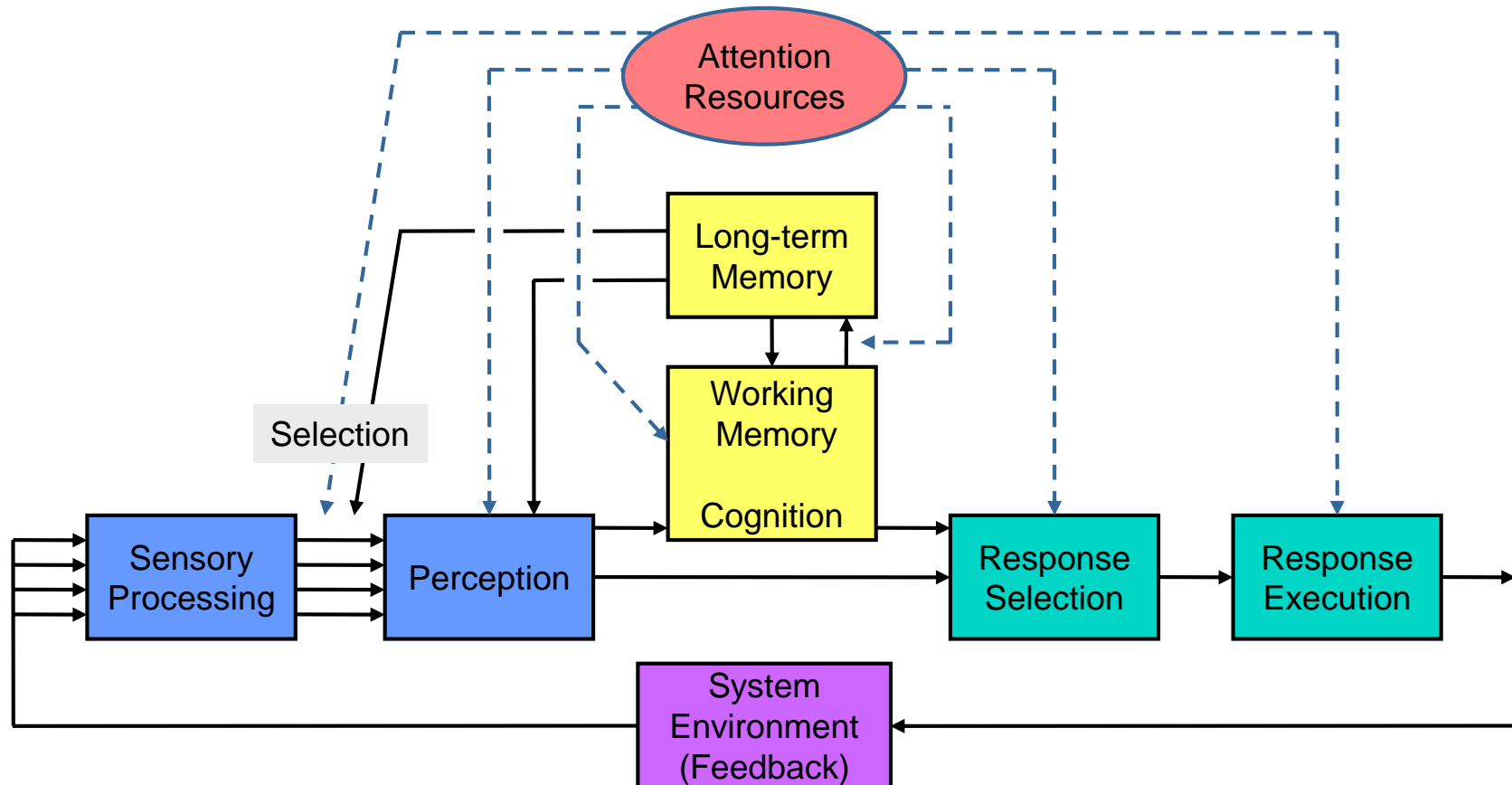
- Veränderungs- & Konstruktionsprozesse

Vergessen

- Aktivierung unterhalb Abrufschwelle
- kein „sicherer“ Abruf mehr möglich
- Erinnern möglich durch (zufällige) Aktivierung über Netzwerkkante

Kognition & Handeln in Mensch-Maschine-Systemen

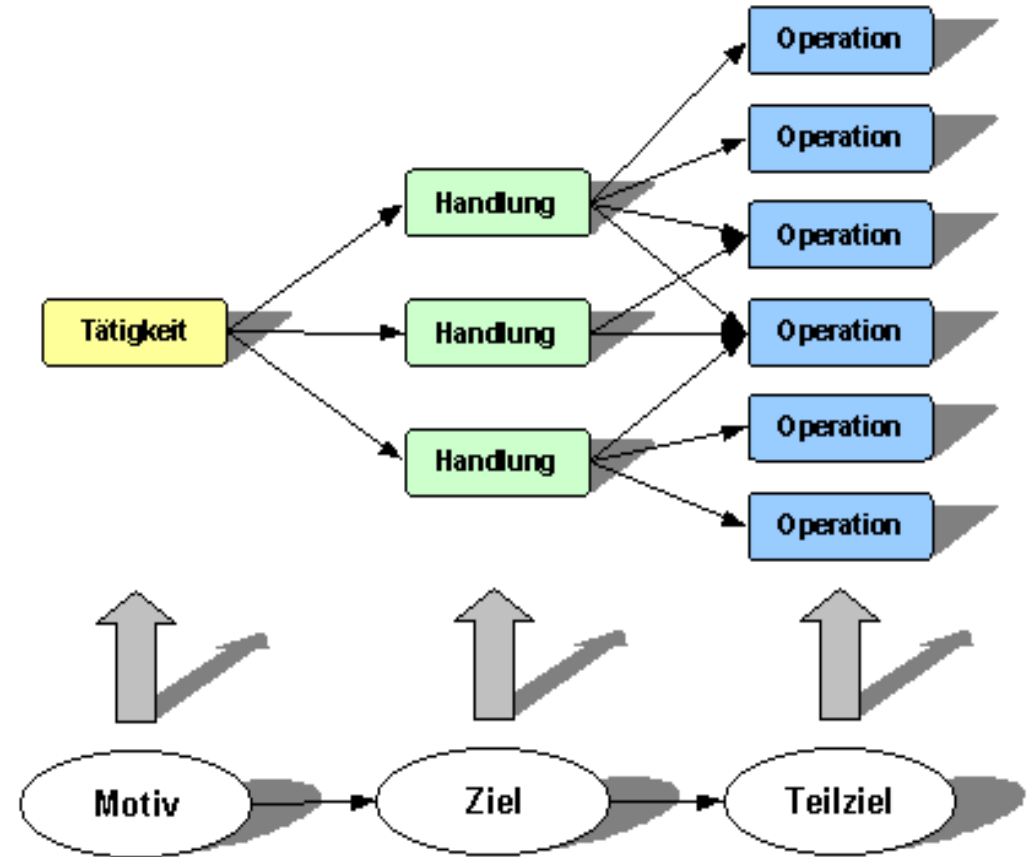
Informationsverarbeitungsstufen



(Wickens et al. 2004)

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)

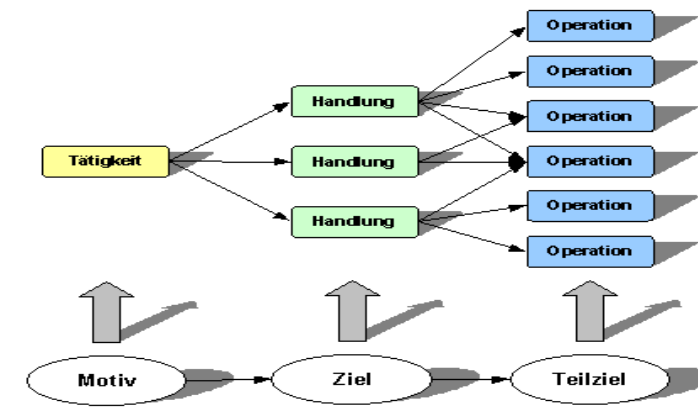


(Bildquelle: Walliser 1999)

Handlung (Hacker 2000)

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 selbstständige, **abgrenzbare Grundbestandteile** oder Einheiten der Tätigkeit.



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

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

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

Tätigkeit - Handlung - Operation (Hacker 2000)

Tätigkeit

- Willensmäßig gesteuert

Handlung

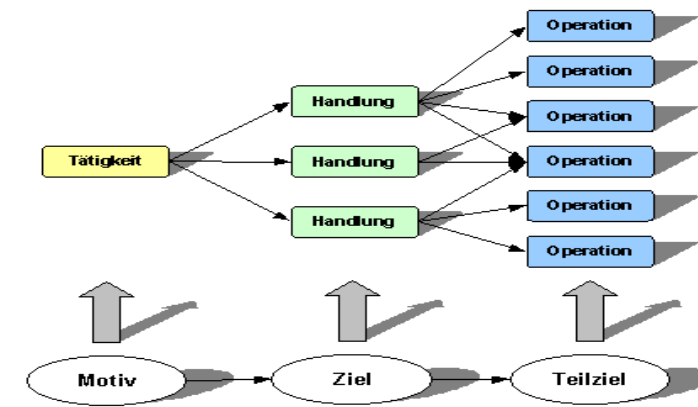
- in sich geschlossene Einheit der Tätigkeit
- kleinste psychologische Einheit der Tätigkeit
- bewusstes Ziel

verbundene Vorwegnahme des Ergebnisses der Handlung

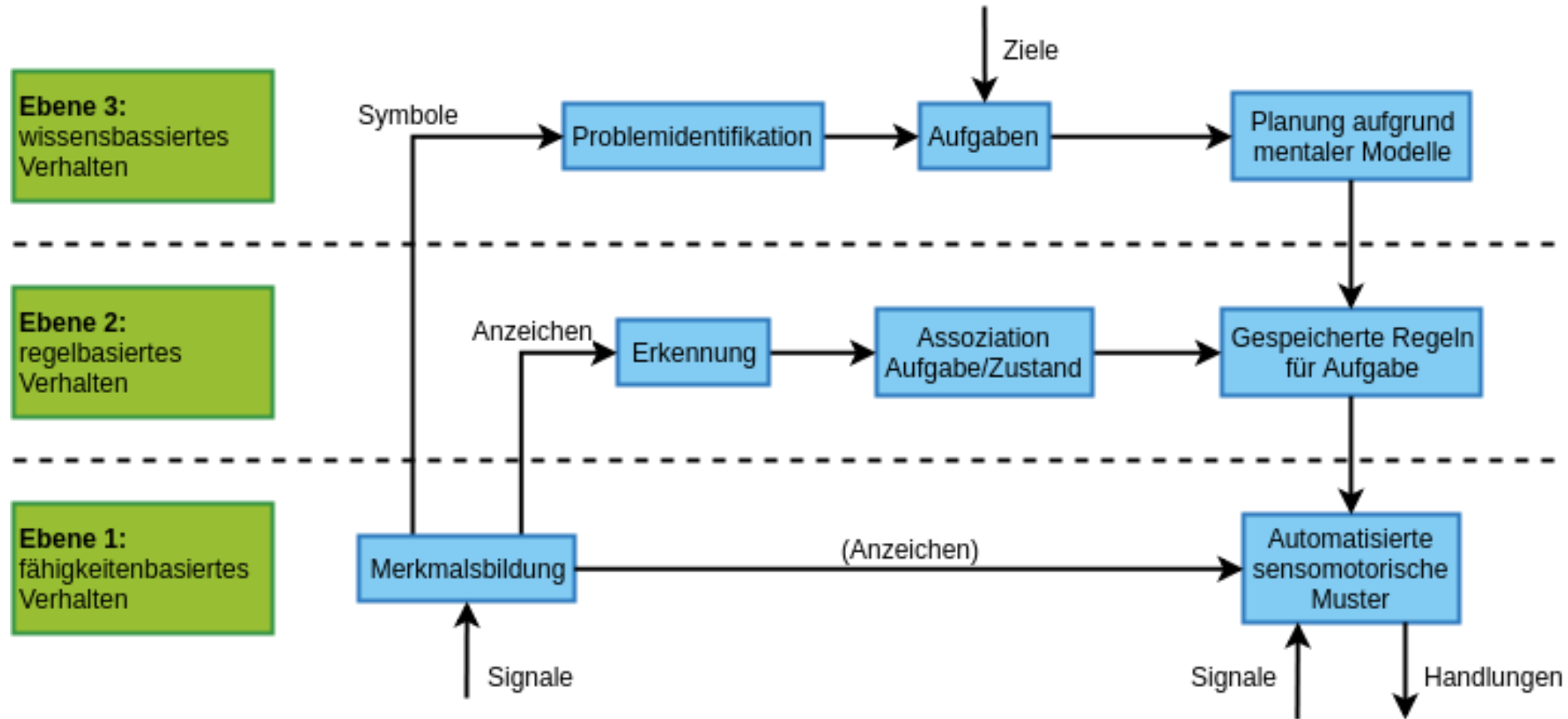
- Nur Kraft des Ziels sind Handlungen selbstständige abgrenzbare Grundbestandteile oder Einheiten der Tätigkeit

Teilhandlungen/Operationen

- unselbstständige Bestandteile der Tätigkeit
- Resultate können nicht bewusst (als Ziel) antizipiert werden
- Beteiligung kurzlebiger Teilziele ist möglich



Ebenenmodell der Handlungsregulation (Rasmussen 1983)

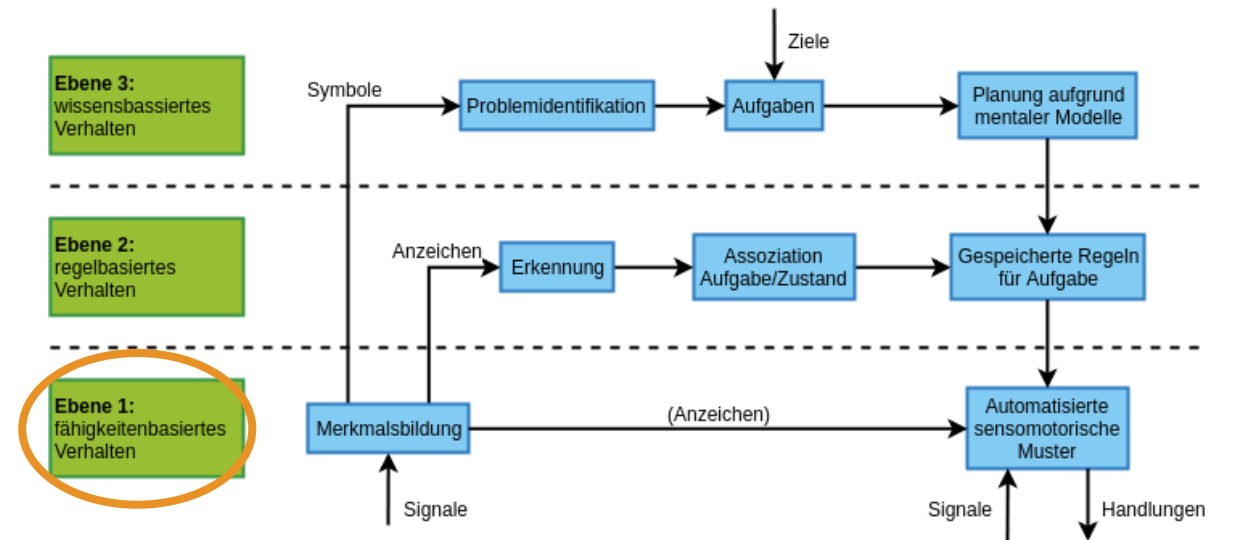


Fähigkeitenbasierte Verhaltensebene

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 Betriebsituationen

- z.B. Überwachung von Prozess- und Maschinendaten

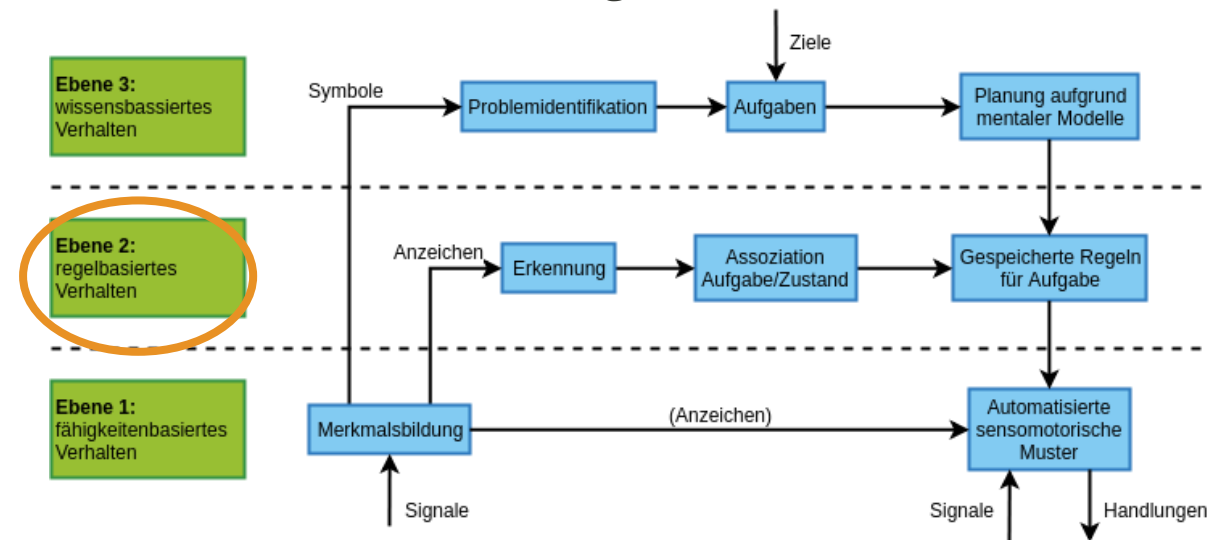
Einfache Problemlösungstätigkeiten, die häufig auftreten und dadurch routiniert bearbeitet werden

Beispiel

- Drehregler einstellen
- intuitives Drücken des Not-Aus-Schalters nach einem Signalreiz?

Regelbasierte 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



Regelbasierte Verhaltensebene @ MMI

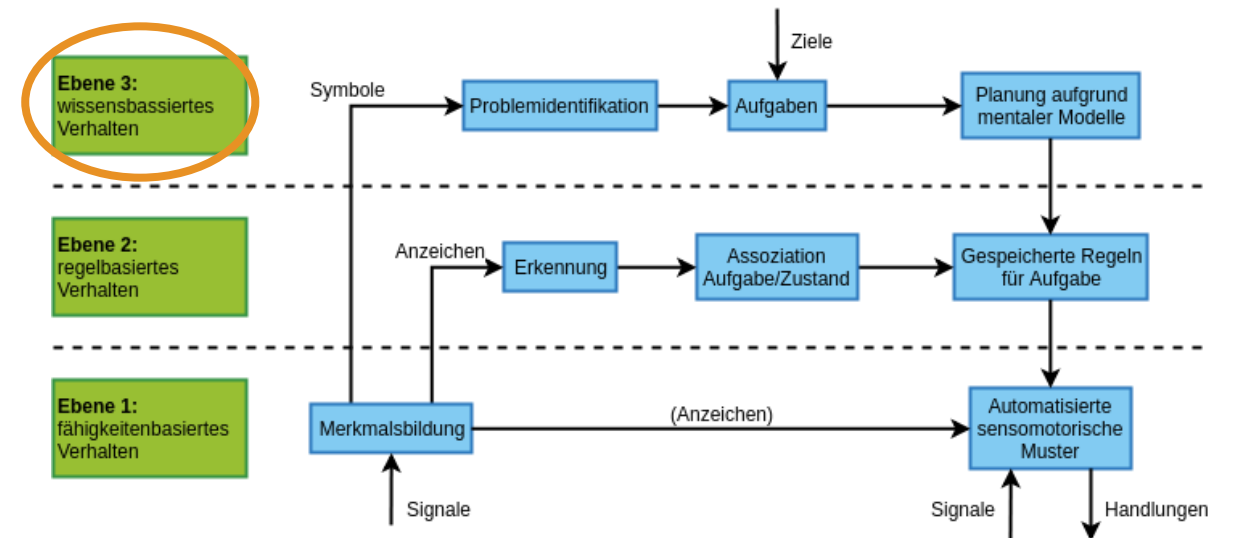
Entscheidungs- und Problemlösefähigkeiten in bekannten/bereits erfahrenen Bereichen in allen Lebenszyklen

- 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)

Beispiele:

- Diagnose unbekannter Störungen
- Modellbildung

Decision Ladder

(Rasmussen 1976)

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

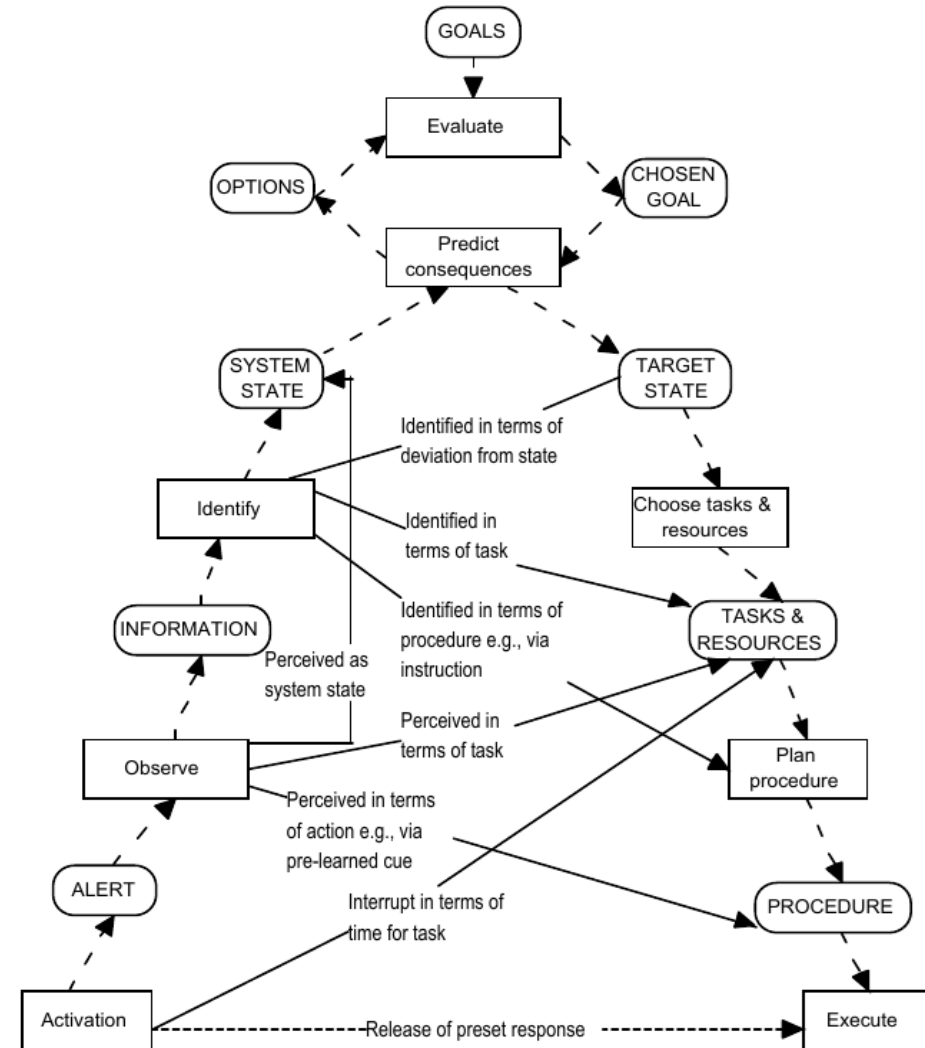
Hierarchie mit 3 Ebenen:

- skill-based
- rule-based
- knowledge-based
- SRK-Framework

Abkürzungen

- Aufbau durch Erfahrung und Training
- weniger beanspruchend!

Kompatibel mit Ebenenmodell von Rasmussen



(Naikar, A Comparison of the Decision Ladder Template and the Recognition-Primed Decision Model, 2010)

Decision Ladder: 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

Keep at set point

Use deviation as error signal

Track continuously

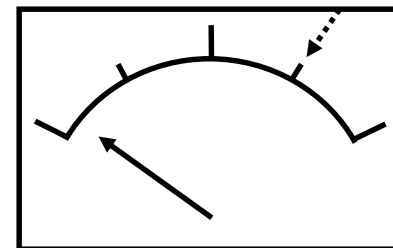
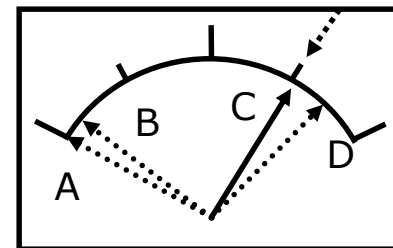
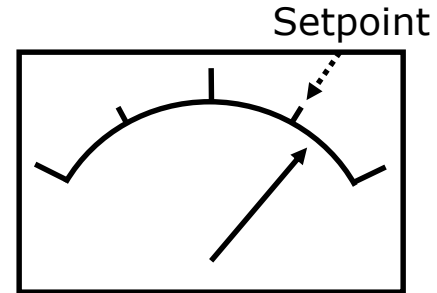
If valve open

- If C, OK
- If D, adjust flow

If valve closed

- If A, OK
- If B, recalibrate

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



Signal

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

Sign

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

Symbol

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

Mentale Modelle

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

Mentale Modelle: Charakteristika

(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

Einsatz nur dann, wenn keine senso-motorischen „Programme“ für die aktuelle Aufgaben- oder Problemstellungen vorliegen

Mentale Modelle: 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

Mentale Modelle: Sichtweisen

Modelle der Entwickler

- Erwirbt mentales Modell aus Planung und Konstruktion
- Vertiefte Vorstellung über Zusammenhänge und Funktionsweise

Modell der Benutzer: Benutzermodell

- Erwirbt mentales Modell aus Handbuch, Erfahrung, eigenen Schlussfolgerungen
- Black-Box bzw. Grey-Box-Modell

Kongruenz von Entwickler- und Benutzermodell

Entwicklungsziel bei MMI

- Hohe Übereinstimmung zwischen mentalem Modell des Entwicklers und des Benutzer

Zielerreichung durch geeignete Gestaltung von

- Aufgaben
- Nahtstellen
- 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!

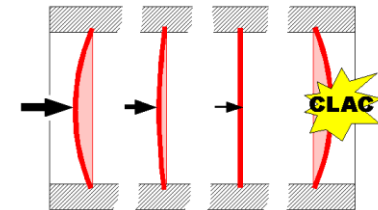
- Button (Schatten)

Taktil

- Tasten (Druckpunkt)
- „Knackfroscheffekt“ (taktil-auditiv)

Auditiv

- Touchscreen (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
- Verlaufs balken: Dauert an + weiterer Zeitbedarf

Zielfeedback

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

Bsp.:

- „Die Datei wurde gespeichert!“
- „Ihr Fahrschein wurde gedruckt!“

Zusammenfassung

Mehrstufiges Gedächtnismodell

- Reizaufnahme → Sensorischer Speicher → Kurzzeitgedächtnis → Langzeitgedächtnis

Regulations-Ebenenmodell

- Sensormotorische Verhaltensebene-> Regelbasierte Verhaltensebene-> Wissensbasierte Verhaltensebene

Feedback

- Handlungsfeedback
- Statusfeedback
- Zielfeedback

Literatur

Atkinson, R.C. und 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, S. 417-423.

Baddeley, A.D. und Hitch, G. (1974). Working memory. In G.H. Bower (Ed.), *The psychology of learning and motivation: Advances in research and theory*, 8, S. 47-89. New York: Academic Press.

Cowan, N. (2001). The magical number 4 in short-term memory: A reconsideration of mental storage capacity. *Behavioural and Brain Sciences*, 24, S. 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, S. 81-97.

Peterson, L.R. und Peterson, M.J. (1959). Short-term retention of individual verbal items. *Journal of Experimental Psychology*, 58, 193-198.

Chase, W. G. und Simon H. A. (1973). Perception in chess. *Cognitive Psychology*.

Literatur

Sperling, G. (1960). The information available in brief visual presentations. *Psychological Monographs: General and Applied*, 74, 11, S. 1-30.

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, S. 257-266.

Rasmussen, J., Pejtersen, A.M. und Goodstein L.P. (1994). *Cognitive Systems Engineering*. New York, NY: Wiley, S. 64 ff.

Reason, J. (1987). Generic Error-Modelling System (GEMS): A cognitive Framework for Locating Common Human Error Forms. In: Rasmussen, J., Duncan, K. und Leplat, J. (Hrsg.) *New Technology and Human Error*. Chichester, New York: Wiley, S. 63-86.

Reason, J. (1990). *Human Error*. Cambridge: Cambridge UP, S. 53 ff.

Wickens, Ch.D. (2003). *Introduction to Human Factors Engineering*. Pearson.

Heidelbach, C; Heinze, S; Graube, M; Urbas, L (2019): Kombiniertes Einsatz von AR/VR während der kollaborativen Störungsdiagnose in prozesstechnischen Anlagen. In: *Tagungsband GMA-Kongress Automation 2019*, Juni 2019, Baden-Baden. VDI

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit

Leon Urbas, leon.urbas@tu-dresden.de