

Neubewertung des Arbeitsgedächtnisses

Philipp Vath

Projektseminar konnektionistische Sprachverarbeitung
12.11.2009 - WS 09/10

basierend auf: MacDonald, Maryellen C., Christiansen, Morten H. (2002). Reassessing Working Memory. A comment on Just & Carpenter (1992) and Waters & Caplan (1996). *Psychological Review*, 109 (1), pp. 35-54.

Gliederung

- Motivation
- Symbolverarbeitende vs. konnektionistische Modelle
- Individuelle Unterschiede in der Sprachperformanz
 - durch Expertise
 - Grammatikleistung durch SRNs simuliert
 - Syntaktische und semantische Ambiguitäten
 - biologische und empirische Faktoren

Motivation

Neubewertung des Arbeitsgedächtnisses als Erklärung für Echtzeit-Sprachverarbeitung

- Welche Funktionen sind für Sprachverarbeitung unerlässlich ?
 - Vorübergehendes Speichern, Verändern und Erinnern von sprachlichen Elementen (Phoneme, Wörter, Satzteile, Sätze)
- Welche kognitiven Modelle realisieren Teile dieser Fähigkeiten ?
 - ▼ • Kurzzeitgedächtnis (ältere Theorien, symbolverarbeitend)
 - ▼ • **Sprachliches Arbeitsgedächtnis** (kurz: AG, Mehrkomponentenmodell von Baddeley und Hitch, 1974, symbolverarbeitend)
 - **Konnektionistisches Modell** → **KNNs** (2002)
- Wodurch lassen sich Unterschiede in der Performanz erklären ?
 - AG: Kapazität
 - KNN: Struktur und Anzahl der neuronalen Verbindungen

Performanz der Sprachverarbeitung

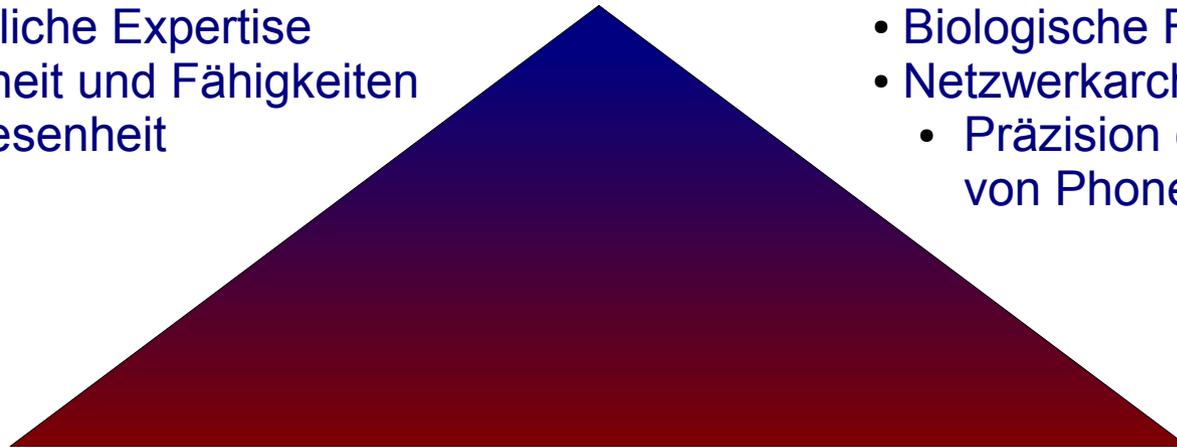
3 Theorien

MacDonald und Christiansen (2002)

konnektionistische Architektur - KNN

- sprachliche Expertise
- Geübtheit und Fähigkeiten
 - Belesenheit

- Biologische Faktoren
- Netzwerkarchitektur
 - Präzision der Repräsentation von Phonemen



symbolverarbeitende Architekturen

Waters und Caplan (1996)

- min. 2 verschiedene Arbeitsgedächtniskapazitäten
 - notwendige, unbewusste Prozesse
 - kontrollierte, verbal vermittelte Prozesse

Just und Carpenter (1992)

- Sprachliches AG getrennt von Repräsentation des Sprachwissens
- Individuelle Unterschiede aufgrund von Kapazitätsunterschieden im AG

Symbolverarbeitende Modelle

Just und Carpenter (1992): Berechnungsmodell „CC Reader“

- Produktionsregelsystem (entwickelt im 3CAPS-Framework)
 - interaktive (statt getrennt-modulare) Architektur:
 - Informationen verschiedener Repräsentationslevels können sich während der Verarbeitung gegenseitig beeinflussen
 - parallele (statt serielle) Architektur im Gegensatz zu ACT-R (Anderson):
 - verschiedene Produktionen (lexikalische, syntaktische) feuern parallel
 - Informationen (Syntax, Semantik) bleiben im AG, abhängig von eigener Aktivierung und max. Aktivierung für das AG
 - Trennung zwischen AG-Kapazität und Sprachwissen
- Performanzunterschiede
 - modelliert durch Unterschiede in max. Aktivierung für das AG

Symbolverarbeitende Modelle

Just und Carpenter (1992): Berechnungsmodell „CC Reader“

- Just und Carpenter (1992):
 - Erfahrung beeinflusst Effizienz des Echtzeit-Sprachverstehens nicht:
 - Sprachliche Erfahrung begrenzt auf Wortschatz
 - Stark begrenzte Effekte auf Prozesse des Echtzeit-Sprachverstehens
- MacDonald und Christiansen (2002):
 - Erfahrung begünstigt Effizienz des Echtzeit-Sprachverstehens durch:
 - Expertise in syntaktischen Strukturen
 - Expertise in bedingten Wahrscheinlichkeiten (für Interpretationen)
- Diskussion: Lerntheorie in Produktionsregelsystem modellierbar ?
 - „Was spräche gegen eine Auffassung von Echtzeit-Sprachverstehen als lernbares, komplexes prozedurales Wissen?“

Symbolverarbeitende Modelle

Zum Vergleich: Anderson (2004): ACT-R

- Adaptive Control of Thought-Rational (ACT-R)

- getrennt-modular (statt interaktiv)
- seriell (statt parallel)

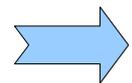
- ACT-R, 3CAPS, CC Reader:

- Prozedurales Wissen: kein Einfluss auf AG

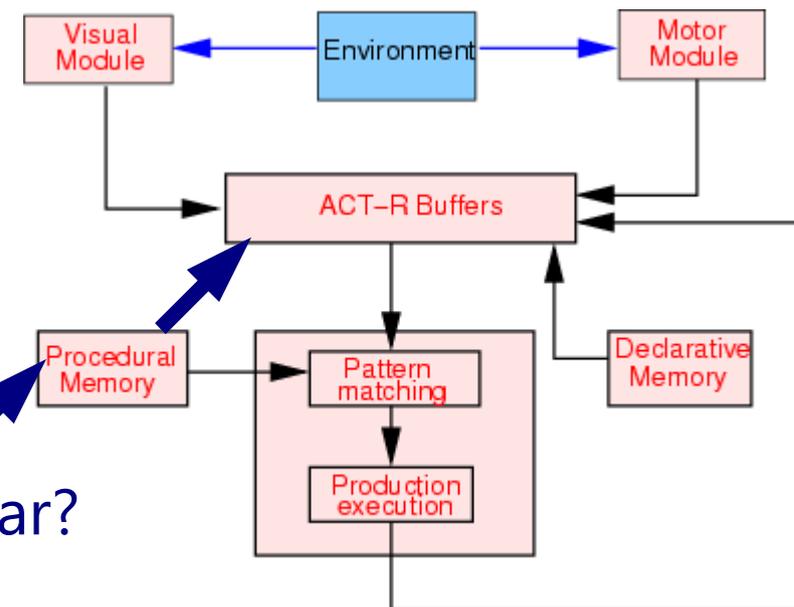


- Diskussion: Lerntheorie hier modellierbar?

- Prozedurales Wissen:



Leistungssteigernder Einfluss auf Aufgaben des AG



Symbolverarbeitende Modelle

Waters und Caplan (1996)

- Mehrere spezialisierte Sprachverarbeitungsmodulare, basierend auf
 - Neurobiologie
 - Modularität bei Ausfallerscheinungen
- min. 2 Arbeitsgedächtnisse:
 - 1 für unbewusste, notwendige Prozesse
 - 1 für bewusst kontrollierte, verbal vermittelte Prozesse
- Kritik
 - Navon (1984): Keine Berechnungsvorschrift, daher (rechnerisch) belanglos
 - Christiansen & MacDonald (1999): Unterspezifiziert → Navon hat Recht
 - Just et al. (1996): Sprachverarbeitung steht in ununterbrochenem Zusammenhang zwischen bewusster und unbewusster Verarbeitung



Konnektionistisches Modell

MacDonald und Christiansen (2002)

- Weiterleiten von Aktivierung durch ein Multilayer-Netzwerk
- Performanzunterschiede i.d. Sprachverarbeitung durch
 - Funktion (Input) \Rightarrow z.B. ob das Material komplex oder einfach ist
 - Netzwerkeigenschaften \Rightarrow wie Aktivierung weitergeleitet wird
 - Interaktion dieser Eigenschaften \Rightarrow wie oft zuvor ähnlicher Input „erfahren“ wurde
- Ort des Langzeit-Sprachwissens = Ort der Verarbeitung (Repräsentation und Verarbeitung nicht trennbar)
 - dennoch verschiedene Verarbeitungs- oder Sprachwissenskapazität möglich (individuelle Unterschiede)
 - Anzahl an hidden units, Trainingsläufen, Effizienz der Weiterleitung, Menge an Rauschen in den Inputsignalen

Performanzmaße

Messen individueller Unterschiede (konnektionistischer Ansatz (MDC))

- Alle Performanzmaße seien gleichbedeutend für die Sprachverarbeitungstheorie:
 - Lesespanne (Wörter an Satzenden merken, reading span task)
 - Latenz bei der lexikalischen Zuordnung
 - Lesezeiten
- Keine Trennung zwischen Verständnis-Aufgaben...
 - traditionell genannte „AG-Aufgaben“ (Erinnerungsaufgaben)
 - traditionell genannte „Verständnis-Aufgaben“
- ...weil Leistung durch ähnliche Faktoren beeinflusst wird:
 - Erfahrung
 - Phonologische Repräsentation und andere biologische Faktoren

Erfahrung in konnekt. Modellen

Individuelle Unterschiede (konnektionistischer Ansatz (MDC))

- Faktoren für die linguistische Erfahrung
 - Größe des Vokabulars
 - Eingabeverarbeitung (insbesondere Frequenz und Regularität von sprachlichen Mustern)
- Lernen der Verbindungsgewichte durch „Frequenz x Regularität“
 - Frequenz: Häufige Erfahrung resultiert in stabilem Mapping zwischen Input und Output. Z.B. Ausspracheerfolg bei irregulären Wörtern mit ungewöhnlicher Zuordnung von Rechtschreibung zu Klang:
 - have *or* deaf
 - Regularität: Performanz eines regulären Wortes wird zusätzlich durch Erfahrung mit Wörtern begünstigt, die ähnliche Zuordnungen von Rechtschreibung zu Klang haben:
 - cave, save *or* leaf, sheaf

Erfahrung in konnekt. Modellen

Individuelle Unterschiede (konnektionistischer Ansatz (MDC))

- Seidenberg (1985):
 - Sehr belesene VP: irreguläre Wörter nicht schwieriger, nur im Niedrigfrequenzbereich
 - Ungeübte Leser: höhere Latenzen für irreguläre Wörter außer im Hochfrequenzbereich
 - • Schnelle Berechnung irregulärer Aussprache bei Expertise (Regularität spielte weniger eine Rolle)
- • Unterschiedliche Muster der Frequenz x Regularität - Interaktionen
 - ↑ • Mehr Erfahrung beim Lesen (VP mit mehr oder komplexerem Trainingsmaterial als ungeübte Leser)

Komplexe eindeutige Sätze

Individuelle Unterschiede (konnektionistischer Ansatz (MDC))

- Subjektrelativsätze einfacher als Objektrelativsätze
 - „The reporter [that attacked the senator] admitted the error“ [S->V->O]
 - „The reporter [that the senator attacked] admitted the error“ [O<- S->V]
- Beobachtung
 - Hohe Lesespanne (reading span) begünstigt im schwierigen Fall die Leistung. Objektrelativsätze sind für Erfahrene Leser leicht zu verstehen.
- Grund: hohe Expertise = Frequenz sorgt für geringere Relevanz der Regularität
 - *wie im Bsp. der Zuordnungsleistung von Rechtschreibung zu Aussprache:*
- ✘ empirisch nachgewiesene Frequenz x Regularität – Interaktion statt Beweis für individuelle, spezielle AG-Kapazität für Relativsätze

Simulieren unterschiedl. Erfahrung

Individuelle Unterschiede (konnektionistischer Ansatz (MDC))

- Netzwerkperformanz nach $N = s \cdot E$ Trainingsdurchläufen = Erfahrung
 - Wahrscheinlichkeitsverteilung für Folgewörter bei Subjekt- und Objektrelativteilsätzen

- SRN mit Kontextknoten - Algorithmus:
 - 1. Zeitschritt t : Eingabemuster liegt an Eingabeschicht an
 - 2. Aktivierung wird vorwärts durch die verdeckte Schicht zur Ausgabeschicht geleitet
 - 3. Netzwerkgewichte werden gemäß dem Backpropagation Lernalgorithmus gelernt
 - 4. Zeitschritt $t+1$: Aktivierung der verdeckten Schicht zur Zeit t wird „zurückkopiert“ in Kontextschicht und mit aktueller Eingabe verrechnet
 - *Wiederhole Schritte 2 – 4 für N Trainingsläufe*

s : *sweeps* (**Muster**)
 E : *epochs* (**Darbietungen**)

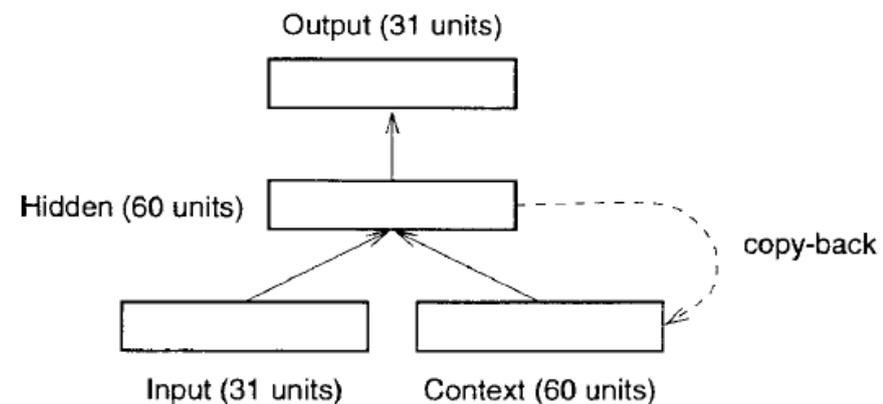


Figure 1. The basic architecture of the simple recurrent network used in the subject- and object-relative simulation. Arrows with solid lines denote trainable weights; the arrow with the dashed line denotes the copy-back connections.

Modifizierung der Gewichte

Backpropagation für mehrschichtige KNNs

Liegt das Neuron in einer verdeckten Schicht, so wird seine Gewichtung abhängig von dem Fehler geändert, den die nachfolgenden Neuronen erzeugen, welche wiederum ihre Eingaben aus dem betrachteten Neuron beziehen.

Die Änderung der Gewichte kann nun wie folgt vorgenommen werden:

$$w_{ij}^{\text{neu}} = w_{ij}^{\text{alt}} + \Delta w_{ij}$$

1. Liegt das Neuron in der Ausgangsschicht, so ist es direkt an der Ausgabe beteiligt,
2. liegt es dagegen in einer verdeckten Schicht, so kann die Anpassung nur indirekt berechnet werden.

$$\Delta w_{ij} = \eta \delta_j x_i$$

mit

$$\delta_j = \begin{cases} \varphi'(\text{net}_j)(t_j - o_j) & \text{falls } j \text{ Ausgabeneuron ist,} \\ \varphi'(\text{net}_j) \sum_k \delta_k w_{jk} & \text{falls } j \text{ verdecktes Neuron ist.} \end{cases}$$

Dabei ist

Δw_{ij} die Änderung des Gewichts w_{ij} der Verbindung von Neuron i zu Neuron j ,

η eine feste Lernrate, mit der die Stärke der Gewichtsänderungen bestimmt werden kann,

δ_j das Fehlersignal des Neurons j ,

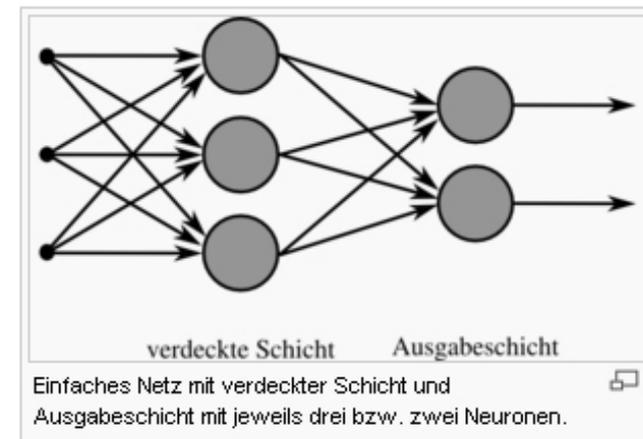
x_i die Ausgabe des Neurons i ,

t_j die Soll-Ausgabe des Ausgabeneurons j ,

o_j die Ist-Ausgabe des Ausgabeneurons j und

k der Index der nachfolgenden Neuronen von j .

Knoten i vor j



Simulieren unterschiedl. Erfahrung

Individuelle Unterschiede (konnektionistischer Ansatz (MDC))

$$GPE(\text{grammatical prediction error}) = 1 - \frac{H}{H+F+M}$$

$$\text{hits } H = \sum_{i \in G} u_i$$

$$\text{false alarms } F = \sum_{i \in U} u_i$$

$$\text{misses } M = \sum_{i \in G} (H+F) m_i$$

u_i Aktivierung Knoten i

G Menge aktiv. grammatikalischer Knoten

U Menge aktiv. ungrammatikalischer Knoten

$$m_i = \begin{cases} 0 & t_i - u_i \leq 0 \\ t_i - u_i & \text{otherwise} \end{cases}$$

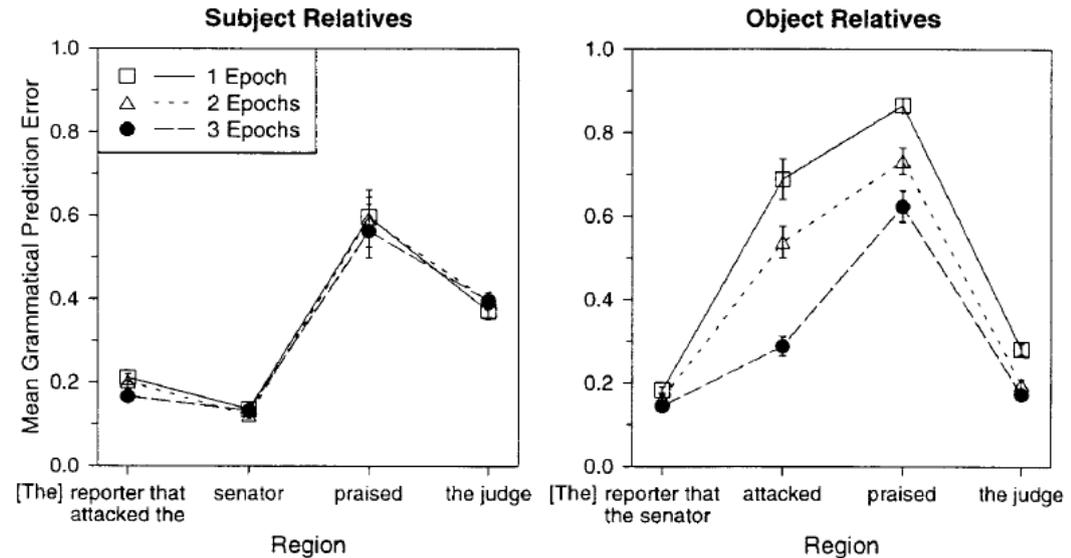


Figure 2. Network performance on sentence involving singly embedded subject- and object-relative clauses. Grammatical prediction error scores were averaged over 10 novel sentences of each kind and grouped into four regions to facilitate comparisons with the human data (see Just & Carpenter, 1992, Figure 9, p. 140). Error bars represent standard error.

- Expertise: Schwierigkeit der Irregularität nimmt ab
 - Zunehmende Episode → abnehmender GPE bei Objektrelativsätzen
 - GPE nähert sich dem von Subjektrelativsätzen an

Syntaktische Ambiguitäten

Individuelle Unterschiede (konnektionistischer Ansatz (MDC))

- MacDonald et. al: Main verb (MV) – reduced relative (RR) Ambiguitäten
 - *The experienced soldiers warned about the dangers before the midnight raid.*
 - *The experienced soldiers warned about the dangers conducted the midnight raid.*
- Beobachtung
 - Erhöhte Lesezeit bei high-span Lesern in der vereindeutigenden Region
- Sensitivität für bedingte Wahrschk. zur Ambiguitätsauflösung
 - Pearlmutter and MacDonald (1995): Erfahrene Leser haben mehr komplexe Constraints zur Auflösung von Mehrdeutigkeiten, die effizient berechnet werden können
 - Trueswell, Sekerina, Hill and Logrip (1999): Bestätigt in Studie mit Kindern unterschiedlichen Alters

Kontext bei Ambiguitätsauflösung

Individuelle Unterschiede (konnektionistischer Ansatz (MDC))

- Verwenden kontextueller Informationen bei der MV-RR Ambiguitätsauflösung
 - Kontext interpretieren bezüglich Plausibilität:
 - Ist das Verb, das an das Nomen des Subjektes angrenzt, aktiv oder passiv?
- Waters & Caplan (1996): Erfahrene Leser kombinieren Information effizienter
 - MacDonald & Christiansen (2002): Erfahrung ermöglicht schnellere Berechnung von Wahrscheinlichkeiten (Plausibilität), die stärker binden, als erhöhte Frequenzen
- Berechnung der Wahrscheinlichkeiten (Plausibilität)
 - abhängig von der Frequenz einer Verknüpfung, z.B.:
 - gemeinsames Vorkommen von Verb und Nomen (MV-RR)
 - Verknüpfung verschiedener Buchstaben (Lesen)

Extrinsic Memory Load

Biologische und empirische Faktoren

- Experimente mit Extrinsic Memory Load
 - Lesen von Sätzen, gleichzeitiges Merken von Wörtern/Stellen, später Abruf
 - Sprachverstehen unter gleichzeitiger Belastung („Last“)
- Beobachtung
 - Interferenzen zwischen „Last“ und Sprachverarbeitung
- ➔ • Ungenaueres Sprachverstehen ➔ geringere Abruf-/Wiedergabeleistung
- Aktivierung phonologischer Repräsentationen
 - notwendig, um eine Menge unzusammenhängender Wörter zu behalten
 - stört eigentliche Sprachverarbeitung

Funktionelle Magnetresonanztomographie (fMRI)

Biologische und empirische Faktoren

- Waters und Caplan, Just et al (1996): Sprachverstehen vs. Fixierung eines visuellen Kreuzes

- „Lese-und-Behalte“ Aufgaben vs. „Lese-nur“ Aufgaben:

- Broca-Areal (gramm. Aspekte):
Gleiche Aktivierung
- Wernicke-Areal (auditiv. & Sprachverständnis):
Eröhte Aktivierung bei ersteren

- Zusätzliche phonologische Aktivierung bei

- „Lese-und-Behalte“ Aufgaben wegen

- • Extrinsic Memory Load

- • Kein AG, sondern lediglich zusätzliche Orte mit Aktivierung



Zusammenfassung

- Erfahrung und biologische Faktoren sind empirisch besser nachweisbare Faktoren für Sprachverarbeitungsperformanz als Kapazitätsunterschiede im Arbeitsgedächtnis.
- Untrennbarkeit von Sprachverarbeitung (wofür „Kapazität“ stand) und Sprachwissen in konnektionistischem Modell
- SRNs modellieren Erfahrung durch eingebaute Lerntheorie und resultierende Netzwerkstruktur
- Erfahrene Leser können komplexe Constraints für Interpretationen effizienter berechnen. Deren Effekt ist meist stärker, als der Effekt der Häufigkeit bei hochfrequenten Sprachmustern.
- Erhöhte Aktivierungen in bestimmten Hirnregionen können teilweise durch Interferenzen zwischen Zusatzbelastungen und eigentlicher Sprachverarbeitung erklärt werden.

Quellen

MacDonald, Maryellen C., Christiansen, Morten H. (2002). Reassessing Working Memory. A comment on Just & Carpenter (1992) and Waters & Caplan (1996). Psychological Review, 109 (1), pp. 35-54.

Webseiten (Inhalte):

<http://de.wikipedia.org/wiki/Arbeitsgedächtnis>

http://en.wikipedia.org/wiki/Sentence_processing

<http://de.wikipedia.org/wiki/Backpropagation>

<http://de.wikipedia.org/wiki/ACT-R>

http://en.wikipedia.org/wiki/Reading_span_task

<http://de.wikipedia.org/wiki/Broca-Areal>

<http://de.wikipedia.org/wiki/Wernicke-Areal>

Webseiten (Inhalte und Bilder):

<http://pi.informatik.uni-siegen.de/Arbeitsgebiete/ci/knn/>

<http://act-r.psy.cmu.edu/about/>

http://de.wikipedia.org/wiki/Funktionelle_Magnetresonanztomographie