

---

# Wissensrepräsentation

Sommersemester 2005

---

Carola Eschenbach

Christopher Habel

Özgür Özçep

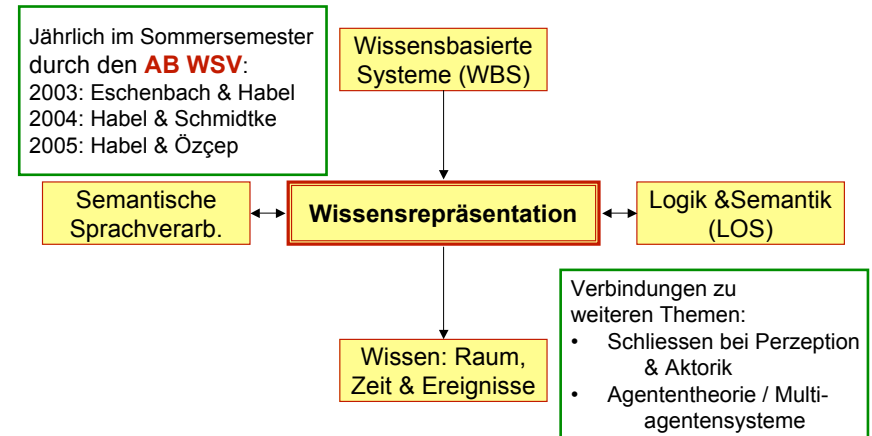
Universität Hamburg

FB Informatik

AB Wissens- und Sprachverarbeitung (WSV)

---

## Stellung im Studienplan: Intelligente Systeme



---

Wissensrepräsentation, SoSe 2005  
Ch. Habel / C. Eschenbach

1 - 2

---

# Wissensrepräsentation

Christopher Habel, Özgür Özçep

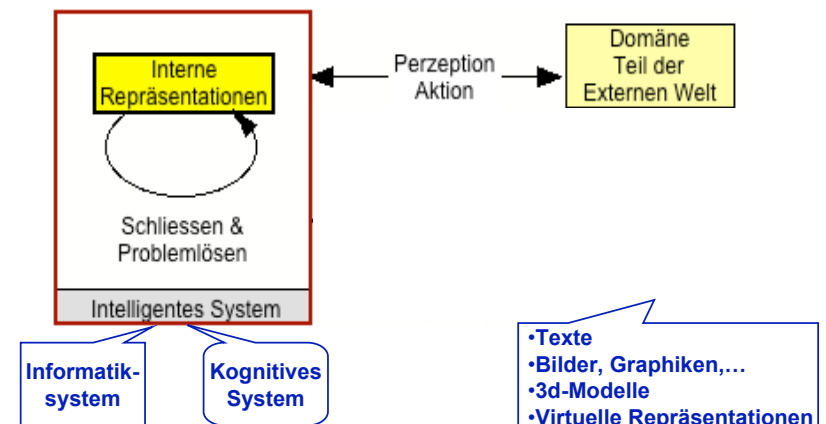
Sommersemester 2005

---

## Vorlesung 1: Einleitung

- Motivation: Problemlösen, Wissensrepräsentation & intelligente Agenten
- Beziehung zu anderen Vorlesungen im Hauptstudium
- Gliederung der Vorlesung, Vorgehen & Literatur

## Intelligente Systeme (1)

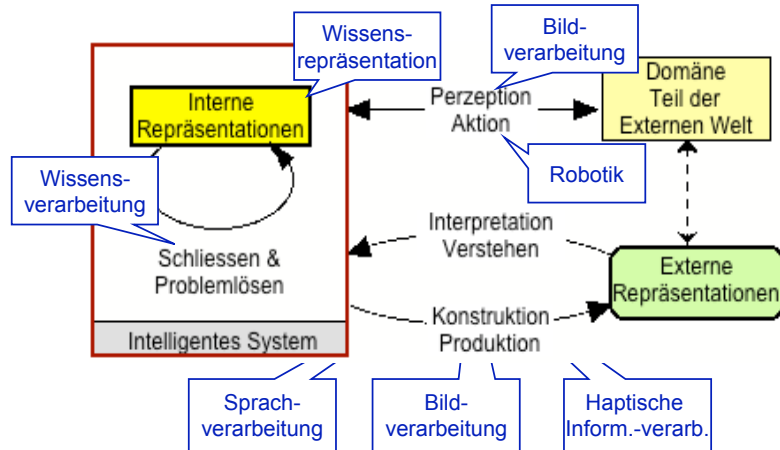


---

Wissensrepräsentation, SoSe 2005  
Ch. Habel / C. Eschenbach

1 - 4

## Intelligente Systeme (2)



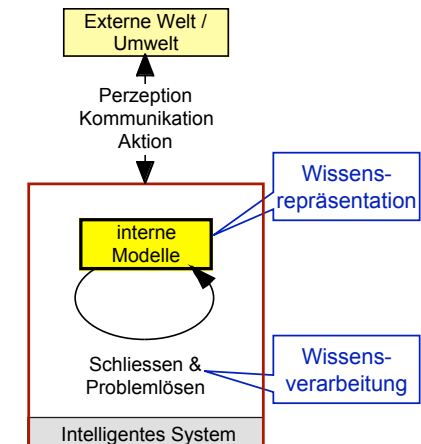
## Problemlösen

### Berechnung der Lösung

- Algorithmus

### Suche / Herleitung der Lösung

- Problem- / Lösungsraum
- Suchstrategien
- Bewertungen / Heuristiken
- Schlussverfahren



## Problemlösen

### Berechnung der Lösung

- Algorithmus

### Suche / Herleitung der Lösung

- Problem- / Lösungsraum
- Suchstrategien
- Bewertungen / Heuristiken
- Schlussverfahren

### Andere Lehrveranstaltungen des Hauptstudiums

- WBS (Wissensbasierte Systeme)
  - Suchverfahren
  - Ableitung von Antworten aus Wissensbasen
  - Planung
- LOS (Logik & Semantik)
  - Deduktionsverfahren der Logik
  - Ableitbarkeit – Folgerbarkeit
  - Beweisverfahren – Semantik

## Repräsentationen beim Problemlösen (1)

### Prozedurale Darstellung

- Lösungsweg

### Deklarative Darstellung

- Problembeschreibung
  - Weltausschnitt
  - Ziel
- Hintergrundwissen (Wissensbasis)
  - Beziehung zwischen Elementen der Repräsentation, bzw. der Repräsentationssprache
- Verarbeitung von deklarativen Darstellungen

## Repräsentationen beim Problemlösen (2)

### KI-Forschungsstrategie

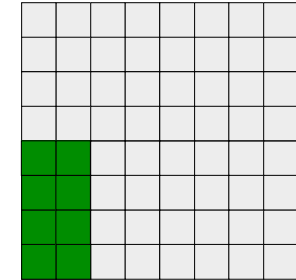
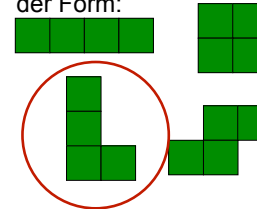
- Trennung in allgemeine Problemlösungsverfahren und symbolische Beschreibungen der speziellen Problemstellung
- Eine adäquate Beschreibung ist essentiell für die Leistungsfähigkeit des Problemlösungsverfahrens

## Schachbrettüberdeckungsaufgaben

### Aufgabenschema:

- Gegeben ein Schachbrett und Steine einer gewissen Form und Größe

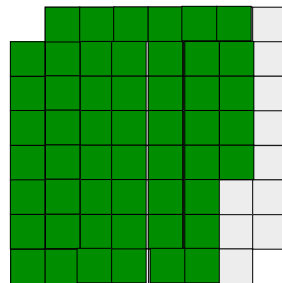
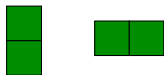
- Überdecke das Schachbrett mit Steinen der Form:



## Mutilated chessboard

### Aufgabenschema:

- Aus dem Schachbrett werden zwei Eckfelder entfernt.
- Überdecke das Schachbrett mit Steinen der Größe 2:

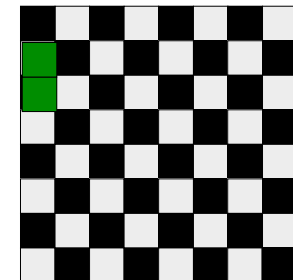


## Mutilated chessboard: Jetzt ist es wirklich ein Schachbrett !

### Andere Repräsentation → andere

#### Problemlösungsmöglichkeiten:

- Herausgenommen werden zwei Eckfelder:
- Ein Zweier wird aufgelegt.
- Ein Zweier überdeckt ein weißes und ein schwarzes Feld.
- Aber: Das verstümmelte Schachbrett hat zwei weiße Felder mehr, als es schwarze Felder hat.
- **Geht nicht!**



## Anmerkungen zum *Mutilated Chessboard*


Das Problem des *mutilated chessboard* (auch *notched checkerboard* genannt) stammt aus der kognitionspsychologischen Problemlösungsforschung.

Wickelgren, Wayne A. (1974). *How to Solve Problems. Elements of a Theory of Problems and Problem Solving.* New York: W.H. Freeman.

Aus Sicht der KI-Forschung wird es in Raphael, B. (1976). *The thinking computer.* San Francisco: Freeman. diskutiert.

## Problemlösen – Ein Beispiel: **Zählen und Rechnen**

Die Entwicklung von **Zahlssystemen** und **Rechenmethoden** ist eine der wichtigsten Leistungen der menschlichen Kultur und Wissenschaft.

- 1. Phase: direkte Korrespondenz  

- 2. Phase: Verwendung von Kollektiveinheiten  
z.B.: ägyptisches, römisches Zahlssystem
- 3. Phase: Positionale Zahlssysteme  
z.B.: indisches, arabisches Zahlssystem
- 4. Phase Abstraktion über Zahlssystemen:  
Algebraische Arithmetik

## Kollektiveinheiten (1): Römisches Zahlssystem

I	V	X	L	C	D	M
1	5	10	50	100	500	1000

**Unterschiede zum arabischen Zahlssystem:**

- Gegebenfalls grosse Anzahl von Kollektivzahlsymbolen
- Relative (aber nicht die absolute) Position kann Bedeutung tragen.

**Rechnen mit römischen Zahlen ?!**

$$18 \times 59 = ?$$

$$XVIII \times LIX = ?$$

## Kollektiveinheiten (2): Ägyptisches Zahlssystem

			
1	10	100	1000
Strich	Hufeisen	gerolltes Tau	Lotusblume


18 → 

**Vergleich mit dem arabischen Zahlssystem:**

- Gegebenfalls grosse Anzahl von Kollektivzahlsymbolen  
z.B. 999 benötigt 27 Zeichen
- Position ist im Prinzip beliebig, obwohl Standardreihenfolgen existieren.

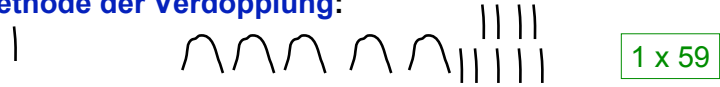
### Multiplikation im Ägyptischen Zahlssystem (1)

18 x 59

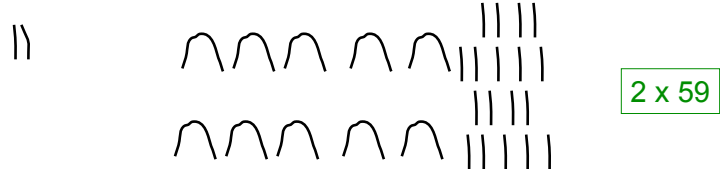


**Methode der Verdopplung:**

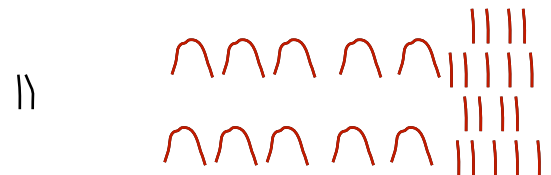
1 1 x 59




11 2 x 59



### Multiplikation im Ägyptischen Zahlssystem (2)



2 x 59



= 118

### Multiplikation im Ägyptischen Zahlssystem (3)

**weitere Verdopplungen:**

1111 4 x 59



111111 8 x 59



11111111 16 x 59



### Multiplikation im Ägyptischen Zahlssystem (4)

**Zum Abschluss eine Addition:**

11 2 x 59



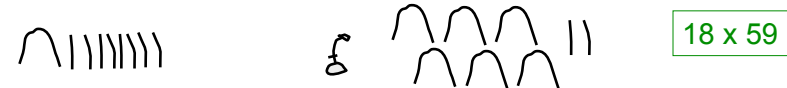
+

11111111 16 x 59



=

1111111111 18 x 59



## Positionale Zahlssysteme

- Das bei uns verwendete Dezimalsystem geht auf die indisch-arabische Tradition zurück.
- Vorteile:
  - Es wird ein beschränkter Satz von Grundsymbolen (Ziffern) benötigt.
  - Einfache Rechenregeln für die zu den Grundsymbolen korrespondierenden Zahlen
  - Additions- und Multiplikationsregeln (-Tafeln)
  - Regeln für die Berechnungen zwischen Positionen (Überträge)
- Es wird ein besonderes Symbol für „Nichtbenutzung einer Position“ benötigt. (0)

## Multiplikation in Positionalen Zahlssystemen

### „Russische Multiplikation“

59	18
118	9
236	4
472	2
944	1

Warum funktioniert das Verfahren?

„Halbieren und die Ungeraden benutzen“ korrespondiert zur **Dualdarstellung**.

verdoppeln halbieren

Anschließend „die ungeraden aufaddieren“!

$$118 + 944 = 1062$$

## Die Indische Multiplikation: Gittermethode

		5	9	
		0	0	1
		4	7	8
	1	1	0	2
1	0	6	2	

Behandelt Überträge einfach und systematisch.

## Problemlösen – Zählen und Rechnen: Zusammenfassung

### Gegenstandsbereich:

#### Zahlen und Operationen über Zahlen

### Unterschiedliche Darstellungen (Repräsentationen) der Zahlen

- ermöglichen unterschiedlich effiziente Berechnungen
- Unterschiedlich leistungsfähige Problemmodellierungen, die auf Zahlen und Zahlrepräsentationen beruhen:
  - 0: Markierung für eine nicht genutzte Position oder Symbol für eine Zahl (Indische Mathem. 7. Jhd.)
  - Negative Zahlen (Indische Mathematik des 7. Jhd.)
  - Brüche (babylonische und ägyptische Mathematik)

## Anmerkungen zu Zahlsystemen und Rechenmethoden

---

### Literatur

Aus der Sicht der Geschichte der Mathematik

Kline, Morris (1972). *Mathematical thought - From ancient to modern times*. New York: Oxford University Press. (three volumes)

Scriba, Christoph J. (1968). *The Concept of Number*. Bibliographisches Institut: Mannheim-Zürich.

Aus der Sicht der Kognitionswissenschaft

Dehaene, Stanislas (1997). *The number sense – How the mind creates mathematics*. New York: Oxford University Press.

Butterworth, Brian (1999). *The mathematical brain*. London: Macmillan.

## Problemlöser und Agenten (1)

---

### Problemlöser

- Eingabe vom Nutzer
  - Kodierung des Problems durch Nutzer
- Verarbeitung
- Ausgabe an Nutzer
  - (Interpretation des Ergebnisses durch Nutzer)

### Agent

(Wooldridge & Jennings, 1995)

An *agent* is a computer system that is *situated* in some *environment*, and that is capable of *autonomous action* in this environment in order to meet its design objectives.

### Agent

(Russell & Norvig, 2003)

An *agent* is anything that can be viewed as perceiving its *environment* through *sensors* and acting upon that environment through *actuators*.

## Problemlöser und Agenten (2)

---

### Agent (Eigenschaften jenseits des Problemlösers)

- **Wahrnehmung** der Umwelt
  - Kodierung der Wahrnehmung
  - Symbol-Grounding
    - Bestimmung der Beziehung zwischen Repräsentationen (bzw. internen Zuständen) und den physikalischen Entitäten in der (Um-)Welt
- Ausführung von **Aktionen**
  - Aktionen verändern Umwelt oder Relation des Agenten zur Umwelt

## Agenten & Wissen

---

### Ohne Repräsentation

### Mit Repräsentation

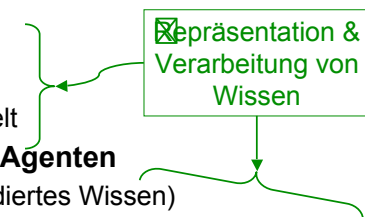
- Interne Zustände
- Aufgaben / Pläne
- Repräsentation der Umwelt

### Schließende /räsonierende) Agenten

- Wissensbasis (explizit kodiertes Wissen)
- Wissensverarbeitung / Logik (implizit kodiertes Wissen)

### Lernende Agenten

- Aufbau einer Wissensbasis (Erwerb von Wissen)



## Intentional Stance

---

### Haltung gegenüber Agenten

“The intentional stance is the strategy of interpreting the behavior of an entity (person, animal, artifact, or the like) by treating it as if it were a rational agent that governed its ‘choice’ of ‘action’ by a ‘consideration’ of its ‘beliefs’ and ‘desires’ ”  
(Dennett)

#### ➤ *intentional stance*

- rationale, nützliche Form des Anthropomorphismus
- Erwartungen an einen Intelligenzen Agenten

#### ➤ **Anforderungen an Künstliche Agenten**

- Korrektheit, Verlässlichkeit
- Vollständigkeit, Sorgfalt (keine Lösungen übersehen)

## Konsequenzen für Wissensrepräsentation & Wissensverarbeitung

---

### Formale Fundierung der Repräsentationssprache

- Semantik der Repräsentationssprache
- Beweis- / Ableitungsverfahren
- Wissensverarbeitung & Logik
  - WR basiert auf Logik
  - Modifikationen / Erweiterungen sind notwendig

### Relevante Aspekte beim Entwurf von Repräsentationssystemen

- Durchschaubarkeit (→ Entwickler, Nutzer)
- Berechnungsverhalten (→ Effizienz, Handlungsfähigkeit)
- Zuverlässigkeit

## Struktur von Wissensbasen

---

### Korrespondenz: Wissensbasen – Gedächtnis

#### episodisch

- Individuelle Aufgaben, Konstellationen, Lösungen

#### semantisch / konzeptuell

- Beziehungen zwischen Repräsentationseinheiten

#### Arbeitsgedächtnis:

- aktuelle Aufgaben, Umwelt, Pläne

### + **Schluss- / Verarbeitungsmethoden,**

die auf explizitem Wissen (= Inhalt der Wissensbasis) operieren.

## Struktur der Wissensbasis (2)

---

### Fakten und Regeln

#### explizites Wissen

- Inhalt der Wissensbasis

#### implizites Wissen

- ableitbar aus der Wissensbasis
- korrekte Schlüsse (→ Wahrheit)
  - Folgerbarkeit (→ Logik)
- Kombination von Fakten und Regeln

## Regeltypen

---

### Rein Repräsentations- / Wahrheitsbezogen

- Wenn A (wahr ist), dann (ist) B (wahr).
- Wenn (du an) A (glaubst), dann (mußt du) B (glauben).

### Aktionsbezogen: Dynamic view of rules

(Brachman & Levesque)

- Wenn A (wahr ist), dann (führe) B (aus).

### Aktionen auf der Repräsentation

- Wenn A (wahr ist), dann füge B in die Repräsentation ein / lösche C aus der Repräsentation
- Wenn (du) A (ausführst), dann füge B in die Repräsentation ein / lösche C aus der Repräsentation
- → STRIPS, PLANNER

## Logik als Repräsentationssprache

---

### Lange Tradition

- Prinzipien der denotationellen Semantik (→ LOS)
- Berechnungsmethoden
- Grenzen der Berechenbarkeit

### Semantik

(→ LOS)

- Wahrheitsbezug:
  - Zentrale syntaktische Kategorien sind Propositionen / Aussagen
- Kompositionalität der Wahrheitswertberechnung
- Folgerung
- Äquivalenz

## Repräsentationssprache: Symbole

---

### Formale Anteile

- feststehende Interpretation
- (feststehende) Verarbeitung (durch Interpreter)
- logische Symbole
- (gebundene) Variablen
- epistemische Operatoren (Modalitäten)

### Verfügbare Anteile

- domänenspezifisch
- freie Interpretation im gewählten Weltausschnitt

## Repräsentationssprache: Komplexe Ausdrücke

---

### Grammatik

- Syntaktische Kategorien
  - Prädikate, Relationssymbole
  - Individuenrepräsentationen (Namen)
- Einbettung syntaktischer Komplexe

### Strukturiert

- Semantische Kategorien
  - korrespondierend zu syntaktischen Kategorien
- Kompositionalität der Interpretation
- Terminologische Bedingungen
  - Semantische Beziehungen zwischen verfügbaren Symbolen
  - Ausdrückbarkeit durch Kombination

## Formale Elemente der (Aussagen-)Logik

Zur  
Erinnerung !

### Syntaktische / Semantische Kategorie

- Aussagen / Propositionen
  - Wahrheitswert

### Operatoren

- Konjunktion (Zusammenfassung)
- Disjunktion (Auswahl, Abdeckung, Unterbestimmtheit)
- Negation
- Implikation / Konditional (Bedingung, Unterordnung)
- Biimplikation / Gleichwertigkeit

## Formale Elemente der Prädikatenlogik

Zur  
Erinnerung !

### Syntaktische / Semantische Kategorien

- Terme
  - Interpretation als Objekt
- Prädikate
  - Interpretation als Eigenschaften, Relationen
  - Abstraktion: Prädikats- / Konzeptbildung
- Aussagen / Propositionen
  - Applikation: Prädikat-Argument-Struktur
  - Wahrheitswert

### Operatoren: Quantoren

- All-Quantifikation : Verallgemeinerung
- Existenz-Quantifikation: Unterbestimmtheit im Objektbezug

## Weitere – in der Wissensrepräsentation verwendete – formale Elemente

### Modallogik

- Modalitäten (epistemisch, deontisch, temporal)

### Alternative Logiken

- Relevanzlogik
- Intuitionistische Logik
- Probabilistische Logiken
- Nicht-monotone Logiken

### Aus der Wissensrepräsentation / Sprachanalyse

- Prädikationstypen

## Zentrale Themen der Vorlesung

### 1. Intelligente Agenten

- Zusammenwirken von Fakten & Regeln
- Interne Struktur von Wissensbasen

### 2. „Handhabbare“ Wissensrepräsentation

- Effizienz der Verarbeitung → Agenten
- Durchschaubarkeit → Konstrukteur, Nutzer

### ➤ Wissenrepräsentation für Handeln in der realen Welt

- Common Sense Reasoning
- Modifikationen & Erweiterungen der logischen Basis

## Gliederung der Vorlesung

---

### Einleitung: Überblick und Motivation

#### 1. Wissensbasierte Agenten

- Typen von Agenten
- Logik & Produktionssysteme

#### 2. „Handhabbare“ Wissensrepräsentationssysteme

- Beschreibungslogik(en)
- Constraintsysteme
- Relationensysteme

#### 3. Schliessen unter Unsicherheit: Nichtdeduktive Wissensverarbeitung

- nichtmonotones Schliessen & Abduktion
- Bayes Netze & probabilistisches Schliessen
- Belief revision

#### 4. Wissen über Aktionen

- Situationskalkül, Golog

## Vorgehen & Literatur

---

### Vorgehen

- **Vorlesung** → Folien im Netz zugänglich  
[http://www.informatik.uni-hamburg.de/WSV/teaching/vorlesungen/WissRep\\_SoSe05.php](http://www.informatik.uni-hamburg.de/WSV/teaching/vorlesungen/WissRep_SoSe05.php)  
es werden z.T. Folien von Brachman&Levesque bzw. Russell & Norvig verwendet.

- **Übungen** (meist in der Freitagsvorlesung): **essentiell**

### Literatur

- Brachman, Ronald J. & Levesque, Hector J. (2004). *Knowledge Representation and Reasoning*. San Francisco, C: Morgan Kaufmann.
- Russell, Stuart & Norvig, Peter (2003). *Artificial intelligence: A modern approach*. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall - Pearson.
- + diverse Aufsätze (Literaturhinweise in den einzelnen Vorlesungen)

## weitere Literatur zur 1. Vorlesung

---

### Agententheorie

Wooldridge, M. & Jennings, N. R. (1995). Intelligent Agents: Theory and Practice. *Knowledge Engineering Review*, 10. 115–152.

Wooldridge, M. (2000). Reasoning about rational agents. MIT-Press: Cambridge, MA.

Wooldridge, M (2002). An Introduction to MultiAgent Systems. Wiley: Chichester, UK.

### Intentional Stance

Dennett, D. (1987). The Intentional Stance. MIT-Press: Cambridge, MA.

Dennett, D. (1999). The Intentional Stance. In R. Wilson & F. Keil (eds.). *The MIT encyclopedia of the cognitive sciences*. (pp. 412–413). MIT-Press: Cambridge, MA.