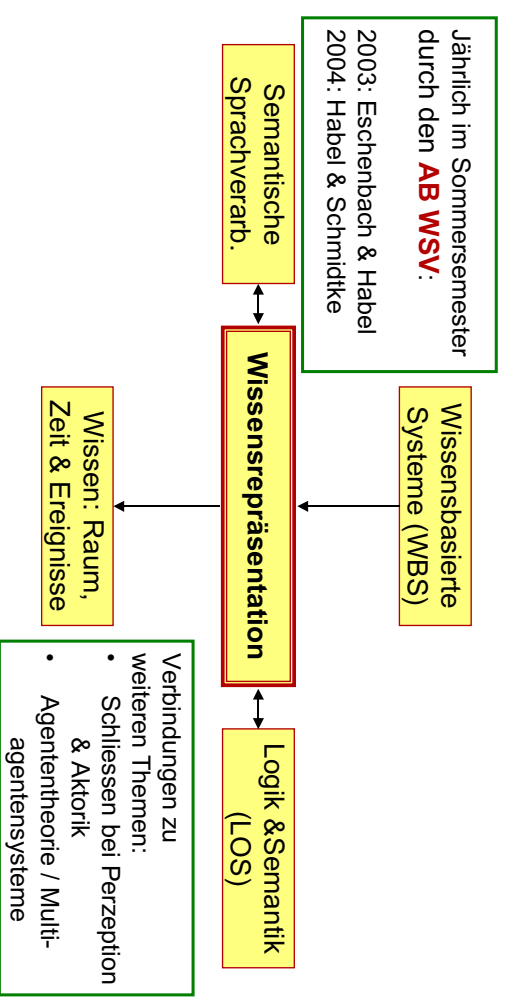


# Wissensrepräsentation

Carola Eschenbach  
Christopher Habel  
Hedda Schmidtke

Universität Hamburg  
FB Informatik  
AB Wissens- und Sprachverarbeitung (WSV)

## Stellung im Studienplan: Intelligente Systeme



Wissensrepräsentation, SoSe 2004  
Ch. Habel / C. Eschenbach / H. Schmidtke

1 - 2

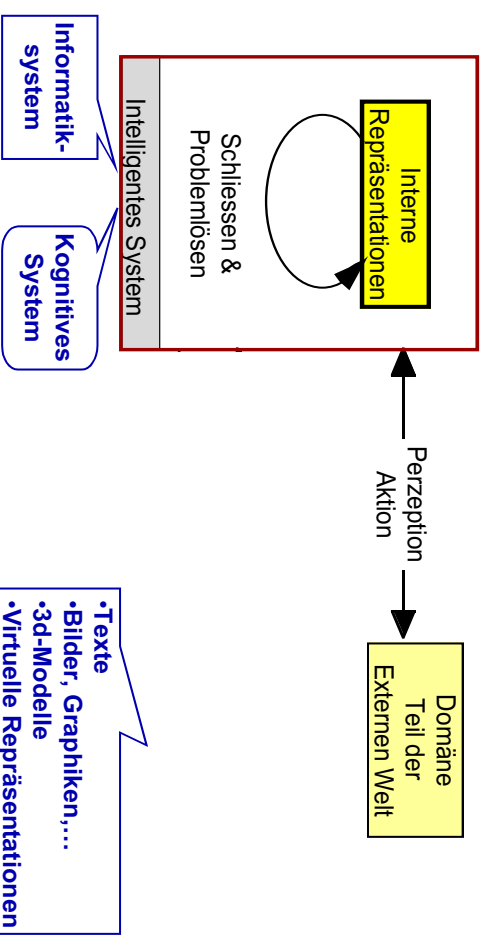
# Wissensrepräsentation

Christopher Habel, Hedda Schmidtke  
Sommersemester 2004

## Vorlesung 1: Einleitung

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

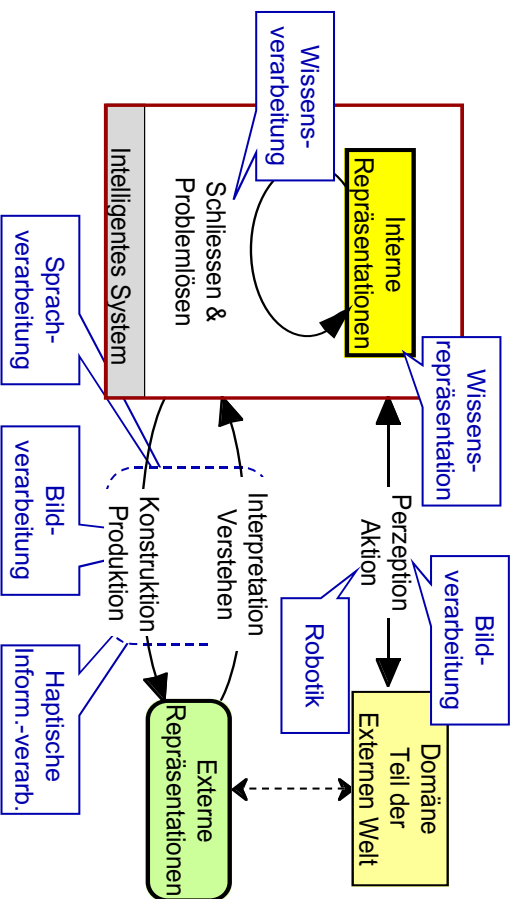
## Intelligente Systeme (1)



Wissensrepräsentation, SoSe 2004  
Ch. Habel / C. Eschenbach / H. Schmidtke

1 - 4

## Intelligente Systeme (2)



## Problemlösen

### Berechnung der Lösung

- Algorithmus

### Anderer Lehrveranstaltungen des Hauptstudiums

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

### Suche / Herleitung der Lösung

- Problem- / Lösungsraum
- Suchstrategien
- Bewertungen / Heuristiken

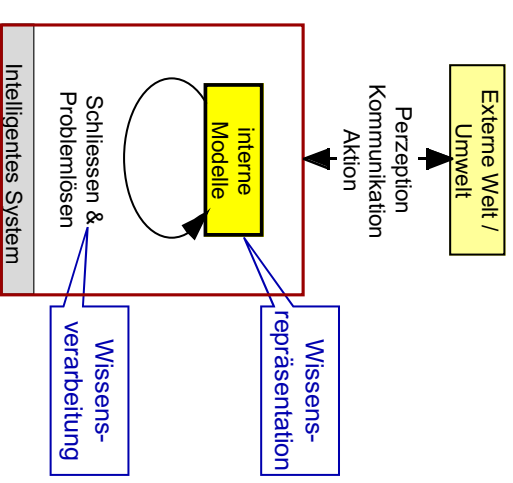
## Problemlösen

### Berechnung der Lösung

- Algorithmus

### Suche / Herleitung der Lösung

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



## 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

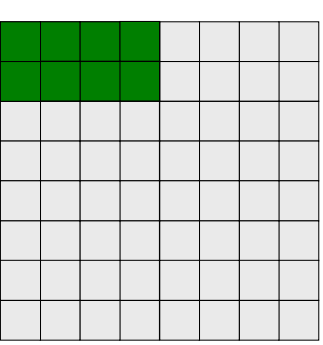
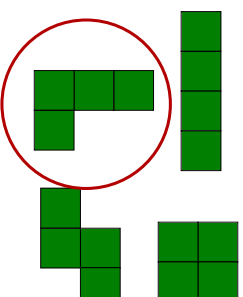
- Trennung in allgemeine Problemlösungsverfahren und symbolische Beschreibungen der speziellen Problemstellung
- Eine adäquate Beschreibung ist essentiell für die Leistungsfähigkeit des Lösungsverfahrens

## 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:




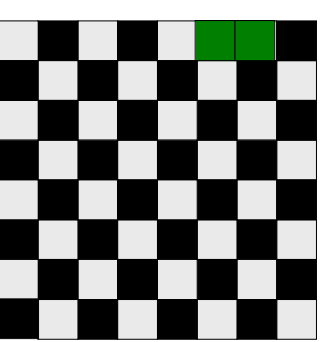
## Mutilated chessboard:

Jetzt ist es wirklich ein Schachbrett !

---

### Anderer 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.

## 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 ~~X~~ 59 = ?  
XVIII ~~X~~ LIX = ?

## 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 (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)

$$18 \times 59$$



• Methode der Verdopplung:



$$1 \times 59$$



$$2 \times 59$$



## Multiplikation im Ägyptischen Zahlssystem (2)



$$2 \times 59$$



$$= 118$$

## Multiplikation im Ägyptischen Zahlssystem (3)

weitere Verdopplungen:



$$4 \times 59$$



$$8 \times 59$$

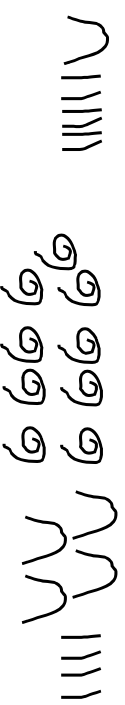


$$16 \times 59$$

Zum Abschluss eine Addition:



$$2 \times 59$$



$$16 \times 59$$



$$18 \times 59$$

## 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)

Wissensrepräsentation, SoSe 2004  
Ch. Habel / C. Eschenbach / H. Schmidtke

1 – 21

## Die Indische Multiplikation: Gittermethode

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

Behandelt Überträge einfach und systematisch.

Wissensrepräsentation, SoSe 2004  
Ch. Habel / C. Eschenbach / H. Schmidtke

1 – 23

## Multiplikation in Positionalen Zahlssystemen

### „Russische Multiplikation“

59	18
118	9
236	4
472	2
944	1

verdoppeln halbieren

Anschließend „die ungerade aufaddieren“!

$$118 + 944 = 1062$$

Warum funktioniert das Verfahren?

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

Wissensrepräsentation, SoSe 2004  
Ch. Habel / C. Eschenbach / H. Schmidtke

1 – 22

## 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)

Wissensrepräsentation, SoSe 2004  
Ch. Habel / C. Eschenbach / H. Schmidtke

1 – 24

## Anmerkungen zu

### Zahlssystemen 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)

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 (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

### 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*.

### Agenten & Wissen

#### Ohne Repräsentation

#### Mit Repräsentation

- Interne Zustände
- Aufgaben / Pläne
- Repräsentation der Umwelt

#### Schließende 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)

---

## 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.

## 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 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 Interpretier)
- logische Symbole
- (gebundene) Variablen
- epistemische Operatoren (Modal)

### Verfügbare Anteile

- domänenspezifisch
- freie Interpretation im gewählten Weltausschnitt

## Repräsentationssprache: Komplexe Ausdrücke

---

### Grammatik

- Syntaktische Kategorien
  - Prädikate, Relationssymbole
  - Individuenrepräsentationen (Namen)
- Einbettung verfügbarer durch formale Symbole

### Strukturiert

- Semantische Kategorien
  - korrespondierend zu syntaktischen Kategorien
- Kompositionalität der Interpretation
- Terminologische Bedingungen
  - Semantische Beziehungen zwischen verfügbaren Symbolen
- Ausdruckbarkeit 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

## 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

## 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

## 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

### ➤ Wissensrepräsentation 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

- Beschreibungsllogik(en)
- Constraintssysteme
- Relationensysteme

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

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

#### 4. Wissen über Aktionen

- Situationskalkül, Golog

---

Wissensrepräsentation, SoSe 2004

Ch. Habel / C. Eschenbach / H. Schmidtko

1 – 41

---

## 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.

### Instational 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.

---

Wissensrepräsentation, SoSe 2004

Ch. Habel / C. Eschenbach / H. Schmidtko

1 – 43

## Vorgehen & Literatur

---

### Vorgehen

- **Vorlesung** → Folien im Netz zugänglich  
[http://www.informatik.uni-hamburg.de/WSV/teaching/vorlesungen/WissRep\\_SoSe04.php](http://www.informatik.uni-hamburg.de/WSV/teaching/vorlesungen/WissRep_SoSe04.php)  
es werden z.T. Folien von Brachman&Levesque bzw. Russell & Norvig verwendet.
- **Übungen** (überwiegend Montags 10-11): **essentiell**

### Literatur

- Ronald J. Brachman & Hector J. Levesque, *Knowledge Representation and Reasoning*, (to be published 2004)  
→ **Kopiervorlage** im WSV-Sekr. F 428
  - Russell, Stuart & Norvig, Peter (2003). *Artificial intelligence: A modern approach*. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall - Pearson.
- + diverse Aufsätze (Literaturhinweise in den einzelnen Vorlesungen)

---

Wissensrepräsentation, SoSe 2004

Ch. Habel / C. Eschenbach / H. Schmidtko

1 – 42