

# Wissensrepräsentation

—  
 Christopher Habel, Hedda Schmidtke  
 Sommersemester 2004

## Sitzung 4: Wissensrepräsentation und Agenten

- (Wissens-)Repräsentation
- Wissensbasierte Agenten
- Struktur von Wissensbasen
- Regeltypen (Regeln: Logik und Produktionssysteme)

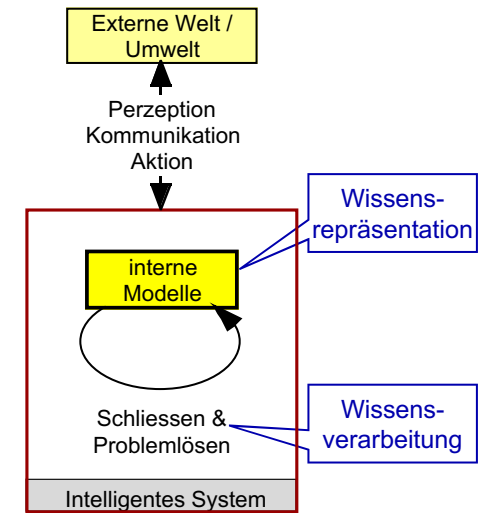
## Wissensrepräsentation & -verarbeitung

### Berechnung der Lösung

- Algorithmus

### Suche / Herleitung der Lösung

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



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

4 – 2

## Allgemeine Repräsentationstheorie: Palmer (1978)

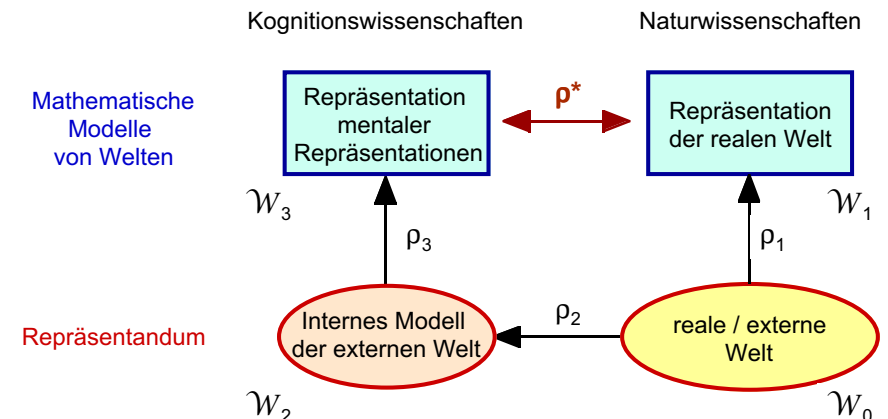
### Repräsentationssituation

- repräsentierte Welt (Repräsentandum)  $\mathcal{W}_1$ 
  - Aspekte, die modelliert werden (Struktur)
- repräsentierende Welt (Repräsentation)  $\mathcal{W}_2$ 
  - Aspekte, die modellieren (Struktur)
- Korrespondenz (Repräsentationsabbildung)  $\rho$ 
  - $\rho: \mathcal{W}_1 \rightarrow \mathcal{W}_2$

### Keine Isomorphie

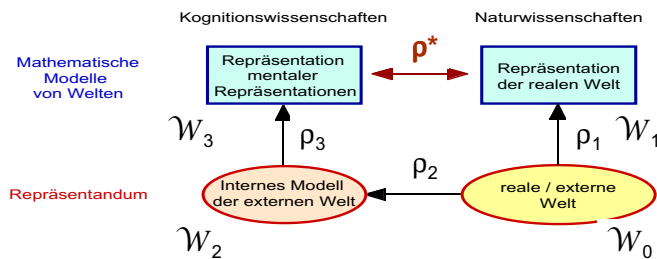
- (Un-) Vollständigkeit
- Detailliertheit, Genauigkeit, Exaktheit, ...

## Formale Modelle in den Wissenschaften



Habel (1994, 2002).

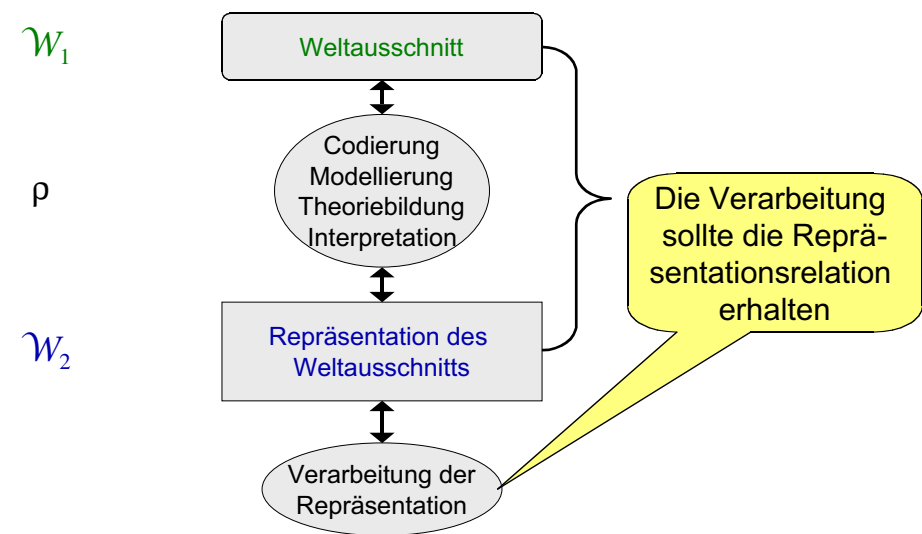
## Formale Modelle in den Wissenschaften



Fokus auf  $\mathcal{W}_1$ :  
Ergänzung / Unterstützung der menschlichen Leistung  
Informationssysteme, Expertensysteme, Planungshilfen

Fokus auf  $\mathcal{W}_3$ :  
Nachvollziehen der menschlichen Leistung  
Kommunikation, Schnittstellen, Robotik, Kognitionswissenschaft

## (Wissens-)Repräsentation und Verarbeitung



## Repräsentationen beim Problemlösen (1)

### KI-Forschungsstrategie

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

## Repräsentationen beim Problemlösen (2)

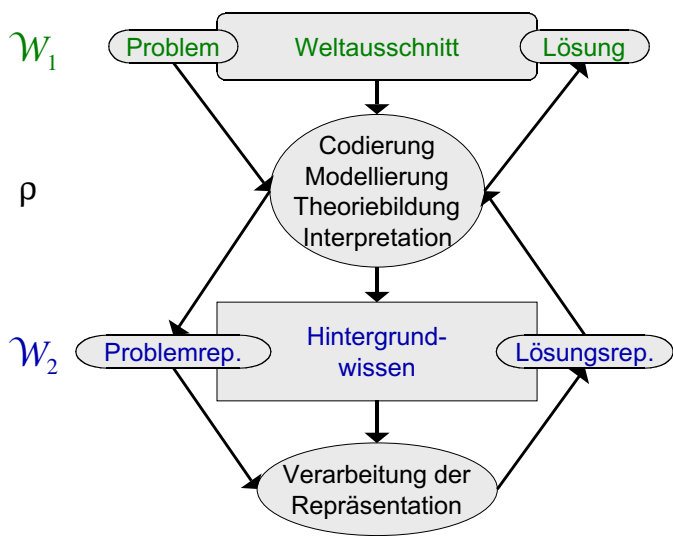
### Prozedurale Darstellung / spezifischer Algorithmus

- Festlegung des Lösungswegs
- implizit kodiertes Wissen

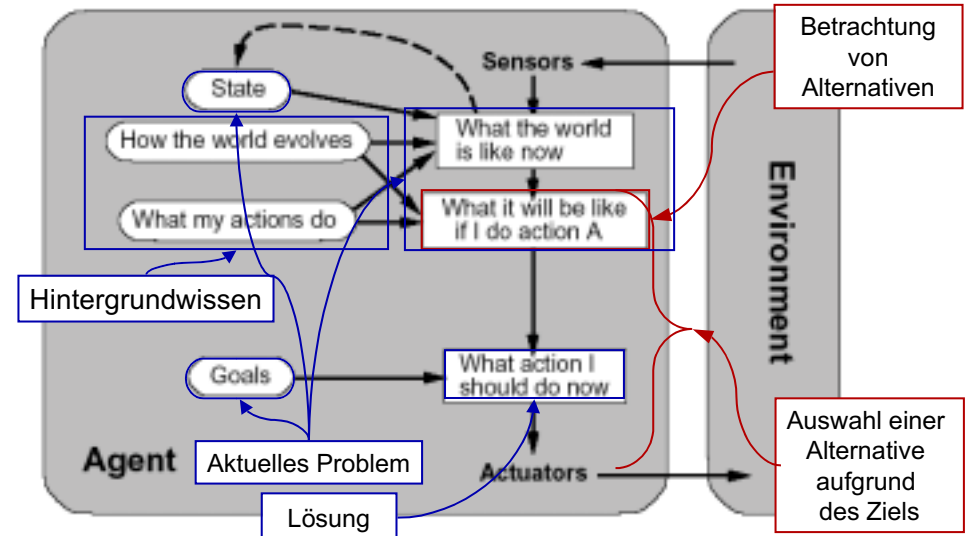
### Deklarative Darstellung

- Trennung von Wissensbasis und Verarbeitung
- explizit kodiertes Wissen
  - Hintergrundwissen
    - Beziehung zwischen Elementen der Repräsentation, bzw. der Repräsentationssprache
  - Repräsentation des aktuell zu lösenden Problems
    - Wissen über die aktuelle Situation / Weltausschnitt
    - Ziel
- erschließbares Wissen (implizites Wissen)

## Wissensbasierte Problemlösung



## Goal-based agent



## Wissensbasierte Agenten (knowledge-based agents)

```
function KB-AGENT(percept) returns an action
```

```
static: KB, a knowledge base
```

```
t, a counter, initially 0, indicating time
```

```
TELL(KB, MAKE-PERCEPT-SENTENCE(percept, t))
```

```
action ← ASK(KB, MAKE-ACTION-QUERY(t))
```

```
TELL(KB, MAKE-ACTION-SENTENCE(action, t))
```

```
t ← t + 1
```

```
return action
```

MAKE-PERCEPT-SENTENCE

→ Repräsentation, dass der Agent zur Zeit *t* *percept* wahrnimmt.

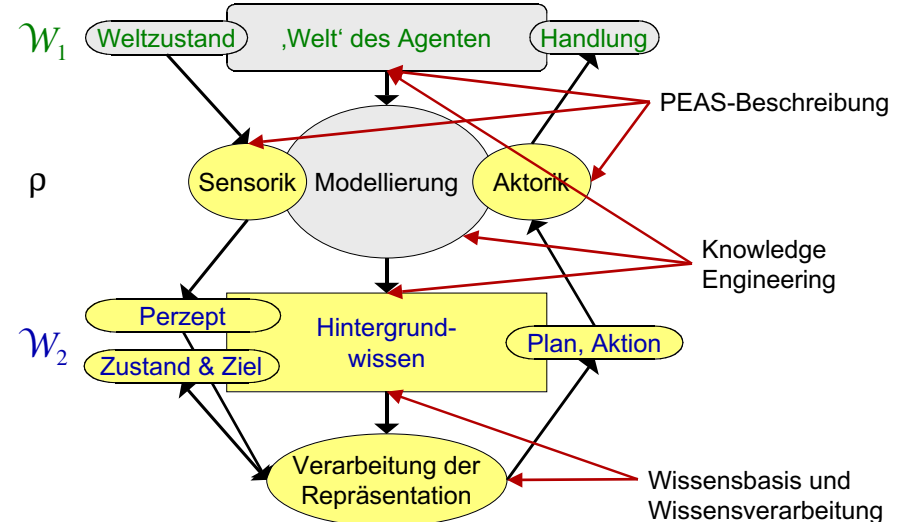
MAKE-ACTION-QUERY

→ Frage nach geeigneter Aktion zu *t*

MAKE-ACTION-SENTENCE

→ Repräsentation, dass der Agent zur Zeit *t* *action* ausführen will.

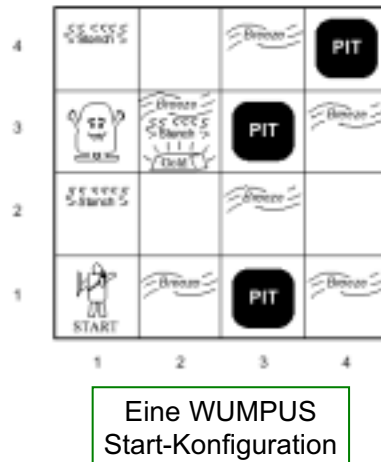
## Wissensbasierter Agent



## WUMPUS World

Eine *Höhlenwelt*, bestehend aus:

- Ein Agent, der Gold sucht. Er besitzt einen Bogen mit einem Pfeil.
- Ein Monster (Wumpus), das jeden frisst, der seine Kammer betritt.
- Fallgruben, in die der Agent fallen kann, aber nicht der Wumpus.



## Wissen für die Wumpus-Welt

- Jede Zelle hat höchstens einen W-Nachbar.
- Wenn Zelle x W-Nachbar von Zelle y ist, dann ist y O-Nachbar von x.
- Zelle y ist genau dann Nachbar von Zelle x, wenn y W-Nachbar, O-Nachbar, N-Nachbar oder S-Nachbar von x ist.
- In einer Zelle gibt es genau dann einen Luftzug, wenn in (mind.) einer Nachbarzelle eine Fallgrube ist.
- Der Agent perzipiert genau dann einen Luftzug, wenn er sich in einer Zelle mit Luftzug befindet.
- Wenn A in Zelle x ist, nach W ausgerichtet ist, x einen W-Nachbar hat und A vorwärts geht, dann ist A anschließend in der W-Nachbarzelle von x.

## Wumpus-Wissen in Prädikatenlogik (1)

- Jede Zelle hat höchstens einen W-Nachbar.  
 $\forall x, y, z [W\text{-Nachbar}(y, x) \wedge W\text{-Nachbar}(z, x) \Rightarrow y = z]$
- Wenn Zelle x W-Nachbar von Zelle y ist, dann ist y O-Nachbar von x.  
 $\forall x, y [W\text{-Nachbar}(x, y) \Rightarrow O\text{-Nachbar}(y, x)]$
- Zelle y ist genau dann Nachbar von Zelle x, wenn y W-Nachbar, O-Nachbar, N-Nachbar oder S-Nachbar von x ist.  
 $\forall x, y [Nachbar(y, x) \Leftrightarrow (W\text{-Nachbar}(y, x) \vee O\text{-Nachbar}(y, x) \vee N\text{-Nachbar}(y, x) \vee S\text{-Nachbar}(y, x))]$
- In einer Zelle gibt es genau dann einen Luftzug, wenn in (mind.) einer Nachbarzelle eine Fallgrube ist.  
 $\forall x [Luftzug(x) \Leftrightarrow \exists y [Nachbar(y, x) \wedge hatFallgrube(y)]]$

## Wumpus-Wissen in Prädikatenlogik (2)

- Der Agent perzipiert genau dann einen Luftzug, wenn er sich in einer Zelle mit Luftzug befindet.
  - Ort des Agenten ist zeitabhängig (Agent ist mobil)
  - Wahrnehmung ist orts- und damit zeitabhängig. $\forall t [spürtLuftzug(A, t) \Leftrightarrow \exists x [in(A, x, t) \wedge Luftzug(x)]]$
- Wenn A in Zelle x ist, nach W ausgerichtet ist, x einen W-Nachbar hat und A vorwärts geht, dann ist A anschließend in der W-Nachbarzelle von x.
  - Aktionen sind nicht wahr oder falsch sondern werden ausgeführt oder nicht
  - Aktionen bewirken Veränderungen $\forall t, x, y [in(A, x, t) \wedge W\text{-Ausrichtung}(A, t) \wedge W\text{-Nachbar}(y, x) \wedge Do(t, A, forward) \Rightarrow in(A, y, next(t))]$

## Anfang und Ziel

---

- Die Startposition des Agenten ist [1, 1].
- Am Anfang hat der Agent einen Pfeil und kein Gold.
- Am Anfang lebt der Agent.
- Am Anfang befindet sich (irgendwo) in der Höhle Gold und ein lebender Wumpus.
  
- Ziel des Agenten ist, mit dem Gold (lebend) die Höhle zu verlassen.
- Nur im Notfall sollte von Waffen Gebrauch gemacht werden.

Präsenzaufgabe: Schlagen Sie Formalisierungen vor.  
Erläutern Sie Besonderheiten und Herausforderungen

## Weitere Regeln

---

- Wenn du dich an demselben Ort befindest wie das Gold und das Gold nicht hast, dann nimm das Gold.
- Wenn du das Gold siehst, dann bist Du an demselben Ort wie das Gold und hast es nicht.
- Wenn Du das Gold hast, dann verlasse die Höhle auf dem kürzesten sicheren Weg, den Du kennst.
- Gehe nur in Zellen, die sicher sind.
- Wenn eine Zelle den lebenden Wumpus enthält, dann ist sie nicht sicher.
- Wenn eine Zelle sicher ist, dann enthält sie weder einen lebenden Wumpus noch eine Fallgrube.

Präsenzaufgabe: Schlagen Sie Formalisierungen vor.  
Erläutern Sie Besonderheiten und Herausforderungen

## Arten von Wissen(-sbasen) in der Wumpus-Welt

---

### Generelle Weltbeschreibung

- Räumliche Struktur der Welt
- Zeitlich: nur der Agent kann sich bewegen (?)
- Handlungsbezogen: Restriktionen und Effekte

### Aktuelle Problem- und Lösungsbeschreibung

- gegenwärtige Position des Agenten
- gegenwärtige Perzepte
- im aktuellen Durchlauf gesammelte Information über die spezifische Situation / Konfiguration
- (aktuelles) Ziel, Plan

### Erfahrungen

- ‚frühere Fälle‘

## Struktur von Wissensbasen

---

### Korrespondenz: Wissensbasen – Gedächtnis

#### generell: semantisch / konzeptuell

- Beziehungen zwischen Repräsentationseinheiten

#### aktuell: Arbeitsgedächtnis

- aktuelle Aufgaben, Umwelt, Pläne

#### Erfahrungen: episodisch

- Individuelle Aufgaben, Konstellationen, Lösungen

## Struktur der Wissensbasis (2)

---

### Explizites Wissen

- Inhalt der Wissensbasis
- Fakten und Regeln ( $\approx$  Regularitäten)

### + Schluss- / Verarbeitungsmethoden

- operieren auf explizitem Wissen
- Ableitungs-, Beweisverfahren

### → implizites Wissen

- Ableitbar aus der Wissensbasis
- Korrekte Schlüsse (→ Wahrheit)
  - Folgerbar (→ Logik)
- Kombination von Fakten und Regeln
  - resultiert meistens in neuen Fakten

## Regeltypen: Wenn A, dann B.

---

### Rein Repräsentations- / Wahrheitsbezogen

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

### Aktionsbezogen: Dynamic view of rules (B&L)

- Wenn A (wahr ist), dann (führe) B (aus).
  - Wenn (du) A (glaubst), dann (führe) B (aus).
- Handlungskontrolle / Planung

### Zielbezogen

- Wenn (du) A (erreichst), dann (erreichst du auch) B.
- Handlungskontrolle / Planung

## Regeltypen (2)

---

### Produktionsregeln: Aktionen auf der Wissensbasis

- Wenn A (wahr ist), dann füge B in die Wissensbasis ein.
- Wenn (du) A (ausführst), dann füge B in die Wissensbasis ein.

### Negation ?

- Wenn A (wahr ist), dann lösche C aus der Wissensbasis.
- Wenn (du) A (ausführst), dann lösche C aus der Wissensbasis

➤ Beispiele: STRIPS, OPS5

## Logik als Repräsentationssprache

---

### Lange Tradition

- Prinzipien der denotationellen Semantik
- elaborierte Ableitungsmethoden
- Grenzen der Berechenbarkeit

### Semantik

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

## Wissensbasen und Folgerung

Entailment means that one thing *follows from* another:

$$KB \models \alpha$$

Knowledge base  $KB$  entails sentence  $\alpha$   
if and only if  
 $\alpha$  is true in all worlds where  $KB$  is true

- Wenn  $KB$  die Welt korrekt beschreibt
- und  $KB \models \alpha$ ,
- dann beschreiben auch  $\alpha$  und  $KB \cup \{\alpha\}$  die Welt korrekt.
- Ergänzung von  $\alpha$  zerstört bestehende Rep.-Beziehungen nicht

### Aus der Perspektive eines Agenten

- Wenn  $KB \models \alpha$ ,
- dann ist der Agent mit  $KB$  berechtigt, auf  $\alpha$  zu schließen.

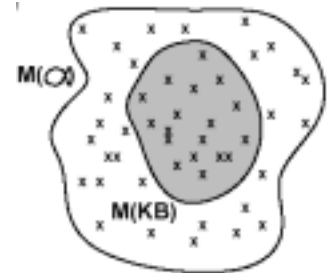
## Wissensbasen: Folgerung & Modelle

Logicians typically think in terms of **models**, which are formally structured worlds with respect to which truth can be evaluated

We say  $m$  is a **model** of a sentence  $\alpha$  if  $\alpha$  is true in  $m$

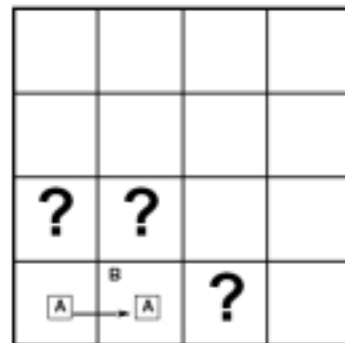
$M(\alpha)$  is the set of all models of  $\alpha$

Then  $KB \models \alpha$  if and only if  $M(KB) \subseteq M(\alpha)$



## Folgerung in der WUMPUS-Welt

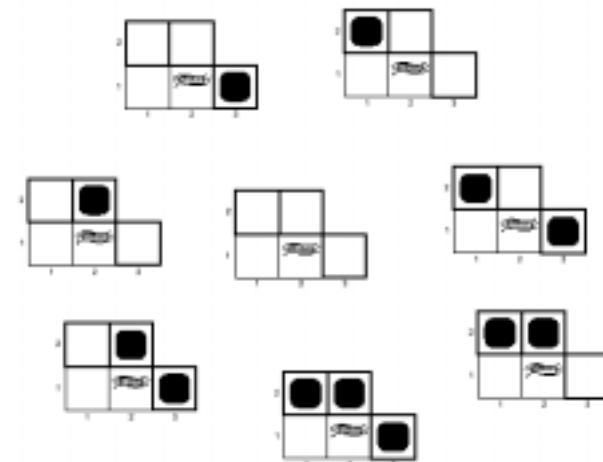
Situation after detecting nothing in  $[1,1]$ ,  
moving right, breeze in  $[2,1]$



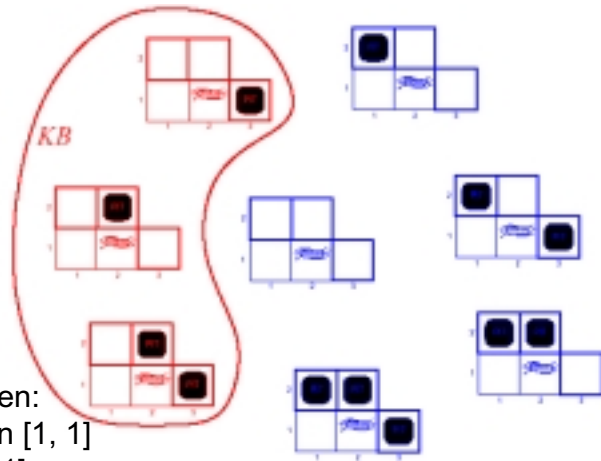
Consider possible models for ?s  
assuming only pits

3 Boolean choices  $\Rightarrow$  8 possible models

## Mögliche Verteilung von Fallgruben drei Kammern



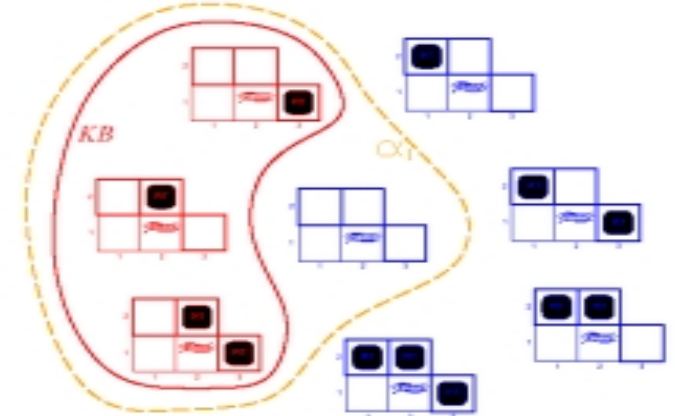
## Modelle und Inhalt der Wissensbasis des Agenten



Beobachtungen:  
kein Luftzug in [1, 1]  
Luftzug in [2, 1]

$KB = \text{wumpus-world rules} + \text{observations}$

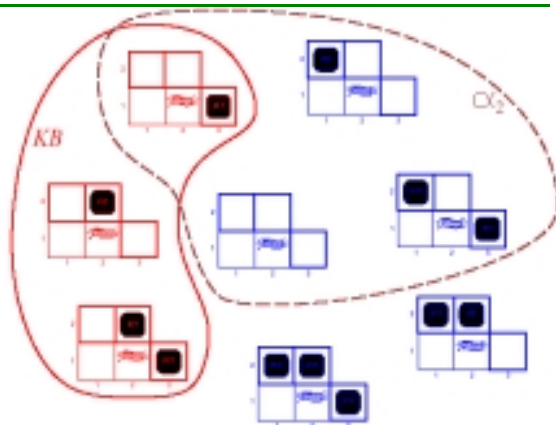
## Beweis durch ‚Model-checking‘



$KB = \text{wumpus-world rules} + \text{observations}$

$\alpha_1 = \text{“}[1,2] \text{ is safe”}$ ,  $KB \models \alpha_1$ , proved by model checking

## Gegenbeweis durch ‚Model-checking‘



$KB = \text{wumpus-world rules} + \text{observations}$

$\alpha_2 = \text{“}[2,2] \text{ is safe”}$ ,  $KB \not\models \alpha_2$

### 2.1 Deductive Reasoning Agents

- How can an agent decide what to do using theorem proving?
- Basic idea is to use logic to encode a theory stating the *best* action to perform in any given situation.
- Let:
  - $\rho$  be this theory (typically a set of rules);
  - $\Delta$  be a logical database that describes the current state of the world;
  - $A_c$  be the set of actions the agent can perform;
  - $\Delta \vdash_{\rho} \phi$  mean that  $\phi$  can be proved from  $\Delta$  using  $\rho$ .

## Aktionsauswahl und Logik

*/\* try to find an action explicitly prescribed \*/*

```
for each  $a \in A_c$  do
  if  $\Delta \vdash_p Do(a)$  then
    return  $a$ 
  end-if
```

end-for

*/\* try to find an action not excluded \*/*

```
for each  $a \in A_c$  do
  if  $\Delta \not\vdash_p \neg Do(a)$  then
    return  $a$ 
  end-if
```

end-for

return null */\* no action found \*/*

Entscheidbarkeit ?

Was, wenn  $Do(a)$  und  $Do(b)$   
( $a \neq b$ ) ableitbar sind ?

Was bedeutet  $Do(a)$  ?

<http://www.csc.liv.ac.uk/~mjw/pubs/maas/>

8

### Probleme

- Prädikatenlogik erster Stufe ist semi-entscheidbar
- Selbst in der Aussagenlogik kann ein Beweis sehr aufwendig sein
- Beweisverfahren können die Struktur der Welt nicht nutzen

### Lösungen

- Aufwandsbeschränkungen bei den Beweisen
- Einschränkung der Sprache
  - (Teilmenge der Prädikatenlogischen Sprache)
- spezifischere Verfahren, die die Struktur des Problemraums nutzen können

## Produktionssysteme: Vorschau auf 5. Vorlesung

### Grundprinzip

- Arbeitsspeicher: Fakten
  - Problem, partielle Lösung, ...
- Hintergrundwissen: Bedingungs-Aktions-Regeln (Produktionen)
  - Linke Seite: LHS: Bedingungen
  - Rechte Seite: RHS: Aktionen

### Recognize-Act-Zyklus

- 1) Stelle fest, welche LHS durch den aktuellen Zustand des Arbeitsspeichers erfüllt wird.
- 2) Wähle eine der zugehörigen Produktionen aus.
- 3) Führe die Aktionen der entsprechenden RHS aus.
- 4) Weiter bei 1)