

**DAI-Labor**  
TU Berlin



## Grundlagen der Künstlichen Intelligenz

**Einführung in die KI**  
**20.10.2005**

Dr.-Ing. Stefan Fricke  
stefan.fricke@dai-labor.de

**AIOIT**  
Agententechnologien in  
betrieblichen Anwendungen  
und der Telekommunikation

### Gliederung

- ⇒ Die Lehrveranstaltung GKI im Überblick
- ⇒ Was ist Künstliche Intelligenz?
- ⇒ Geschichtlicher Überblick
- ⇒ Intelligente Softwareagenten
- ⇒ Zusammenfassung und Ausblick

AIOIT Grundlagen der Künstlichen Intelligenz © Dr.-Ing. Stefan Fricke 2

### Inhalte der LV GKI

- ⇒ **Problemlösen (3 Termine)**
  - Suchalgorithmen, Informed Search, Constraintenerfüllung, Spiele, Planen
- ⇒ **Logik & Wissensrepräsentation (3 Termine)**
  - Logisches Schließen, First Order Logic, Wissensbasen, Inferenzen
- ⇒ **Intelligente Agenten (2 Termine)**
  - Agenten und Environment, reaktive Agenten, kooperatives Problemlösen, BDI-Agenten, modale Logiken, nichtmonotone Logiken
- ⇒ **Maschinelles Lernen (7 Termine)**

AIOIT Grundlagen der Künstlichen Intelligenz © Dr.-Ing. Stefan Fricke 3

### Lernziele

- ⇒ **Theoretisches Methodenwissen**
  - Methoden der Wissensrepräsentation, Suchalgorithmen und Lernverfahren erlernen
- ⇒ **Praktisches Anwendungswissen**
  - Einsatzmöglichkeiten, Stärken und Schwächen von KI-Methoden kennen
- ⇒ **Einordnung, Überblick und Motivation**
  - Weiterführende Lehrveranstaltungen, Forschungsthemen für Diplomarbeiten, ...

AIOIT Grundlagen der Künstlichen Intelligenz © Dr.-Ing. Stefan Fricke 4

### Organisatorisches

- ⇒ **Vorlesung:**
  - Prof. Albayrak und Prof. Obermayer
- ⇒ **Übungen:**
  - 2 Termine zur Auswahl: Mittwoch 10-12 u. 12-14 Uhr im EMH 225
  - 5+x Übungsaufgaben, zu lösen von Arbeitsgruppen
  - Klausur in der letzten Semesterwoche
- ⇒ **Ansprechpartner:**
  - Brijnesh Johannes Jain (brijnesh-johannes.jain@dai-labor.de)

AIOIT Grundlagen der Künstlichen Intelligenz © Dr.-Ing. Stefan Fricke 5

### Gliederung

- ⇒ Die Lehrveranstaltung GKI im Überblick
- ⇒ **Was ist Künstliche Intelligenz?**
- ⇒ Geschichtlicher Überblick
- ⇒ Intelligente Softwareagenten
- ⇒ Zusammenfassung und Ausblick

AIOIT Grundlagen der Künstlichen Intelligenz © Dr.-Ing. Stefan Fricke 6

## Was ist Künstliche Intelligenz? – Eine Annäherung

- ⇒ Intelligentes Verhalten verstehen vs. intelligente Systeme bauen
- ⇒ Merkmale natürlicher Intelligenz
  - Sehen und erkennen --> Computer Vision, Wissensrepräs.
  - Texte verstehen --> ?
  - Sprachfähigkeit --> Spracherkennung /-synthese
  - Probleme lösen --> Suchalgorithmen, Reasoning
  - Zielgerichtet handeln --> Belief-Desire-Intention
  - Planen --> Planer
  - Lernen --> Maschinelles Lernen

## Was ist Künstliche Intelligenz?

- ⇒ Maschinen entwickeln, die sich verhalten, als verfügten sie über Intelligenz (John McCarthy, 1955)
- ⇒ **Starke KI**
  - eine Intelligenz erschaffen, die wie der Mensch nachdenken und Probleme lösen kann
- ⇒ **Schwache KI**
  - Anwendungen bauen, zu deren Lösung nach allgemeinem Verständnis "Intelligenz" notwendig ist

## Dreifus' Stufenmodell der Intelligenz



## Gliederung

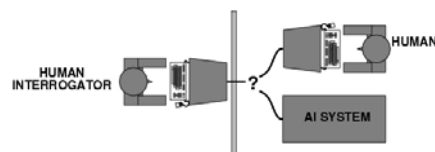
- ⇒ Die Lehrveranstaltung GKI im Überblick
- ⇒ Was ist Künstliche Intelligenz?
- ⇒ **Geschichtlicher Überblick**
- ⇒ Intelligente Softwareagenten
- ⇒ Zusammenfassung und Ausblick

## Wurzeln der Künstlichen Intelligenz

- ⇒ Aristoteles (384-322 AC): Intelligenz durch Anwendung von Regeln, bestehend aus Wissen, Zielen und Handlungen
- ⇒ Thomas Hobbes (1588-1679): Denken ist Numerik
- ⇒ John S. Mill (1863): Utilitarismus bestimmt das Handeln
- ⇒ Wittgenstein (1889-1951): Logik
- ⇒ Léon Walras (1834-1910): Nutzentheorie
- ⇒ Cook / Karp (1971): NP-Vollständigkeit
- ⇒ Chomsky, Austin: Linguistik

## Turing Test – Imitationsspiel (Turing 1950)

- ⇒ Ein Mensch führt einen Dialog mit einem Computer oder Menschen – per Bildschirm und Tastatur.
  - Kann der Mensch beurteilen, ob sein Dialogpartner ein Mensch und welcher ein Computer ist?



## Eine kurze Geschichte der KI Phase 1: Enthusiasmus

- ⇒ Vision: Maschinen die denken, lernen und kreieren
  - KI ist machbar! [Simon 1957]
- ⇒ 1957 General Problem Solver [Simon, Newell]
- ⇒ 1958 LISP [McCarthy]
- ⇒ 1965 Resolutionsprinzip [Robinson]
- ⇒ 1966 ELIZA [Weizenbaum]
- ⇒ 1972 SHRDLU [Winograd]

## ELIZA (Weizenbaum 1966)

- ⇒ ELIZA simuliert einen Psychotherapeuten.
- ⇒ Durch den geschickten Einsatz von Phrasen, wie „Erzählen sie mir mehr von X“ oder „Denken sie oft an X“ kann ELIZA Testpersonen längere Zeit täuschen.

```
>> I spend too much time with computers.
Why do you mention computers ?
>> You are one.
Does it please you to believe I am one ?
>> Yes.
You seem to be quite positive.
>> I suppose I am.
How long have you been ?
```

## Eine kurze Geschichte der KI Phase 2: Desillusion (1966 - 1972)

- ⇒ Mikrowelten sind trivial. Ergebnisse lassen sich nicht auf reale Probleme übertragen.
- ⇒ Die Komplexität der schwachen Methoden liegt zumeist in NP.
- ⇒ Reine Symbolmanipulation ist offensichtlich nicht genug
  - Genetische Algorithmen, Neuronale Netzwerke arbeiten auf subsymbolischen Strukturen, repräsentieren aber kein Wissen.

## Eine kurze Geschichte der KI Phase 3: Konsolidierung (ab 1971)

- ⇒ Expertensysteme
  - Wissensrepräsentation, knowledge engineering, starke Methoden
- ⇒ 1971 STRIPS Planer [Fikes]
- ⇒ 1965-75 DENDRAL: Molekulararchemie-XPS [Feigenbaum]
- ⇒ 1972 Prolog [Colmerauer, Rousset]
- ⇒ 1972-80 MYCIN: Medizinisches Expertensystem
- ⇒ 1977 OPS: Regelinterpretierer [Forgy]
- ⇒ 1978-82 R1/XCON: Computerkonfiguration [McDermott, Drew]

## Eine kurze Geschichte der KI Phasen 4 & 5: Aufklärung und Produktivität (seit 1982)

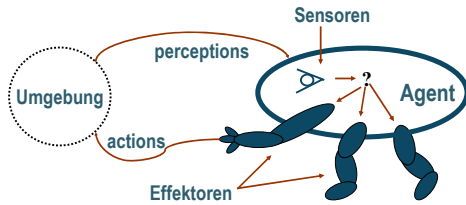
- ⇒ Von Werkzeugen zu industriellen Anwendungen
- ⇒ ab 1985 Expertensystemschalen
- ⇒ seit 1986: Neuronale Netze zur Mustererkennung
- ⇒ 1987: Erste Anwendung von Fuzzy Logic in Japan
- ⇒ Entwicklung heuristischer und effizienter Suchstrategien
- ⇒ fachspezifisches und alltägliches Wissen in Anwendungen
- ⇒ 1995: Intelligente Agenten...

## Gliederung

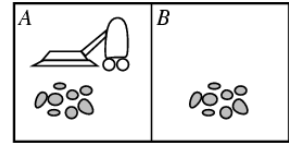
- ⇒ Die Lehrveranstaltung GKI im Überblick
- ⇒ Was ist Künstliche Intelligenz?
- ⇒ Geschichtlicher Überblick
- ⇒ Intelligente Softwareagenten
  - Rationales Handeln
  - Umgebung des Agenten
  - Agentenarchitekturen
- ⇒ Zusammenfassung und Ausblick

## Agenten nach Russell & Norvig ...

- ⇒ ... nehmen ihre **Umwelt** durch **Sensoren** wahr (perceptions),
- ⇒ ... manipulieren ihre Umwelt mit Hilfe von **Effektoren** (actions).



## Beispiel: Staubsauger-Agent



- ⇒ **Wahrnehmungen:**
  - Ort und Zustand, z.B. [A, schmutzig] oder [B, sauber]
- ⇒ **Aktionen:**
  - {nach\_links, nach\_rechts, saugen, warten}
- ⇒ **Welche Wahrnehmungen soll der Agent mit welchen Aktionen verknüpfen? ...**

## Gliederung

- ⇒ Die Lehrveranstaltung GKI im Überblick
- ⇒ Was ist Künstliche Intelligenz?
- ⇒ Geschichtlicher Überblick
- ⇒ **Intelligente Softwareagenten**
  - Rationales Handeln
  - Umgebung des Agenten
  - Agentenarchitekturen
- ⇒ Zusammenfassung und Ausblick

## Zum Begriff der Rationalität

- ⇒ **Rationalität ist optimales Verhalten [Anderson 91]**
  - "The cognitive system *optimizes* the adaptation of the behavior..."
- ⇒ **Rationalität ist ressourcenbedingt begrenzt [Simon 57]**
  - "property of an agent that behaves in a manner that is nearly optimal with respect to its *goals* as its *resources* will allow".
- ⇒ **Rationalität ist zielgerichtetes Verhalten [Newell 82]**
  - "If an agent has *knowledge* that one of its actions will lead to one of its *goals*, then the agent will select that action"

## Rationalität in Agentensystemen

- ⇒ Ein **allwissender Agent** kennt den tatsächlichen Weltzustand und damit die tatsächlichen Effekte seiner Aktionen.
  - Optimales Handeln ist jedoch in offenen Systemen mit unvollständigem Wissen und begrenzten Ressourcen nicht möglich.
- ⇒ Ein **rationaler Agent** handelt dagegen auf Grund seiner Wahrnehmungen und seines (beschränkten) Wissens.

## Verständnis der Rationalität in Agentensystemen

- ⇒ **Starke Definition: Maximum Expected Utility (MEU)**
  - MEU drückt aus, dass ein rationaler Agent diejenige Aktion wählen soll, die seinen erwarteten Nutzen maximiert.
  - Der Agent benötigt also eine Nutzenfunktion.
- ⇒ **Schwache Definition: Zielgerichtetes Verhalten**
  - Auswahl einer Aktion, die zur Erfüllung eines Zieles dient.
  - Der Agent benötigt Repräsentationen von Zielen.
  - Noch schwächer: Der Beobachter billigt dem Agenten Ziele zu.

## Anwendungsfälle für Rationalität

- ⇒ **Handel auf elektronischen Märkten:**
  - für welches Produkt entscheiden? Wie viel dafür bieten?
- ⇒ **Strategische Spiele:**
  - welches ist der beste Zug (bei begrenzter Bedenkzeit)?
- ⇒ **Verhalten in unbekanntem Situationen:**
  - Erfahrungswissen, Faustregeln, Normen, etc. anwenden
- ⇒ **Entscheidung über Teilnahme an Lotterie:**
  - Wahrscheinlichkeiten, Erwartungswerte, Risikobereitschaft

## Zusammenfassung Rationalität: „do the right thing“

- ⇒ **Rational handeln bedeutet, basierend auf Wissen, Wahrnehmungen und Handlungsalternativen die beste Aktion auszuführen.**
- ⇒ **Fragestellungen und Probleme dabei:**
  - Wie lässt sich der Nutzen messen und bewerten?
  - Kurzfristigen oder langfristigen Nutzen optimieren?
  - Problem der unvollständigen und inkorrekten Wahrnehmung...

## Gliederung

- ⇒ Die Lehrveranstaltung GKI im Überblick
- ⇒ Was ist Künstliche Intelligenz?
- ⇒ Geschichtlicher Überblick
- ⇒ Intelligente Softwareagenten
  - Rationales Handeln
  - Umgebung des Agenten
  - Agentenarchitekturen
- ⇒ Zusammenfassung und Ausblick

## Typen von Umgebungen

- ⇒ **Vollständig vs. partiell beobachtbar**
  - kann Umgebung jederzeit vollständig wahrgenommen werden?
- ⇒ **Deterministisch vs. stochastisch**
  - hängt der Folgezustand ausschließlich von der Aktion ab?
- ⇒ **Episodisch vs. sequentiell**
  - beeinflusst eine Aktion nur eine begrenzte (zeitliche) Episode oder möglicherweise die gesamte Zukunft?

## Typen von Umgebungen

- ⇒ **Statisch vs. dynamisch**
  - ändert sich die Umgebung, obwohl der Agent nicht handelt?
- ⇒ **Diskret vs. kontinuierlich**
  - sind Zustände, Wahrnehmungen, Aktionen und Zeit endlich abzählbar?
- ⇒ **Ein Agent vs. viele Agenten**
  - Komplexität entsteht bei mehreren Agenten: Konkurrenz, Kooperation, Kommunikation, Koordination

## Umgebungstypen anhand von Beispielen

	Kreuzwort-rätsel	Schach m. Uhr	Taxi fahren	Bild-analyse
Beobachtbar	✓	✓	–	✓
Deterministisch	✓	strategisch	stochastisch	✓
Episodisch	–	–	–	✓
Statisch	✓	semi	–	–
Diskret	✓	✓	–	–
Ein Agent	✓	–	–	✓

## Gliederung

- ⇒ Die Lehrveranstaltung GKI im Überblick
- ⇒ Was ist Künstliche Intelligenz?
- ⇒ Geschichtlicher Überblick
- ⇒ Intelligente Softwareagenten
  - Rationales Handeln
  - Umgebung des Agenten
  - Agentenarchitekturen
- ⇒ Zusammenfassung und Ausblick

## Vom Agentenverhalten zur Agentenarchitektur

- ⇒ Ein Agent führt Handlungen aufgrund von Wahrnehmungen aus:

$$[f: \mathcal{P}^* \rightarrow \mathcal{A}]$$

- Eigenschaften der Umgebung beeinflussen die Wahrnehmung
- Die Handlungen sollen rational sein.
- ⇒ **Agent = Architektur + Programm**
  - Das Agentenprogramm läuft auf der Architektur und realisiert  $f$
  - Welche Architektur setzt die Anforderungen optimal um? ...

## Ein sehr einfaches Agentenprogramm

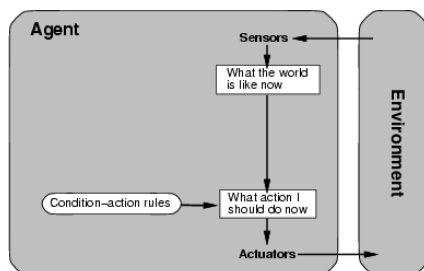
- ⇒ Der Agent besitzt eine Tabelle, in der sämtliche möglichen Wahrnehmungssequenzen auf Aktionen abgebildet werden
  - Beispiel Staubsaugeragent: Position x Zustand → Aktion
  - Beispiel Schach: Jede Stellung kennt einen optimalen Zug
  - Problem: Die Tabelle hätte ca.  $10^{150}$  Einträge
- ⇒ Die Struktur (Architektur) eines Agenten beeinflusst offensichtlich dessen Performance...
  - Strukturen & Algorithmen zur Repräsentation & Verarbeitung großer Zustandsräume werden später (→ Suchprobleme) behandelt.

## 4 Agententypen im Überblick

- ⇒ Einfache reaktive Agenten
- ⇒ Zustandsbasierte reaktive Agenten
- ⇒ Zielorientierte Agenten
- ⇒ Nutzenorientierte Agenten

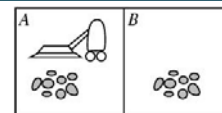
## Einfache reaktive Agenten

... wählen eine Aktion aufgrund der aktuellen Wahrnehmung durch Anwendung einer passenden Regel.



... funktionieren nur in beobachtbaren Umgebungen

## Einfache reaktive Agenten, Beispiel Staubsauger

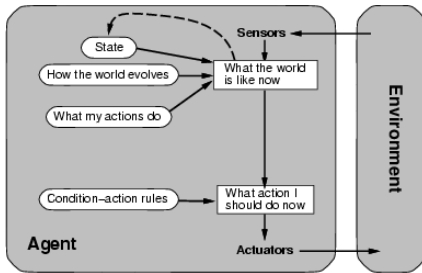


```
function REFLEX-VACUUM-AGENT (location, status)
    if status == Dirty then return Suck
    else if location == A then return Right
    else if location == B then return Left
```

## Zustandsbasierte reaktive Agenten

... verwalten einen internen Zustand.

Dieses Weltmodell wird zyklisch aktualisiert auf Basis der Aktionen und Wahrnehmungen.



... funktionieren in partiell beobachtbaren Umgebungen

## Zustandsbasierte reaktive Agenten

```
function REFLEX-AGENT-WITH-STATE(percept)
```

```
static: rules, a set of condition-action rules
```

```
state, a description of the current world state
```

```
action, the most recent action.
```

```
state ← UPDATE-STATE(state, action, percept)
```

```
rule ← RULE-MATCH(state, rule)
```

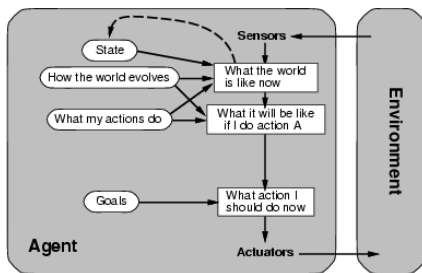
```
action ← RULE-ACTION[rule]
```

```
return action
```

## Zielorientierte Agenten

... verwalten Ziele, um *wünschenswerte* Situationen zu erreichen.

... beziehen die Zukunft mit ein.

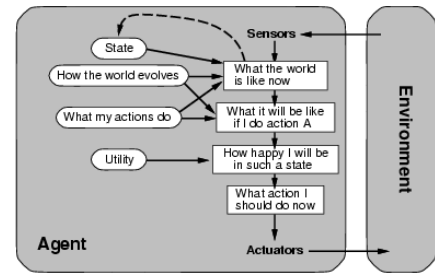


... sind flexibler aufgrund des wissensbasierten Ansatzes

## Nutzenorientierte Agenten

... gewichten Zustände mit Werten.

... können Ziele und Aktionen entsprechend priorisieren.

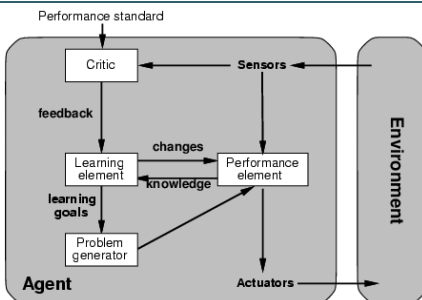


... eignen sich für Konfliktsituationen und Konkurrenz

## Lernende Agenten

... erlernen die Auswahl der besten Aktion.

Jede der vorher beschriebenen Architekturen lässt sich um Lernverfahren erweitern.



... stärken die Performance und Robustheit.

## Gliederung

- ⇒ Die Lehrveranstaltung GKI im Überblick
- ⇒ Was ist Künstliche Intelligenz?
- ⇒ Geschichtlicher Überblick
- ⇒ Intelligente Softwareagenten
- ⇒ Zusammenfassung und Ausblick

## Zusammenfassung

- ⇒ **Starke KI zielt auf generelles intelligentes Verhalten, schwache KI auf intelligente Anwendungen**
  - Geschichtliche Entwicklung von generischen, *schwachen* Methoden zu spezialisierten, *starken* Methoden
- ⇒ **Ein Agent führt Handlungen aufgrund von Wahrnehmungen aus**
  - Rationale Agenten handeln zielgerichtet / nutzenoptimierend
  - Die Umgebung beeinflusst das Verhalten des Agenten
  - Die Agentenarchitektur definiert die Struktur eines Agenten

## Wo stehen wir heute?

- ⇒ **Turing-Test als Benchmark**
  - teilweise auch von nicht intelligenten Systemen bestanden
- ⇒ **Schachcomputer schlagen Großmeister**
- ⇒ **Einsatz von Expertensystemen in bestimmten Bereichen**
- ⇒ **Aber: allgemeine Intelligenz nicht erreicht**
  - Grundsulfertigkeiten im Lesen, Schreiben und Zusammenfassen



## Grundlagen der Künstlichen Intelligenz

20.10.2005: Einführung in die KI  
Nächster Termin: Problemlösen 1

Dr.-Ing. Stefan Fricke  
stefan.fricke@dai-labor.de

AIOIT  
Agententechnologien in  
betrieblichen Anwendungen  
und der Telekommunikation

## Referenzen

- ⇒ **S. Russell, P. Norvig Artificial Intelligence: A Modern Approach  
Prentice Hall, 2003, Second Edition**

## Anhänge

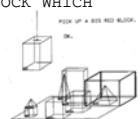
- ⇒ **Nicht verwendete Folien**

## SHRDLU

Winograd (M.I.T., 1968-70)

- ⇒ **einfacher Dialog in natürlicher Sprache über Klötzchenwelt**

*Person*: PICK UP A BIG RED BLOCK.  
*Computer*: OK. (does it)  
*Person*: GRASP THE PYRAMID.  
*Computer*: I DON'T UNDERSTAND WHICH PYRAMID YOU MEAN.  
*Person*: FIND A BLOCK WHICH IS TALLER THAN THE ONE YOU ARE HOLDING AND PUT IT INTO THE BOX.  
*Computer*: BY "IT", I ASSUME YOU MEAN THE BLOCK WHICH IS TALLER THAN THE ONE I AM HOLDING.  
*Computer*: OK. (does it)





## Natürliche Intelligenz vs. Künstliche Intelligenz

- ⇒ Nicht jedes intelligente Verhalten beruht auf (logischem) Denken
- ⇒ Worin liegt der Nutzen des Denkens? Welche Gedanken sollte man haben?
- ⇒ Symbol grounding problem bei reinen Software-Anwendungen

## Entwicklungsphasen

