

# Grundlagen der Künstlichen Intelligenz

## 1. Einführung

Malte Helmert

Universität Basel

1. März 2013

# Kapitelüberblick

- Was ist KI?
- Eine kurze Geschichte der KI
- KI-Systeme früher und heute

# Was ist KI?

# Was ist KI?

Was versteht man unter **künstlicher Intelligenz**?

~> keine allgemein akzeptierte Definition!

Oft pragmatische Definitionen:

- „KI ist, was Kleriker machen.“
- „KI ist das Lösen von schweren Problemen.“

**Im Folgenden:** Vorstellung einiger verbreiteter Ideen

# Was ist KI: menschlich vs. rational; denken vs. handeln

„[the automation of] activities that we associate with human thinking, activities such as decision-making, problem solving, learning“ (Bellman, 1978)	„the study of mental faculties through the use of computational models“ (Charniak & McDermott, 1985)
„the study of how to make computers do things at which, at the moment, people are better“ (Rich & Knight, 1991)	„the branch of computer science that is concerned with the automation of intelligent behavior“ (Luger & Stubblefield, 1993)

## Vier typische Kategorien:

menschlich denken	rational denken
menschlich handeln	rational handeln

# Was ist KI: menschlich vs. rational; denken vs. handeln

„[the automation of] activities that we associate with human thinking, activities such as decision-making, problem solving, learning“ (Bellman, 1978)	„the study of mental faculties through the use of computational models“ (Charniak & McDermott, 1985)
„the study of how to make computers do things at which, at the moment, people are better“ (Rich & Knight, 1991)	„the branch of computer science that is concerned with the automation of intelligent behavior“ (Luger & Stubblefield, 1993)

## Vier typische Kategorien:

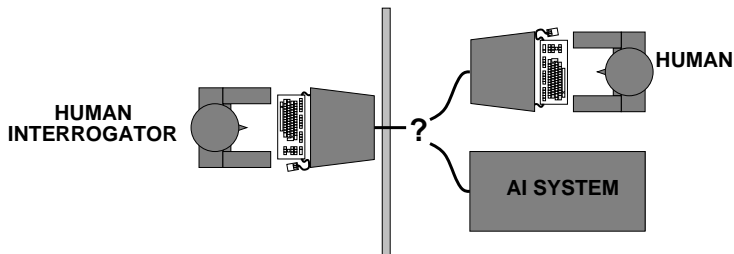
menschlich denken	rational denken
menschlich handeln	<b>rational handeln</b>

↪ hier (und heutzutage vorherrschend): rational handeln

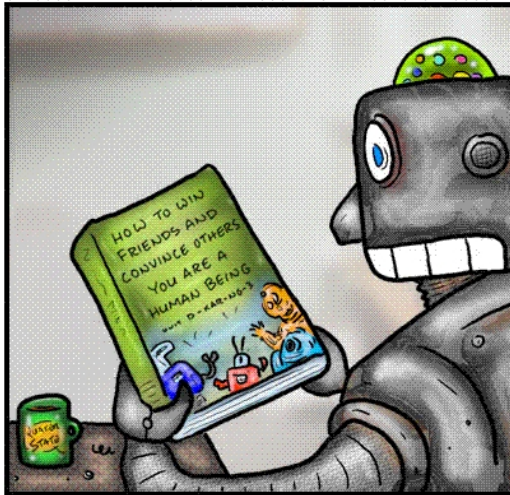
# Menschlich handeln: der Turing-Test

Alan Turing, *Computing Machinery and Intelligence* (1950):

- Von „Können Maschinen denken?“  
zu „Können Maschinen sich intelligent verhalten?“
- Operationalisierung: das **Imitationsspiel**



# Cartoon



Unit Bob crams for his Turing Test.



# Wie nützlich ist der Turing-Test?

## Turing-Test:

- Wissenschaftlichkeit ist fragwürdig
- spielt im KI-„Mainstream“ keine Rolle mehr
- dennoch: jährliche Wettbewerbe (Loebner Prize):  
<http://www.loebner.net/Prizef/loebner-prize.html>
- praktische Anwendung: **CAPTCHA** („Completely Automated Public Turing test to tell Computers and Humans Apart“)

You've digitized 3 words.



Type the two words:

passes wildly

Submit

The words above come from scanned books.  
By typing them, you help to digitize old texts.

# Turings „Computing Machinery and Intelligence“

## Turings **Computing Machinery and Intelligence**:

- diskutierte bereits alle wesentlichen Argumente des 20. Jahrhunderts gegen Möglichkeit von KI
- schlug Kernaspekte der KI vor: Wissensrepräsentation, Schlussfolgern, Sprachverständnis, **Lernen**
- Vorhersage: im Jahr 2000 kann eine Maschine mit 30%iger Wahrscheinlichkeit Laien für 5 Minuten zum Narren halten

# Menschlich denken: Kognitionswissenschaft

- **Kognitive Revolution** der 1960er: Informationsverarbeitung ersetzt in der Psychologie den dominierenden Behaviorismus
- Welche kognitiven Fähigkeiten sind für intelligentes Verhalten nötig?
- erfordert wissenschaftliche Theorien der Gehirnaktivität
  - ↪ Welches Abstraktionsniveau? „**Wissen**“ oder „**Schaltkreise**“?
- Wie überprüfen? Erfordert
  - Vorhersage/Test menschlichen Verhaltens (Top-Down) oder
  - Identifikation aus neurologischen Daten (Bottom-Up)
- entspricht grob **Kognitionswissenschaft** und **kognitiver Neurowissenschaft**
- heute von der KI getrennte Gebiete

# Rational denken: Gesetze des Denkens

- **normativ (präskriptiv)** statt **deskriptiv**
- **Aristoteles**: Was sind korrekte Argumente/Denkprozesse?
- **Syllogismen**: Strukturen für Argumente, die immer korrekte Schlussfolgerungen liefern, sofern die Prämissen korrekt sind:
  - Sokrates ist ein Mensch.
  - Alle Menschen sind sterblich.
  - **Also** ist Sokrates sterblich.
- Mehrere griechische Schulen entwickelten verschiedene Formen von **Logik**:
  - **Notationen** (Syntax) und
  - **Ableitungsregeln** (Kalküle) für „richtiges“ Denken
- über die mathematische Logik (Anfang 20. Jh.)  
direkte Verbindung zur modernen KI

# Probleme des logischen Ansatzes

## Probleme:

- nicht alles intelligente Verhalten entspringt logischem Denken
- Welche Schlussfolgerungen sind **relevant**?
- Wie mit **Unsicherheit** umgehen?
- Wie mit **Widersprüchen** umgehen?

# Rational handeln

- **rationales Verhalten**: „das Richtige tun“
- das Richtige: **maximiere Nutzen**  
gegeben **verfügbare Information**
- erfordert nicht zwangsläufig „Denken“ (z. B. Reflexe)

KI als **Entwurf rationaler Agenten** hat zwei Vorteile:

- **allgemeiner** als „Gesetze des Denkens“:
  - ↪ logische Inferenz nur **ein** Mechanismus  
zum Erreichen rationalen Verhaltens
- besser der **wissenschaftlichen Methode** zugänglich  
als Ansätze, die auf menschlichem Verhalten/Denken fussen

# Eine kurze Geschichte der KI

# Die Ursprünge der KI

Vor der KI haben **Philosophie**, **Mathematik**, **Psychologie**, **Linguistik** und **Informatik** ähnliche Fragen gestellt und Methoden und Ergebnisse für die KI hervorgebracht.

## Ursprünge der KI (ca. 1943–1956)

Mit den ersten elektrischen Computern stellten viele die Frage:  
**Können Computer den menschlichen Verstand kopieren?**

↪ Turing-Test



## 50 Jahre KI: 1950er

**Dartmouth-Workshop (1956):**

John McCarthy prägt den Begriff **Artificial Intelligence**

Früher Enthusiasmus:

Herbert Simon (1957)

It is not my aim to surprise or shock you – but the simplest way I can summarize is to say that there are now in the world machines that think, that learn and that create. Moreover, their ability to do these things is going to increase rapidly until – in the visible future – the range of problems they can handle will be coextensive with the range to which the human mind has been applied.

# Früher Enthusiasmus: General Problem Solver (GPS)

- **GPS:** entwickelt 1957 durch **Herbert Simon** und **Allen Newell**
- **Ziel:** baue eine universelle Problemlösungsmaschine durch Imitation menschlicher Problemlösungsansätze
- ~> erster Vertreter des Ansatzes „menschlich denken“
- jedes formalisierte symbolische Problem kann **im Prinzip** durch GPS gelöst werden
- **Praxis:** GPS löst einfache Probleme wie die Türme von Hanoi, aber keine **echten Anwendungsprobleme**

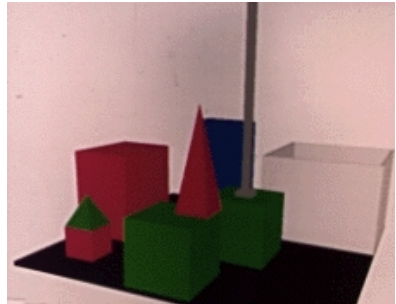
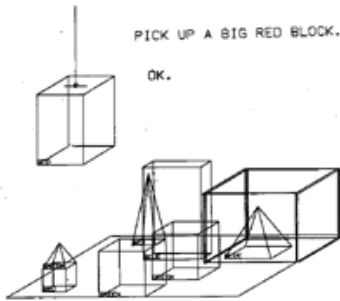


# 50 Jahre KI: 1960er und 1970er

- 1960er: „intelligentes Verhalten“ in vielen Demonstrationssystemen für Mikrowelten (z. B. Blocks world)
  - 1970er: Systeme für Mikrowelten erweisen sich als nicht skalierbar
- ~> „intelligentes Verhalten“ erfordert Wissen
- ~> wissensbasierte Systeme

# Mikrowelten: Blocks world (SHRDLU)

- **SHRDLU** versteht natürliche Sprache
- entwickelt 1968–1970 von Terry Winograd am MIT AI Lab
- Benutzerdialog (via Fernschreiber) über **Blocks world**
- Darstellung auf Bildschirm



↪ <http://hci.stanford.edu/~winograd/shrdlu/>

# Ein SHRDLU-Dialog

Person: PICK UP A BIG RED BLOCK.

Computer: OK. [macht es]

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. [macht es]

Person: WHAT DOES THE BOX CONTAIN?

Computer: THE BLUE PYRAMID AND THE BLUE BLOCK.

Person: WHAT IS THE PYRAMID SUPPORTED BY?

Computer: THE BOX.

Person: HOW MANY BLOCKS ARE NOT IN THE BOX?

Computer: FOUR OF THEM.

Person: IS AT LEAST ONE OF THEM NARROWER THAN THE ONE  
WHICH I TOLD YOU TO PICK UP?

Computer: YES, THE RED CUBE.

...

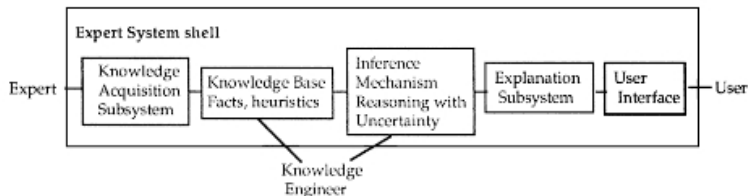
# 50 Jahre KI: 1980er

## 1980er: KI-Goldrausch

- kommerzieller Erfolg regelbasierter **Expertensysteme** (z. B. R1)
- Forschungs-Boom, z. B. **Fifth Generation Computer Systems**-Projekt in Japan
- (zweite) Blütezeit von **neuronalen Netzen**
- **Ende der 1980er**: Expertensysteme und andere KI-Ansätze weniger viel versprechend als erhofft

~> **KI-Winter**

# Expertensysteme



- **Wissensakquise:** hilft bei Formalisierung von Expertenwissen
- **Wissensbasis:** Datenbank mit Fakten und heuristischen Regeln
- **Inferenz-Engine:** Schlussfolgerungsmechanismus; verarbeitet symbolische Information aus der Wissensbasis, um Probleme zu lösen
- **Erklärungssystem:** erklärt Schlussfolgerungen des Systems

# Expertensysteme: R1/XCON

- **Anwendungsgebiet:** Konfiguration von VAX-Computern anhand der Spezifikation von Kunden
- entwickelt von John McDermott et al. (1978–1981)
- **Eingabe:** gewünschte Eigenschaften des Computersystems
- **Ausgabe:** Spezifikation des Computersystems
- **Inferenz-Engine:** einfache Vorwärtsverkettung von Regeln

## DISTRIBUTE-MB-DEVICES-3

IF: the most current active context is distributing massbus devices  
& there is a single port disk drive that has not been assigned to a massbus  
& there are no unassigned dual port disk drives  
& the number of devices that each massbus should support is known  
& there is a massbus that has been assigned at least one disk drive and that should support additional disk drives  
& the type of cable needed to connect the disk drive to the previous device on the disk drive is known

THEN: assign the disk drive to the massbus



# Kommerzieller Erfolg von R1/XCON

- DEC scheiterte an dem Versuch, ein „konventionelles“ Programm für das Problem zu schreiben
- bat McDermott, ein KI-System dafür zu entwickeln  
    ~> **R1/XCON**
- bis 1986: 80'000 Aufträge verarbeitet; Erfolgsrate **95–98%**
- geschätzte Einsparung für DEC: 25'000'000 US\$/Jahr
- **aber:** litt unter Nachteilen einfacher regelbasierter Systeme
  - Regelbasis wuchs schnell sehr stark an  
    ~> wurde unverständlich, unzuverlässig und schwer wartbar

# 50 Jahre KI: 1990er

## 1990er: KI wird erwachsen

- Aufkommen probabilistischer Ansätze
- Agenten-orientierte Ansätze
- Formalisierung von KI-Techniken
- besseres Verständnis der theoretischen Komplexität
- vermehrte Verwendung mathematischer Methoden

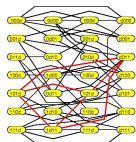
### Russell & Norvig (1995)

Gentle revolutions have occurred in robotics, computer vision, machine learning, and knowledge representation. A better understanding of the problems and their complexity properties, combined with increased mathematical sophistication, has led to workable research agendas and robust methods.

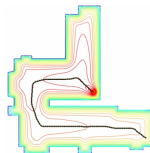
# 50 Jahre KI: heute

3-SAT TRANSFORMS to CLIQUE

$(x1 + x2 + x3) \wedge (\neg x1 + x3 + x4) \wedge (x1 + x2 + x3) \wedge (x2 + x3 + x4)$



	A	B	C	D	E	F	G	H
1	Q							
2			Q					
3					Q			
4		Q						
5				Q				
6	1	3,4	2,5	4,5	3,5	1	2	3
7								
8								



- viele parallel existierende Paradigmen
  - reaktiv vs. deliberativ
  - probabilistisch vs. symbolisch
  - oft hybride Ansätze
- viele Methoden, auch aus anderen Wissenschaften
  - Logik, Entscheidungstheorie, Statistik, ...
- viele Ansätze
  - theoretisch, algorithmisch/experimentell, systemorientiert, ...
- viele Erfolgsgeschichten gelten heute nicht mehr als „reine“ KI
  - Brettspiele, Logikprogrammierung, Suchverfahren, ...

# Fokus auf Algorithmen und Experimenten

Viele KI-Probleme sind inhärent schwer (NP-hart),  
aber durch gute Suchtechniken und Heuristiken  
können oft auch grosse Instanzen gelöst werden:

- **Erfüllbarkeit in der Aussagenlogik**
  - 10'000 Aussagevariablen und mehr durch **Conflict-Directed Clause Learning** oder **randomisierte lokale Suche**
- **Constraint-Solver**
  - gute Skalierbarkeit durch **Constraint-Propagierung** und automatische Ausnutzung von **Problemstruktur**
- **Handlungsplanung**
  - $10^{100}$  Suchzuständen und mehr durch Suche mit **automatisch inferierten Heuristiken**

# KI-Systeme früher und heute

# Systeme

Neben Theorie und Algorithmen ist die Entwicklung funktionierender Systeme ein grundlegender Punkt:

Herbert Simon: How to Become a Good Scientist (1998)

**Build a system!**

- Anwendung von KI-Techniken zur Lösung realer Probleme
- Untersuchung der Interaktion mit der Umwelt
- Synergie-Effekte in Systemen

# Beispiel-System (1996): Schach

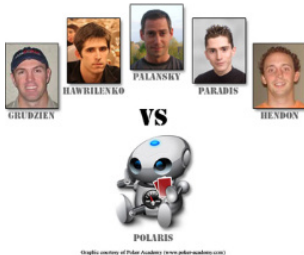
## Deep Blue vs. Kasparow (1996):

- erster Sieg eines Schach-Computers über einen amtierenden Weltmeister unter Turnierbedingungen (Bedenkzeit)



# Beispiel-System (2008): Poker

**Polaris** (2008), entwickelt an der University of Alberta,  
besiegt einige der weltbesten Spieler



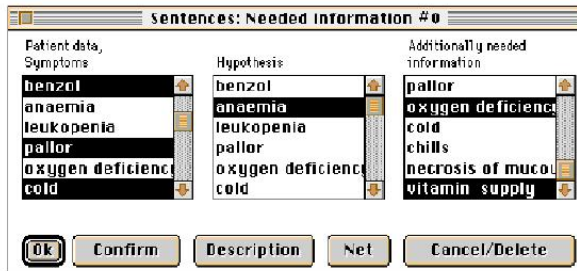
<http://poker.cs.ualberta.ca/>



# Beispiel-System (1992): Medizinische Diagnose

**Pathfinder** (1992) von David Heckerman, Microsoft Research

- Bayes'sche Inferenz, maschinelles Lernen, Monte-Carlo-Simulationen



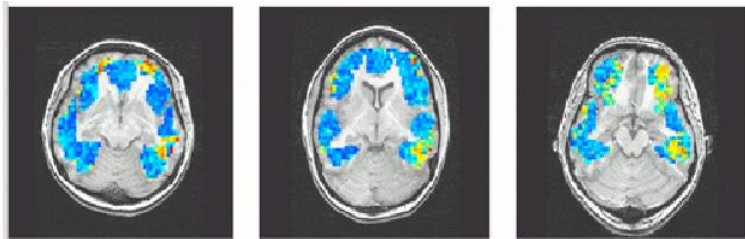
[http://ls.informatik.uni-oldenburg.de/dokumente/1996/96\\_icls/icls\\_96\\_5.gif](http://ls.informatik.uni-oldenburg.de/dokumente/1996/96_icls/icls_96_5.gif)

# Beispiel-System (2008): Gedanken lesen

**Analyse von Gehirnströmen** mit Magnetresonanztomographie  
von Tom Mitchell et al., CMU (2008)

- Erkennung, welches Wort von der Testperson gelesen wird

~> statistisches maschinelles Lernen



<http://www.cs.cmu.edu/afs/cs/project/theo-73/www/index.html>

# Beispiel-System (1998): Autofahren

**ALVINN** (1998), entwickelt von Dean Pomerleau et al., CMU, hält auf über 4000 km die Spur

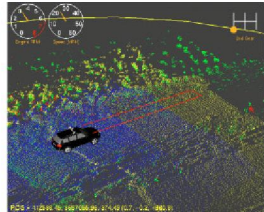
- semi-autonomes Autofahren
- Kamerabilder, künstliches neuronales Netz



# Beispiel-System (2005): Autofahren

**Stanley** von Sebastian Thrun et al., Stanford University,  
gewinnt DARPA Grand Challenge (2'000'000 US\$ Preisgeld)

- autonome Fahrt durch die Mojave-Wüste (212 km, Offroad)
- Siegerzeit weniger als 7 Stunden



Videos: [ki01-figures/stanley-1.avi](#), [ki01-figures/stanley-2.wmv](#)