

# RoboCup und RoboCupJunior

Hans-Dieter Burkhard

Humboldt-Universität Berlin  
Institut für Informatik

[www.ki.informatik.hu-berlin.de](http://www.ki.informatik.hu-berlin.de)



# Oder: Wie programmiert einen Doppelpass?



# 50 Jahre Künstliche Intelligenz

1956: Logik und Probleme lösen

- Theoreme beweisen
- Texte übersetzen
- Schach

1997:

Computer Deep Blue gewinnt gegen  
Schachweltmeister Kasparov

## E.A. Poe über Schachautomaten

Arithmetical or algebraical calculations are, from their very nature, fixed and determinate. ... But the case is widely different with the Chess-Player. With him there is no determinate progression. ...

It is quite certain that the operations of the Automaton are regulated by mind and by nothing else.

*Edgar Allan Poe:  
Maelzel's Chess-  
Playing Machine,  
Southern Literary  
Messenger,  
April 1836.*

# 50 Jahre Künstliche Intelligenz

2006: Wahrnehmung und Handlung

Roboter

Autonome Fahrzeuge

Intelligentes Internet

# Autonome Intelligente Systeme

Wahrnehmung: Was ist die aktuelle Situation?

Wo bin ich?

Was machen die anderen?

Entscheidung: Was sind meine Möglichkeiten?

Was ist schön für mich?

Wie kann ich das erreichen?

Handlung: Was mache ich jetzt?

Was sage ich jetzt?

# Was sieht der Roboter auf dem Spielfeld?



# Wahrnehmung im freien Gelände

## DARPA Grand Challenge

1. Versuch: 13. 3.2004

Preisgeld 1 Million \$

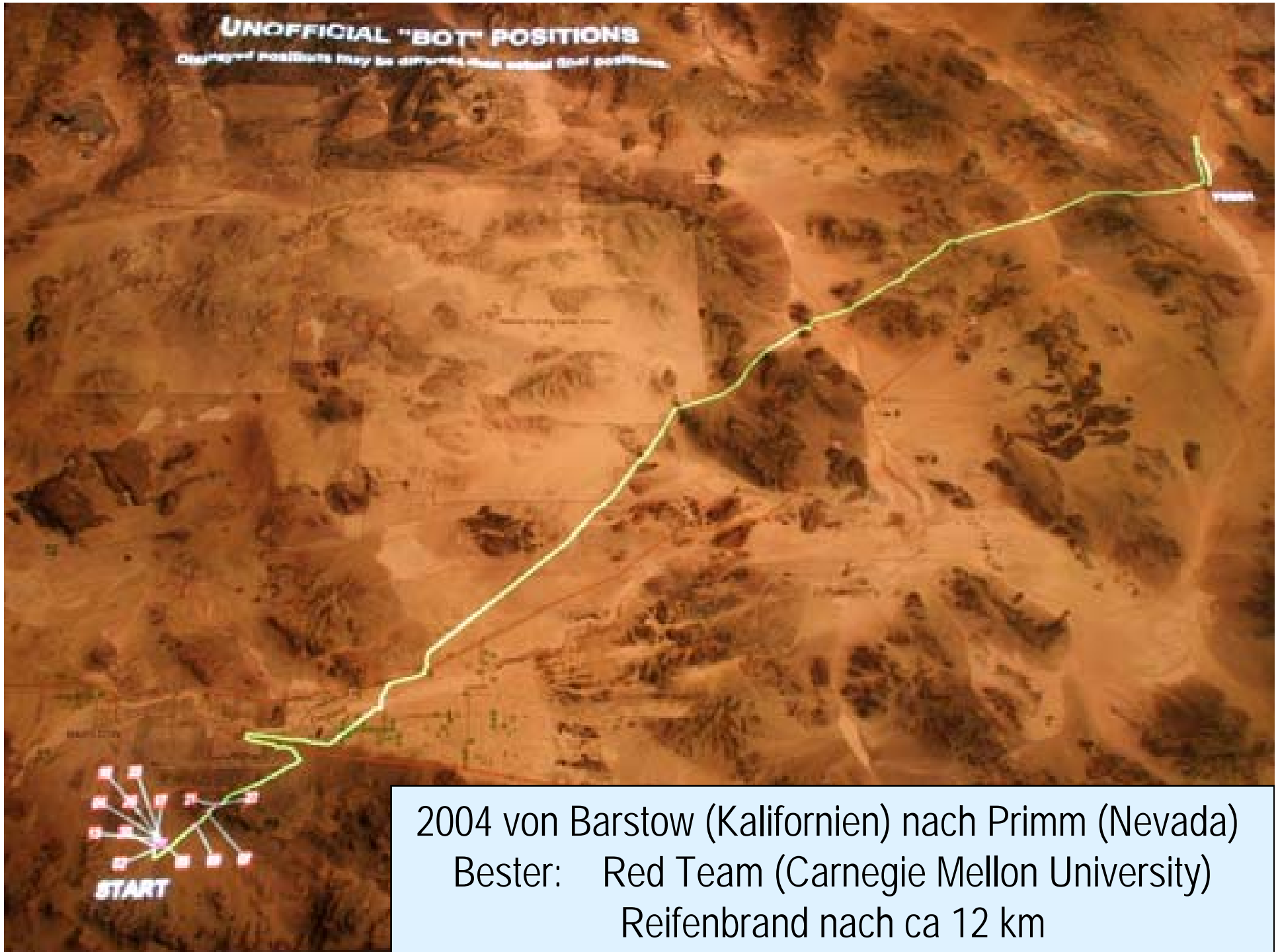
2. Versuch: 8.10.2005 , Preisgeld 2 Millionen \$

132 Meilen durch die Wüste in 10 Stunden

Start und Ziel in Primm (Nevada)

## UNOFFICIAL "BOT" POSITIONS

displayed positions may be different than actual BOT positions.



# Grand Challenge 8./9. Oktober 2005

132 Meilen durch die kalifornische Wüste

Start und Ziel: Primm

Zeitvorgabe: 10 Stunden

Preisgeld 2 Millionen \$

Ursprünglich 195 Anmeldungen

Qualifiziert: 23 Teams nach mehrtägiger Qualifikation

# Grand Challenge 8./9. Oktober 2005

COURSE MAP AND POSITIONS  
Final Results as of 10/9/2005

Sieger: „Stanley“ nach  
knapp 7 Stunden

Stanford Team,  
Leitung Sebastian Thrun  
VW Touareg



# Strukturierte Umgebungen

Erfolgreiche Fahrten  
seit den 90er Jahren

z.B.

Dickmanns (München)

Nagel (Karlsruhe)

# Was ist intelligent?

- Schnell rechnen
- Goethes Faust aufsagen
- Schachspielen
- Konversation
- Geld verdienen
- Auto fahren
- Fußball spielen
- Fotografieren
- ...

# Was ist intelligent?

- Schnell rechnen
- Goethes Faust aufsagen
- Schachspielen
- Konversation
- Geld verdienen
- Auto fahren
- Fußball spielen
- Fotografieren
- ...

*Können Maschinen besser*

*Können Maschinen auch*

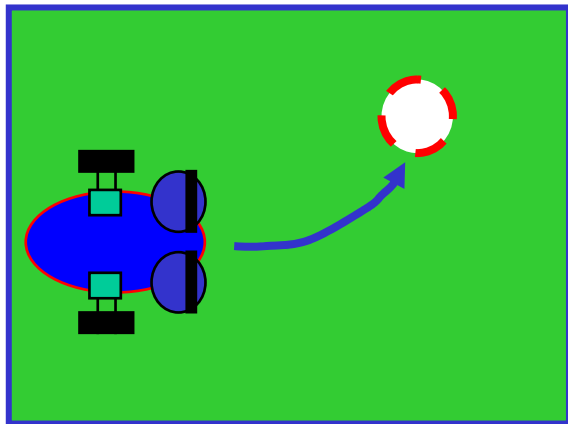
*Können Maschinen besser*

*Können Maschinen auch*

*Können Maschinen auch*

# „Bewusstes“ Handeln

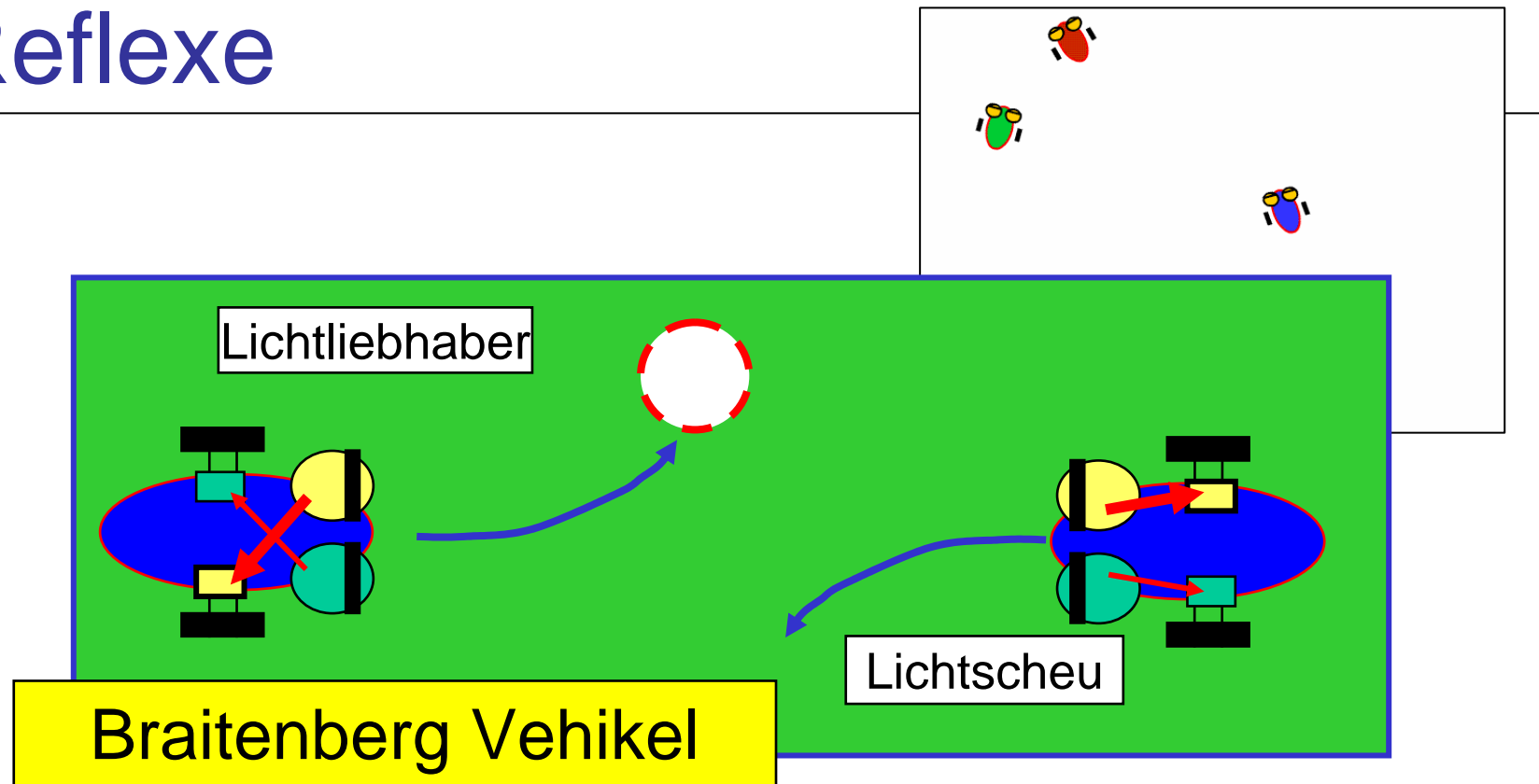
Ich sehe das Licht links vor mir.  
Ich will zum Licht.  
Dafür muss ich nach links vorn gehen.  
Dafür muss ich mich nach links drehen und vorwärts laufen.  
Dafür muss ich das rechte Rad stärker drehen.  
usw.



Alternativ: Reflexe



# Reflexe



Alternativ: „Bewusstes“ Handeln



# „Intelligente“ Roboter

Schachspielen  
Faust auswendig können  
Geld verdienen  
Fahrradfahren  
Urwaldwanderung  
Fußballspielen

## SCHACH:

- Statisch
- 3 Minuten pro Zug
- Einzelne Aktion
- Einzelner Akteur
- Information:
  - zuverlässig
  - vollständig

## FUSSBALL:

- Dynamisch
- Sekundenbruchteile
- Folgen von Aktionen
- Team
- Information:
  - Unzuverlässig
  - unvollständig

# Beispiel Fußball: Doppelpass

Ziel: Gegner überwinden – aber wie?

Aktionsfolge: Dribbeln – passen – Laufen – Annehmen

Begrenzte Information

Begrenzte Zeit

# Fußball als Testfeld: RoboCup

- Internationale Initiative zur Beförderung der Robotik und der Künstlichen Intelligenz
- Organisiert durch die **RoboCup Federation**
  - RoboCup Soccer Games
  - RoboCup-Rescue
  - RoboCup Junior
  - Konferenzen



# Fußballspielende Roboter

## **Herausforderung: Menschliche Dimensionen**

- Körper
- Autonomie

# Menschenähnliche Roboter?

- Geistig
  - Intelligenz?
  - Bewusstsein?
  - Freier Wille?
- Körperlich
  - Erscheinungsbild
  - Aufrechter Gang

Pro:

Einsatz in „normaler“ Umgebung

Medizinische Techniken, Prothetik

Erkenntnisgewinn

- Intelligenz, Bewusstsein
- Einheit Körper-Geist

Fragen zum Umgang mit Robotern:

- Maschine oder Partner?
- Konkurrenz zum Menschen?

# „Intelligente“ Roboter

Philosophie: Körper und Geist

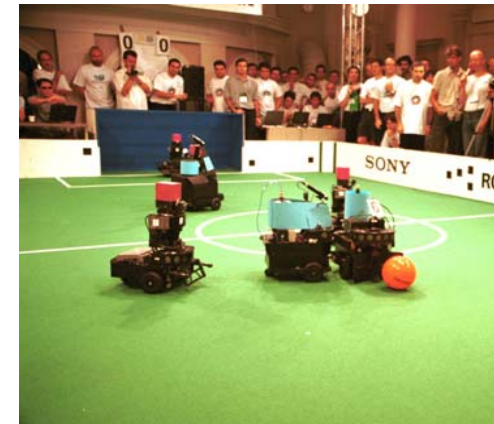
Informatik: Computer-Intelligenz ohne Körper?

Technik: Zusammenspiel Hardware/Software

Biologie: Wie „funktioniert“ die Natur?

# RoboCup: Aktueller Stand

- Vollständig autonomes Verhalten
    - Eigene Wahrnehmung
    - Selbständige Entscheidung
- (auf primitive Art)
- Körper: Wettbewerbe in mehreren Klassen:
    - Middle Size (50 cm Durchmesser)
    - Small Size (18 cm Durchmesser)
    - Sony Legged Robots (Aibo)
    - Simulation
    - Humanoide

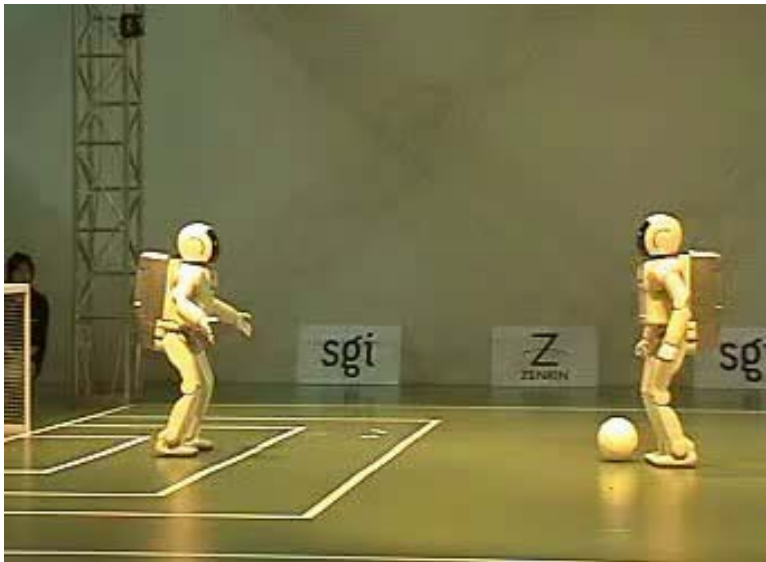




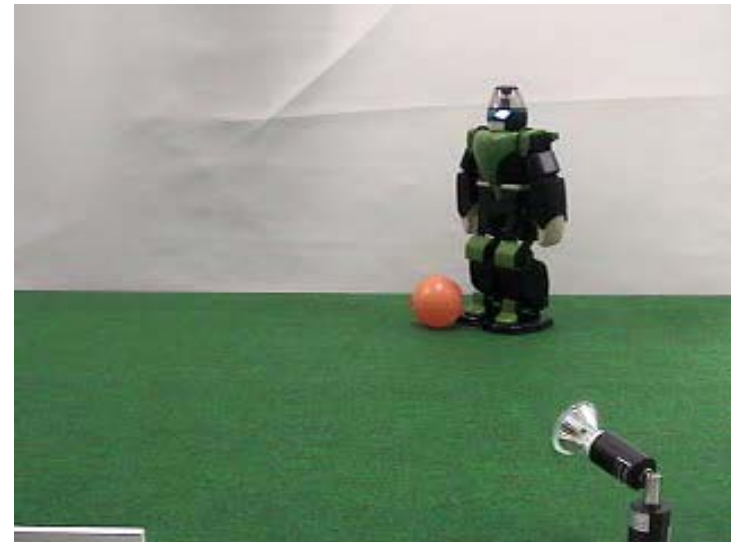
- Middle Size (50 cm Durchmesser)
- Small Size (18 cm Durchmesser)
- Sony Legged Robots (Aibo)
- Simulation
- Humanoide Roboter



# Humanoide Roboter



Asimo (Honda)  
2002



Vision (Osaka)  
2004

# RoboCup World Weltmeisterschaften

	1997	Nagoya
	1998	Paris
	1999	Stockholm
	2000	Melbourne
	2001	Seattle
	2002	Fukuoka
	2003	Padua
	2004	Lisbon
	2005	Osaka
	2006	Bremen
	2007	Atlanta
	2008	Suzhou



RoboCup Bremen 2006  
444 Teams  
from 36 Countries  
2500 Participants



Wertung der „klassischen Disziplinen“ 1997-2005 (MiddleSize, SmallSize, Legged, Simulation 2D)

	1.Place	2.Place	3.Place	Points
Germany	10	12	10	61
USA	11	5	6	49
Japan	5	6	6	33
Australia	4	8	4	32
China	3	3		15
Singapore	1	1	5	10
Portugal	1	1	2	7
France	1	1	1	6
Iran	1		3	6
Netherlands	1		2	5
Italy		2		4
Russia	1			3
UK			1	1
Thailand			1	1



# RoboCup an der HU Berlin

*AT Humboldt* (Virtueller Fußball: Simulationsliga)

- Weltmeister Nagoya 1997
- Vizeweltmeister Paris 1998
- Vizeweltmeister (3D) Lissabon 2004



*Aibo-Team Humboldt* (Sony Four Legged League)

- Deutscher Meister Paderborn 2001, 2004
- Deutscher Vizemeister  
Paderborn 2002, 2003, 2005



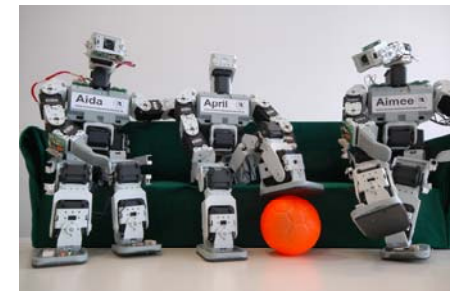
*German Team* (Sony Four Legged League)

(Berlin, Bremen, Darmstadt, Dortmund)

- Sieger „Technical Challenge“ Padua 2003
- Weltmeister Lissabon 2004, Osaka 2005



Seit 2006: *Humanoid Team Humboldt*



# Forschungs-Evaluierung im Wettbewerb

RoboCup Vision:

Im Jahr 2050 mit humanoiden Robotern  
gegen den FIFA-Weltmeister gewinnen

- Bewegungsformen
- Antriebe
- Sensoren
- Wahrnehmung
- Energieversorgung
- Entscheidung



# Ziele für die Forschung

## RoboCup Roadmap:

Jährlich Festlegung von weiteren Anforderungen

- Veränderungen des Spielfeldes
- Veränderungen der Spieler
- Veränderungen der Regeln
- Veränderungen der Umgebung (z.B. Beleuchtung)
- . . .

2006

2010

2020

2030

2040

# Research and Championships

10 years of RoboCup: 1997 - 2006



Melbourne 2000



Bremen 2006

# RoboCup Rescue

- Simulation
- Roboter in Testumgebung



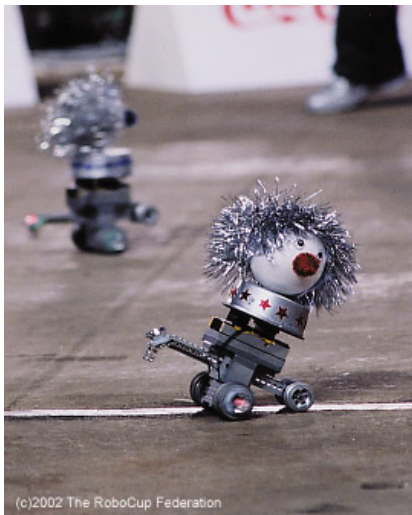
# RoboCup@Home

## Roboter in Haus und Garten



# RoboCup Junior

- Soccer
- Tanz
- Rescue



Bundesweite Initiative „RoboCupJunior“  
zum Informatikjahr 2006



# RoboCup Organisation



- RoboCup Federation  
Weltweit ca. 4000 Mitglieder in ca. 40 Ländern
- Angemeldet in der Schweiz
- Office in Japan (Präsident Minoru Asada, Osaka)
- Jährlich: Weltmeisterschaft + Konferenz

[www.robocup.org](http://www.robocup.org)

Berichte, Bilder, Videos von Bremen 2006 auf  
[www.robocup.zdf.de](http://www.robocup.zdf.de) und  
[www.robocup2006.org](http://www.robocup2006.org)

# RoboCup Organisation



- Regionale Wettbewerbe:  
„XXX RoboCup Open“ organisiert durch National-Komitees
- Deutsches Nationalkomitee: [www.robocup.de](http://www.robocup.de)  
Als Arbeitskreis in der GI organisiert
- RoboCup German Open [www.robocup-german-open.de](http://www.robocup-german-open.de)  
größte regionale Veranstaltung im RoboCup

2001-2005 HNF Paderborn

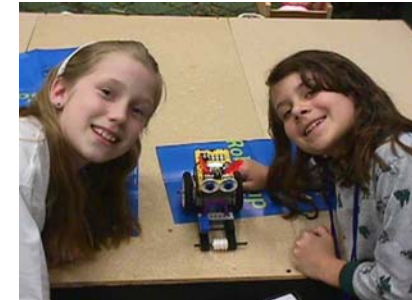
2007 Hannover-Messe, 17.-21.4.

Junior: 18.-21.4 (18. Anreise)

# RoboCup Junior



- Roboter-  
Wettbewerbe
- Fußball
  - Tanz
  - Rescue



Mädchen

Jungen



ca. 300 Teilnehmer bei German Open 2005

ca. 1000 Teilnehmer bei WM 2006

# RoboCupJunior in Bremen 2006

<b>Country</b>	<b>Number of teams</b>	<b>Number of participants</b>
Argentina	<b>2</b>	<b>8</b>
Australia	<b>9</b>	<b>39</b>
Canada	<b>6</b>	<b>23</b>
China	<b>39</b>	<b>141</b>
Finland	<b>1</b>	<b>3</b>
Germany	<b>79</b>	<b>373</b>
Hong Kong	<b>1</b>	<b>10</b>
Iran	<b>8</b>	<b>55</b>
Ireland	<b>3</b>	<b>16</b>
Israel	<b>1</b>	<b>8</b>
Italy	<b>6</b>	<b>24</b>

# RoboCupJunior in Bremen 2006

Japan	<b>18</b>	<b>86</b>
Republic of Korea	<b>3</b>	<b>9</b>
Netherlands	<b>1</b>	<b>7</b>
Norway	<b>2</b>	<b>6</b>
Portugal	<b>11</b>	<b>52</b>
Saudi Arabia	<b>1</b>	<b>7</b>
Singapore	<b>8</b>	<b>24</b>
Slovakia	<b>10</b>	<b>40</b>
Spain	<b>4</b>	<b>14</b>
Taiwan	<b>9</b>	<b>34</b>
United Kingdom	<b>12</b>	<b>71</b>
United States	<b>5</b>	<b>19</b>
<b>Total</b>	<b>239</b>	<b>1069</b>

# RoboCup Junior



Altersklassen:

Primary  $\leq 14$

Secondary 15-18

[www.robocupjunior.org](http://www.robocupjunior.org)  
[www.robocupjunior.de](http://www.robocupjunior.de)

Info auf Webseiten zu

- Daten
- Qualifikation
- Regeln
- Material

2006: Viele Preise  
Speziell: Gemischte Teams

# RoboCup Junior



- Aktuell in Deutschland ca. 250 aktive Teams
- Zur German Open 2007 ca. 500 Junior Teilnehmer

## Qualifikationen

- Magdeburg 23.-25.2.07
- Vöhringen 2.-4.3.07

www.robocupjunior.de



## Bundesweite Initiative RoboCupJunior zum Wissenschaftsjahr 2006 Vorbereitung auf die Weltmeisterschaft des RoboCupJunior in Bremen



[Ziele](#) | [Anleitung](#) | [Material](#) | [Projektgruppen](#) | [Resultate](#)

### Ziele

Ziel RoboCupJunior

Ziel dieser Website

Langfristige Ziele



#### Zielsetzung des RoboCupJunior

RoboCupJunior ist eine weltweite, projektorientierte Bildungsinitiative, die regionale, nationale und internationale Roboter-Veranstaltungen für junge Menschen fördert. Das Ziel besteht darin, Kindern und Jugendlichen Roboter und ihre Anwendung vorzustellen.

Die einzelnen Teams bestehen aus mehreren Teilnehmern, die bei der Konstruktion und Programmierung der Roboter eng zusammenarbeiten. Die Kinder und Heranwachsenden erwerben durch ihre Aktivitäten bei RoboCupJunior nicht nur technische Fertigkeiten sondern auch soziale Fähigkeiten.

#### Zielsetzung dieser Website

Diese Website soll sowohl Projektleiter und -leiterinnen (z. B. Lehrkräfte oder engagierte Eltern), als auch Kinder und Jugendliche zum mitmachen animieren. Sie finden Informationen, Anleitungen und Anregungen sowie Hintergrundinformationen, die Ihnen den Einstieg in das spannende Gebiet der Robotik erleichtern.

Sie finden ebenfalls ein Verzeichnis im Aufbau befindlicher sowie bestehender Projektgruppen, die teilweise auch schon beim RoboCupJunior mit dabei sind. Diese Website hilft bei der Vernetzung solcher Aktivitäten und fördert den gegenseitigen Erfahrungsaustausch

#### Ihr Ansprechpartner



Ab sofort können Sie sich gerne Fragen und Anregungen per E-Mail direkt an [Herrn Hild](#) wenden. Dies empfiehlt sich insbesondere während der jetzigen Aufbauphase der Website.

# Materialübersicht – Übersicht Basissysteme

fischertechnik  
ROBO Mobile Set

[www.fischertechnik.de](http://www.fischertechnik.de)

249.95 €



qfix "Crash-Bobby"  
Artikel-Nr.: EAAA000

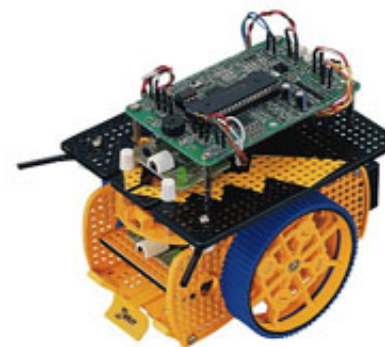
[www.qfix.de](http://www.qfix.de)

249.00 €

Lego Mindstorms  
Robotics  
Invention System 2.0

[mindstorms.lego.com](http://mindstorms.lego.com)

249.99 €



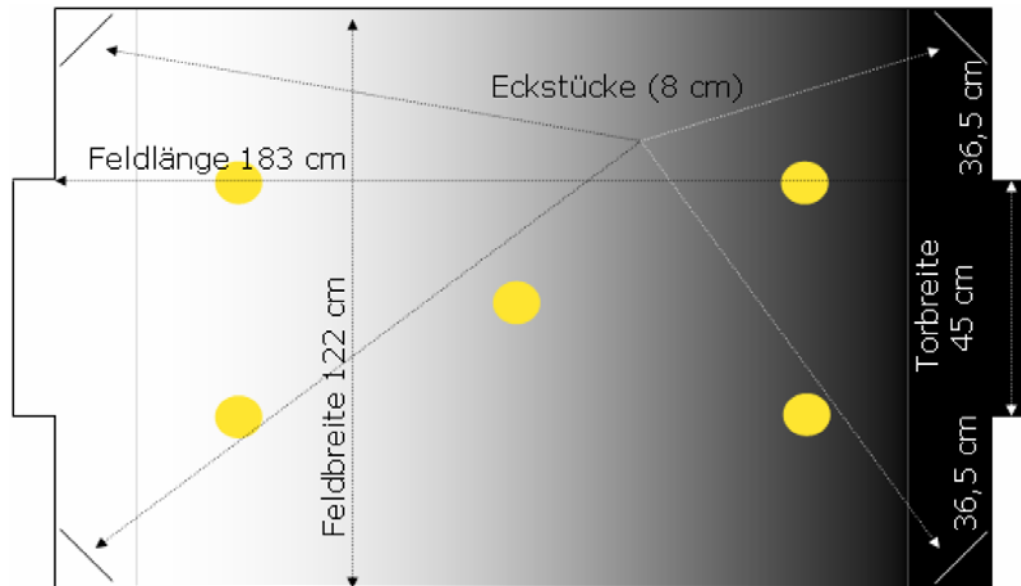
SOCCER ROBO 915  
Artikel-Nr.: 191177

[www.conrad.de](http://www.conrad.de)

139.00 €

# Materialübersicht – Erweiterungen

**Spielfeld**  
**(z. B. im Eigenbau)**



**Infrarot-Ball**  
**(dazugekauft)**



# RoboCup: Hardware + Software

für

- Bewegung (Aktoren + Ansteuerung)
- Wahrnehmung (Sensoren + Auswertung)
- Steuerung (Computer + Steuerprogramm)

Sense-think-act-Zyklus

# Körper: Arme, Beine, Räder, Motoren,...

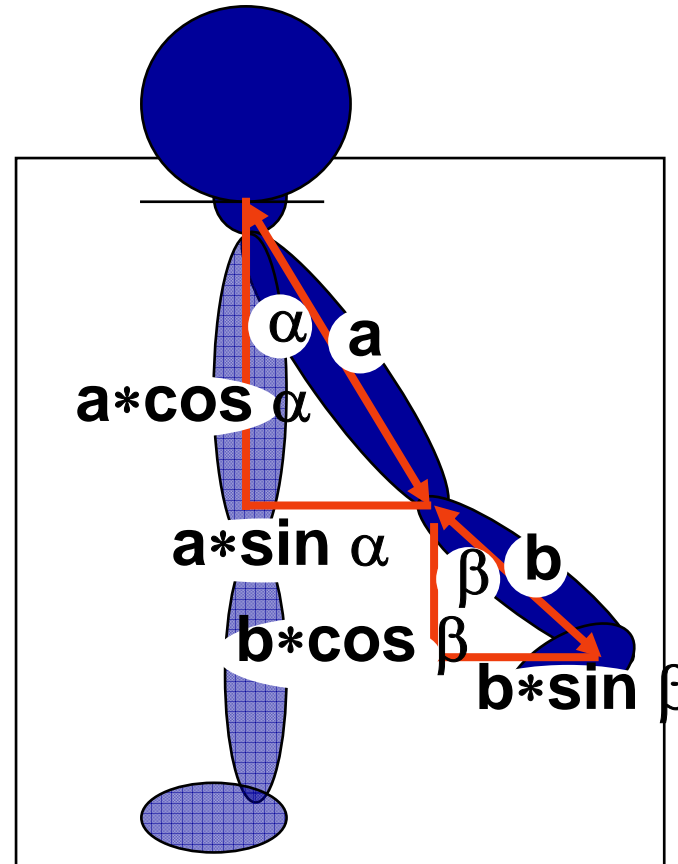
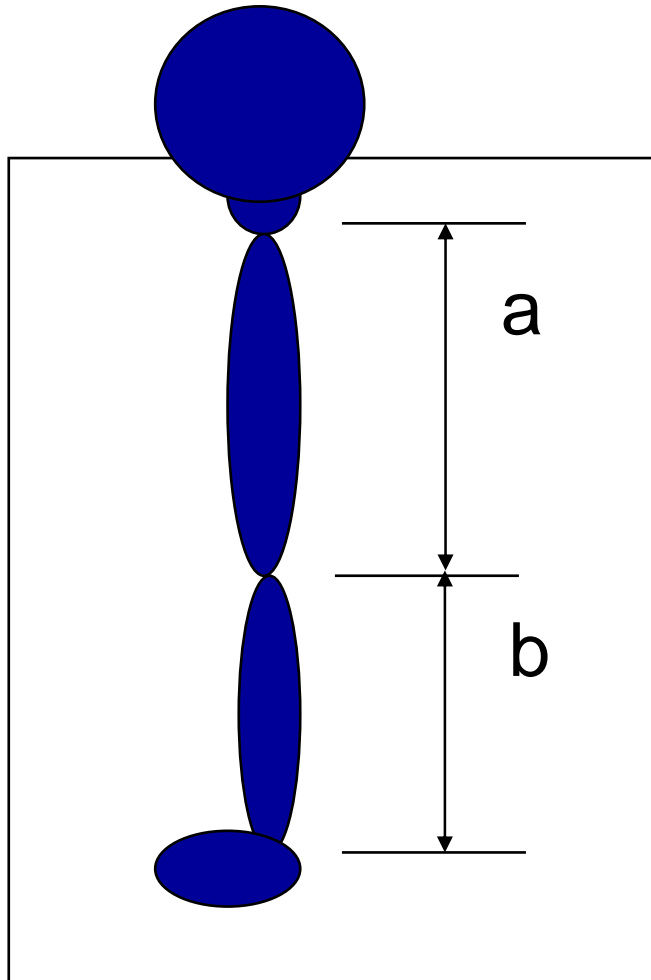
## AIBO von SONY

20 Motoren:

- 3 pro Bein
- 3 für den Kopf
- 2 für den Schwanz
- 1 für das Maul
- 1 pro Ohr

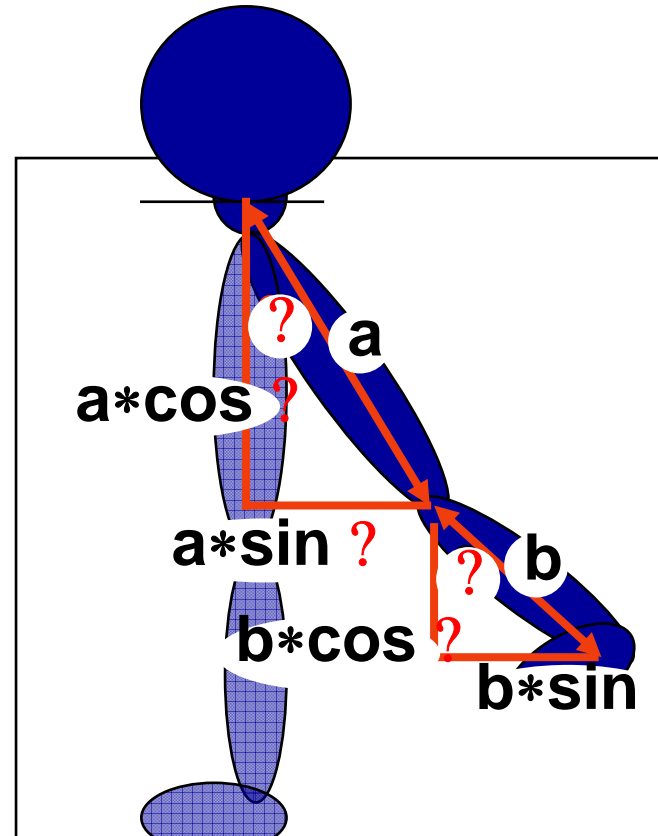
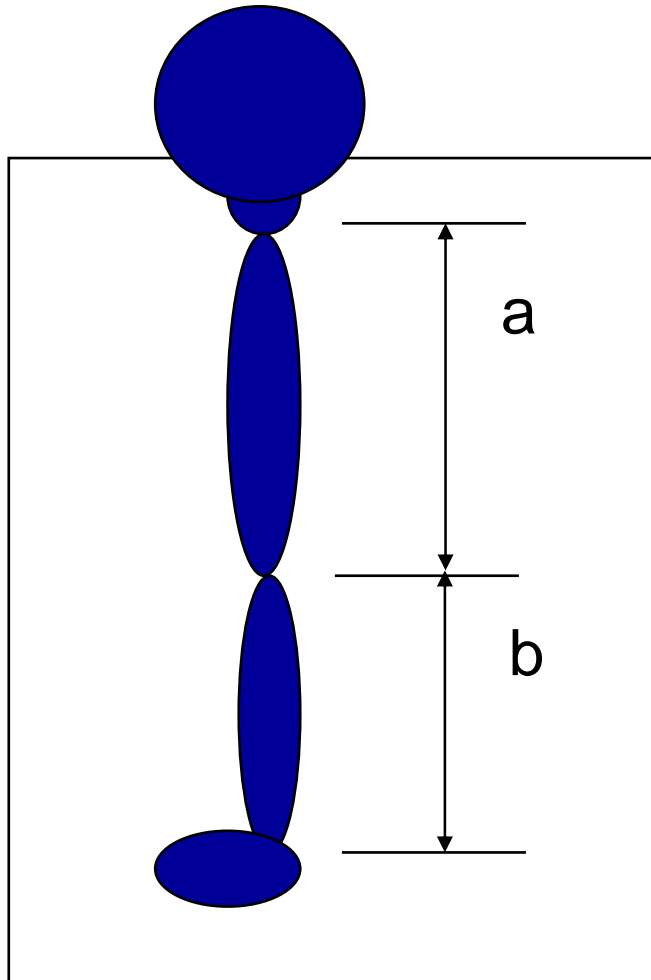


# Laufen



Beinbewegung modellieren

# Laufen



Welche Winkel ergeben die gewünschte Bewegung?

# Komplexe Berechnungen

$$px_0 = 0$$

$$py_0 = 0$$

$$px_3 = px(\Theta_1, \Theta_2, \Theta_3) + \frac{\Delta px(\Theta)}{\Delta \Theta_1} \Delta \Theta_1$$

$$py_3 = py(\Theta_1, \Theta_2, \Theta_3) + \frac{\Delta py(\Theta)}{\Delta \Theta_1} \Delta \Theta_1$$

$$\frac{\Delta px(\Theta)}{\Delta \Theta_1}$$

$$\Delta \Theta_1$$

$$\frac{\Delta px(\Theta)}{\Delta \Theta_2}$$

$$\Delta \Theta_2$$

$$\frac{\Delta px(\Theta)}{\Delta \Theta_3}$$

$$px_3 = \cos(\Theta_1) * a_1$$

$$py_3 = \sin(\Theta_1) * a_1$$

$$\frac{\Delta py(\Theta)}{\Delta \Theta_2} = \cos$$

$$\frac{\Delta py(\Theta)}{\Delta \Theta_3} = \cos$$



$$+ \Theta_2) * \Theta_2$$

$$+ \Theta_2) * \Theta_2$$

$$+ \Theta_2 + \Theta_3) * a_3$$

$$+ \Theta_2 + \Theta_3) * a_3$$

$$2 \quad - \quad 3 \quad - \quad 3$$

$$+ \Theta_3) * a_3$$

Wie laufen Menschen ohne Physik und Mathematik?

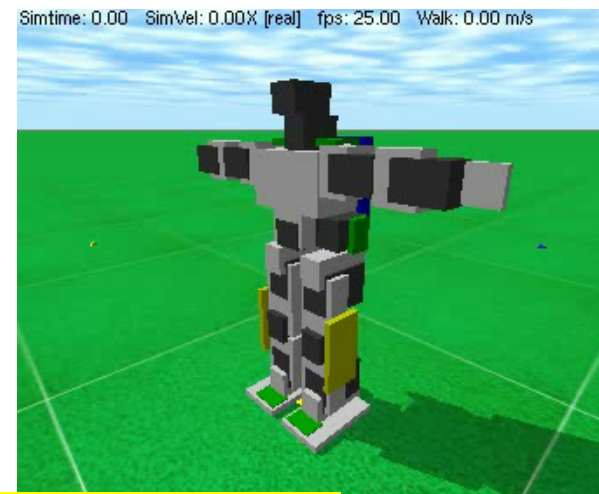
# Laufen Lernen

- Ausprobieren verschiedener Winkel
- Bewerten der Ergebnisse („Loben“)
- Beste Winkel werden gelernt

Am besten alles automatisch

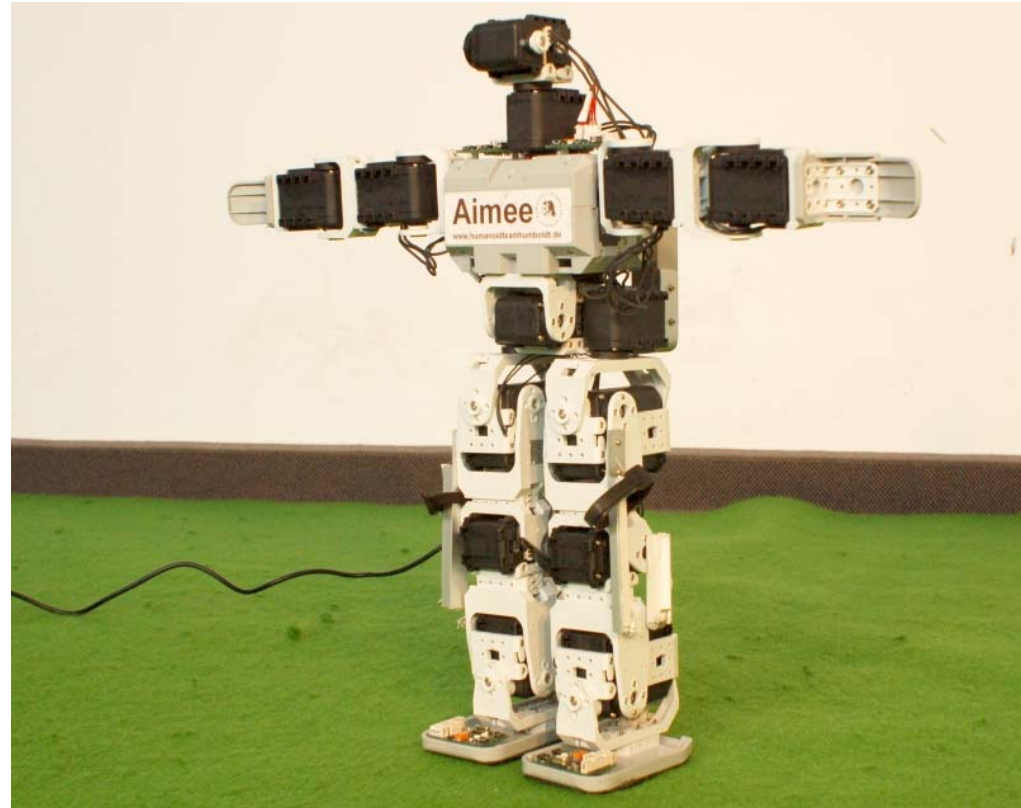
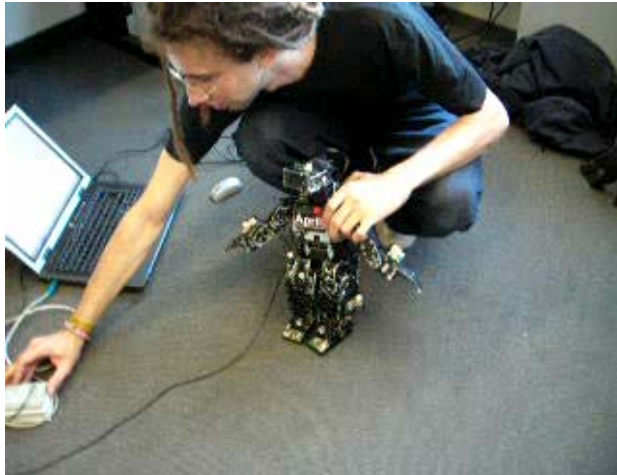
# Maschinelles Lernen

- Evolutionäre Algorithmen
- Verstärkungslernen
- Fallbasiertes Schließen
- Neuronale Netze



<http://www.robocup.de/AT-Humboldt/simloid-evo.shtml?de>

# Körpergefühl



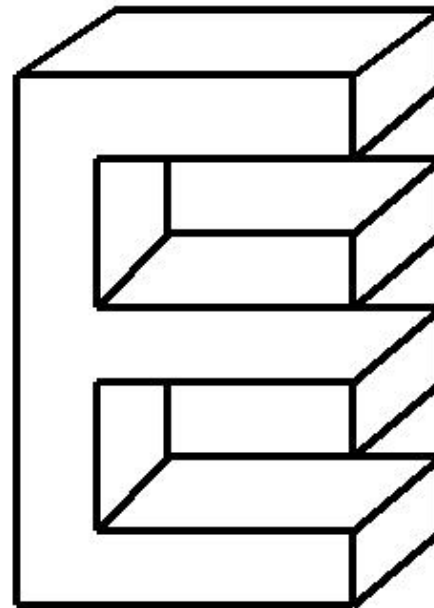
# RoboCup Junior

## Phantasie für Dance



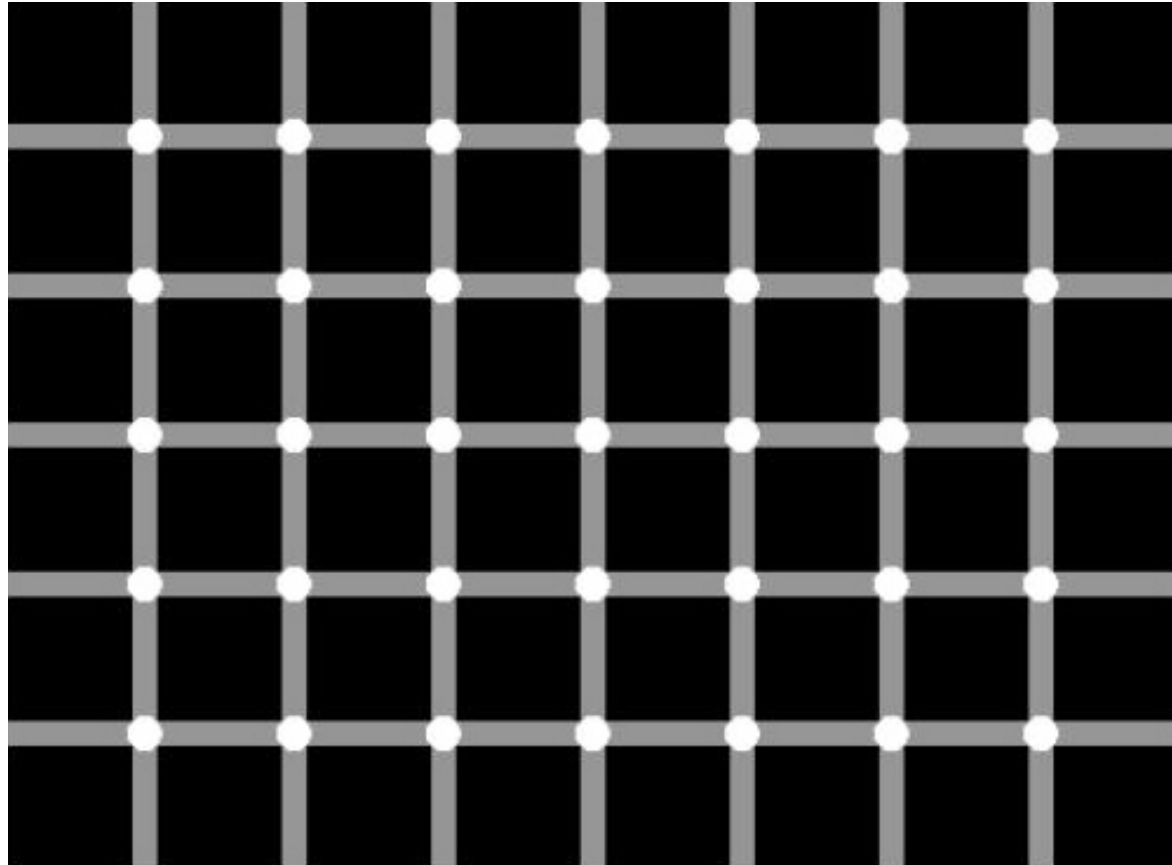
# Sehen und Erkennen

Interpretationen  
im Wettstreit



# Bildverarbeitung

Interpretationen  
im Wettstreit



# Sehen und Erkennen

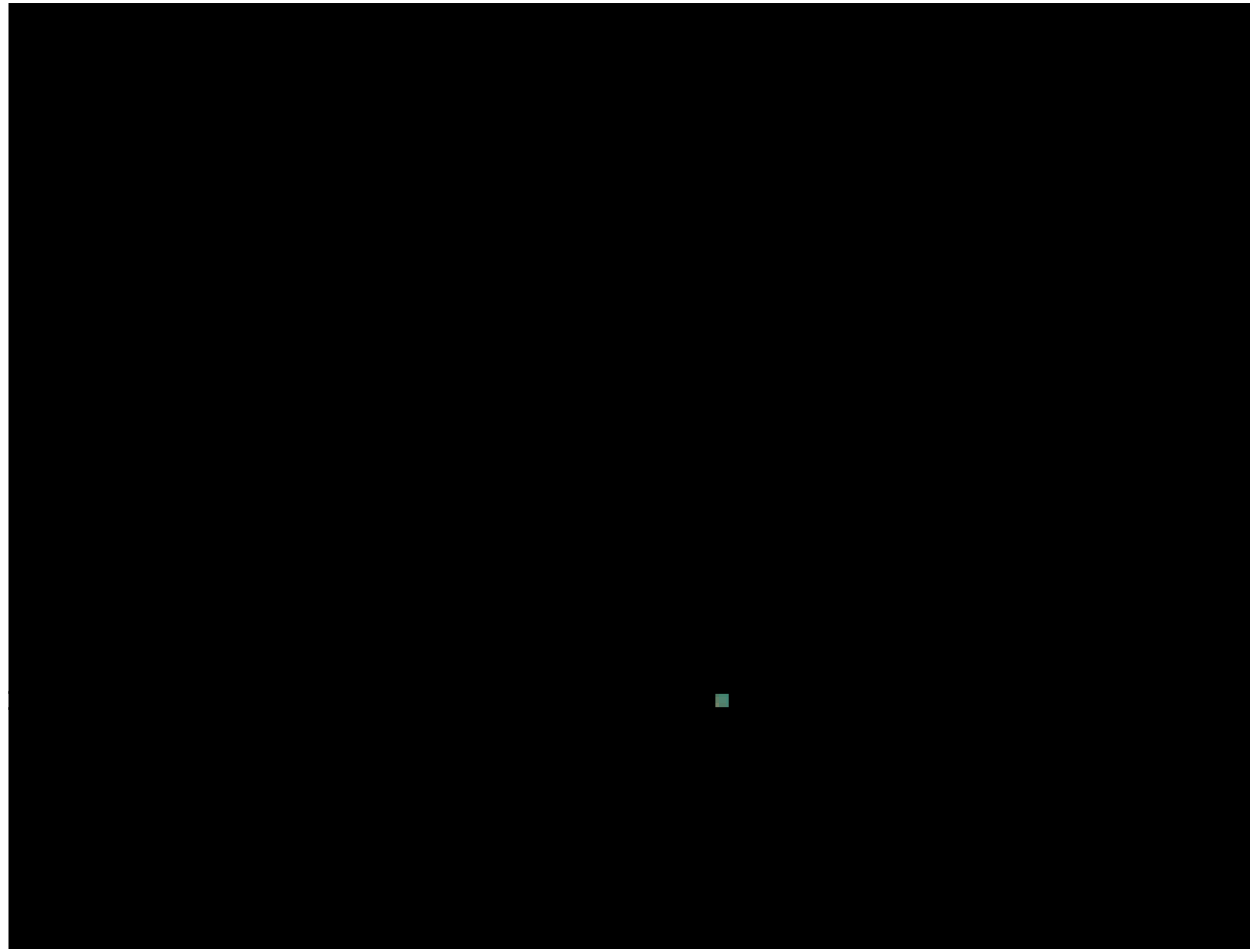
Was sieht der Roboter?

Woran erkennt er den Ball?

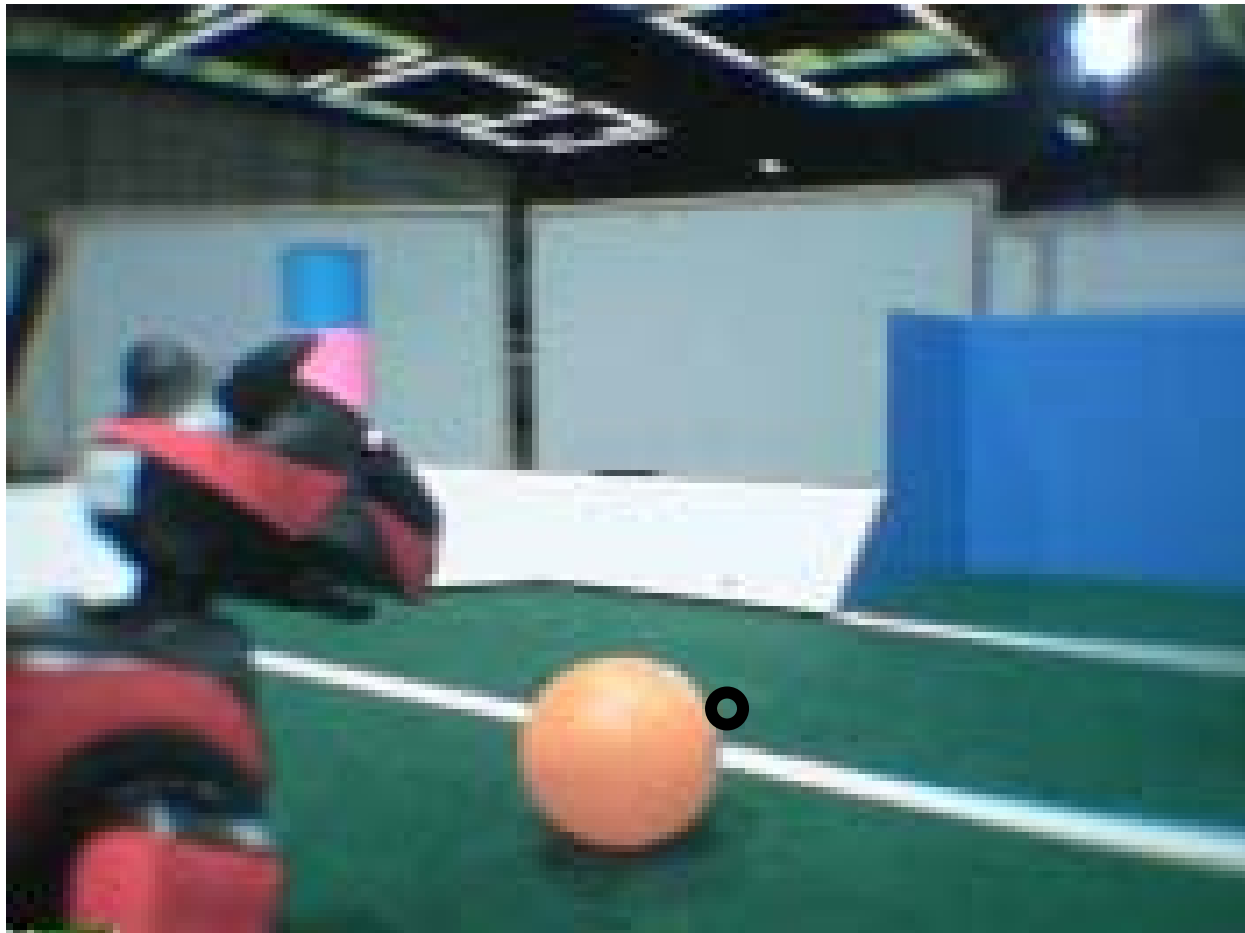
Der Ball ist orange.  
Der Ball ist rund.  
Der Ball hängt nicht an der Decke.  
Der Ball bewegt sich geradeaus.



# Sequentielles „Sehen“



# Paralleles Sehen



H.-D. Burkhard, B. Altmeier, M. Hild

# Sehen und Erkennen



# Sehen und Erkennen

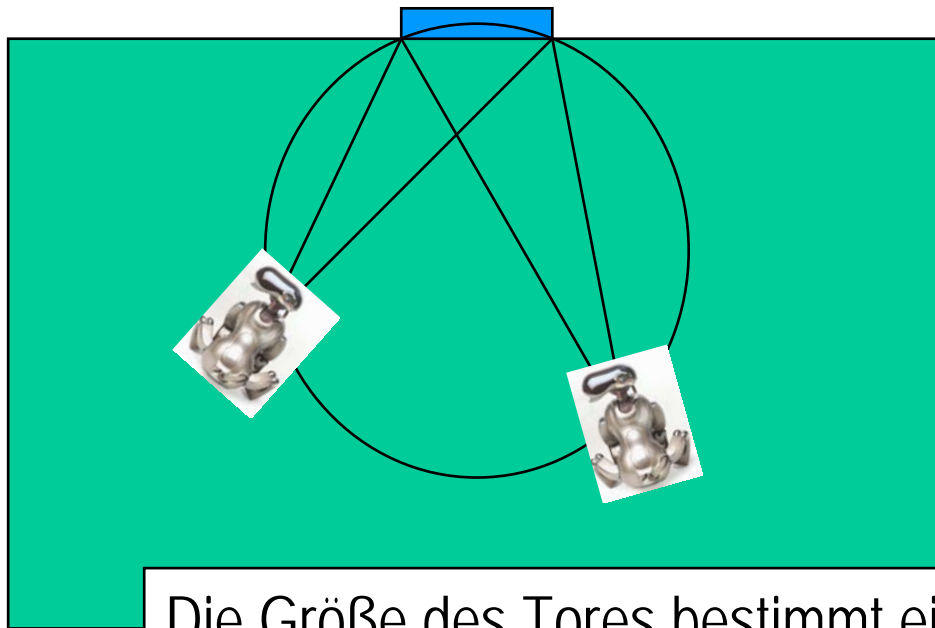


# Zusammenhänge nutzen (Geometrie)

Wo bin ich ?  
Wo ist der Ball ?



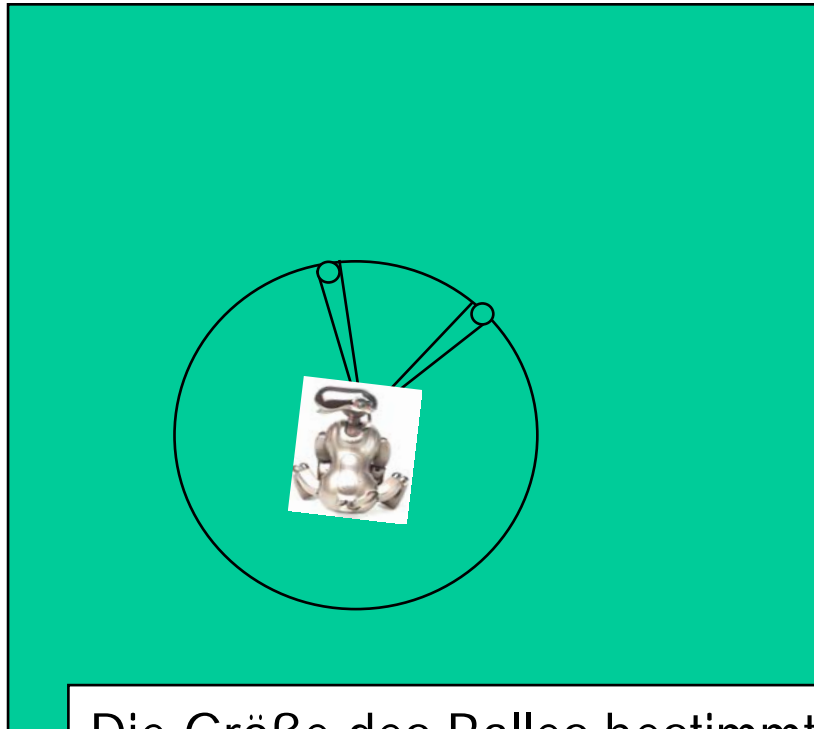
# Zusammenhänge nutzen (Geometrie)



Die Größe des Tores bestimmt einen Kreis für mögliche Positionen des Beobachters.

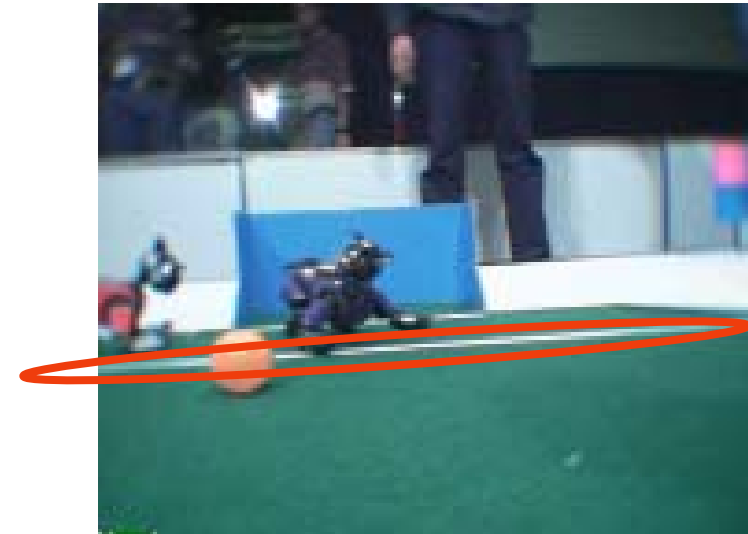
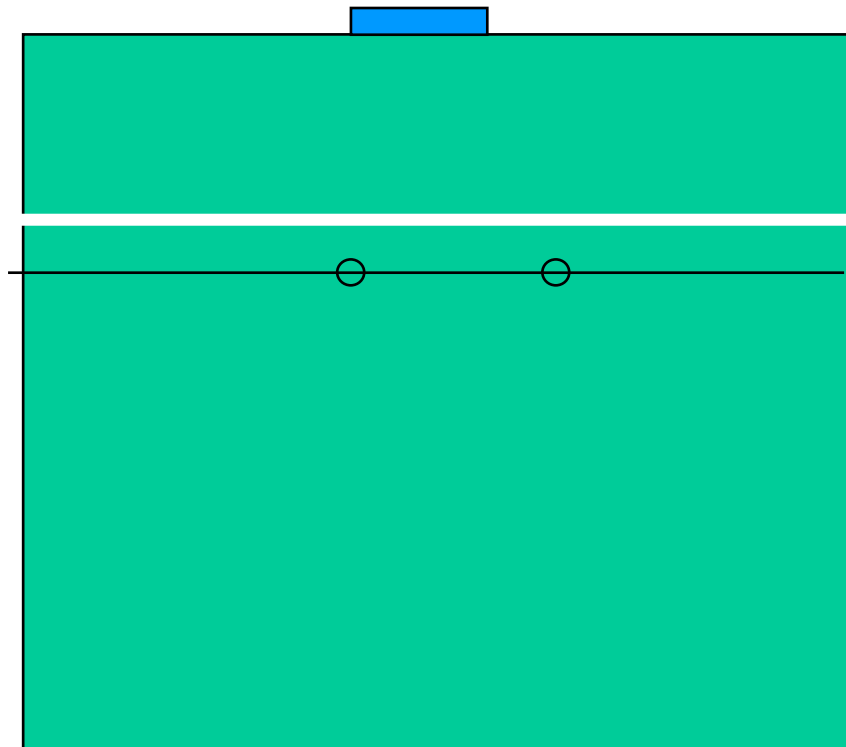


# Zusammenhänge nutzen (Geometrie)



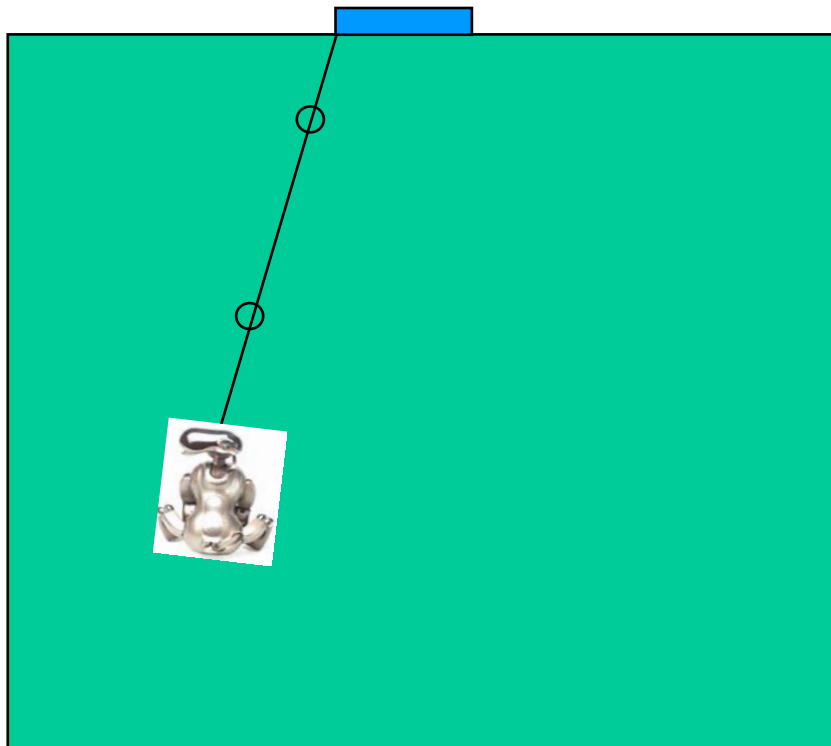
Die Größe des Balles bestimmt einen Kreis für mögliche Positionen des Balles relativ zum Beobachter.

# Zusammenhänge nutzen (Geometrie)



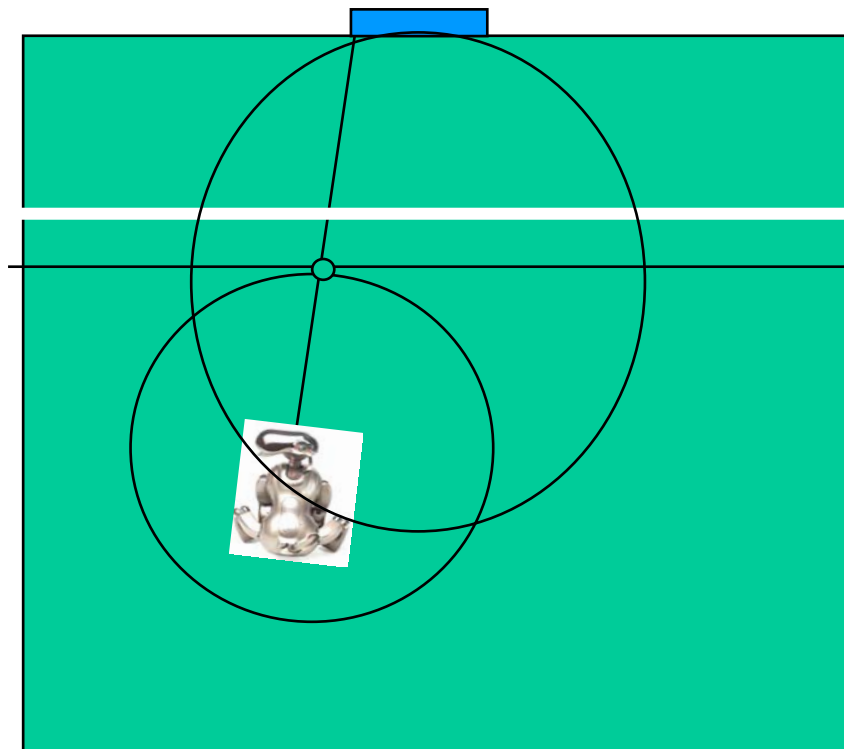
Der Ball liegt auf einer Linie vor der Strafraumgrenze

# Zusammenhänge nutzen (Geometrie)



Der Ball liegt auf einer Linie zwischen mir und dem Torpfosten

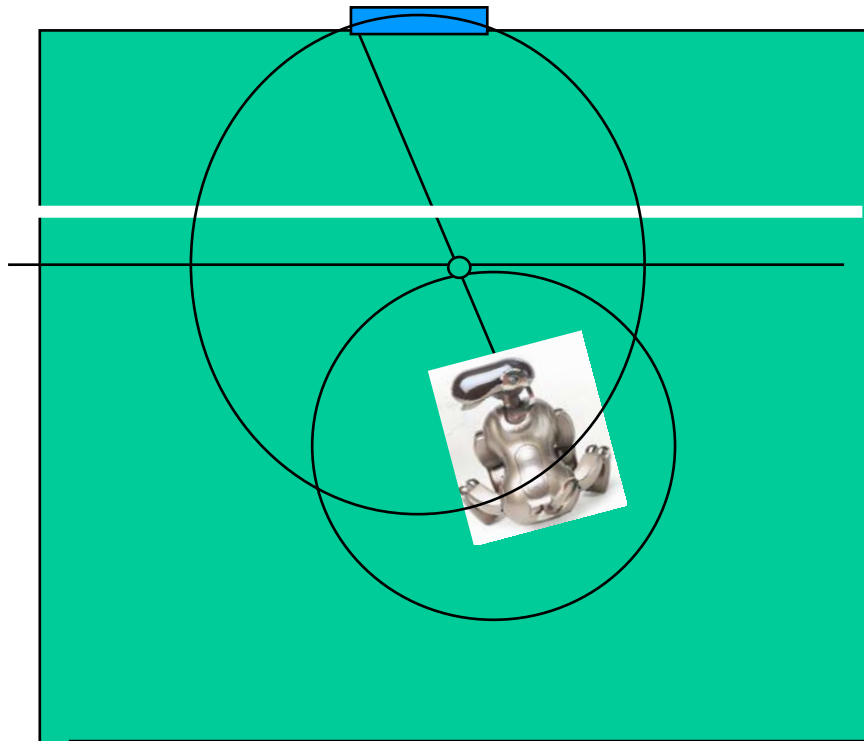
# Zusammenhänge nutzen (Geometrie)



Kombination ergibt 2 mögliche Positionen



# Zusammenhänge nutzen (Geometrie)



Kombination ergibt 2 mögliche Positionen

# RoboCup Junior

Helligkeitssensoren

Infrarotsensoren

Tastsensoren



# Sehen + Erkennen + Denken:

- Wo bin ich?
- Wo ist der Ball?
- Wo sind die anderen?
- Was machen die anderen?



## Sehen + Erkennen + Denken + Handeln:

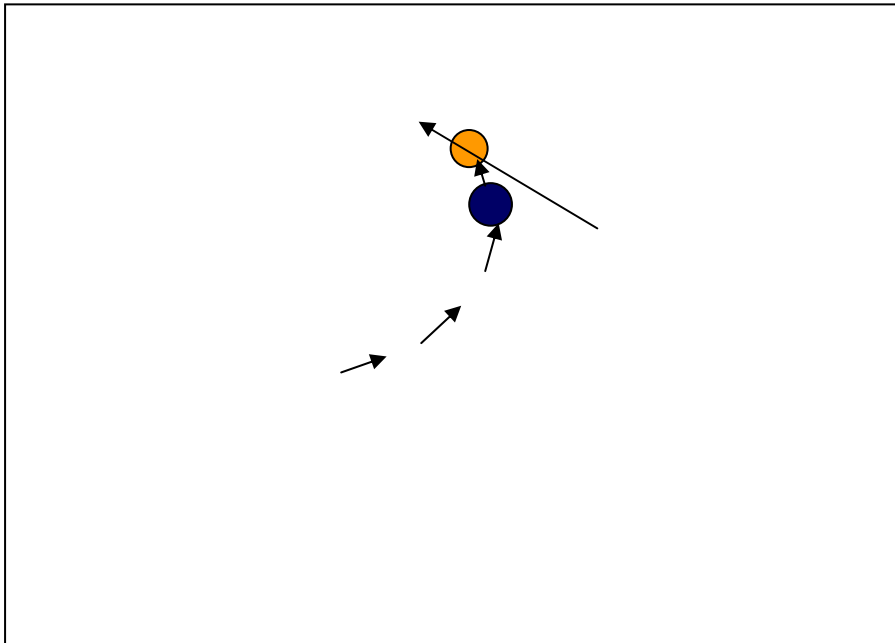
- Wo bin ich?
- Wo ist der Ball?
- Wo sind die anderen?
- Was machen die anderen?



- Was mache ich jetzt

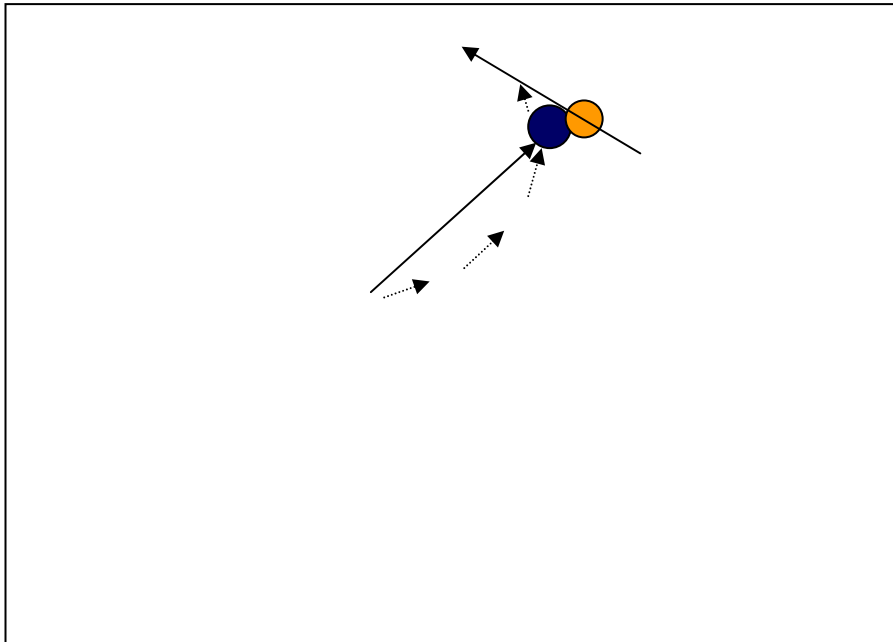
# Reflexe (Stimulus-Response, „reaktiv“)

Zum Ball laufen



# Zielgerichtetes Verhalten

- Handeln gemäß selbst gesetzter Ziele





# Wie programmiert man einen Doppelpass?

## 1. Versuch („Schach“):

- Vorausschauende Simulation
- Wahl der besten Alternative

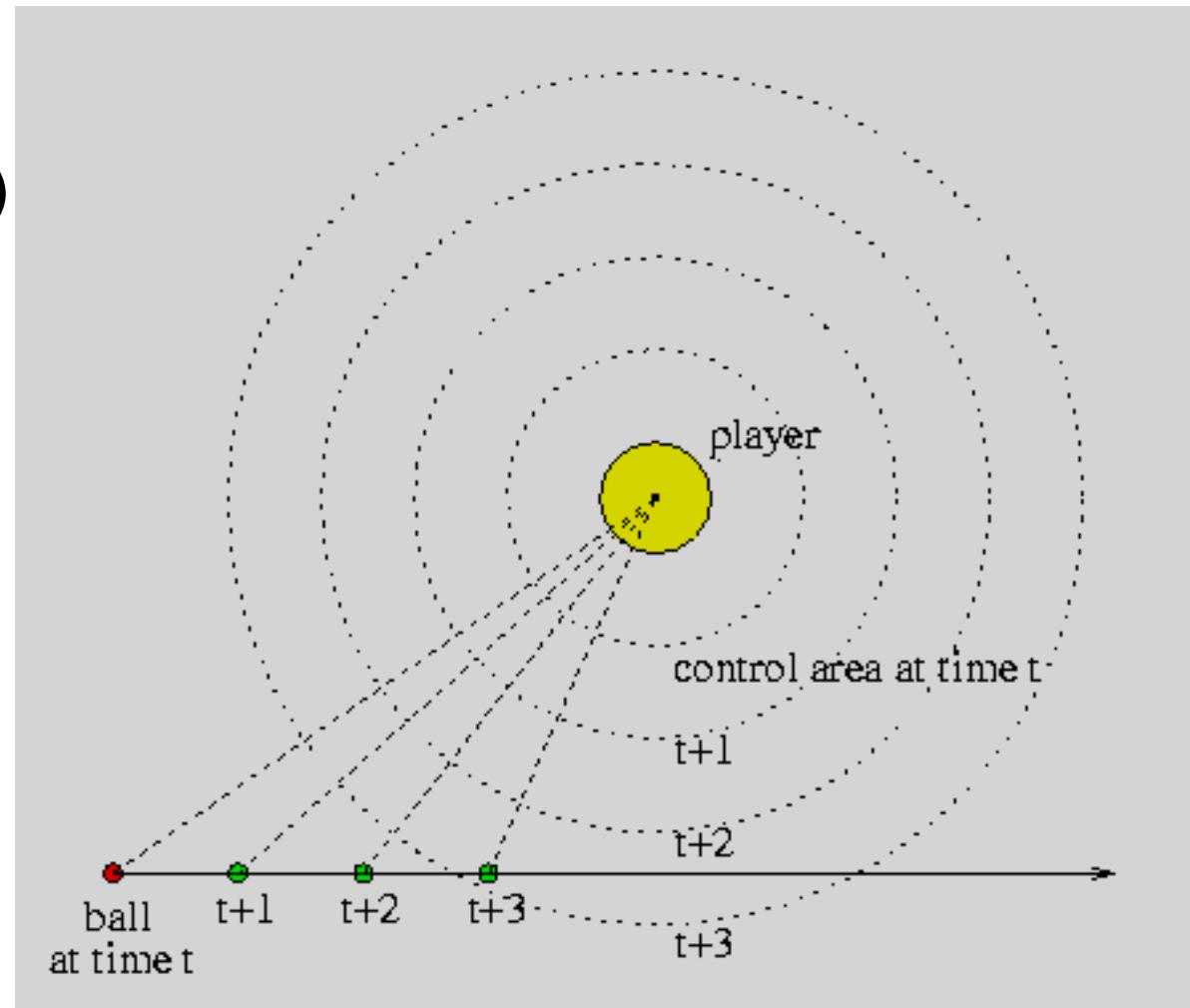
# Wo ist der Ball erreichbar?

Abschätzen  
(„nach Gefühl“)

Lernen

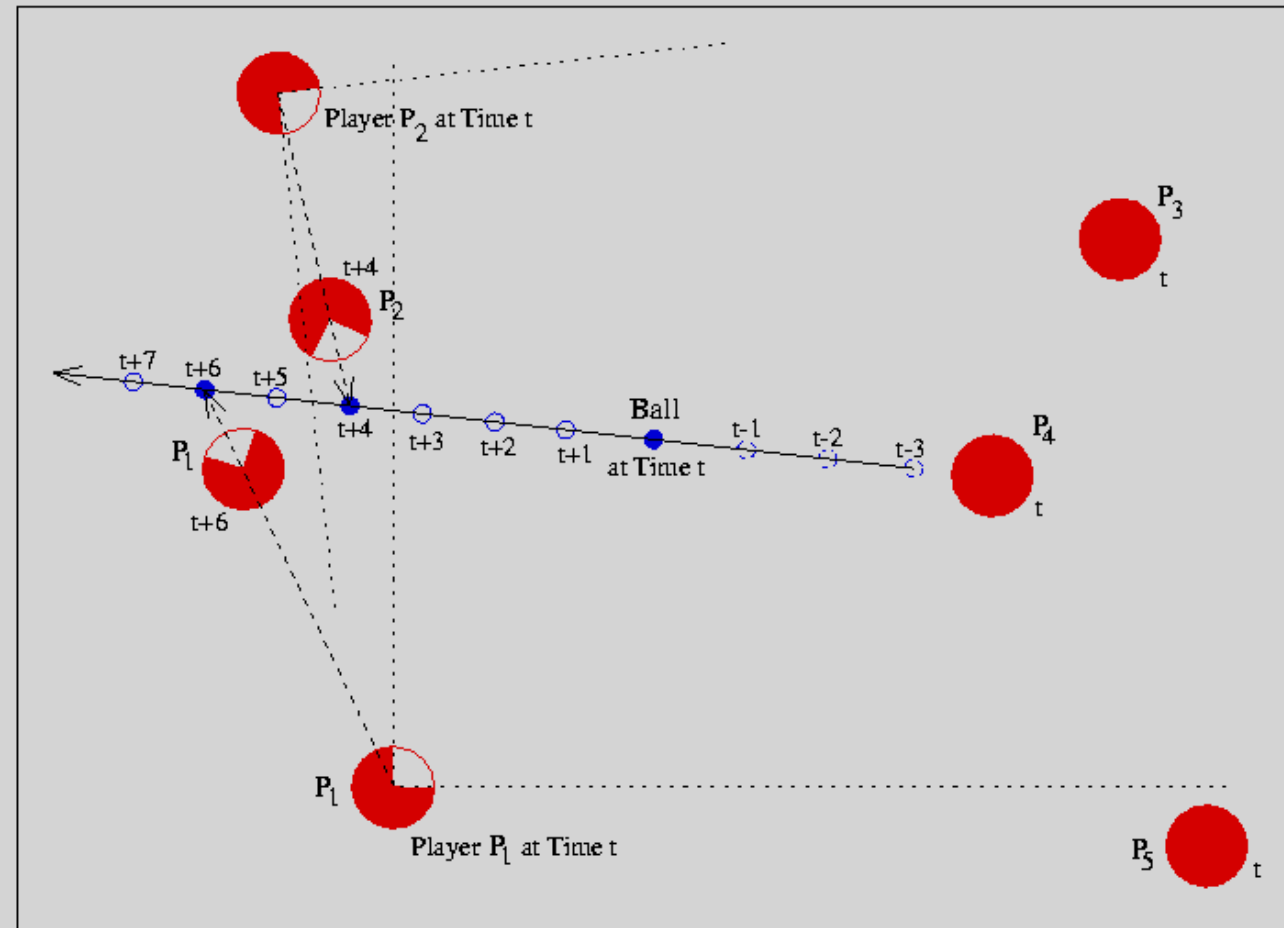
Berechnung

**Simulation**



# Wer ist zuerst am Ball?

Verwenden  
„Wo ist der Ball  
erreichbar?“



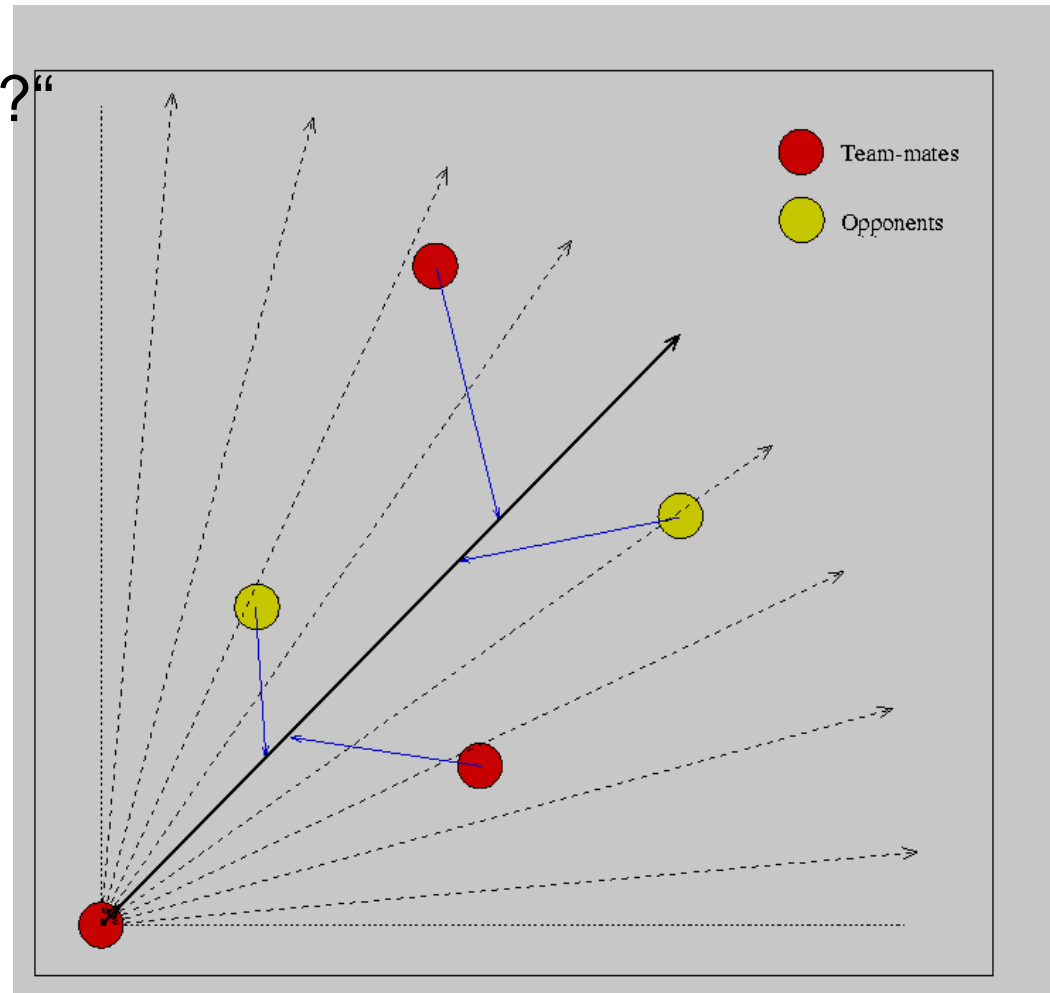
# Wohin passen?

Verwenden

„Wer ist zuerst am Ball?“

(Verwenden

„Wo ist der Ball erreichbar?“)



# Wie programmiert man einen Doppelpass?

## 1. Versuch („Schach“):

- Vorausschauende Simulation
- Wahl der besten Alternative

Resultat:

Für kurzfristige Planung  
brauchbar

# Wie programmiert man einen Doppelpass?

## 2. Versuch („Emergenz“):

Wenn sich jeder zeitnah optimal verhält,  
ergibt sich ein Doppelpass von allein.

**Resultat:**

**Doppelpass emergiert gelegentlich**

# Wie programmiert man einen Doppelpass?

3. Versuch:

Begrenzte Information  
Begrenzte Zeit

Verstehen, was passiert und wie man es programmieren kann.

Resultat:

Demnächst ...

# RoboCup Junior

Verhalten programmieren

- Dance: Aktorik, Linie verfolgen, Takt halten, ...
- Rescue:
  - Linie verfolgen für Rescue (analog „Schildkröte“)
  - Hindernis ausweichen
- Soccer: Licht verfolgen



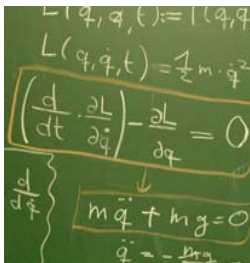
# Projekt „e-Robot“ an der HU Berlin

Experimental-Labor mit humanoiden Robotern  
– interaktiv bedienbar per Internet

Mehrere Stufen

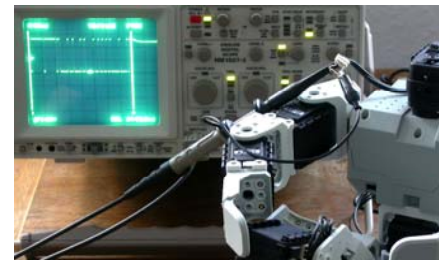
- Grundlagen
- Simulationen
- Experiment 1
- Experimente 2, 3, ...

ab Frühjahr 2007



Handwritten mathematical equations on a chalkboard, likely related to Lagrangian mechanics:

$$L(q, \dot{q}, t) = \frac{1}{2} m \cdot \dot{q}^2$$
$$\left( \frac{d}{dt} \frac{\partial L}{\partial \dot{q}} \right) - \frac{\partial L}{\partial q} = 0$$
$$m \ddot{q} + m g = 0$$
$$\ddot{q} = -g$$



# Programmierung von Fußball-Robotern

Was können wir lernen?

Hypothese:

- Fußball umfasst viele Probleme einer Alltagsumwelt
- Menschliches Gehirn durch Evolution entwickelt:
  - Einsichten über Alltags-Fähigkeiten können helfen, „Intelligenz“ zu verstehen
  - Vielleicht ähnliche Fähigkeiten für Lösen von Problemen
- Roboter können (aber müssen nicht) Methoden gebaut werden.

*Es ist eigentlich unwichtig,  
ob Roboter 2050 im Fußball gewinnen ...*

