

# Kognitive Robotik

HK WS 05/06

## Einführung

Hans-Dieter Burkhard  
Humboldt-Universität Berlin  
Institut für Informatik



Wie programmiert man einen Doppelpass?



# Künstliche Intelligenz

Verständnis wächst mit aktiver Auseinandersetzung:  
Etwas zu “machen”, zu beherrschen,  
bedeutet zugleich besseres Verstehen.

Angewandt auf die Erforschung geistiger Prozesse führt das  
auf die Nachbildung intelligenten Verhaltens mit Maschinen.

“Künstliche Intelligenz” hat drei Aspekte:

1. Modellierung von Intelligenz, um sie besser zu verstehen
2. Ausnutzung maschineller Leistung für intelligente Aufgaben
3. Kooperation von Menschen, Computern und Robotern

Hans-Dieter Burkhard  
Kognitive Robotik: Einführung

WS 05/06



# Humboldt-Universität: Künstliche Intelligenz

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

Handeln aus  
Erfahrung

Wissensmanagement

Soziale Intelligenz:  
Sozionik

Anwendungen in  
der Medizin

Intelligente Roboter

Hans-Dieter Burkhard  
Kognitive Robotik: Einführung

The screenshot shows the homepage of the Institute for Informatics at Humboldt University Berlin. The page features a navigation menu on the left with links for 'Mitarbeiter', 'Lehrveranstaltungen und Seminare', 'Forschung', 'Projekte', 'Veranstaltungen', 'Internes', and 'AK RoboCup'. The main content area includes contact information for Prof. Dr. Hans-Dieter Burkhard and Renate Zirkelbach, the address of the Institute for Informatics, and a 'Highlights' section with icons and brief descriptions of various projects and publications.

**Lehr- und Forschungsgebiet Künstliche Intelligenz**

**Leiter:** Prof. Dr. Hans-Dieter Burkhard  
([hdb@informatik.hu-berlin.de](mailto:hdb@informatik.hu-berlin.de))

**Sekretariat:** Renate Zirkelbach  
([zirkel@informatik.hu-berlin.de](mailto:zirkel@informatik.hu-berlin.de))  
Telefon: (030) 2093-3167, Fax: (030) 2093-3168

**Adresse:** Postanschrift: Humboldt-Universität zu Berlin  
Institut für Informatik  
Unter den Linden 6, 10099 Berlin

Für Besucher: Johann von Neumann-Haus  
Rudower Chaussee 25, 12489 Berlin-Adlershof  
Haus 3, 4. Etage (Lageplan)

Informationseite für das WiSe 2003/2004

**Highlights**

- RoboCup**: AT Humboldt und AIBO Team Humboldt. Das Fußballspiel ist ein exzellentes Experimentierfeld für Agententechnologie und Robotik. Wir sind in zwei Ligen am Start.
- Endspiel 2050**: Dieses neu erschienene Buch von Hans-Dieter Burkhard und Hans-Arthur Marsiske beschäftigt sich mit dem Thema RoboCup.
- INKA**: Unser Projekt im Bereich Sozionik. Forschungsgegenstand ist der Transfer soziologischer Konzepte in das Design von MAS und die Integration solcher MAS in komplexe menschliche Organisationen.
- CBR-Answers**: Die CBR-Anwendung life bei SIMATIC Knowledge Manager.
- Virtuelles Reisebüro**: Diese E-Commerce-Anwendung ist den Kinderschuhen entwachsen und im kommerziellen Einsatz.

# Agenten und Autonome Roboter

## Delegation:

Autonomes Handeln im Auftrag eines Nutzers

## Rationales Verhalten:

In komplexen Umgebungen mit beschränkten Ressourcen „erfolgreich“ handeln (bounded rationality)

Alltagsaufgaben sind wesentlich schwieriger zu implementieren als z.B. Schach

Hans-Dieter Burkhard  
Kognitive Robotik: Einführung

WS 05/06



## Fallbasiertes Schließen, Wissensmanagement

Idee: Handeln aus Erfahrung. Erinnern und Anpassen.  
Beispiel: Intelligente Suchmaschinen

The screenshot shows the reiseboerse.com website interface. On the left, there are search filters for 'Art' (Doppelzimmer, Abreise: 9.4.2001(Mo)), 'Reisedauer' (10), 'Angebots-Art' (Pauschalreise), 'Preis ca. DM' (1000), 'Anbieter' (Neckermann), 'Sterne Unterkunft' (5), and 'Erwachsene' (2). A 'Reise suchen' button is visible. Below the filters, there is a text box stating: 'Letztes update am 21.3.2001 um 09:19:05, jetzt mit 157.513 Angeboten. Sie suchen eine preiswerte Last Minute - Angebot oder Reisen zu Sonderpreisen, bei denen Sie im Vergleich zum Katalog ordentlich Geld sparen können? Kein Problem, hier sind sie, die Angebote führender deutscher Reiseveranstalter.' On the right, a list of travel offers is displayed, including '1. von Berlin-Tegel nach Teneriffa, Kanaren, Spanien, LA PINTA\*\*\*\* PLAYA DE LAS AMERICA' with a price of DEM 1719, '2. von Berlin-Tegel nach Teneriffa, Kanaren, Spanien, LA PINTA\*\*\*\* PLAYA DE LAS AMERICA' with a price of DEM 2671, '3. von Berlin-Tegel nach Teneriffa, Kanaren, Spanien, NNNN HOTEL ALL INCLUSIVE Doppelzimmer, Bad oder Dusche, WC, Balkon oder Terrasse/Belegung, 2. Zustellbett moeglich Verpflegung: Alles Inklusiv' with a price of DEM 2149, and '4. von Berlin-Tegel nach Teneriffa, Kanaren, Spanien, NNNN HOTEL ALL INCLUSIVE Doppelzimmer, Bad oder Dusche, WC, Balkon oder Terrasse/Belegung, 2. Zustellbett moeglich Verpflegung: Alles Inklusiv' with a price of DEM 1600.

Hans-Dieter Burkhard  
Kognitive Robotik: Einführung

WS 05/06



# Sozionik: Soziologie + Informatik

## „Hybride Gesellschaften“

Technische Agenten als menschlichen Akteuren  
*vergleichbare* Kooperationspartner.



Verteilte Handlungsträgerschaft  
Kooperation von Menschen und Maschinen unter Beachtung  
organisatorischer/soziologischer Anforderungen

Hans-Dieter Burkhard  
Kognitive Robotik: Einführung

WS 05/06



# Technische Kognitive Systeme

„Intelligente“ Systeme:

Grand Challenge

1. Versuch: 13.3.2004
2. Versuch: 8.10.2005

Hans-Dieter Burkhard  
Kognitive Robotik: Einführung

WS 05/06



## 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

Hans-Dieter Burkhard  
Kognitive Robotik: Einführung

WS 05/06



The vehicle that completed the course in the shortest amount of time was “Stanley,” entered by Stanford University. The team wins the \$2 million prize because it finished the entire course in the shortest elapsed time under 10 hours – six hours, 53 minutes and 58 seconds (6:53:58).

Two vehicles entered by Carnegie-Mellon University, Red Team’s “Sandstorm” (7:04:50) and Red Team Too’s “H1ghlander” (7:14:00) finished close behind. The Gray Team’s “KAT-5” finished at 7:30:16. Oshkosh Truck’s 16-ton robot, TerraMax, also finished the course, on Sunday. Its official elapsed time was not available at press time, but the vehicle will not be eligible for the cash prize because the time will exceed the 10-hour limit.

The first four finishers entered the history books as being the first ground vehicle robots to travel a great distance at relatively high speed within a specified time frame. Stanley’s average speed over the 131.6-mile desert course was 19.1 mph. Sandstorm averaged 18.6 mph, H1ghlander 18.2 mph, and KAT-5 17.5 mph.

# Stanley

The Stanford Vehicle (nicknamed "Stanley") is based on a stock, Diesel-powered Volkswagen Touareg R5, modified with full body skid plates and a reinforced front bumper. Stanley is actuated via a drive-by-wire system developed by Volkswagen of America's Electronic Research Lab.

All processing takes place on seven Pentium M computers, powered by a battery-backed, electronically-controlled power system. The vehicle incorporates measurements from GPS, a 6DOF inertial measurement unit, and wheel speed for pose estimation.

While the vehicle is in motion, the environment is perceived through four laser range finders, a radar system, a stereo camera pair, and a monocular vision system. All sensors acquire environment data at rates between 10 and 100 Hertz. Map and pose information are incorporated at 10 Hz, enabling Stanley to avoid collisions with obstacles in real-time while advancing along the 2005 DARPA Grand Challenge route.

The development of Stanley began in July 2004. At the time of the initial team application, the vehicle is largely functional and has logged dozens of autonomous miles along the 2004 DARPA Grand Challenge course.

Hans-Dieter Burkhard  
Kognitive Robotik: Einführung

WS 05/06



# Strukturierte Umgebungen

Erfolgreiche Fahrten  
seit den 90er Jahren

z.B.

Dickmanns (München)  
Nagel (Karlsruhe)

Hans-Dieter Burkhard  
Kognitive Robotik: Einführung

WS 05/06



# Was ist Künstliche Intelligenz?

... wenn **Maschinen** Leistungen vollbringen, die in der Natur als "intelligente Leistungen" gelten würden.



## Reaktiv vs. Deliberativ

### KLASSISCHE ANSÄTZE:

Reaktiv = einfach

Deliberativ = komplex

Hybrid = Kombination

Einfach:

- Rechnen
- Fahrplan-Auskunft
- Schach spielen

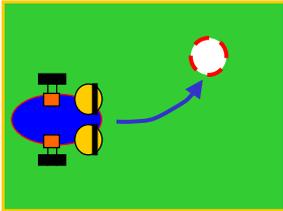
Schwierig:

- Gute Unterhaltung
- Alltagswissen
- Wahrnehmung



# „Bewusstes“ Handeln

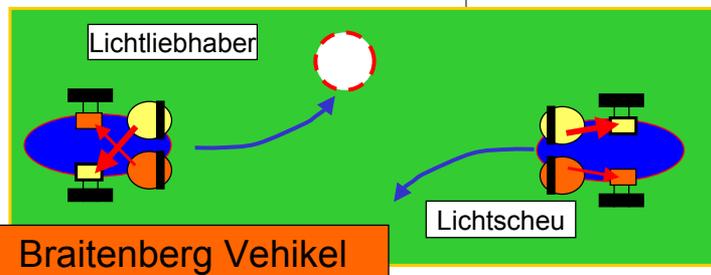
Ich sehe das Licht links vor mir.  
Ich will zum Licht.  
Dafür muss ich nach links vorn gehen.  
Dafür muss ich mich nach links drehen und vorwärts laufen.  
Dafür muss ich das rechte Bein nach vorn setzen.  
usw.



Alternativ: Reflexe



# Reflexe



Alternativ: „Bewusstes“ Handeln



# Roboter

Robota = Arbeit (tschechisch, Karel Capek 1921)

- Künstliche Menschen
- Fertigungsautomaten
- Mobile Roboter
- „Intelligente“ Roboter
  
- Science Fiction



# Roboter = „Agenten in realer Umgebung“

Roboter: Programmgesteuerte Maschinen,  
die selbständig mit einer realen Umgebung interagieren  
im Sinne ihrer Nutzer

(Software-)Agenten: Programme,  
die selbständig mit ihrer Umgebung interagieren  
im Sinne ihrer Nutzer

„Intelligente“ Roboter/Agenten



# Rationale Roboter/Agenten

Zielsetzung:

Die Mittel für den gewünschten Zweck optimal einsetzen.

Ingenieurtechnisch zu lösende Aufgabe

„Beschränkte Rationalität“:

Die *verfügbaren* Mittel

in einer *dynamischen, unstrukturierten, unsicheren, nur teilweise erfahrbaren, ...* Umgebung

für den gewünschten Zweck *möglichst effizient* einsetzen



## „Beschränkte Rationalität“

*Für mobilen Roboter in realer Umwelt  
Für Software-Agenten im Internet*

*Umwelt:*

- *Dynamisch: schnelle (unerwartete) Änderungen*
- *Unstrukturiert: keine vorgegebene Konstruktion*
- *Unsicher: unzuverlässige Daten, verrauschte Daten*
- *Nur teilweise erfahrbar: Nicht alle Information zugänglich*

Ursachen für Einschränkungen:

- grundsätzlich (unzugängliche Informationen) oder
- komplexitätsbedingt (Beschaffungs-Aufwand zu hoch)



# „Beschränkte Rationalität“

*Für mobilen Roboter in realer Umwelt  
Für Software-Agenten im Internet*

## Verfügbare Mittel

- *Beherrschbarkeit der Umwelt:*  
*Welche Einflussmöglichkeiten bestehen?*
- *Zuverlässigkeit der Handlungen*  
*Wieweit entsprechen Resultate den Erwartungen?*
- Ursachen für Einschränkungen:
  - grundsätzlich (außerhalb des Einflussbereichs) oder
  - komplexitätsbedingt (Realisierungs-Aufwand zu hoch)



# Anwendungen mobiler Roboter

- Industrie (Bergbau, Bauwesen, ...)
- Landwirtschaft
- Dienstleistungen (Transport, Wachschatz, Reinigung, ...)
- Medizin
- Entertainment
- Militär
- ...

## Einsatz in

- Gefährlichen Umgebungen
- Unzugänglichen Umgebungen



## Wasser, Luft, Weltraum

### Wasser: Auftrieb, Bewegung verändern

- Problematisch: Selbstlokalisierung, Odometrie
- in der Regel über Kabel verbunden

### Luft

- in der Regel ferngesteuert
- Orientierung mittels GPS

### Weltraum

- Problematisch: Eigenbewegungen  
(z.B. bei Außenbord-Arbeit, Manipulatoren)



## Antriebe, Kraftübertragung

Energiebedarf

Gewicht

Leistung

Ansteuerung/Regelung

Präzision

Verschleiß



# Sensoren

Mechanisch, optisch, ...

Ziele:

Erfassung der Umwelt

Erfassung interner Daten

Verarbeitung/Integration/Interpretation zu „Wahrnehmungen“

Zuverlässigkeit?

Direkte Rückkopplung:

Sensor-Aktor-Kopplung

Regelung



# Prozessor(en)

Parallele Arbeit

- Wahrnehmung, Motoransteuerung, Planung, ...

Intern vs. Extern (Problem: Kommunikation)

- Hohe Rechenleistung
- Minimierung des Gewichts und Energiebedarfs
- Schutz vor Beschädigung
- Leistungsfähiges/bequemes Interface  
(für Entwicklung, für Benutzer)
- Minimierung von Übertragungsaufwand  
(Verzögerungen, Störungen, ...)
- Realzeitanforderungen

Kompromiss: Zeitkritische Rechnungen intern



# Energieversorgung

## Intern vs. Extern (erfordert Kabel)

- Bewegungsfreiheit
- Eingeschränkte Betriebsdauer
- Hohes Eigengewicht (zusätzlicher Energiebedarf)
- Ladezeiten

Kompromiss: Selbständiges Aufladen



# Kommunikation

## Interaktion, Fernsteuerung, Multiroboter-Systeme

- drahtlos (Funk, Infrarot, Sprache, Gestik, ...)
  - problematisch: Bandbreite, Störungen, tote Bereiche
- über Kabel
  - problematisch: Mobilitätsbeschränkung
    - Kabel durch Roboter aus-/einrollen (aber: Längenproblem)
  - nutzbar auch für Energieversorgung



# Probleme in der Robotik

## Hardware:

Stützmaterial, Oberfläche, Fortbewegung,  
Manipulatoren, Energieversorgung, Sensoren,  
Kommunikation, Programmierbare Steuerung, ...

## Software:

Wahrnehmung, Interne Repräsentationen,  
Navigation, Verhaltenssteuerung, Planung,  
Programmarchitektur („Agent“), Adaption/Lernen,  
Kommunikation, Koordination (Multi-Roboter-  
Systeme), ...



# „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



# 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?



# Assistenzroboter

HRP-2 Promet  
(JAPAN)



# Technische kognitive Systeme

## Erkenntnisproblem

Körper und Geist:

Gibt es (natürliche) Intelligenz ohne Körper?

## Technikproblem

Gibt es Computer-Intelligenz ohne Körper?



## 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 („Challenges“)

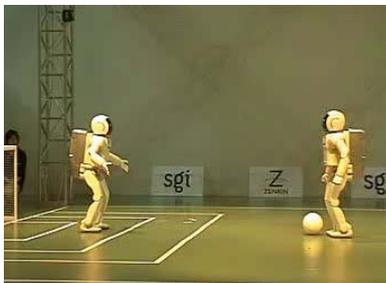




- Middle Size (50 cm Durchmesser)
- Small Size (18 cm Durchmesser)
- Sony Legged Robots (Aibo)
- Simulation
- Humanoide Roboter



## Humanoide Roboter



Asimo (Honda)  
2002



Vision (Osaka)  
2004



# RoboCup

## Simulation

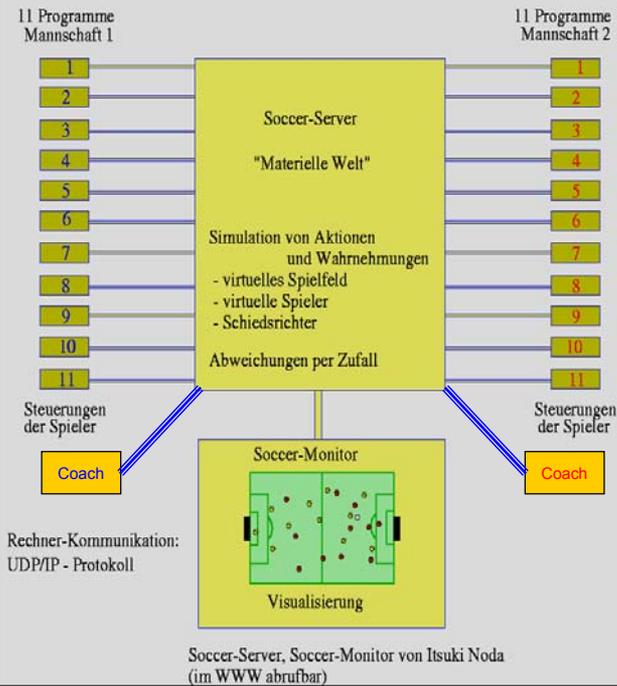
### Aktionen

kick, dash, turn,  
turn-neck, catch,  
say, ..

### Sensorik

see, sense-body,  
hear, ...

Hans-Dieter Burkhard  
Kognitive Robotik: Einführung



## RoboCup Weltmeisterschaften

-  1997 Nagoya
-  1998 Paris
-  1999 Stockholm
-  2000 Melbourne
-  2001 Seattle
-  2002 Fukuoka
-  2003 Padua
-  2004 Lissabon
-  2005 Osaka
-  2006 Bremen



Hans-Dieter Burkhard  
Kognitive Robotik: Einführung

WS 05/06



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

	1.Platz	2.Platz	3.Platz	Wertung
Deutschland	9	10	6	53
USA	10	5	6	46
Japan	5	6	4	31
Australien	3	7	4	27
China	2	3		12
Singapur	1	1	5	10
Frankreich	1	1	1	6
Iran	1		3	6
Portugal	1		2	5
Niederlande	1		2	5
Italien		2		4
Russland	1			3
Großbritannien			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



### *German Team* (Sony Four Legged League)

- (Berlin, Bremen, Darmstadt, Dortmund)
- Sieger „Technical Challenge“ Padua 2003
- Weltmeister Lissabon 2004



# RoboCup in Deutschland

- DFG-Schwerpunkt-Programm
- Arbeitskreis in der Gesellschaft für Informatik
- German Open seit 2001 im HNF Paderborn
- Roboter-Fußball:
  - Simulation: > 15 Gruppen
  - Middle Size: > 10 Gruppen
  - Small Size: > 3 Gruppen
  - Sony Legged Robots: > 8 Gruppen („German Team“: 4)
  - Humanoids: > 1 Gruppe
- Rescue: > 3 Gruppen
- Junior: Zahlreiche Regionale Gruppen



## Forschungs-Evaluierung im Wettbewerb

### Kreative Lösungen für

- 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)
- . . .

2004

2010

2020

2030

2040

2050



# RoboCup Rescue

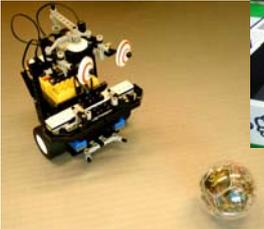


- Simulation
- Roboter in Testumgebung



## RoboCup Junior

- Fußball
- „Freistil“
- Rescue



Lokale Unterstützung für Schulen gesucht!

Hans-Dieter Burkhard  
Kognitive Robotik: Einführung

WS 05/06



## Probleme

- Energie
- Material
- Sensoren
- Wahrnehmung
- Steuerung
- Aktorik

Nachbildung natürlicher Systeme  
Ausnutzung maschineller Vorteile

Hans-Dieter Burkhard  
Kognitive Robotik: Einführung

WS 05/06



## 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



## 3 Motoren für den Kopf



## 3 Motoren für den Kopf



Hans-Dieter Burkhard  
Kognitive Robotik: Einführung

WS 05/06



## 3 Motoren für den Kopf



Hans-Dieter Burkhard  
Kognitive Robotik: Einführung

WS 05/06



## 3 Motoren pro Bein



Hans-Dieter Burkhard  
Kognitive Robotik: Einführung

WS 05/06



## 3 Motoren pro Bein



Hans-Dieter Burkhard  
Kognitive Robotik: Einführung

WS 05/06



## 3 Motoren pro Bein



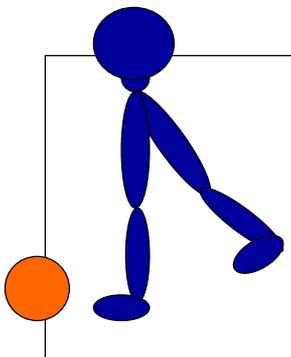
Hans-Dieter Burkhard  
Kognitive Robotik: Einführung

WS 05/06



## Laufen

Beinbewegung

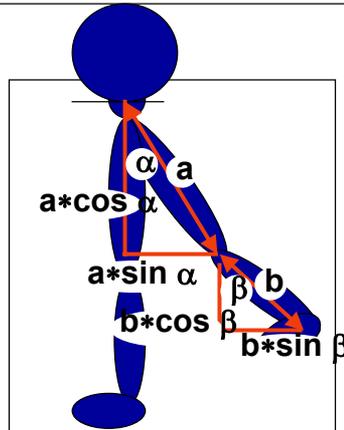
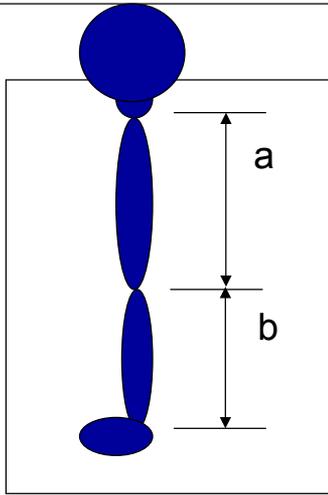


Hans-Dieter Burkhard  
Kognitive Robotik: Einführung

WS 05/06



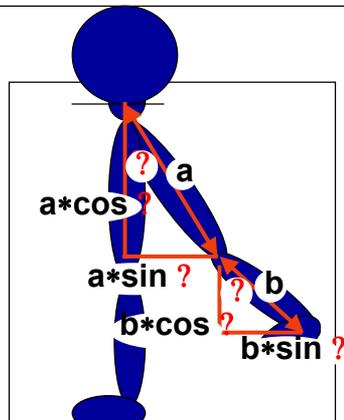
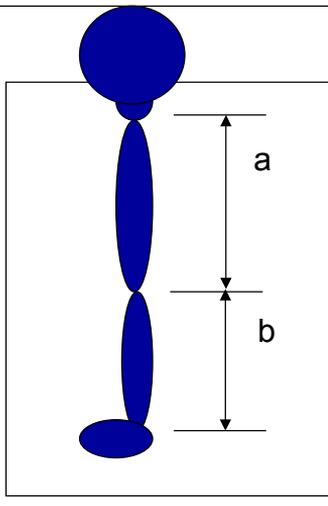
# Laufen



Beinbewegung modellieren



# Laufen



Welche Winkel ergeben die gewünschte Bewegung?



# Komplexe Berechnungen

$$px_3 = px(\Theta_1, \Theta_2, \Theta_3)$$

$$py_3 = py(\Theta_1, \Theta_2, \Theta_3)$$

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

$$+ \frac{\Delta py(\Theta)}{\Delta \Theta_1} *$$

$$px_0 = 0$$

$$py_0 = 0$$

$$px_1 = \cos(\Theta_1) * a_1$$

$$py_1 = \sin(\Theta_1) * a_1$$

$$px_2 = px_1 + \cos(\Theta_1 + \Theta_2) * \Theta_2$$

$$py_2 = py_1 + \sin(\Theta_1 + \Theta_2) * \Theta_2$$

$$px_3 = px_2 + \cos(\Theta_1 + \Theta_2 + \Theta_3) * a_3$$

$$py_3 = py_2 + \sin(\Theta_1 + \Theta_2 + \Theta_3) * a_3$$

$$\frac{\Delta px(\Theta)}{\Delta \Theta_1} = -(\sin(\Theta_1) * a_1 + \sin(\Theta_1 + \Theta_2) * \Theta_2)$$

$$\frac{\Delta px(\Theta)}{\Delta \Theta_2} = -(\sin(\Theta_1 + \Theta_2) * a_2 + \sin(\Theta_1 + \Theta_2 + \Theta_3) * a_3)$$

$$\frac{\Delta py(\Theta)}{\Delta \Theta_1} = \cos(\Theta_1) * a_1 + \cos(\Theta_1 + \Theta_2) * \Theta_2$$

$$px_3 = \cos(\Theta_1) * a_1 + \cos(\Theta_1 + \Theta_2) * \Theta_2$$

$$py_3 = \sin(\Theta_1) * a_1 + \sin(\Theta_1 + \Theta_2) * a_2 + \sin(\Theta_1 + \Theta_2 + \Theta_3) * a_3$$

$$\frac{\Delta py(\Theta)}{\Delta \Theta_2} = \cos(\Theta_1 + \Theta_2) * a_2 + \cos(\Theta_1 + \Theta_2 + \Theta_3) * a_3 = px_3 - px_1$$

$$\frac{\Delta py(\Theta)}{\Delta \Theta_3} = \cos(\Theta_1 + \Theta_2 + \Theta_3) * a_3 = px_3 - px_2$$



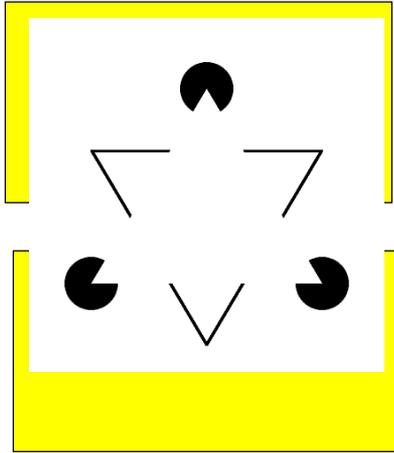
# Laufen Lernen

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

Am besten alles automatisch



# Sehen und Erkennen



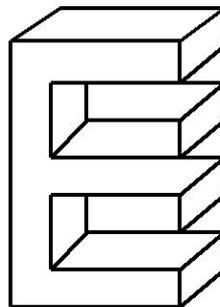
Hans-Dieter Burkhard  
Kognitive Robotik: Einführung

WS 05/06



# Sehen und Erkennen

Interpretationen  
im Wettstreit



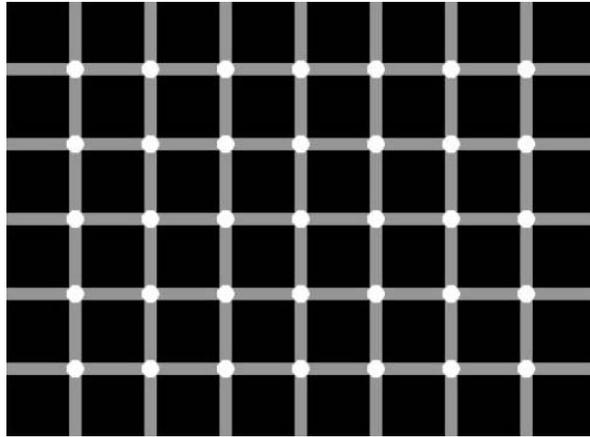
Hans-Dieter Burkhard  
Kognitive Robotik: Einführung

WS 05/06



# 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.



# Sehen und Erkennen



Hans-Dieter Burkhard  
Kognitive Robotik: Einführung

WS 05/06



# Sehen und Erkennen

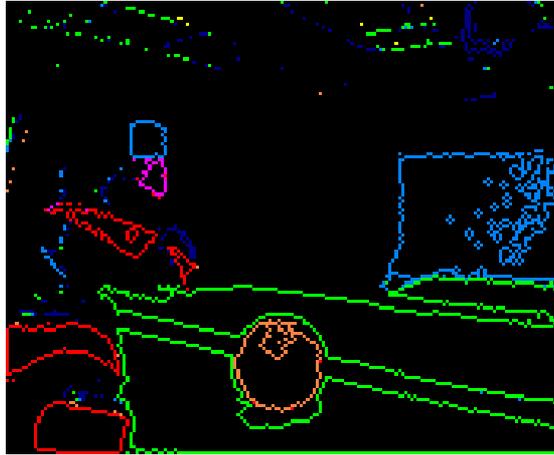


Hans-Dieter Burkhard  
Kognitive Robotik: Einführung

WS 05/06



# Sehen und Erkennen

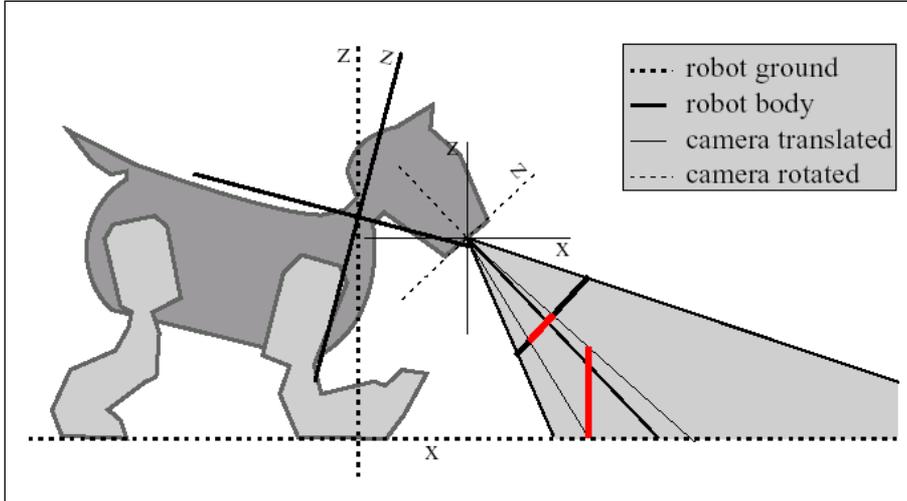


Hans-Dieter Burkhard  
Kognitive Robotik: Einführung

WS 05/06



# Diplomarbeit Matthias Jünger



Hans-Dieter Burkhard  
Kognitive Robotik: Einführung

WS 05/06



## 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



# Programmierung Roboter/Agenten

Fähigkeiten

Wahrnehmung

Steuerung

Differenzierte Fähigkeiten

Wahrnehmung

- Interpretation unvollständiger, unzuverlässiger Daten
- Integration von Wissen
- Aktive Wahrnehmung

„Intelligente“ Steuerung

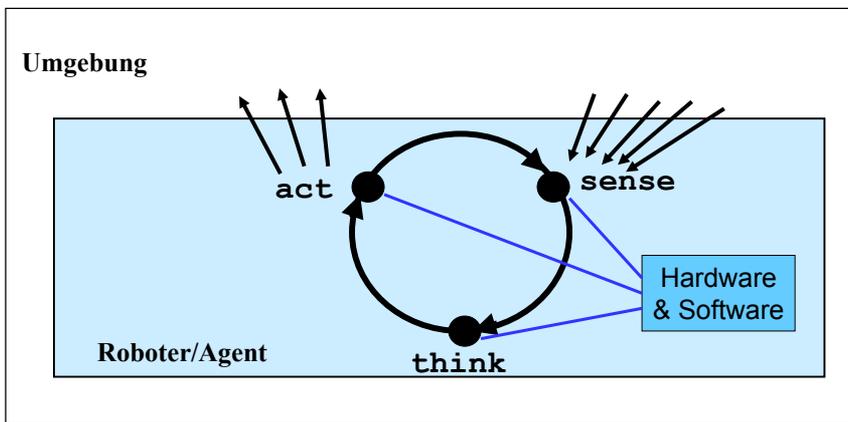
- Auswahl von Fähigkeiten
- Kontrolle der Fortschritte

Nachbildung natürlicher Systeme  
Ausnutzung maschineller Vorteile:  
Technische kognitive Systeme



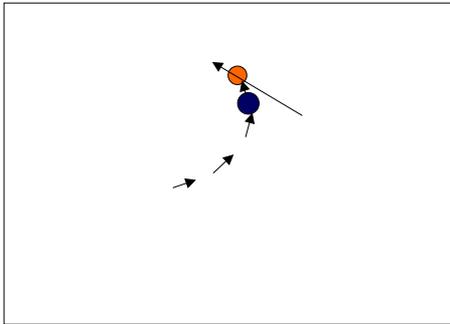
# Horizontale Modularisierung

„sense-think-act“-Zyklus



# Reflexe (Stimulus-Response, „reaktiv“)

Zum Ball laufen

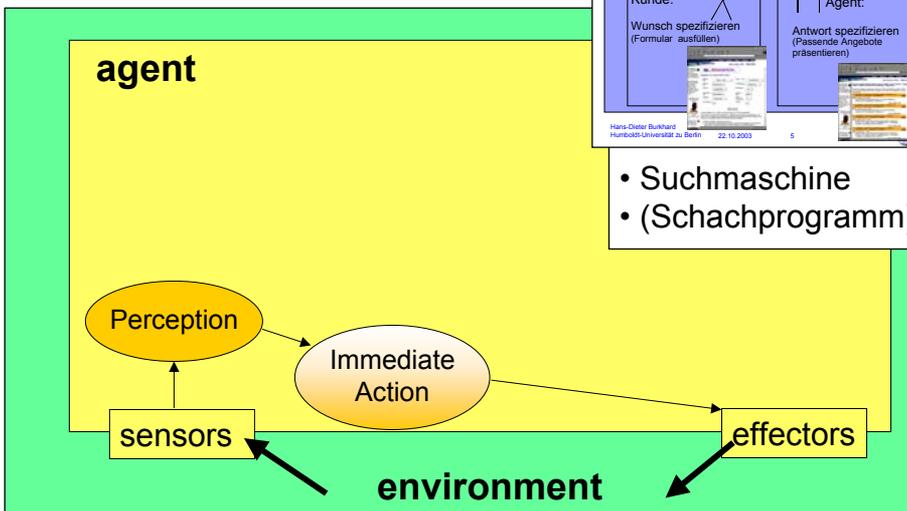


Hans-Dieter Burkhard  
Kognitive Robotik: Einführung

WS 05/06



# Stimulus Response



Reiseberatung: einfach

“Stimulus-Response”

Kunde:  
Wunsch spezifizieren  
(Formular ausfüllen)

Agent:  
Antwort spezifizieren  
(Passende Angebote  
präsentieren)

Hans-Dieter Burkhard  
Humboldt-Universität zu Berlin

22.10.2003

5

- Suchmaschine
- (Schachprogramm)

Hans-Dieter Burkhard  
Kognitive Robotik: Einführung

WS 05/06



## Stimulus-Response mit Weltmodell

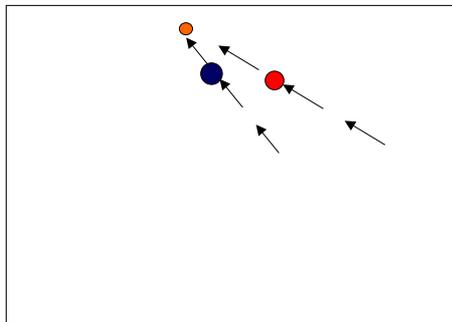


Was macht man,  
wenn man nicht alles gleichzeitig sehen kann?

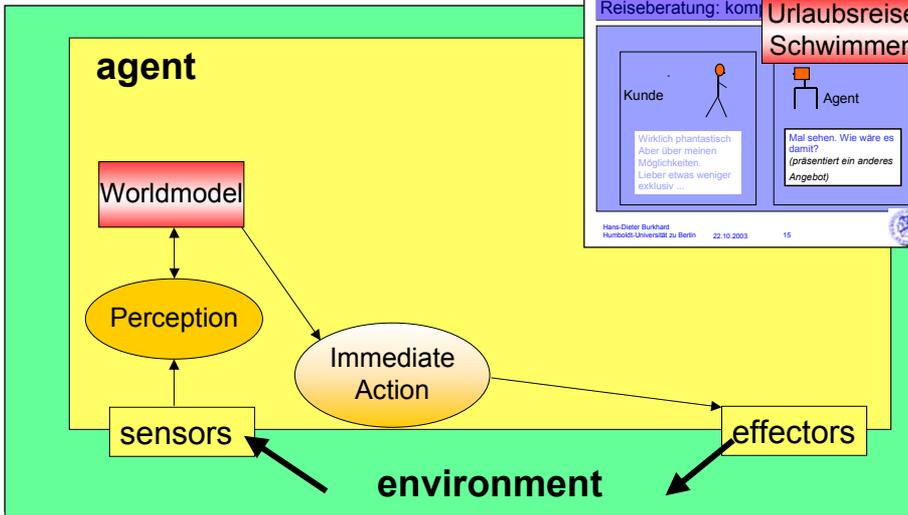


## Stimulus-Response mit Weltmodell

Simulation von nicht beobachtbaren Ereignissen



# Stimulus-Response mit Weltmodell

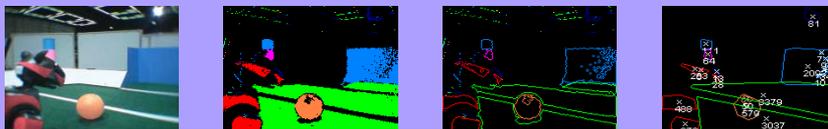


Hans-Dieter Burkhard  
Kognitive Robotik: Einführung

WS 05/06



# Weltmodell ("belief")



Perception := sense(SensoryData);



Belief\_new

:= update (Perception, Belief\_old);

Hans-Dieter Burkhard  
Kognitive Robotik: Einführung

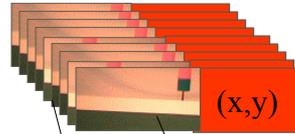
WS 05/06



# Navigation mit fallbasiertem Schließen

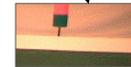
Fälle:

- Bild + Position



Auswertung

1. Bildaufbereitung
2. Ähnliche Bilder aus Fallbasis
3. Interpolation der Positionen



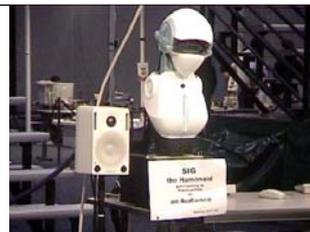
Transformation

(a,b)

# Weitere Anwendungen

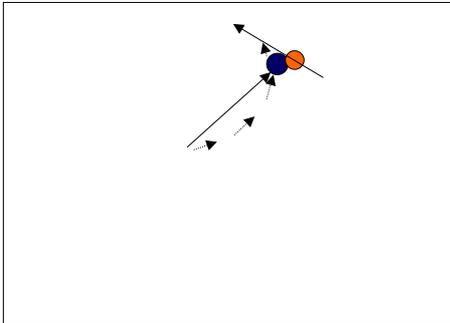
Analyseprogramme (Coach)

Kommentator-Programme

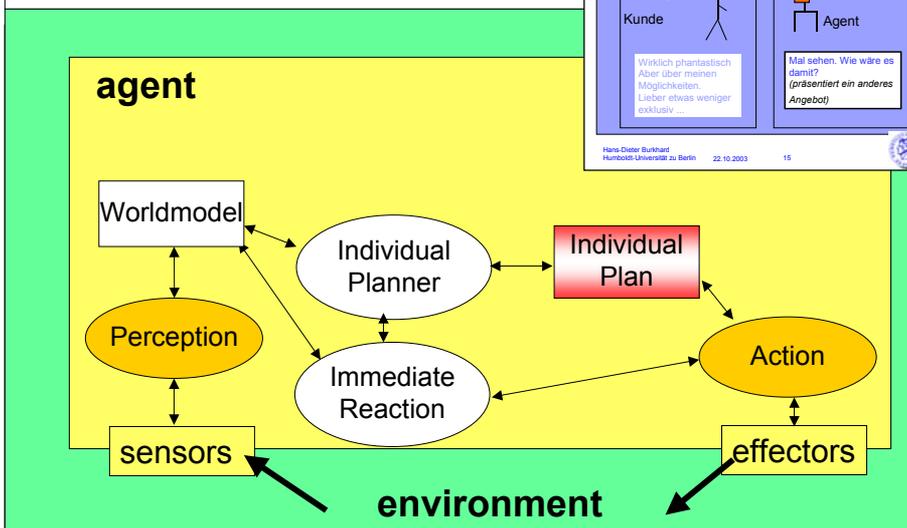


# Zielgerichtetes Verhalten

– Handeln gemäß selbst gesetzter Ziele

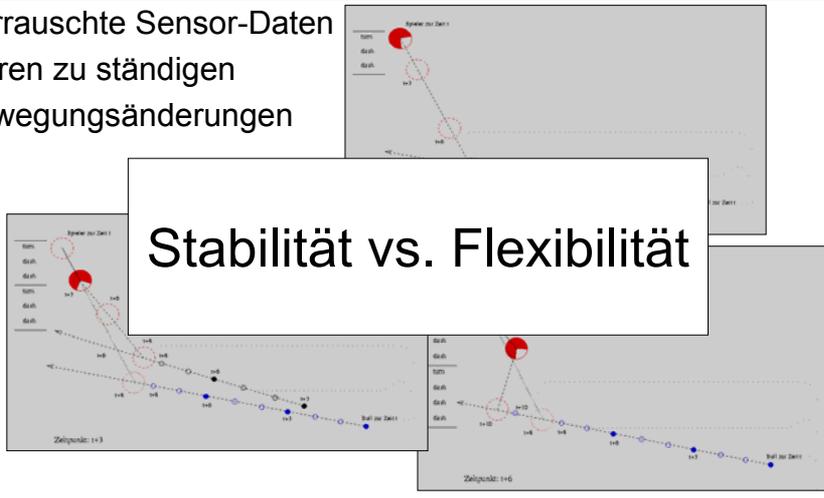


# Planvolles Verhalten



## Konflikt infolge verrauschchter Daten

Verrauschte Sensor-Daten  
führen zu ständigen  
Bewegungsänderungen



Hans-Dieter Burkhard  
Kognitive Robotik: Einführung

WS 05/06



## Möglichkeiten für Konfliktbehandlung

altes Verhalten beibehalten

- + Stabilität
- + Zuverlässigkeit, Vorhersagbarkeit (Kooperation!)
- Beharren auf schlechten Alternativen (*Fanatismus*)

Wechsel zu neuem Verhalten

- + Anpassungsfähigkeit
- Gefahr von Oszillationen

*Notwendigkeit zum Vergleich alte/neue Absicht*

„mentale Zustände“

Hans-Dieter Burkhard  
Kognitive Robotik: Einführung

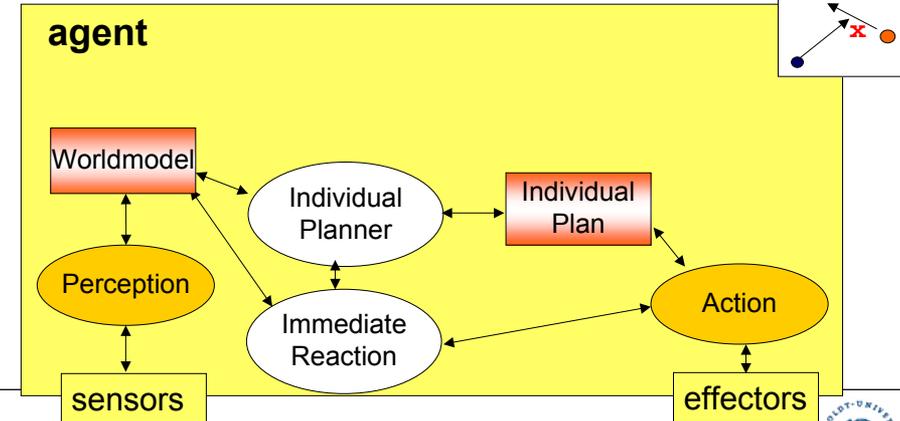
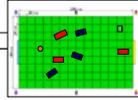
WS 05/06



# Gedächtnis: "Mentale Zustände"

Vergangenheit: *Belief* (world model)

Zukunft: *Commitment* (goal, intention, plan, ...)



Hans-Dieter Burkhard  
Kognitive Robotik: Einführung

WS 05/06



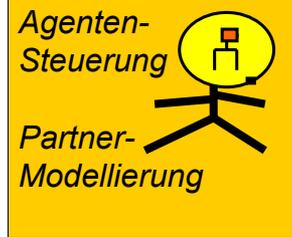
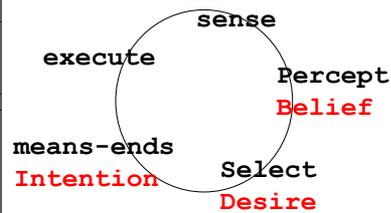
## BDI-Modell (Bratman):

*Annahmen über Umgebung:*

- Belief (Weltmodell)

*Verpflichtungen:*

- Desire (akzeptable Optionen)
- Intention (Absichten)



```

    Belief_new := update(Perception, Belief_old);
    Desires_new := select (Belief_new, Desires_old);
    Intention_new := means-ends(Belief_new, Desires_new, Intention_old);
    
```

Hans-Dieter Burkhard  
Kognitive Robotik: Einführung

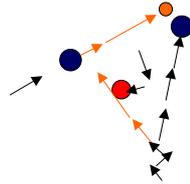
WS 05/06



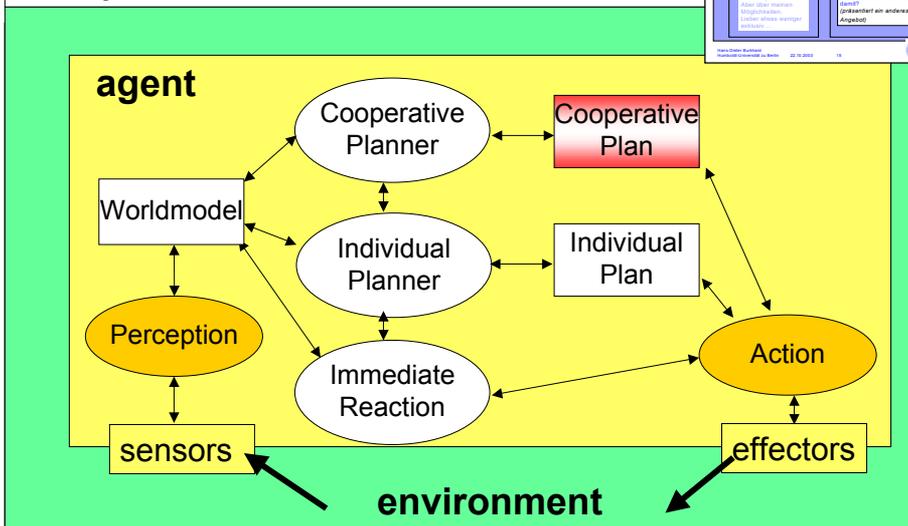
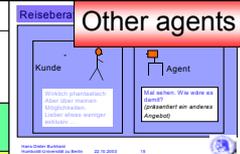
# Plan für Kooperation

## Kooperation

Gemeinsame Absicht (*Doppelpass*)

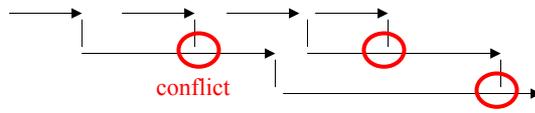


## Kooperation

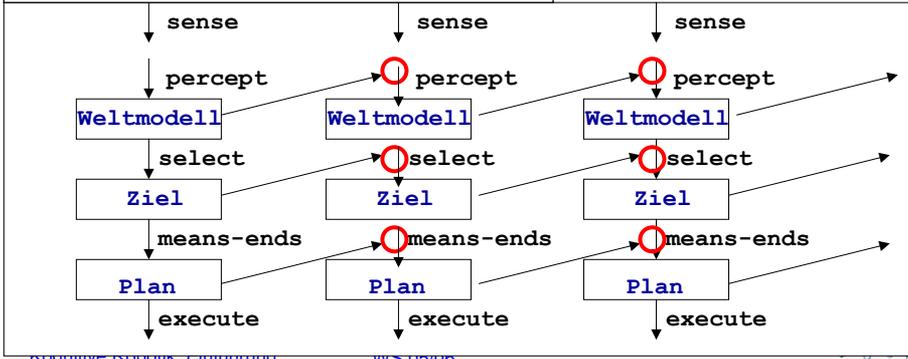


# Realzeitprobleme

sense  
think  
act



## BDI-Architektur („Ziel-Plan-Variante“)



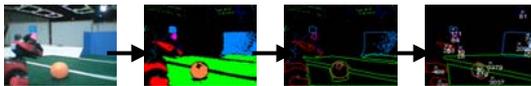
Kognitive Robotik: Einführung

WS 05/06



# Realzeitprobleme: z.B. Wahrnehmung

Komplexer Prozess  
Zeitkritisch



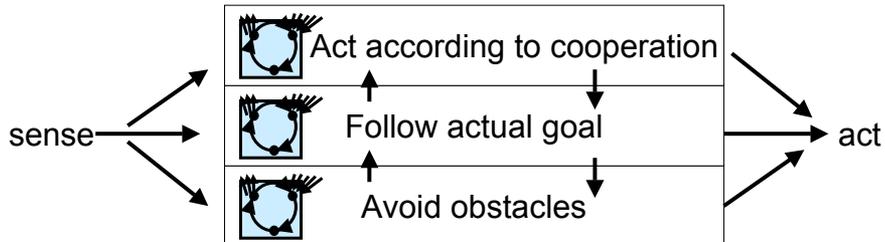
Roboter wartet?



## Hybrides Schichtenmodell

Deliberativ (z.B. BDI) in höherer Schicht

Stimulus Response („reaktiv“) in unterster Schicht



## Klassifikationen von Steuerungen

### Modularisierung

- Horizontal (sense-think-act-cycle, BDI)
- Vertikal: Komplexität
- Zustände für Vergangenheit
- Zustände für Zukunft

## Klassifikationen von Steuerungen

	Zustand Vergangenheit	Zustand Zukunft	komplex
Stim. Response	-	-	-
(Schach)	-	-	+
	-	+	-
	-	+	+
Stim.Resp.mit WM	+	-	-
	+	-	+
	+	+	-
deliberativ	+	+	+

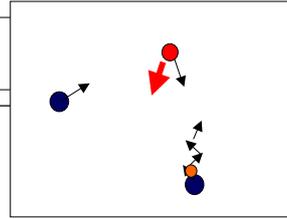


## Probleme bei der Umsetzung

- Realzeit-Problem
- Kontext-Problem
- Least-Commitment-Problem



## Kontext



Beispiel:

Aktives Verhalten: Dribbling

Abbruchbedingung betrifft: Doppel-Pass

Überbeanspruchung der Basis-Verhaltensweisen

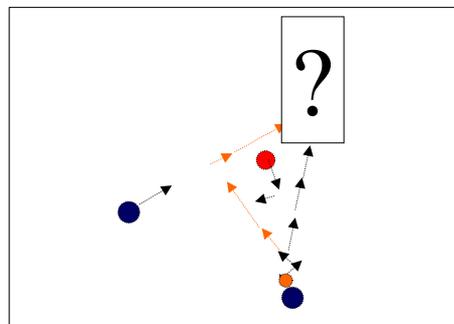
Problem für stack-orientierte Laufzeitsysteme  
(nur jeweils zuletzt gerufene Prozedur aktiv)



## Least Commitment

Start: Partieller Plan

Später: Exakte Parameter



Berechnungen auf unterschiedlichen Ebenen  
(vgl. Kontext-Problem)



## Wie programmiert man einen Doppelpass?

### 1. Versuch („Schach“):

- Vorausschauende Simulation
- Wahl der besten Alternative



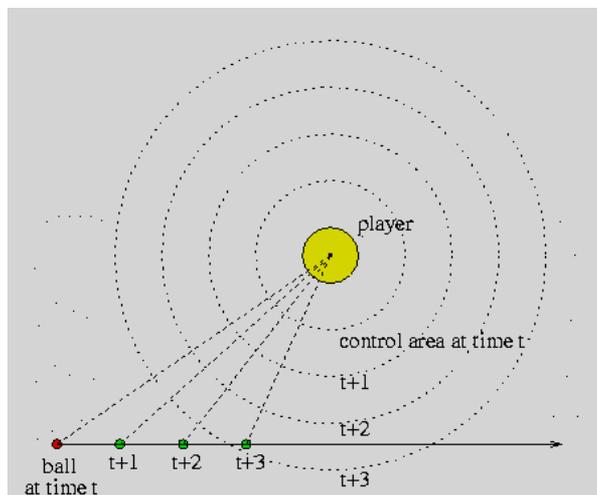
## Wo ist der Ball erreichbar?

Abschätzen  
(„nach Gefühl“)

Lernen

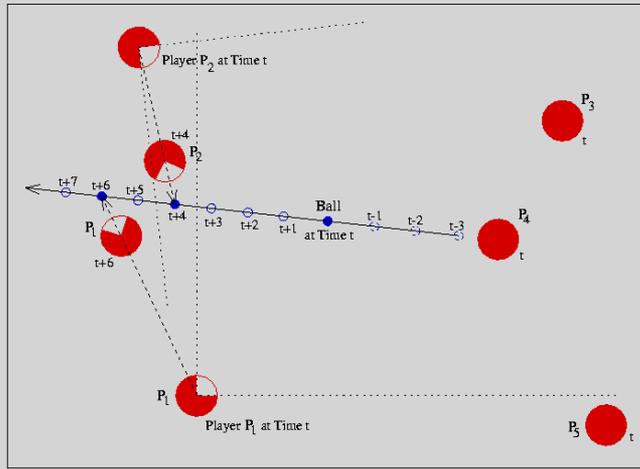
Berechnung

**Simulation**



# Wer ist zuerst am Ball?

Verwenden  
„Wo ist der Ball  
erreichbar?“



Hans-Dieter Burkhard  
Kognitive Robotik: Einführung

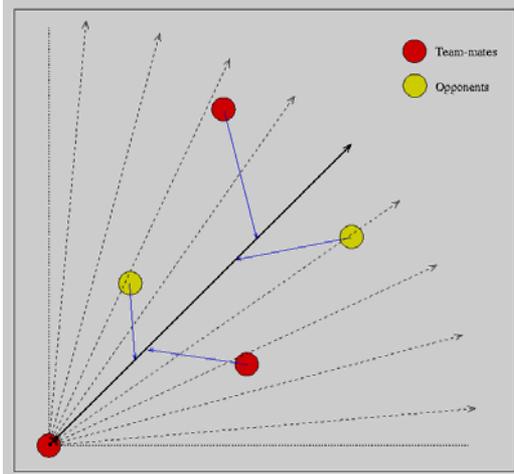
WS 05/06



# Wohin passen?

Verwenden  
„Wer ist zuerst am Ball?“

(Verwenden  
„Wo ist der Ball  
erreichbar?“)



Hans-Dieter Burkhard  
Kognitive Robotik: Einführung

WS 05/06



## Wie programmiert man einen Doppelpass?

### 1. Versuch („Schach“):

- Vorausschauende Simulation
- Wahl der besten Alternative

Resultat:

Für kurzfristige Planung  
brauchbar



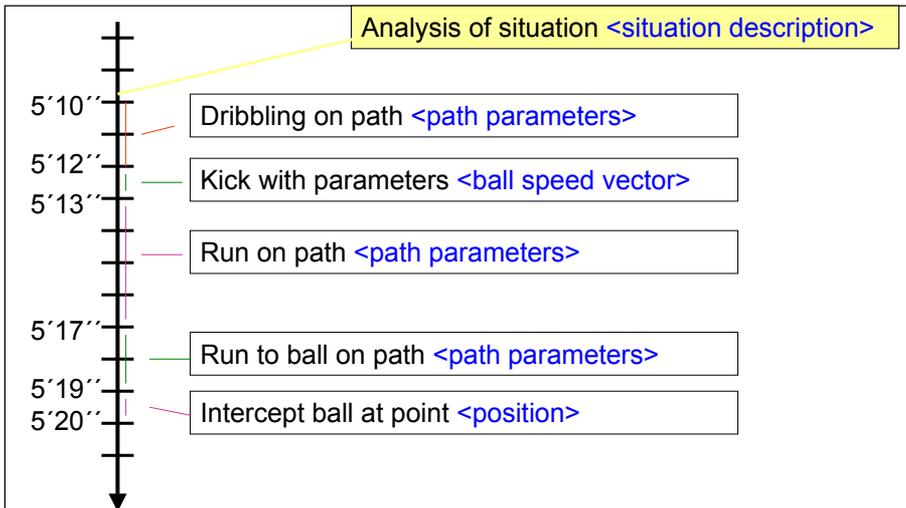
## Wie programmiert man einen Doppelpass?

### 2. Versuch („Emergenz“):

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



# Ablauf beim Doppelpass



## Wie programmiert man einen Doppelpass?

### 2. Versuch („Emergenz“):

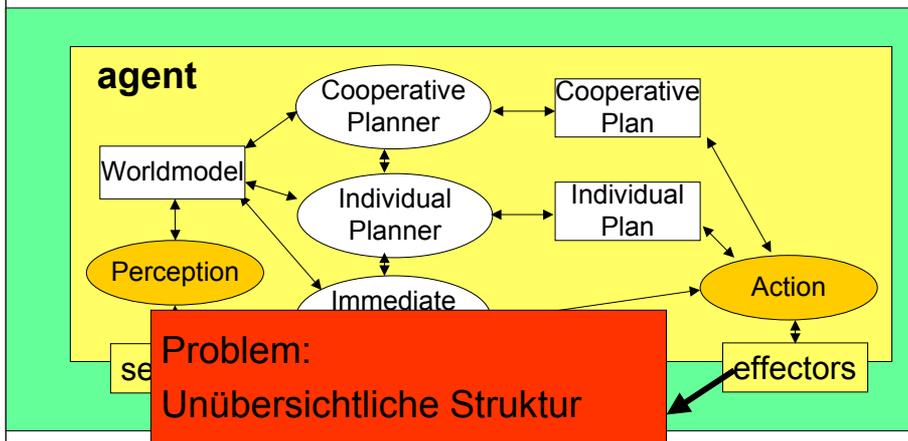
Wenn sich jeder zeitnah optimal verhält,  
ergibt sich ein Doppelpass von allein.

**Resultat:**  
Doppelpass emergiert gelegentlich

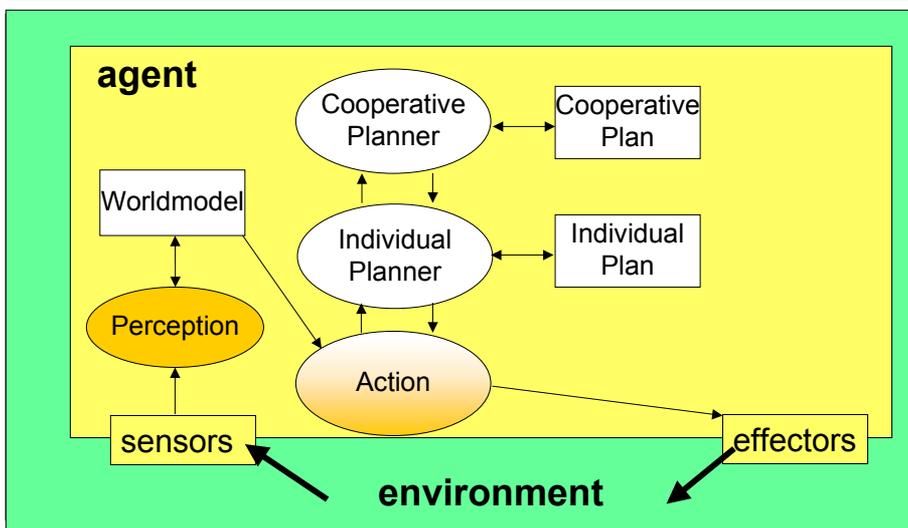


# Wie programmiert man einen Doppelpass?

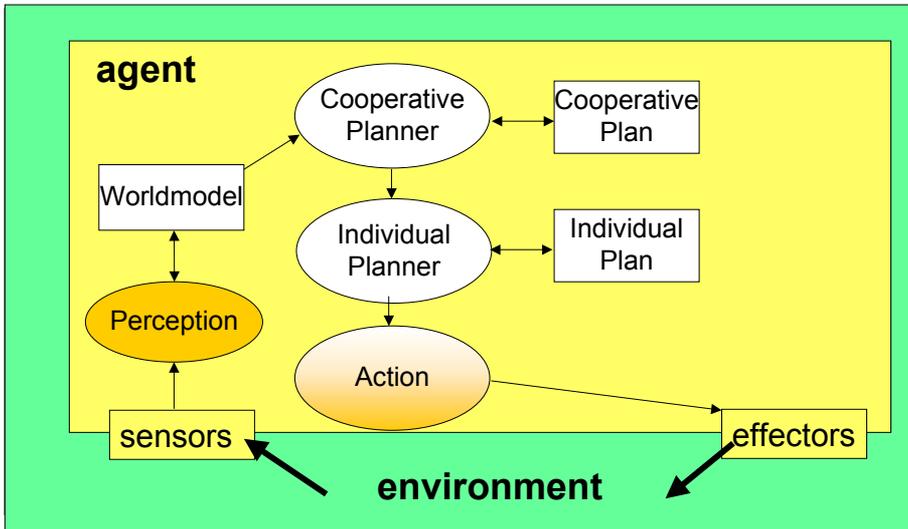
## 3. Versuch Hierarchische Architekturen



# Vereinfachung: 2-Pass Architektur



# Vereinfachung: 1-Pass Architecture



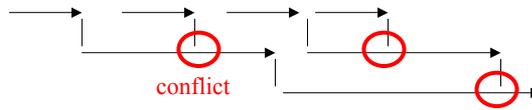
Hans-Dieter Burkhard  
Kognitive Robotik: Einführung

WS 05/06

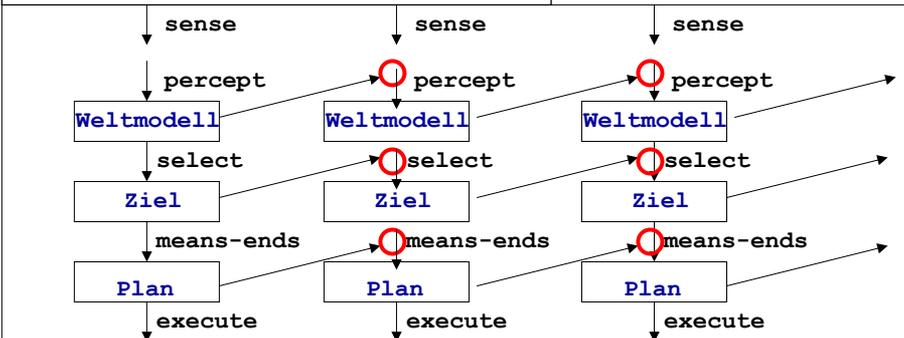


# Noch einmal: Realzeitprobleme

sense  
think  
act



## BDI-Architektur („Ziel-Plan-Variante“)

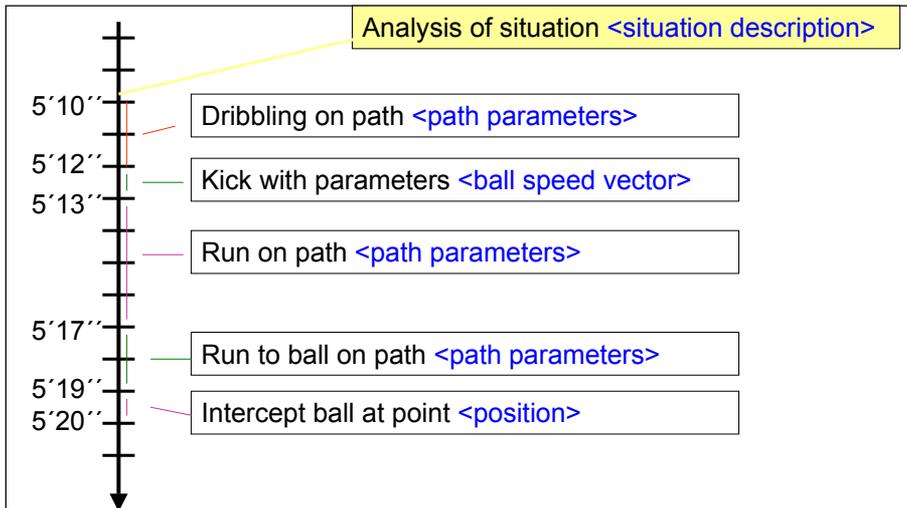


Kognitive Robotik: Einführung

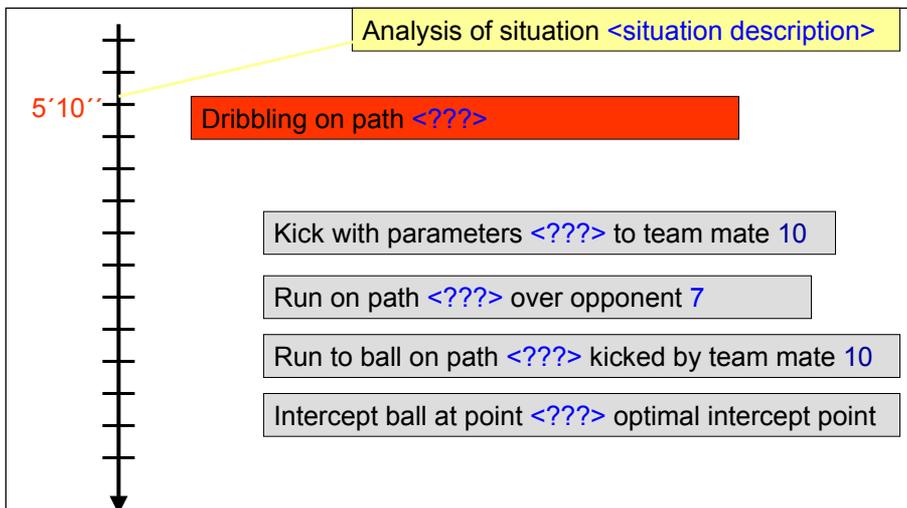
WS 05/06



# Ablauf beim Doppelpass



# Zeit 5'10''



# Doppel-Pass Architektur

Vordefinierte (Virtuelle) Optionen Hierarchie

Deliberator

- Langzeit-Entscheidung (nicht zeitkritisch)
- Commitment: **intention subtree**

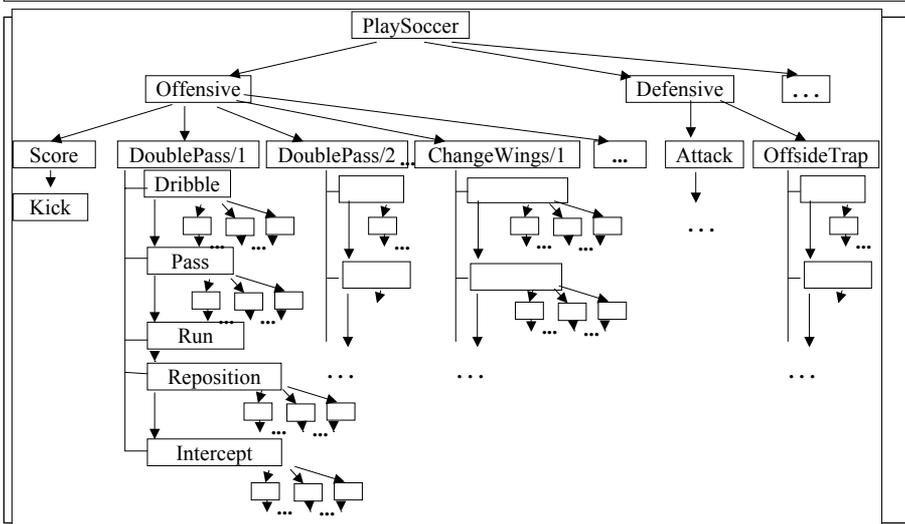
Executor

- Kurzzeit-Entscheidung, Ausführung (zeitkritisch)
- Umsetzung der Absichten (intentions) auf **activity path**

Beide (!) arbeiten top-down über alle Hierarchie-Ebenen

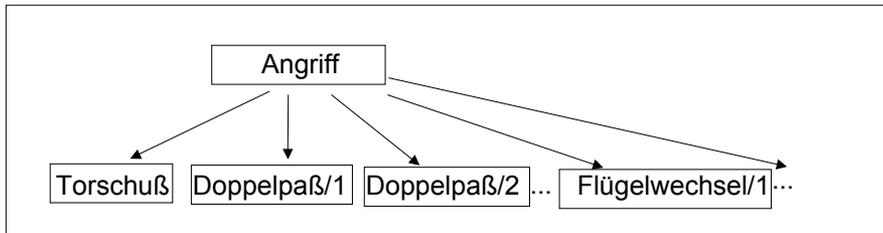


## (Virtuelle) Optionen Hierarchie



# Oder-Verzweigungen

## Auswahlmöglichkeiten in der Optionenhierarchie



Deliberator trifft Auswahl auf allen Ebenen



# Wann macht man einen (Doppel-)Pass?

## 1. Versuch: Globale Analyse der Spielsituation

Unmittelbare (quantitative) Parameter

- Ball (Ort, Bewegung)
- 22 Spieler (Ort, Bewegung, Typ, Erschöpfung, Rolle, ...)
- Zeit
- Spielstand

Der Spieler besitzt nur unvollständige und ungenaue Daten

Abgeleitete (quantitative/qualitative) Parameter

- Entfernung zum Tor
- Entfernung zum Ball
- nächster Angreifer
- Abseitsgefahr
- . . . .

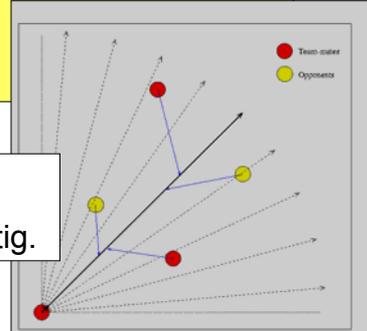


# Wann macht man einen (Doppel-)Pass?

## 1. Versuch: Globale Analyse der Spielsituation

Vereinfachung: „ballzentrierte“ Nutzensabschätzung

- Nächster Spieler am Ball
- Aussichtsreichster Pass



Ausreichend für kurzzeitige Planung.

In eindeutigen Fällen auch längerfristig.

Problem: Alle Einzelheiten (Fälle) durch allgemeine Bedingungen (Regeln) abdecken



# Wann macht man einen (Doppel-)Pass?

## 2. Versuch: Erfahrungsbasiert, Lernen

- Optimales Verhalten („Training“, off-line)
- Gegnermodellierung (on-line)

### Fallbasiertes Schließen:

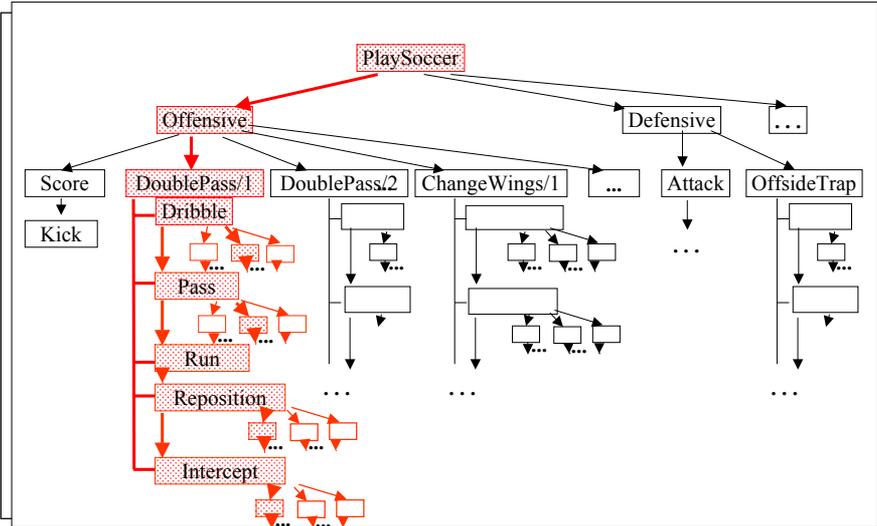
*heute nicht ...*

Experimente:

- Selbstlokalisierung/Navigation
- Torwart: Wann entgegen laufen?
- Erkennen gegnerischer Verhaltensweisen

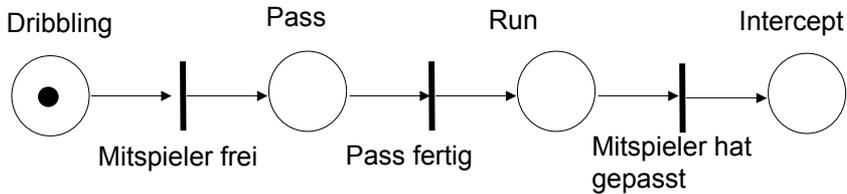


# Resultat des Deliberators: Intention Subtree



## Und-Verzweigungen

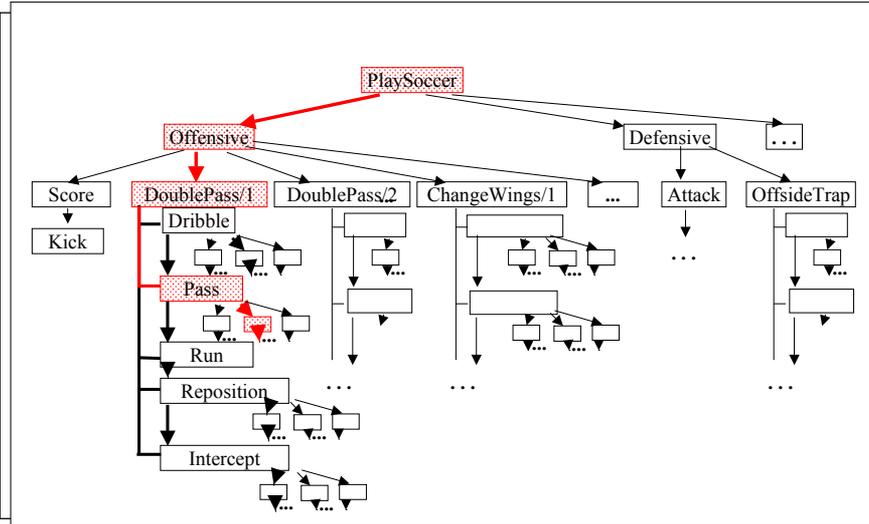
### Ablauf komplexer Optionen



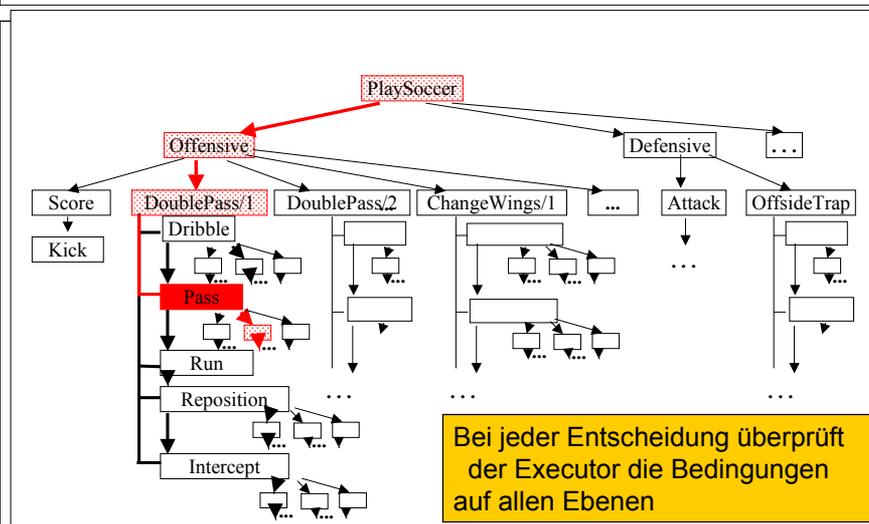
Executor entscheidet auf allen Ebenen



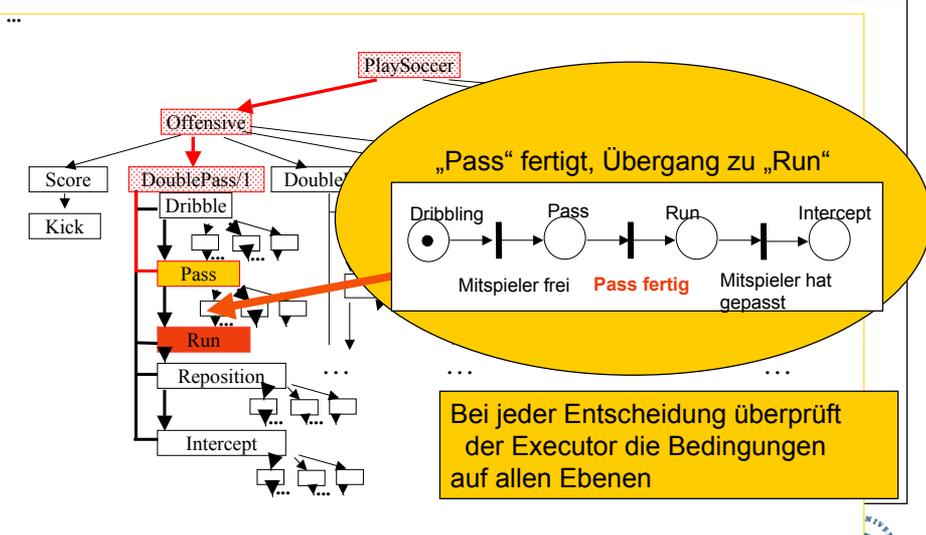
# Activity Path: Aktueller Zustand einer Intention



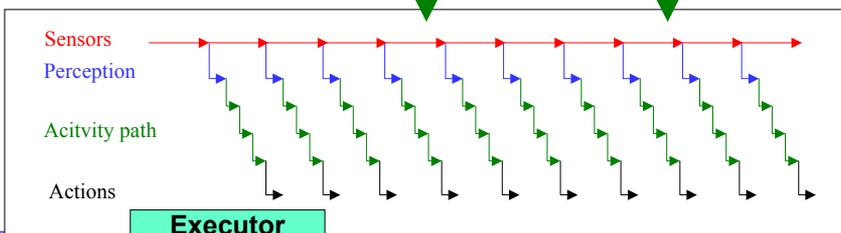
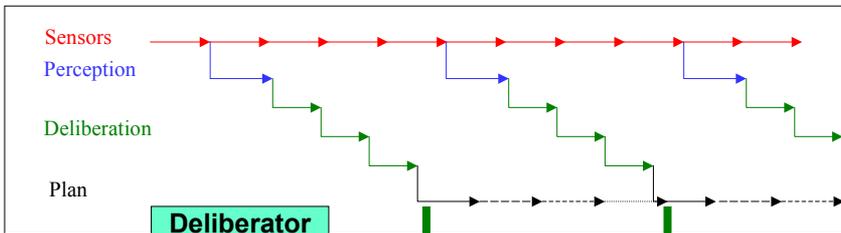
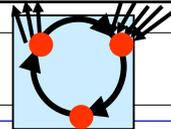
# Executor-Pass



# Executor-Pass



# Synchronization



## Doppel-Pass Architektur

- Vordefinierte (Virtuelle) Optionen Hierarchie
- Deliberator
- Executor

„Gedoppelte“ 1-Pass-Architektur:

1. Pass: Deliberator (goal-oriented: **Intention Subtree**)
  2. Pass: Executor (stimulus-response: **activity path**)
- auf allen Ebenen -**

Unterschiede zu “klassischer” Programmierung

- Steuerfluss durch Deliberation (“Agenten- orientiert”)
- Laufzeitorganisation über 2 Pässe durch alle Ebenen



## 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) nach gleichen Methoden gebaut werden.

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



## Dank an

RoboCup Federation

RoboCup Teams in aller Welt

Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG)

Studierende, Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter der AG  
„Künstliche Intelligenz“ der Humboldt-Universität

„AT Humboldt“ und „AiboTeam Humboldt/German Team“:

Benjamin Altmeyer, Joscha Bach, Christina Bell, Ralf  
Berger, Birger Brunswieck, Uwe Dueffert, Andre Georgi,  
Michael Gollin, Daniel Göhring, Viviana Goetzke, Markus  
Hannebauer, Daniel Hein, Jan Hoffmann, Matthias Jüngel,  
Ralf Kühnel, Martin Löttsch, Thomas Meinert, Pascal  
Müller-Gugenberger, Helmut Myritz, Gerd Sander, Kay  
Schröter, Michael Spranger, Jan Wendler, Matthias Werner

Sponsoren Sony, DaimlerChrysler, Empolis, PSI, WISTA

Hans-Dieter Burkhard  
Kognitive Robotik: Einführung

WS 05/06



RoboCup 2006 in Bremen!