

# Autonomie und Wahrnehmung

Hans-Dieter Burkhard, Humboldt-Universität

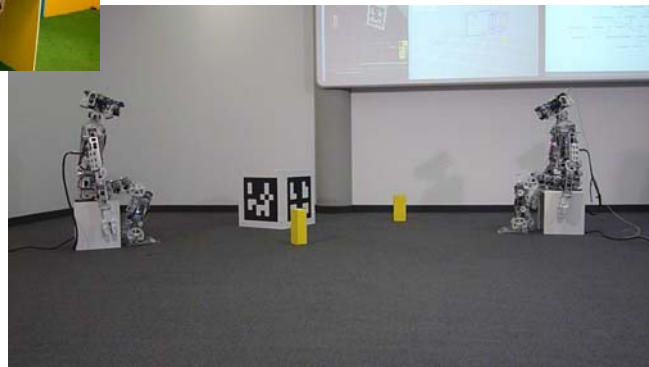
WS Sensorik in der Autonomik, 18. Mai 2010 Berlin  
(Auftrittskonferenz Autonomik)

## Humboldt-Universität: Künstliche Intelligenz

- Handeln aus Erfahrung (Maschinelles Lernen)
- Wissensmanagement
- Agentenorientierte Techniken
- Soziale Intelligenz: Sozionik
- Anwendungen in der Medizin
- Kognitive Robotik

## Projekt ALEAR (EU)

Artificial Language Evolution on Autonomous Robots



## Projekt RoboCup

Fußball als Testfeld



Jährliche Weltmeisterschaften und Konferenzen

**Vision:**

**Im Jahr 2050 gegen den FIFA-Weltmeister gewinnen**

## Schach vs. Fußball

1997: Deep Blue  
gewinnt gegen  
Weltmeister  
Kasparov



### SCHACH:

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

### FUSSBALL:

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

## Autonomes System

Was bedeutet „Autonomie“?

Unterschiedliche Formen mit  
unterschiedlichen Anforderungen an Wahrnehmung

## Autonomes System („Agent“)

Selbstbestimmtes Handeln *gemäß Auftrag* durch

- Vorgegebenen festen Plan
- Adaptiven Plan für vorgegebenes Ziel
- Selbständige Zielbestimmung und Planung
- Selbstoptimierende (Lernende) Systeme

vorgegebene  
Erfolgs-Kriterien

## Vorgegebener fester Plan

z.B.

- Desktop-Aufbau
- Automaten
- „Teaching“



## Adaptiver Plan

z.B.

- Schachprogramm
- Web-Interface
- Staubsauger



Von vorne beginnen | Über dieses Projekt | Gib Deine Meinung ab

ich habe einige passende Reisen für Dich gefunden, die passendsten drei zeige ich Dir rechts.

In welchem Ort möchtest Du reisen?

Bitte auswählen...  
Unbedingt

Senden

Deine persönliche Reise:		
Attribut	Wert	Wichtigkeit
Land:	Frankreich	Auf keinen Fall

Name: Hotel Carolina\*\*  
Ort & Land: Rimini, Italien  
Art & Preis: Hotel, 249 EUR  
Reisebeschreibung anzeigen  
Ähnliche Reisen...  
Genau meine Reise!

Name: Appartements Condado  
Ort & Land: Lloret de Mar, Spanien  
Art & Preis: Apartment, 329 EUR  
Reisebeschreibung anzeigen  
Ähnliche Reisen...  
Genau meine Reise!

Name: Hotel Marisol\*\*  
Ort & Land: Calella, Spanien  
Art & Preis: Hotel, 249 EUR  
Reisebeschreibung anzeigen  
Ähnliche Reisen...  
Genau meine Reise!

## Selbständige Zielbestimmung

z.B.

- Computerspiele
- Autonome Fahrzeuge
- Autonome Roboter



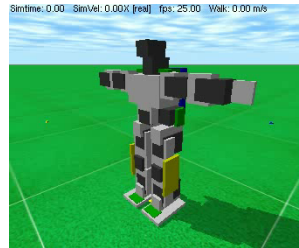
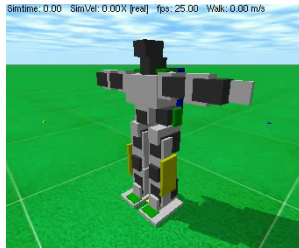
RoboCup Bremen 2006



Grand Challenge 2005

## Selbstoptimierende (Lernende) Systeme

- Künstliche Evolution
- Neuronale Netze
- Verstärkungslernen

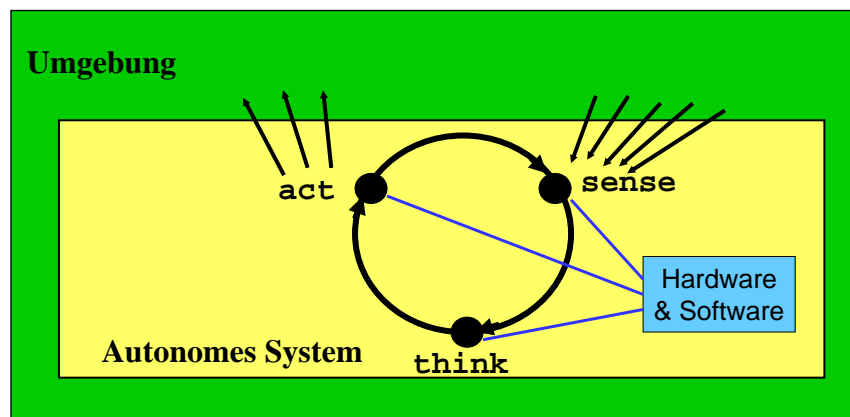


<http://www.at-humboldt.de/simloid.shtml?de>

Diplomarbeit Daniel Hein

## Architektur autonomer Systeme

„Sense-Think-Act“-Zyklus



# Wahrnehmung

abhängig von

- Anforderungen für Planung/Zielsetzung/Lernen



- Eigenschaften der Umwelt



# Wahrnehmung bezüglich Autonomie

- Vorgegebener fester Plan:  
*Ohne Wahrnehmung*



- Adaptiver Plan für vorgegebenes Ziel:  
*Wahrnehmung als Trigger für gegebene Alternativen*



- Selbständige Zielbestimmung und Planung:  
*Komplexe Wahrnehmung für Zielanalyse und Planung*



- Selbstoptimierende (Lernende) Systeme:  
*Komplexe Wahrnehmung für Bewertungen*



## Unterschiedliche Eigenschaften der Umwelt

- Dynamik
- Determiniertheit
- Strukturiertheit
- Zugänglichkeit von Informationen
- Zuverlässigkeit sensorischer Daten
- Zuverlässigkeit von Aktionen
- Koordination mit anderen

Eigenschaften auch abhängig  
vom Aufwand bzgl. Sensorik/Aktorik

## Unterschiedliche Eigenschaften der Umwelt

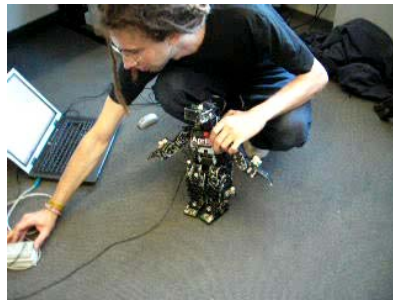
Realität ist wesentlich komplexer als virtuelle Welt:

- Weniger strukturiert
- Weniger zuverlässig
- ...

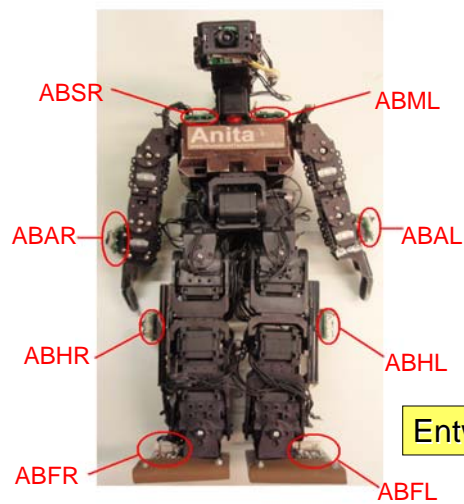
Problem auch für Simulationen

## Unterschiedliche Eigenschaften der Umwelt

Realität ist komplexer



## Proprioception: Körperwahrnehmung



Entwurf: Manfred Hild

## Proprioception: Körperwahrnehmung



## Präzision vs. Elastizität

Präzision ist aufwändig:

- präzise Sensorik
- präzise Modelle/präzise Planung
- präzise Aktorik



Elastizität als natürliches Prinzip

verwendet „Situiertheit in der realen Welt“

- Viele Sensoren
- Lokale Prozesse
- Sensor-Aktor-Kopplung
- Neuronale Netze
- Koordination („Zentral-Nerven-System“)

## Unterschiedliche Eigenschaften der Umwelt

Realität bietet mehr Möglichkeiten für Wahrnehmung

Virtuelle Welt dagegen nur eingeschränkt

Beispiel:  
Nutzerinterface

Von vorne beginnen    Über dieses Projekt    Gib Deine Meinung ab

Ich habe einige passende Reisen für Dich gefunden, die passendsten drei zeige ich Dir rechts.

In welchen Ort möchtest Du reisen?

bitte auswählen.    Unbedingt    Senden

Deine persönliche Reise:		
Attribut	Wert	Wichtigkeit
Land:	Frankreich	Auf keinen Fall!

Name: Hotel Carolina\*\*  
Ort & Land: Rimini, Italien  
Art & Preis: Hotel, 249 EUR  
Reisebeschreibung anzeigen  
Ähnliche Reisen...  
Genau meine Reise!

Name: Appartements Condado  
Ort & Land: Lloret de Mar, Spanien  
Art & Preis: Apartment, 329 EUR  
Reisebeschreibung anzeigen  
Ähnliche Reisen...  
Genau meine Reise!

Name: Hotel Marisol\*\*  
Ort & Land: Calella, Spanien  
Art & Preis: Hotel, 249 EUR  
Reisebeschreibung anzeigen  
Ähnliche Reisen...  
Genau meine Reise!

Diplomarbeit Benjamin Altmeyer

## Sensoren in realer Umwelt

Was sieht der Roboter:



## Sensoren in realer Umwelt

### Erfassung der realen Umwelt durch Sensoren

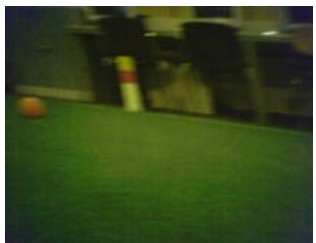
- ist unvollständig  
(Reichweite, Verdeckung, ...)
- ist unzuverlässig  
(Quantisierung, Rauschen, Dynamik, ...)

Verbesserung durch höheren Aufwand, z.B.

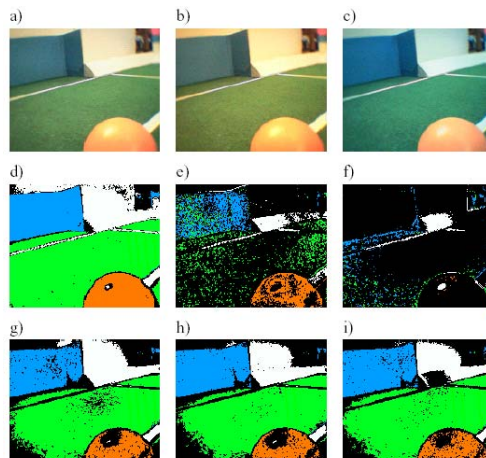
- höhere Empfindlichkeit,
- höhere Auflösung durch Sensorfelder, ...

## Sensoren in realer Umwelt

### Dynamik



### Beleuchtung/Farben



Diplomarbeit Jüngerl

## Hilfsmittel für die Wahrnehmung: Strukturierung

Hilfsmittel in der Umwelt:

- Orientierungspunkte: Landmarken
- Verkehrslenkungseinrichtungen
- Markierungen, Symbole
- GPS

„Interne“ Hilfsmittel:

- Karten
- Pläne
- Routen

## Ausnutzung der Physik

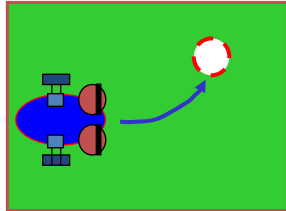
„Situiertheit in der realen Welt“

- Viele Sensoren
- Lokale Prozesse
- Sensor-Aktor-Kopplung
- Neuronale Netze
- Koordination („Zentral-Nerven-System“)

*Die Welt ist ihr bestes Modell. (R.Brooks)*

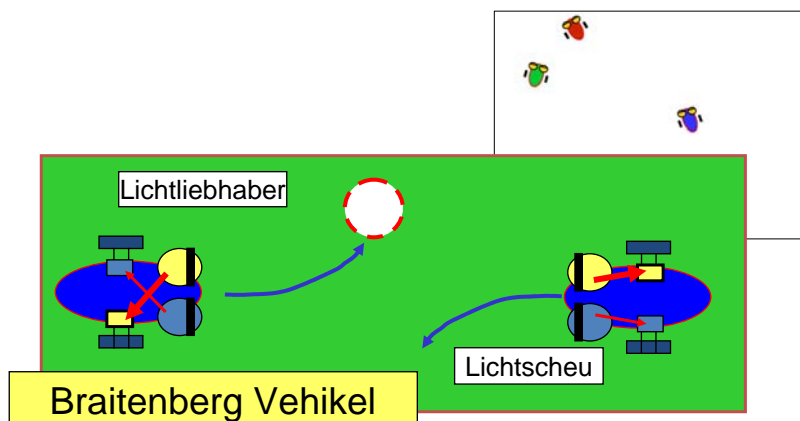
## „Bewusstes“ Handeln

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.



## Ausnutzung der Physik

„Reflexe“: Intelligente Sensor-Aktor-Kopplung



## Ausnutzung der Physik

Mechanisches Design

Rhex-Projekt

## Wahrnehmung in realer Umwelt

- Hohe Dynamik
- Keine Determiniertheit
- Wenig Strukturiertheit
- Unvollständige Informationen
- Unzuverlässige sensorische Daten

## Visuelle Wahrnehmung



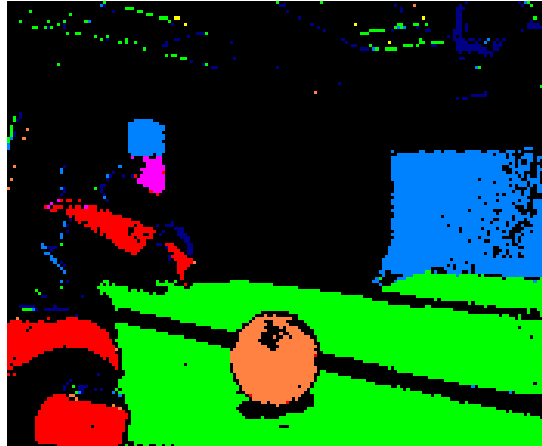
Woran erkennt der Roboter den Ball?

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

## Sequentielles „Sehen“



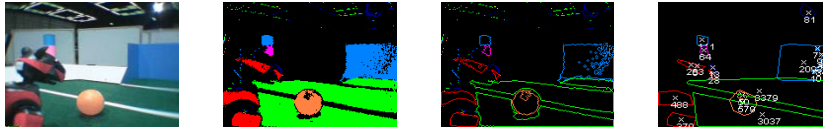
## Sehen und Erkennen



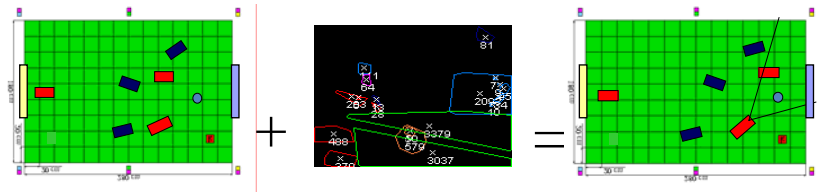
## Sehen und Erkennen



## Sehen und Erkennen



Bildverarbeitung



Wahrnehmung: Aktualisiertes Weltmodell

## Wahrnehmung als Rekonstruktion

Unter Ausnutzung von

- Wissen über die Welt:
  - Erscheinungsformen von Objekten
  - Beziehungen zwischen Objekten
- Erwartungen
  - Veränderungen
  - Interpretation von Absichten
- Gedächtnis („Weltmodell“)
- Kombination von Informationen
- Redundanz
- Kommunikation (Kooperative Wahrnehmung)

## Wahrnehmung als (Re-)Konstruktion

Weltwissen:

Linien und Formen werden ergänzt

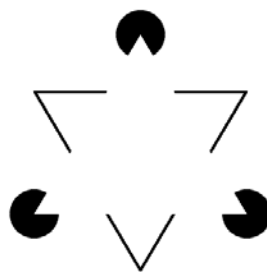


## Wahrnehmung als (Re-)Konstruktion

Weltwissen:

Linien und Formen werden ergänzt

*Meistens ist das korrekt: Optische Illusionen*

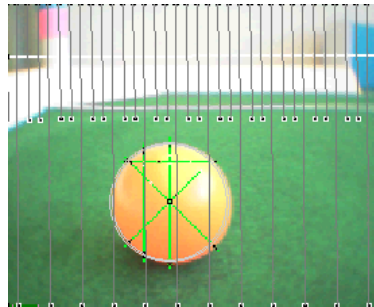


Können auch  
beim  
Maschinellen  
Sehen auftreten

## Wahrnehmung als (Re-)Konstruktion

Weltwissen:

- Formen („Gestalten“): Gerade, Kreis,...
- Oberflächenerscheinung
- Raum: Vorder-/Hintergrund, Perspektive

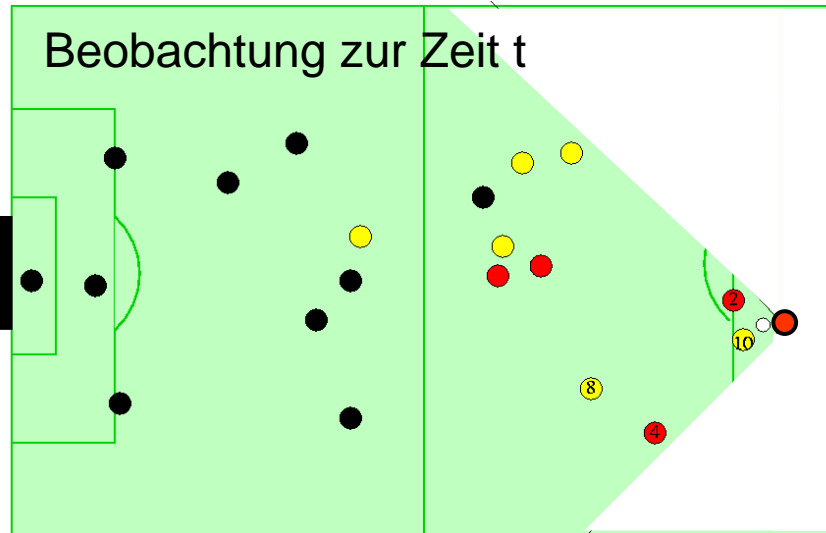


## Wahrnehmung als (Re-)Konstruktion

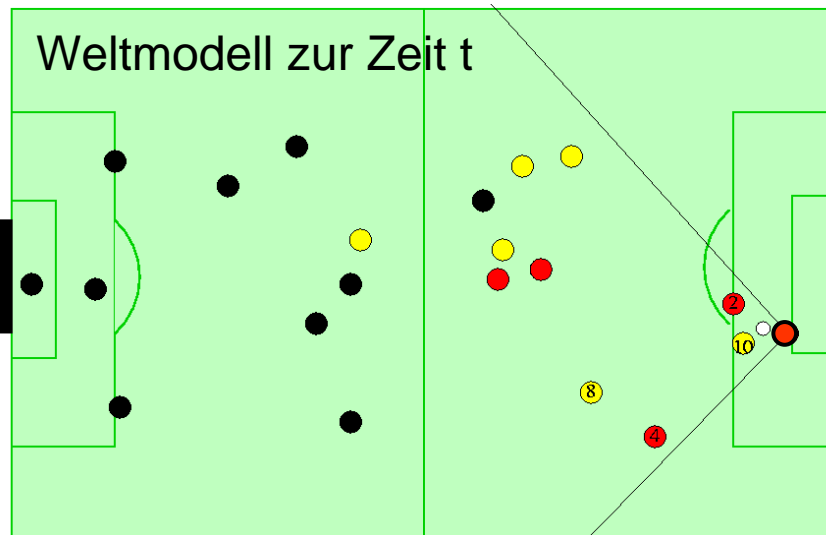
Fortschreibung eines Weltmodells anhand

- bisherigem Weltmodell
- aktueller Beobachtung
- erwartete Veränderungen (Simulation)

## Wahrnehmung als (Re-)Konstruktion

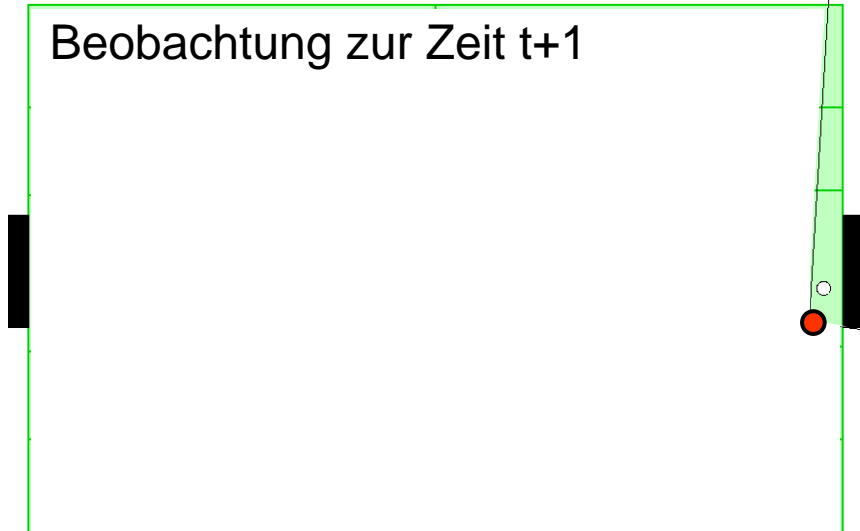


## Wahrnehmung als (Re-)Konstruktion



# Wahrnehmung als (Re-)Konstruktion

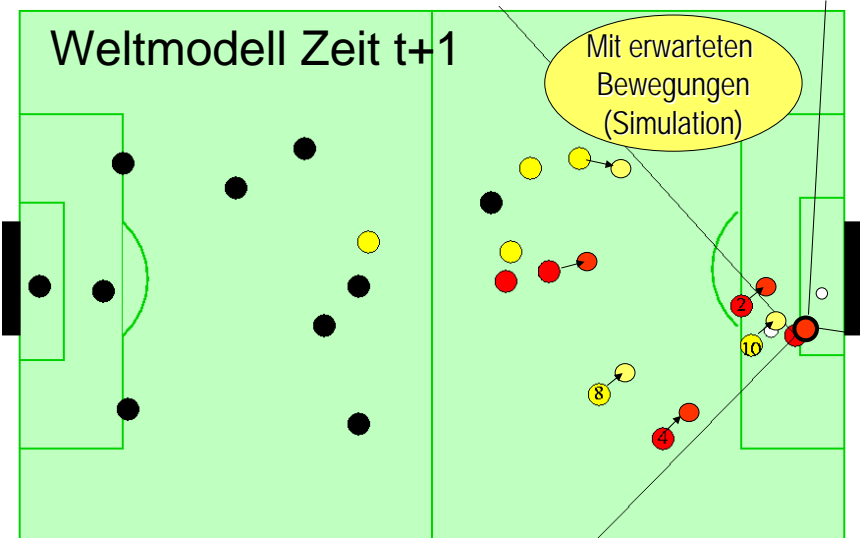
Beobachtung zur Zeit  $t+1$



# Wahrnehmung als (Re-)Konstruktion

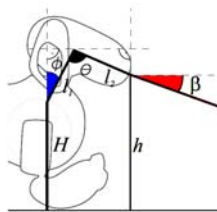
Weltmodell Zeit  $t+1$

Mit erwarteten Bewegungen (Simulation)

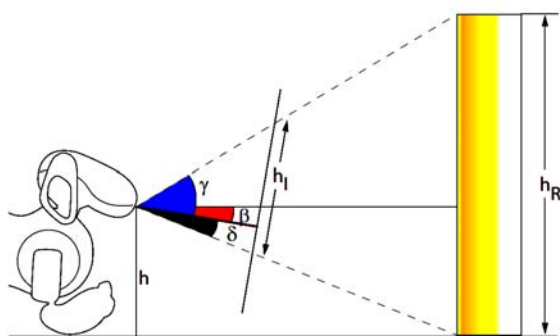


## Redundanzen

Zusammenhang zwischen Körperwahrnehmung und Umgebungswahrnehmung: Kameramatrix



Diplomarbeit  
H.Mellmann



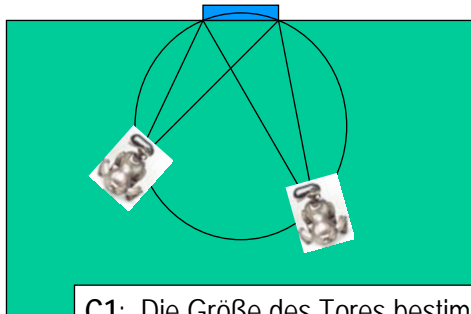
## Kombination von Informationen



Wo auf dem Spielfeld befinden sich  
der Roboter (Beobachter) und der Ball?

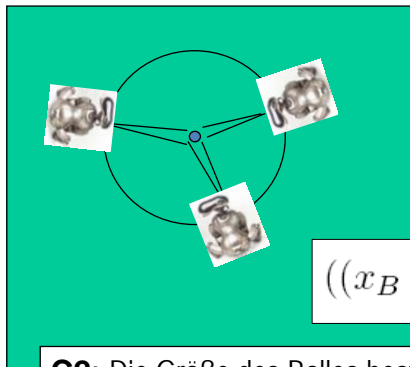
## Kombination von Informationen

$$\{(x_R, y_R) \mid \arctan \frac{y_{Gl} - y_R}{x_{Gl} - x_R} - \arctan \frac{y_{Gr} - y_R}{x_{Gr} - x_R} = \gamma\}$$



**C1:** Die Größe des Tores bestimmt einen Kreis für mögliche Positionen des Beobachters.

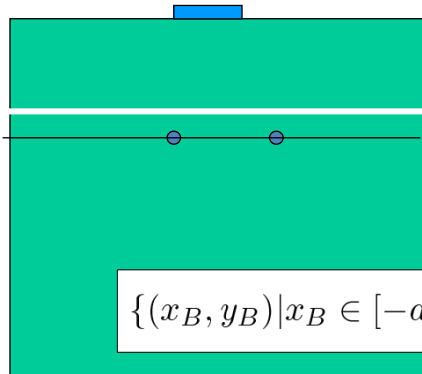
## Kombination von Informationen



$$((x_B - x_R)^2 + (y_B - y_R)^2 = d_{BR}^2)$$

**C2:** Die Größe des Balles bestimmt einen Kreis für mögliche Positionen des Roboters relativ zum Ball.

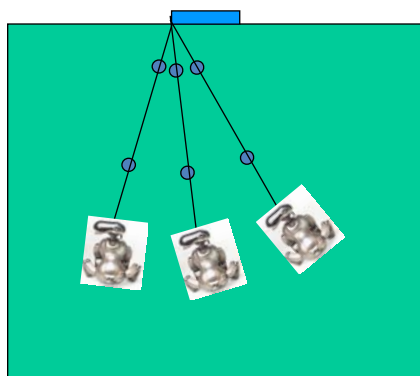
## Kombination von Informationen



$$\{(x_B, y_B) \mid x_B \in [-a_{PL}, a_{PL}], y_B = b_{PL} - d_{BL}\}$$

**C3:** Der Ball liegt auf einer Linie vor der Strafraumgrenze

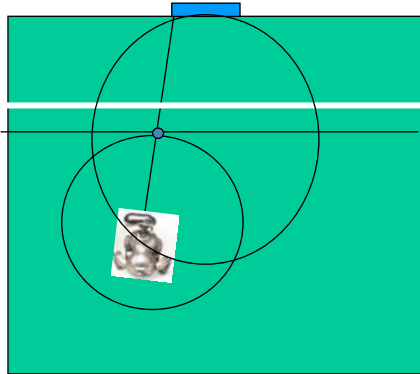
## Kombination von Informationen



**C4:** Der Ball liegt auf einer Linie zwischen Roboter und Torpfosten

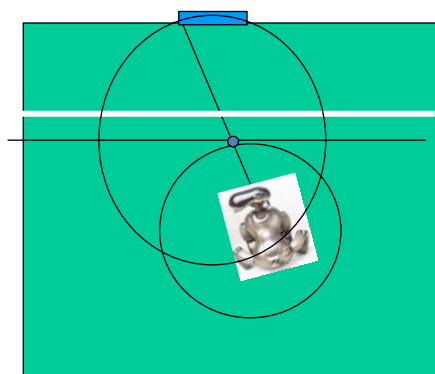
$$\frac{x_R - x_B}{y_R - y_B} = \frac{x_B - x_{Gl}}{y_B - y_{Gl}}$$

## Kombination von Informationen



Kombination ergibt 2 mögliche Positionen für Roboter und Ball

## Kombination von Informationen



Weitere Informationen:

- Perspektive
- Frühere Positionen
- Landmarken

Kombination ergibt 2 mögliche Positionen für Roboter und Ball

## Wahrnehmung als (Re-)Konstruktion

Kombination von Informationen

- Informationen aus verschiedenen Sensoren („Sensorfusion“)
- parallel empfangene Informationen  
z.B. Pixel eines Bildes
- sequentiell empfangene Informationen  
z.B. einer Bewegung, eines gesprochenen Satzes
- Wissen

## Sensordatenfusion

Unterschiedliche Sensoren ausnutzen

z.B.

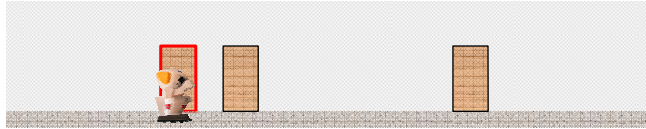
- Bildverarbeitung
- Abstandsmessung
- Odometrie

Techniken:

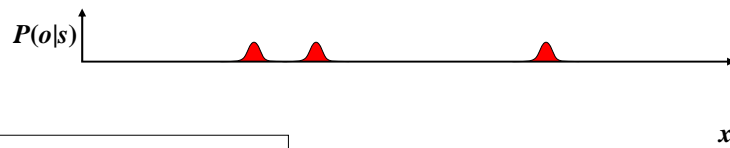
- Bayes-Filter (Kalmanfilter, Partikelfilter)
- Constraint Propagation

## Sensordatenfusion: Beobachtung + Bewegung

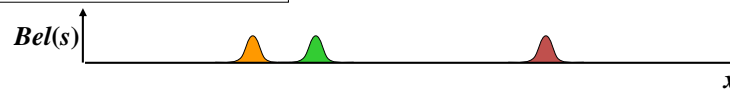
Wo befinde ich mich?



Beobachtung (Die Türen sind nicht unterscheidbar):

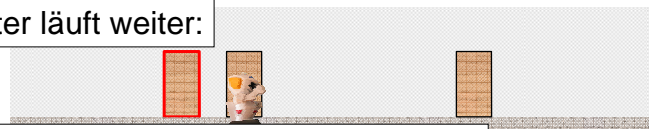


Positionsschätzung:

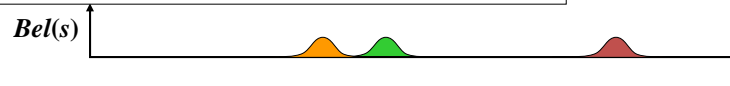


## Sensordatenfusion: Beobachtung + Bewegung

Roboter läuft weiter:

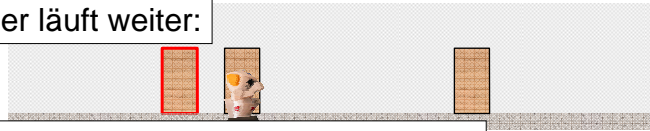


Neue Positionsschätzung (Laufmodell):

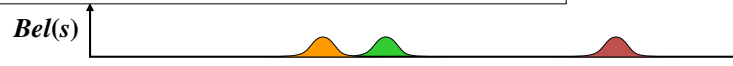


## Sensordatenfusion: Beobachtung + Bewegung

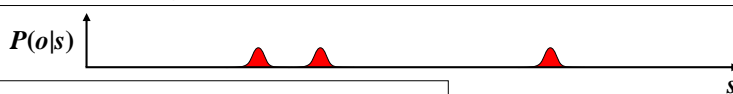
Roboter läuft weiter:



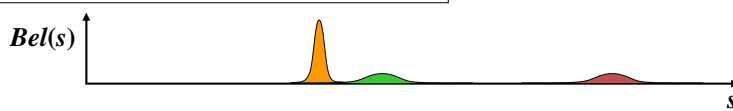
Neue Positionsschätzung (Laufmodell):



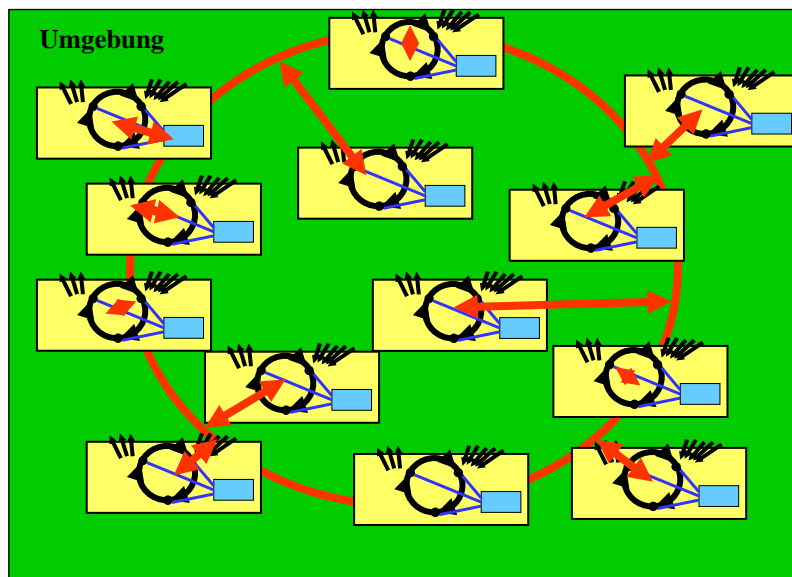
Beobachtung (Die Türen sind nicht unterscheidbar):



Korrigierte Positionsschätzung:



## Koordination mit anderen



## Koordination mit anderen

Koordination durch

- Beobachtung
- Kommunikation
- Interpretation von Absichten

Schwarmintelligenz:

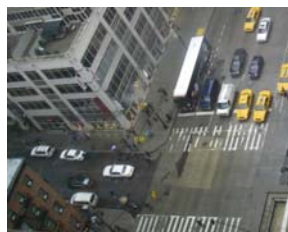
Intelligentes Verhalten im Zusammenwirken durch einfache Koordinationsregeln

## Koordination ohne Kommunikation

Verhaltensvorhersage bei

- gleicher Wahrnehmung der aktuellen Situation
- bekanntem Verhalten

Protokolle

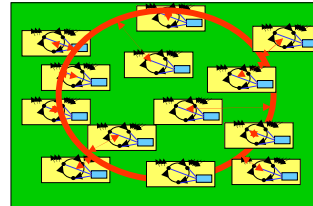


## „Cyberphysical Systems“

Interaktion mit der realen Welt:

- Computer + Sensoren/Aktoren
- Embedded Systems + Physikalische Welt

„Vernetzte eingebettete Systeme“



Neue Anforderungen an Computer-Technologien  
(bisher Trennung von realer und virtueller Welt)

## Wahrnehmungsprozess

Strukturierung:

- Vertikal:

Wahrnehmungsprozess über verschiedene Ebenen  
(Vorverarbeitung, Zwischenresultate, ...)

- Horizontal:

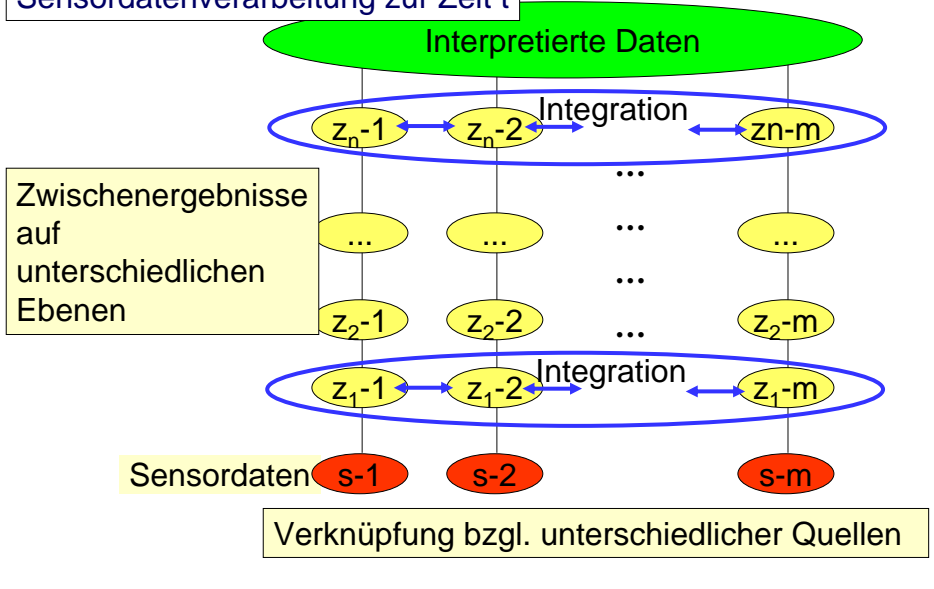
Integration von Daten unterschiedlicher Art  
bzw. aus unterschiedlichen Quellen (Sensorfelder)

- Zeitlich:

Integration von Daten unterschiedlicher Zeitpunkte

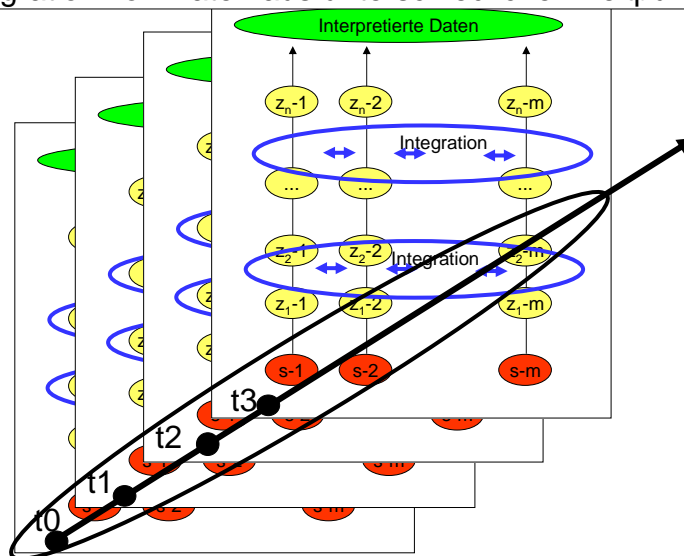
# Schema: Wahrnehmungsprozesse

Sensordatenverarbeitung zur Zeit  $t$



# Schema: Wahrnehmungsprozesse

Integration von Daten aus unterschiedlichen Zeitpunkten





## Komplexitätsprobleme

ca. 50% des Gehirns für visuelle Wahrnehmung

- weitgehend parallel
- erwartungsbasiert
- aufmerksamkeitsgesteuert

Benötigen mehr parallele Verarbeitung (Hardware)  
mit integrierten Algorithmen  
für unterschiedliche Sensoren (Sensorfelder)

## Sensorfelder

Sehen: Auge/Kamera

Tasten/Druck: Haut, Muskeln

Lage/Bewegung/Beschleunigung: Körperteile

Erfassung (Hardware): verfügbar

Verarbeitung (Hard-/Software): bisher weitgehend sequentiell

Unterschiedliche Verarbeitungsebenen:

- Vorverarbeitung
- Filterung
- Objekterkennung (z.B. Bereiche im Bild)
- Beziehungen in der Realität (z.B. Lokalisierung)

Vielen Dank für die Aufmerksamkeit!

