

Evolution von Fußballrobotern

am Beispiel des Teams „CS Freiburg“

Vortrag im Rahmen des Seminars
„Agenten und Robotfußball“

Markus Vinnbruck, 14.07.2003

Agenda

1. Einführung
2. Evolution des Teams „CS Freiburg“
 - Portrait „CS Freiburg“
 - Grundlegende Team-Architektur
 - Robotergenerationen (RoboCup 1998-2001)
 - Weitere Entwicklungen
3. Quantifizierbarkeit des Fortschritts
4. Fazit

- „Evolutionstreiber“ RoboCup:

Jährlich stattfindende Wettkämpfe treiben teilnehmende Teams zur kontinuierlichen Weiterentwicklung ihrer Roboter durch

- Konkurrenz
- Regeländerungen



Einführung

Portrait „CS Freiburg“

Team-Architektur

Robotergenerationen

- RoboCup 1998

- RoboCup 1999

- RoboCup 2000

- RoboCup 2001

Weitere Entwicklungen

Quantifizierbarkeit

Fazit

Das Team „CS Freiburg“

Portrait

- Team der Universität Freiburg (Institut für Informatik)
- Teilnahme am RoboCup seit 1998
- Erfolge (middle-sized league):
 - 1998: Weltmeister
 - 1999: 3. Platz
 - 2000: Weltmeister
 - 2001: Weltmeister
- Keine Teilnahme am RoboCup 2002 / 2003, trotzdem Weiterentwicklung der Roboter



Einführung
Portrait „CS Freiburg“
Team-Architektur
Robotergenerationen
- RoboCup 1998
- RoboCup 1999
- RoboCup 2000
- RoboCup 2001
Weitere Entwicklungen
Quantifizierbarkeit
Fazit

Grundlegende Team-Architektur

Einführung
Portrait „CS Freiburg“
Team-Architektur
Robotergenerationen
- RoboCup 1998
- RoboCup 1999
- RoboCup 2000
- RoboCup 2001
Weitere Entwicklungen
Quantifizierbarkeit
Fazit

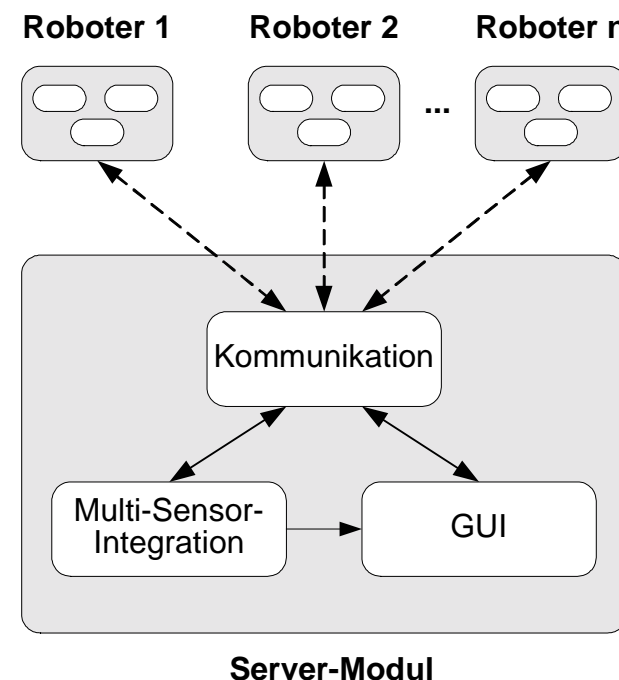
• Autonome Roboter

- Wahrnehmung
 - Selbst-Lokalisierung
 - Spieler-Erkennung
 - Ball-Erkennung

} → *lokales Weltmodell*
- Steuerung
- Pfadplanung

• Server-Modul

- Kommunikationsplattform
- Multi-Sensor-Integration → *globales Weltmodell*
- Graphical User Interface (GUI)
 - Visualisierung des Weltmodells
 - Versenden bestimmter Kommandos (z.B. zum Spielstart)



Quelle: Vgl. Gutmann u. a. (1999), S. 97.

RoboCup 1998

Grundausrüstung eines Roboters

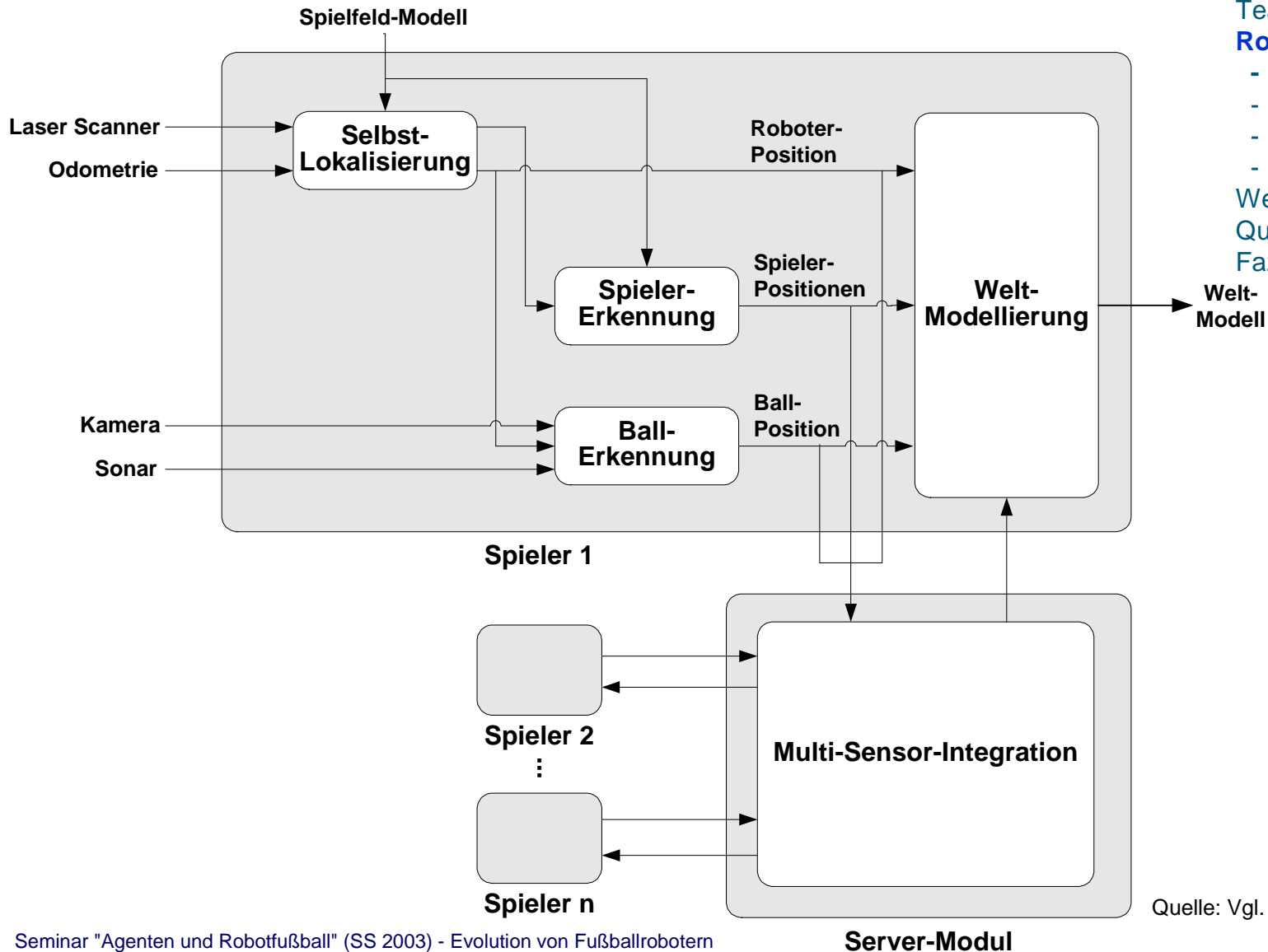
- Plattform: „Pioneer I“
 - Serienmäßig produzierter Roboter
 - Ergänzt um viele Hard- und Softwarekomponenten
- Informationsverarbeitung:
 - Toshiba Notebook „Libretto 70 CT“ (Linux)
- Wahrnehmung:
 - Laserscanner „Sick PLS 200“
 - Videokamera + „Cognachrome Vision System“
 - Sonar
- Erweiterte Motorik:
 - Selbstkonstruierte Schussvorrichtung
 - Flexible Federn zur Ballführung
- Kommunikation: Funk-LAN

Einführung
Portrait „CS Freiburg“
Team-Architektur
Robotergenerationen
- RoboCup 1998
- RoboCup 1999
- RoboCup 2000
- RoboCup 2001
Weitere Entwicklungen
Quantifizierbarkeit
Fazit



RoboCup 1998

Wahrnehmung (1/3)



Einführung
Portrait „CS Freiburg“
Team-Architektur
Robotergenerationen
- RoboCup 1998
- RoboCup 1999
- RoboCup 2000
- RoboCup 2001
Weitere Entwicklungen
Quantifizierbarkeit
Fazit

Quelle: Vgl. Gutmann u. a. (1999), S. 100.

- **Selbst-Lokalisierung**

- Extraktion von Liniensegmenten aus dem Laserscan und Vergleich mit a-priori-Modell des Spielfeldes
- Zusätzlich: Odometriedaten

=> Eigene Position

- **Spielererkennung**

- Entfernung aller zum Spielfeldrand gehörigen Punkte
- Clustering + Berechnung der jeweiligen Schwerpunkte

=> Position anderer Roboter

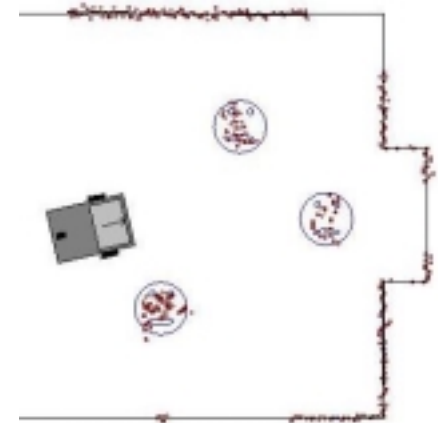
- **Ballerkennung**

- Farberkennung: Rot/Orange des Balles
- Mapping von Pixelkoordinaten auf Koordinaten des Weltmodells
- Zusätzlich: Integration von Sonar-Daten sowie Konturerkennung und Plausibilitätsprüfungen

=> Ballposition

=> **Lokales Weltmodell**

Einführung
Portrait „CS Freiburg“
Team-Architektur
Robotergenerationen
- **RoboCup 1998**
- RoboCup 1999
- RoboCup 2000
- RoboCup 2001
Weitere Entwicklungen
Quantifizierbarkeit
Fazit



- Multi-Sensor-Integration
 - Fusion der Sensor-Daten der einzelnen Roboter
- => Globales Weltmodell

Einführung
Portrait „CS Freiburg“
Team-Architektur
Robotergenerationen

- **RoboCup 1998**
- RoboCup 1999
- RoboCup 2000
- RoboCup 2001

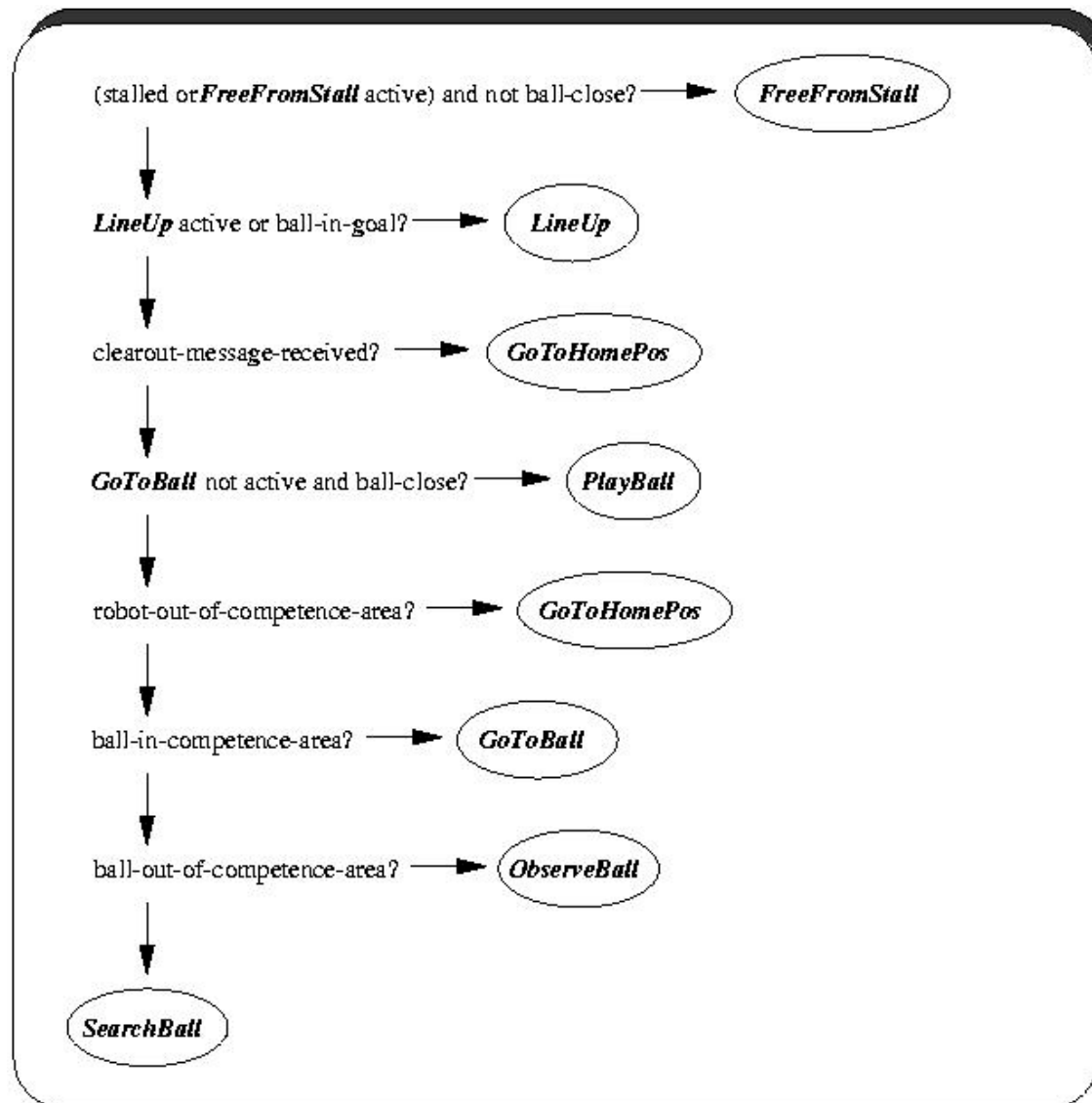
Weitere Entwicklungen
Quantifizierbarkeit
Fazit

- Regelbasiertes System
 - Abhängig von der jeweiligen Situation bestimmen vordefinierte Verhaltensregeln die Aktion bzw. Reaktion des Roboters
 - Mapping von Situationen auf Aktionen erfolgt über einen Entscheidungsbaum

Einführung
Portrait „CS Freiburg“
Team-Architektur
Robotergenerationen
- **RoboCup 1998**
- RoboCup 1999
- RoboCup 2000
- RoboCup 2001
Weitere Entwicklungen
Quantifizierbarkeit
Fazit

RoboCup 1998

Steuerung (2/3)



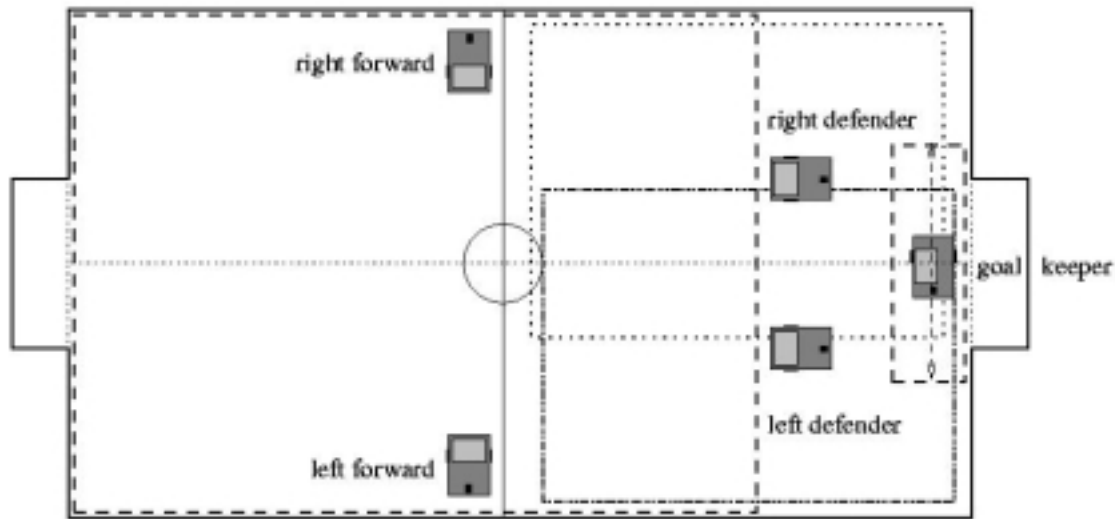
Einführung
Portrait „CS Freiburg“
Team-Architektur
Robotergenerationen
- RoboCup 1998
- RoboCup 1999
- RoboCup 2000
- RoboCup 2001
Weitere Entwicklungen
Quantifizierbarkeit
Fazit

Quelle: Gutmann u. a. (1999), S. 103.

RoboCup 1998

Steuerung (3/3)

- Realisierung von Kooperation
 - Statische Rollenverteilung
 - 1 Torwart
 - 2 Verteidiger
 - 2 Angreifer
 - Rolle definiert Kompetenzbereich und Regelset (fix)



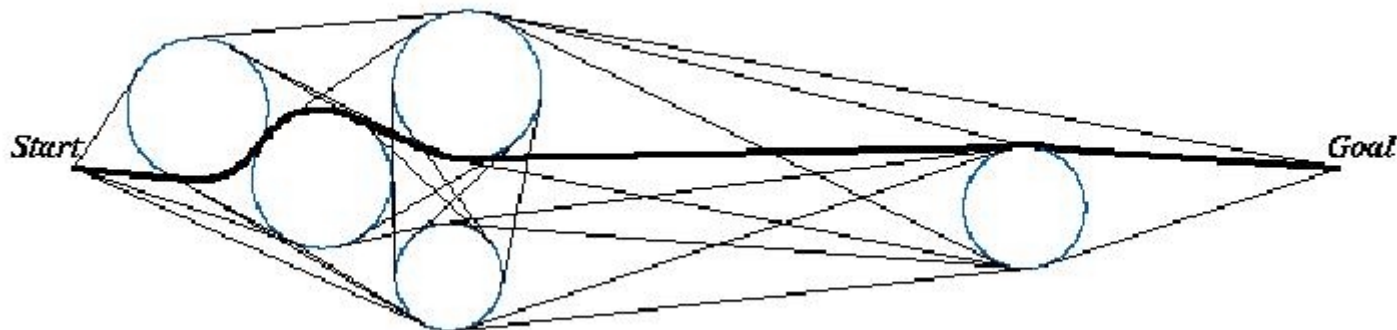
Quelle: Gutmann u. a. (1999), S. 104.

Einführung
Portrait „CS Freiburg“
Team-Architektur
Robotergenerationen
- RoboCup 1998
- RoboCup 1999
- RoboCup 2000
- RoboCup 2001
Weitere Entwicklungen
Quantifizierbarkeit
Fazit

- Bewegungsplanung bei Vorhandensein dynamischer Hindernisse extrem rechenaufwändig

=> Approximation:
Betrachtung aller Hindernisse als statisch

- Methode des erweiterten Sichtbarkeitsgraphen
 - Geometrisch
 - Berechnung des kürzesten, kollisionsfreien Weges (A*-Algorithmus)



Quelle: Gutmann u. a. (1999), S. 106.

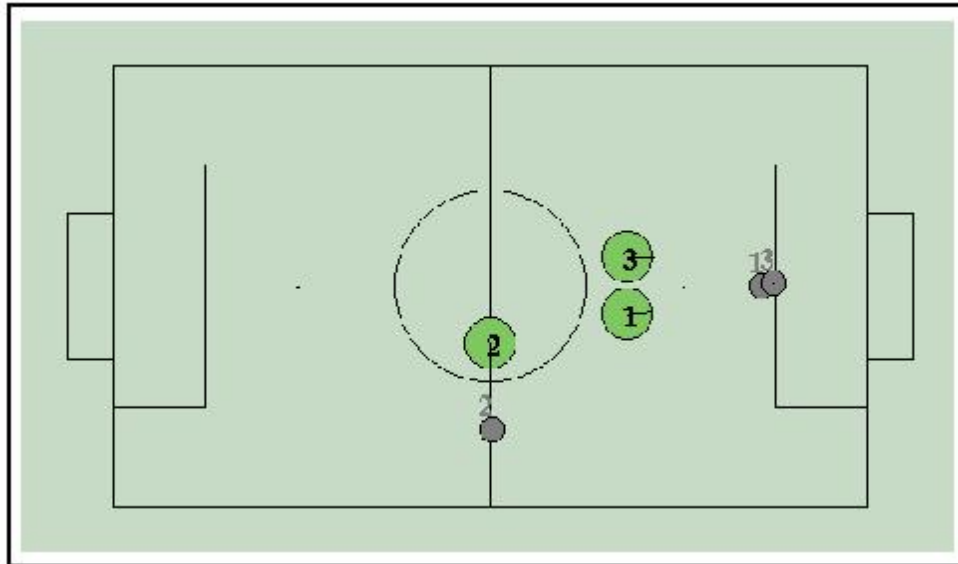
Einführung
Portrait „CS Freiburg“
Team-Architektur
Robotergenerationen
- RoboCup 1998
- RoboCup 1999
- RoboCup 2000
- RoboCup 2001
Weitere Entwicklungen
Quantifizierbarkeit
Fazit

- Neuer Laserscanner: Sick „LMS 200“
 - Genauere Entfernungsauflösung
 - Höhere Scan-Wiederholungsraten

- Verbesserte Fusion der Sensordaten:
 - Bisher: einfache Durchschnittsbildung
 - Jetzt: differenziertes Verfahren
 - Robotererkennung: präzise Daten (Laserscanner)
 - Kalman-Filtering
 - Ballerkennung: unzuverlässige Daten (Kamera)
 - Markov-Lokalisierung zum Ausschluss von Ausreißern
(=> wahrscheinlichste Ballposition)
 - Kalman-Filtering

Einführung
Portrait „CS Freiburg“
Team-Architektur
Robotergenerationen
- RoboCup 1998
- **RoboCup 1999**
- RoboCup 2000
- RoboCup 2001
Weitere Entwicklungen
Quantifizierbarkeit
Fazit

- Beispiel
 - Roboter 1, Roboter 3:
Wahrnehmung der korrekten Ballposition
 - Roboter 2:
Falsche Wahrnehmung (Reflektion ?)

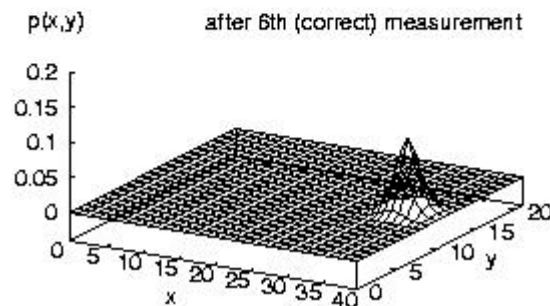
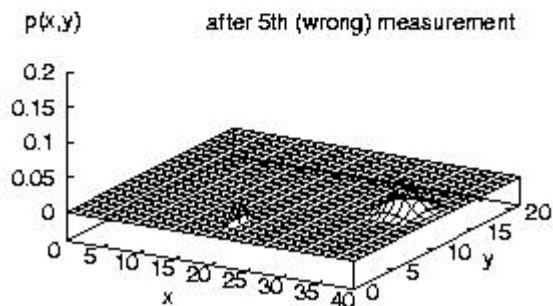
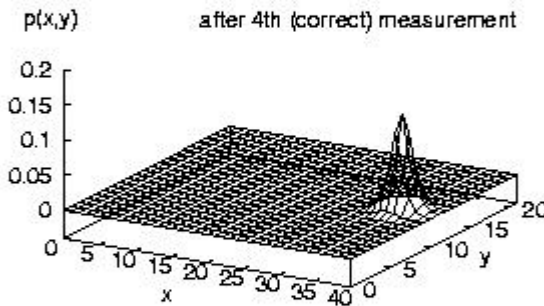
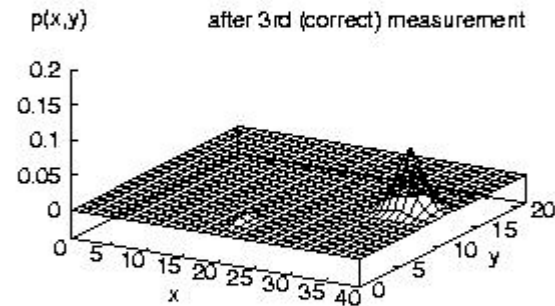
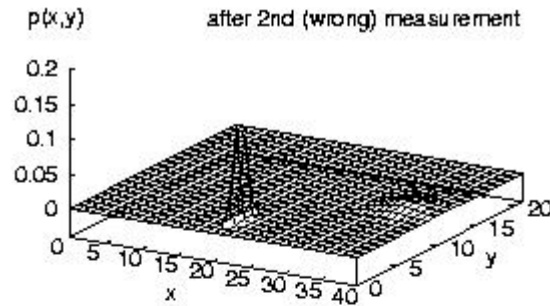
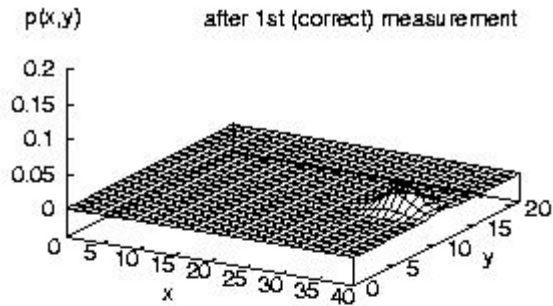


Einführung
Portrait „CS Freiburg“
Team-Architektur
Robotergenerationen
- RoboCup 1998
- **RoboCup 1999**
- RoboCup 2000
- RoboCup 2001
Weitere Entwicklungen
Quantifizierbarkeit
Fazit

RoboCup 1999

Wahrnehmung (3/3)

Einführung
Portrait „CS Freiburg“
Team-Architektur
Robotergenerationen
- RoboCup 1998
- **RoboCup 1999**
- RoboCup 2000
- RoboCup 2001
Weitere Entwicklungen
Quantifizierbarkeit
Fazit



Quelle: Dietl, Gutmann, Nebel (2001), S. 1710f.

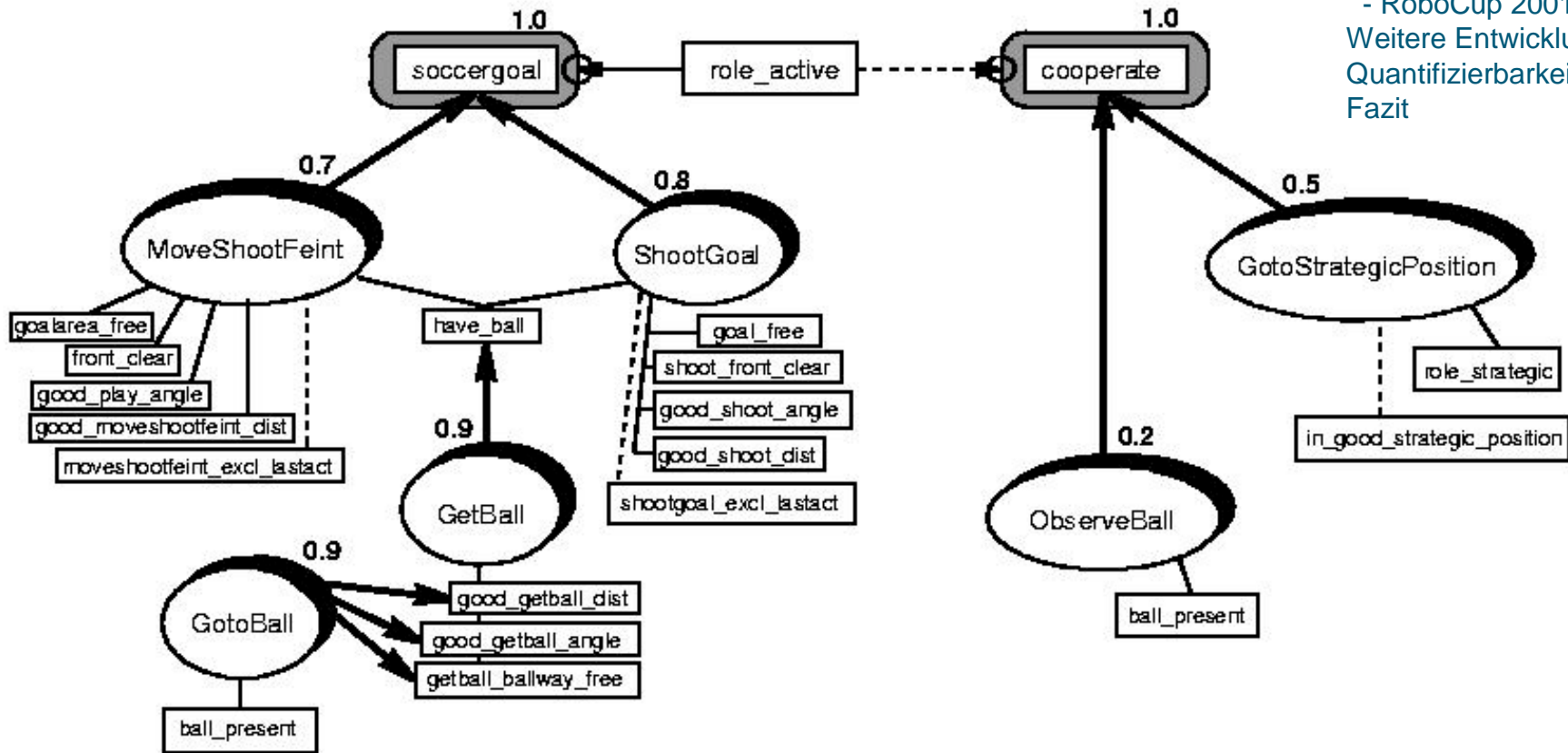
- Bisher: wenige, hierarchisierte Verhaltensregeln
→ unflexibel
- Jetzt: Verhaltensnetzwerke
 - Wesentliche Bestandteile: Aktionsmodule
 - Situationsanalyse (Vorbedingungen, Invarianten)
 - Aktivierungsfunktion (zur Nutzenberechnung)
 - Aktionsbeschreibung
 - Kontrollfunktion
 - In konkreter Spielsituation: Auswahl der Aktion, die den höchsten Nutzen verspricht

Einführung
Portrait „CS Freiburg“
Team-Architektur
Robotergenerationen
- RoboCup 1998
- **RoboCup 1999**
- RoboCup 2000
- RoboCup 2001
Weitere Entwicklungen
Quantifizierbarkeit
Fazit

RoboCup 1999

Steuerung (2/2)

Einführung
Portrait „CS Freiburg“
Team-Architektur
Robotergenerationen
- RoboCup 1998
- **RoboCup 1999**
- RoboCup 2000
- RoboCup 2001
Weitere Entwicklungen
Quantifizierbarkeit
Fazit



Quelle: Weigel u. a. (2001), S. 62.

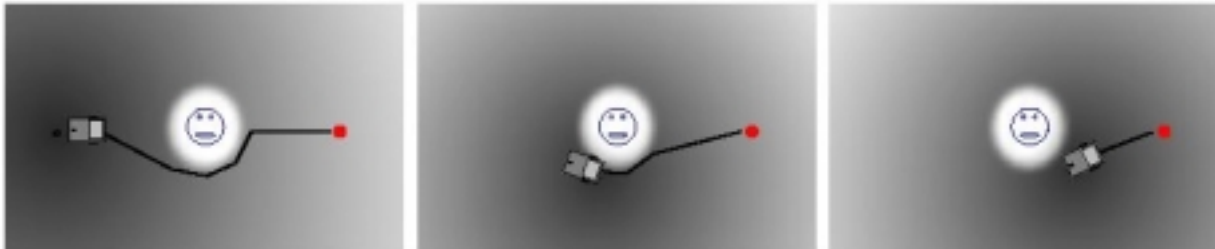
- Bisher: Statische Rollenverteilung
 - Fester Kompetenzbereich für jeden Roboter
- Jetzt: Dynamische Rollenverteilung
 - Temporäre Grundposition auf dem Spielfeld wird anhand der aktuellen Spielsituation bestimmt
 - Verteidiger
 - Mittelfeldspieler
 - Angreifer
 - Kommunikation erforderlich
 - Statische Rollenverteilung als Notfall-Strategie (bei Ausfall der Kommunikation)

Einführung
Portrait „CS Freiburg“
Team-Architektur
Robotergenerationen

- RoboCup 1998
- **RoboCup 1999**
- RoboCup 2000
- RoboCup 2001

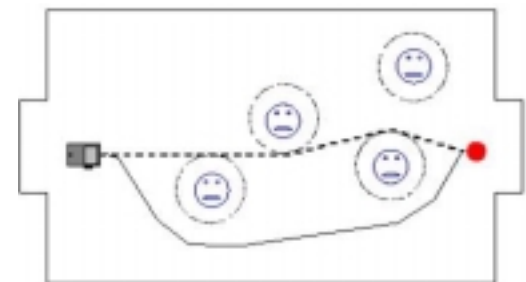
Weitere Entwicklungen
Quantifizierbarkeit
Fazit

- Potenzialfeld-Methode
 - Abstoßend: gegnerische Spieler, Feldbegrenzung
 - Anziehend: erstrebenswerte Positionen
- Algorithmus zur Pfadberechnung
 - Ausgangspunkt: Zielposition
 - Folgt dem negativen Gradienten des Potenzialfeldes zum Roboter (laufende Neuplanung)



Quelle: Weigel u. a. (2002), S. 31ff.

- Vergleich mit geometrischem Verfahren:
 - Evtl. längerer Weg, aber weniger Hindernisse
=> schnellere Bewegung möglich



- Torwart

- Roboter „Pioneer DX-2“ => höhere Reaktivität
- Kamera „Sony EVI-D30“ => bessere Ballverfolgung

- Feldspieler

- Neue Schussvorrichtung => härtere, weitere Schüsse
- Verbesserte Ballführungsmechanik => kein „Verhaken“, weniger ungewollte Ballberührungen

Einführung
Portrait „CS Freiburg“
Team-Architektur
Robotergenerationen
- RoboCup 1998
- RoboCup 1999
- **RoboCup 2000**
- RoboCup 2001
Weitere Entwicklungen
Quantifizierbarkeit
Fazit

- Komplette Neugestaltung der Rollenverteilung
 - Torwart (fest)
 - Aktiver Spieler
 - Versucht, an den Ball zu kommen bzw. ihn in Richtung des gegnerischen Tores zu spielen
 - Strategischer Spieler
 - Nimmt immer eine defensive Position in der eigenen Spielhälfte ein
 - Unterstützender Spieler
 - Verhält sich entsprechend der Spielsituation
 - a) Angriff: Positionierung zum Passempfang
 - b) Verteidigung: Einreihung in Defensivformation
- Erweiterung des Verhaltensnetzwerks
 - Modellierung weiterer möglicher Spielsituationen

Einführung
Portrait „CS Freiburg“
Team-Architektur
Robotergenerationen

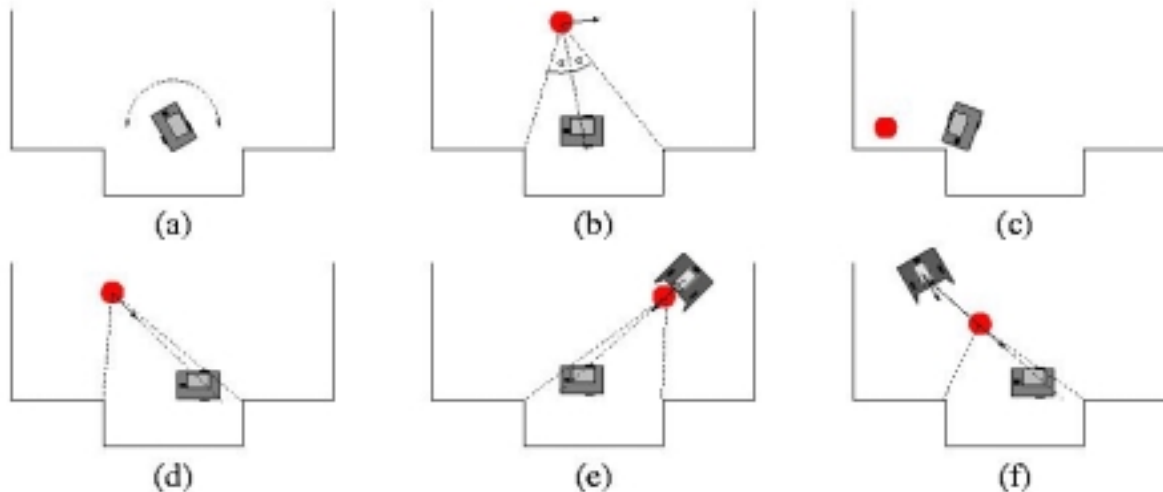
- RoboCup 1998
- RoboCup 1999
- **RoboCup 2000**
- RoboCup 2001

Weitere Entwicklungen
Quantifizierbarkeit
Fazit

- Neues Aktionsrepertoire

- Torwart

- SearchBall (a), BlockBall (b), TurnToCorner (c), InterceptBall (d-f)



Quelle: Weigel u. a. (2001), S. 58.

- Feldspieler

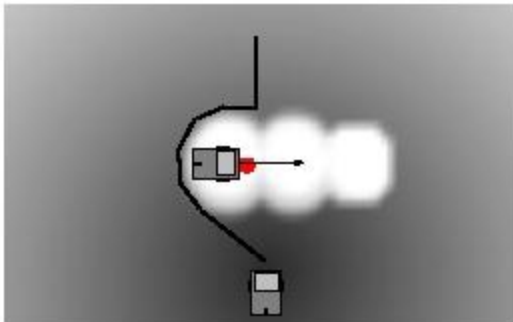
- GoToBall, GetBall, TurnBall, ShootGoal, MoveShootFeint, DribbleBall, ShootToPos, TurnAwayBall, FreeFromStall, WaitAndBlock, BumpShootOffense, BumpShootDefense, GoToPos, SearchBall, ObserveBall, WaitForPass, PassBall, LeavePenaltyArea

- Weitere Verbesserung der Feldspieler
 - „Pioneer-2“-Boards => schnellere, präzisere Bewegung
 - Digitalkamera („Sony DFW-V500“)
+ eigene Bildverarbeitungssoftware
 - Notebook „Sony Vaio PCG-CIVE“ mit IEEE1394-Schnittstelle

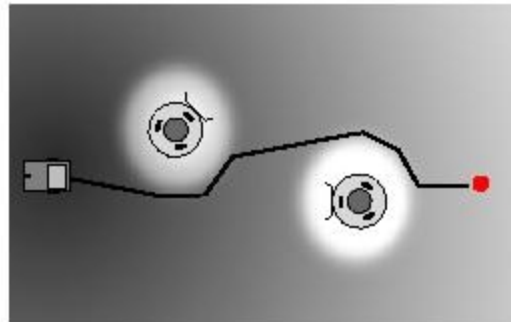
- Höhere Bandbreite für Kommunikation
 - Neue Funk-LAN-Karten (11 Mbit/s)

Einführung
Portrait „CS Freiburg“
Team-Architektur
Robotergenerationen
- RoboCup 1998
- RoboCup 1999
- RoboCup 2000
- **RoboCup 2001**
Weitere Entwicklungen
Quantifizierbarkeit
Fazit

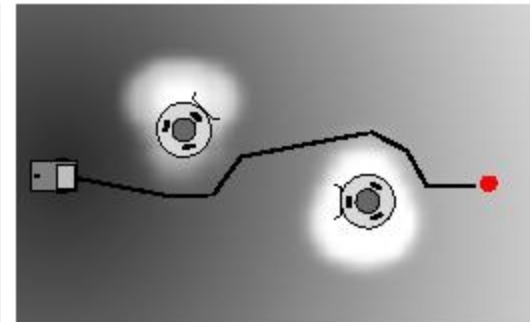
- Erweiterung des Algorithmus zur Potenzialfeldmethode
 - Problem 1:
Störung des Roboters in Ballbesitz durch eigene Roboter
→ Erzeugung künstlicher Zusatzpotenziale vor dem ballführenden Roboter (a)
 - Problem 2:
Oszillation, d.h. ständiger Wechsel zwischen zwei Pfaden
→ Schwerpunktverschiebung bei Potenzialfeldern eines Hindernisses (b,c)



(a)



(b)



(c)

Quelle: Weigel u. a. (2002), S. 31.

- Regeländerung 2002
 - Banden als Feldbegrenzung werden ersetzt durch eine Reihe von Pfosten entlang des Spielfeldrandes

- Anpassung des Verfahrens zur Selbst-Lokalisierung
 - Künstliche Rekonstruktion der Liniensegmente:
 1. Clustering des Laserscans
 2. Abstandsmessung zwischen zwei Clustern
 3. Vergleich mit Standardabstand zwischen 2 Pfosten
 4. Ggf. Ziehen einer virtuellen Linie

Einführung
Portrait „CS Freiburg“
Team-Architektur
Robotergenerationen

- RoboCup 1998
- RoboCup 1999
- RoboCup 2000
- RoboCup 2001

Weitere Entwicklungen

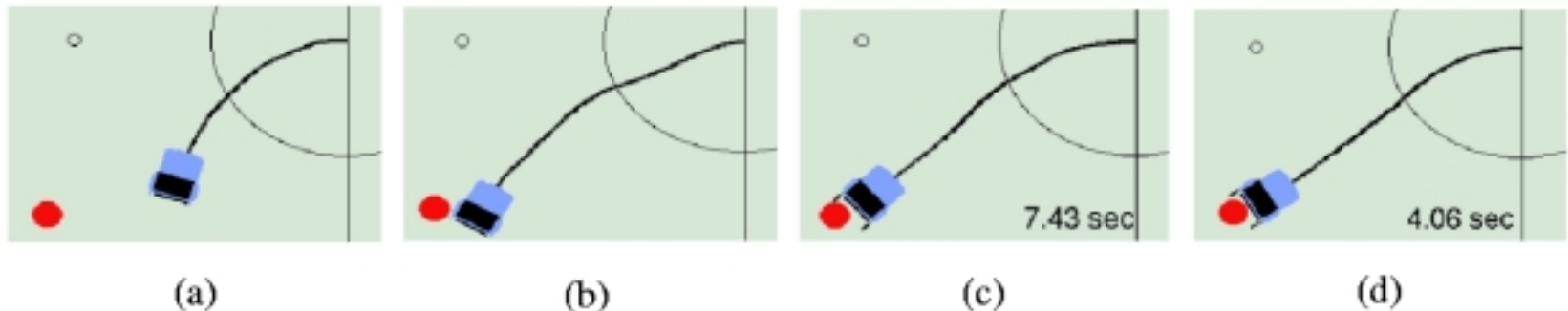
Quantifizierbarkeit
Fazit

Weitere Entwicklungen

Eigenständiges Lernen

- „Reinforcement Learning“
 - Bestärkung des Roboters in den Handlungen, die erfolgreich waren
 - Bewertung einer Aktionsfolge abhängig von ihrem Erfolg:
 - a) Erfolg (Ziel erreicht) => Belohnung
 - b) Misserfolg (Ziel nicht erreicht) => „Bestrafung“
 - Favorisierung schneller Lösungen durch (geringe) „Bestrafung“ jeder einzelnen Aktion

Einführung
Portrait „CS Freiburg“
Team-Architektur
Robotergenerationen
- RoboCup 1998
- RoboCup 1999
- RoboCup 2000
- RoboCup 2001
Weitere Entwicklungen
Quantifizierbarkeit
Fazit

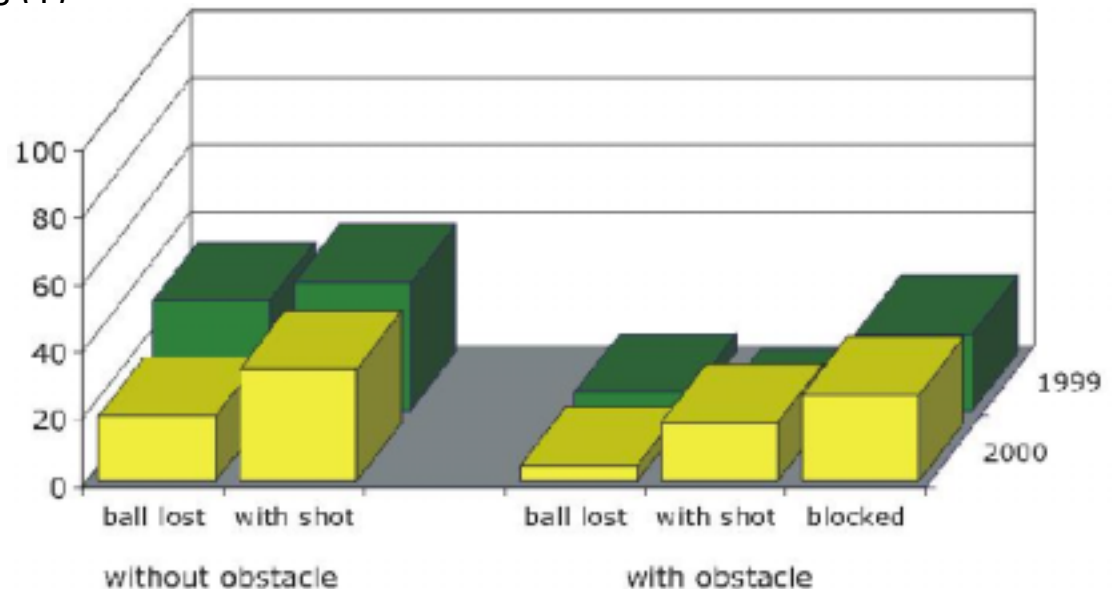
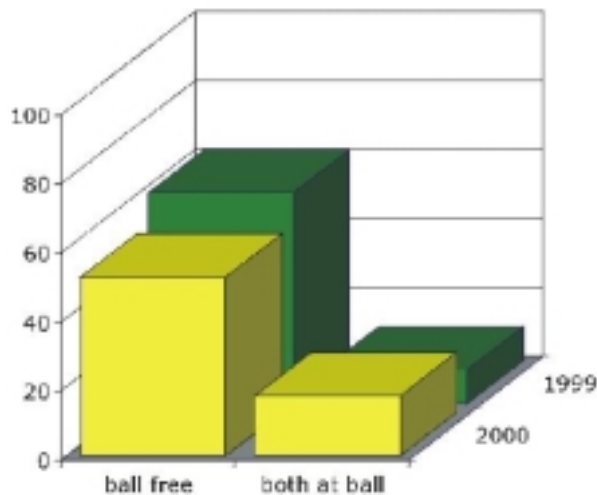


Quelle: Weigel u. a. (2002), S. 95.

Quantifizierbarkeit des Fortschritts

Einführung
Portrait „CS Freiburg“
Team-Architektur
Robotergenerationen
- RoboCup 1998
- RoboCup 1999
- RoboCup 2000
- RoboCup 2001
Weitere Entwicklungen
Quantifizierbarkeit
Fazit

- Fortschritt tatsächlich messbar?
 - Kriterien zur objektiven Evaluation von Mannschaftsstärken (Beispiele)
 - Kein Spieler am Ball (-)
 - Beide Teams am Ball (+)
 - Ballverluste (-)
 - Dribblings mit Abschluss (+)
 - Schussweite (+)



Quelle: Isekenmeier, Nebel, Weigel (2002), S. 395ff.

- Erhebliche Fortschritte auf dem Gebiet des Robotfußballs innerhalb der letzten Jahre
 - Sichtbar an verbesserten Komponenten (HW & SW)
 - Messbar durch objektive Kriterien

- Aber:
Weg bis zum Ziel, die menschliche Weltmeisterschaftsmannschaft 2050 zu schlagen, ist noch sehr weit
 - trotz Regelverschärfungen noch großer Unterschied zu FIFA-Regeln und realen Spielbedingungen (middle-sized league)
 - lediglich Simulationsliga schon relativ realistisch

Einführung
Portrait „CS Freiburg“
Team-Architektur
Robotergenerationen
- RoboCup 1998
- RoboCup 1999
- RoboCup 2000
- RoboCup 2001
Weitere Entwicklungen
Quantifizierbarkeit
Fazit

- Dietl, M.; Gutmann, J.-S.; Nebel, B.: *Cooperative Sensing in Dynamic Environments*. In: International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS). Miami 2001, S: 1706-1713.
- Gutmann, J.-S. u. a.: *The CS Freiburg Robotic Soccer Team: Reliable Self-Localization, Multirobot Sensor Integration, and Basic Soccer Skills*. In: RoboCup-98 Soccer World Cup II. Hrsg: M. Asada, H. Kitano. Berlin et al. 1999, S. 93-108.
- Isekenmeier, G.; Nebel, B.; Weigel, T.: *Evaluation of the Performance of CS Freiburg 1999 and CS Freiburg 2000*. In: RoboCup 2001: Robot Soccer World Cup V. Hrsg: A. Birk, S. Gradeschi, S. Tadokoro. Berlin et al. 2002, S. 393-398.
- Weigel, T. u. a.: *CS Freiburg: Doing the Right Thing in a Group*. In: RoboCup 2000: Robot Soccer World Cup IV. Hrsg: P. Stone, T. Balch, G. Kraetzschmar. Berlin et al. 2001, S.52-63.
- Weigel, T. u. a.: *CS Freiburg 2001*. In: RoboCup 2001: Robot Soccer World Cup V. Hrsg: A. Birk, S. Gradeschi, S. Tadokoro. Berlin et al. 2002, S. 26-38.
- Weigel, T. u. a.: *CS Freiburg: Coordinating Robots for Successful Soccer Playing*. In: IEEE Transactions on Robotics and Automation. 18(5), 2002, S. 685-699.