

Eine geschichtete Architektur zur reaktiven Verhaltenssteuerung

Sven Behnke

Freie Universität Berlin

**FB Mathematik und Informatik
Institut für Informatik**



Überblick

- Problemstellung
- Ansätze zur Verhaltenssteuerung
- Dual Dynamics
- Hierarchische Architektur
- RoboCup-Beispiel
 - einzelne Verhalten
 - Pfadplanung
 - Vorhersagen
 - Verhaltensübersicht

Autonome Mobile Roboter



„Fungus Eater“ by Isabelle Follath
Masanao Toda 1962, Rolf Pfeifer 1994

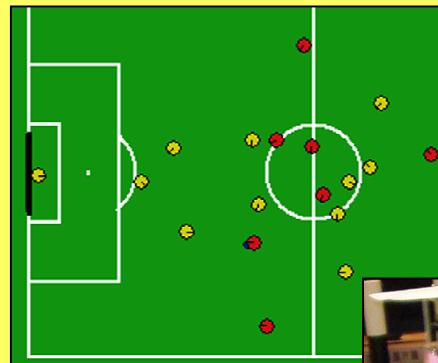
- vollständiger Agent
 - Autonomie
 - Selbsterhaltung
 - Körperlichkeit
 - Situiertheit
- ökologische Nische
- billig, ungenau

RoboCup



- Fußballspiel als Benchmark der KI-Forschung
- seit 1997 jährliche WM, lokale Wettbewerbe
- Ligen:

Simulation



SmallSize



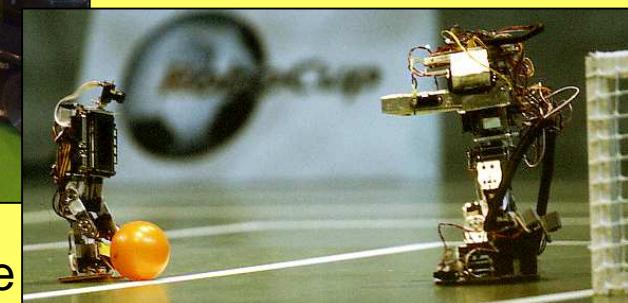
MidSize



Sony Hunde

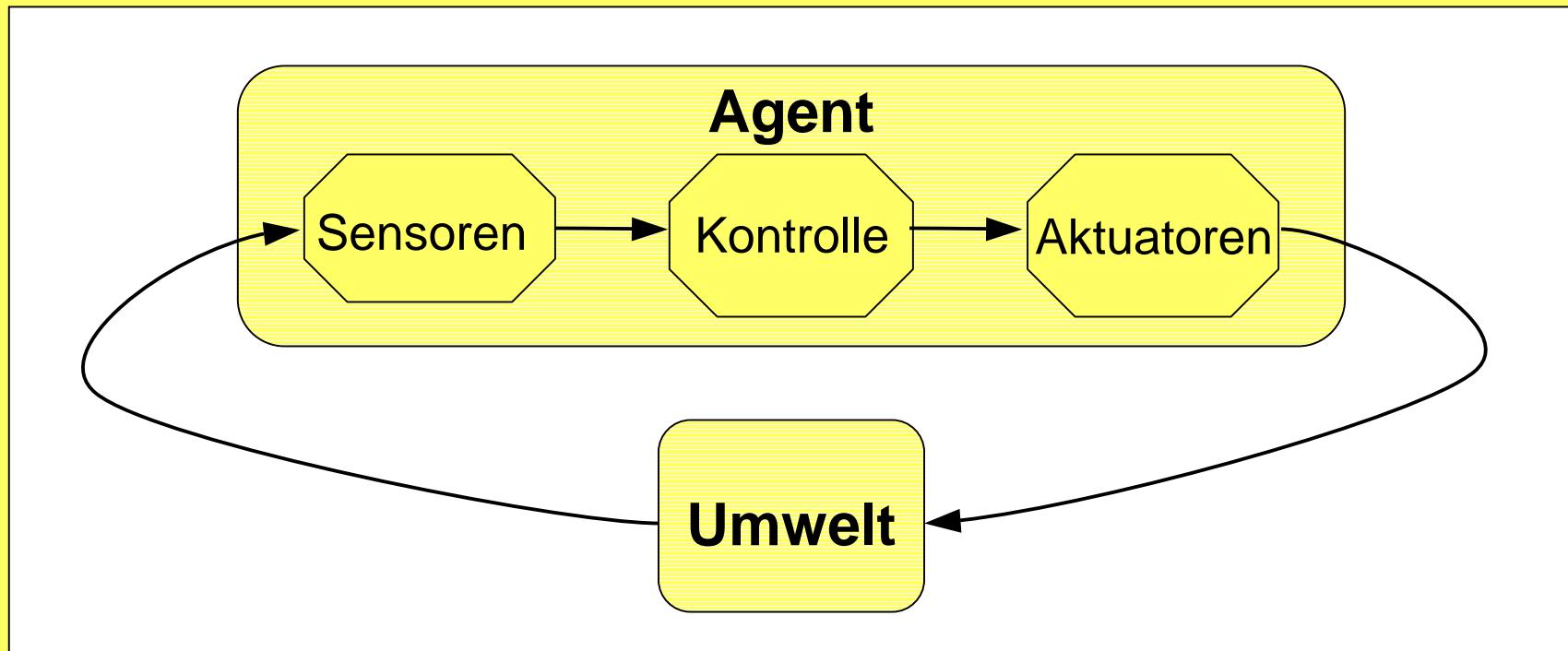


Humanoide



Problemstellung der Verhaltenssteuerung

- Gegeben: Agent, Situation
- Gesucht: Was soll ich jetzt tun?



Architekturen zur Verhaltenssteuerung

- deliberativ

- sense-plan-act

- langsam, komplex

- reaktiv

- sense-act

- schnell, primitiv

- hybrid

- deliberative und reaktive Schicht

- eventuell Zwischenschicht

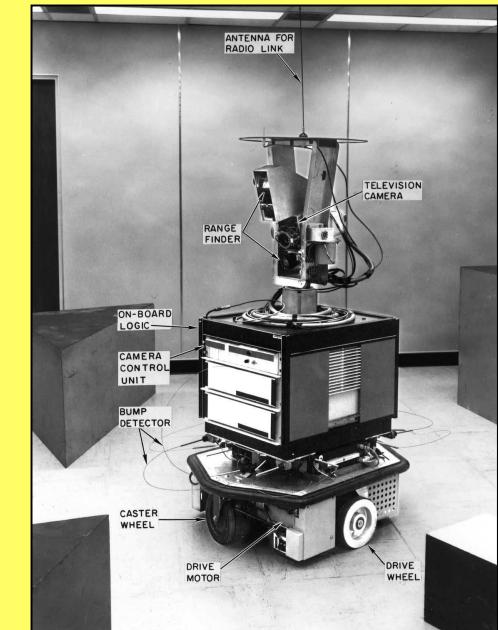
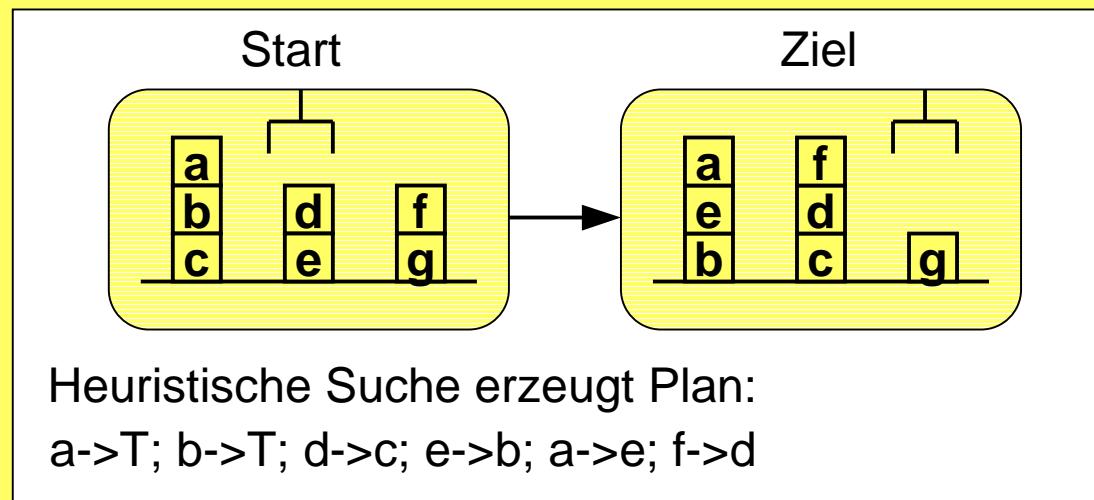
- verhaltensbasiert

- mehrere einfache Verhalten

- Interaktion erzeugt Komplexität

Deliberative Verhaltenssteuerung

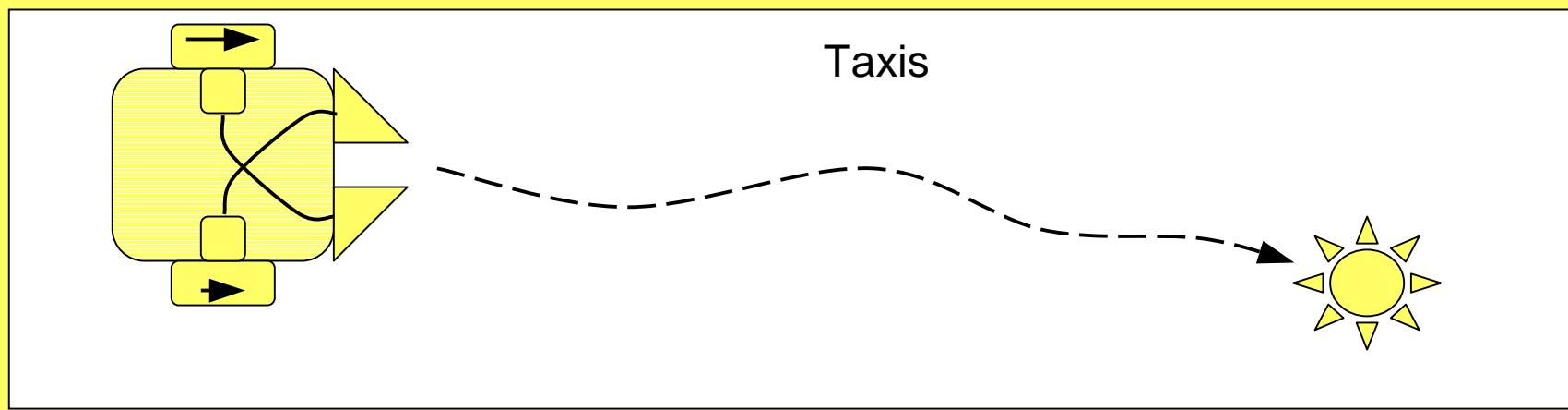
- Konstruktion eines vollständigen Weltmodells
- Ausarbeitung eines mehrstufigen Plans
- Durchführung des Plans
- Bsp.: Blocks World, Shakey



Reaktive Verhaltenssteuerung

- kein Weltmodell
- kein Plan
- direkte Kopplung von Sensoren und Aktuatoren
- Bsp.: Braitenberg Vehikel

Valentino Braitenberg 1984

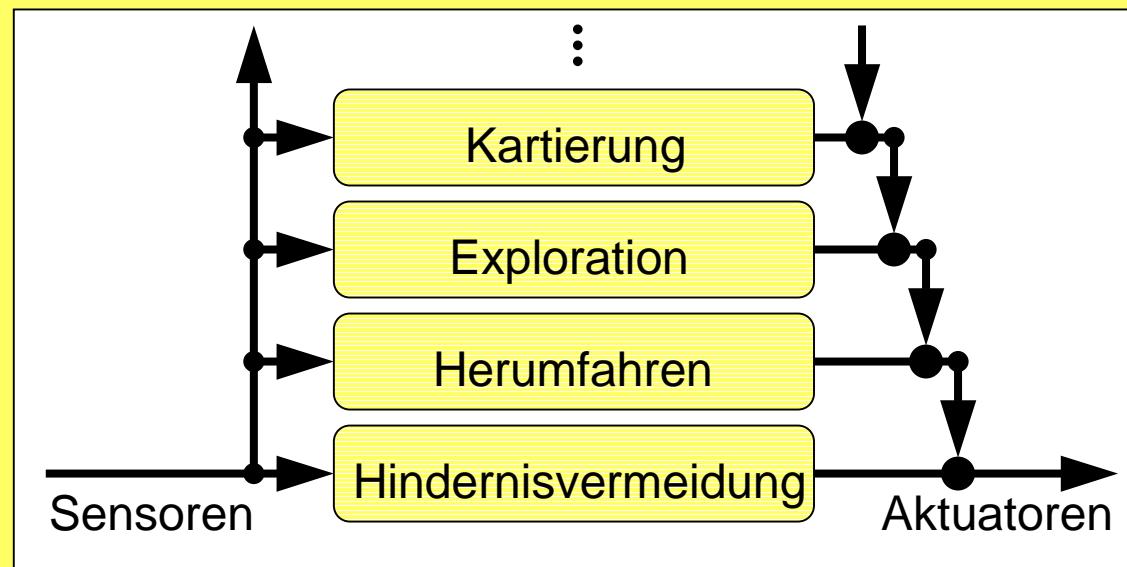


Hybride Verhaltenssteuerung

- Versuch, das Beste aus beiden Welten zu vereinen
- Bsp.: drei Schichten Erann Gat 1998: Alfred
 - reaktive Schicht (Regler)
 - zustandslos, schnell, sensorgetrieben
 - Zwischenschicht (Sequenzer)
 - Repräsentation der Vergangenheit, Abstraktion
 - Fehlererkennung, Alternativverhalten
 - deliberative Schicht (Planer)
 - Repräsentation der Zukunft, langsam, zielgetrieben

Subsumptionsarchitektur

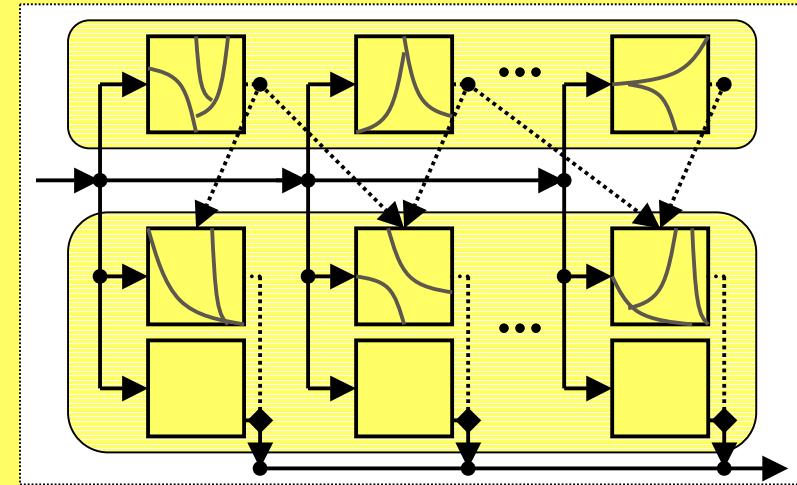
- verhaltensbasiert, DEAs, Nachrichten
- Kompetenzebenen, steigende Komplexität
- Subsumption: Eingriff in niedrigere Ebene
- inkrementelles Design



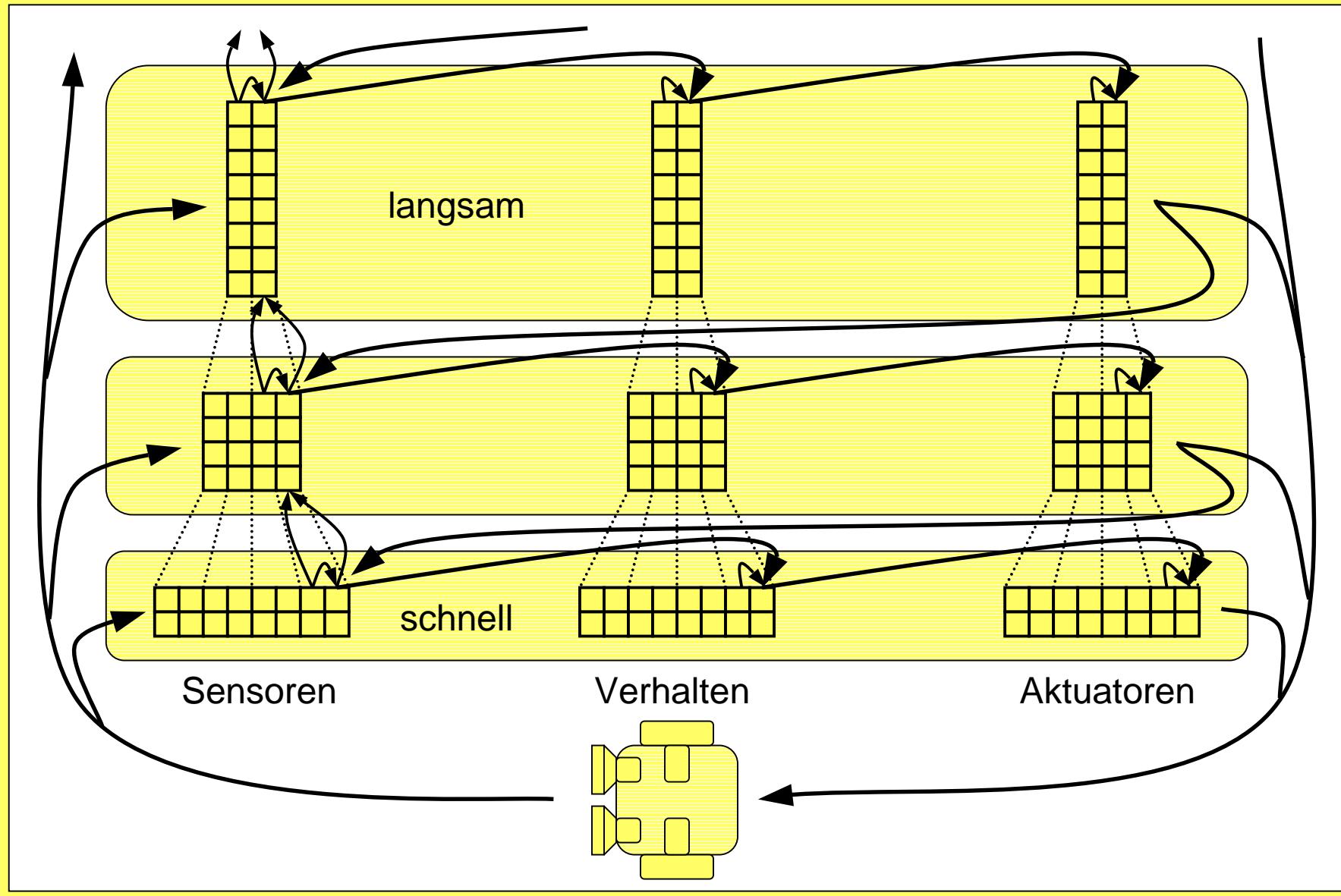
Rodney Brooks 1985

Dual Dynamics

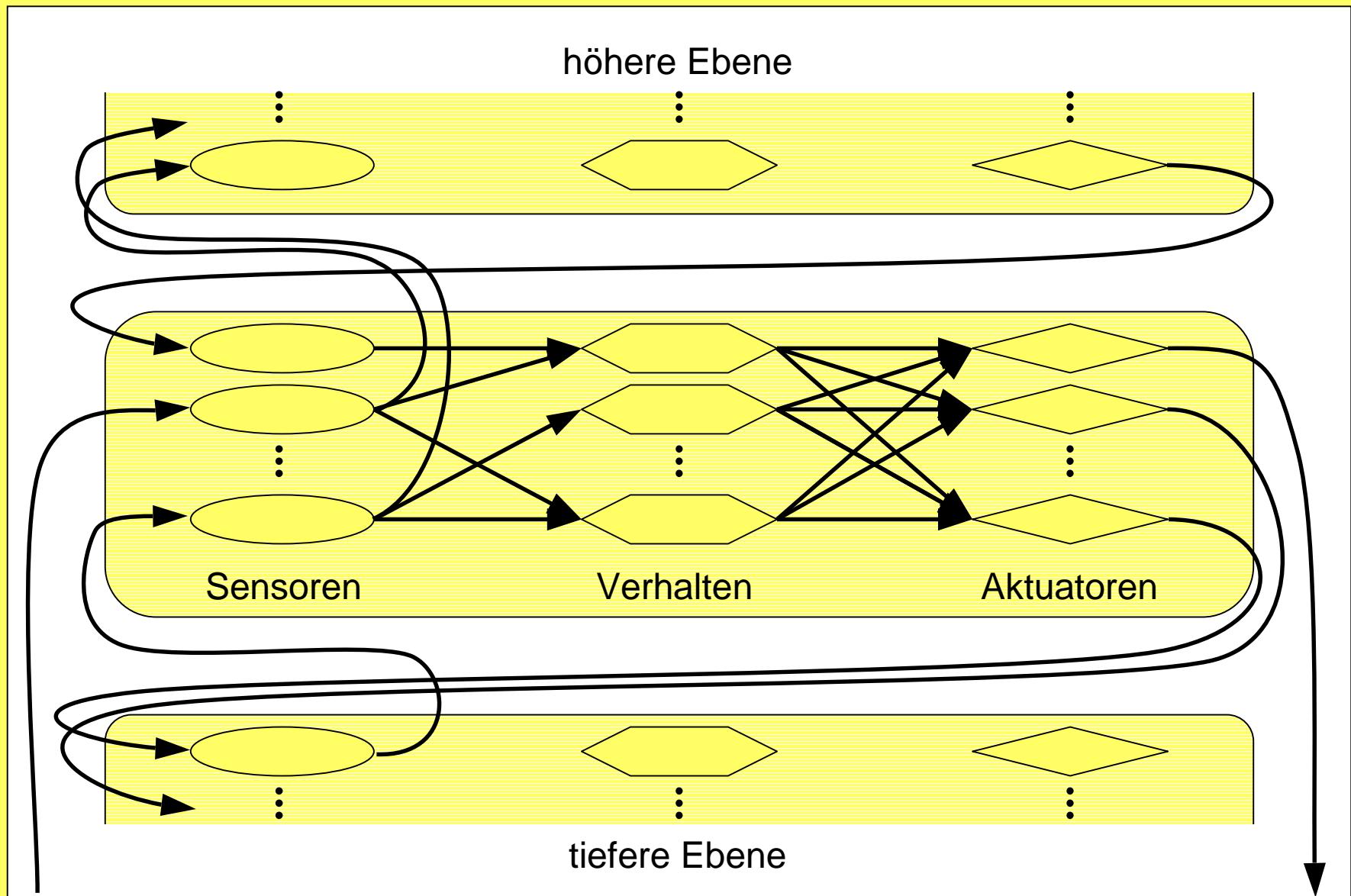
- verhaltensbasiert
- dynamische Systeme
- zwei Verhaltensarten: elementar, komplex
- elementare Verhalten haben zwei Module:
 - Aktivierungsdynamik: Soll ich jetzt etwas tun?
 - Zieldynamik: Was soll ich tun?
- keine Zieldynamik bei komplexen Verhalten
- Modi, Bifurkationen, Multifunktionalität



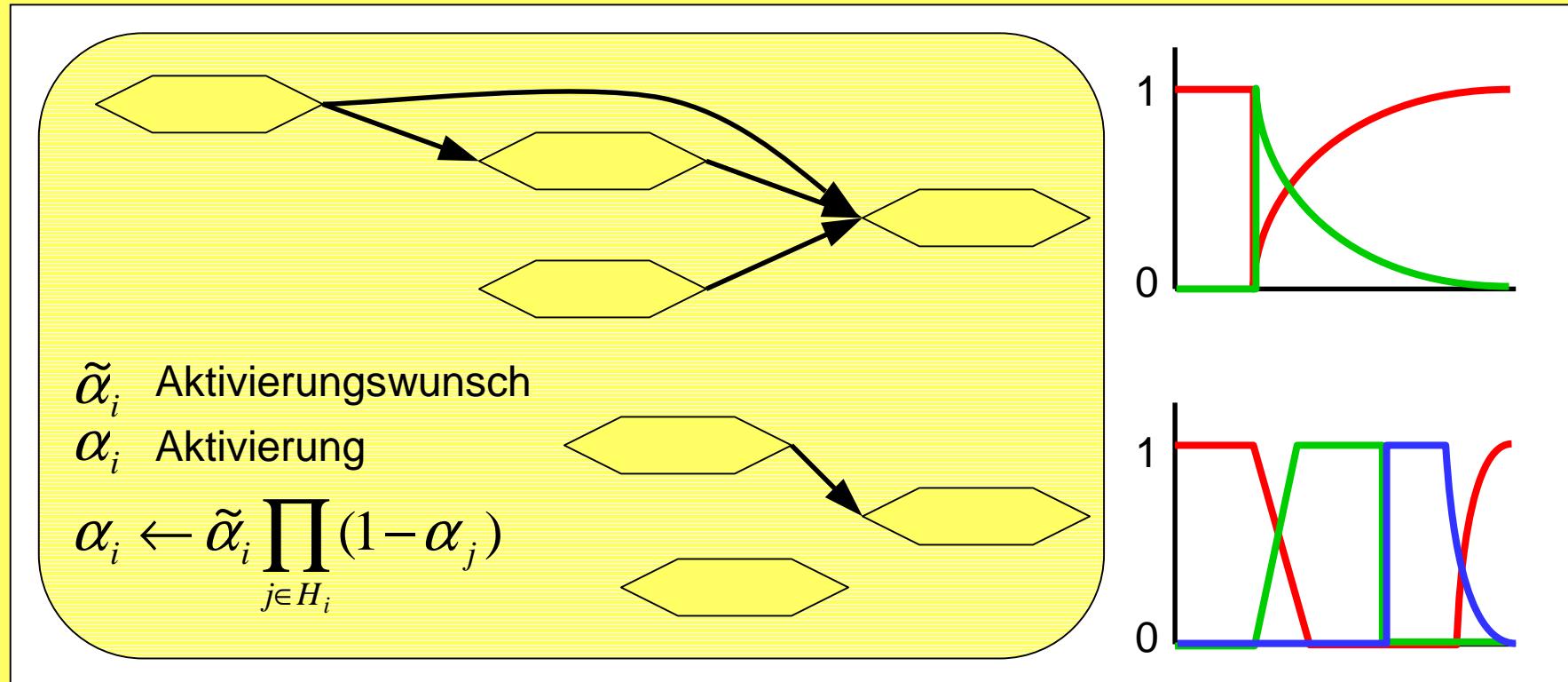
Hierarchie reaktiver Verhalten



Aufbau einer Ebene



Hemmung von Verhalten

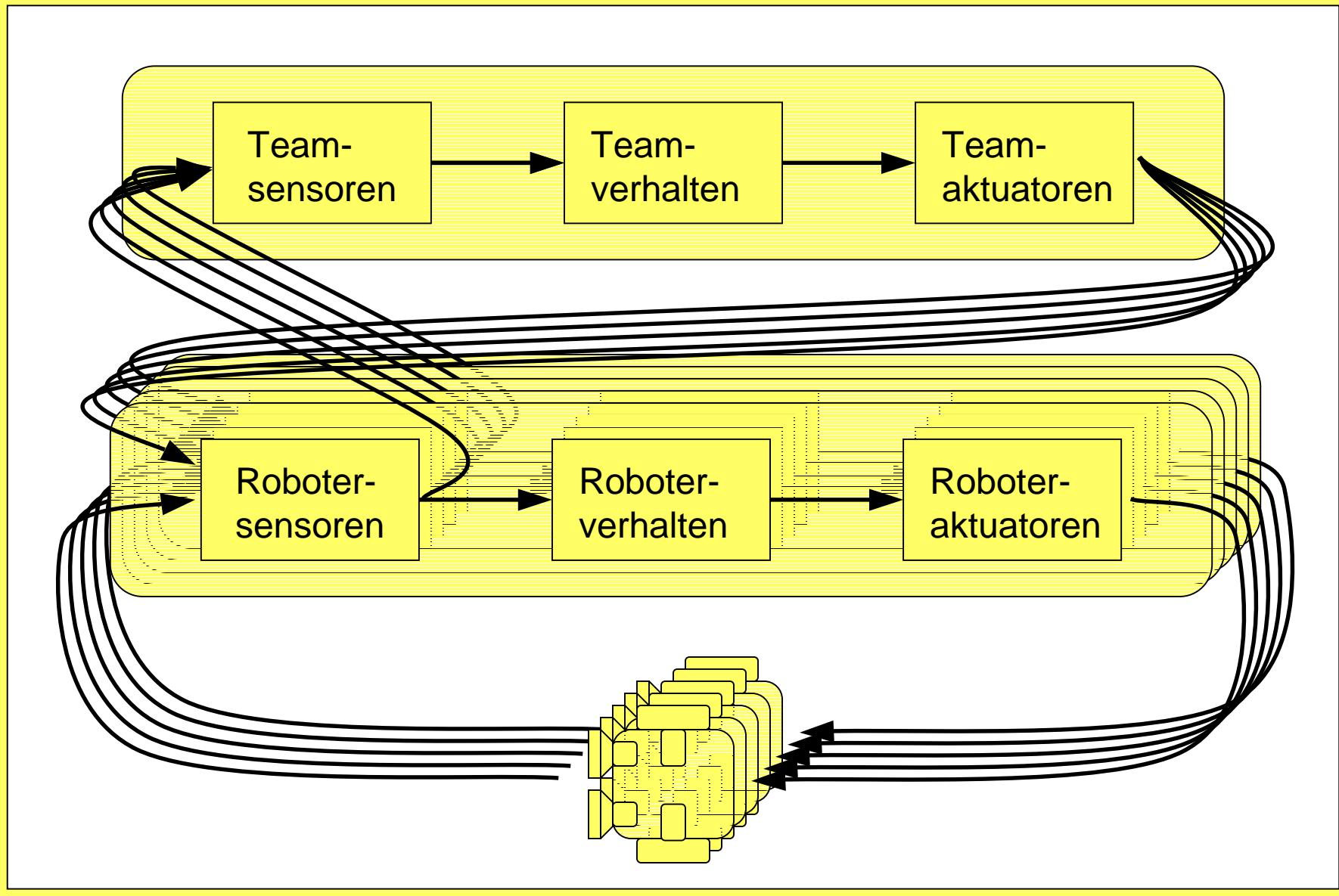


- mehrere Verhalten können gleichzeitig aktiv sein
- gerichteter azyklischer Hemmgraph
- multiplikative Hemmung
- Testverhalten hemmen alle anderen Verhalten

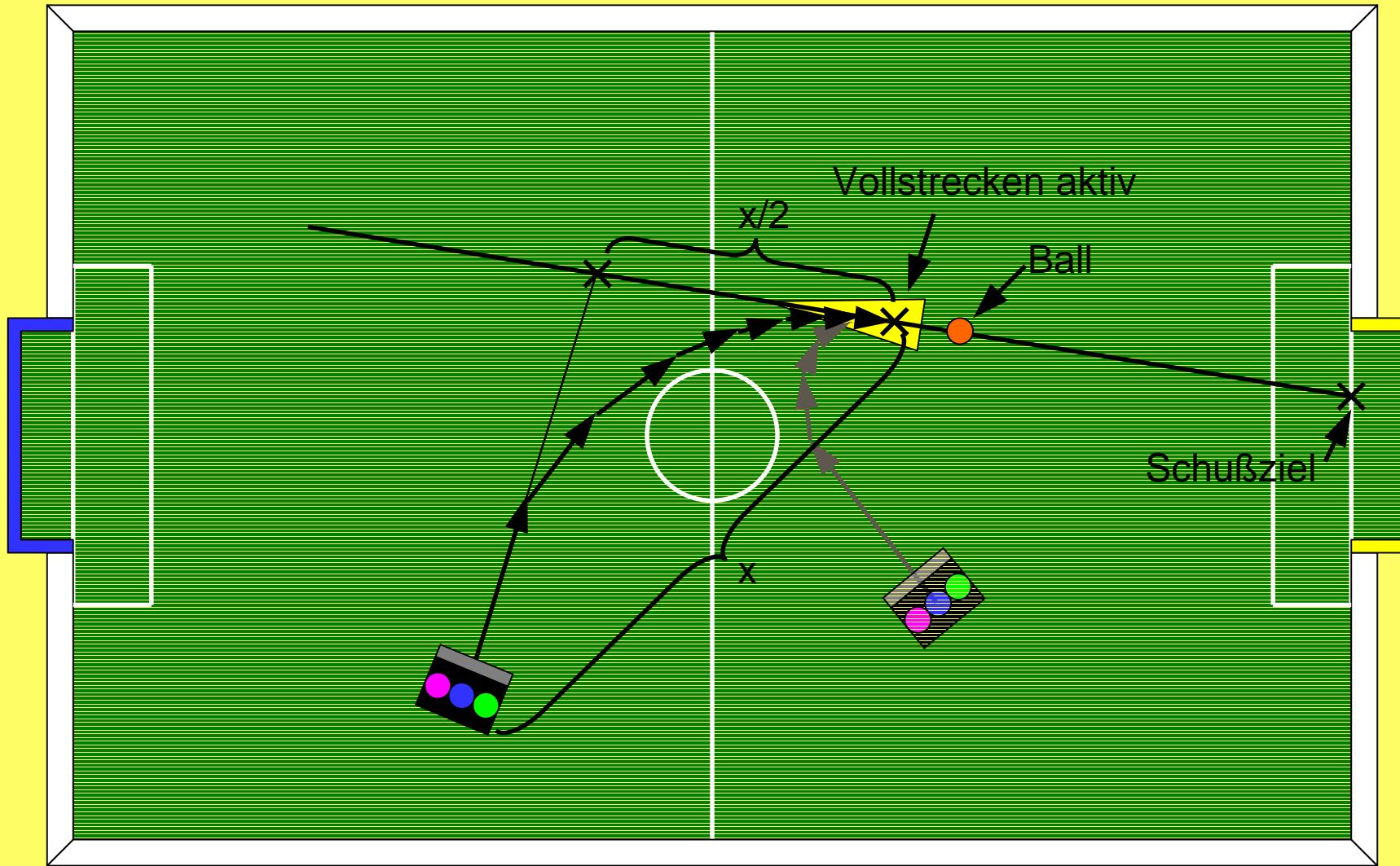
Aktuatorodynamik

- Typen
 - Float
 - Vektor
 - Boolean
 - Objekt
 - Roboter
 - Ball
 - Tor
 - Position
- Kombination
 - gewichtetes Mittel
$$\Delta_i \leftarrow \sum_j \alpha_j (w_j - a_i), \quad \Xi_i \leftarrow \sum_j \alpha_j,$$
$$a_i \leftarrow a_i + \begin{cases} \Delta_i / \Xi_i & : \Xi_i > 1 \\ \Delta_i & : \text{else} \end{cases}$$
 - gewichtete Mehrheit
 - Verhalten stimmen mit Aktivierung für einen Wert
 - Wert mit den meisten Stimmen gewinnt

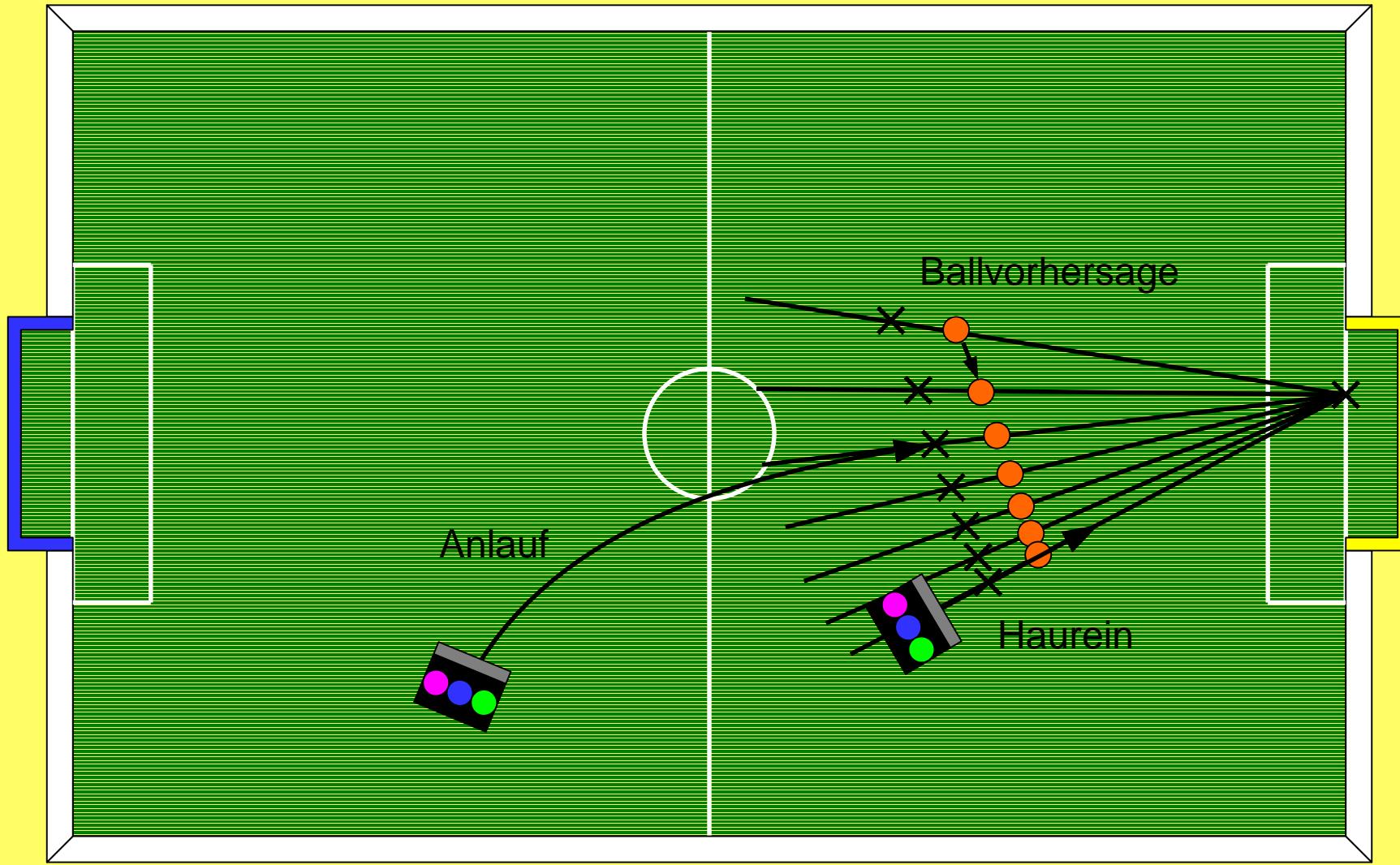
Team-Ebenen



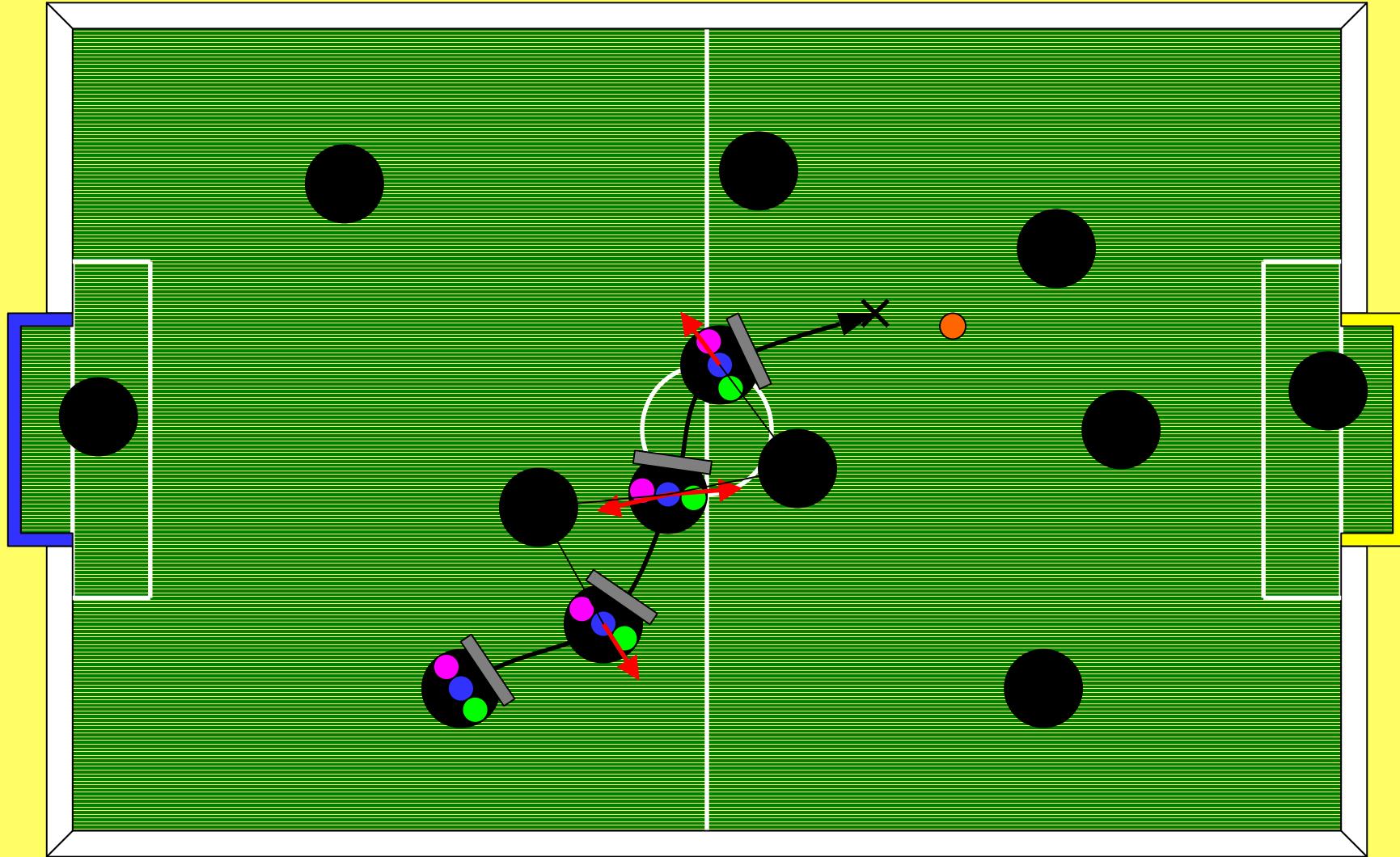
Anlauf



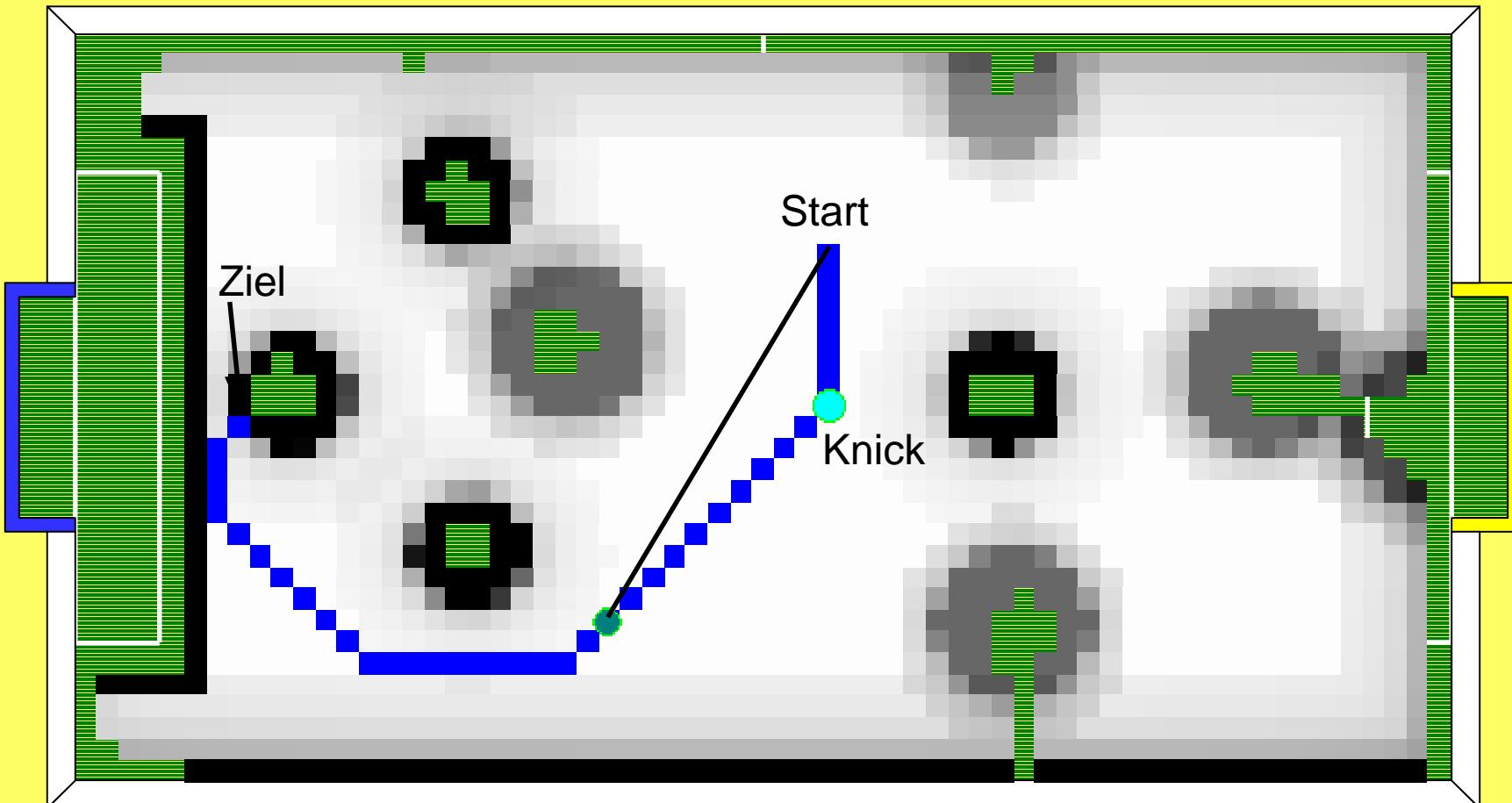
Ball abfangen



Panikausweichen



Pfadplanung



- Dynamische Programmierung
- Best-First-Suche

Vorhersagen

- Problem: Regelverzögerung 100..150ms
- exakt und langsam oder schnell und ungenau
- Ansatz:
 - Vorhersage des Bewegungszustands
 - für die Zeit der Regelverzögerung
 - Verhaltenssteuerung, als ob keine Verzögerung
 - Eingabe:
 - letzte Bewegungsinformationen
 - letzte Aktuatorwerte
 - Neuronales Netz, trainiert mit Daten des Monitors
- Ergebnis: schnell und genau

Feldspielerverhalten

TeamEbene 0:

Angriff, Abwehr, Aufstellen, Elfmeter, Freistoß, ...

Ebene 2:

BallBewegen, Decken, Gruppenfahren, Positionieren, ...

Ebene 1:

Anlauf, Dribbeln, Vollstrecken, Haurein, Hauweg,
Passen, Pfadplanen, Positionieren, ...

Ebene 0:

Steuern, PanikAusweichen, TorwartFlucht, ...

Ebene -1:

Bewegungsregelung

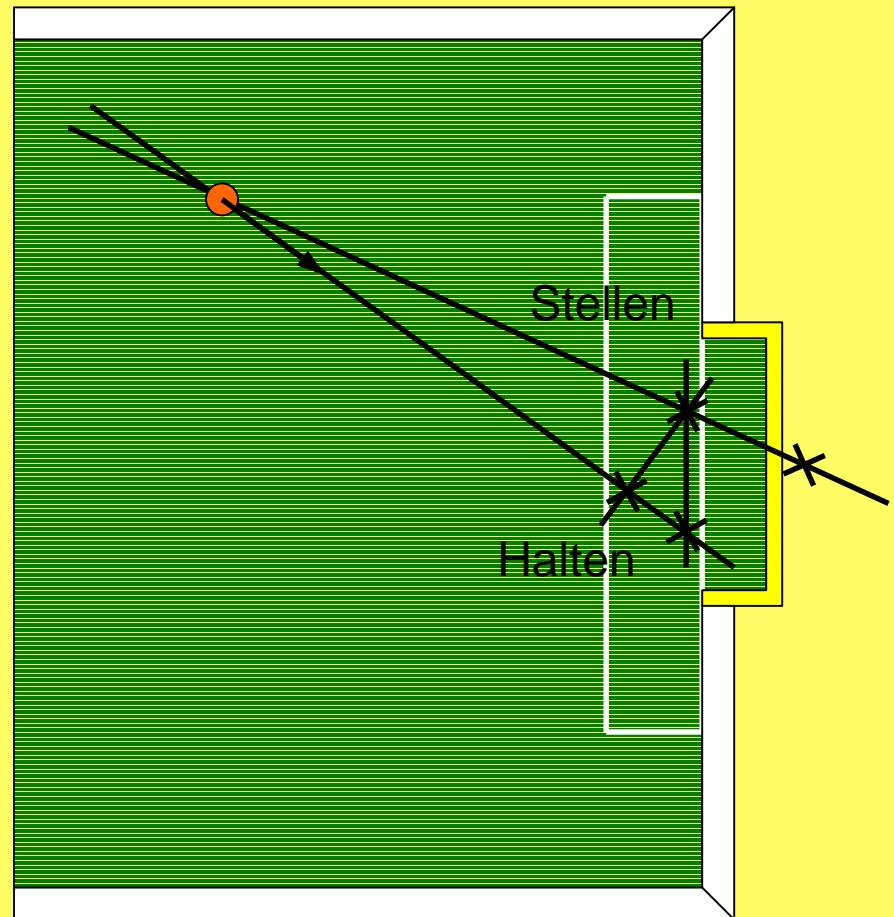
Torwartverhalten

Ebene 0:

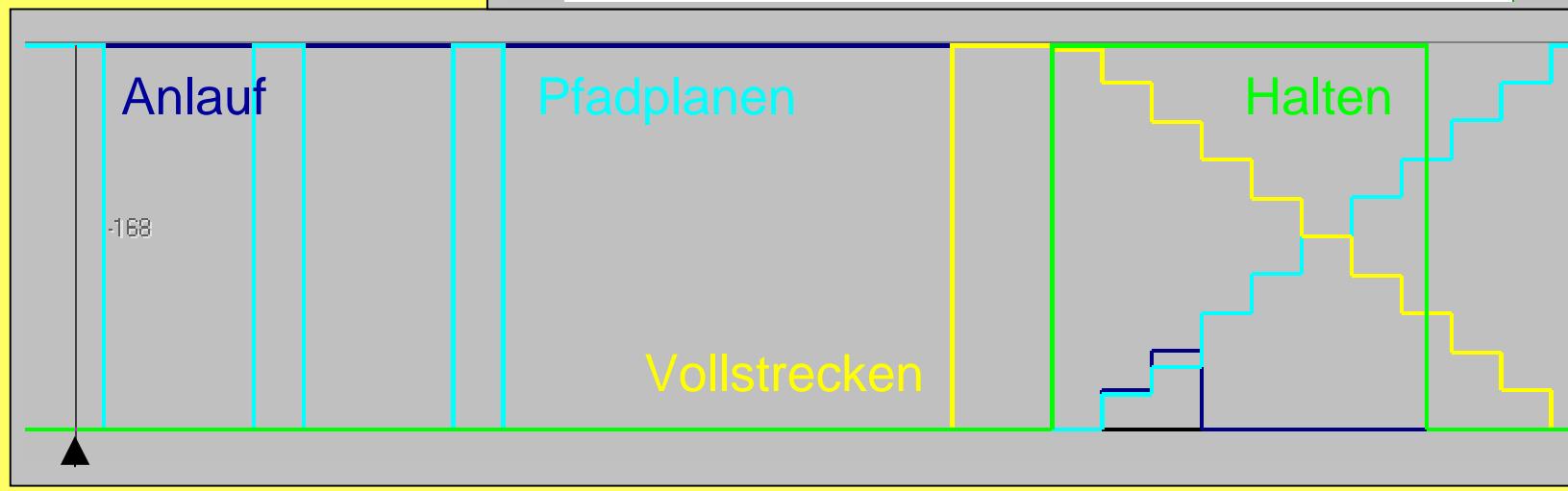
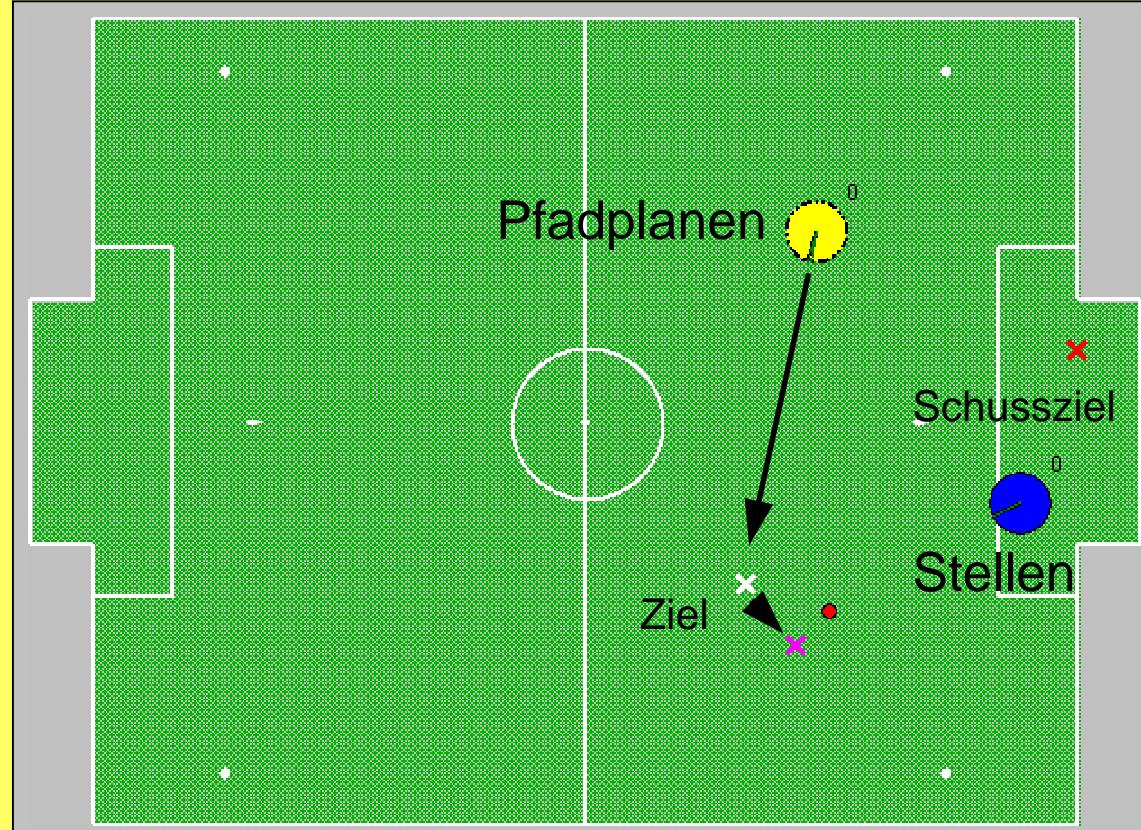
Stellen, Halten,
Hauweg, Elfmeter, ...

Ebene -1:

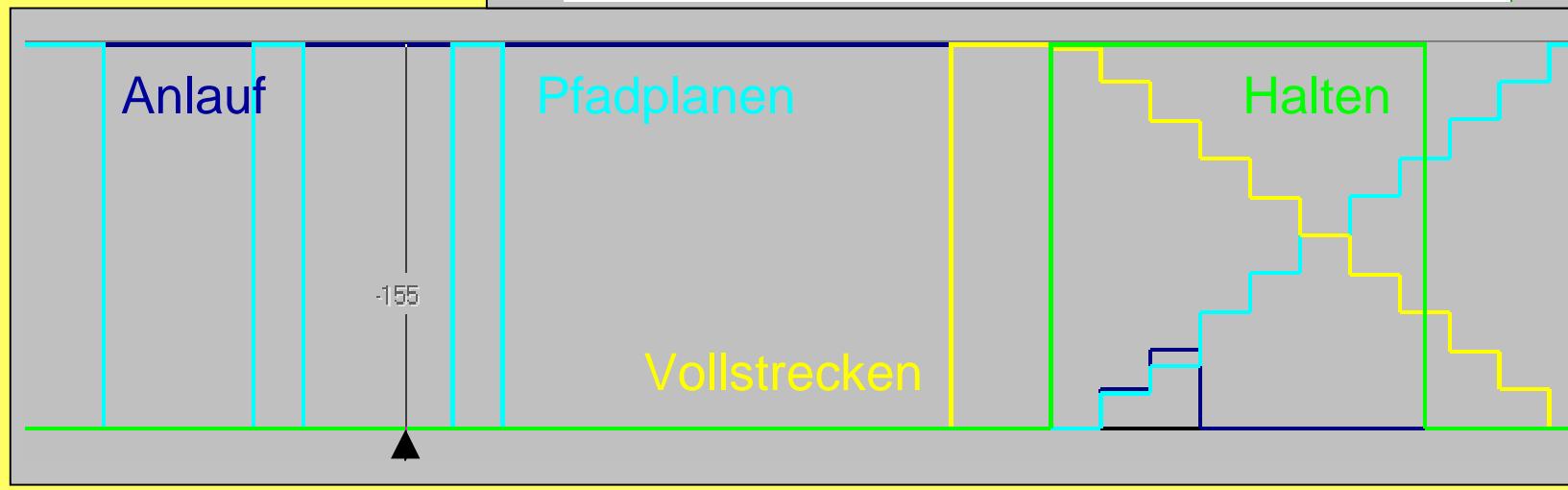
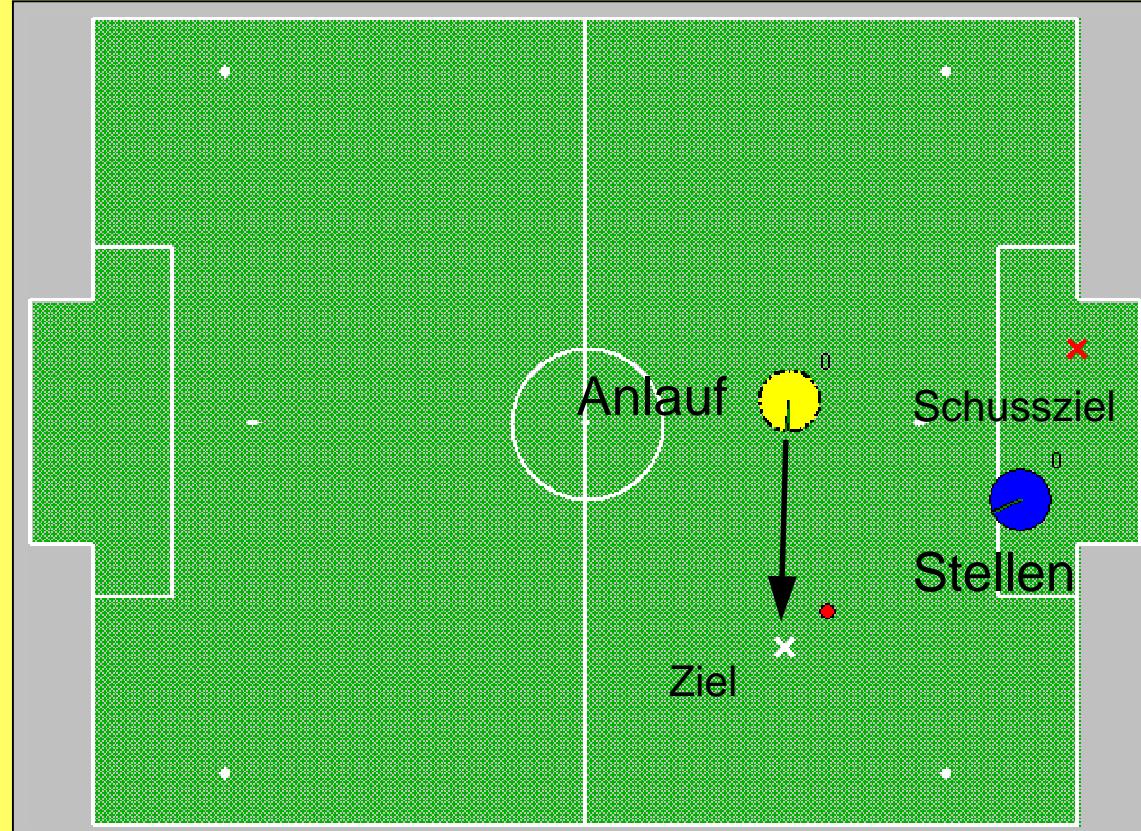
Bewegungsregelung



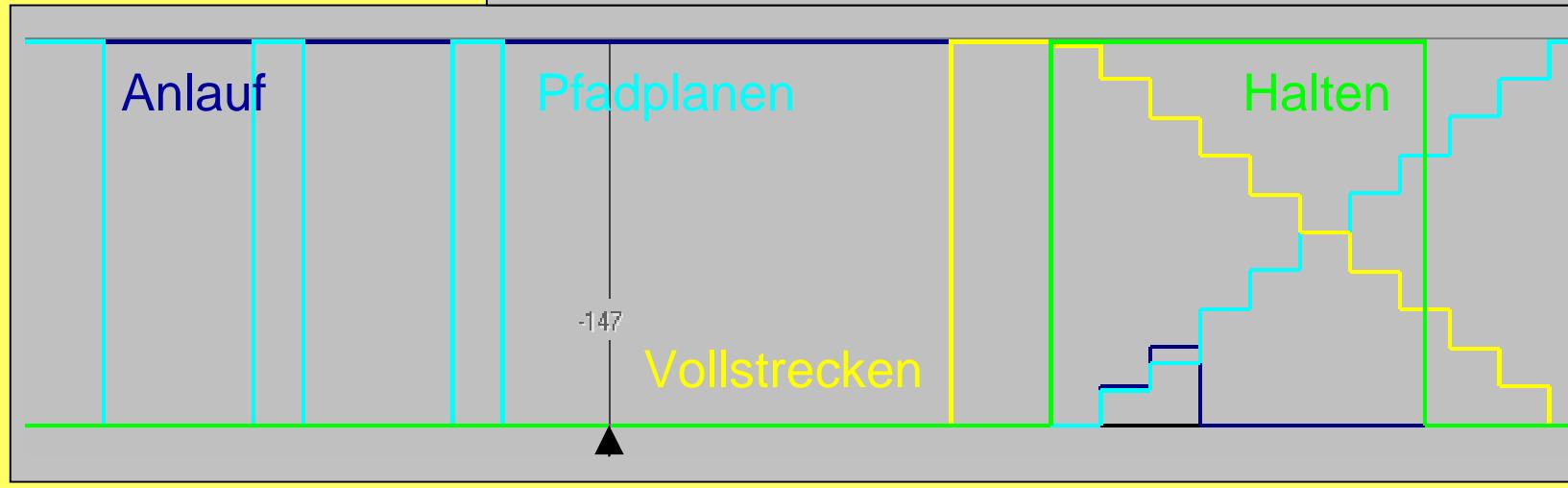
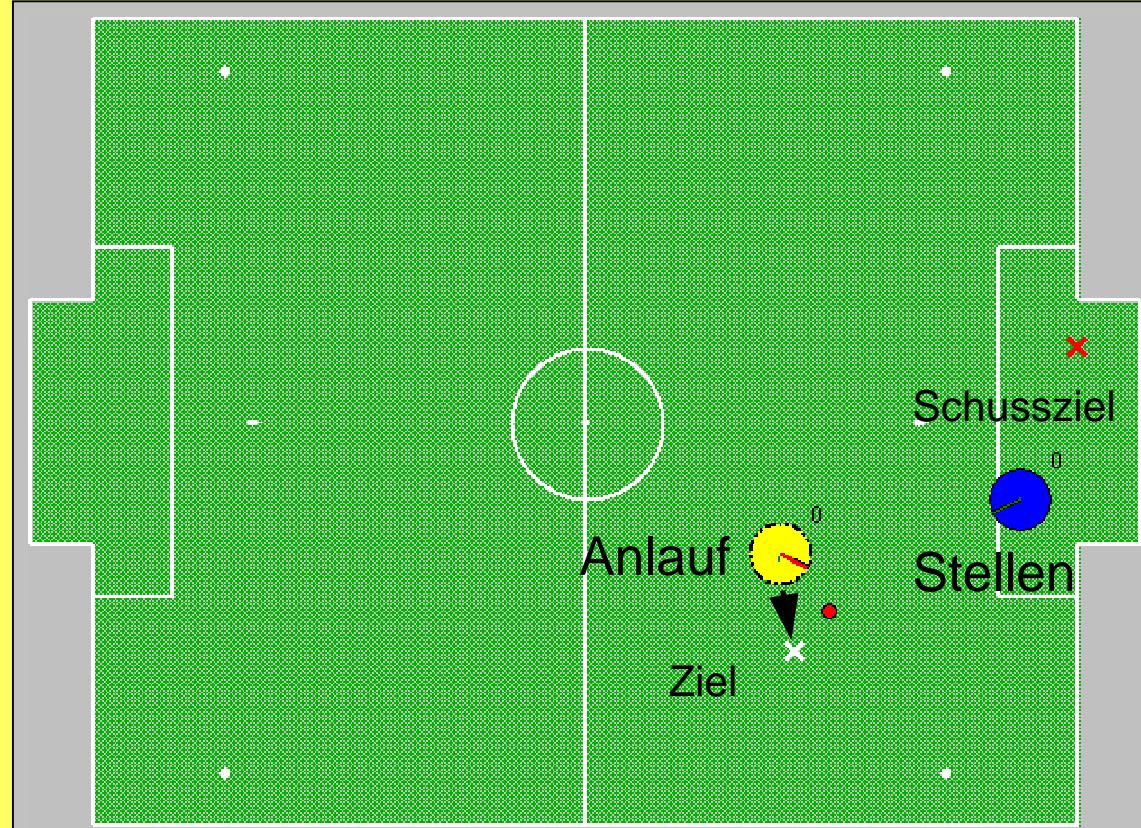
Schuss



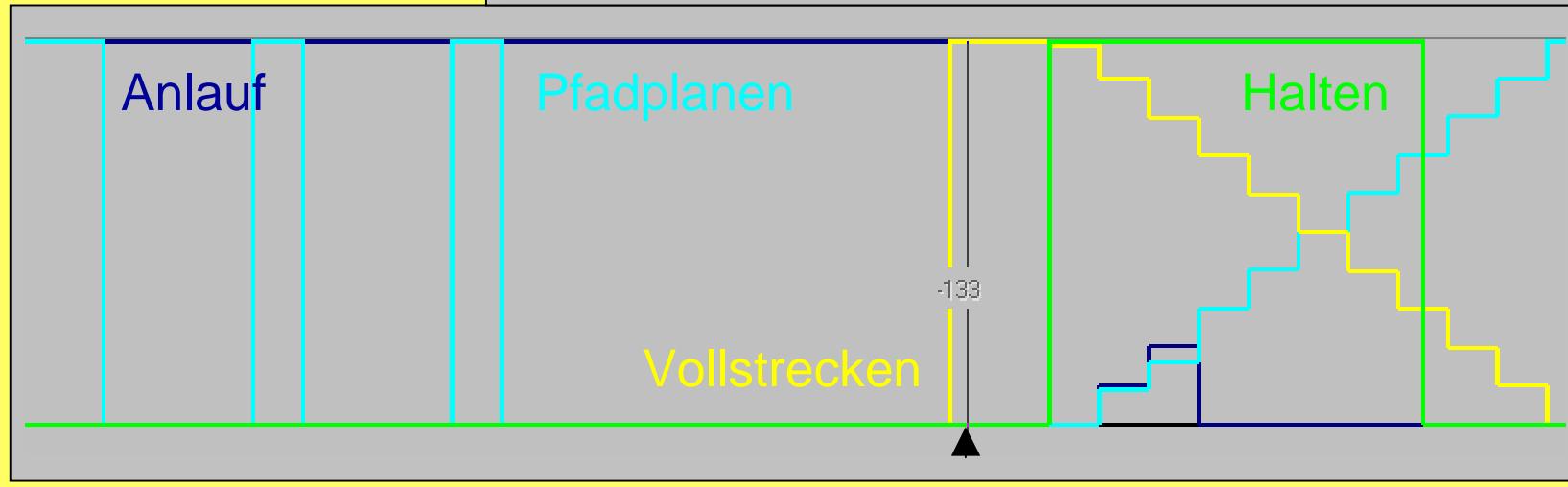
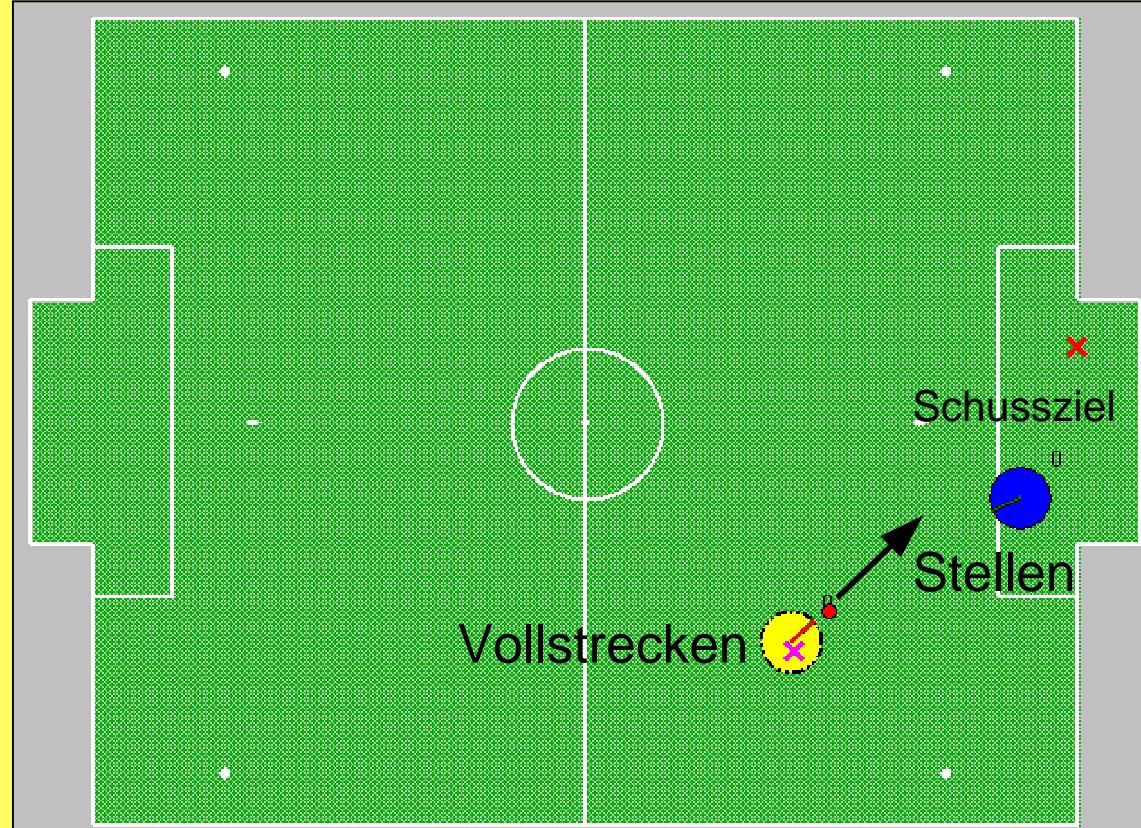
Schuss



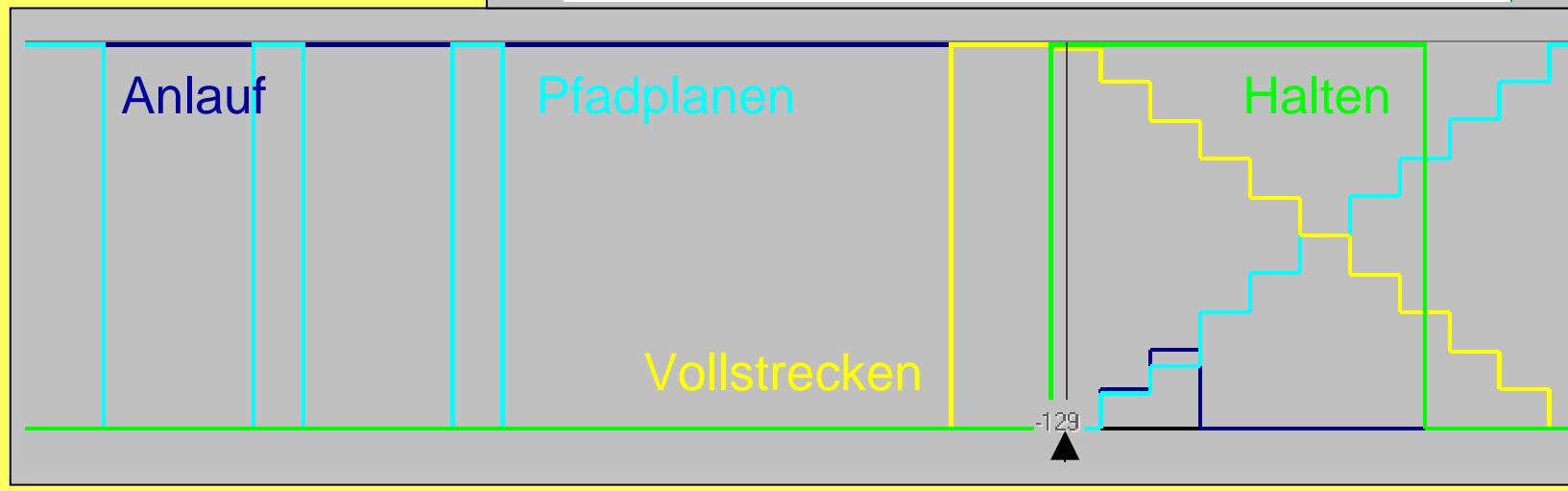
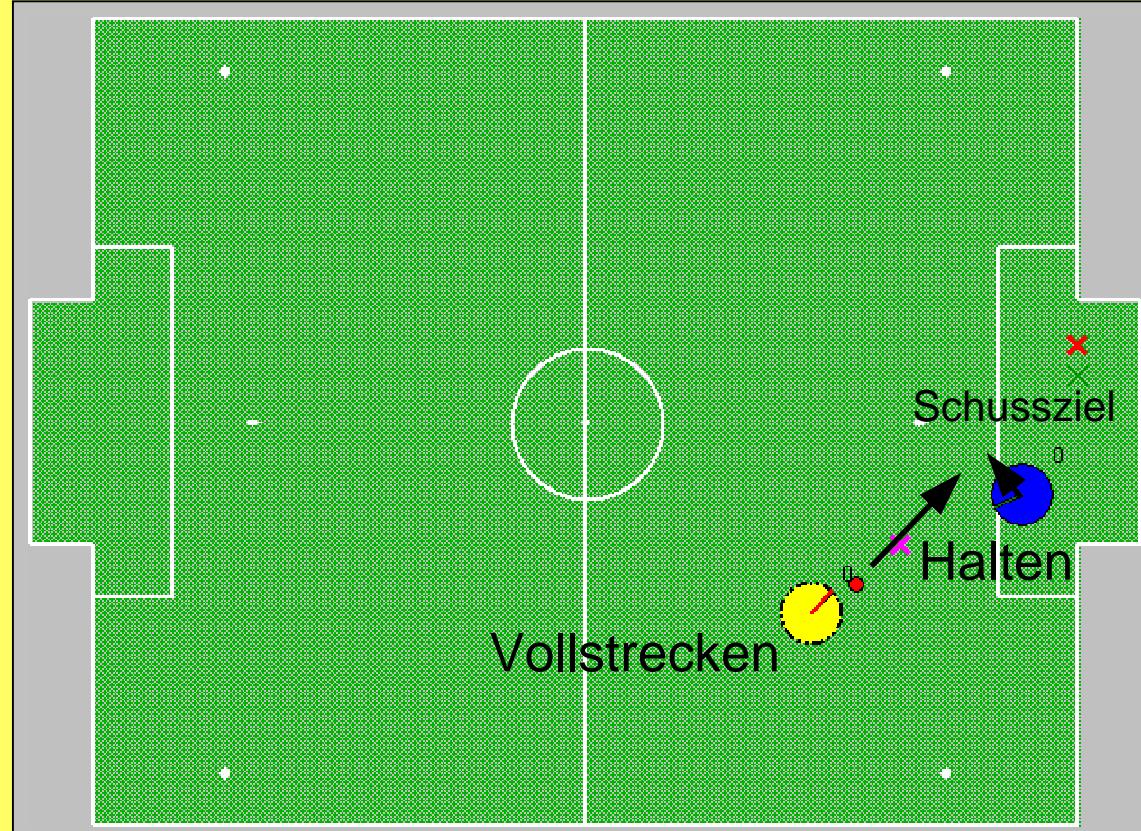
Schuss



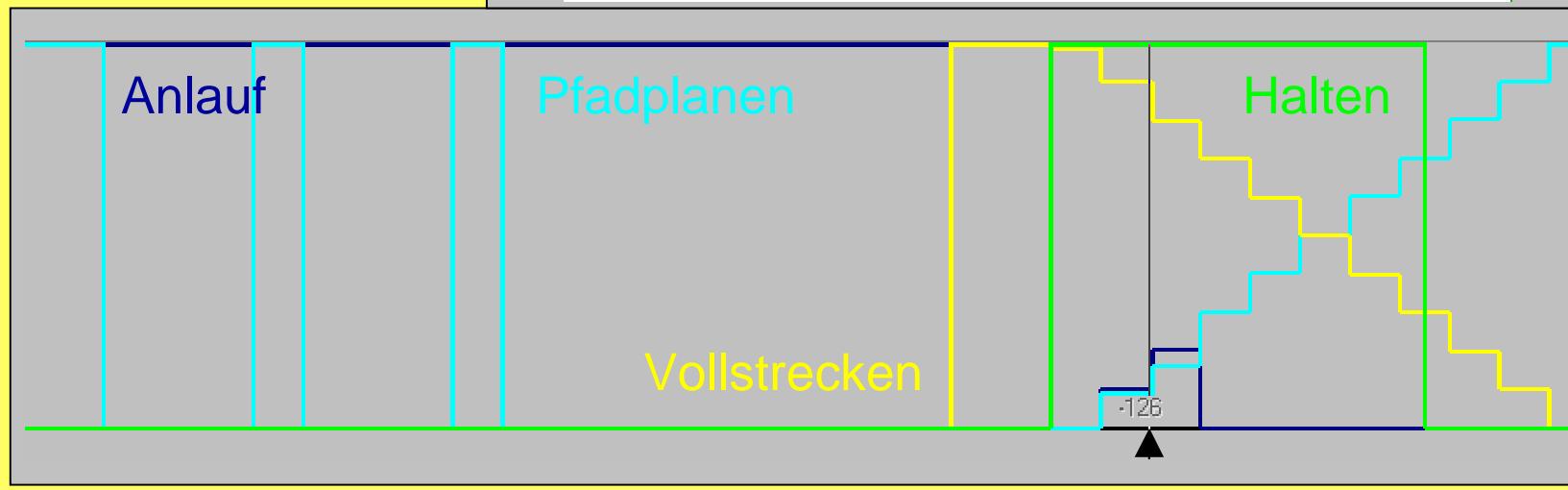
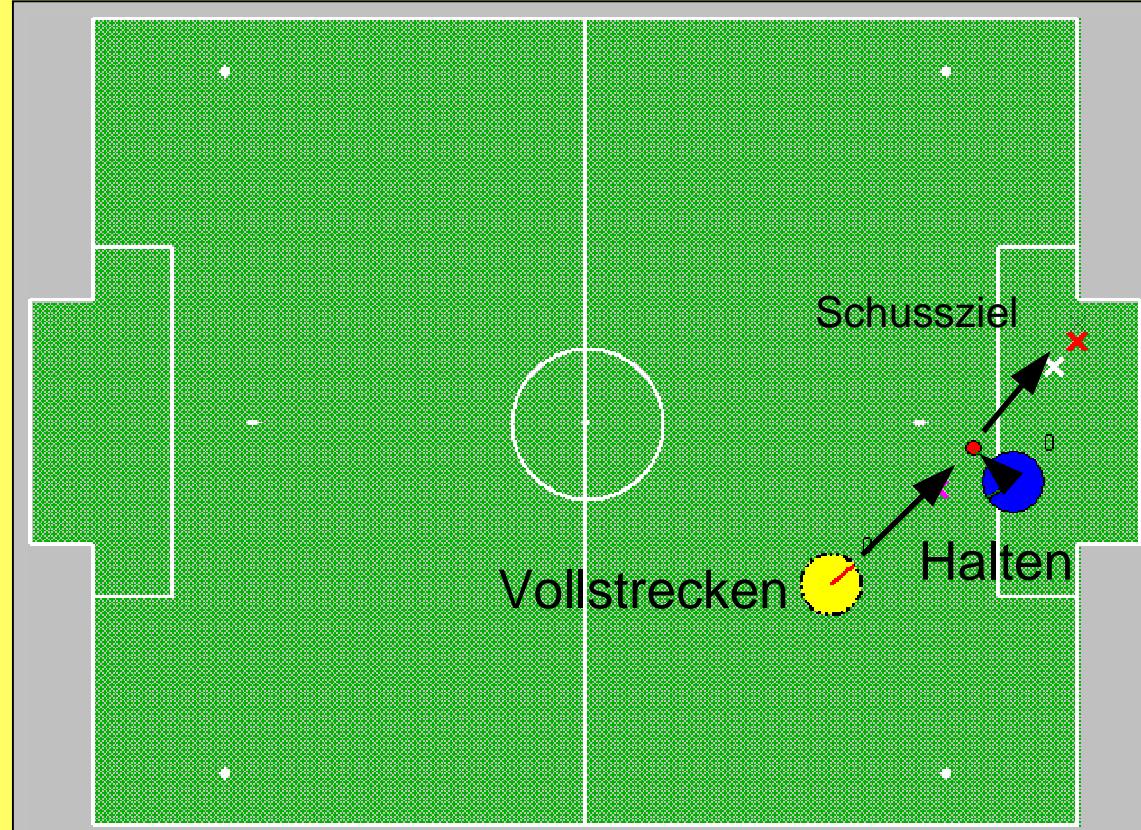
Schuss



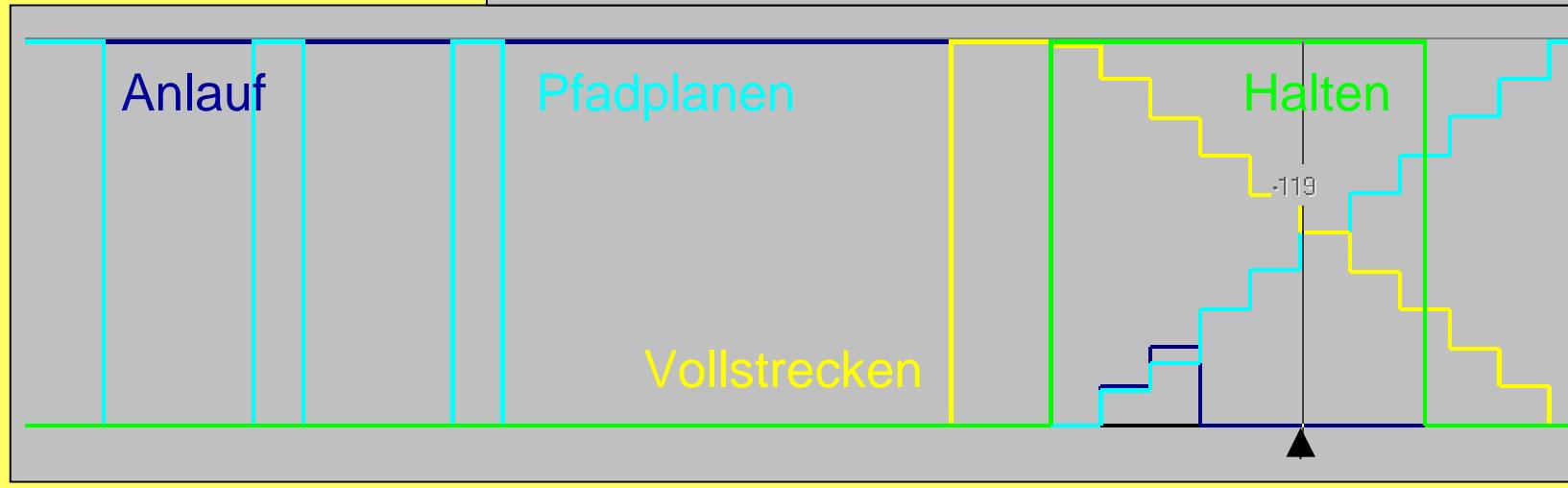
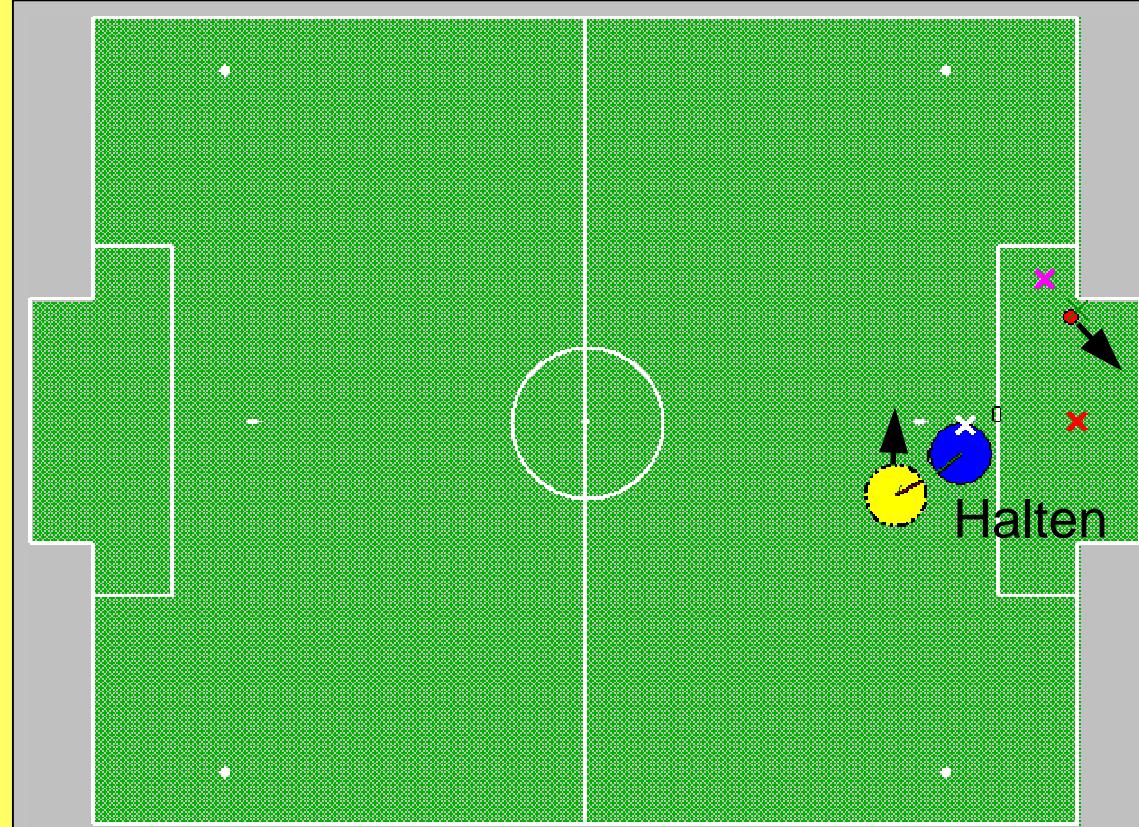
Schuss



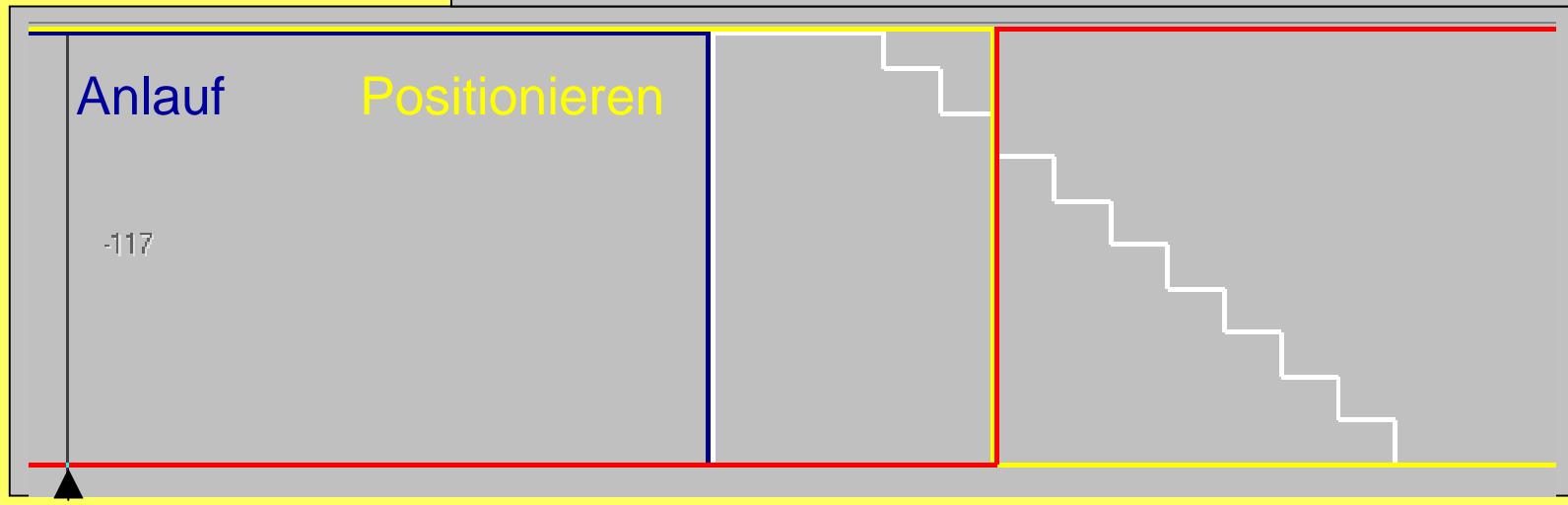
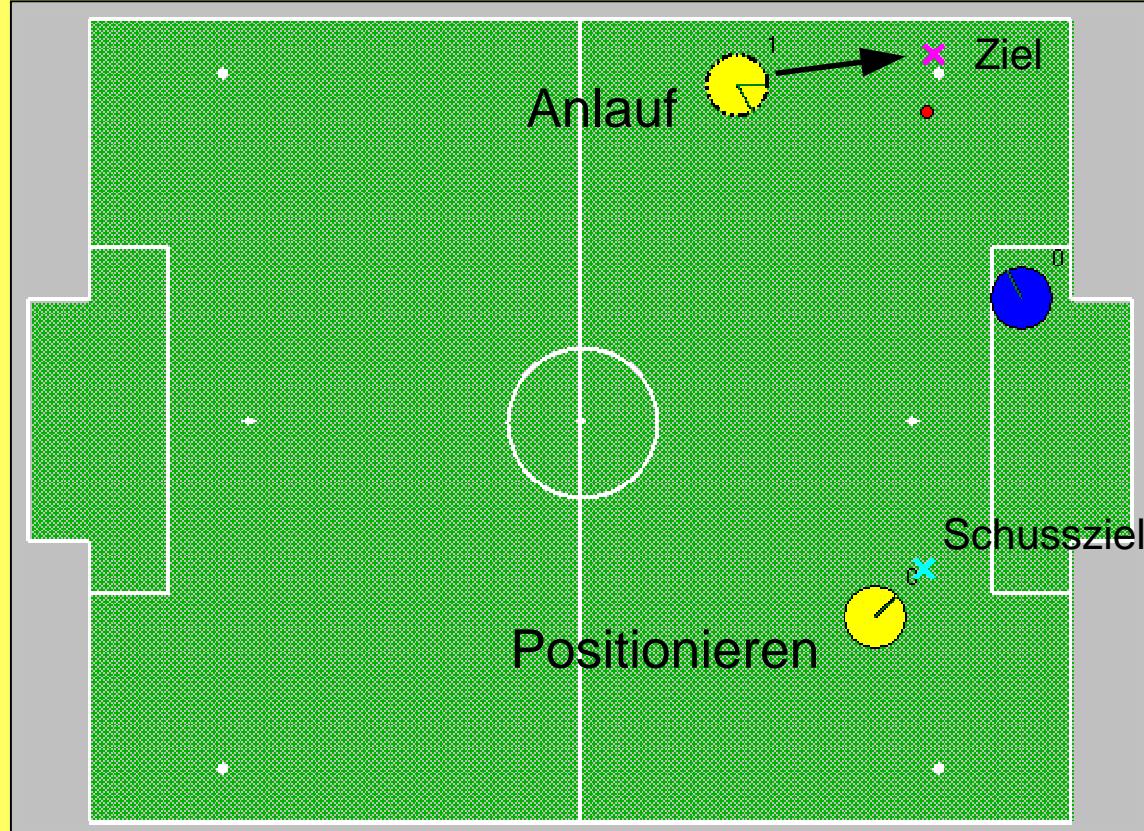
Schuss



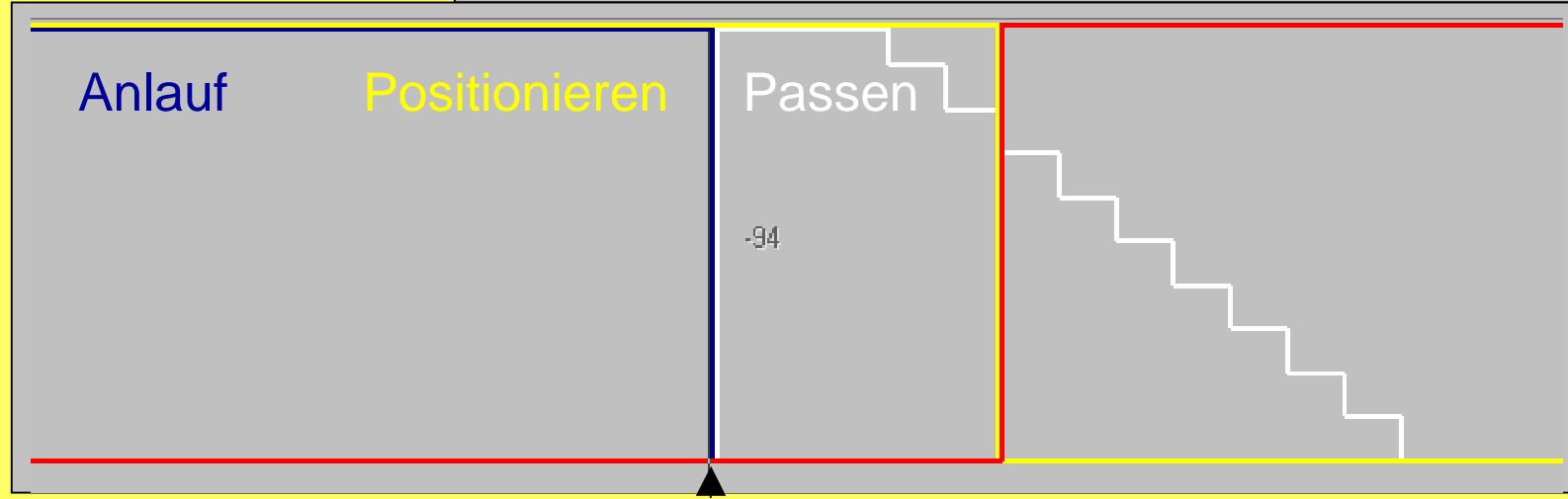
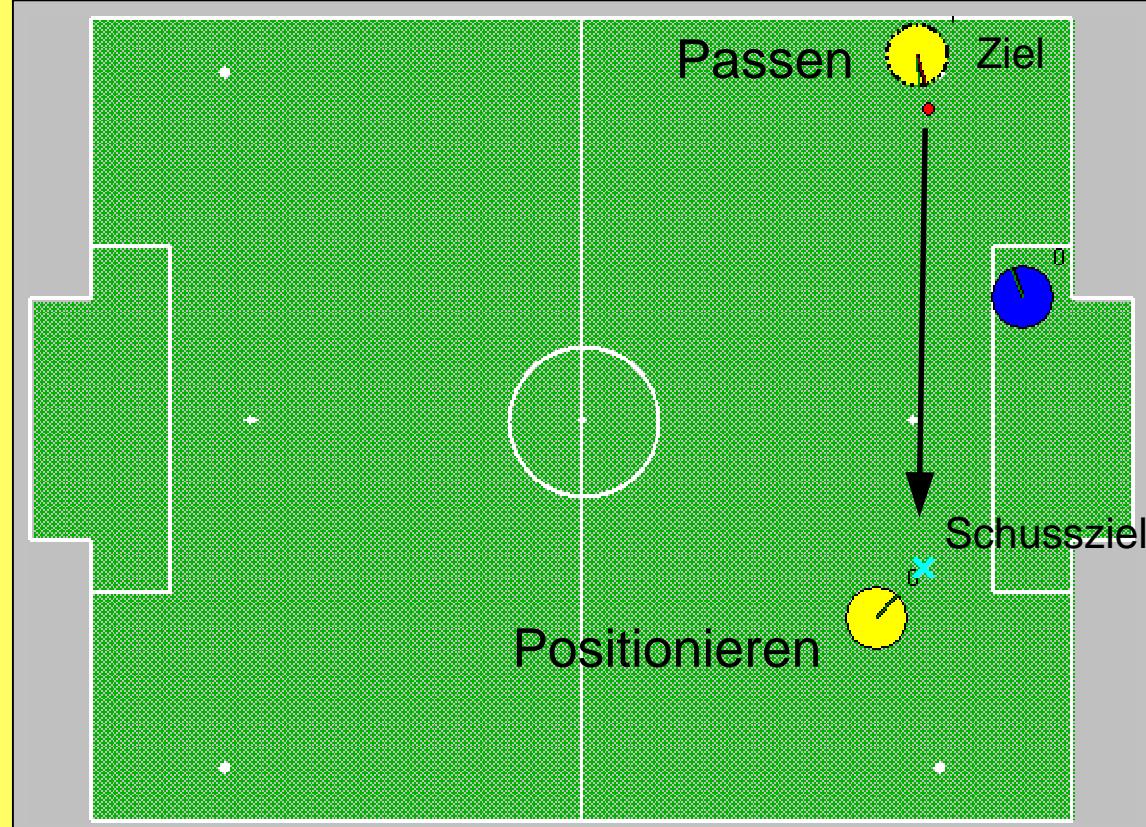
Schuss



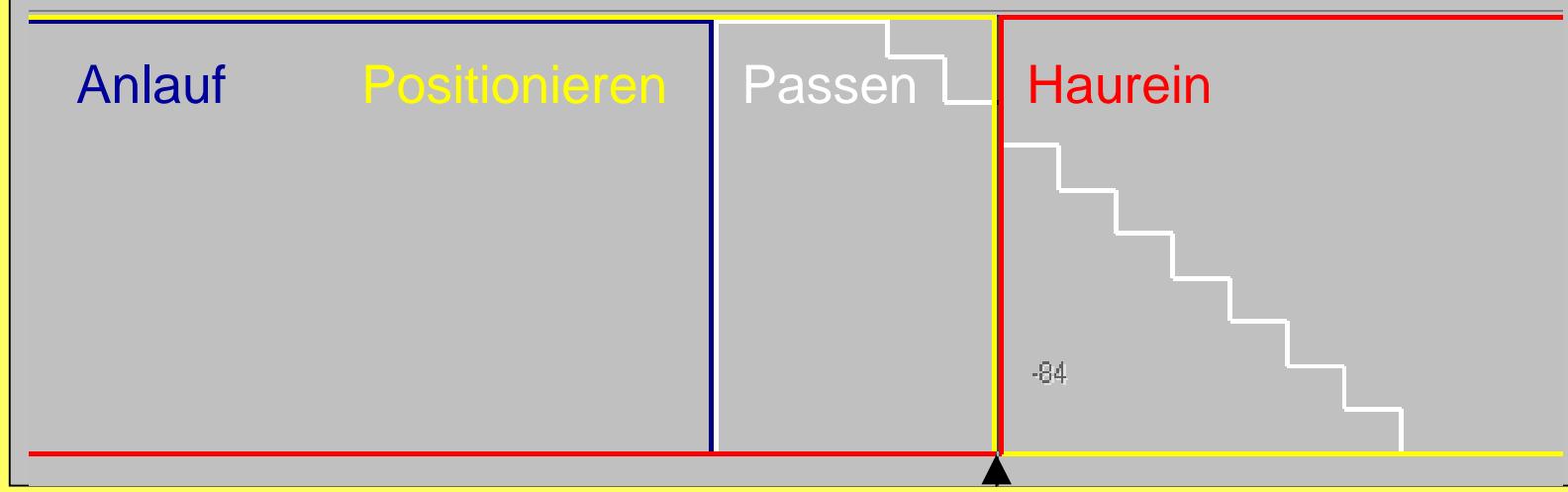
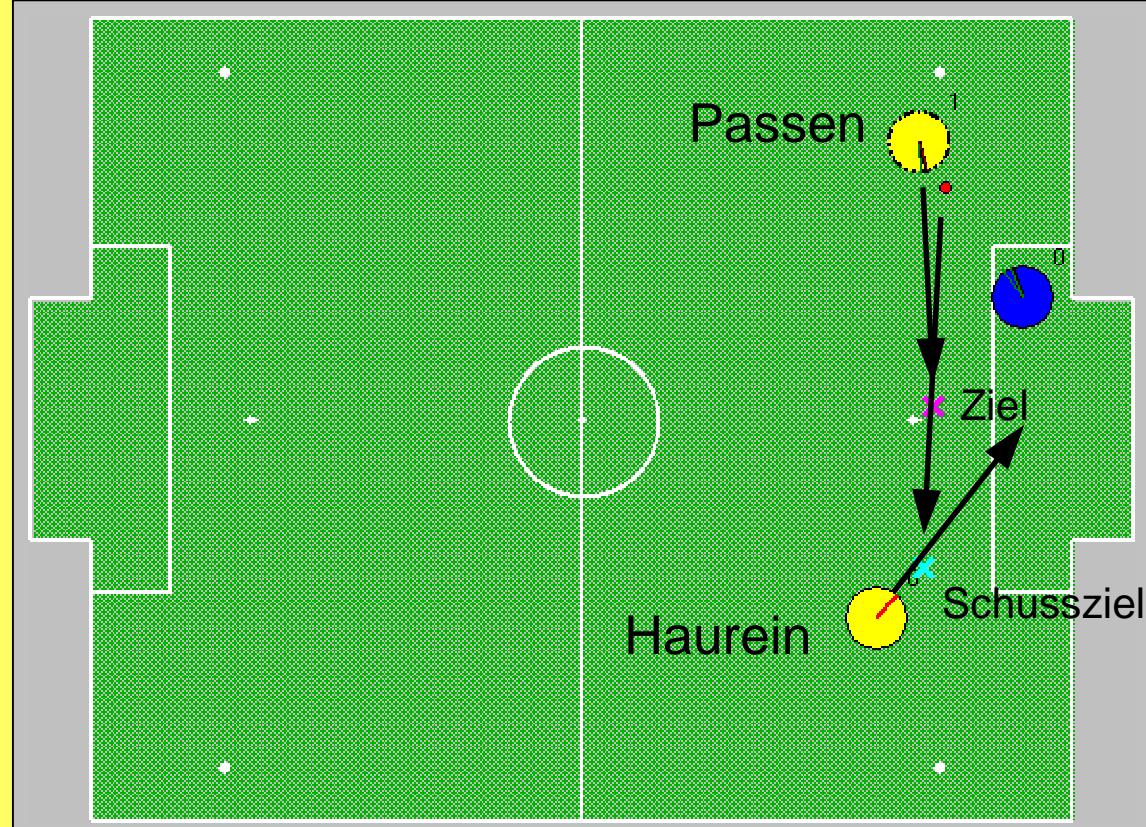
Passen



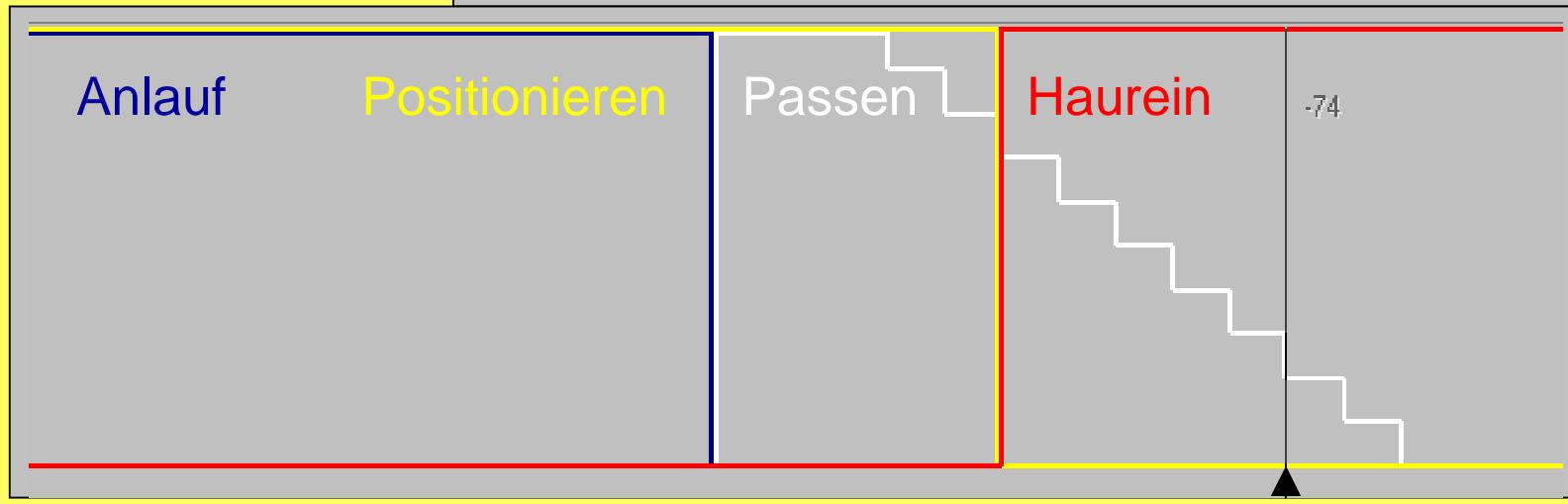
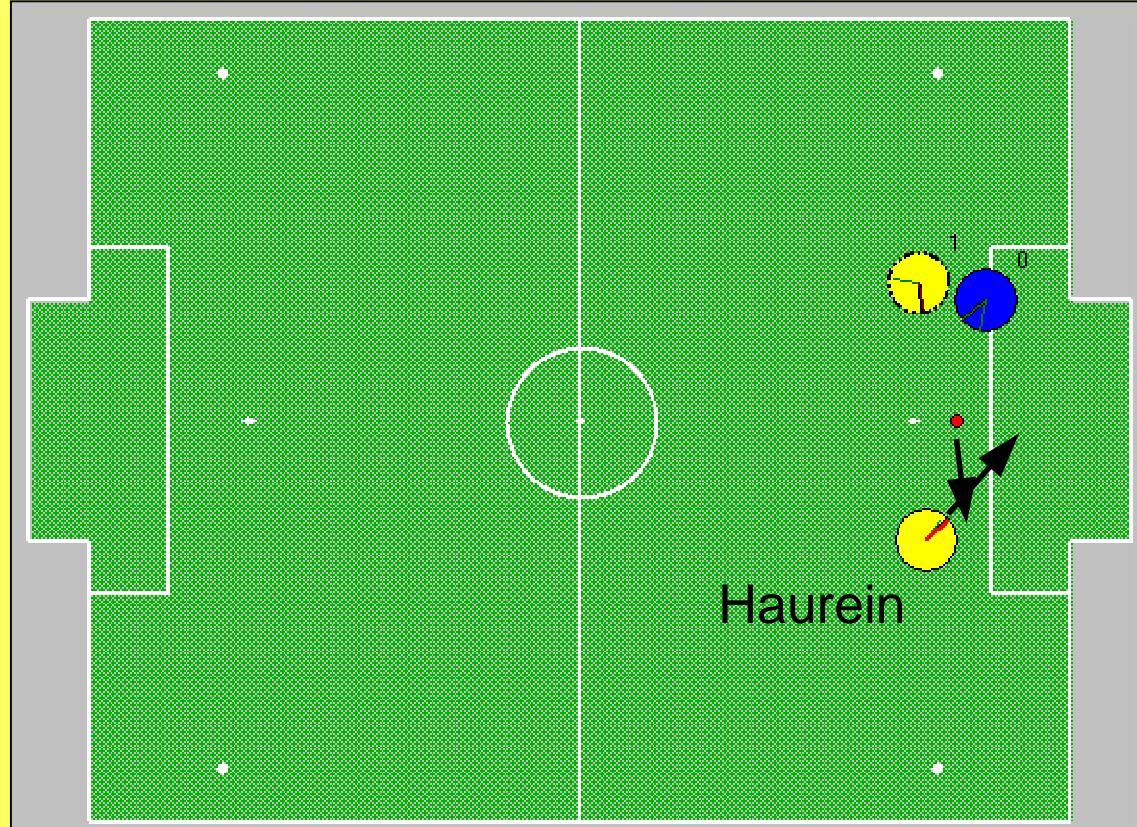
Passen



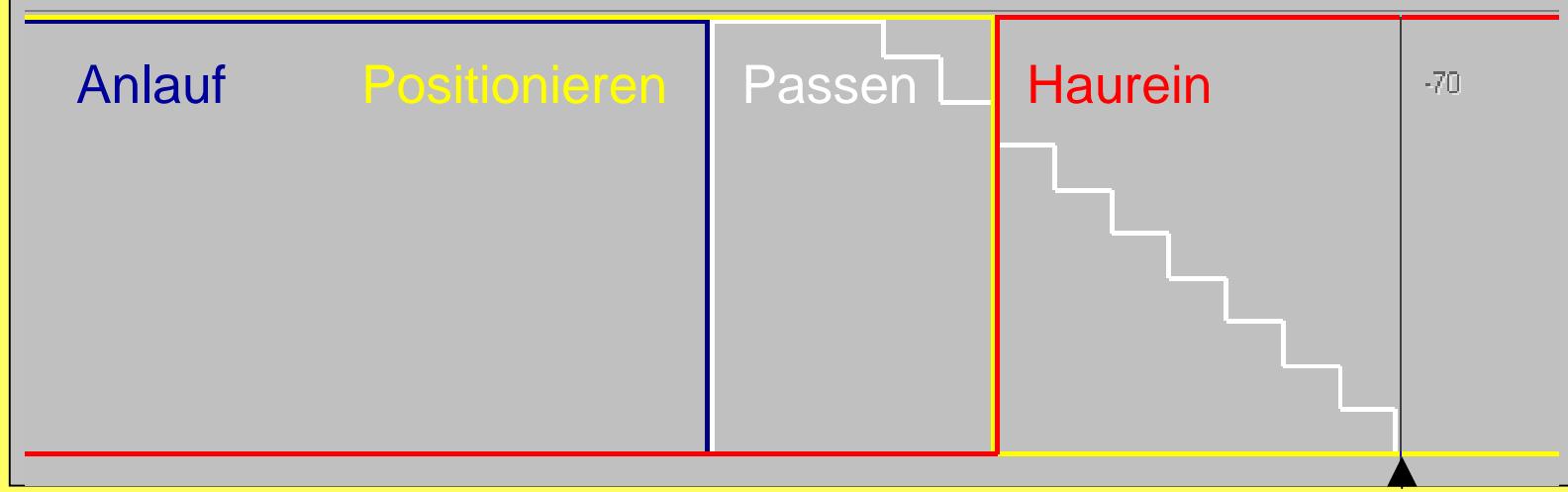
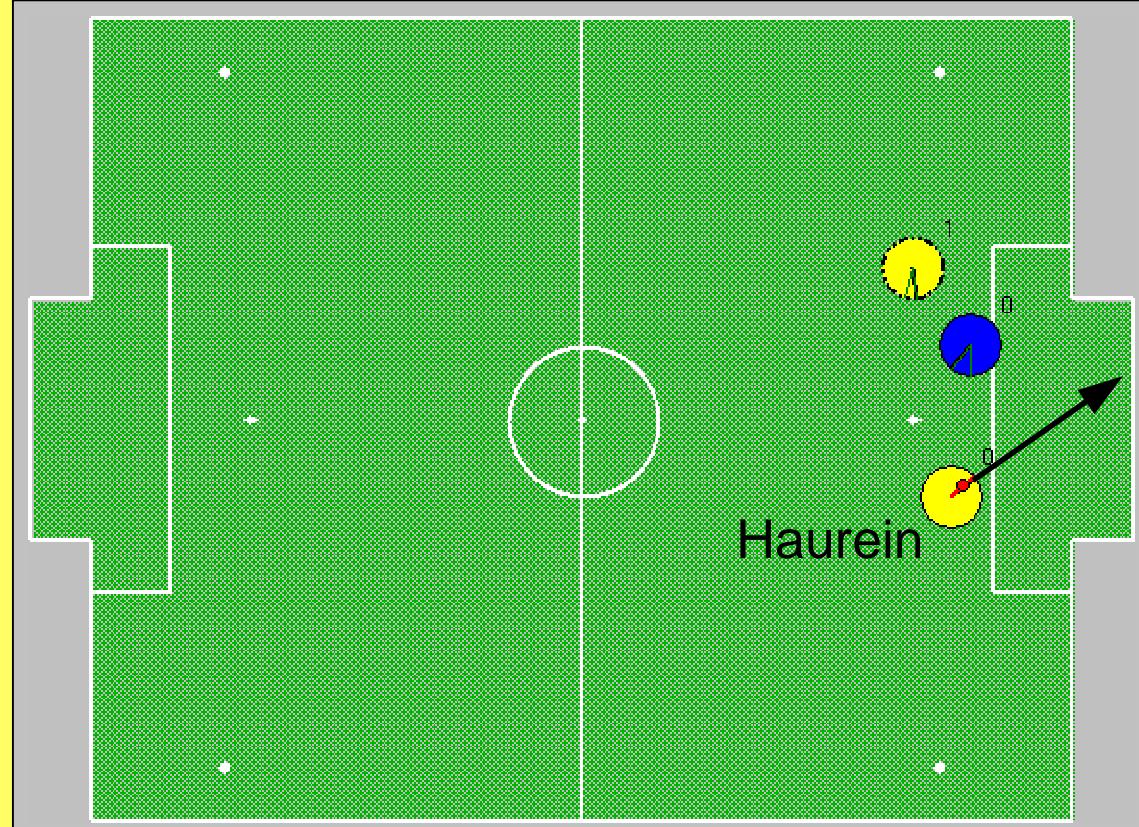
Passen



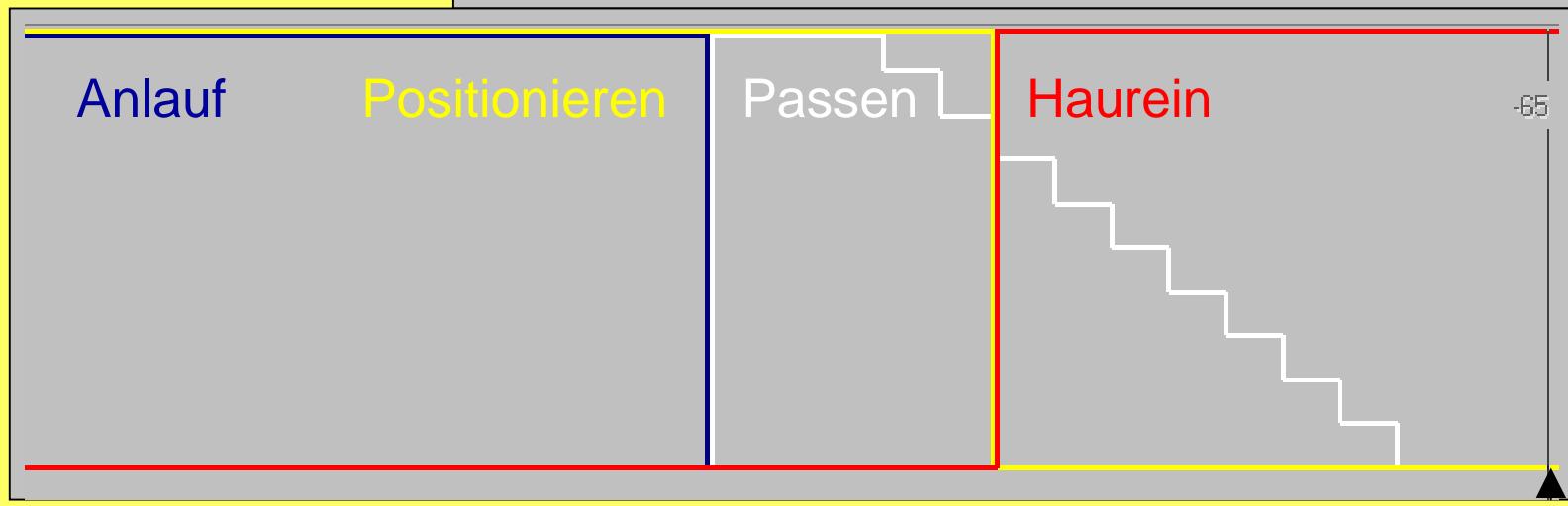
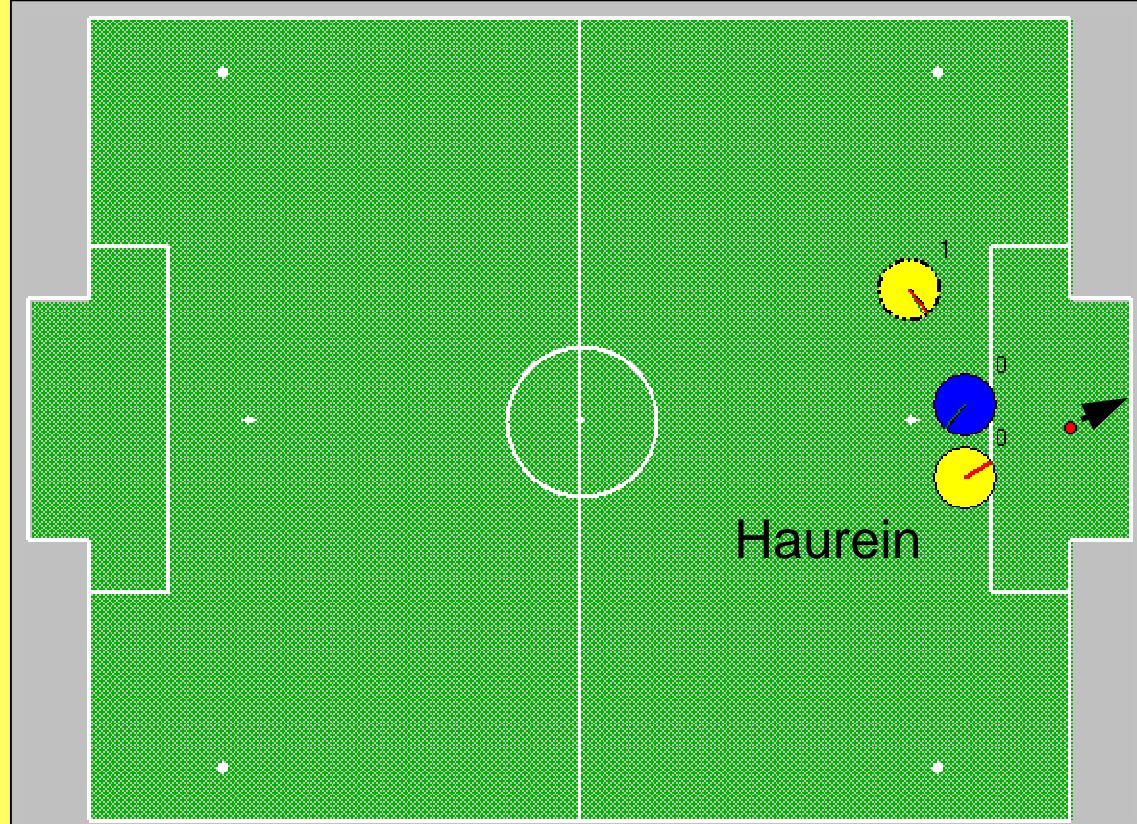
Passen



Passen



Passen



Video

Resultate

- Hierarchische Architektur zur reaktiven Verhaltenssteuerung vorgeschlagen
- Entwicklungsumgebung mit Verhaltensrahmen, Vorhersagen, Monitor, Simulator
- Anwendung in RoboCup-Team FU-Fighters
 - SmallSize 1999-2002:
 - 3x Vizeweltmeister, 1x vierter Platz
 - Europameister 2000
 - Gewinner GermanOpen 2002, zweiter Platz 2001
 - MidSize 2002:
 - Teilnahme GermanOpen, WM in Fukuoka
- Nutzung durch CMU Hunde im RoboCup 2000

Ausblick

- Ausbau der höheren Ebenen
 - Mehr komplexe Verhalten
 - Teamverhalten
- Lernen
 - Verstärkungslernen
 - Lernen von Vorhersagen
 - Parameterlernen
- Anwendung auf andere Domänen
 - Sony-Hunde, humanoide Roboter

Verhaltensgruppe

- Prof. Raúl Rojas
- Alexander Gloye, Lars Knipping, Daniel Szer
- Andreas Schebesch, Martin Sprengel,
Wolf Lindstrot, Lars Wolter, Mark Simon,
Kirill Koulechov, Fabian Wiesel