

# **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

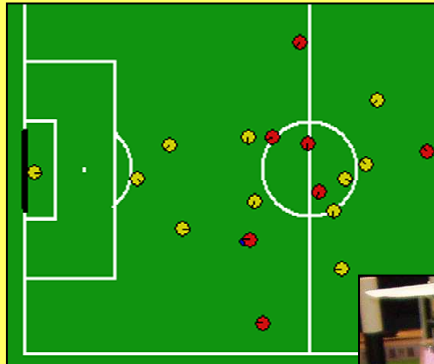
# RoboCup



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

- Ligen:

Simulation



SmallSize



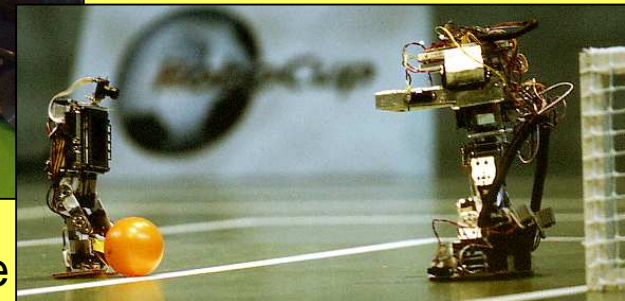
MidSize



Sony Hunde

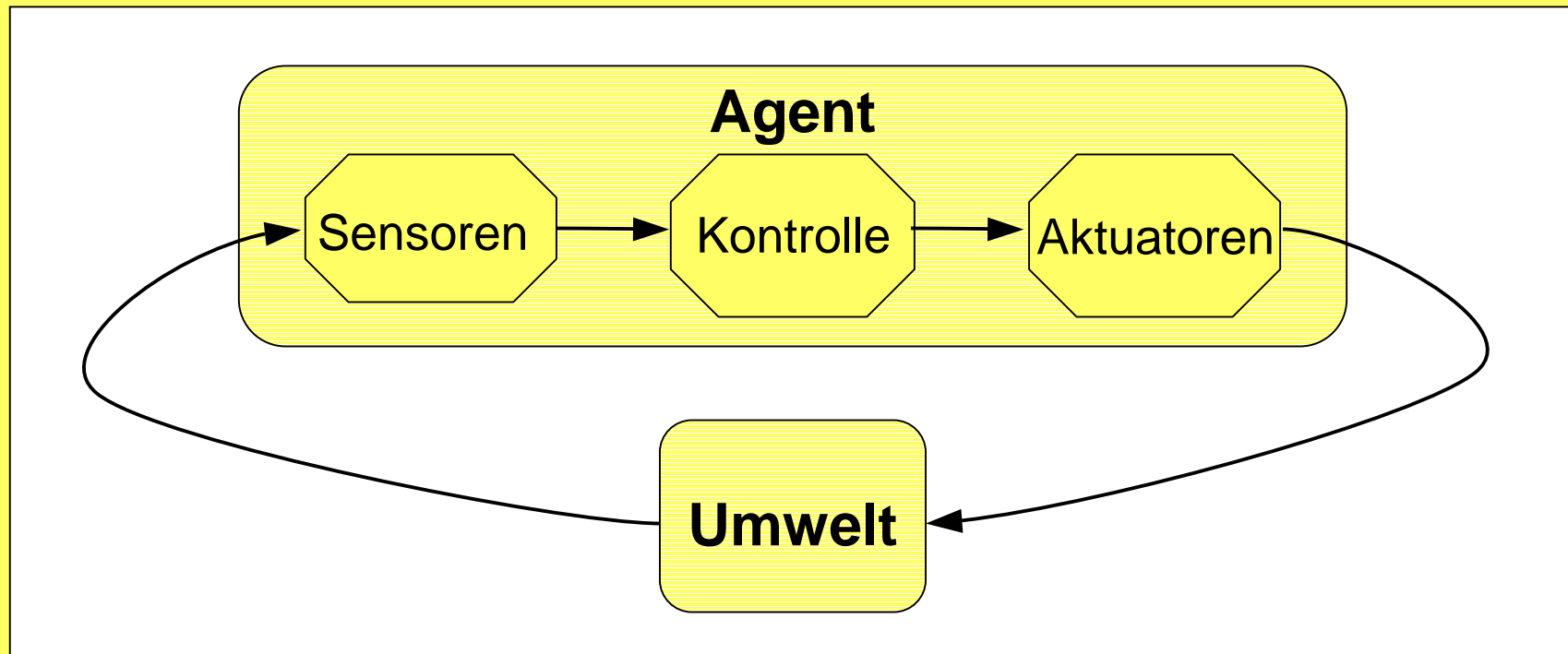


Humanoide



# 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

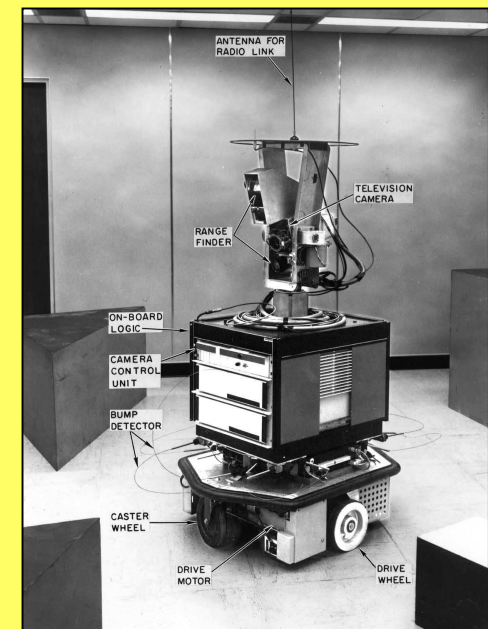
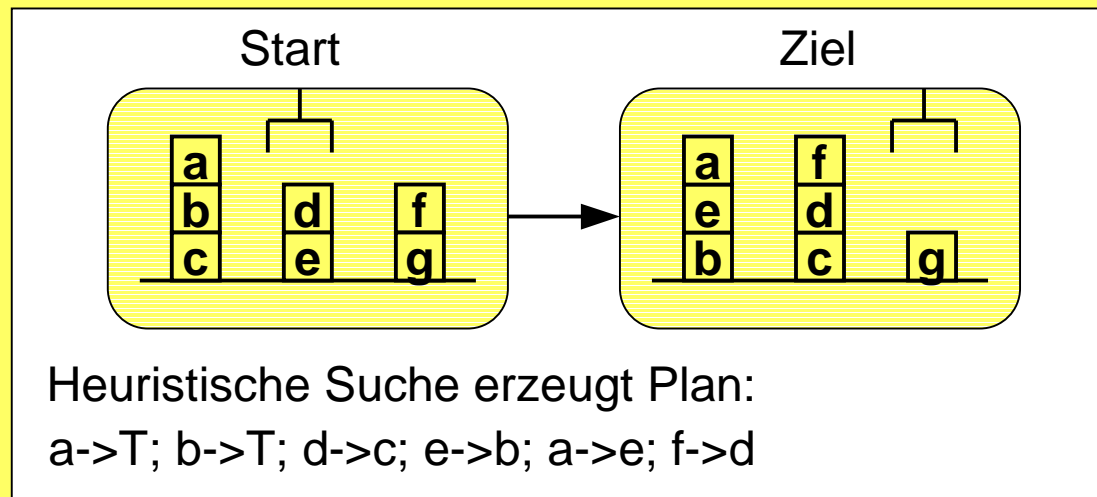
- deliberative und reaktive Schicht
- eventuell Zwischenschicht

- verhaltensbasiert

- mehrere einfache Verhalten
- Interaktion erzeugt Komplexität

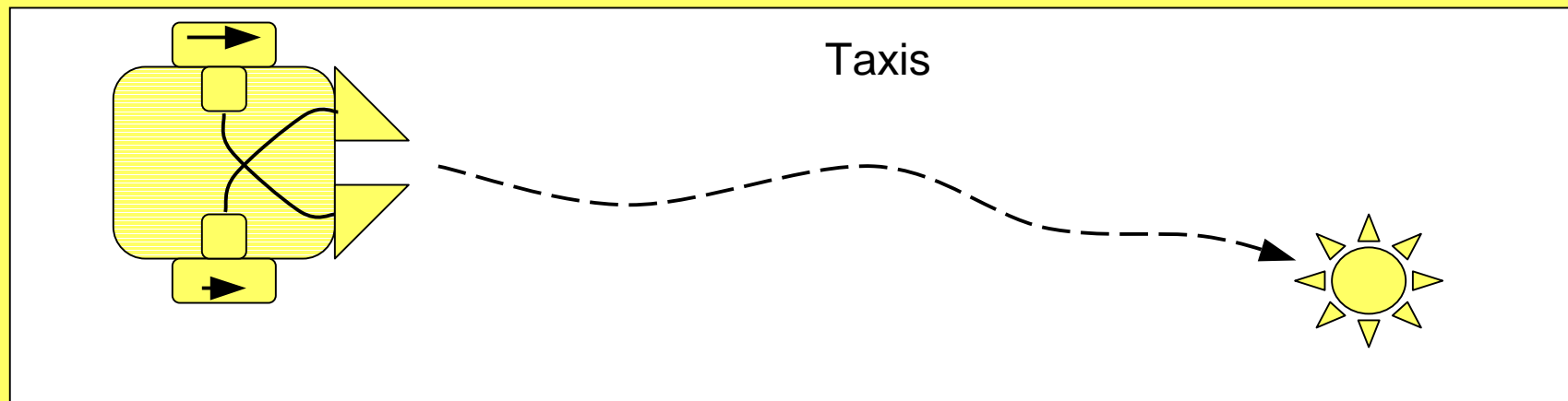
# Deliberative Verhaltenssteuerung

- 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



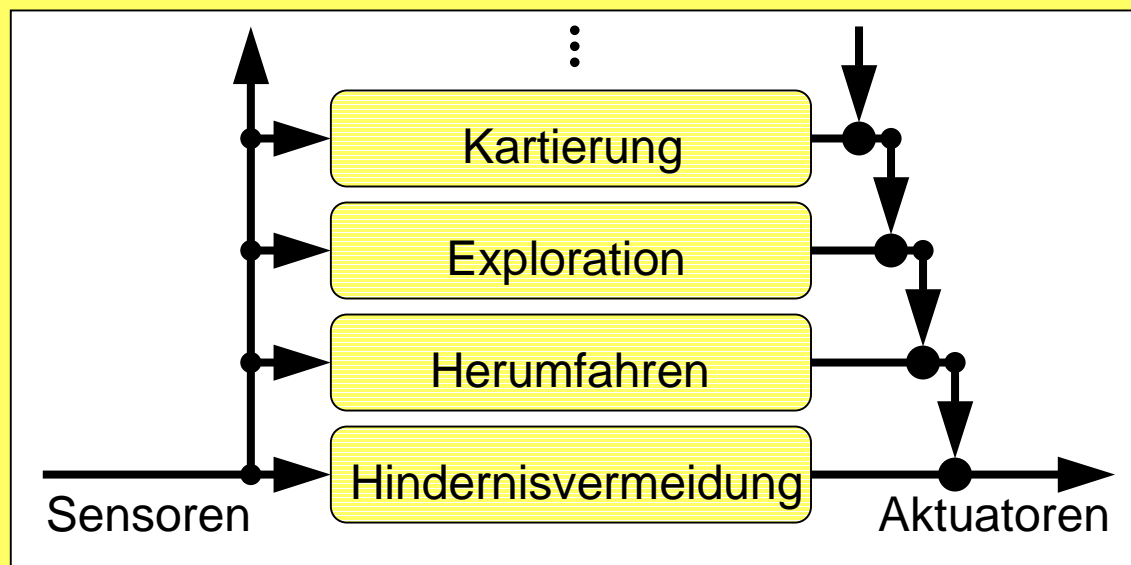


# Hybride Verhaltenssteuerung

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

# Subsumptionsarchitektur

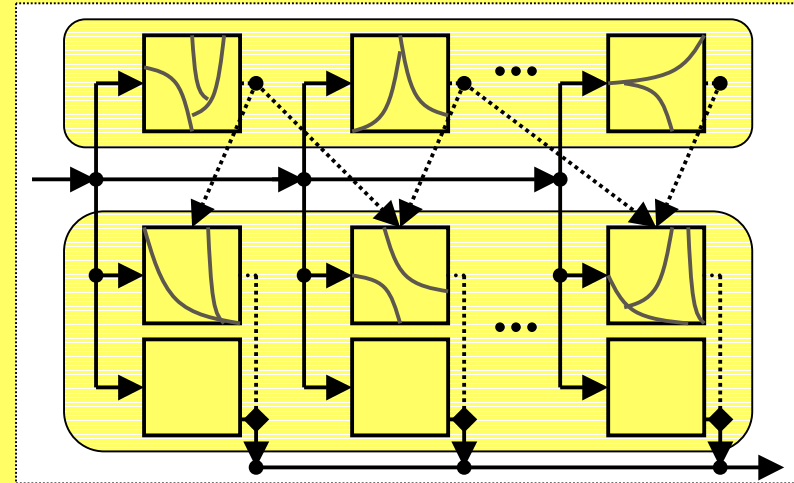
- verhaltensbasiert, DEAs, Nachrichten
- Kompetenzebenen, steigende Komplexität
- Subsumption: Eingriff in niedrigere Ebene
- inkrementelles Design



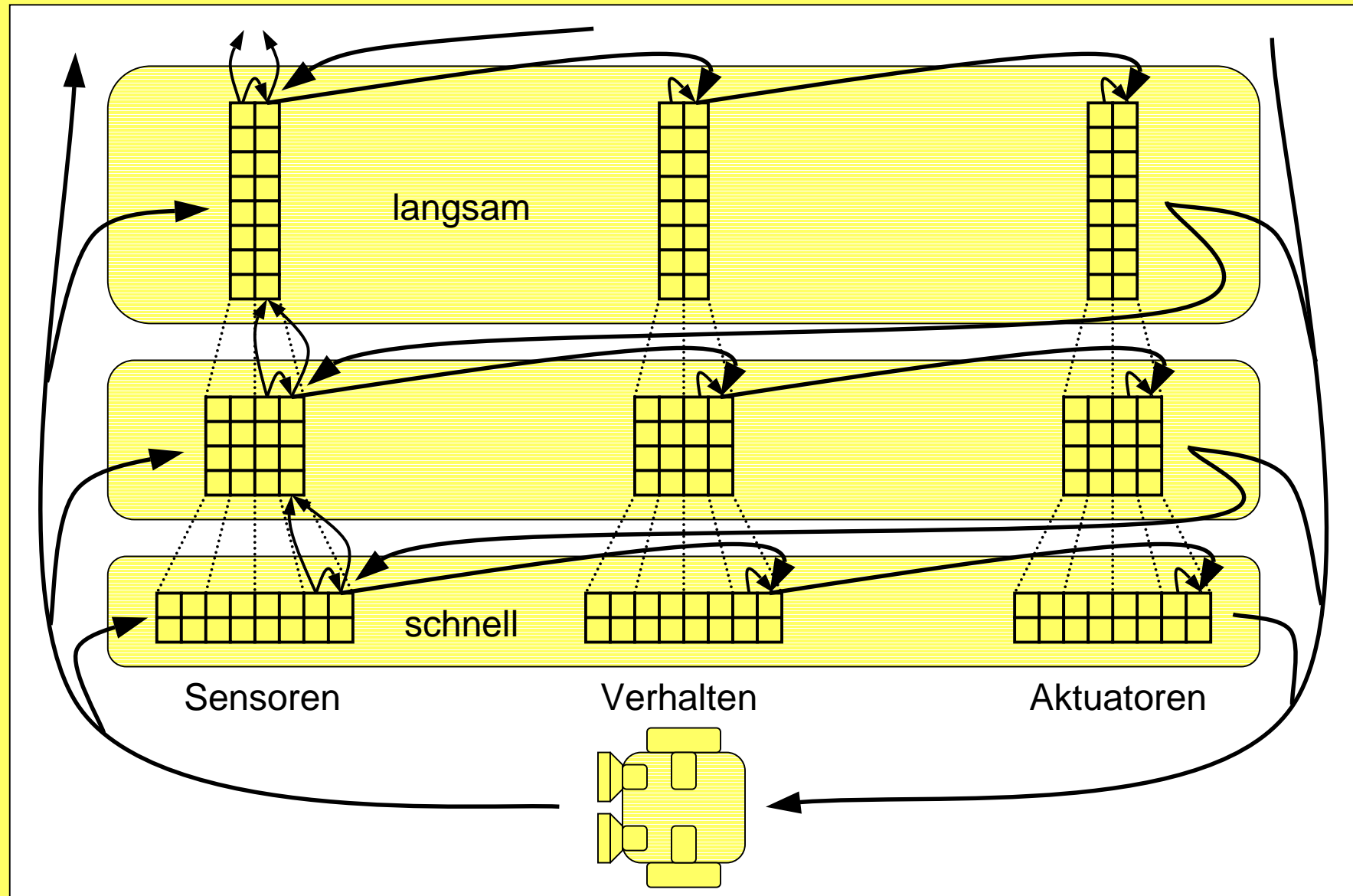
Rodney Brooks 1985

# Dual Dynamics

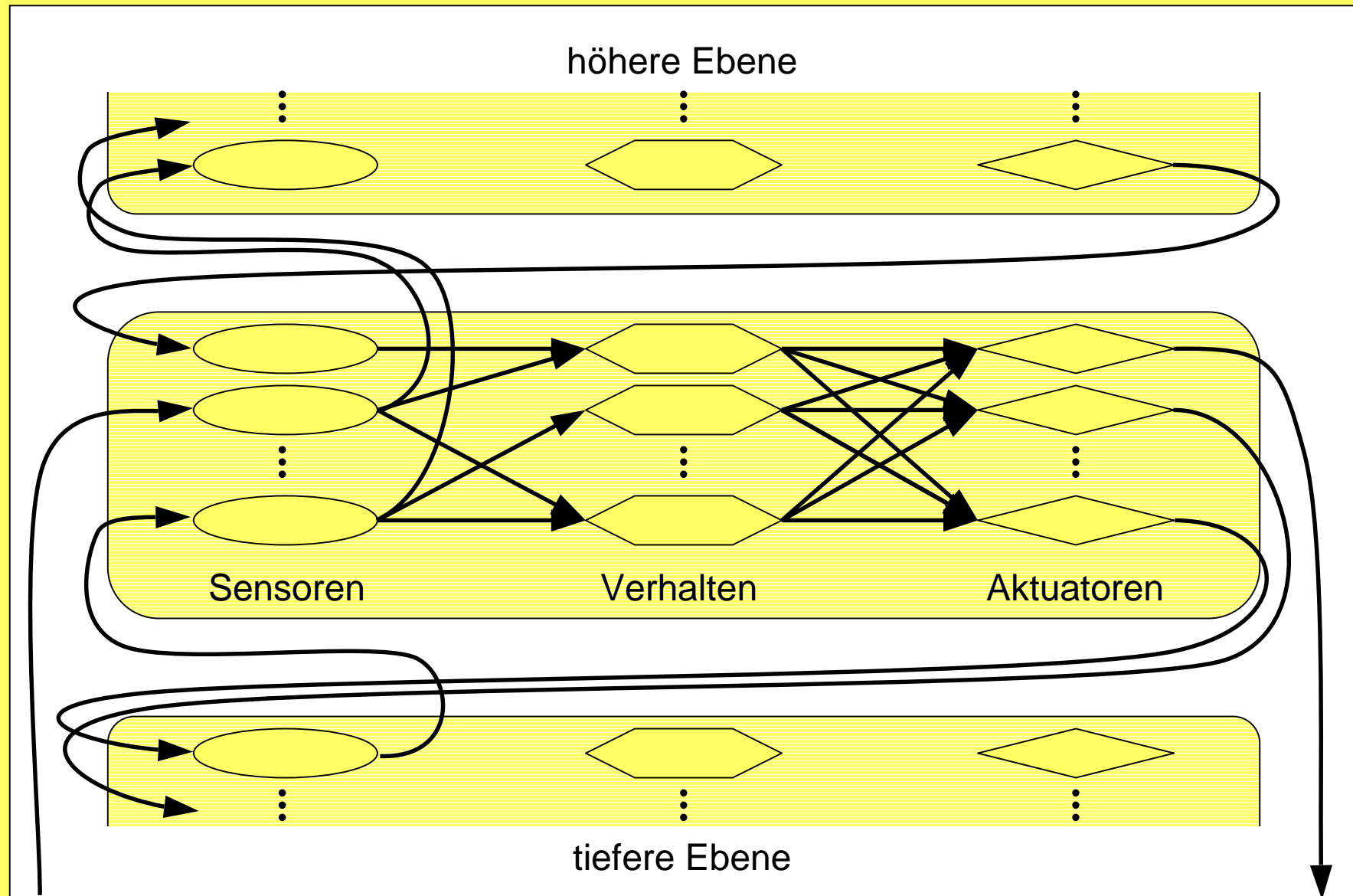
- verhaltensbasiert
- dynamische Systeme
- zwei Verhaltensarten: elementar, komplex
- elementare Verhalten haben zwei Module:
  - Aktivierungsdynamik: Soll ich jetzt etwas tun?
  - Zieldynamik: Was soll ich tun?
- keine Zieldynamik bei komplexen Verhalten
- Modi, Bifurkationen, Multifunktionalität



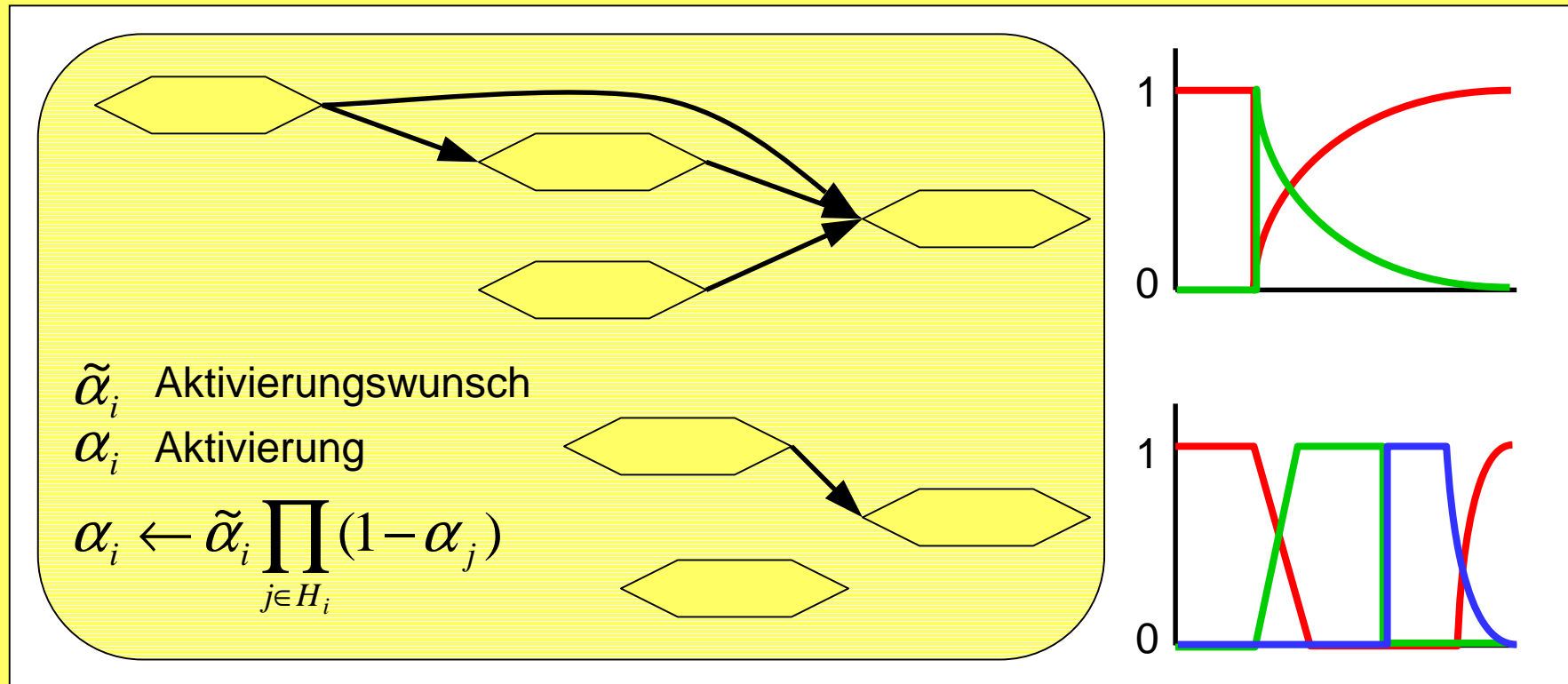
# Hierarchie reaktiver Verhalten



# Aufbau einer Ebene



# Hemmung von Verhalten



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

# Aktuatordynamik

- Typen

- Float
- Vektor
- Boolean
- Objekt
  - Roboter
  - Ball
  - Tor
  - Position

- Kombination

- gewichtetes Mittel

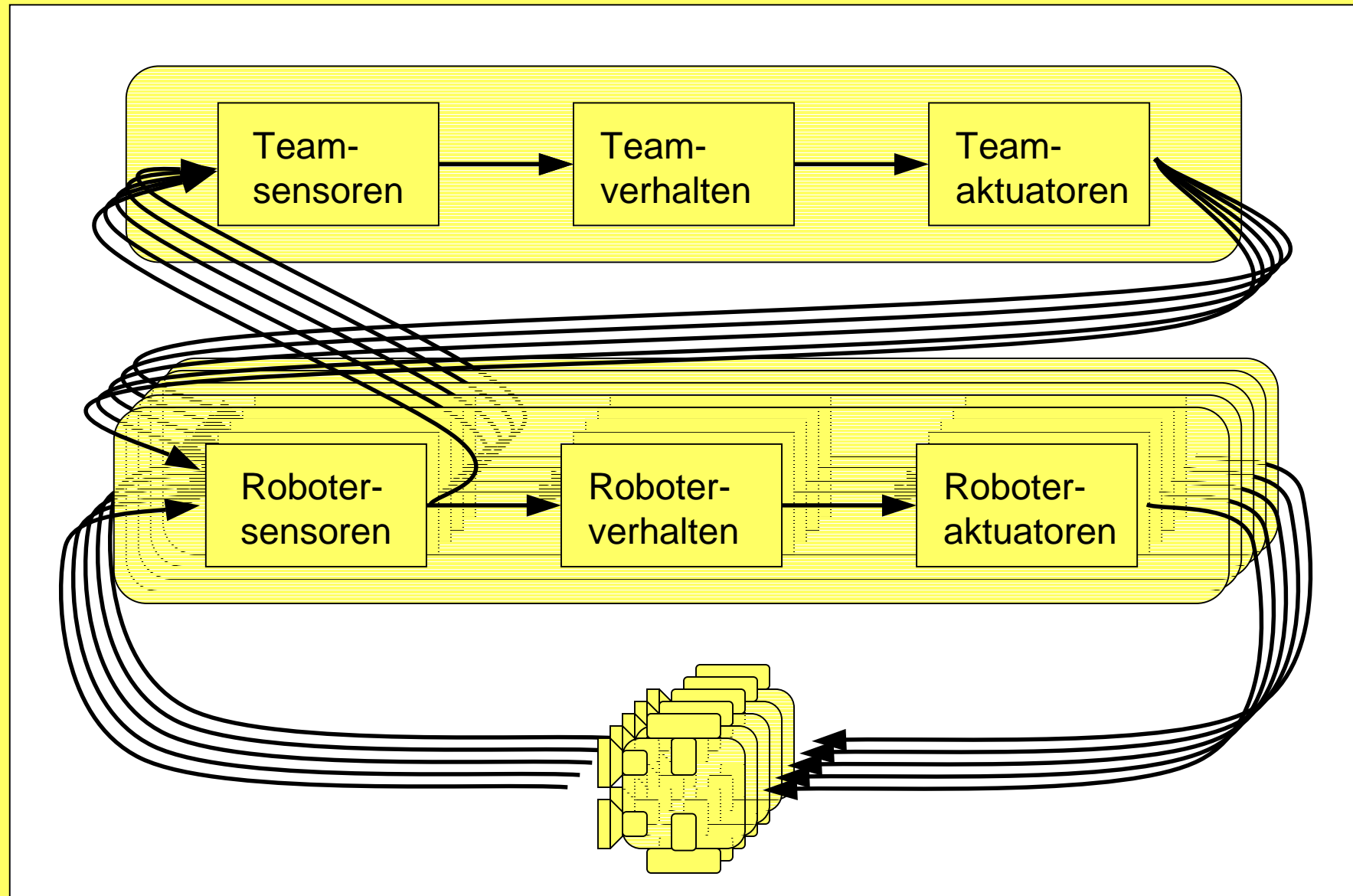
$$\Delta_i \leftarrow \sum_j \alpha_j (w_j - a_i), \quad \Xi_i \leftarrow \sum_j \alpha_j,$$

$$a_i \leftarrow a_i + \begin{cases} \Delta_i / \Xi_i & : \Xi_i > 1 \\ \Delta_i & : \text{else} \end{cases}$$

- gewichtete Mehrheit

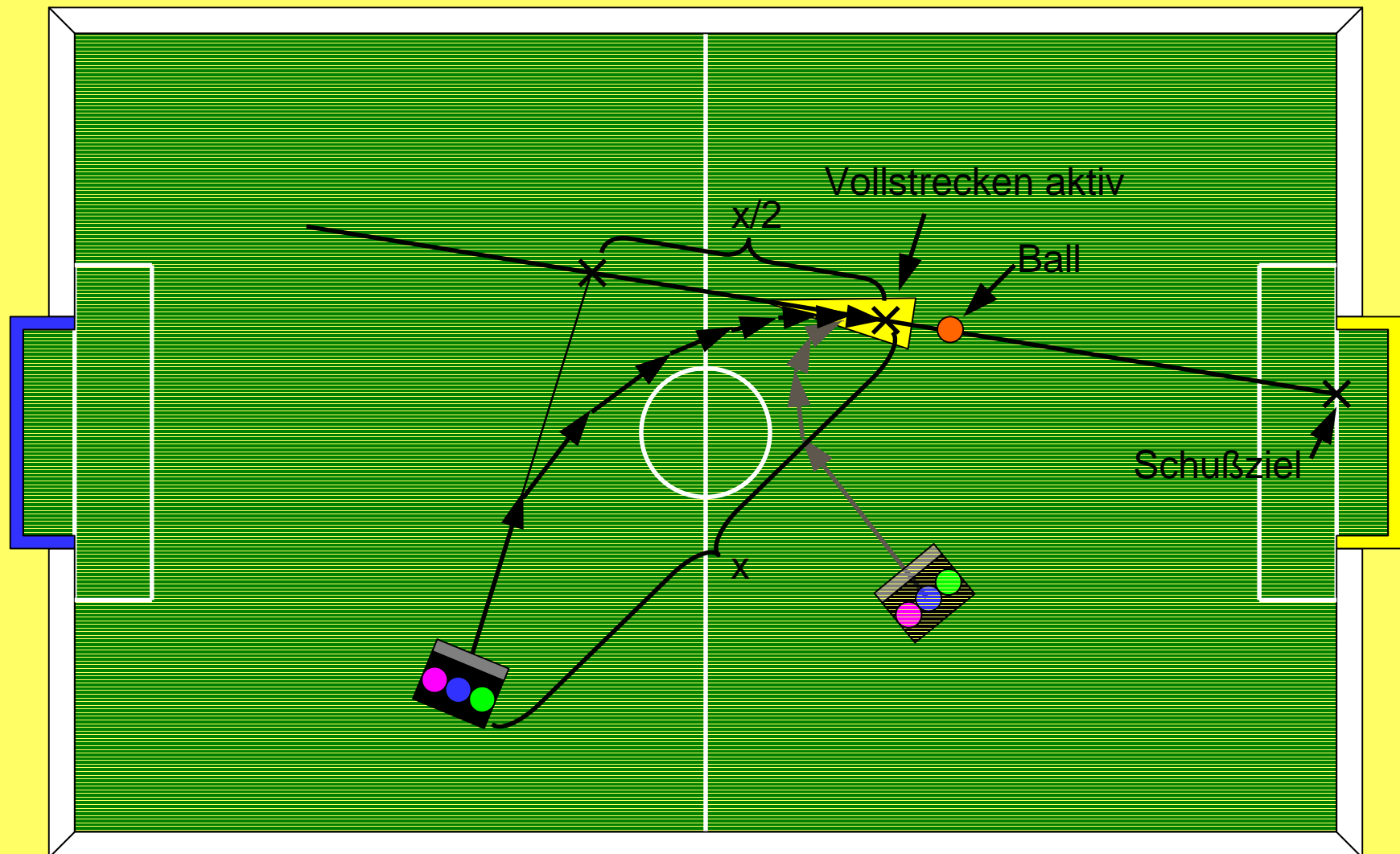
- Verhalten stimmen mit Aktivierung für einen Wert
- Wert mit den meisten Stimmen gewinnt

# Team-Ebenen

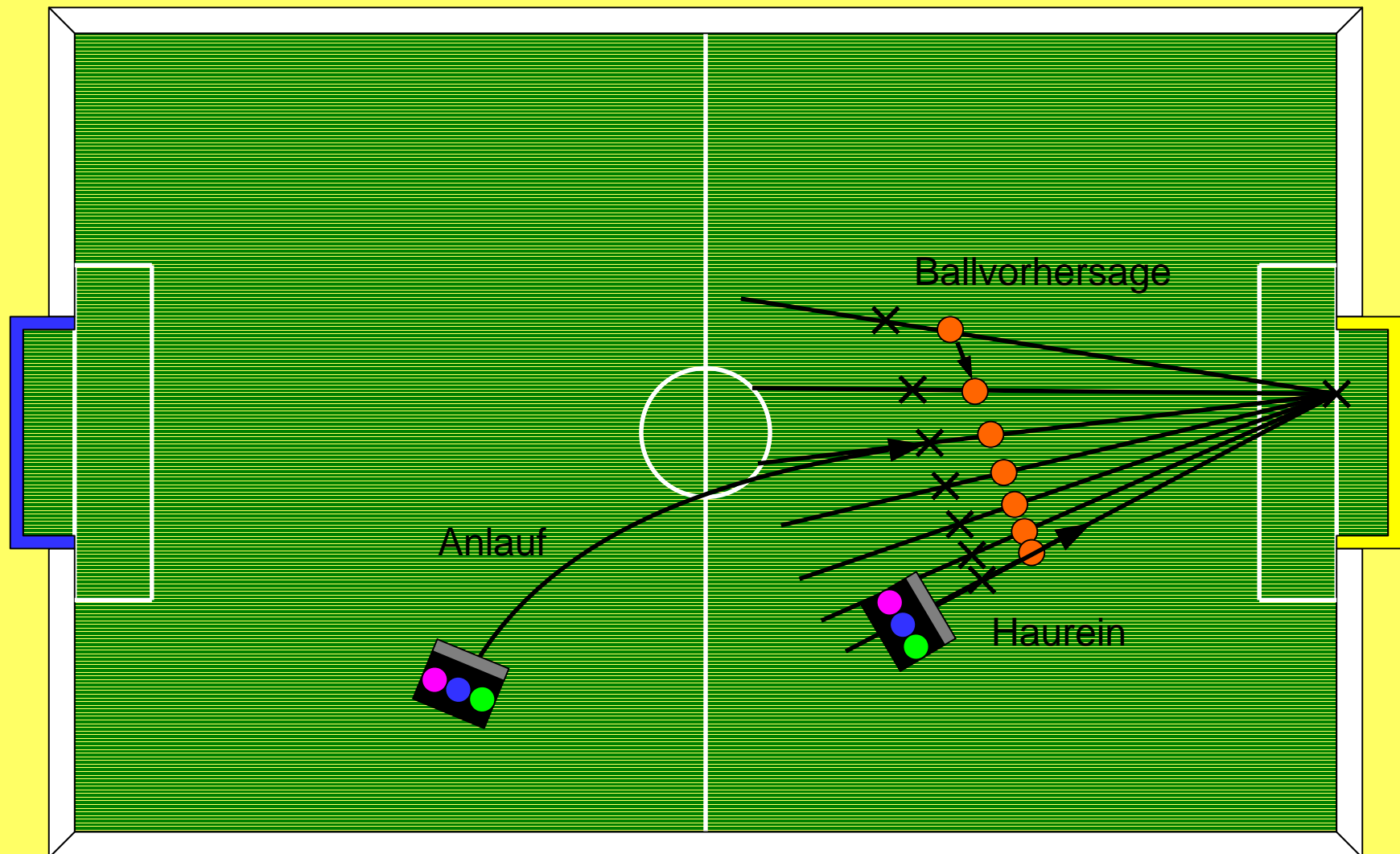




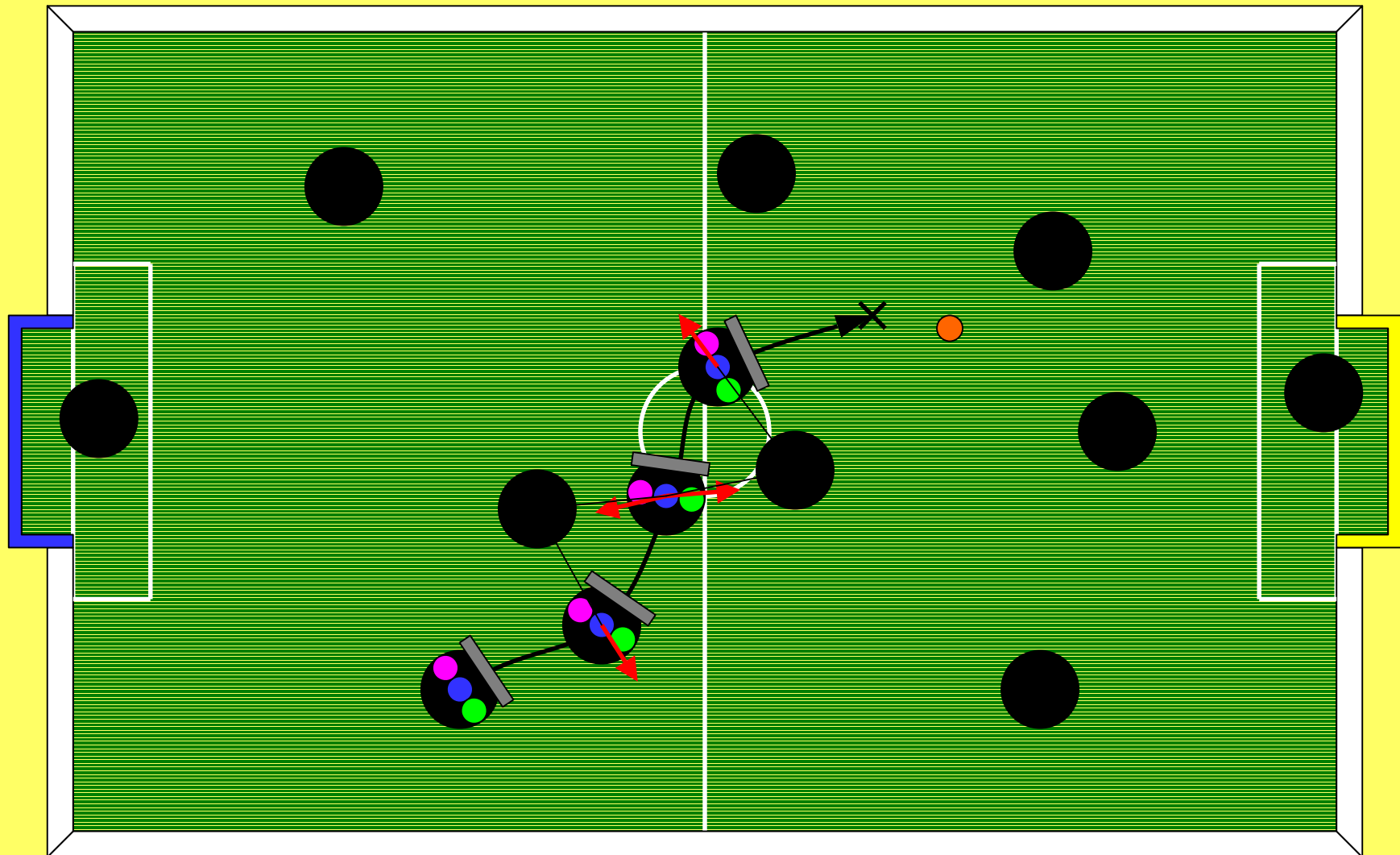
# Anlauf



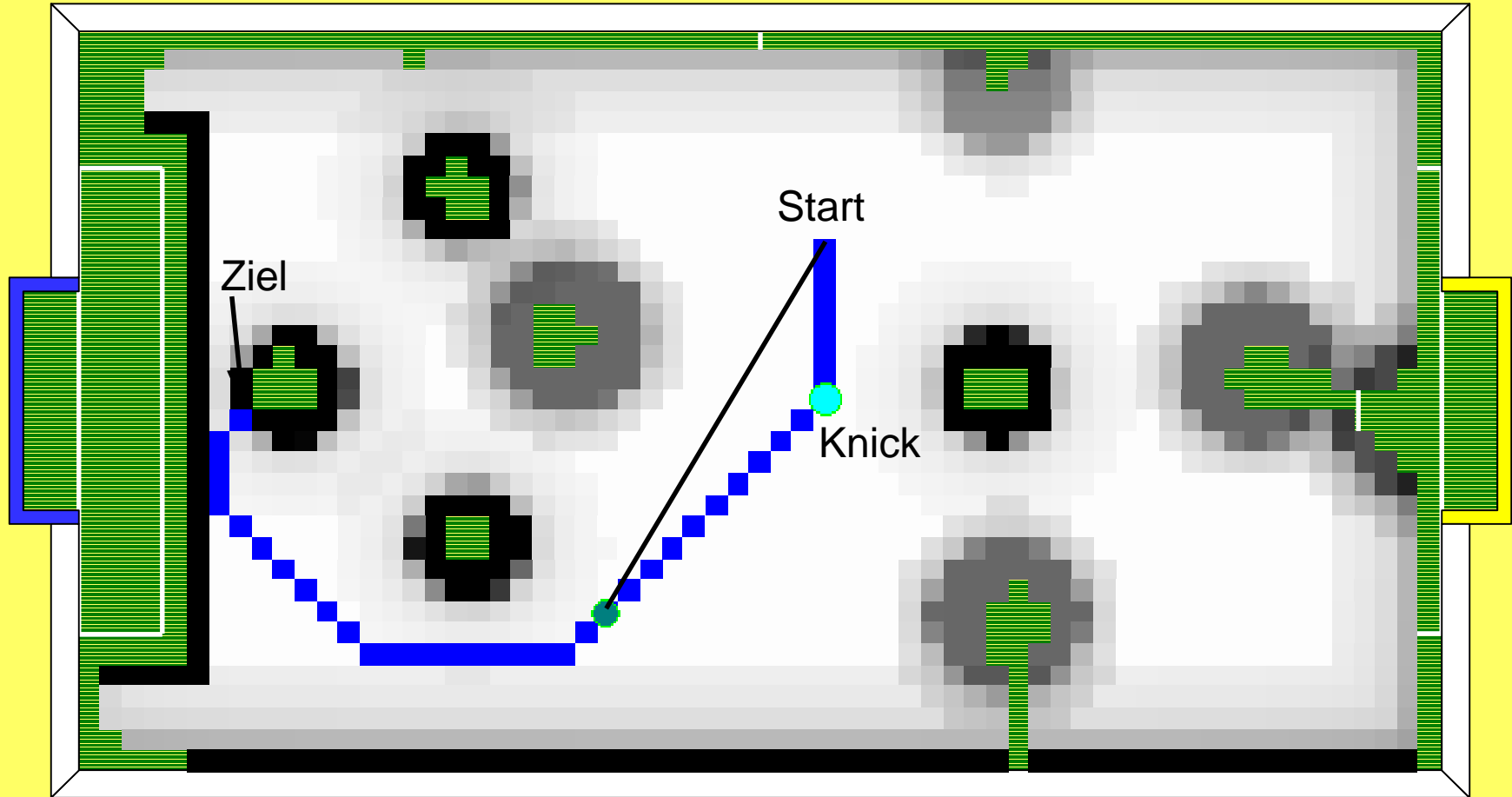
# Ball abfangen



# 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

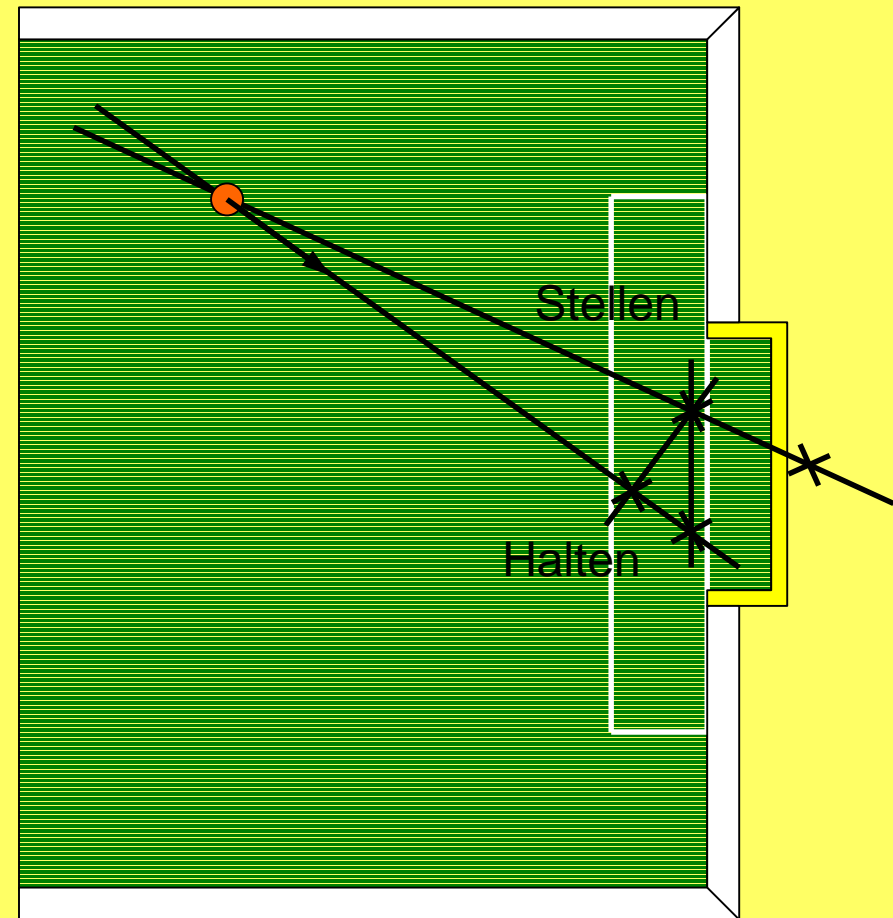
# Torwartverhalten

Ebene 0:

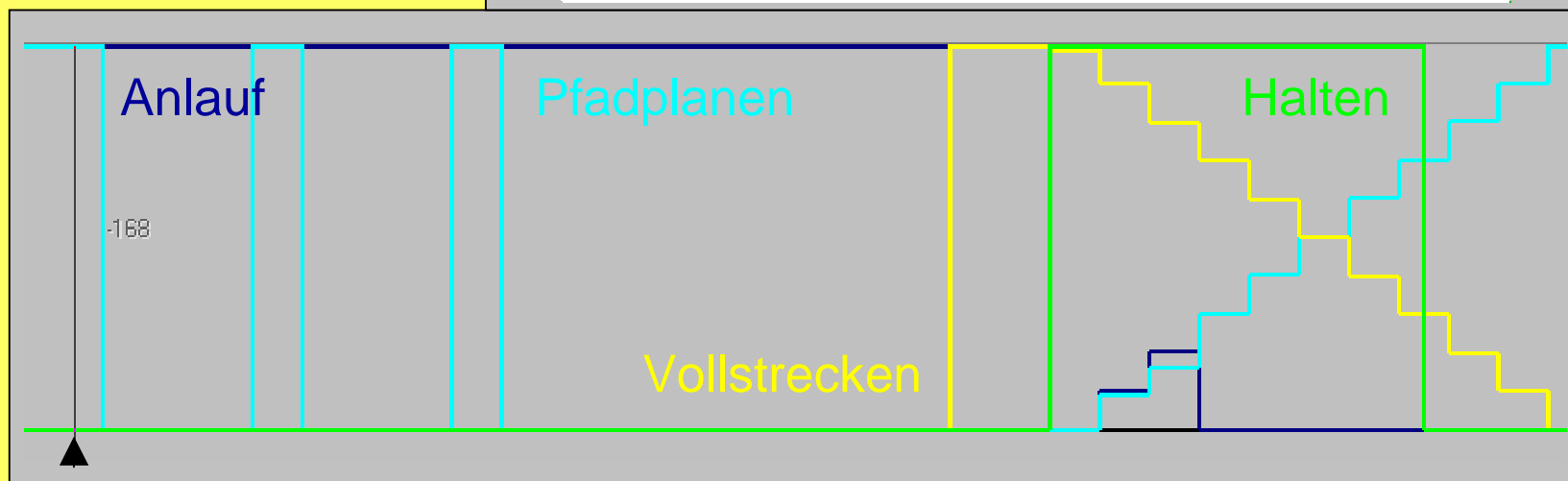
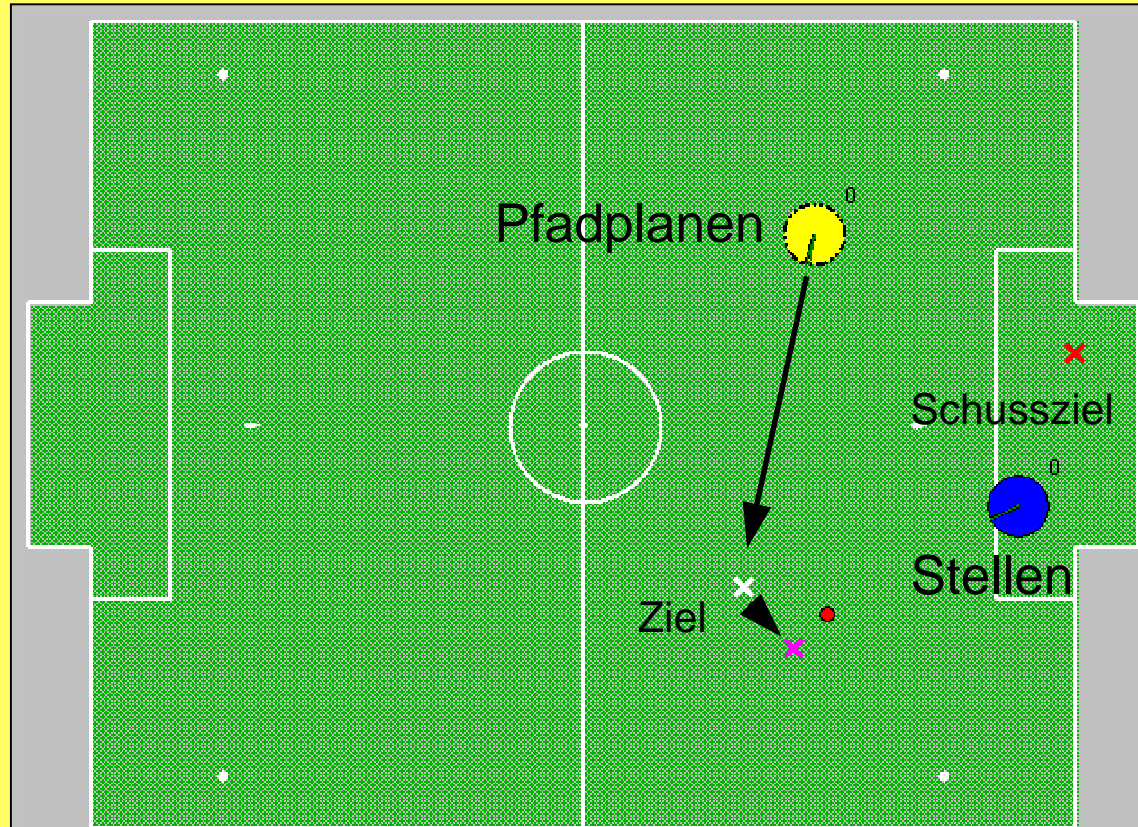
Stellen, Halten,  
Hauweg, Elfmeter, ...

Ebene -1:

Bewegungsregelung

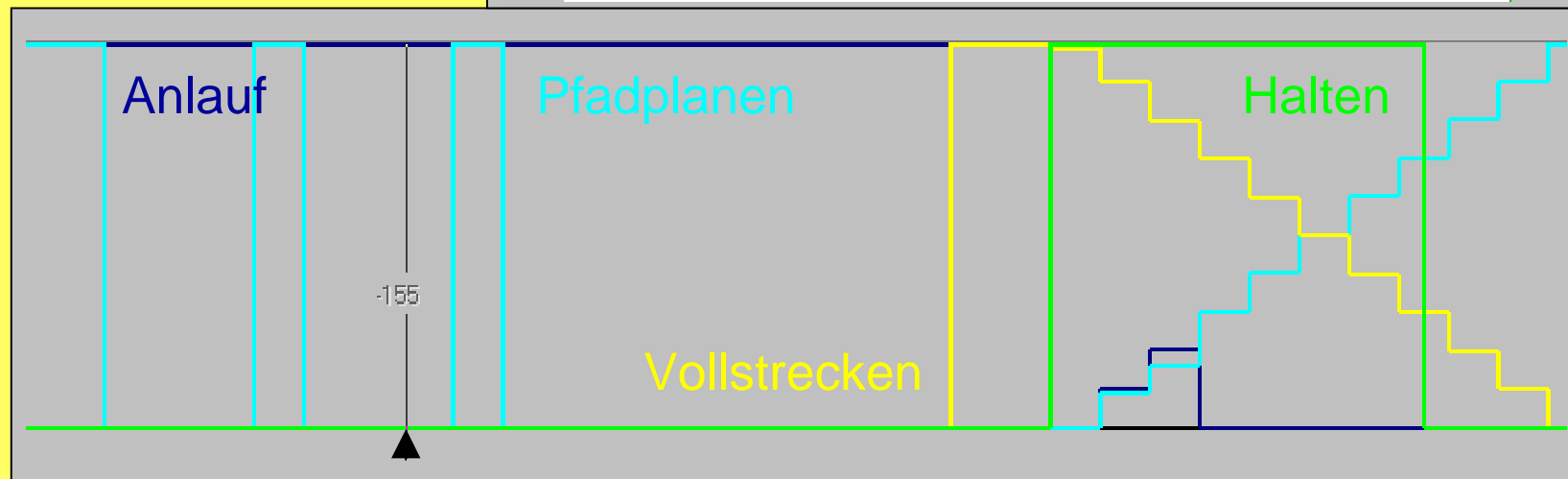
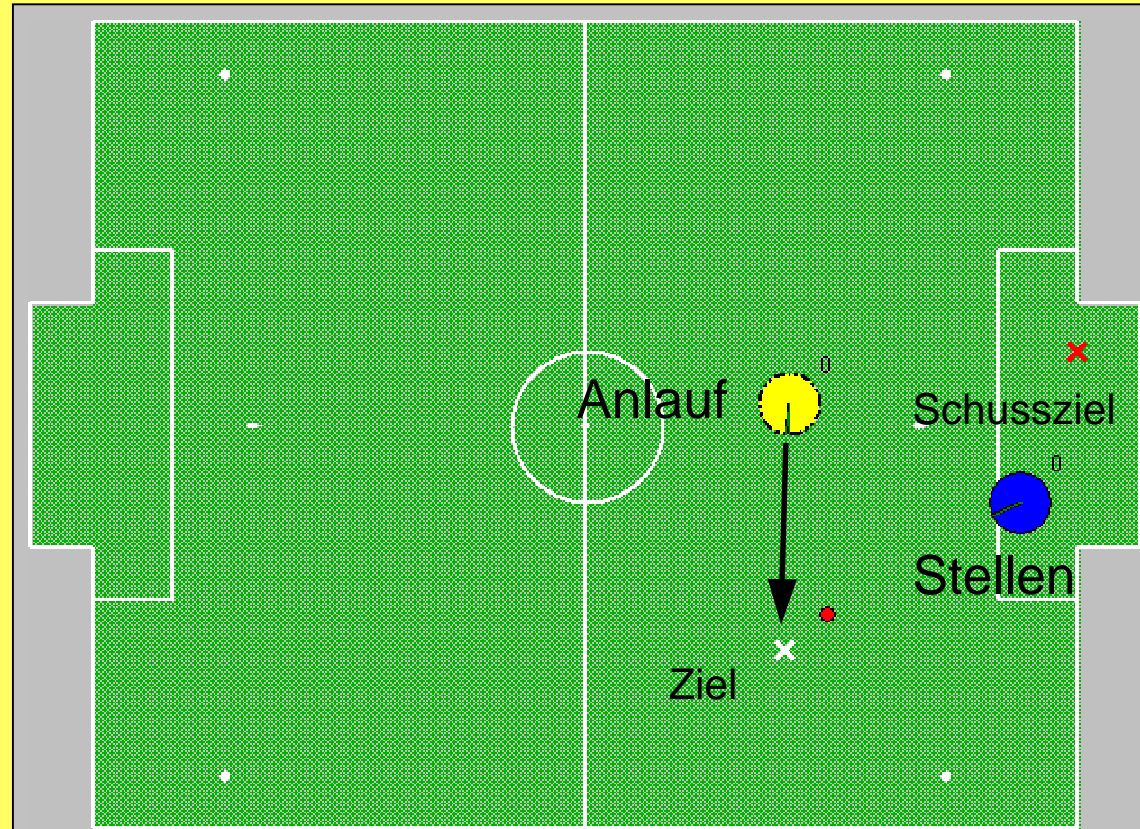


# Schuss

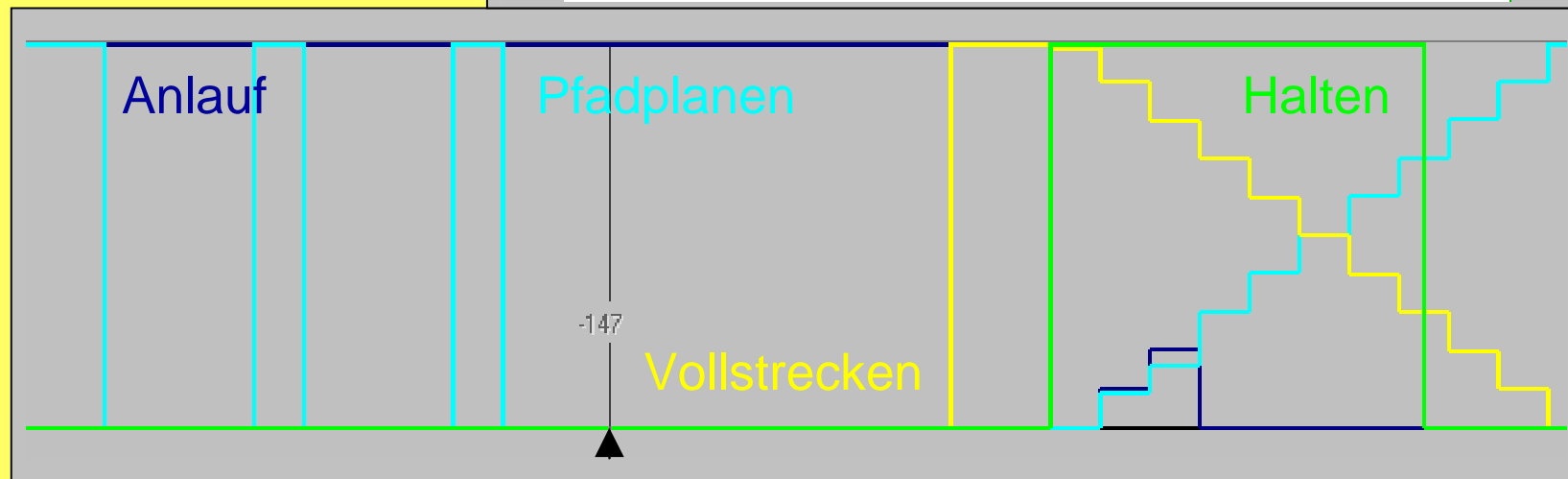
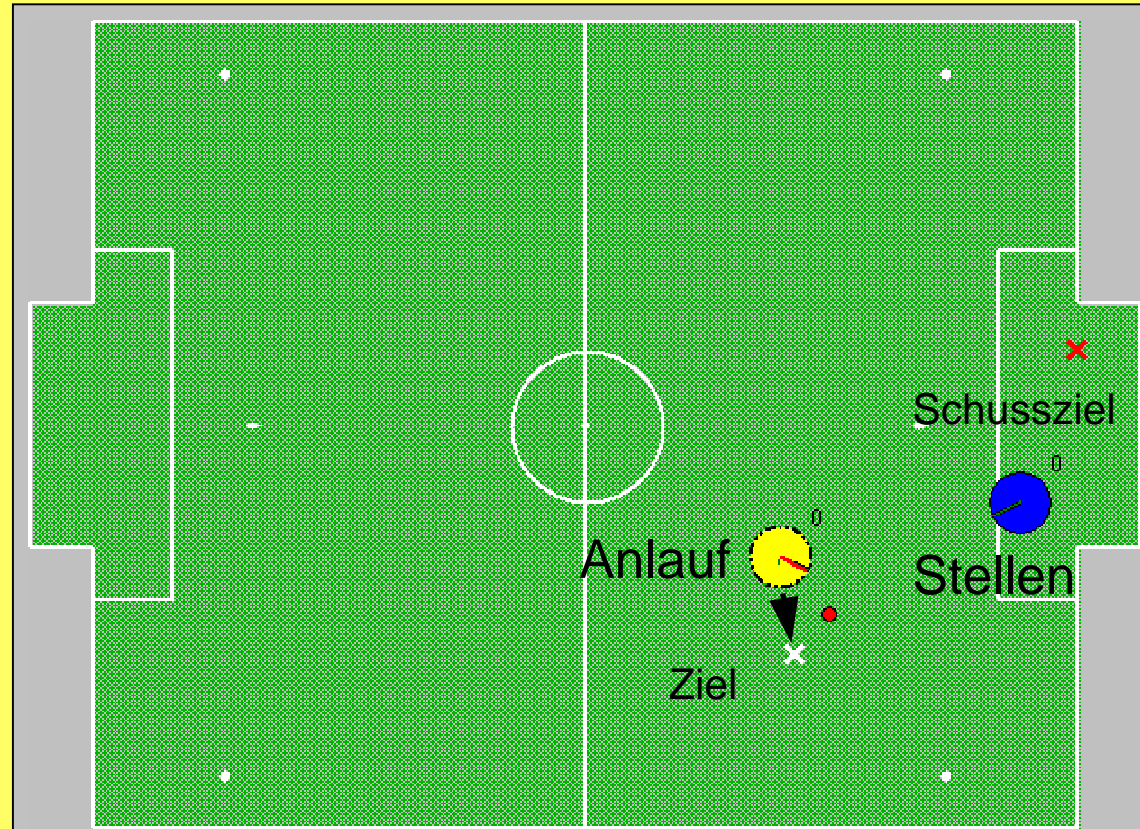




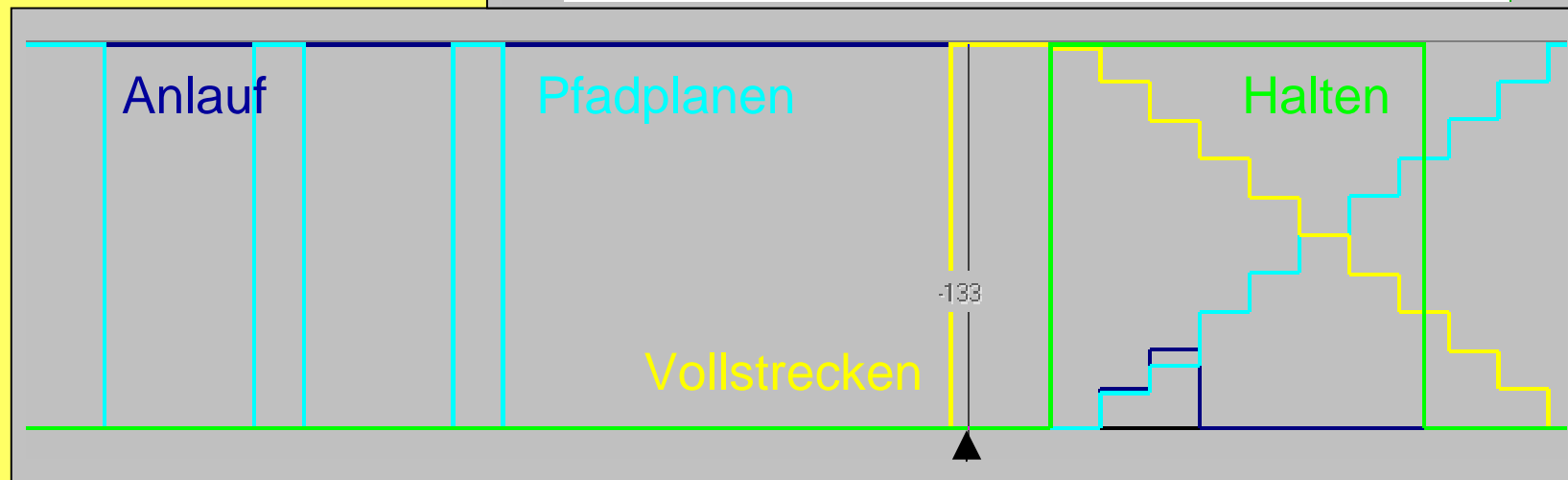
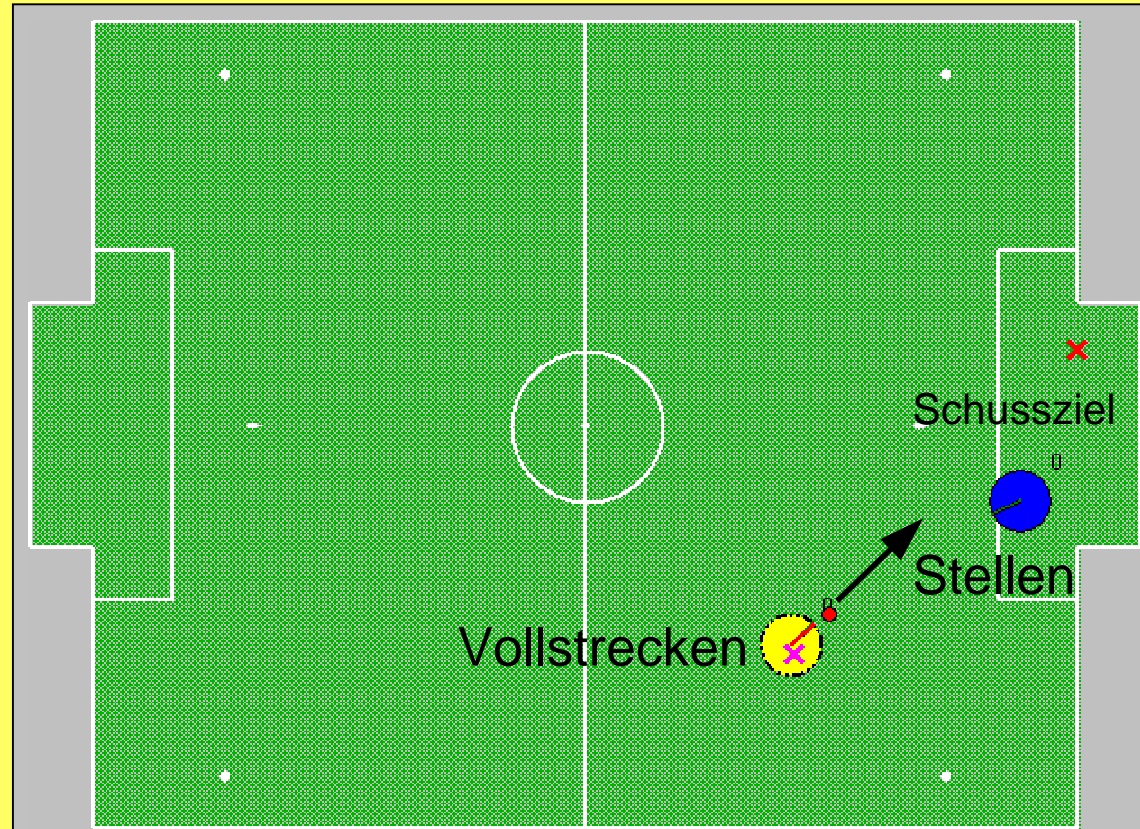
# Schuss



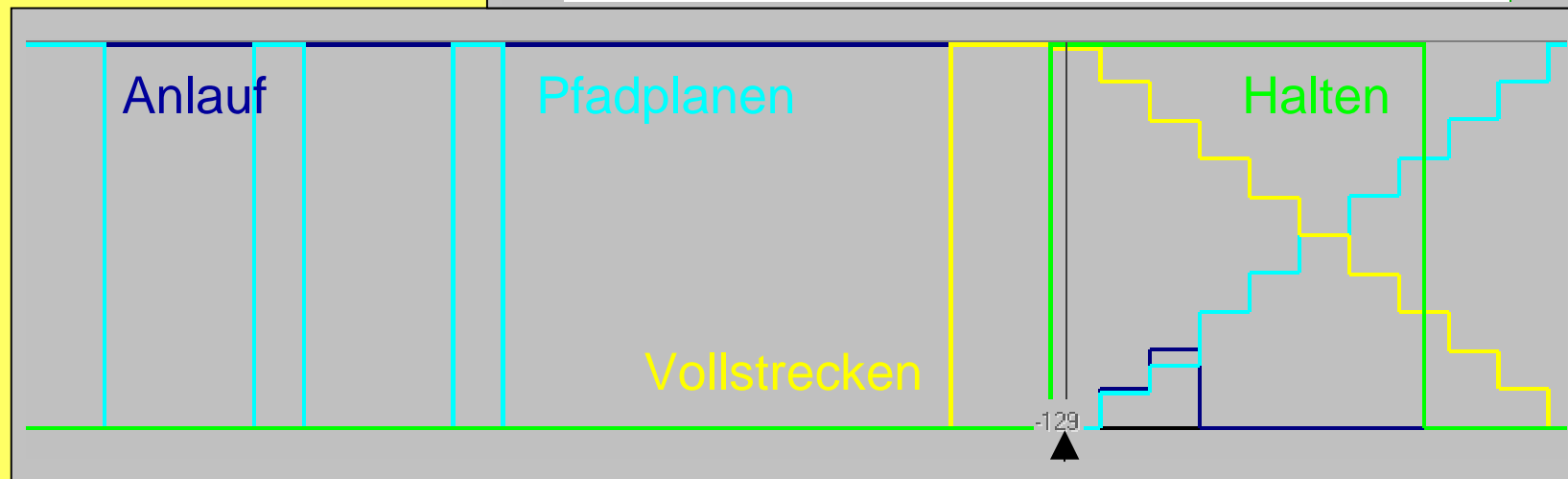
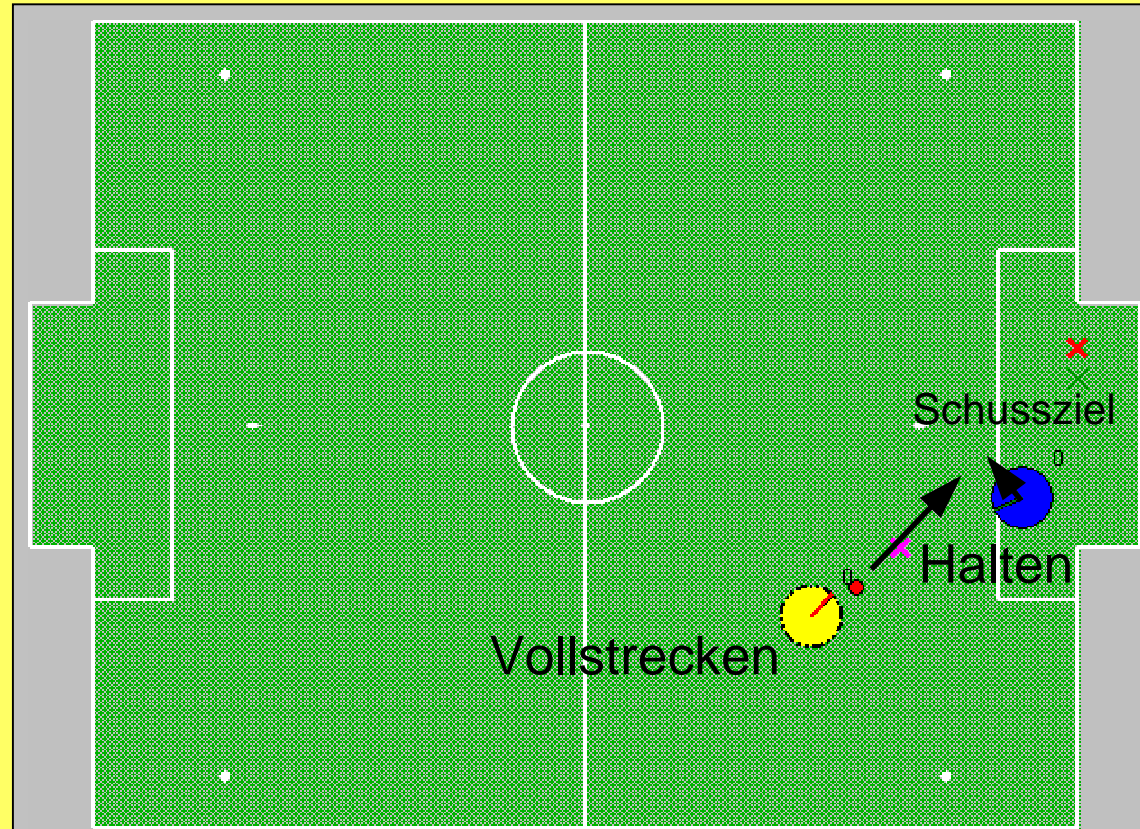
# Schuss



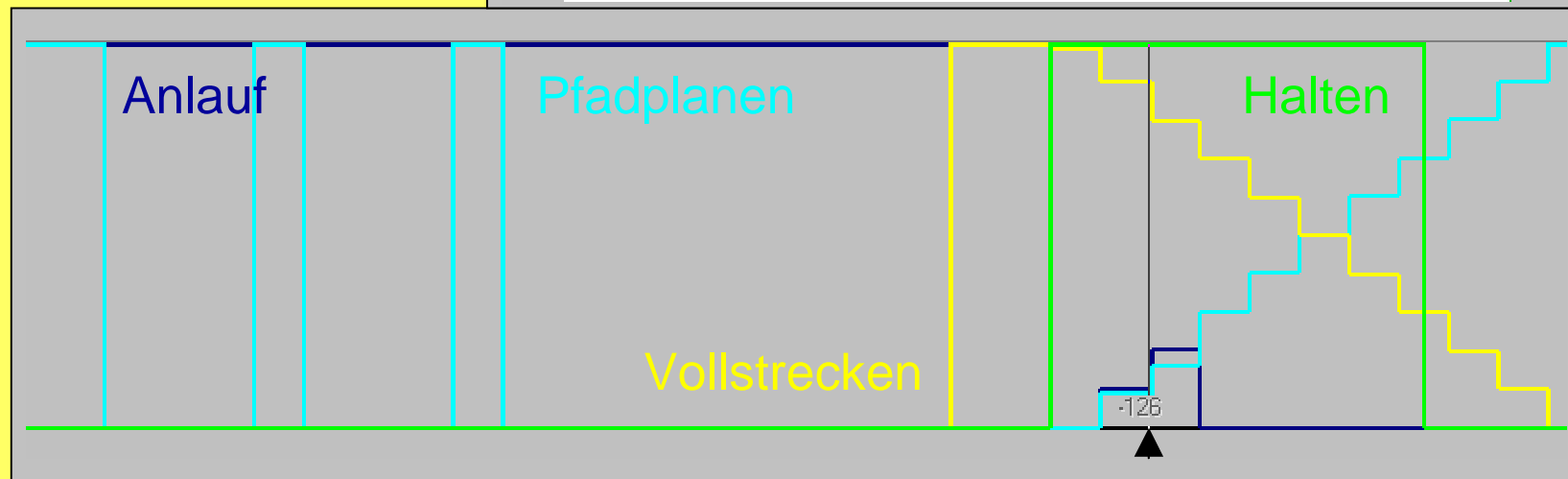
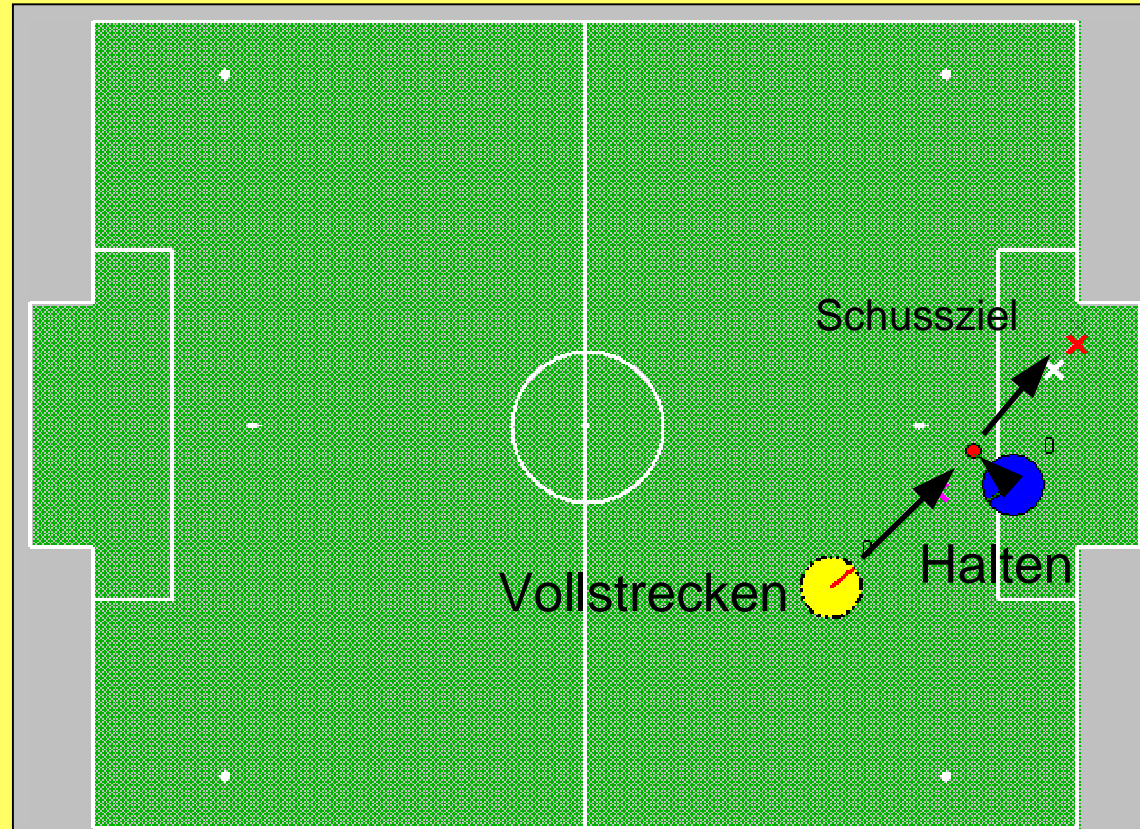
# Schuss



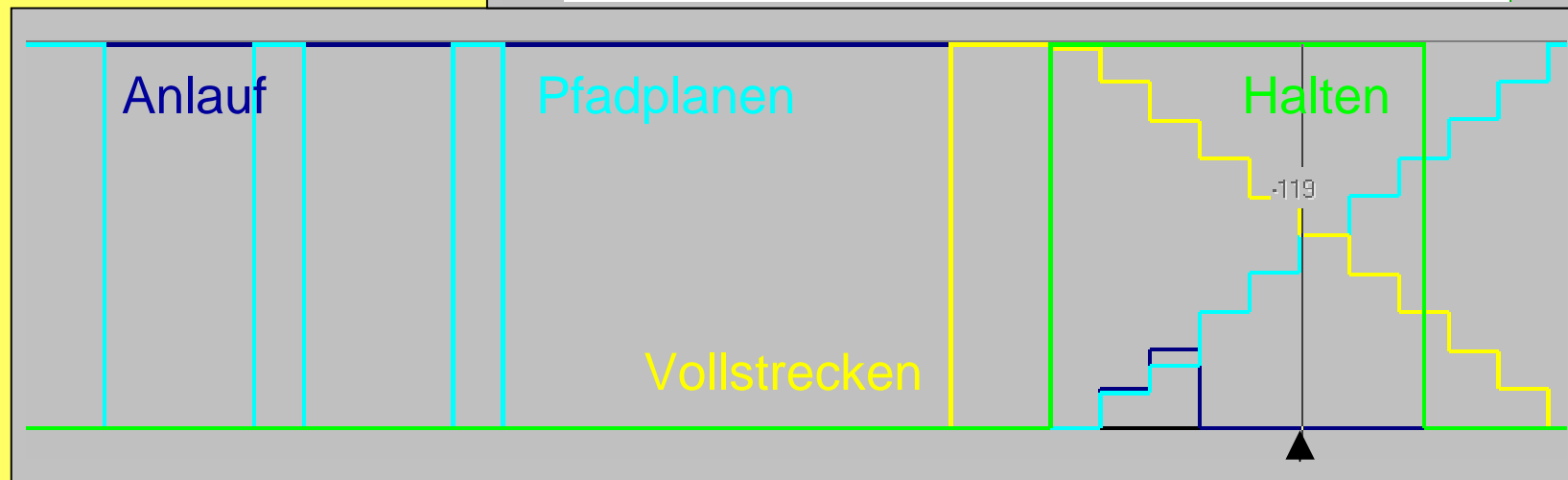
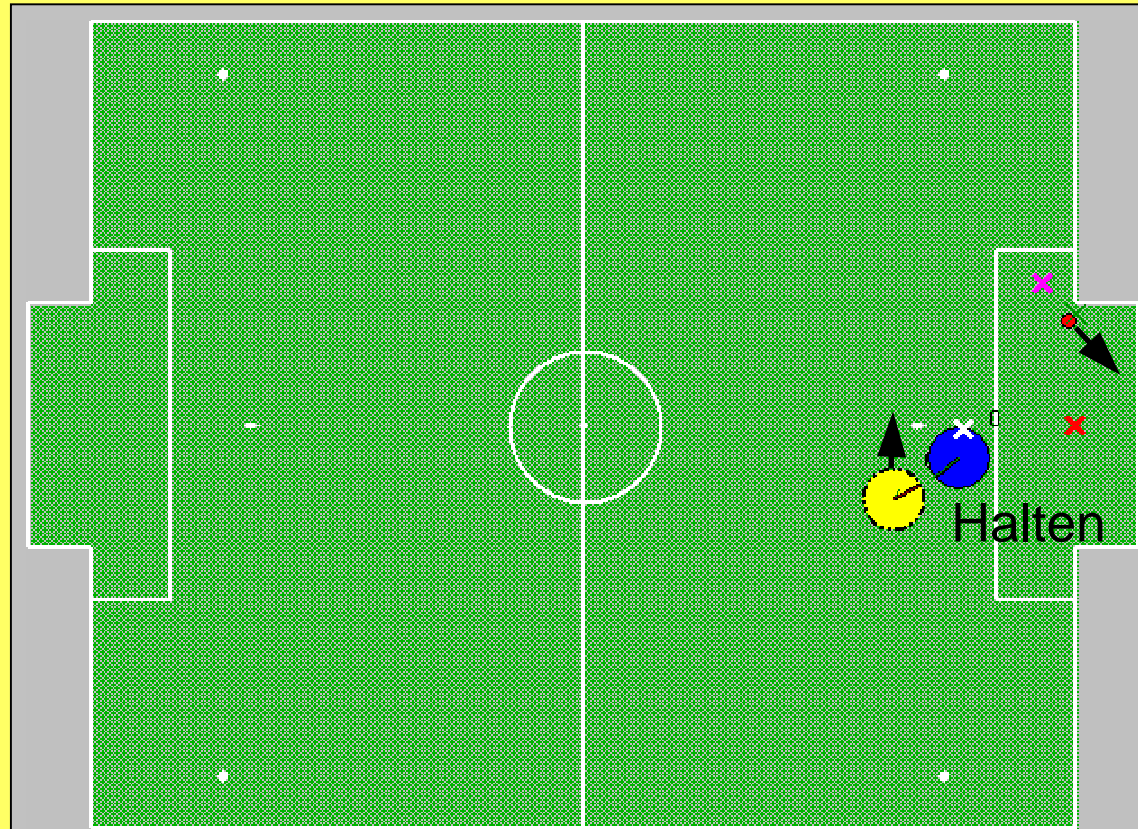
# Schuss



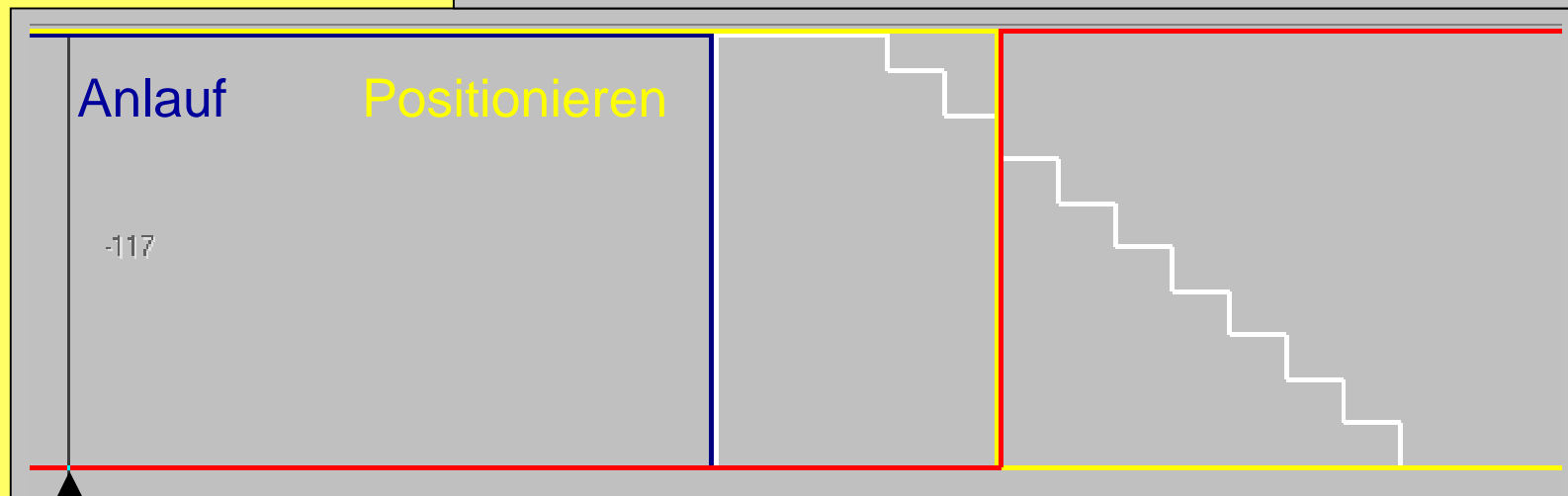
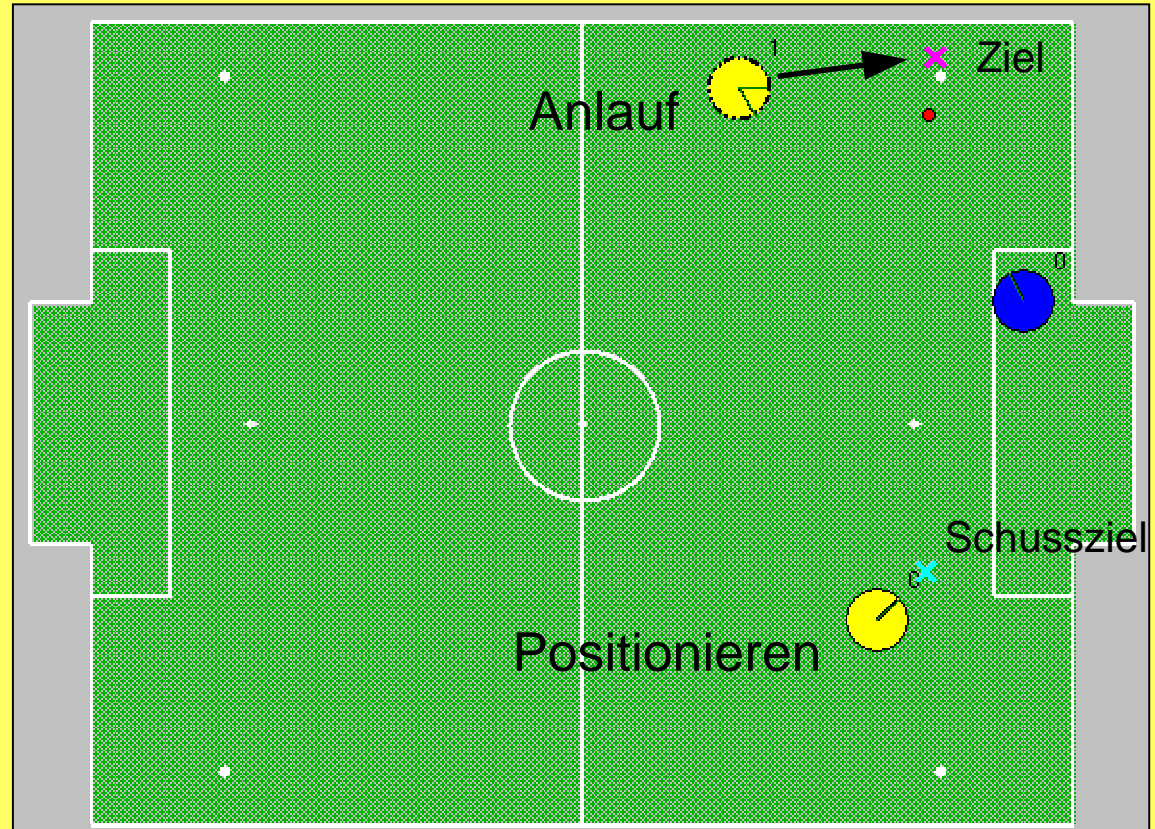
# Schuss



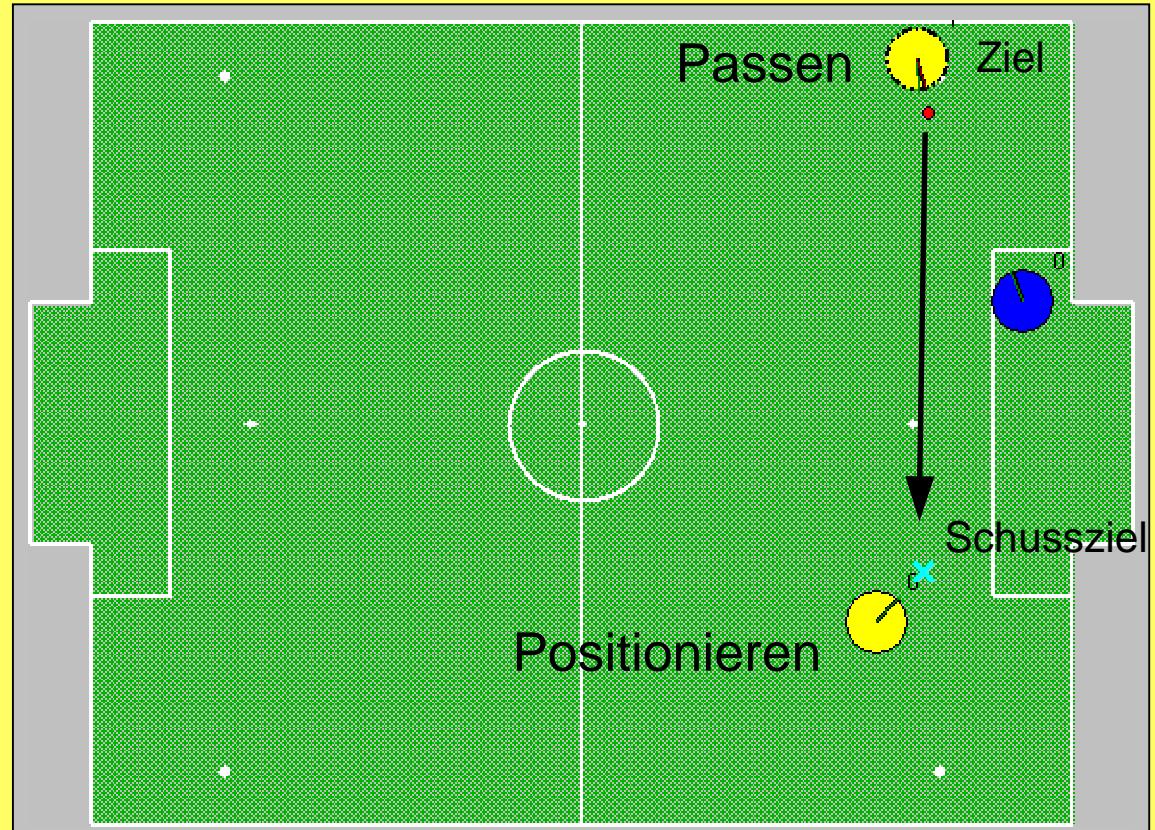
# Schuss



# Passen



# Passen

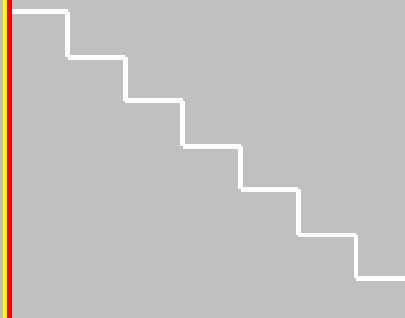


Anlauf

Positionieren

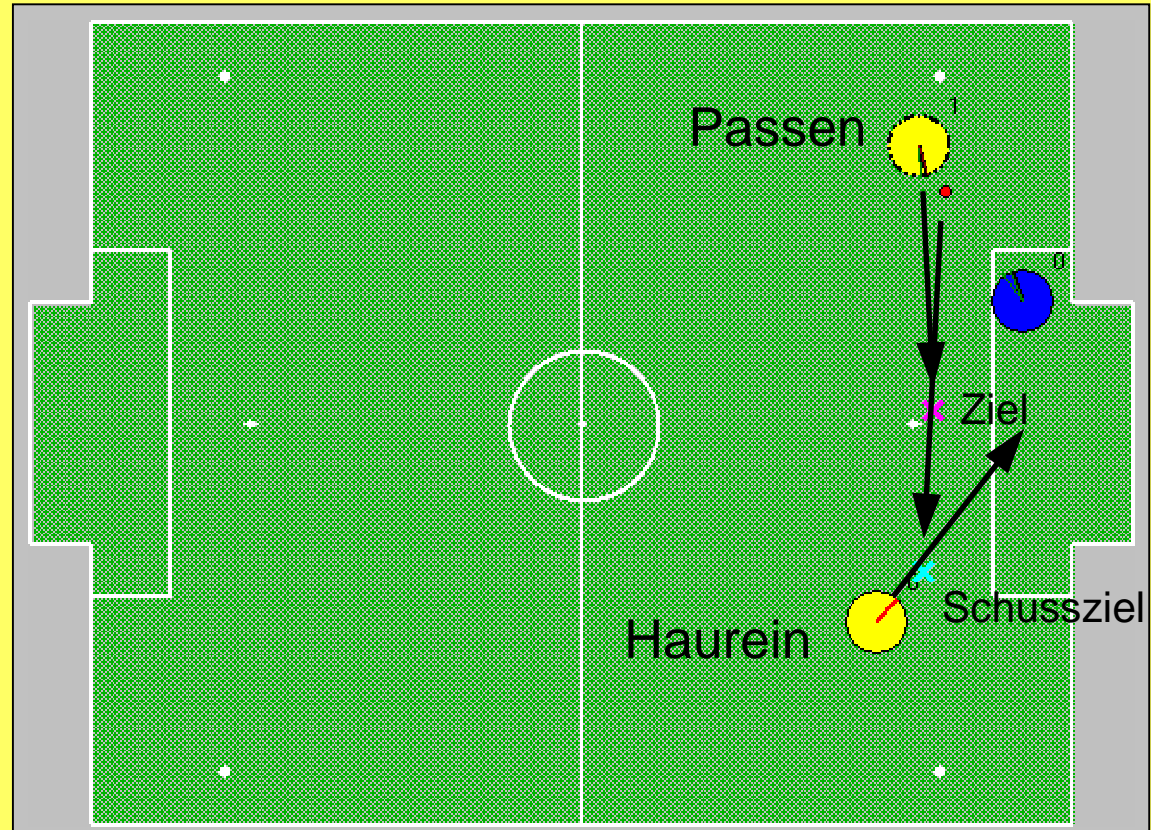
Passen

-94





# Passen



Anlauf

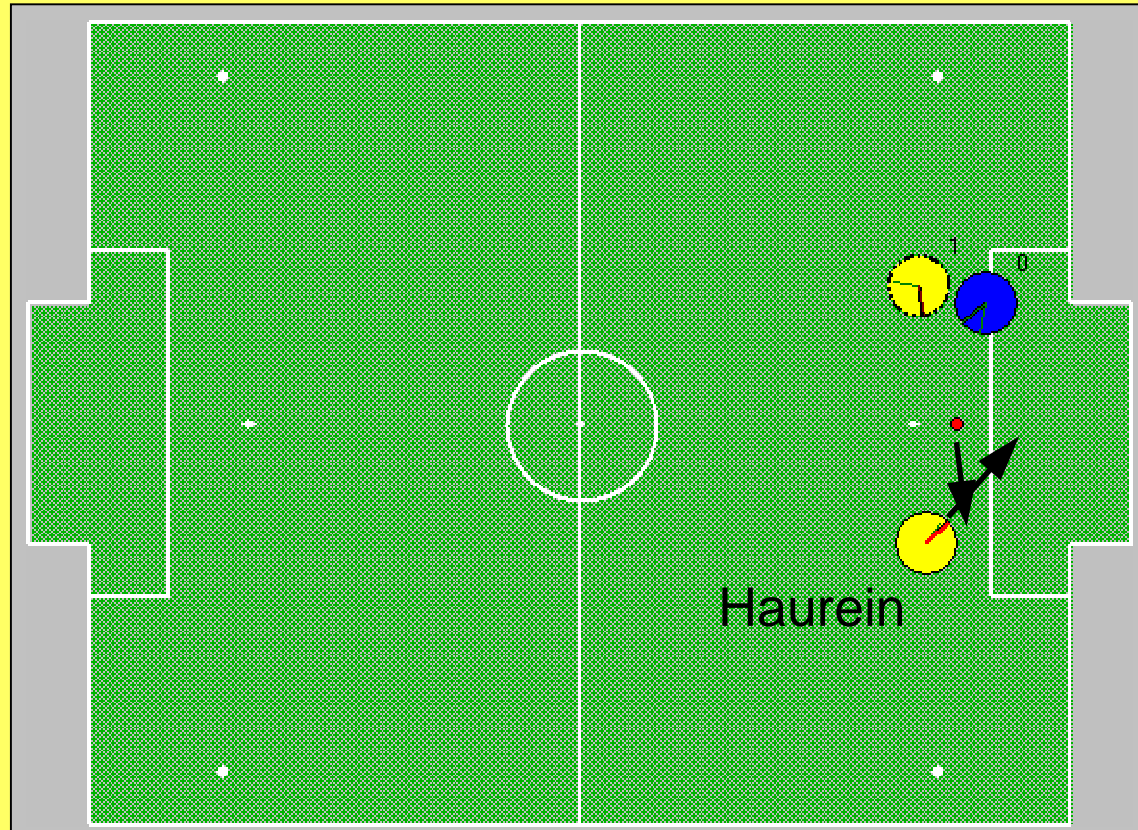
Positionieren

Passen

Haurein

-84

# Passen



Anlauf

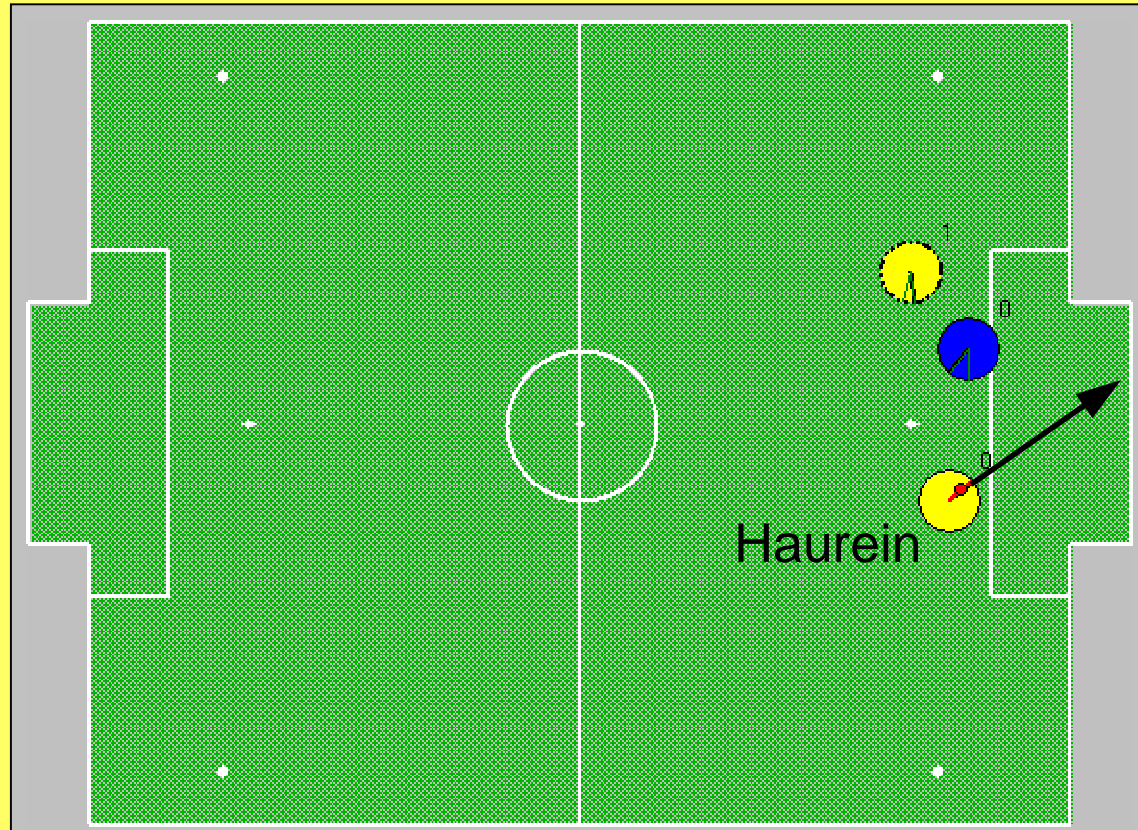
Positionieren

Passen

Haurein

-74

# Passen



Anlauf

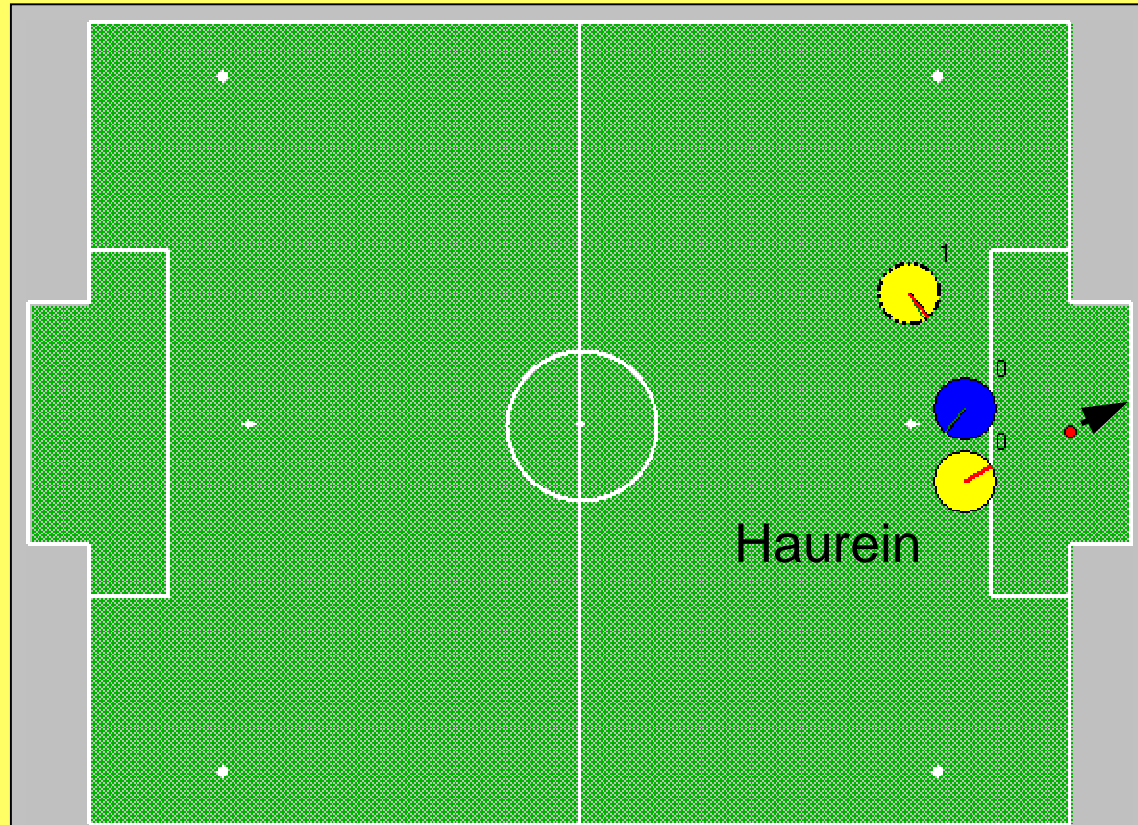
Positionieren

Passen

Haurein

-70

# Passen



Anlauf

Positionieren

Passen

Haurein

-65

# 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 Glove, Lars Knipping, Daniel Szer
- Andreas Schebesch, Martin Sprengel,  
Wolf Lindstrot, Lars Wolter, Mark Simon,  
Kirill Koulechov, Fabian Wiesel