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

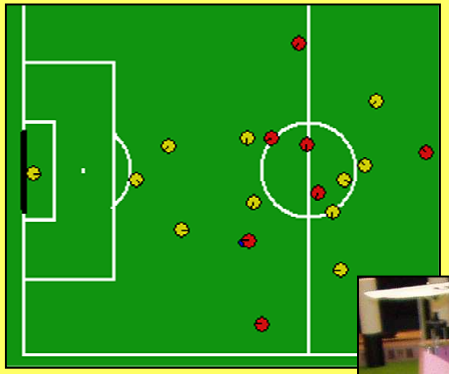
„Fungus Eater“ by Isabelle Follath
Masanao Toda 1962, Rolf Pfeifer 1994

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

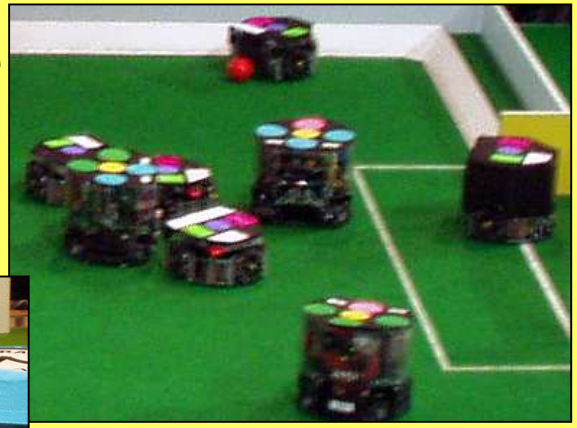
RoboCup

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

Simulation



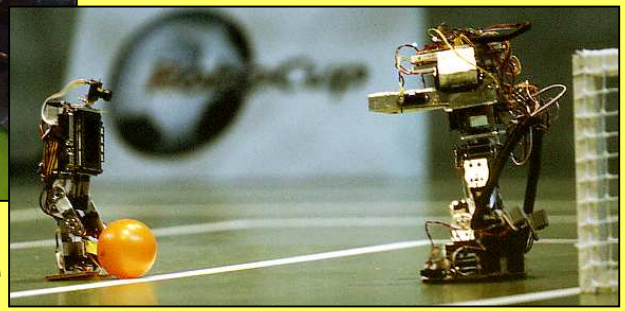
SmallSize



MidSize

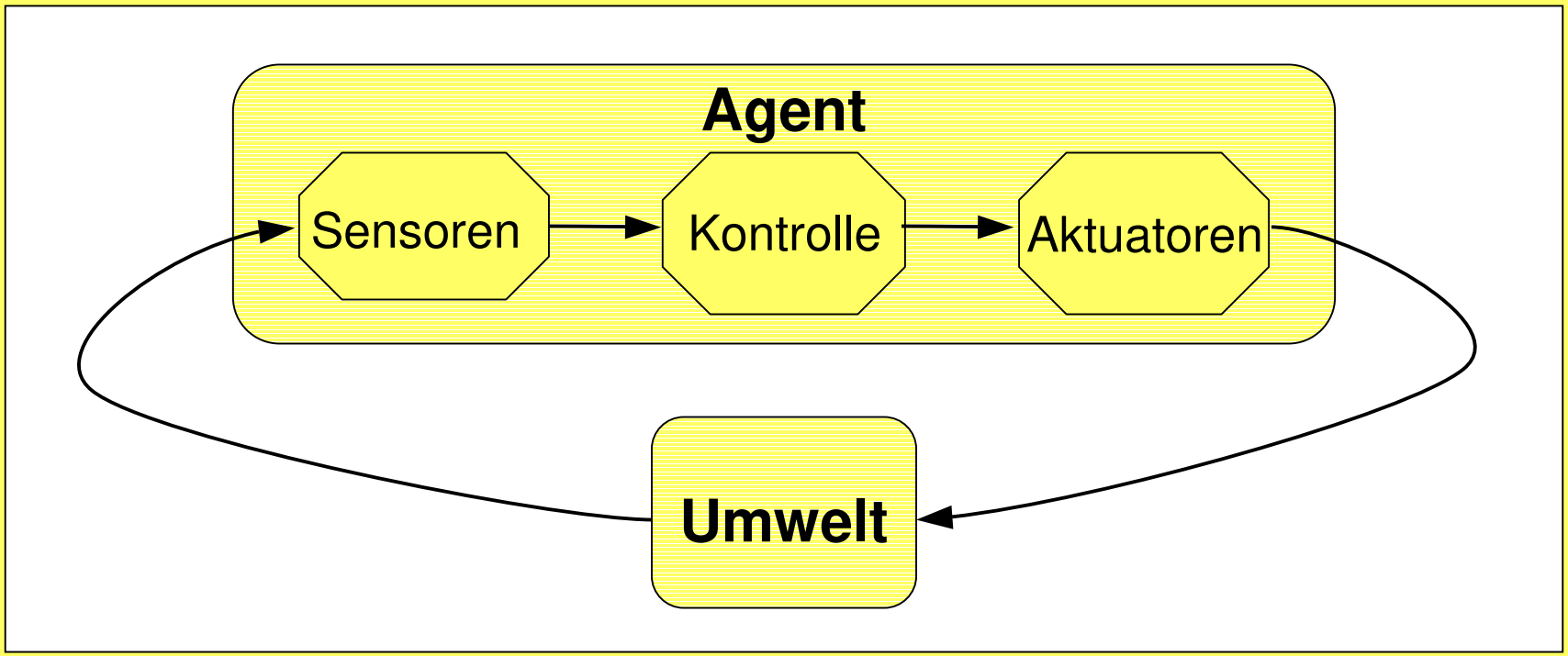
Sony Hunde

Humanoide



Problemstellung der Verhaltenssteuerung

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

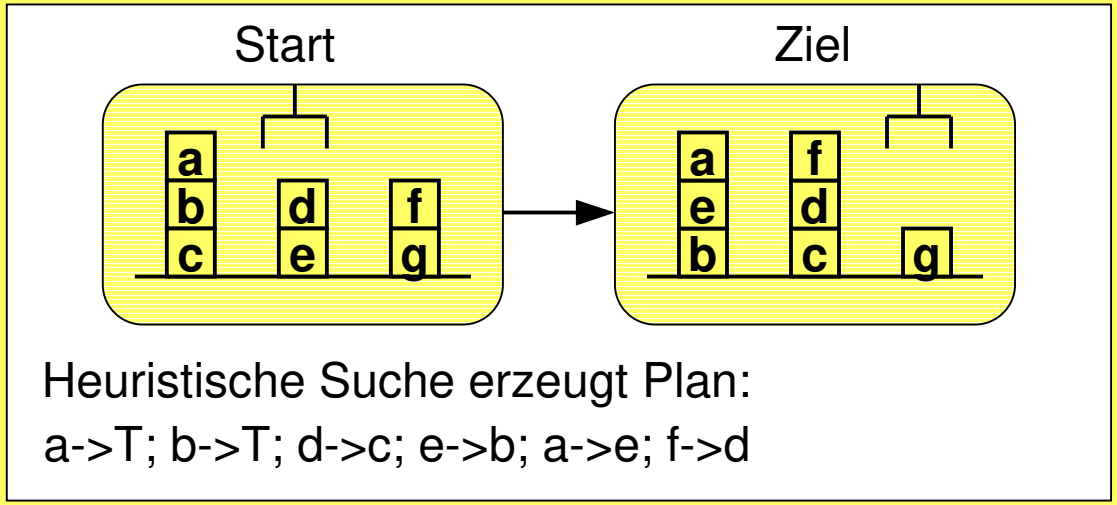


Architekturen zur Verhaltenssteuerung

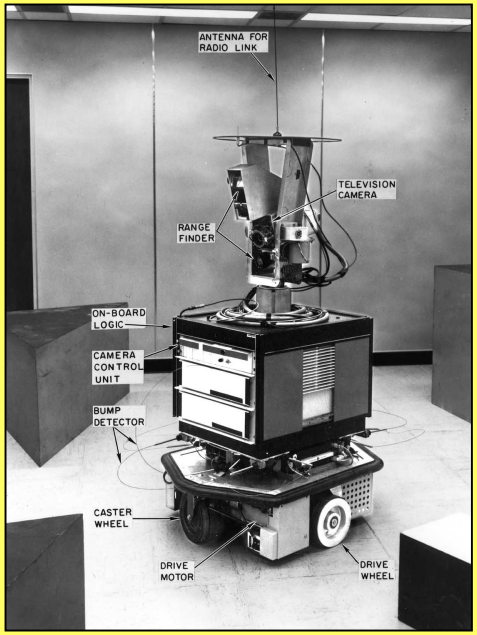
- deliberativ
  - sense-plan-act
  - langsam, komplex
- reaktiv
  - sense-act
  - schnell, primitiv
- hybrid
  - deliberative und reaktive Schicht
  - eventuell Zwischenschicht
- verhaltensbasiert
  - mehrere einfache Verhalten
  - Interaktion erzeugt Komplexität

Deliberative Verhaltenssteuerung

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

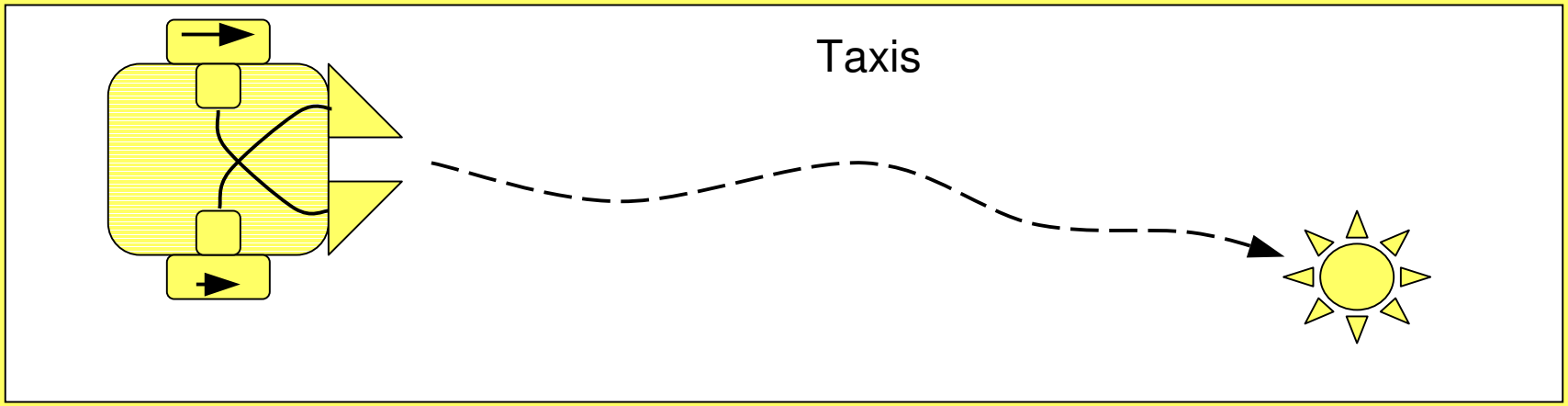


Heuristische Suche erzeugt Plan:
a->T; b->T; d->c; e->b; a->e; f->d



Reaktive Verhaltenssteuerung

- kein Weltmodell
- kein Plan
- direkte Kopplung von Sensoren und Aktuatoren
- Bsp.: Braitenberg Vehikel Valentino Braitenberg 1984

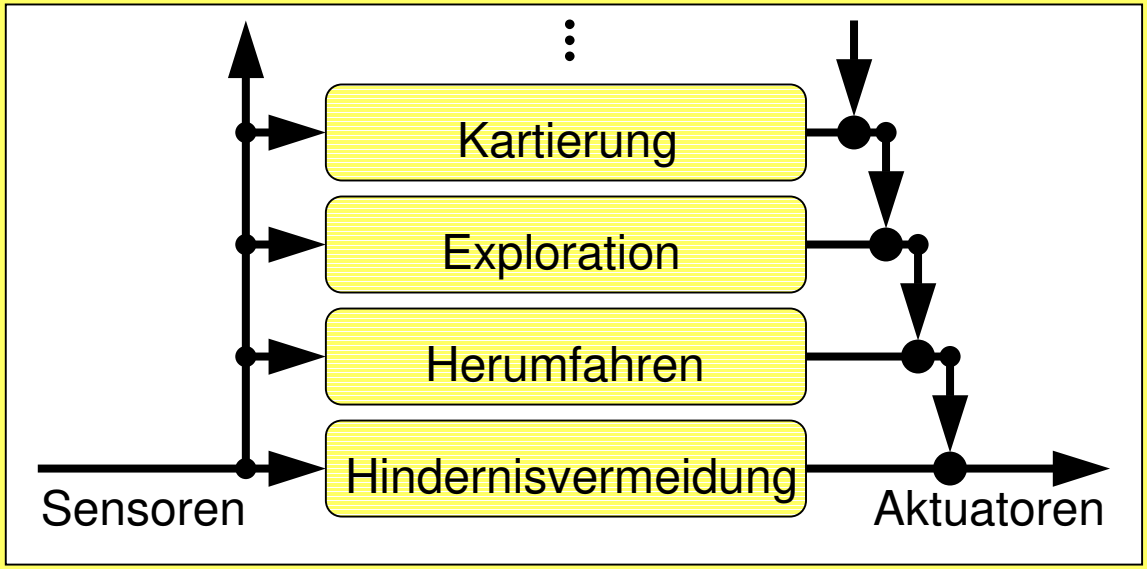


Hybride Verhaltenssteuerung

- 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

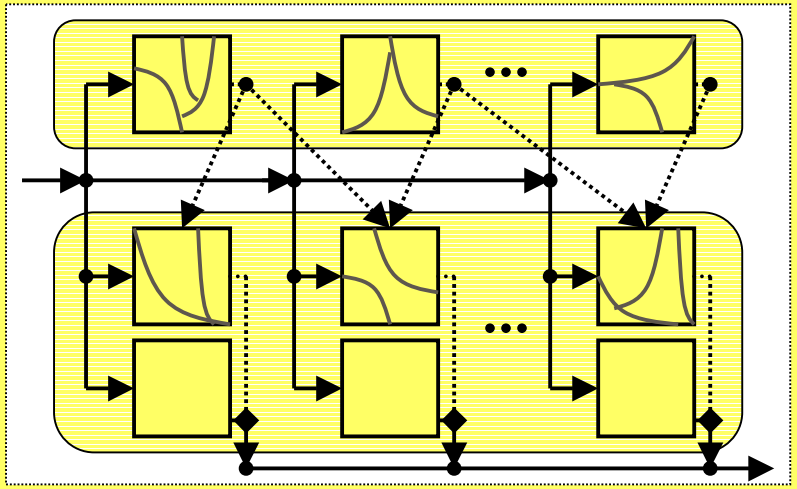
Subsumptionsarchitektur

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



Rodney Brooks 1985

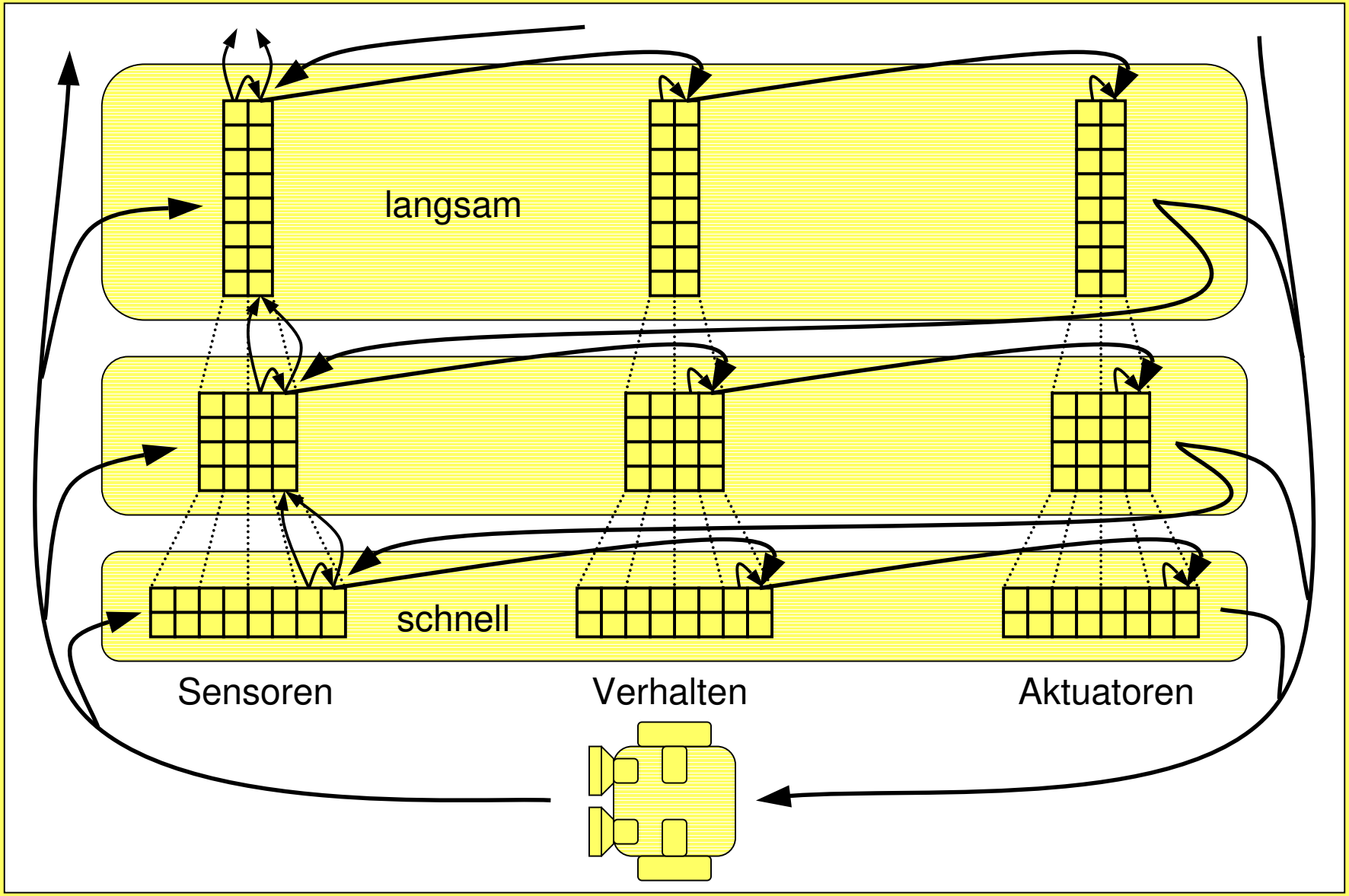
Dual Dynamics



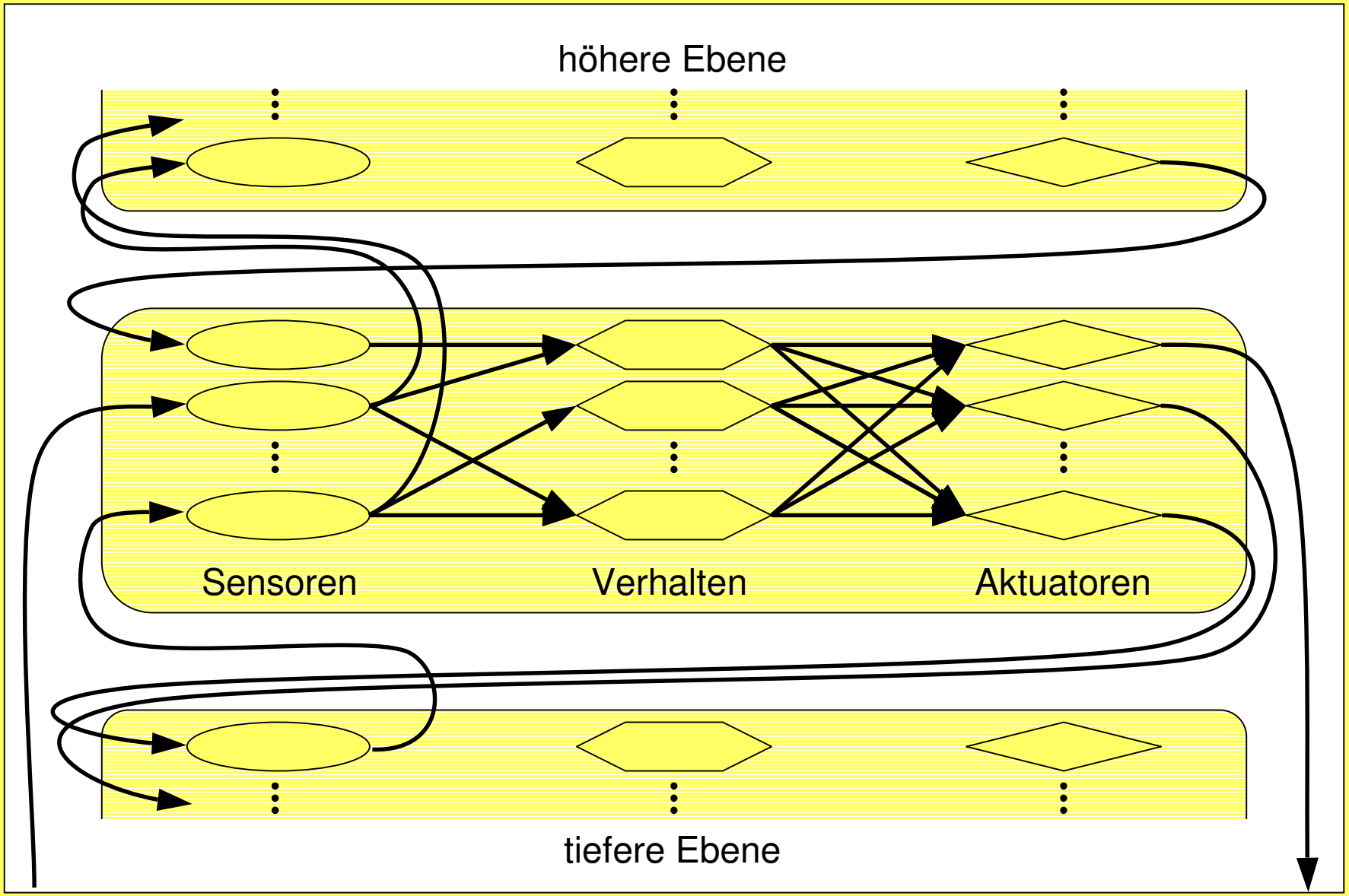
- verhaltensbasiert
- dynamische Systeme
- zwei Verhaltensarten: elementar, komplex
- elementare Verhalten haben zwei Module:
  - Aktivierungsdynamik: Soll ich jetzt etwas tun?
  - Zieldynamik: Was soll ich tun?
- keine Zieldynamik bei komplexen Verhalten
- Modi, Bifurkationen, Multifunktionalität

Herbert Jaeger 1995

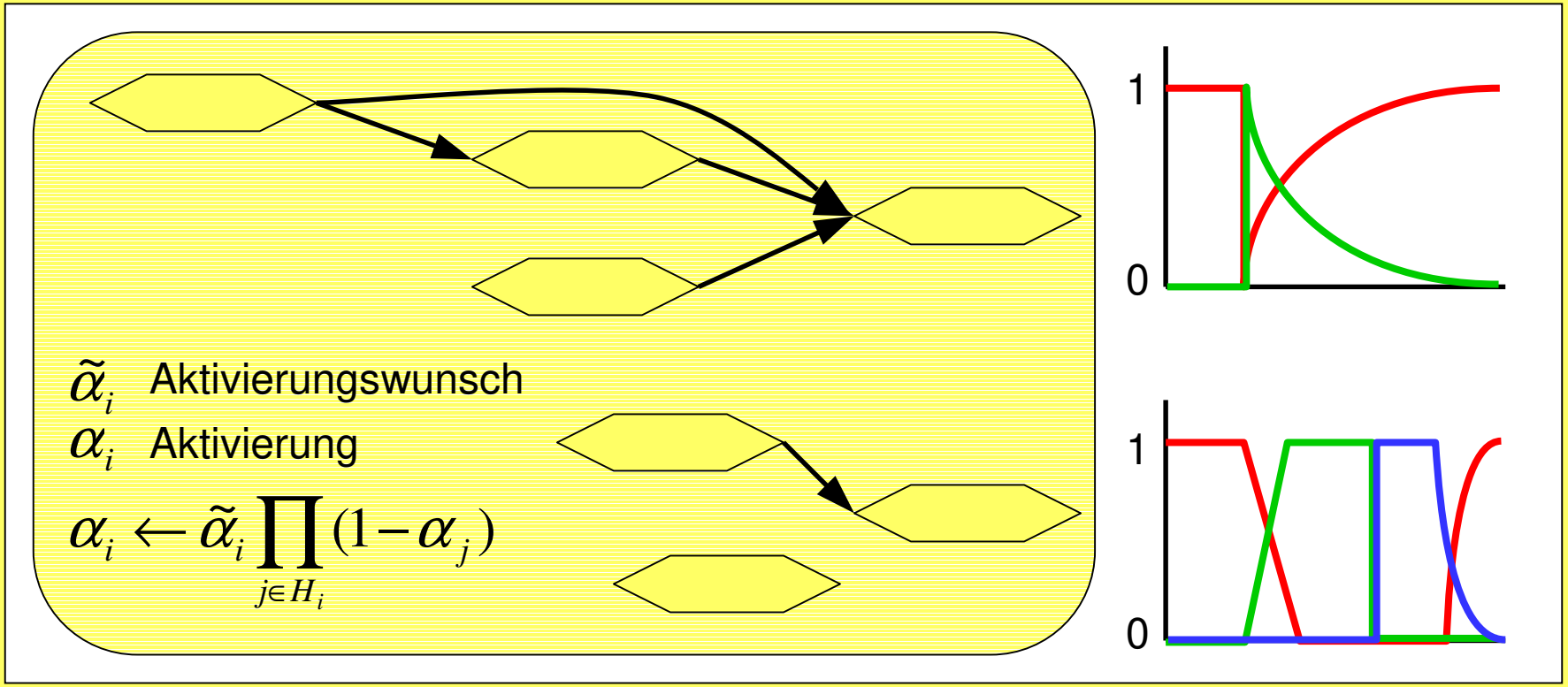
Hierarchie reaktiver Verhalten



Aufbau einer Ebene



Hemmung von Verhalten



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

Aktuatordynamik

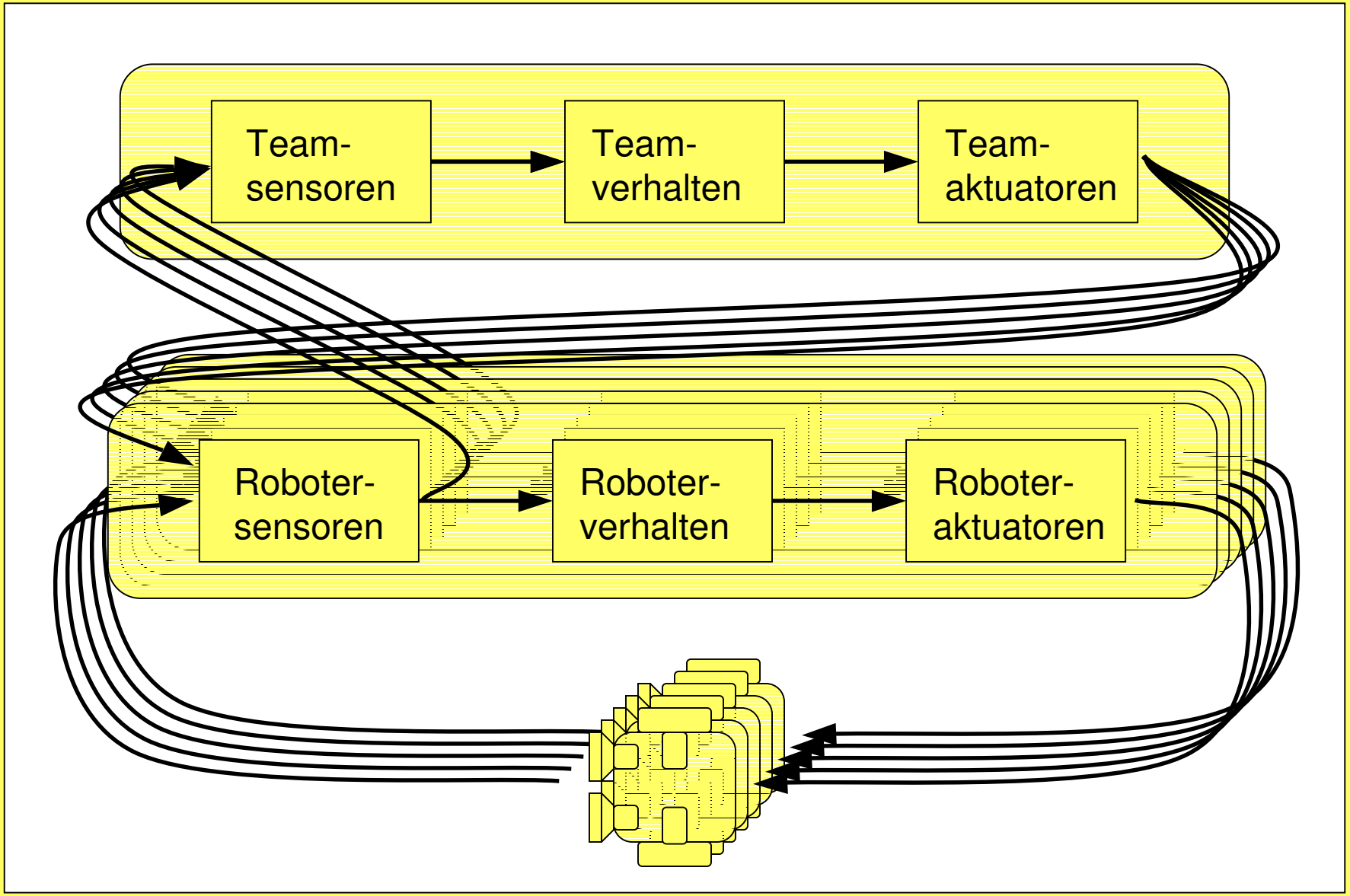
- Typen
  - Float
  - Vektor
  - Boolean
  - Objekt
    - Roboter
    - Ball
    - Tor
    - Position
- Kombination
  - gewichtetes Mittel

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

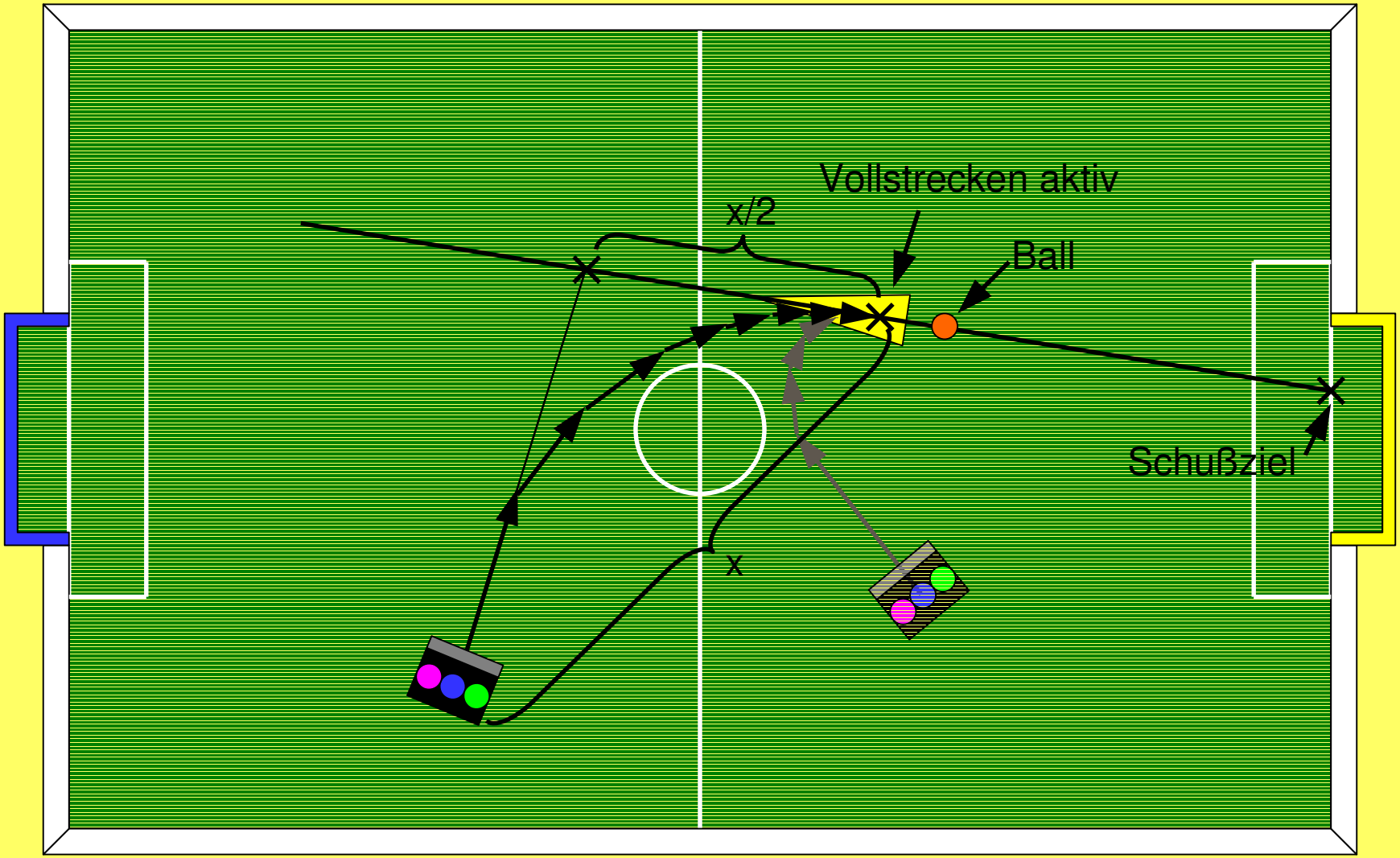
$$a_i \leftarrow a_i + \begin{cases} \Delta_i / \Xi_i & : \Xi_i > 1 \\ \Delta_i & : \text{else} \end{cases}$$

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

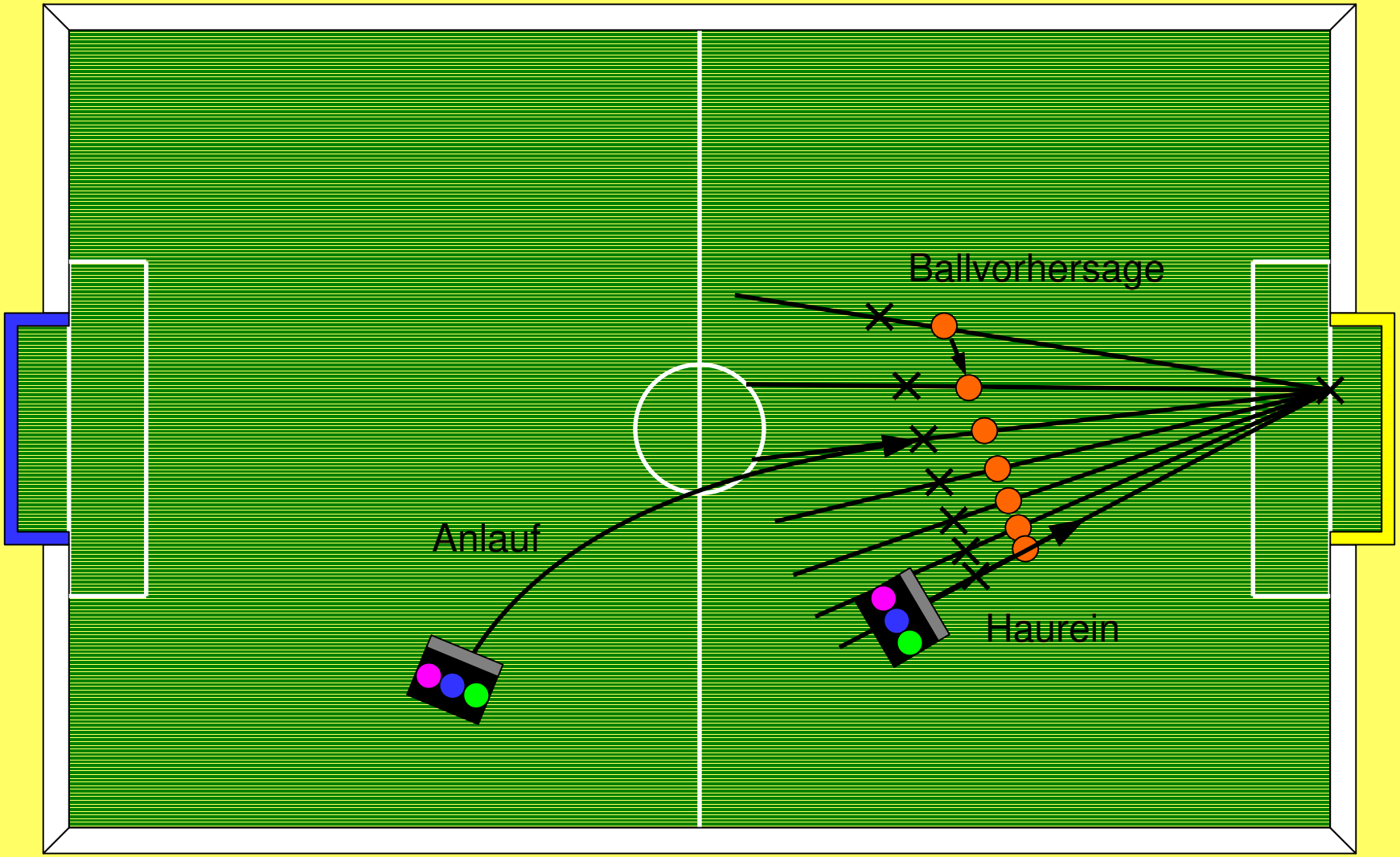
Team-Ebenen


Team-
sensoren
Team-
verhalten
Team-
aktuatoren
Roboter-
sensoren
Roboter-
verhalten
Roboter-
aktuatoren

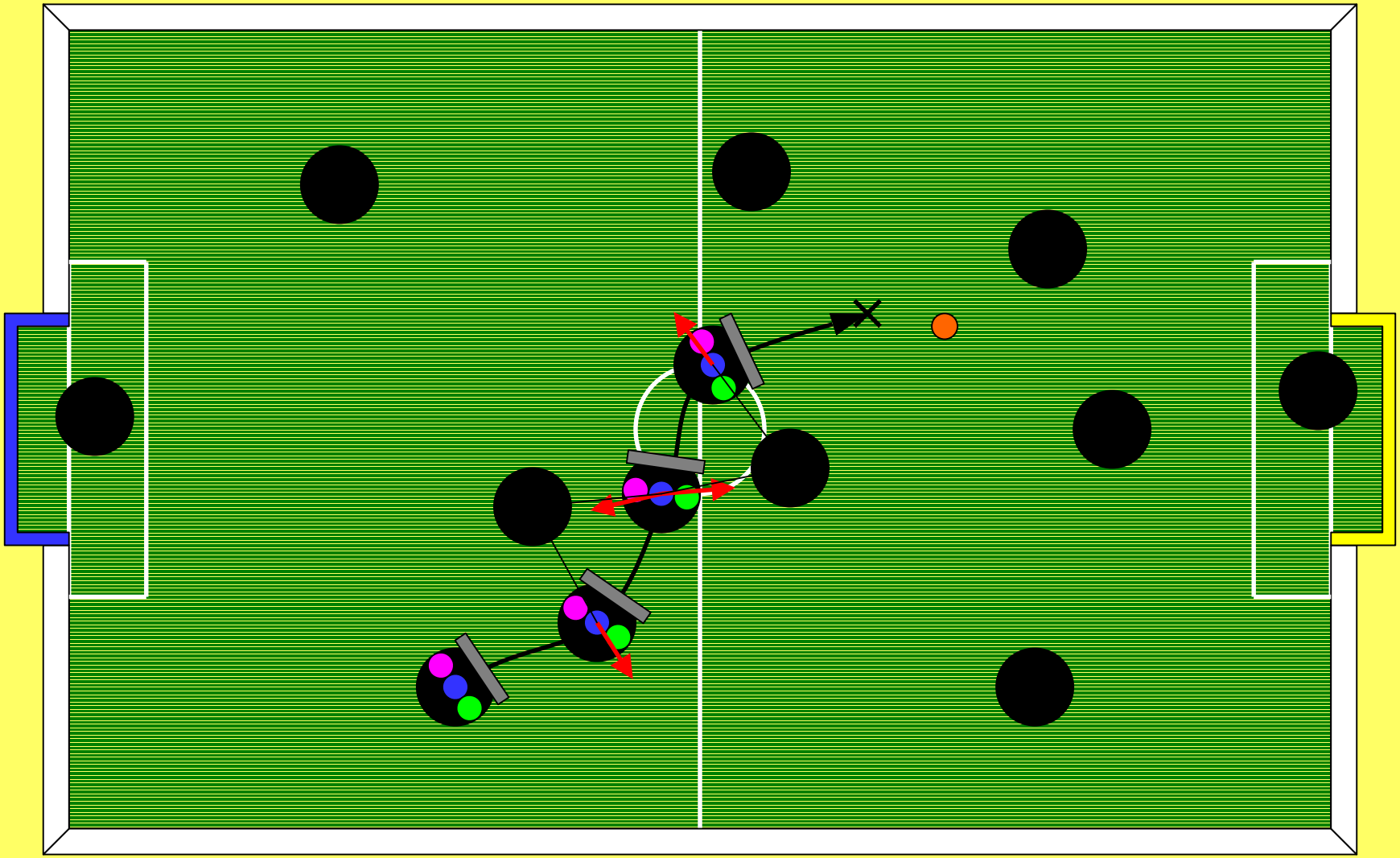
Anlauf



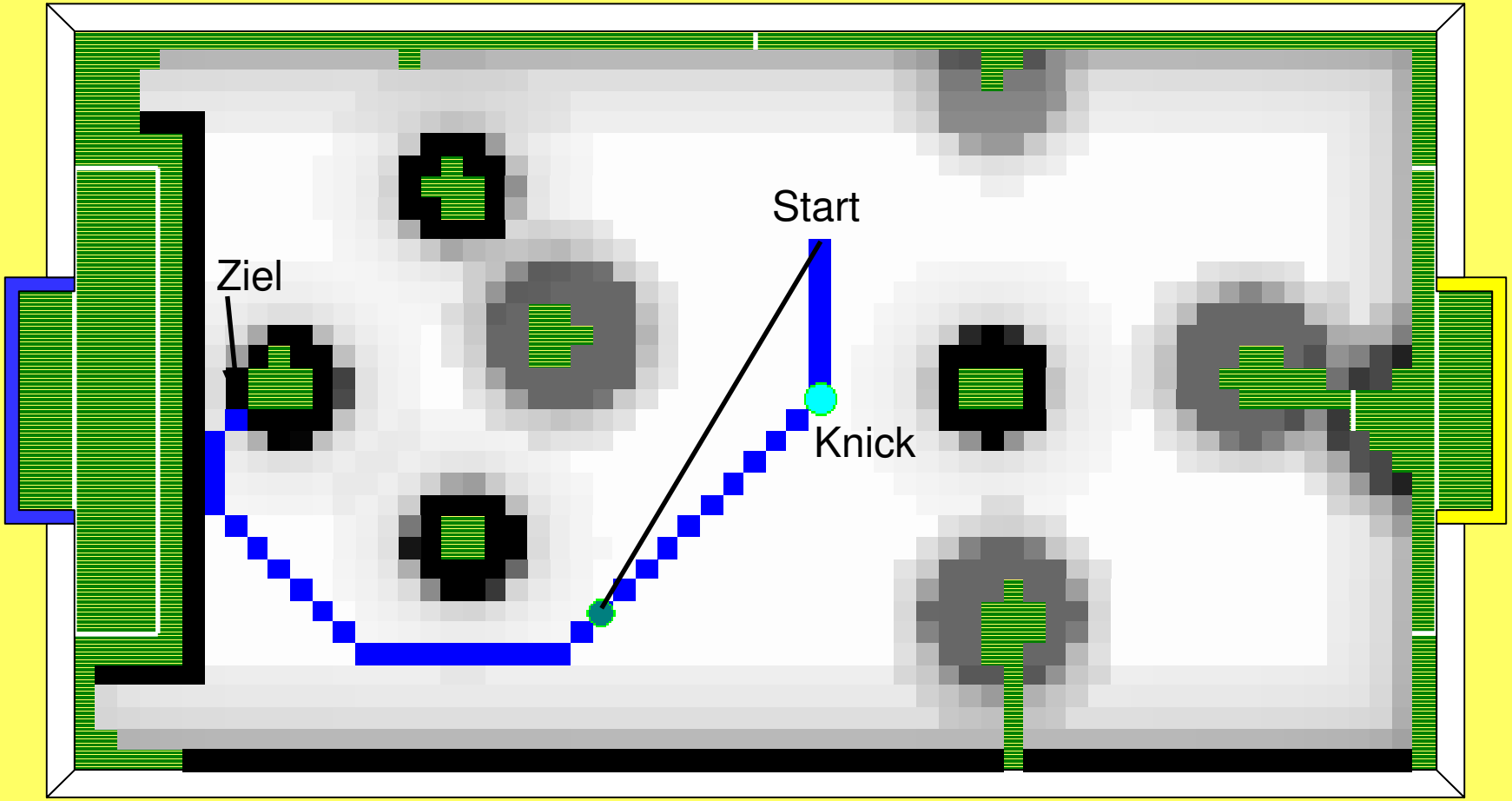
Ball abfangen



Panikausweichen



Pfadplanung



- Dynamische Programmierung
- Best-First-Suche

Vorhersagen

- Problem: Regelverzögerung 100...150ms
- exakt und langsam oder schell 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

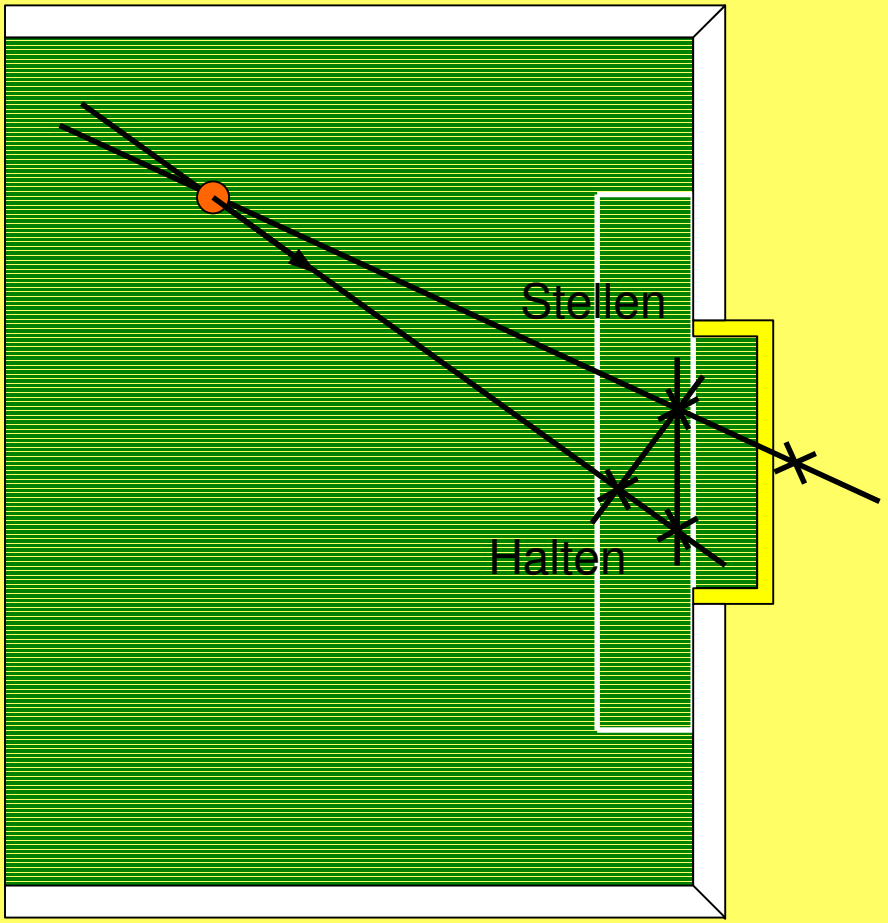
Ebene 0:

Stellen, Halten,

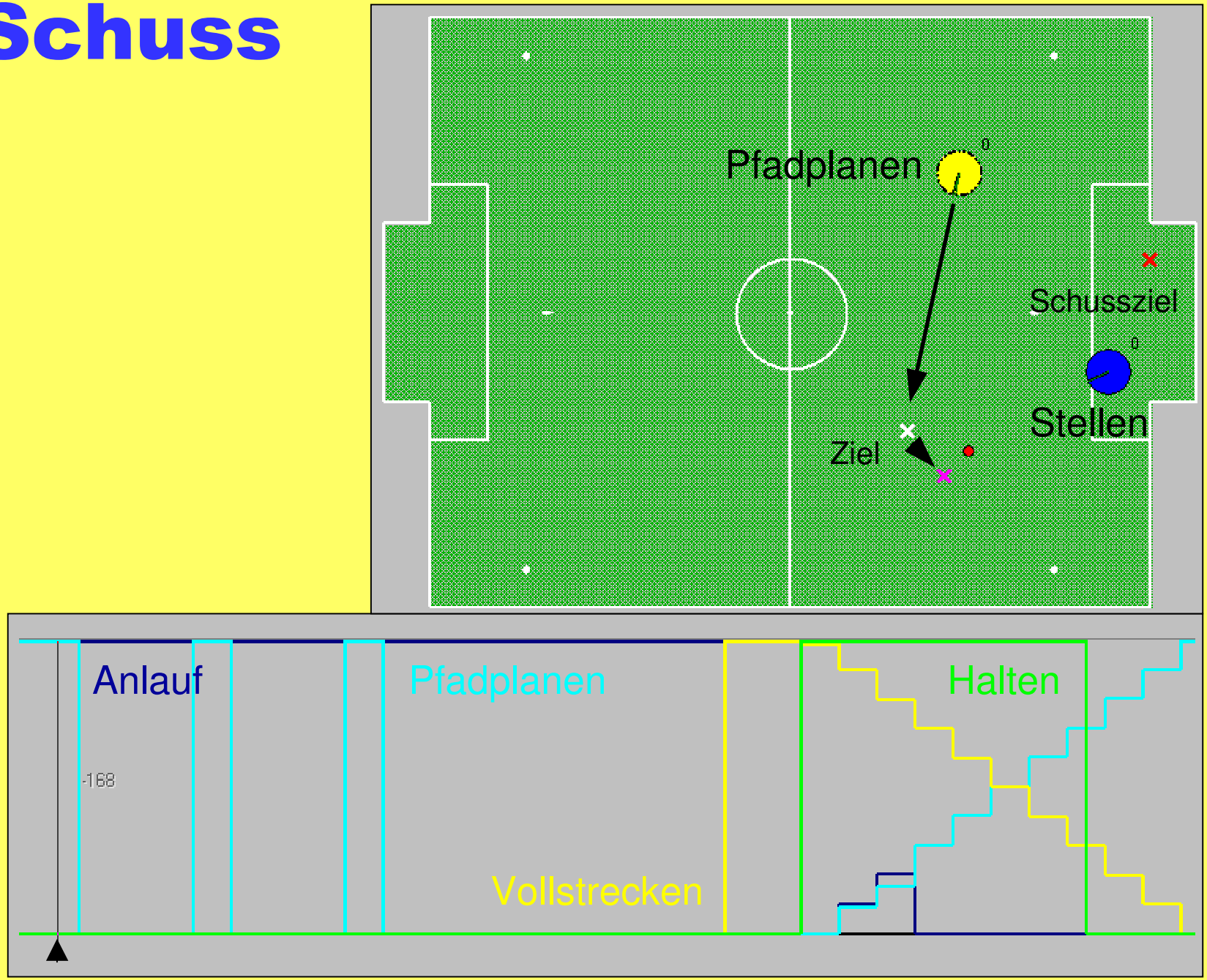
Hauweg, Elfmeter, ...

Ebene –1:

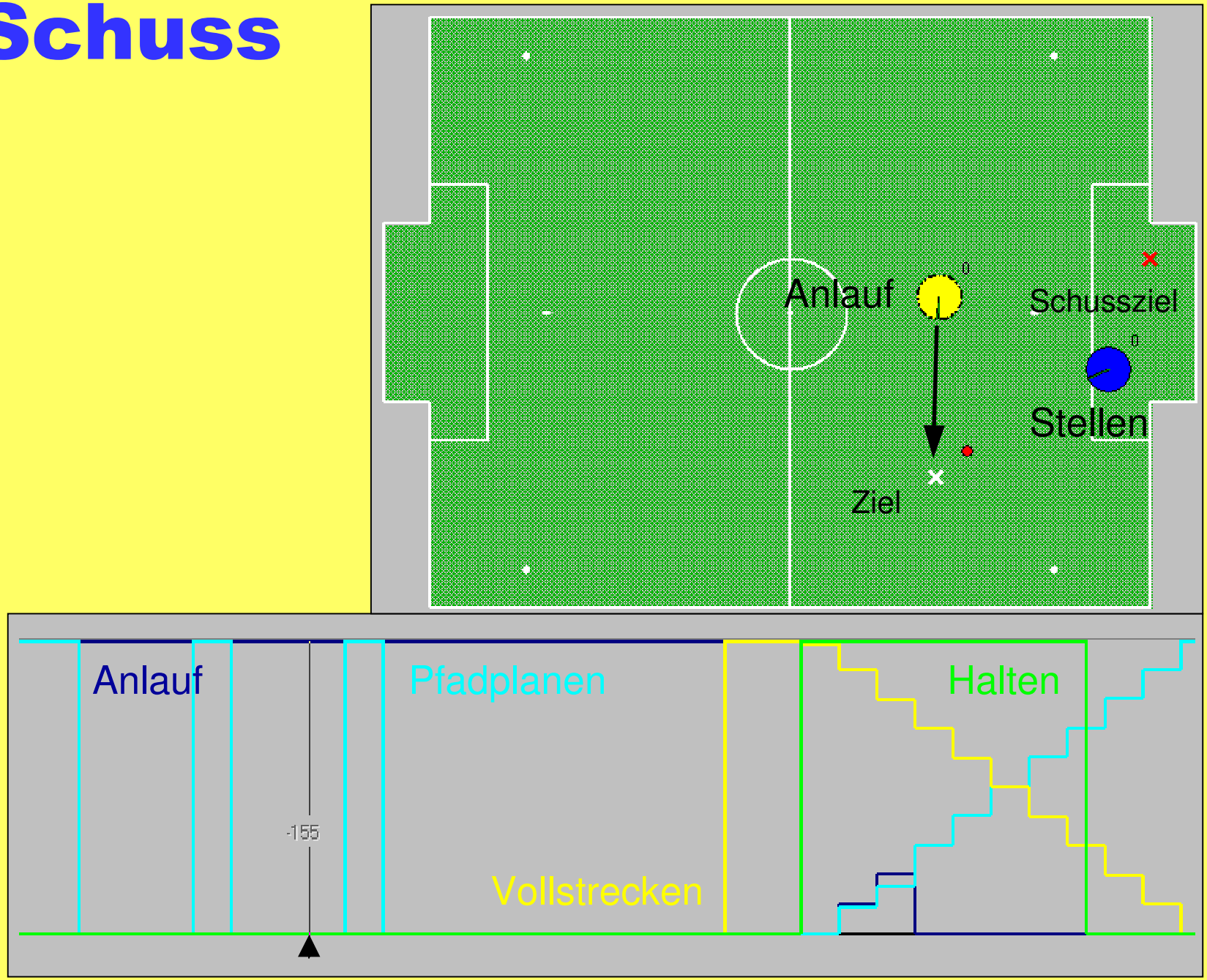
Bewegungsregelung



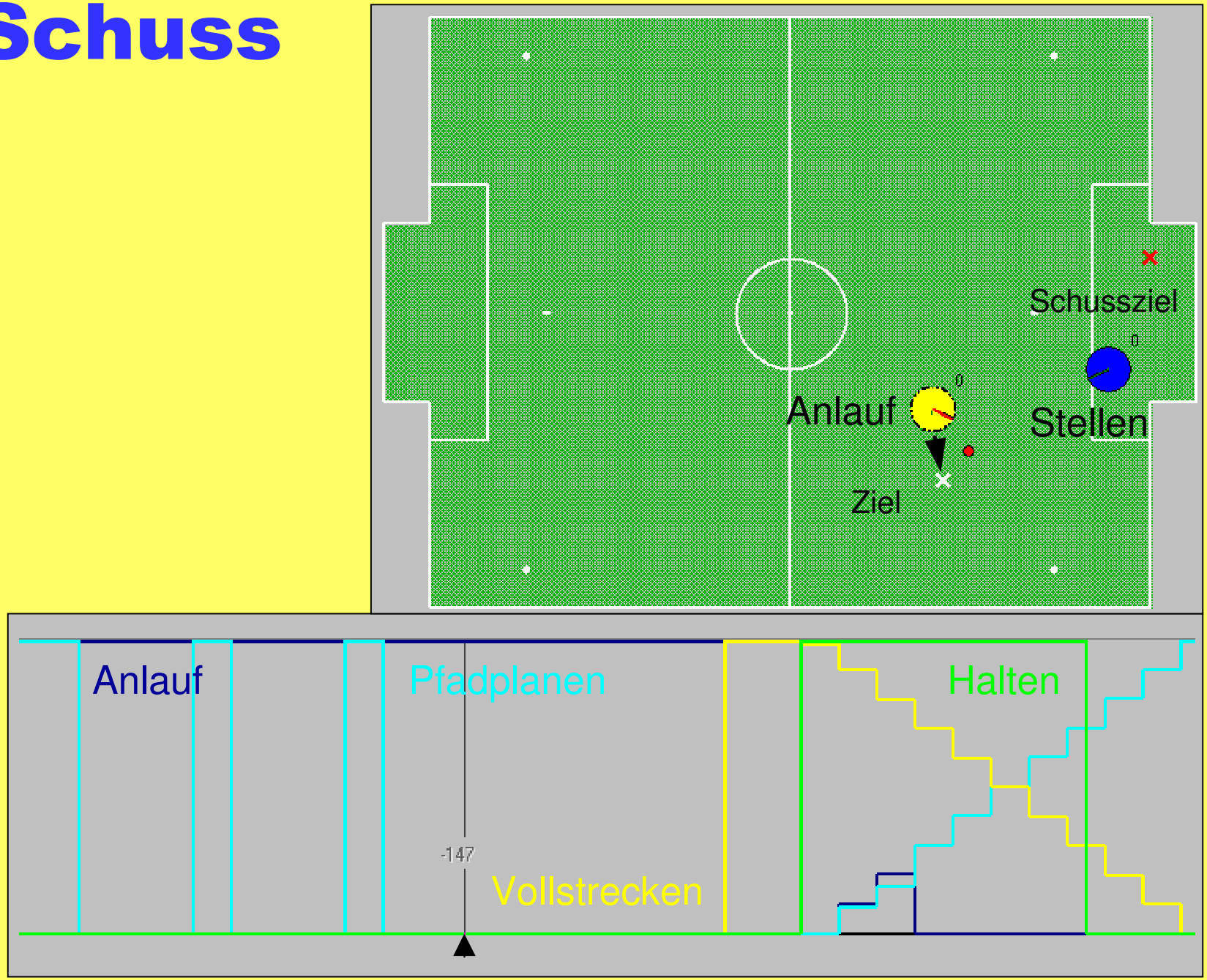
Schuss


Pfadplanen
Schussziel
Stellen
Ziel
Anlauf
Pfadplanen
Halten
Vollstrecken

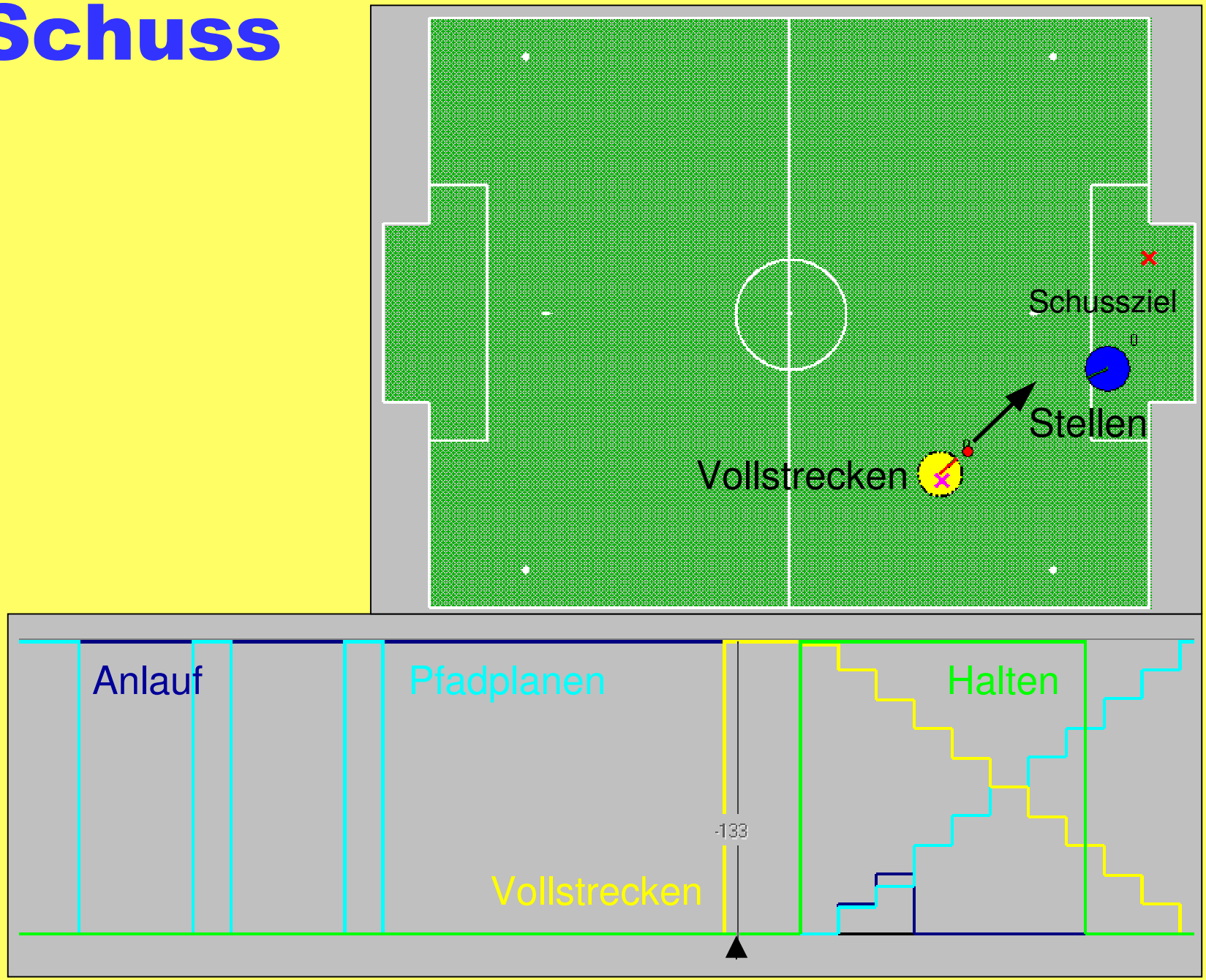
Schuss


Anlauf
Schussziel
Stellen
Ziel
Anlauf
Pfadplanen
Halten
155
Vollstrecken

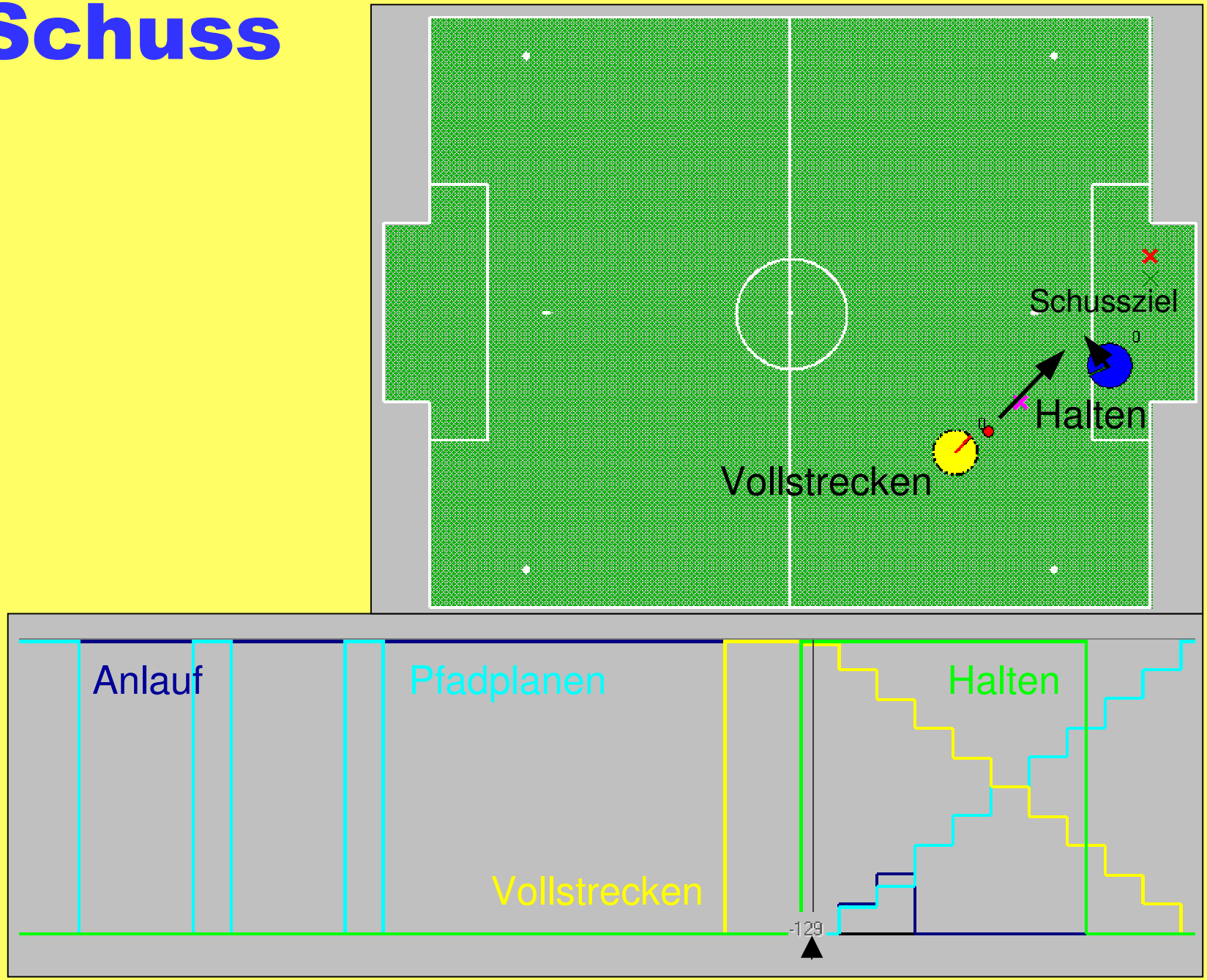
Schuss


Schussziel
0
Anlauf
0
Stellen
Ziel
Anlauf
Pfadplanen
Halten
-147
Vollstrecken

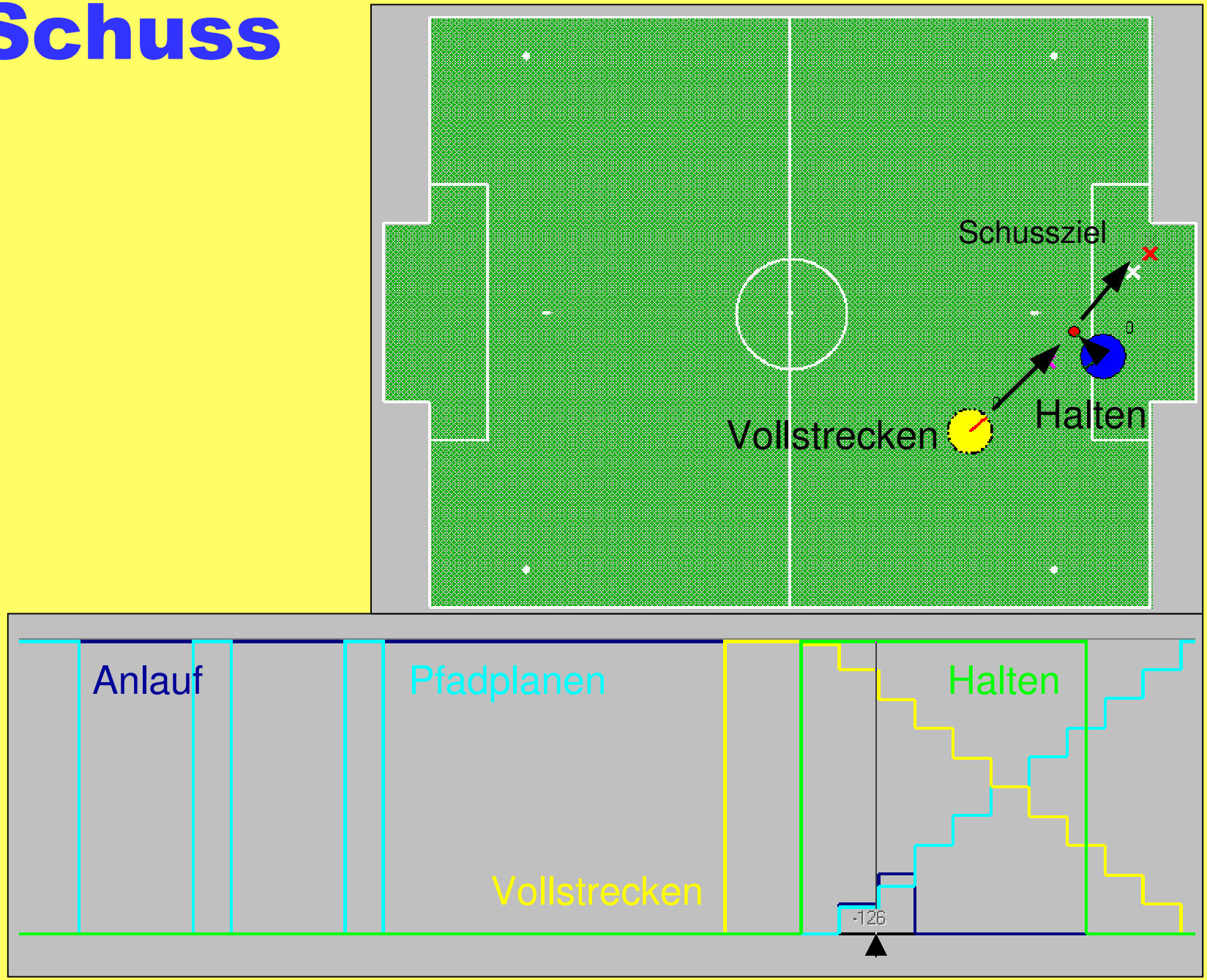
Schuss


Schussziel
Stellen
Vollstrecken
Anlauf
Pfadplanen
Halten
Vollstrecken

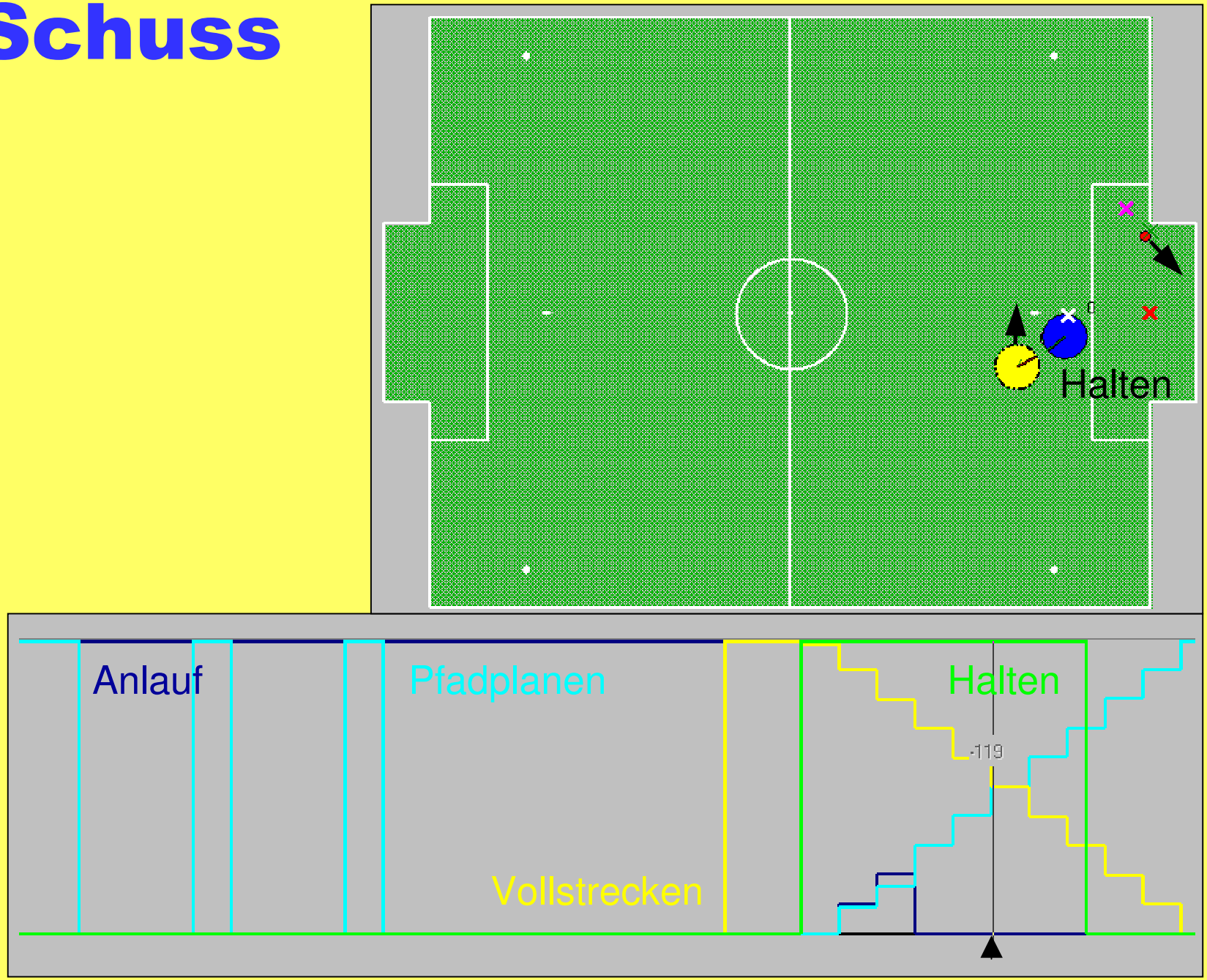
Schuss


Schussziel
Halten
Vollstrecken
Anlauf
Pfadplanen
Halten
Vollstrecken
-129

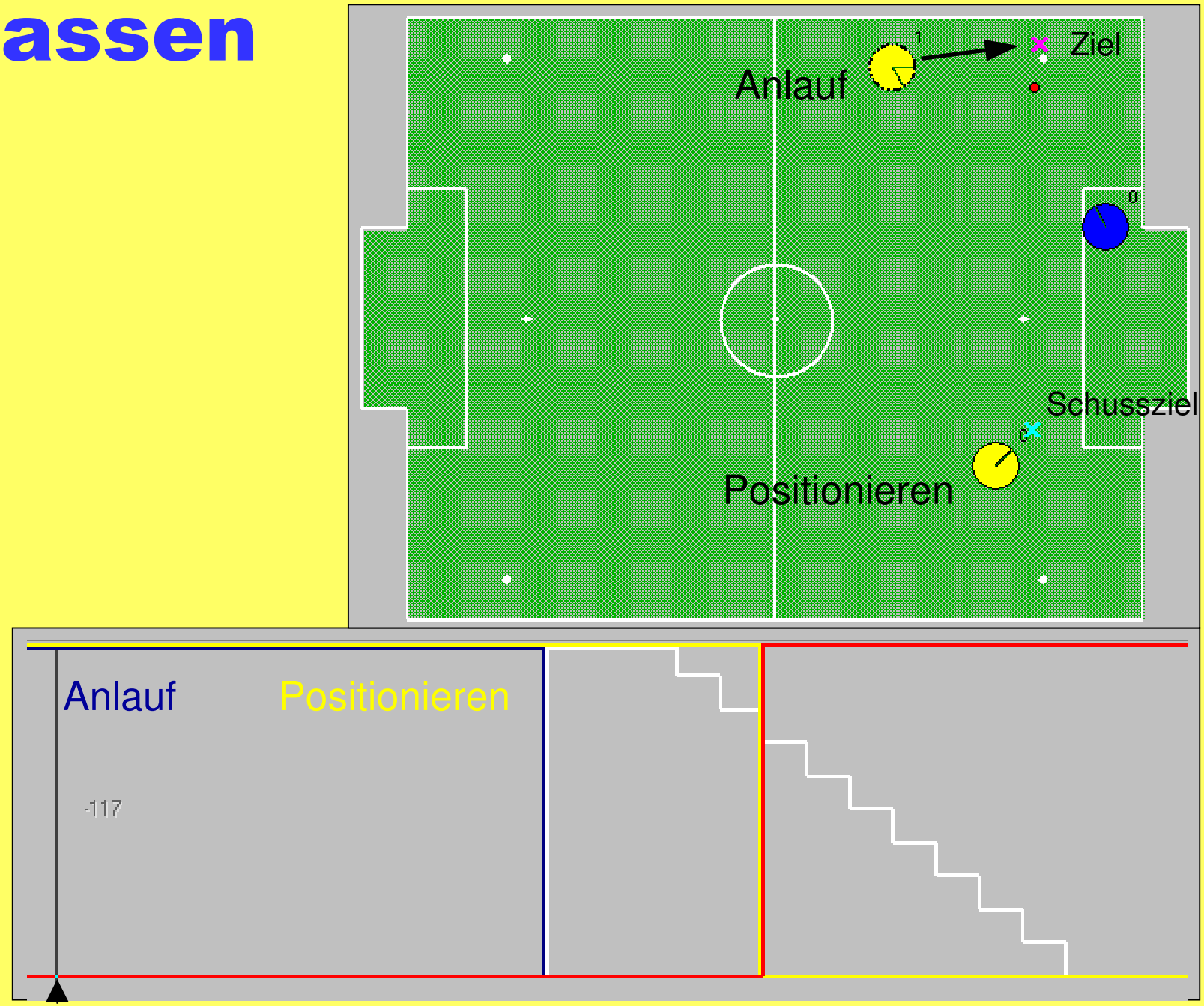
Schuss


Schussziel
Vollstrecken
Halten
Anlauf
Pfadplanen
Halten
Vollstrecken
-126

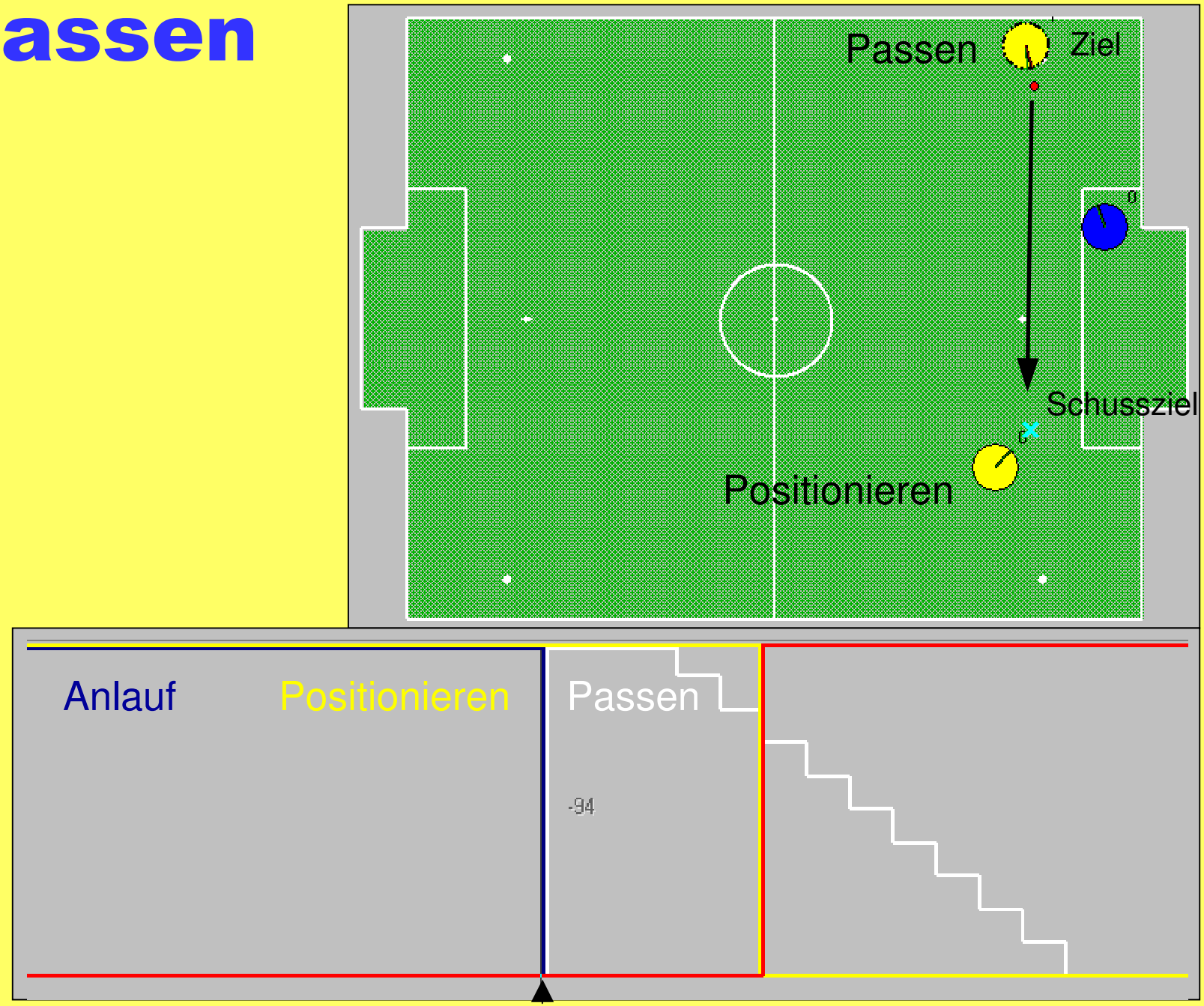
Schuss



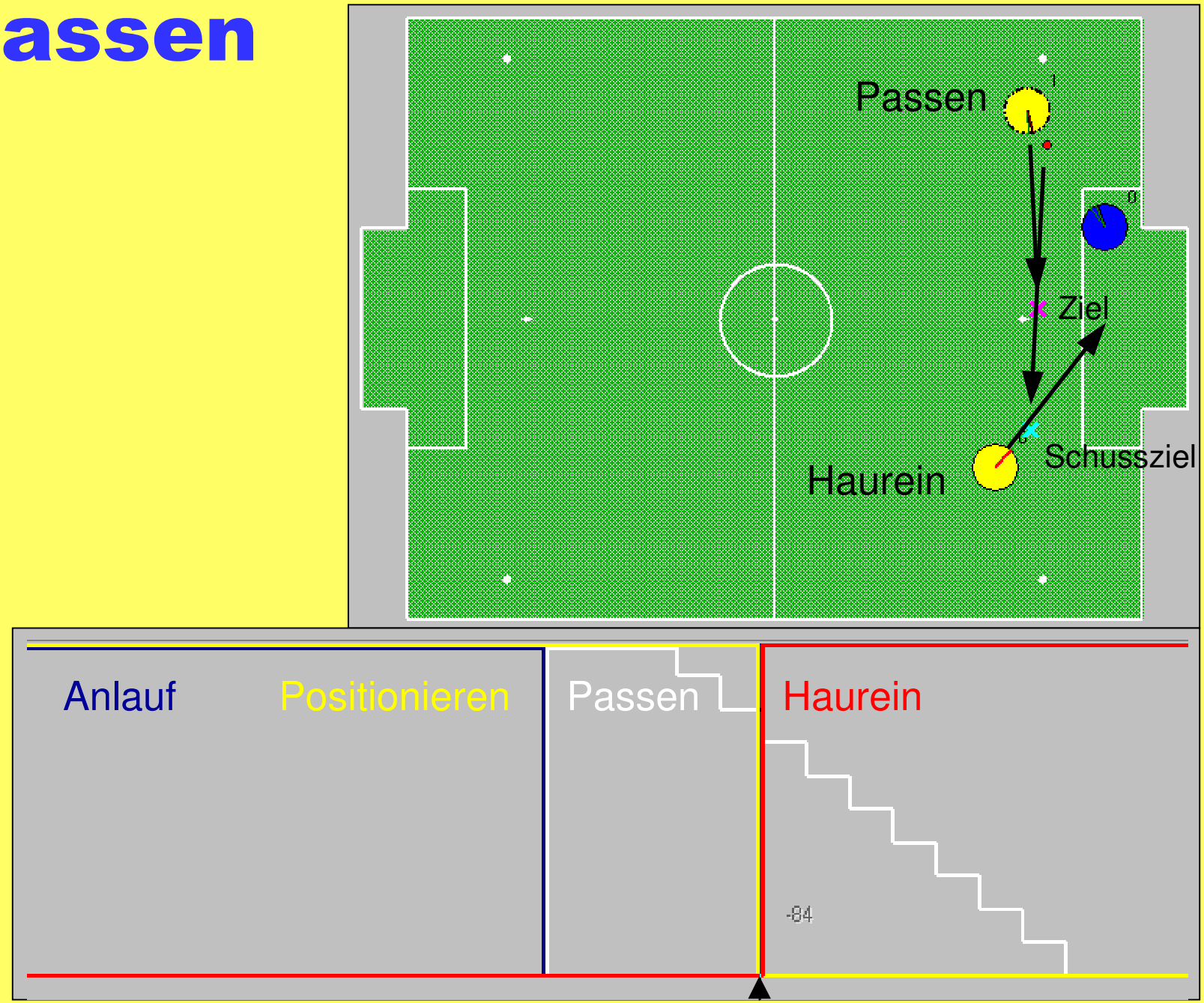
Passen


Anlauf
Ziel
Schussziel
Positionieren
Anlauf
Positionieren
-117

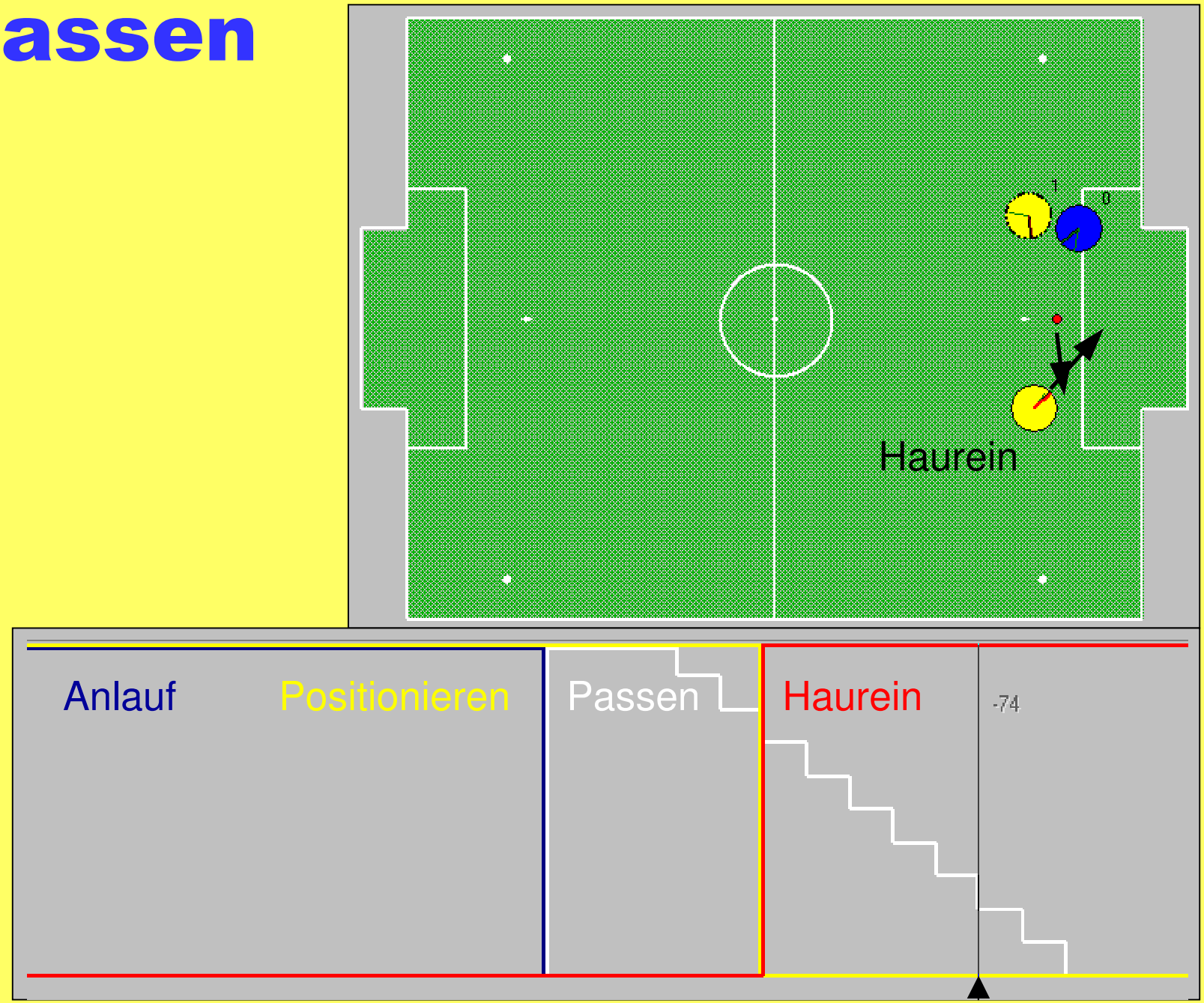
Passen


Passen
Ziel
Schussziel
Positionieren
Anlauf
Positionieren
Passen
-94

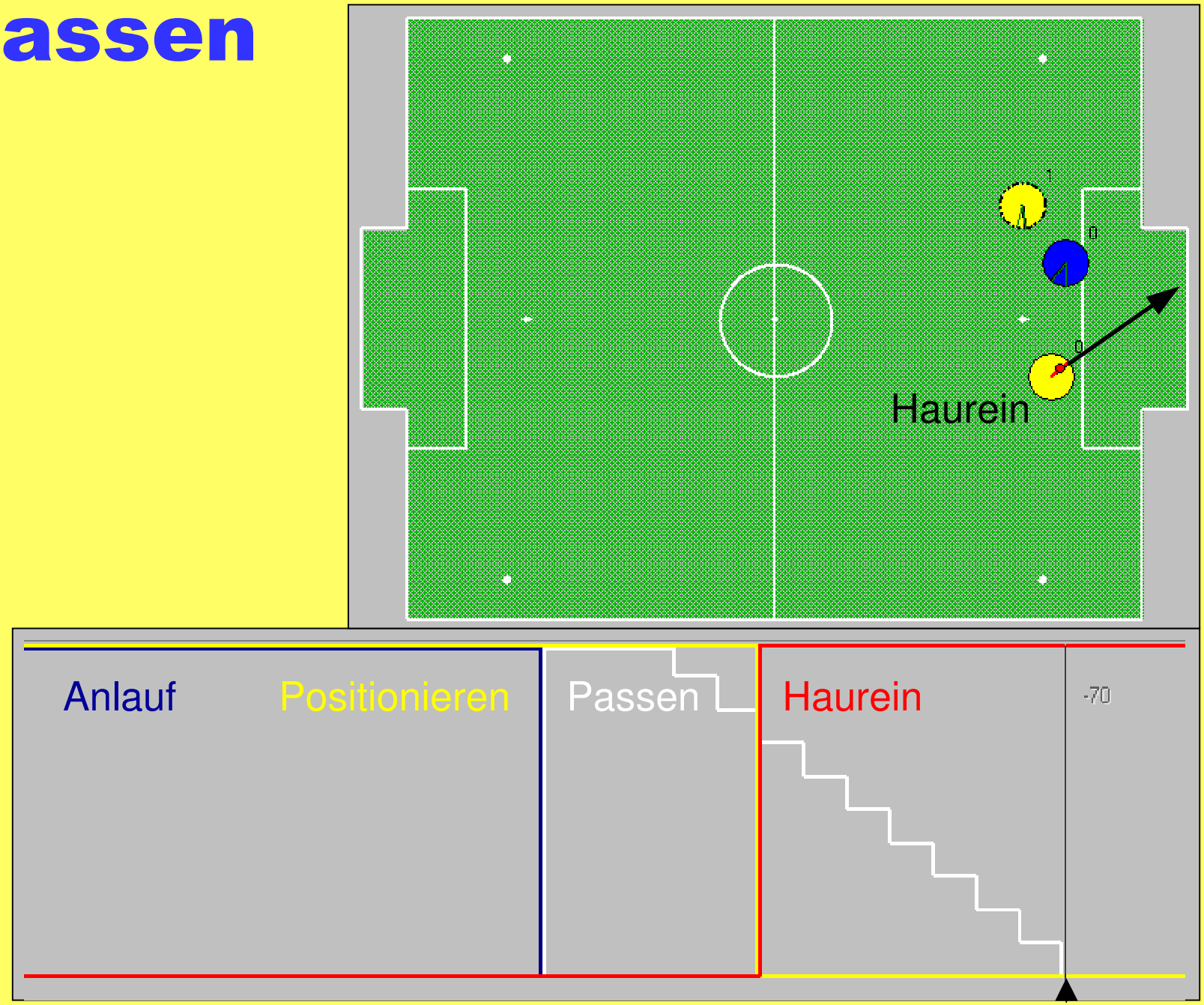
Passen


Passen
Ziel
Schussziel
Haurein
Anlauf
Positionieren
Passen
Haurein
-84

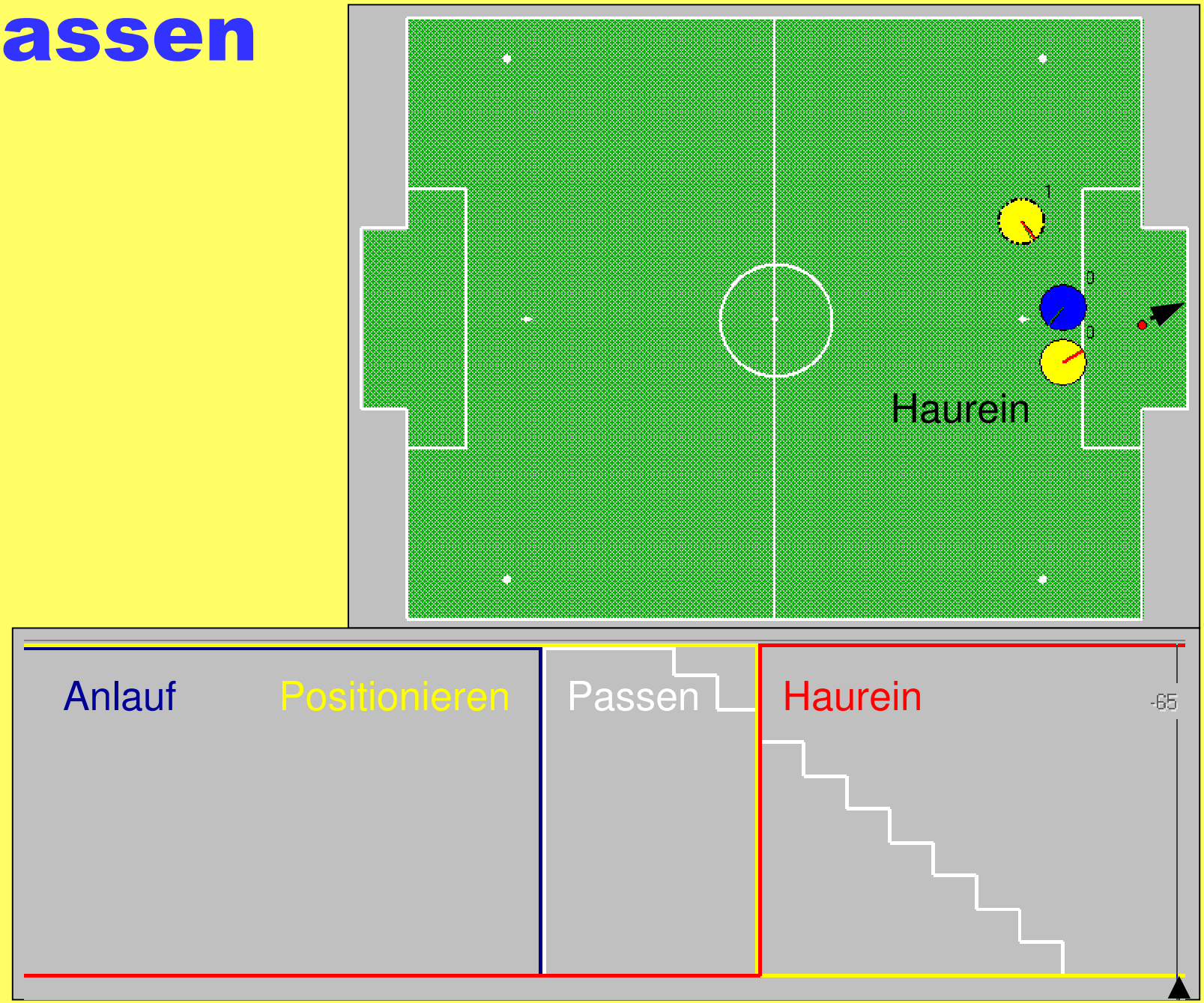
Passen



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