

Projektgruppenantrag

1 Thema

Embodied AI in Action:
Vom menschlichen Pass zum robotischen Torabschluss

2 Zeitraum

Wintersemester 2025/2026 und Sommersemester 2026

3 Veranstalter

Prof. Dr. Falk Howar
Raum OH12 2.009
falk.howar@tu-dortmund.de

<u>M.Sc. Arne Moos</u>	<u>M.Sc. Diana Kleingarn</u>
Raum C1-03-404	Raum C1-03-404
<i>arne.moos@tu-dortmund.de</i>	<i>diana.kleingarn@tu-dortmund.de</i>

Arbeitsgruppe Angewandte Informatik
Automated Quality Assurance
www.aqua.cs.tu-dortmund.de, www.naodevils.de

4 Aufgabe

Autonome mobile Roboter müssen in dynamischen Umgebungen eigenständig Entscheidungen treffen – eine Herausforderung, die im Roboterfußball besonders anschaulich, komplex und praxisnah demonstriert wird. Als etablierter Benchmark für KI-basierte Robotiksysteme vereint dieser Echtzeit-Wahrnehmung, Weltmodellierung, Bewegungsplanung und Entscheidungsfindung. Die Roboter erfassen ihre Umgebung mittels integrierter Sensoren und Kameras, wobei lokal stets nur ein begrenzter Ausschnitt des Spielfelds wahrgenommen wird. Die fragmentierten sensorischen Daten werden kontinuierlich fusioniert, um ein konsistentes internes Weltmodell zu erzeugen. Dieses dient der Lokalisierung von Ball, Mit- und Gegenspielern und bildet die Grundlage für Spielstrategien sowie motorischen Aktionen wie zweibeiniges Laufen, gezielte Positionswechsel und Schüsse.

Im Mittelpunkt dieser Projektgruppe steht die Migration auf eine neue Roboterplattform: Statt des bisherigen Nao-Roboters (Abbildung 1a) soll der Booster Robotics K1 (Abbildung 1c) zum Einsatz kommen, der kleine Bruder vom T1 (Abbildung 1b). Der K1 bringt neben verbesserter Mechanik eine leistungsfähige GPU-Plattform (NVIDIA Jetson Orin NX) mit, die die Ausführung KI-basierter Verfahren mit hoher Inferenzgeschwindigkeit direkt auf dem Roboter erlaubt.

Kernaufgabe ist die Umsetzung einer Mensch-Maschine-Interaktion: Ein Mensch passt den Ball, der Roboter erkennt und verfolgt ihn, positioniert sich und schießt gezielt aufs Tor. Die Herausforderung besteht in der echtzeitfähigen Integration von Wahrnehmung, Modellierung, Bewegungsvorhersage und physischer Ausführung.



(a) Aktueller Roboterfußball in der SPL mit dem Nao.
(Größe: 55cm)



(b) Booster Robotics T1 Roboter beim Fußballspiel. (c) Booster Robotics K1 (Größe: 95cm)

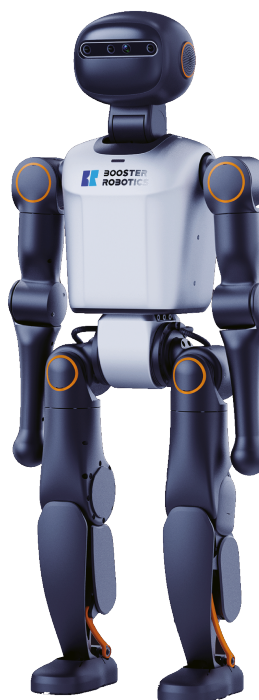


Abbildung 1: Vergleich verschiedener Roboterplattformen im Kontext des Roboterfußballs.

4.1 Anwendungsbereiche

Der RoboCup¹ ist eine zentrale Plattform für Forschung zu KI, autonomen Robotern und Multi-agentensystemen. Durch standardisierte Wettbewerbe bietet er einen realitätsnahen Benchmark für mobile, autonome Systeme und fördert die internationale Zusammenarbeit.

In der Standard Platform League (SPL)² treten Teams mit identischer Hardware gegeneinander an; einzig die Software entscheidet über den Erfolg. Seit 2008 wird der Nao-Roboter von Aldebaran Robotics³, der eine Größe von 55cm hat, eingesetzt – eine etablierte, aber in ihren Fähigkeiten mittlerweile begrenzte Plattform.

Mit dem Einsatz des Booster Robotics K1 eröffnet diese Projektgruppe neue Perspektiven für die SPL: Der 95cm große humanoide Roboter verfügt über moderne Aktorik und Sensorik sowie die integrierte GPU-Plattform Jetson Orin NX⁴ von NVIDIA. Dadurch werden rechenintensive KI-Verfahren wie Vision-Transformer, Deep Reinforcement Learning oder reaktive Verhaltensteuerung direkt auf dem Roboter in Echtzeit ausführbar.

4.2 Vorarbeiten

Für die Projektgruppe liegen umfangreiche Vorarbeiten vor, die im SPL-Ligabetrieb und früheren Projektgruppen auf dem Nao-Roboter entwickelt wurden [3, 2]. Die modulare, praxiserprobte Softwarearchitektur bietet ein belastbares Fundament für die Übertragung auf den Booster K1.

Bereits realisiert sind Deep-Learning-basierte Verfahren zur Ball- und Robotererkennung, optimiert für die eingeschränkte CPU-Leistung des Nao. Diese Erfahrungen sind direkt über-

¹<http://www.robocup.org>

²<https://spl.robocup.org/>

³<https://www.aldebaran.com/de/nao>

⁴<https://developer.nvidia.com/embedded/jetson-modules>

tragbar auf die GPU-basierte Jetson Orin NX Plattform des K1, die komplexere Modelle in Echtzeit erlaubt. Die Verhaltensentscheidung nutzt bisher heuristische Verfahren wie Zustandsautomaten und Entscheidungsbäume. Für den K1 eröffnen sich hier Potenziale datengetriebener Ansätze wie lernbasierte Verhaltensplanung und Reinforcement Learning. Auch in der Bewegungsplanung bestehen übertragbare Grundlagen: Physikalische Modelle (z. B. invertiertes Pendel) und vordefinierte Trajektorien wurden erfolgreich eingesetzt. Der K1 erfordert jedoch reaktivere, dynamischere Bewegungsmuster aufgrund größerer Bewegungsfreiheit. Zur nicht-digitalen Kommunikation existieren prototypische Ansätze, etwa Pfeifenerkennung [1] und erste Gestenerkennung. Diese bilden eine Basis für weiterführende Mensch-Roboter-Interaktionen.

Für Test und Simulation sind moderne Umgebungen wie Gazebo, Isaac Sim, Webots oder MuJoCo vorgesehen. Sie unterstützen ROS2⁵, realistische Physik und GPU-Integration – zentrale Voraussetzungen für die Entwicklung mit dem Booster K1.

4.3 Aufgabenstellung

Ziel der Projektgruppe ist die Entwicklung eines humanoiden Roboters, der im Rahmen einer Mensch-Roboter-Interaktion einen vom Menschen zugespielten Ball erkennt, verfolgt, sich entsprechend positioniert und diesen kontrolliert ins Tor schießt.

Für die Wahrnehmungskomponenten sind folgende Teilaufgaben relevant:

- **Mitspieler-Lokalisierung:** Visuelle Erkennung und Positionsbestimmung des menschlichen Spielpartners, z. B. mittels Posen- oder Personenerkennung.
- **Ballverfolgung:** Detektion des Balls, Identifikation des Zuspiels und robuste Verfolgung der Balltrajektorie.

Für die Modellierungskomponenten:

- **Trajektorienvorhersage:** Schätzung der zukünftigen Ballposition, z. B. durch Filterverfahren oder lernbasierte Modelle wie Transformer.
- **Weltmodellierung:** Integration detektierter Objekte (Ball, Mensch, Tore, Markierungen) in ein konsistentes Weltmodell als Grundlage für Entscheidungs- und Planungsprozesse.
- **Positionsplanung:** Berechnung einer optimalen Zielposition zur Ballannahme und anschließenden Schussausführung.

Für die Bewegungungskomponenten:

- **Reaktives Laufen:** Laufbewegung zum Zielpunkt unter Berücksichtigung von Gleichgewicht, Hindernisvermeidung und Timing.
- **Schussmechanik:** Planung und Ausführung eines gezielten Schusses mit angepasster Kraft und Richtung.

Für Systemintegration und Testung:

- **Booster K1 Plattformintegration:** Portierung der Nao-Software auf den Booster K1 unter Nutzung des NVIDIA Jetson Orin NX unter anderem zur Echtzeitinferenz KI-basierter Wahrnehmungssysteme.
- **Simulation und Reality Gap:** Nutzung und ggf. Erweiterung moderner Simulationsumgebungen zur kontinuierlichen Entwicklung und zum Abgleich mit dem realen Robotersystem.

⁵<https://docs.ros.org/en/jazzy/index.html>

5 Teilnahmevoraussetzungen

- Kenntnisse in objektorientierter Programmierung (Voraussetzung)
- Mindestens Grundkenntnisse in C++ (Voraussetzung)
- Grundkenntnisse mit ROS2 oder in maschinellem Lernen mit Python (wünschenswert)

6 Minimalziele

Der Roboter soll nach einem menschlichen Zuspiel eigenständig agieren und den Ball gezielt ins Tor schießen. Das Evaluationsszenario umfasst:

- **Initialisierung und Wahrnehmung:** Der Roboter startet auf seiner Spielfeldhälfte ohne Kenntnis der Ballposition, lokalisiert visuell den menschlichen Mitspieler und erkennt den beginnenden Ballpass.
- **Verfolgung und Planung:** Nach Ballbewegung detektiert und verfolgt der Roboter die Rollbahn, berechnet die zukünftige Ballposition und plant darauf basierend seine eigene Zielposition.
- **Bewegung und Aktion:** Der Roboter bewegt sich dynamisch zur berechneten Position, nimmt den Ball kontrolliert auf und führt aus dieser Bewegung heraus einen gezielten Schuss auf das Tor aus.

Zur Fortschrittsbewertung sollen automatisierte Testszenarien entwickelt und in eine kontinuierliche Simulationsumgebung integriert werden. Ergänzend sind ein Zwischenbericht, ein Abschlussbericht sowie ein abschließendes Fachgespräch vorgesehen.

7 Literatur

- [1] KLEINGARN, DIANA und DOMINIK BRÄMER: *Neural Network and Prior Knowledge Ensemble for Whistle Recognition*. In: BUCHE, CÉDRIC, ALESSANDRA ROSSI, MARCO SIMÕES und UBBO VISSER (Herausgeber): *RoboCup 2023: Robot World Cup XXVI*, Seiten 17–28, Cham, 2024. Springer Nature Switzerland.
- [2] MOOS, ARNE und AARON LARISCH: *Nao Devils Team Description Paper for RoboCup 2024*. Technischer Bericht, 2024. Verfügbar unter https://github.com/RoboCup-SPL/TeamDescriptionPapers/raw/master/2024/SPL_2024_TDP_Nao_Devils.pdf.
- [3] SCHWARZ, INGMAR, OLIVER URBANN, AARON LARISCH und DOMINIK BRÄMER: *Team Report 2019*. Technischer Bericht, 2019. Verfügbar unter <https://github.com/NaoDevils/CodeRelease/blob/CodeRelease2019/TeamReport2019.pdf>.

8 Rechtliche Hinweise

Die Ergebnisse der Projektarbeit inkl. der dabei erstellten Software sollen dem Institut für Roboterforschung und der Fakultät für Informatik uneingeschränkt zur freien Forschung zur Verfügung stehen. Darüber hinaus sind keine Einschränkungen der Verwertungsrechte an den Ergebnissen der Projektgruppe und keine Vertraulichkeitsvereinbarungen vorgesehen.