

Kognitive Roboter: Wahrnehmung, Handlungsplanung und Lernen

Prof. Sven Behnke



Industrieroboter

- Kräftig, präzise, ausdauernd
- Hohe Produktivität
- Kontrollierte Umgebung erforderlich
- Unflexibel



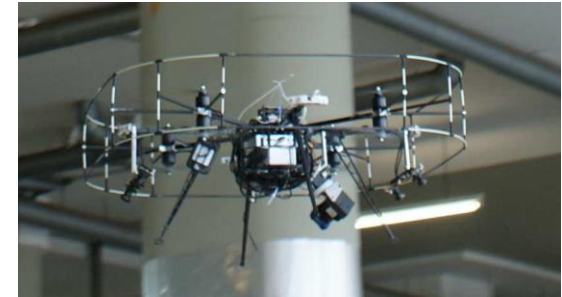
Neue Einsatzbereiche

- Flexible Industrieautomatisierung
- Bergbau, Landwirtschaft,...
- Logistik
- Haushalt
- Medizin
- Gefährliche Umgebungen (Weltraum, Tiefsee, AKW, ...)
- Spielzeug, Unterhaltung



Forschungsschwerpunkt Kognitive Robotik

- Komplettsysteme für
Beispielanwendungen



Flugroboter



Fußballroboter



Kommunikationsroboter



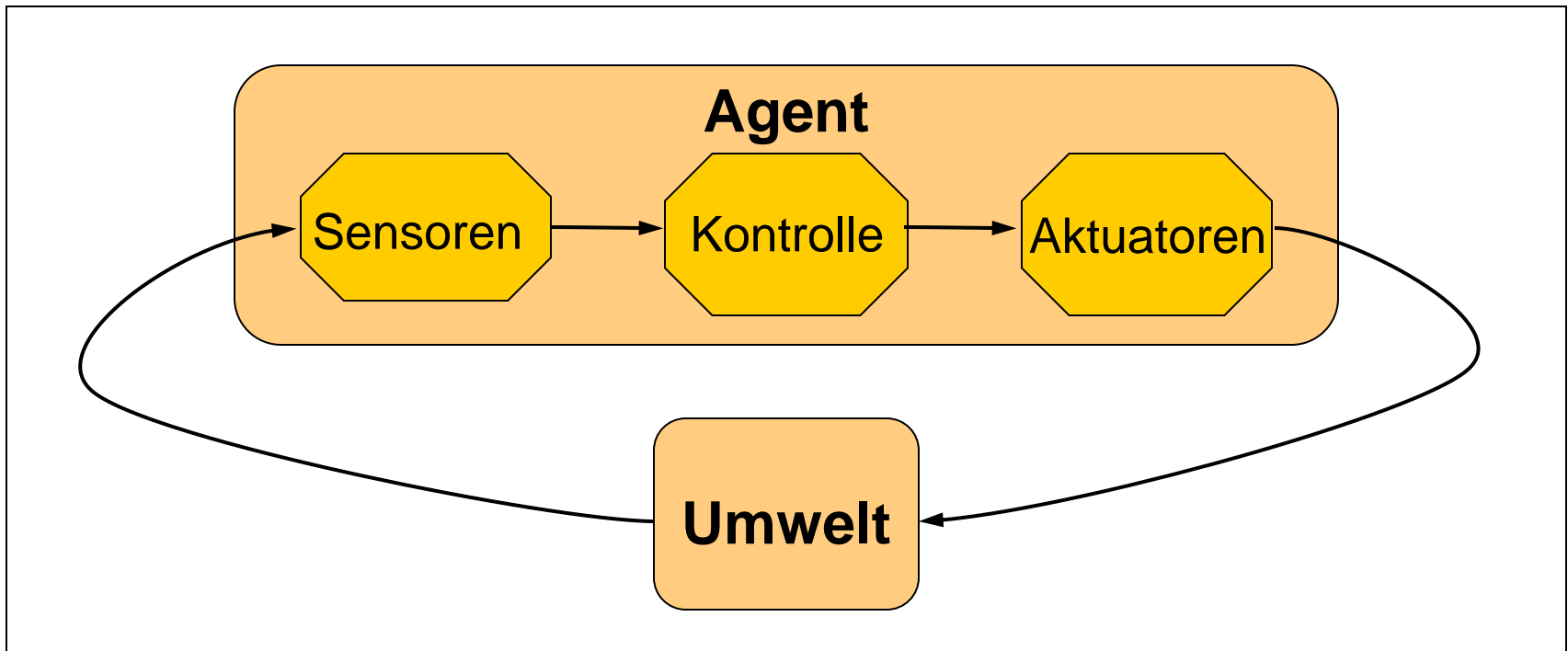
Serviceroboter



Explorationsroboter

Teilprobleme

- Wahrnehmung der Welt
- Verhaltenssteuerung
- Beeinflussung der Welt



Humanoide Fußballroboter



- Größe: 90-114 cm
- Gewicht: 6-8 kg
- Angetriebene Gelenke: 13-20
- Kamera
- PC
- Neigungssensor

Visuelle Wahrnehmung



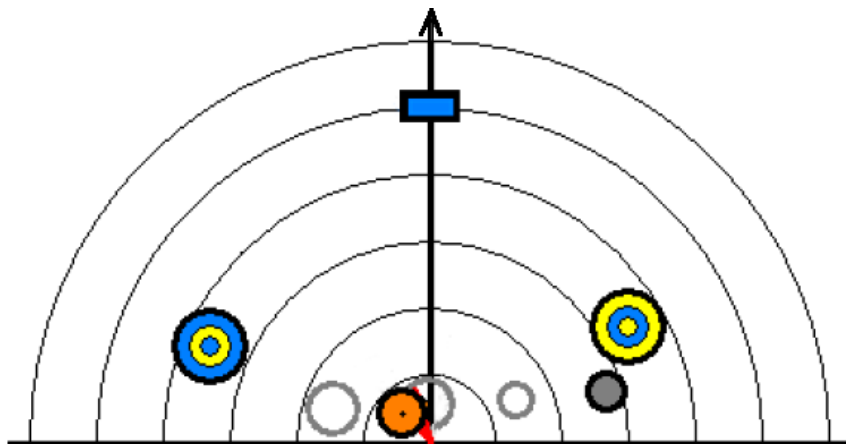
Links



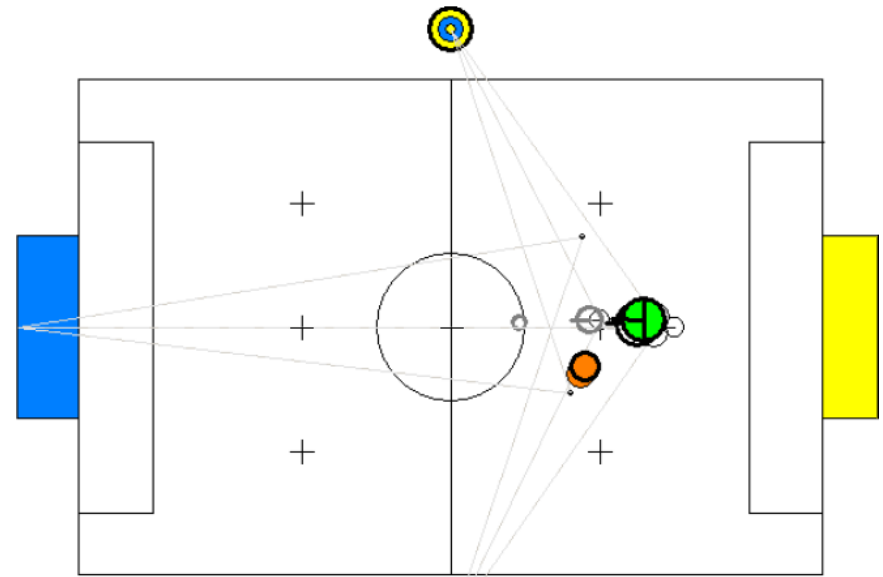
Mitte



Rechts



Egozentrische Sicht

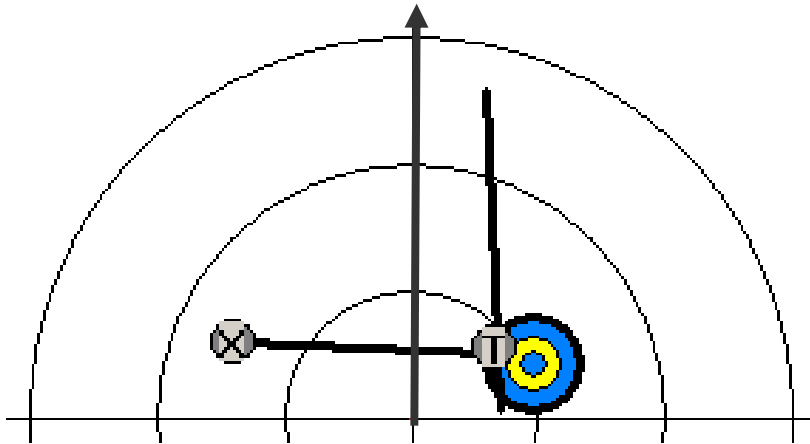


Allozentrische Sicht

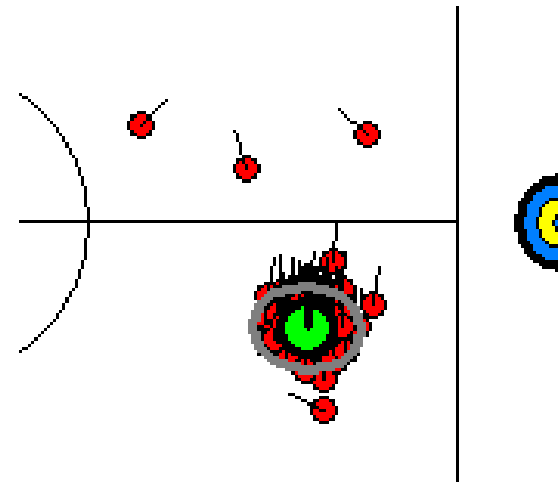
Merkmale für Lokalisierung



- Tore
- Spielfeldlinien
- Linien-Ecken
- Seitenmarkierungen

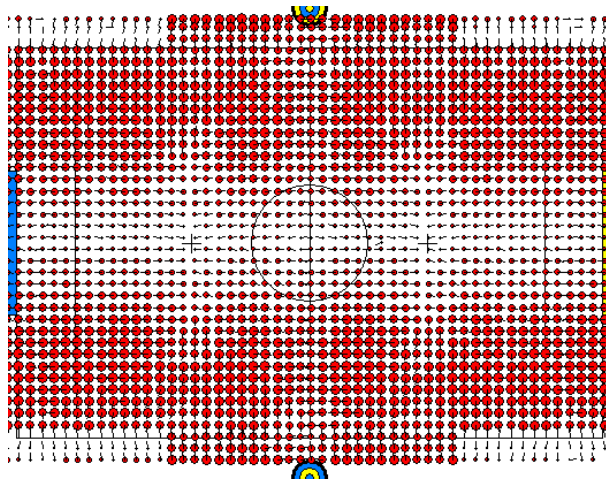


Egozentrische Sicht

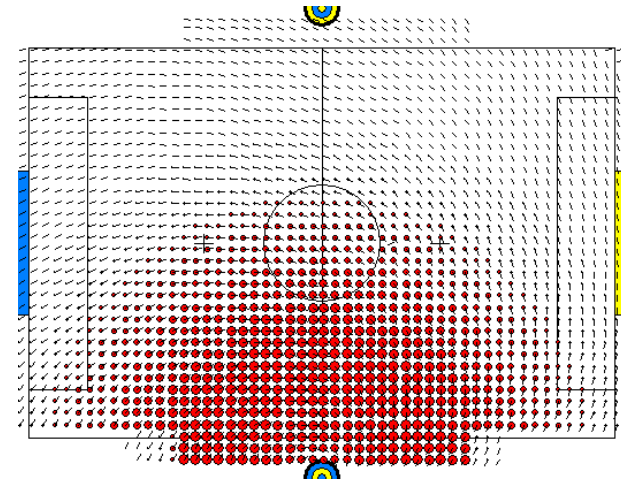


Lokalisierung

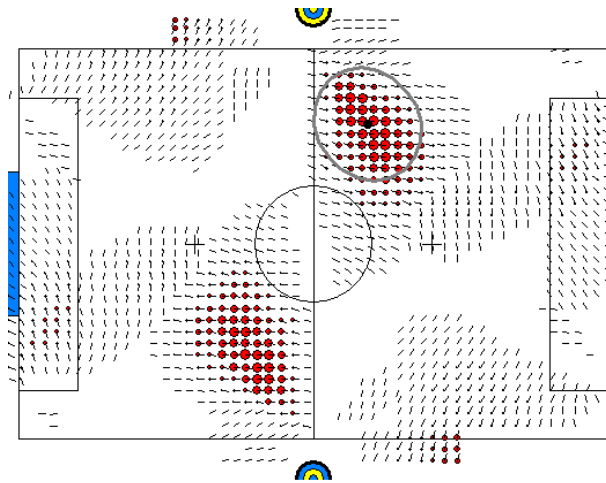
Beobachtungswahrscheinlichkeit



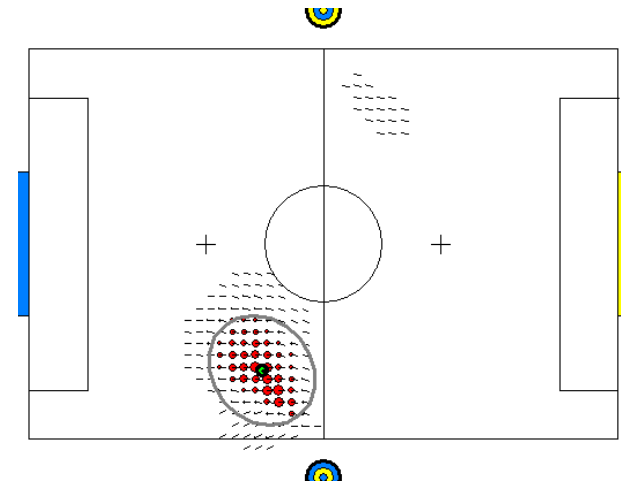
Linien



Seitenmarkierung



Linien-Ecken

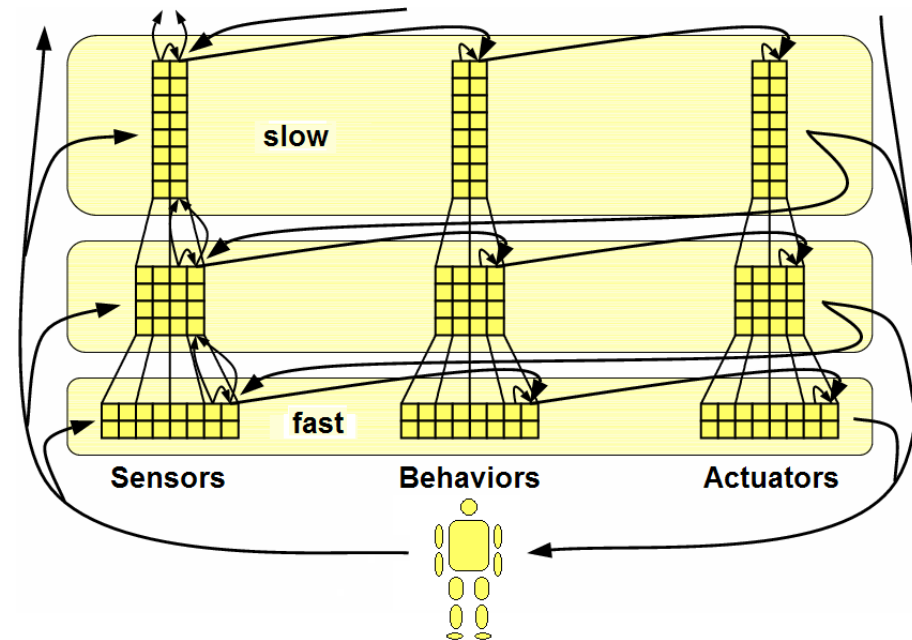


Alle Merkmale

Verhaltenssteuerung

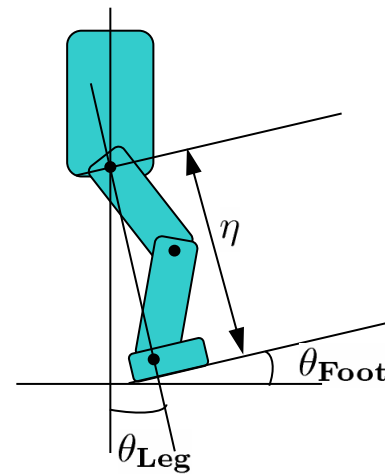
■ Hierarchisch, reaktiv

- Zeithierarchie
(kHz, 83Hz, 41.5Hz, 20.75Hz)
- Agentenhierarchie
(Einzelgelenk, Körperteil, Roboter, Team)
- Komplexitätsreduktion durch Interaktionsbeschränkungen



■ Kinematische Steuerung von Körperteilen:

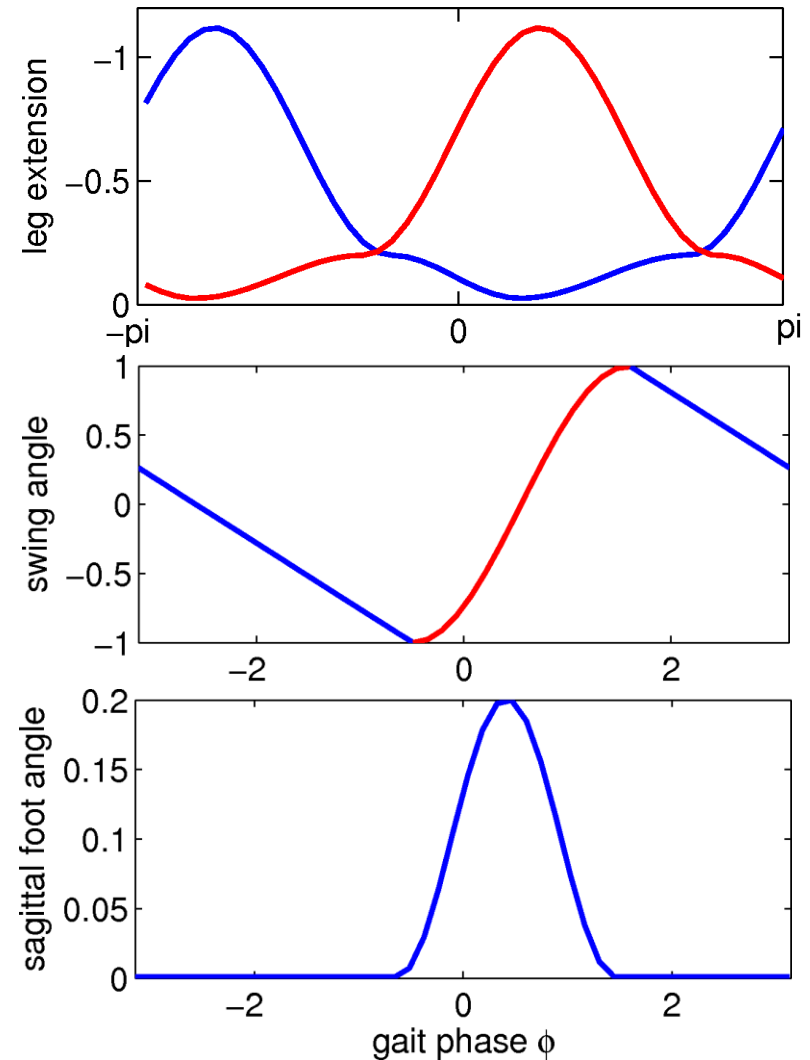
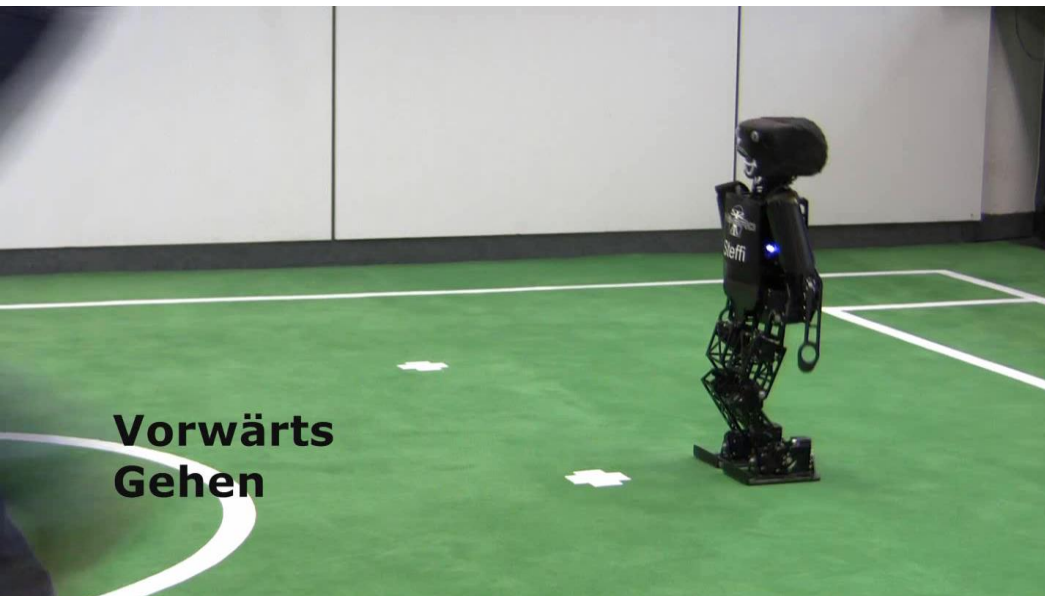
- Beinwinkel
- Fußwinkel
- Beinlänge



[Behnke, Stückler: IJHR'08]

Omnidirektionales Gehen

- Kombination von:
 - Vorwärts/rückwärts Gehen
 - Seitliches Gehen
 - Drehen auf der Stelle
- Hauptbestandteile:
 - Gewichtsverlagerung
 - Beinverkürzung
 - Bewegung in Laufrichtung



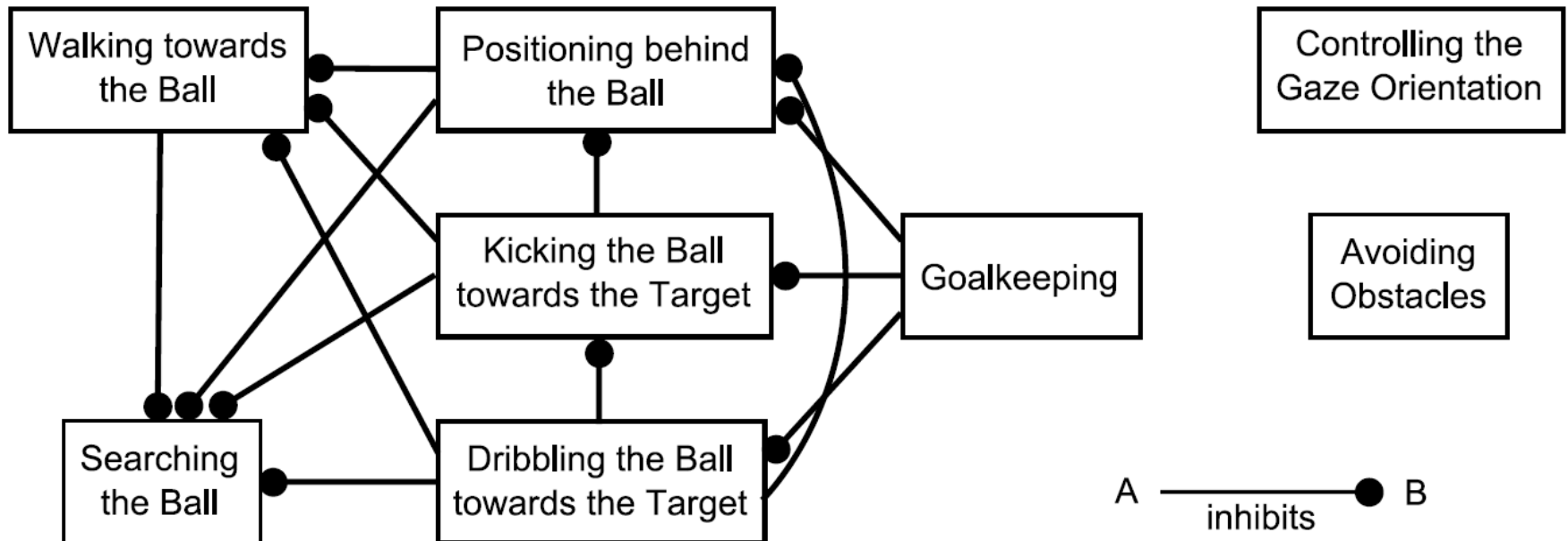
[Behnke: ICRA'06]

Torwartbewegung zur Seite



[Missura, Wilken, Behnke: RoboCup'10]

Fußballverhalten



Verhaltenshierarchie

■ Taktik und Teamverhalten

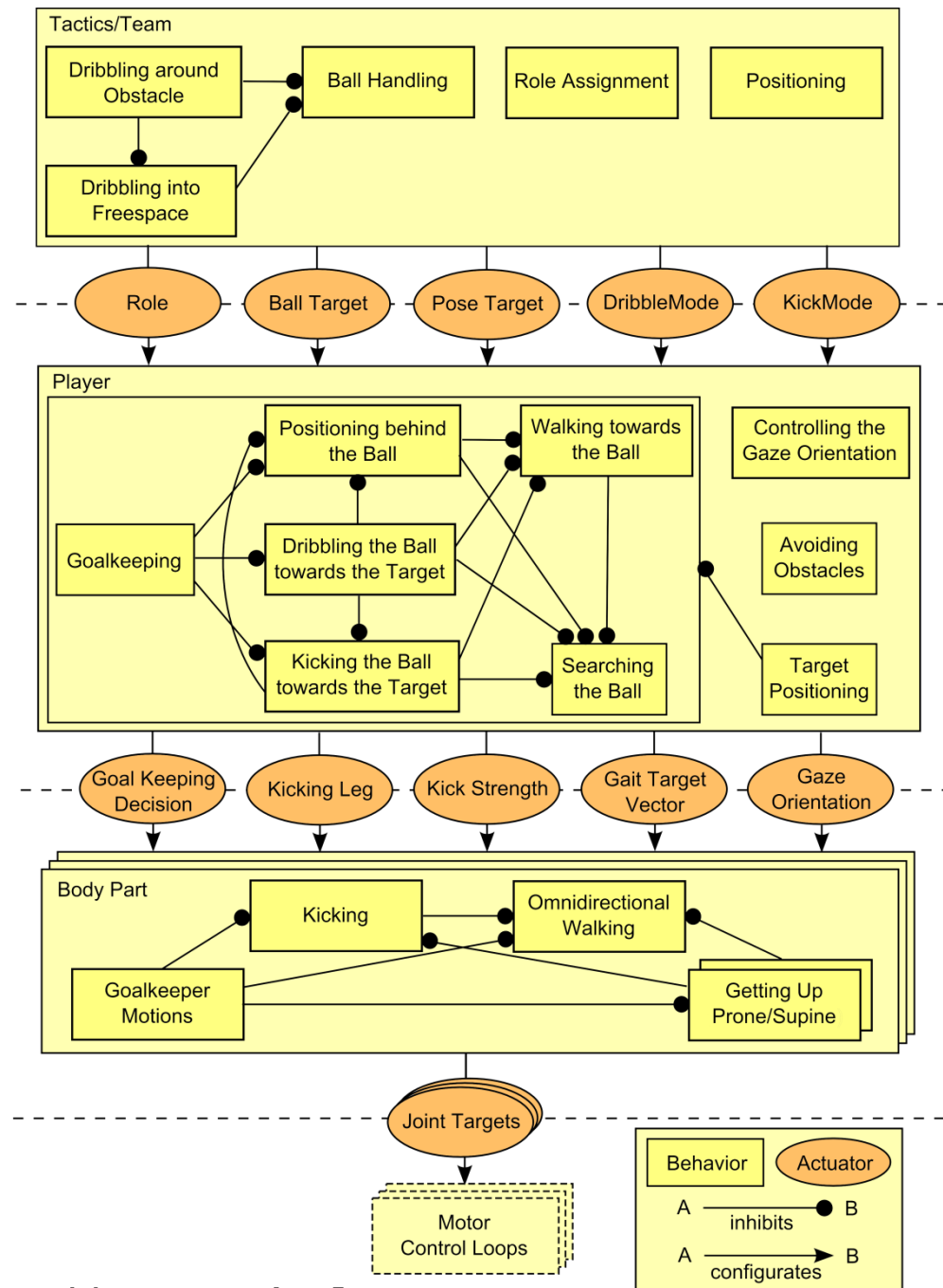
- Rollenzuweisung
- Positionierung auf dem Feld
- Ball bewegen
- Um Hindernisse Dribbeln
- In den Freiraum Dribbeln

■ Fußballverhalten

- Ballsuche
- Zum Ball laufen
- Hinter dem Ball positionieren
- Schuss in Richtung Ballziel
- Dribbling in Richtung Ballziel
- Hindernisvermeidung
- Aktive Kameraausrichtung
- Torwartverhalten

■ Grundlegende Fähigkeiten

- Omnidirektionales Gehen
- Schuss
- Aufstehen
- Torwartbewegungen



RoboCup 2013 Finale



Final Game:

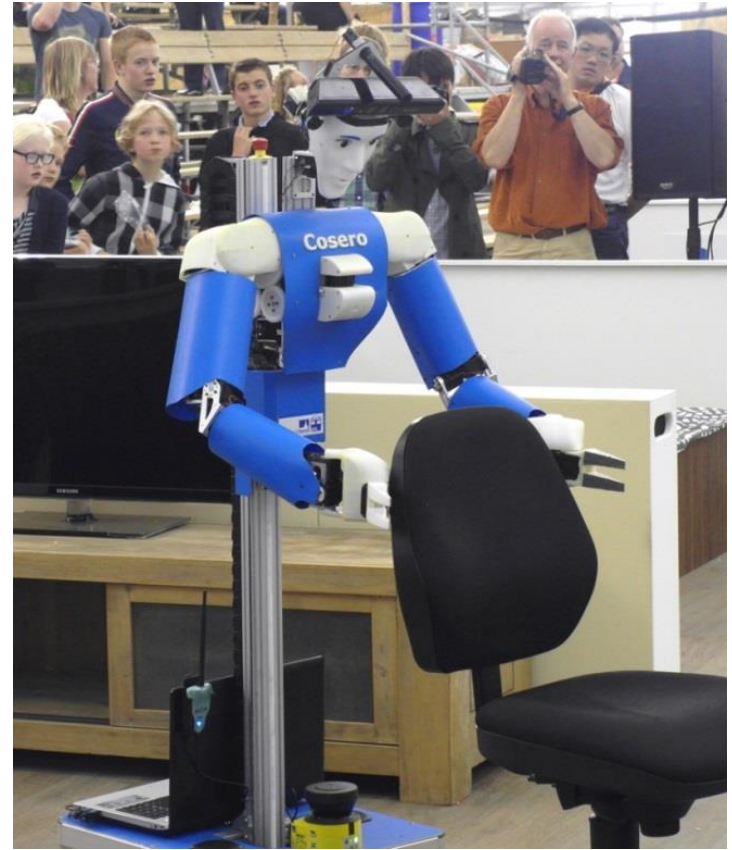
NimbRo vs CIT Brains (Japan)

- Gewinner RoboCup Humanoid TeenSize-Liga 2009-2013.

Unsere Serviceroboter



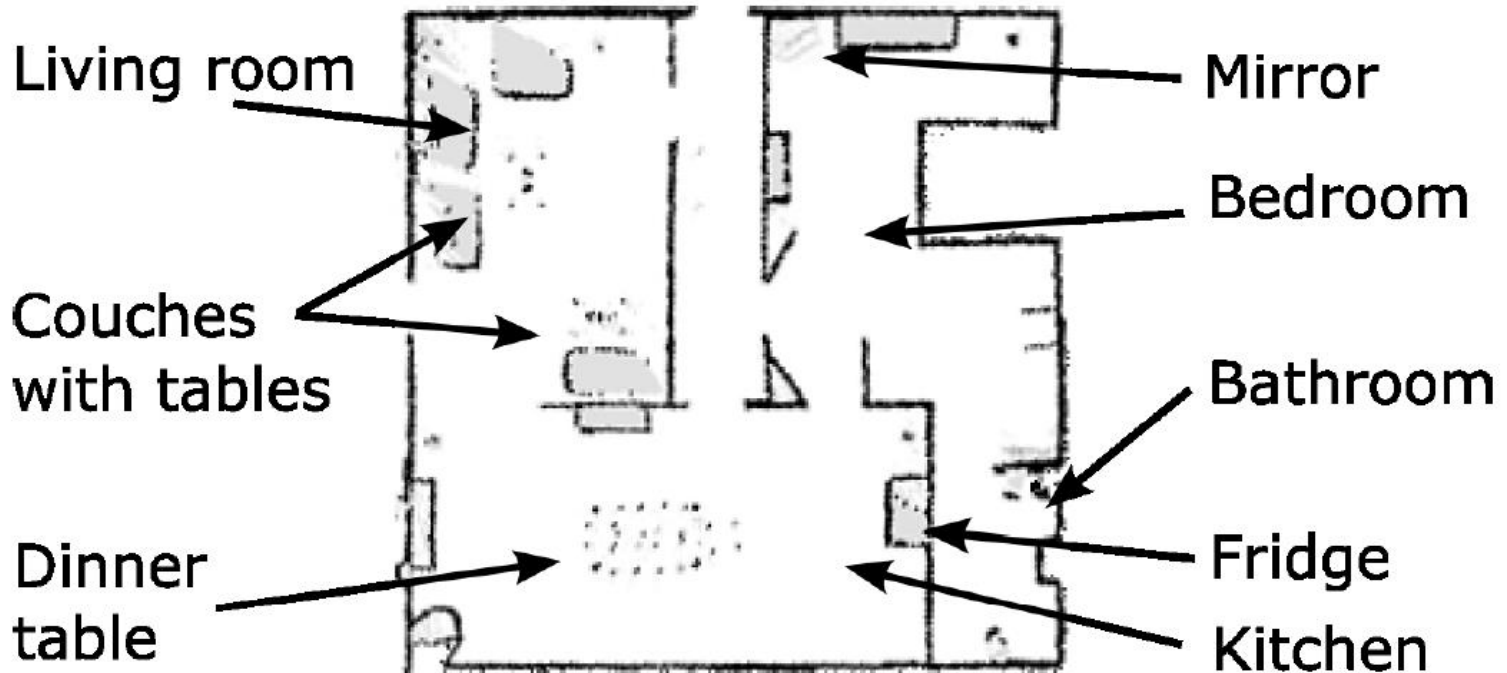
Dynamaid



Cosero

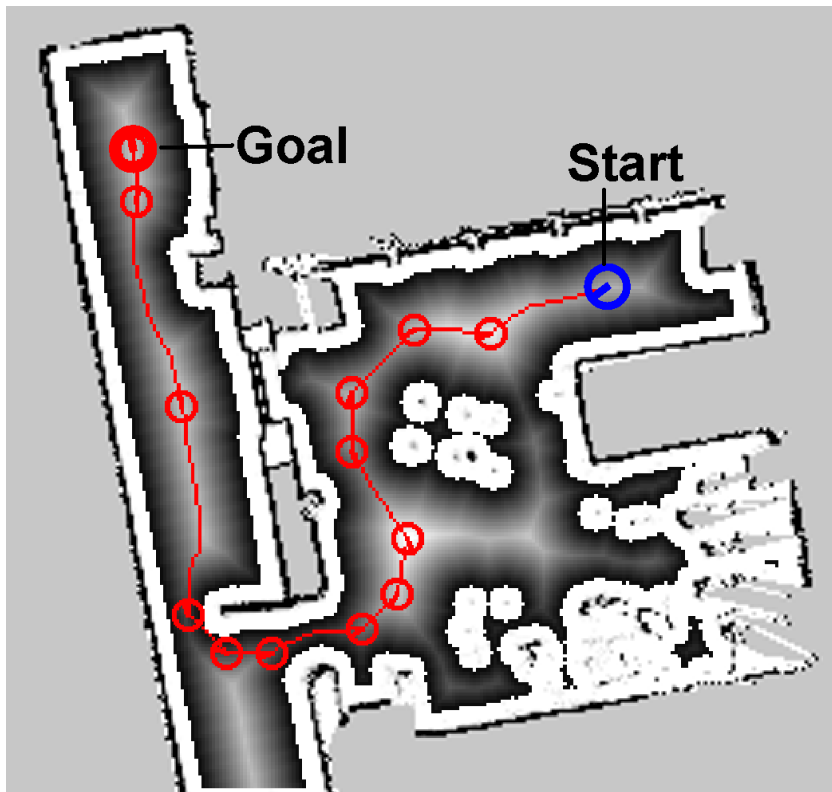
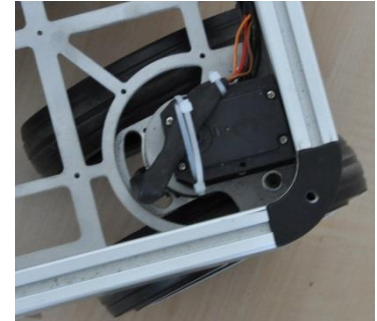
- Größe: 100-180 cm, Gewicht: 30-35 kg
- 36 angetriebene Gelenke, PC, Laserscanner, Kinect, Mikrofon, ...

Kartierung der Umgebung



Pfadplanung in Büroumgebung

- Omnidirektionales Fahrwerk mit vier lenkbaren Radpaaren
- Zellkosten steigen in der Nähe der Wände
- A* findet kostengünstigsten Pfad
- Ausrichtung in Engstellen
- Neuplanung wenn Pfad blockiert

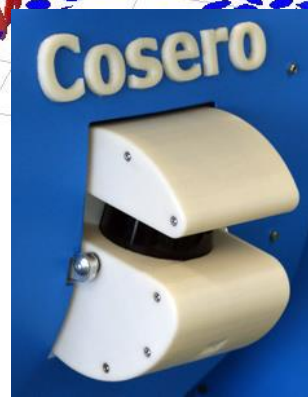
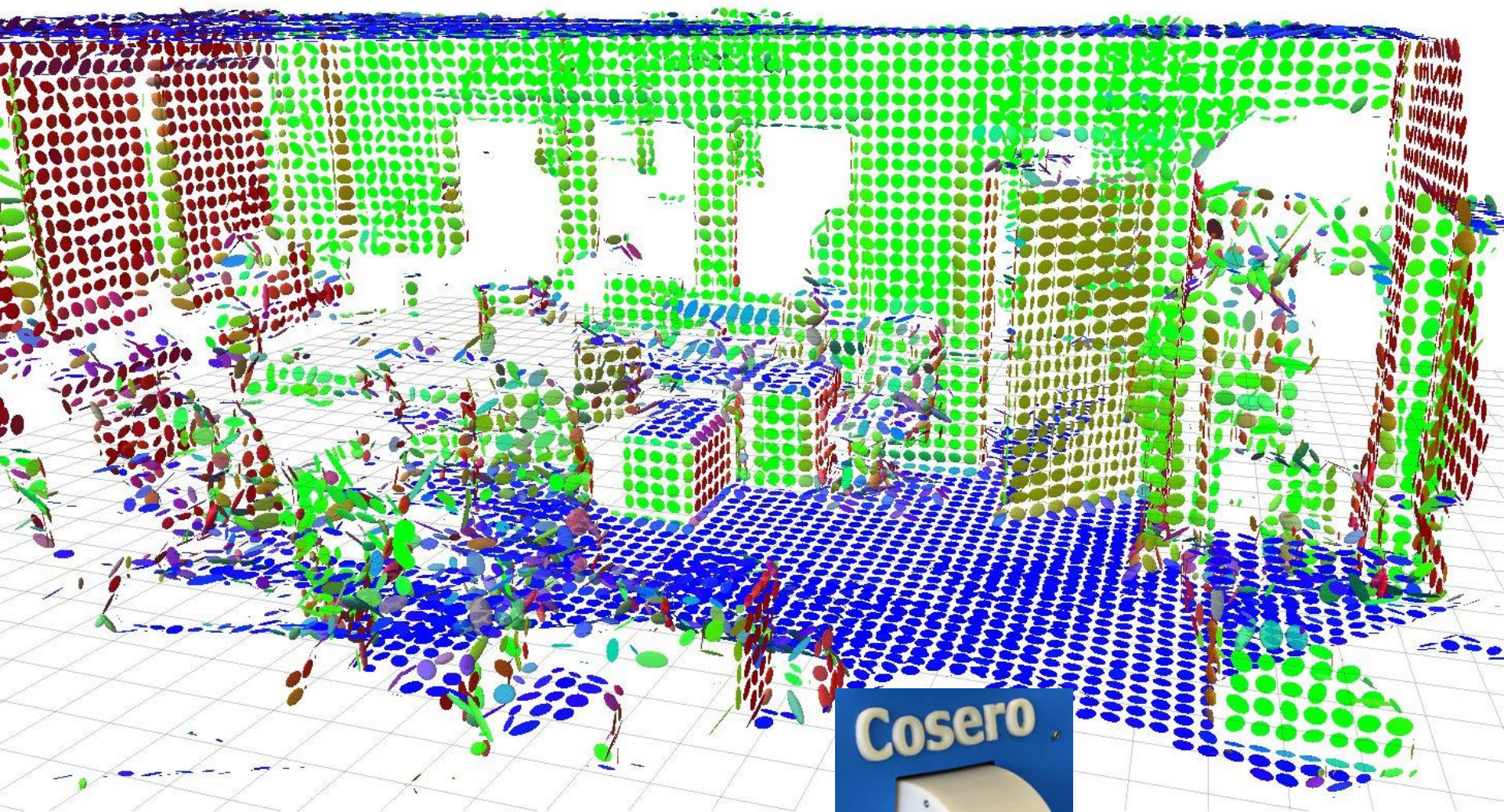


RoboCup 2013

3D-Kartierung mit Flächenelementen

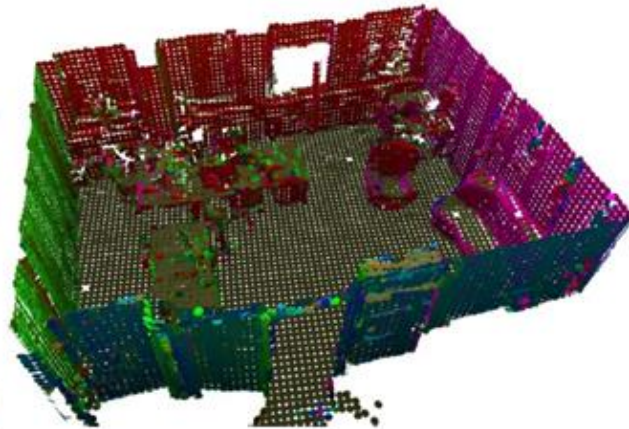


3D-Kartierung mit Flächenelementen



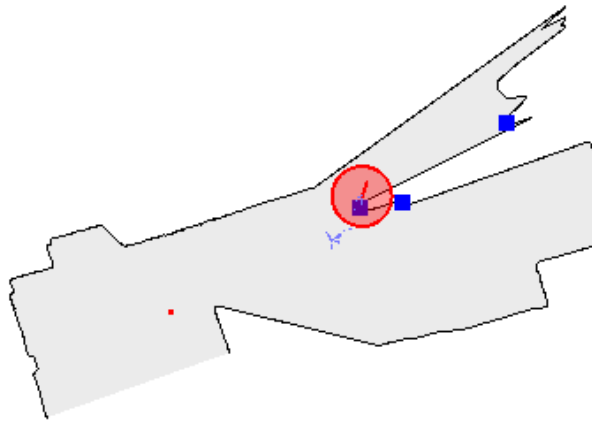
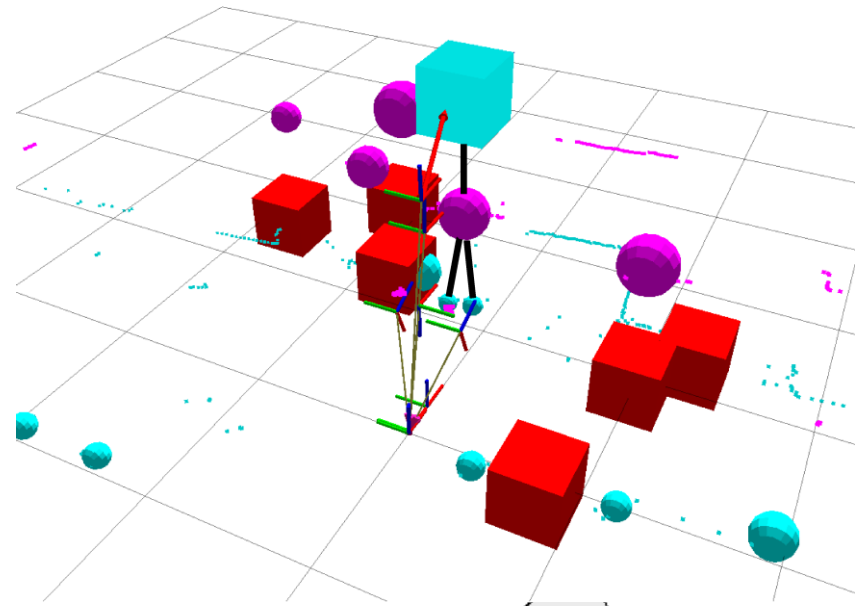
3D-Kartierung und Lokalisierung

- Registrierung von 3D-Laserscans
- Repräsentation von Punktverteilungen in Voxeln
- Befahrbarkeitsanalyse durch Regionenwachstum
- Robuste Lokalisierung mit 2D-Laserscans

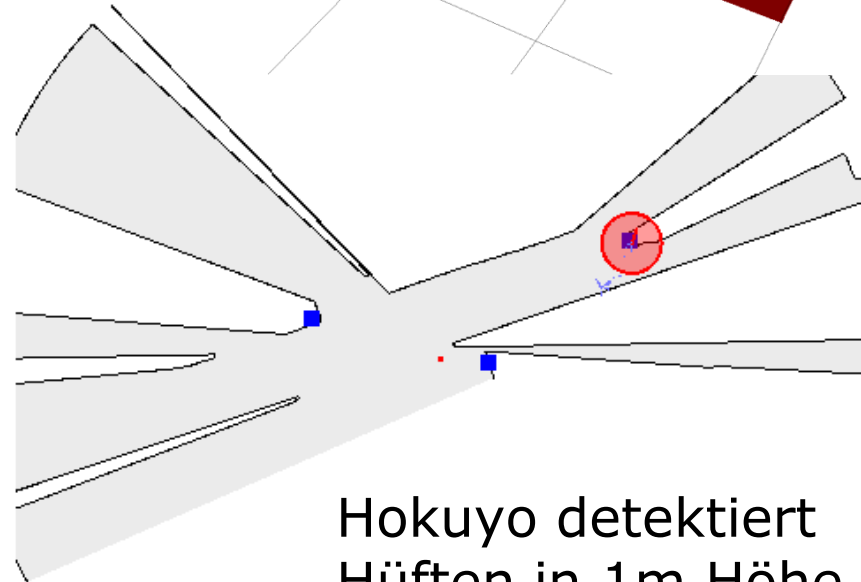


Wahrnehmung von Personen

- Detektion aus Laser-Scans in zwei Höhen
- Visuelle Verifikation und Identifikation
- Natürliche Blicksteuerung



Sick detektiert Beine in 30cm Höhe



Hokuyo detektiert Hüften in 1m Höhe

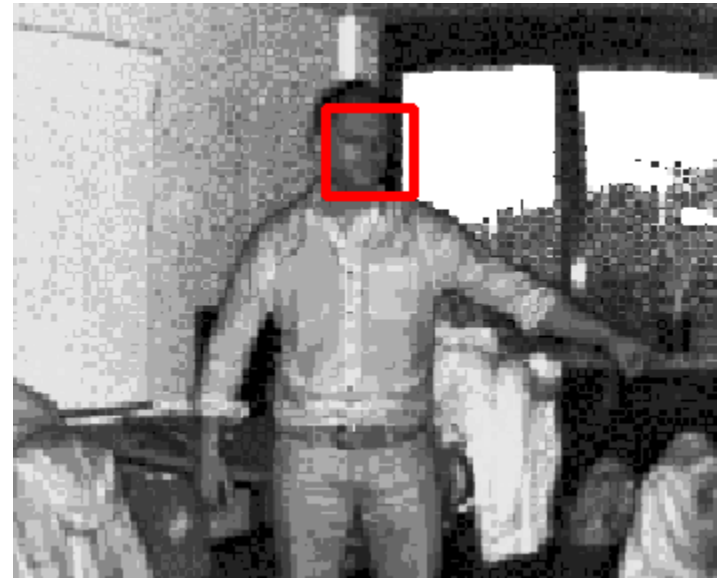
RoboCup 2010: Follow-Me-Test



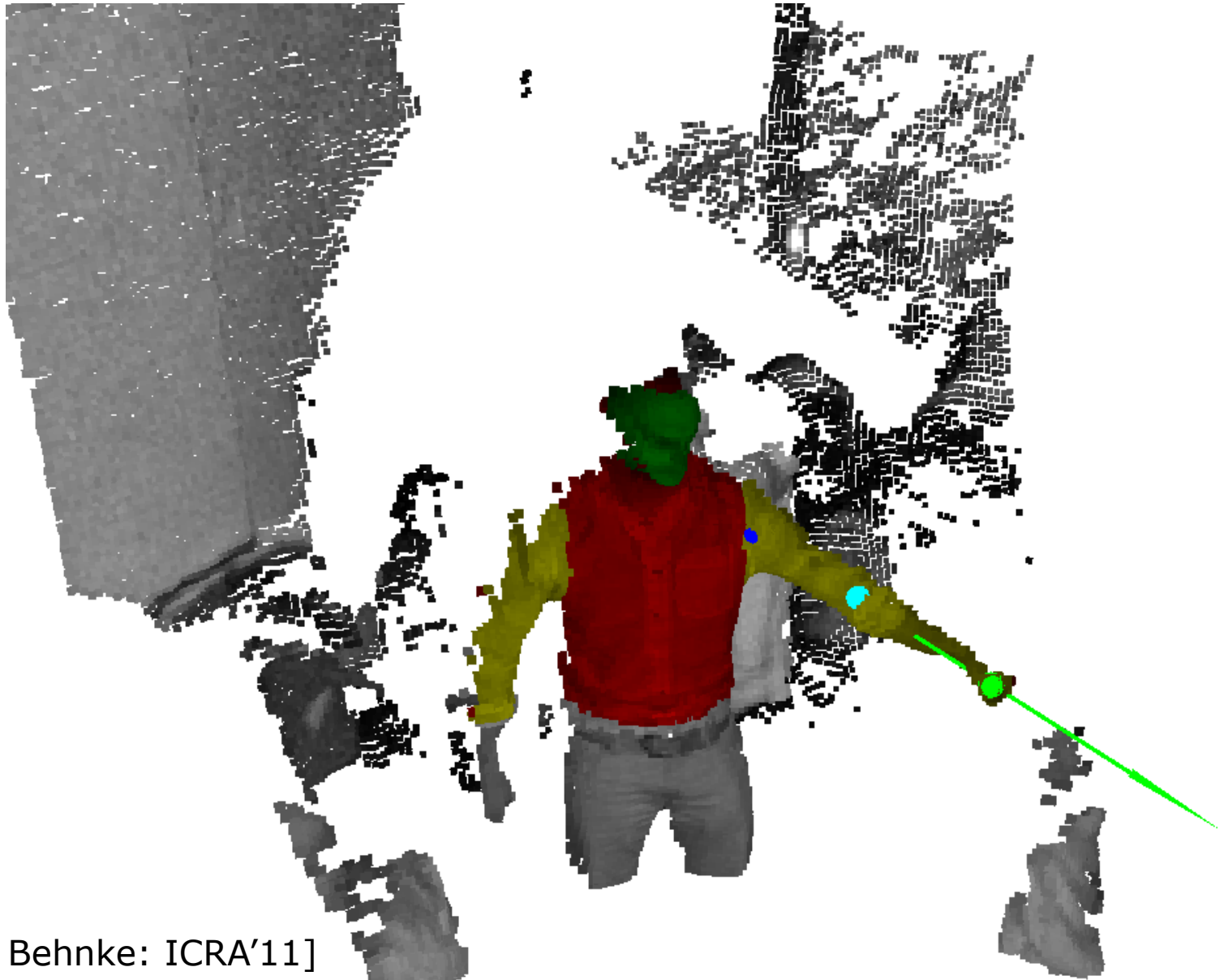
In the Follow Me Test Dynamaid first recognizes her operator's face ...

Gestenerkennung mit ToF-Kamera

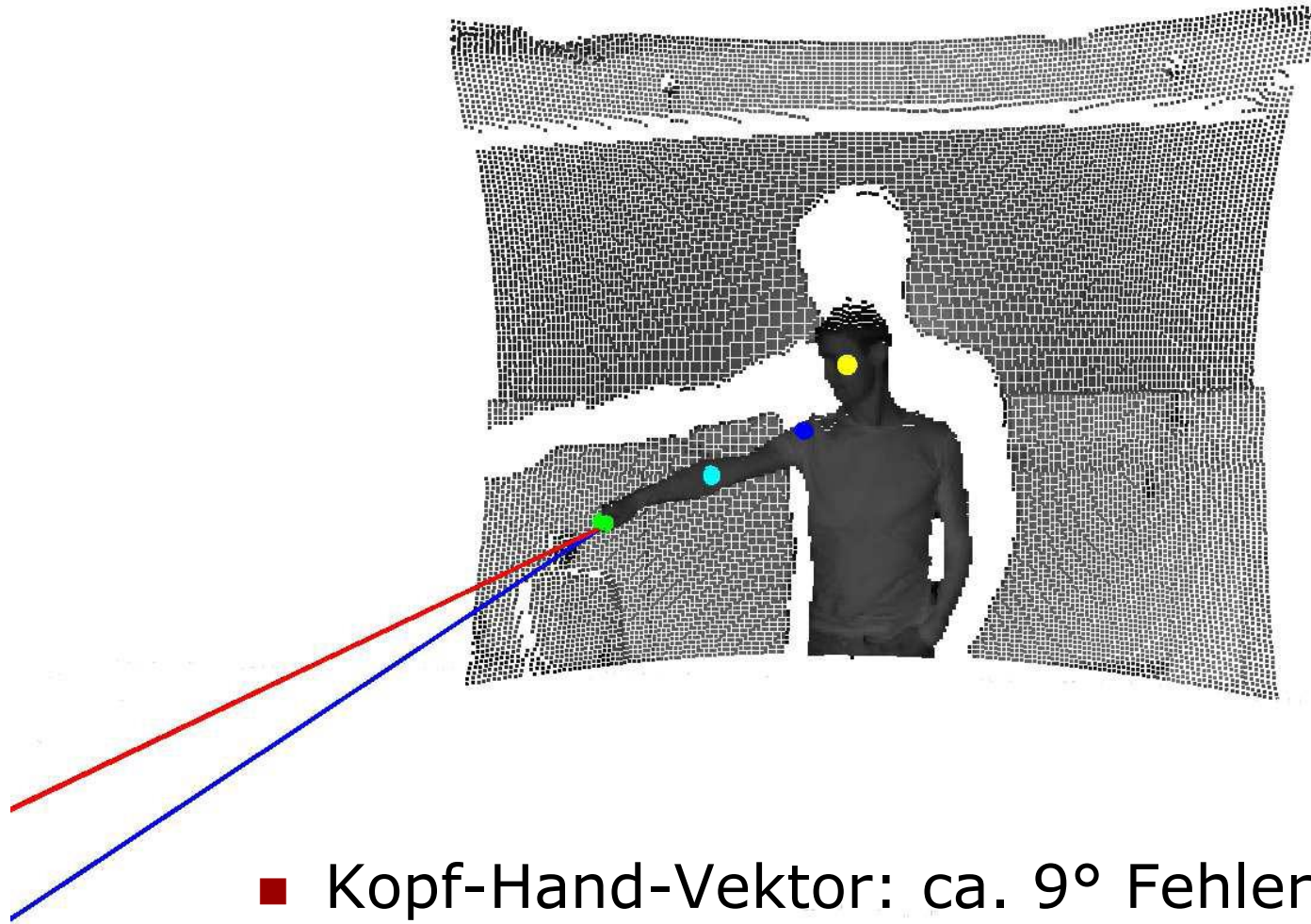
- Finde Gesicht in Amplitudenbild
 - Verfolge Kopf in Bildfolgen
- Finde Körper durch Regionenwachstum
- Finde Arme
- Identifiziere Ellenbogen und Hand



Segmentierung und Detektion

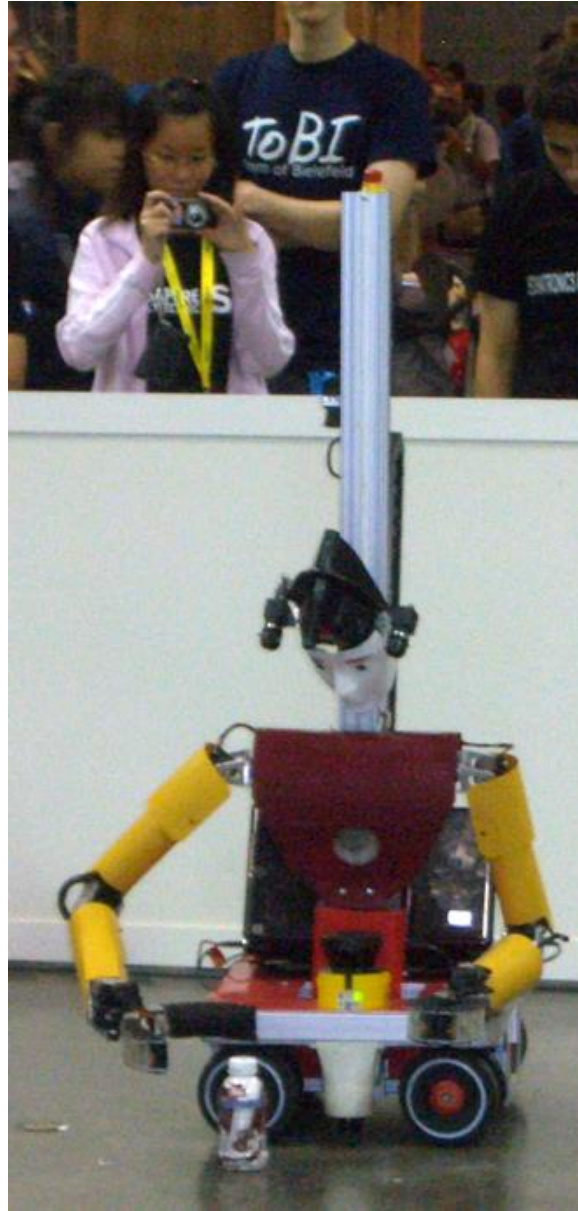
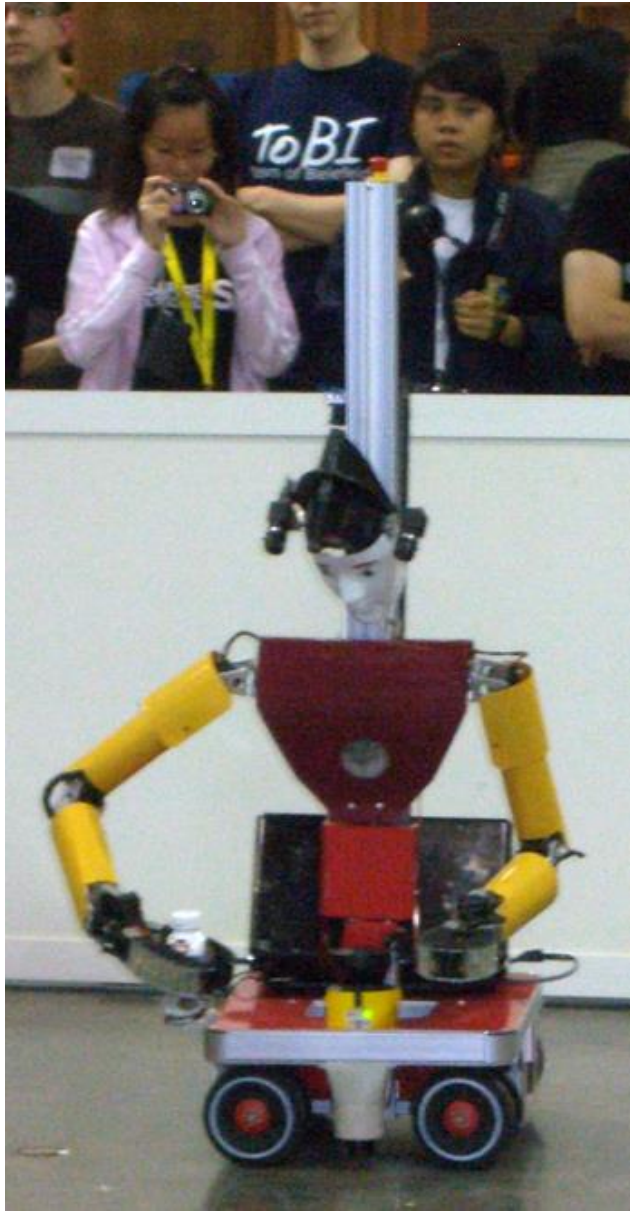


Schätzung der Zeigerichtung



- Kopf-Hand-Vektor: ca. 9° Fehler
- GPR-Funktionsapproximator: 3° Fehler

Aufheben von Objekten

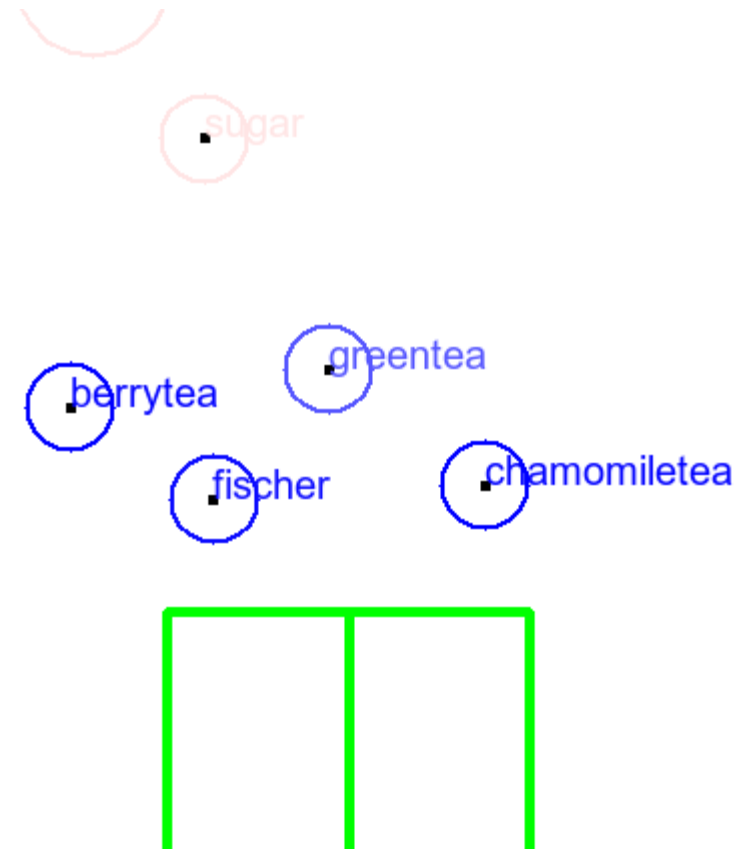
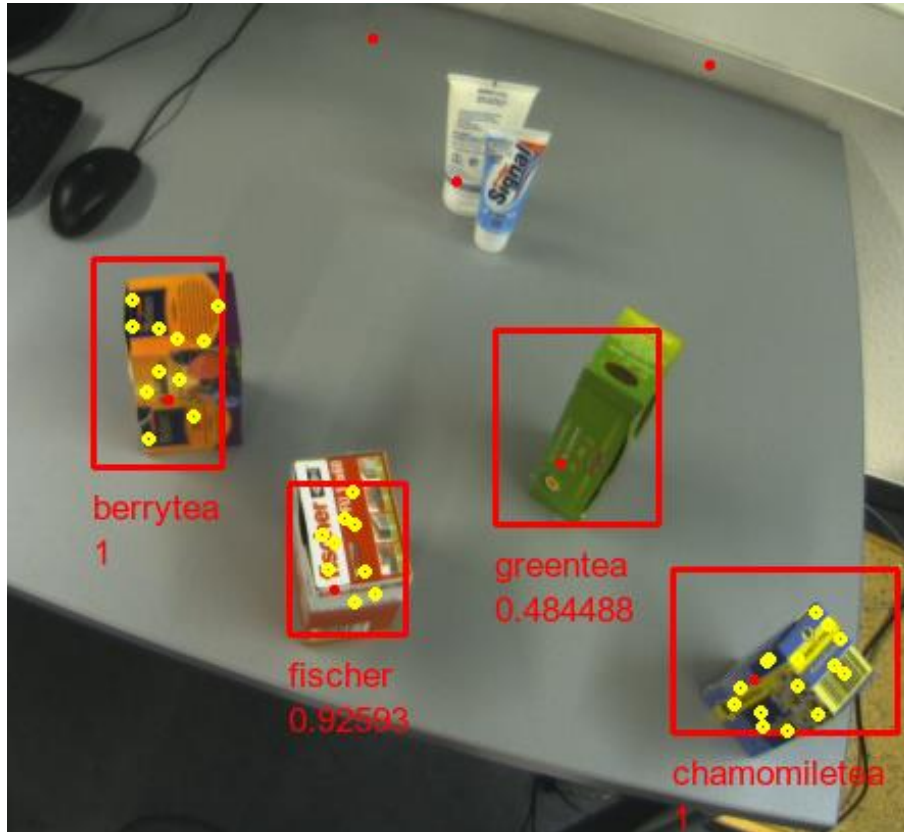


Zeigen von Objekten



[Dröschel – Behnke: ICRA'11]

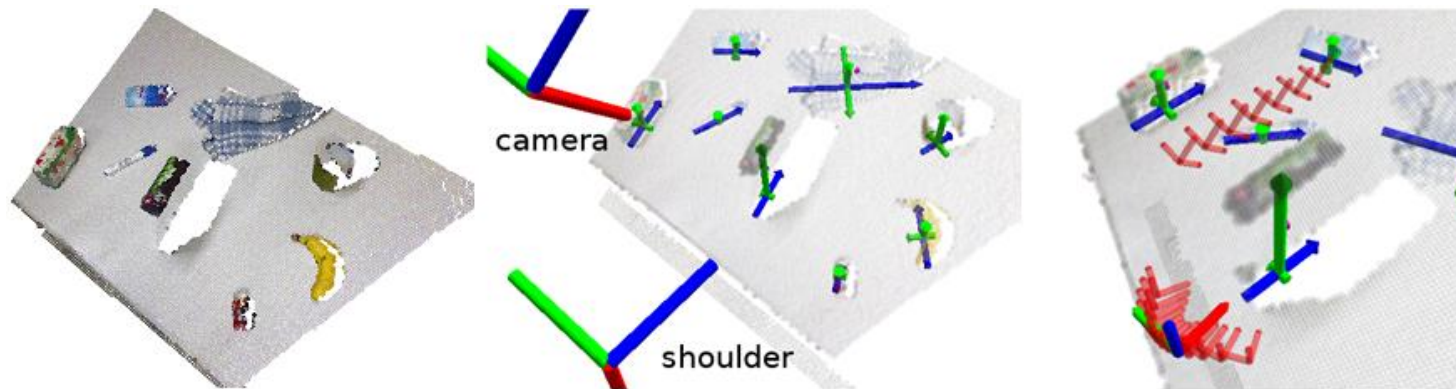
Visuelle Objekterkennung



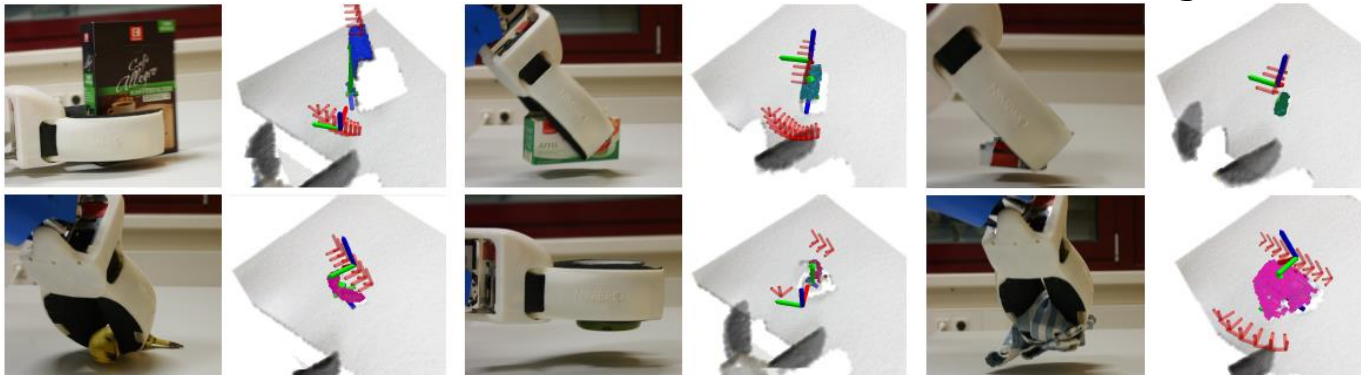
- Objektdetektion mit Laserscanner
- Abbildung in Bildebene
- Erkennung durch Farbe und Texturmerkmale (SURF)
- Objektverfolgung

Analyse von Tischszenen und Greifplanung

- Finden von Clustern über der Tischebene
- Zwei Griffarten (von oben, von der Seite)

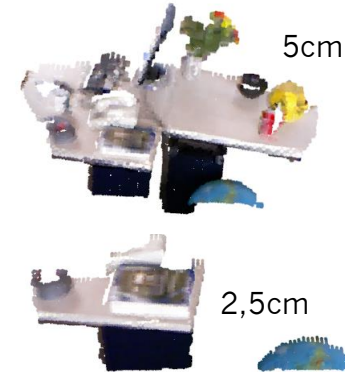
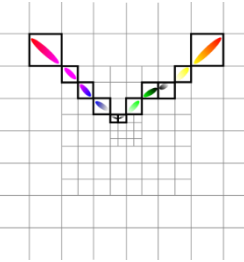


- Flexibles Greifen einer Vielzahl von Objekten



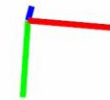
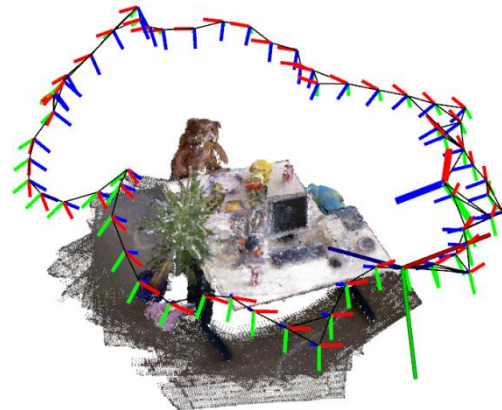
3D-Kartierung durch RGB-D SLAM

- Modellierung von Form und Farbverteilung in Voxeln
- Lokale Multiresolution
- Effiziente Registrierung von Ansichten auf CPU



[Stückler, Behnke:
Journal of Visual Communication
and Image Representation 2013]

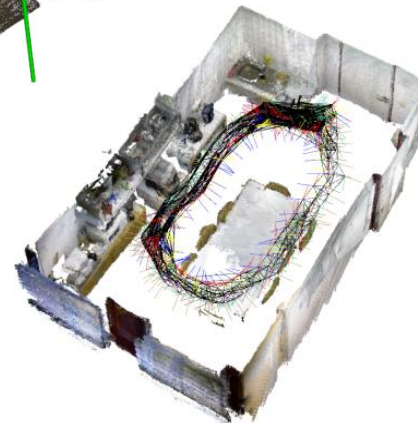
- Globale Optimierung



- Multi-Kamera SLAM

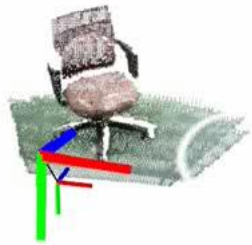


[Stoucken, Diplomarbeit 2013]



Lernen und Verfolgen von Objektmodellen

- Objektmodellierung durch RGB-D-SLAM

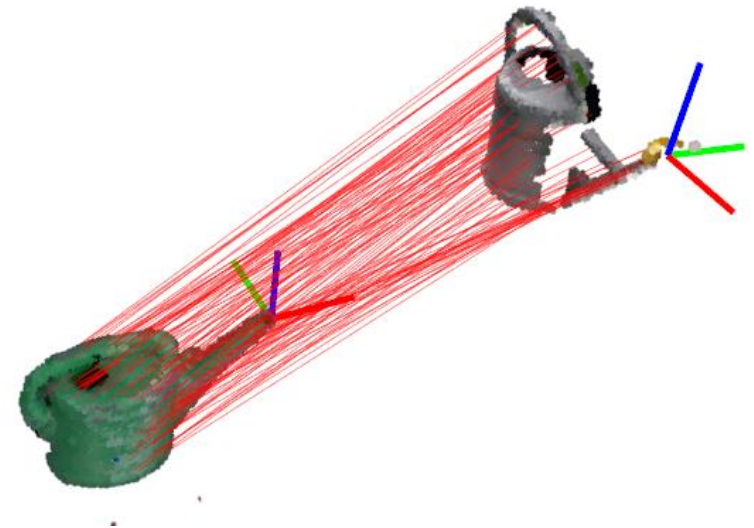
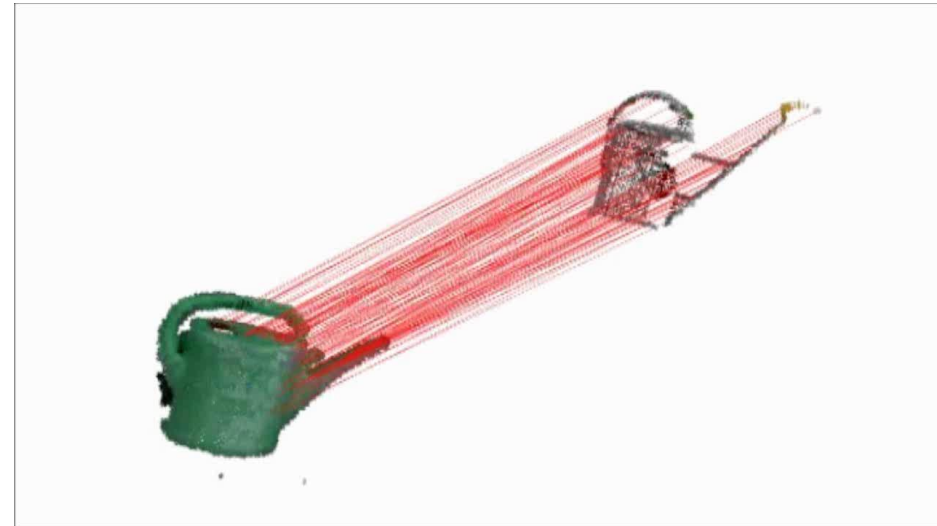


- Echtzeit-Registrierung mit aktuellem RGB-D-Bild



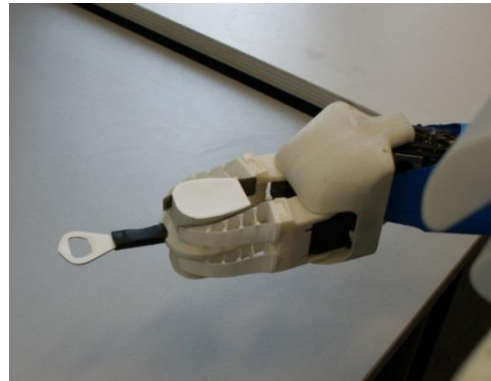
Transfer von Handhabungswissen

- Deformierbare Registrierung von bekanntem Modell und aktuellem Objekt
- Übertragung von Griff und Tülle



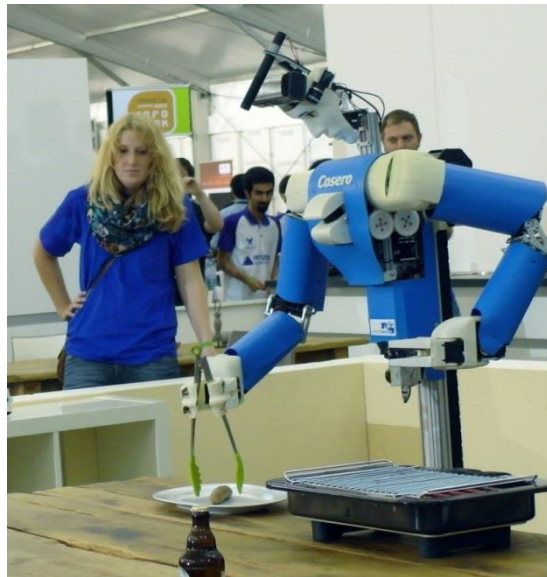
Gebrauch von Werkzeugen: Flaschenöffner

- Wahrnehmung der Werkzeugspitze
- Erweiterung der Armkinematik
- Wahrnehmung des Kronkorkens



Gebrauch von Werkzeugen: Grillzange

- Wahrnehmung der Zangenspitze
- Erweiterung der Armkinematik
- Schätzung der Würstchenposition



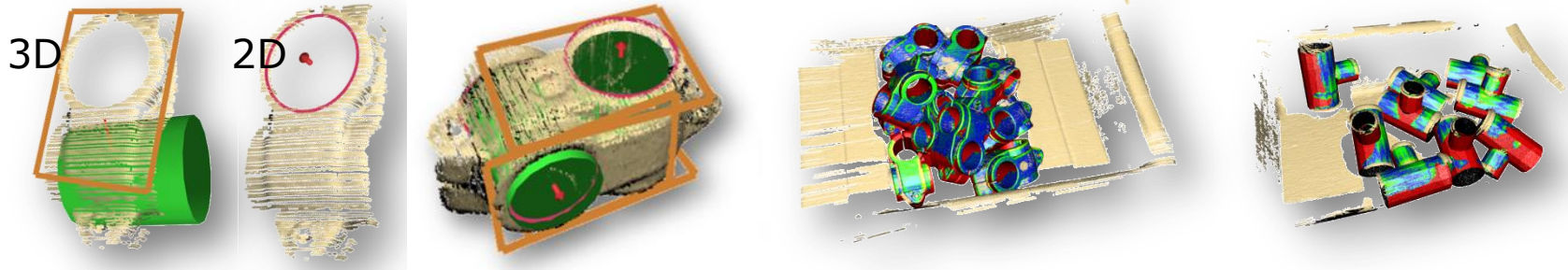
- Gewinner RoboCup@Home-Liga 2001-2013.

Griff in die Kiste

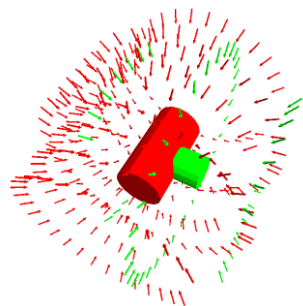
- Bekannte Objekte ungeordnet in Transportbehälter



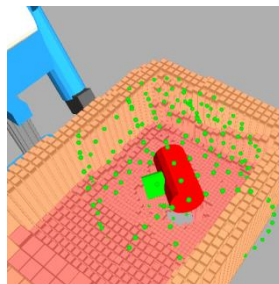
- Erkennung von Graphen aus 2D und 3D Formprimitiven



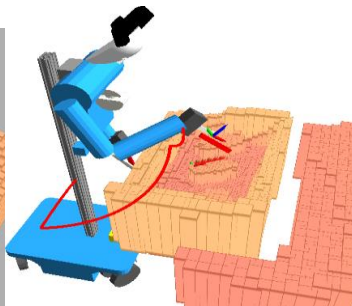
- Greif- und Bewegungsplanung



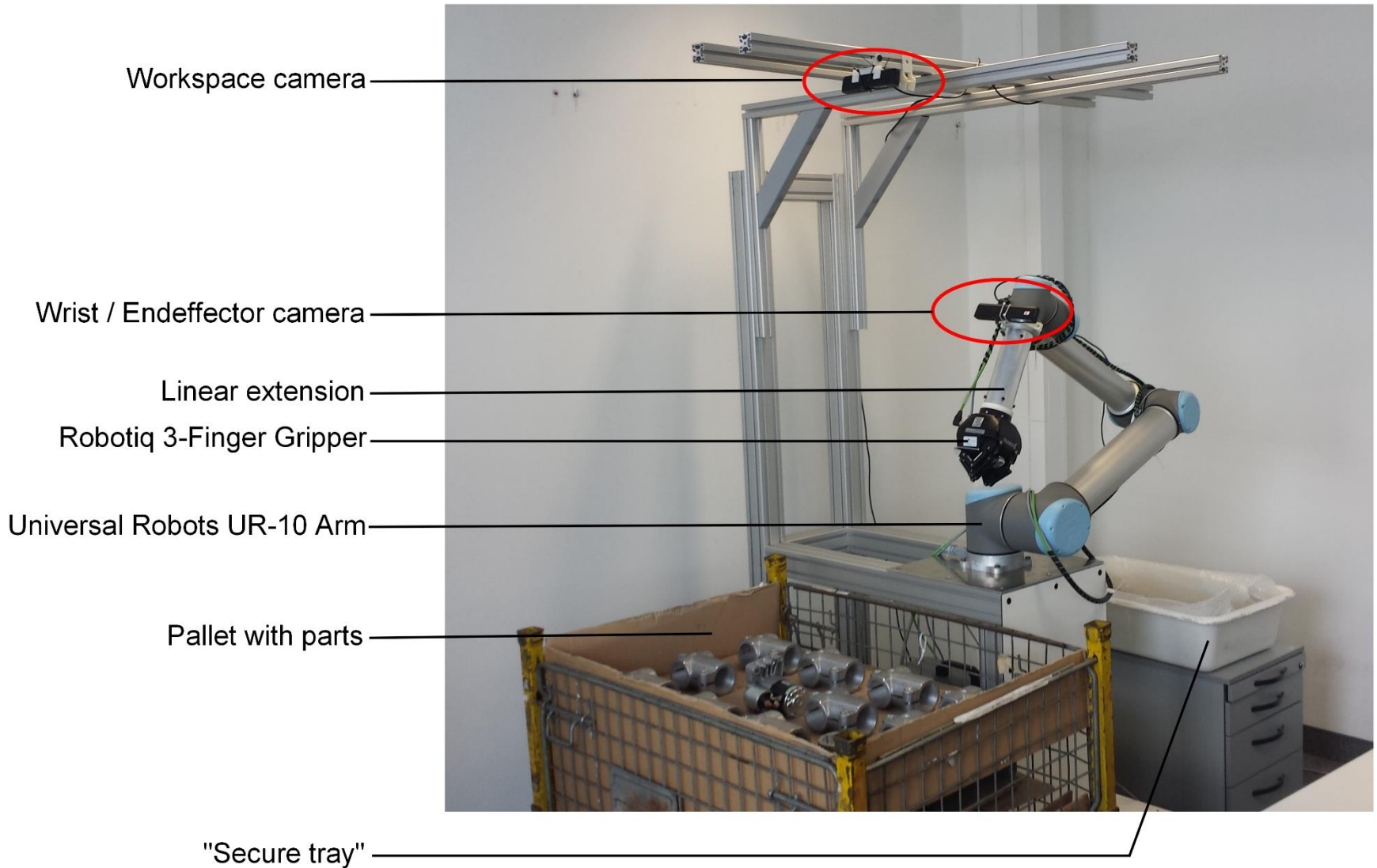
Offline



Online

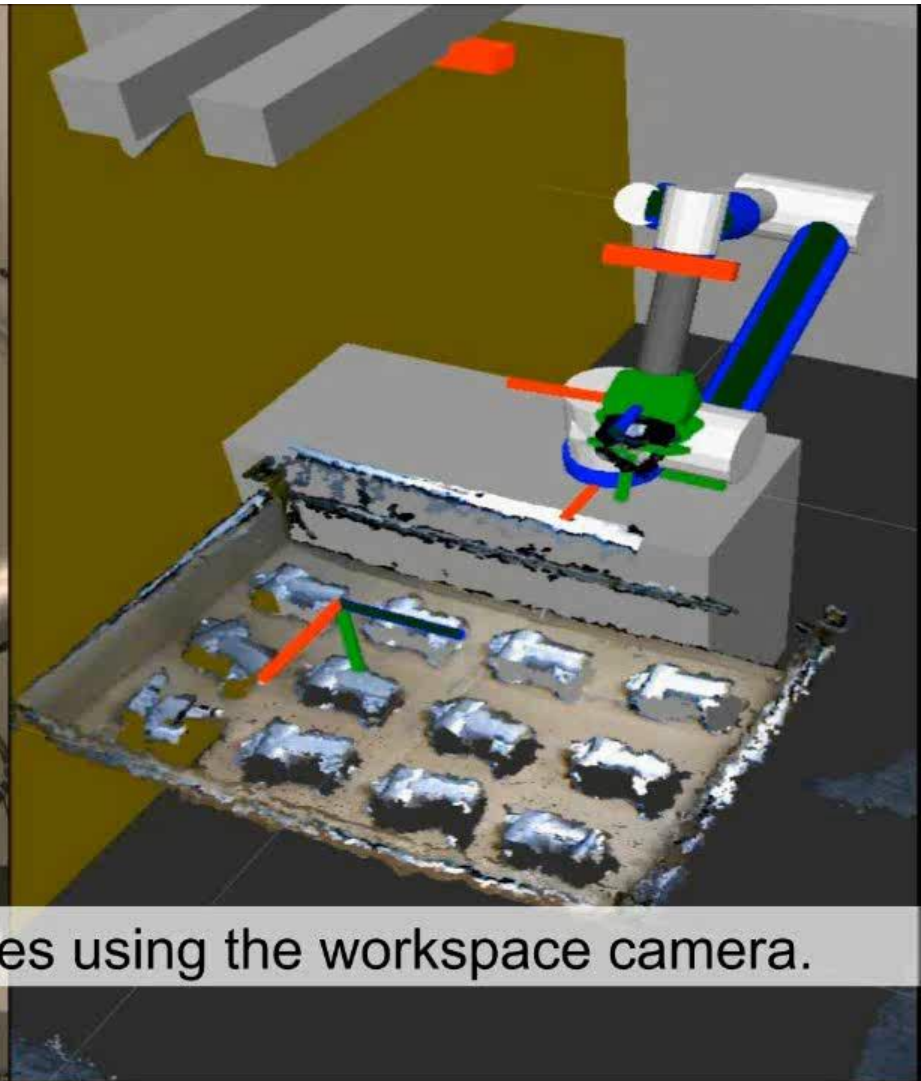
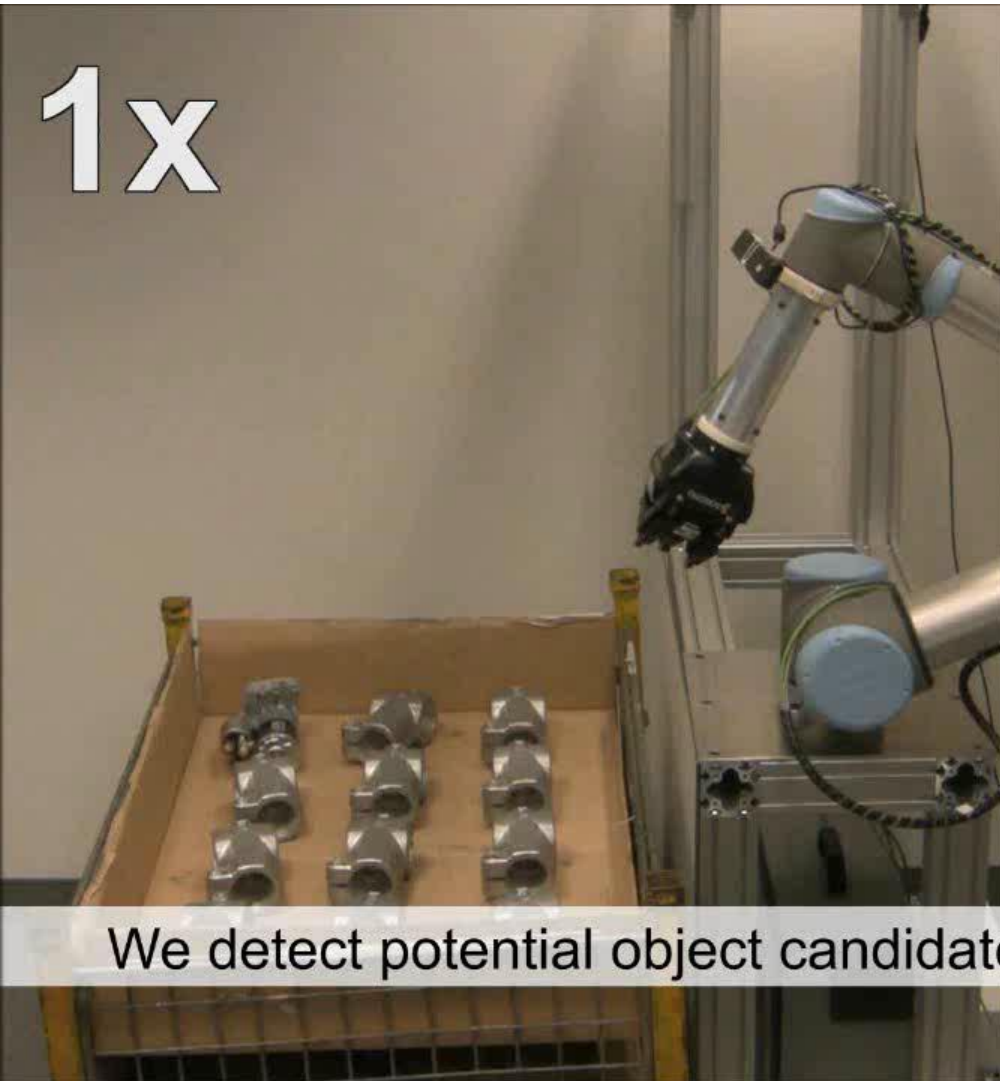


Greifen von Teilen aus Transportbox



Detektion der Teile und Greifen

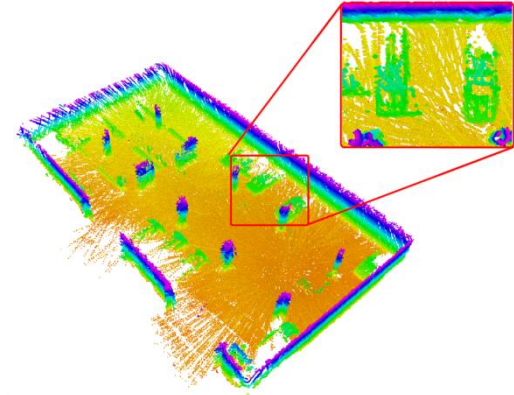
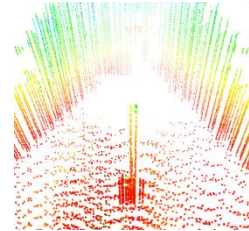
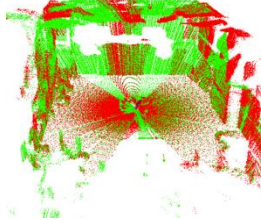
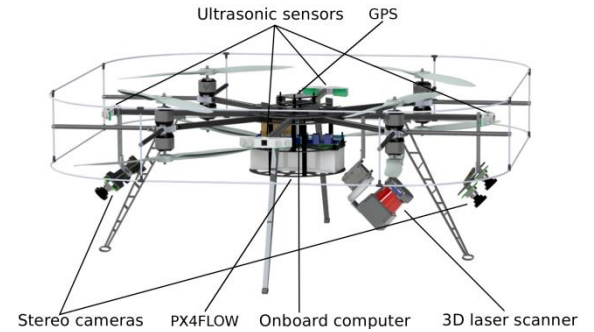
1x



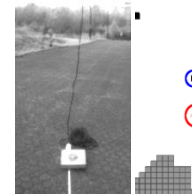
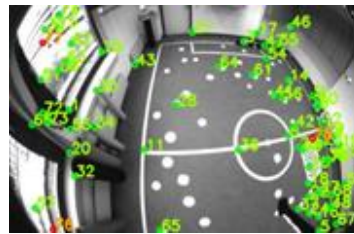
We detect potential object candidates using the workspace camera.

Autonomer Flug in Hindernisnähe

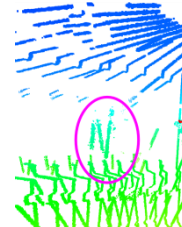
- Flugroboter mit viel Sensorik und Rechenleistung
- Multimodale Hindernisdetektion
 - 3D-Laserscanner



- Stereo-Kameras

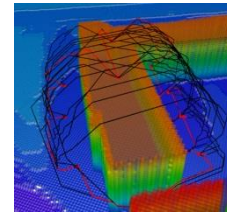
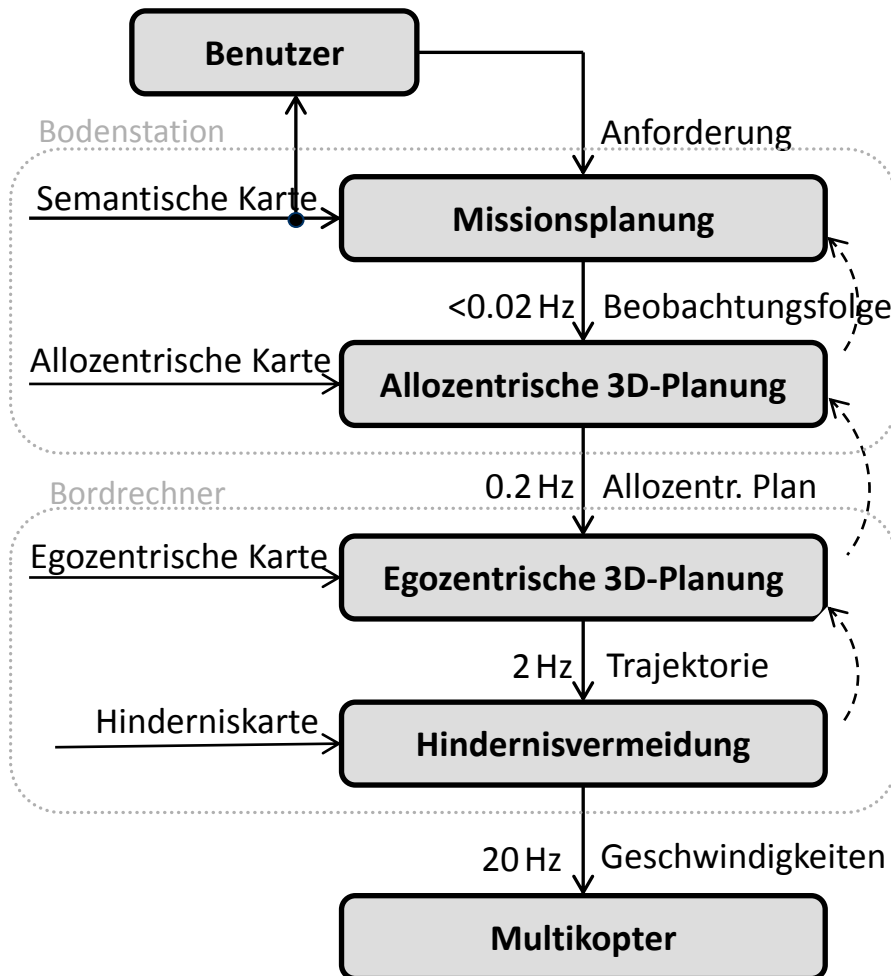


- Ultraschall

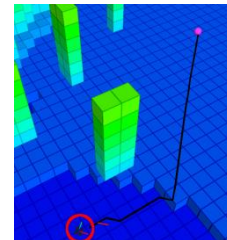


Navigationssarchitektur

- Geschichtete Planung: Von abstrakt zu konkret



Missionsplanung



Allozentrische Planung



Egozentrische Planung



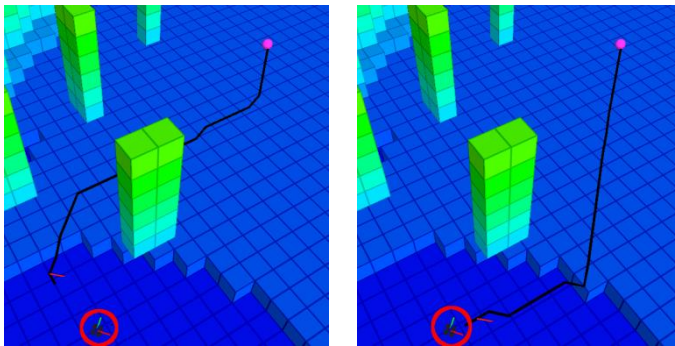
Hindernisvermeidung

Navigationplanung

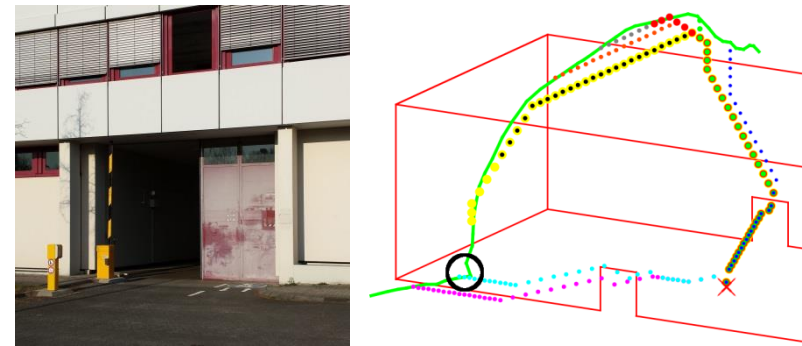
■ Kontinuierliche allozentrische Planung

- A*-Planer in Voxel-Gitter findet optimale Pfade

Reaktion auf Positionsabweichung

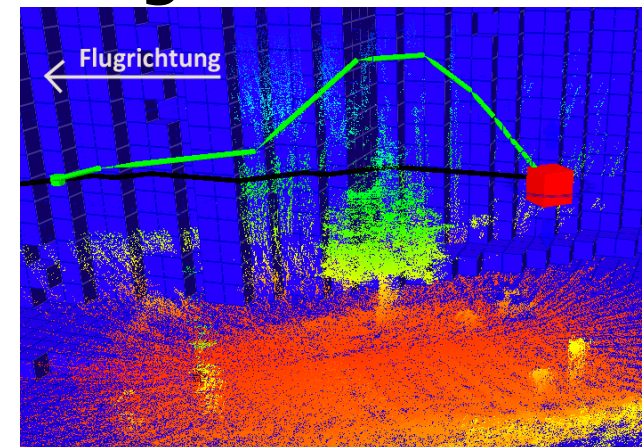


Reaktion auf Belegtheitsänderung



■ Lokale Multiresolutionsplanung

- A*-Planer in lokaler Multi-resolutionskarte
- Neuplanung mit hoher Rate
- Umfliegen lokal wahrge-nommener Hindernisse

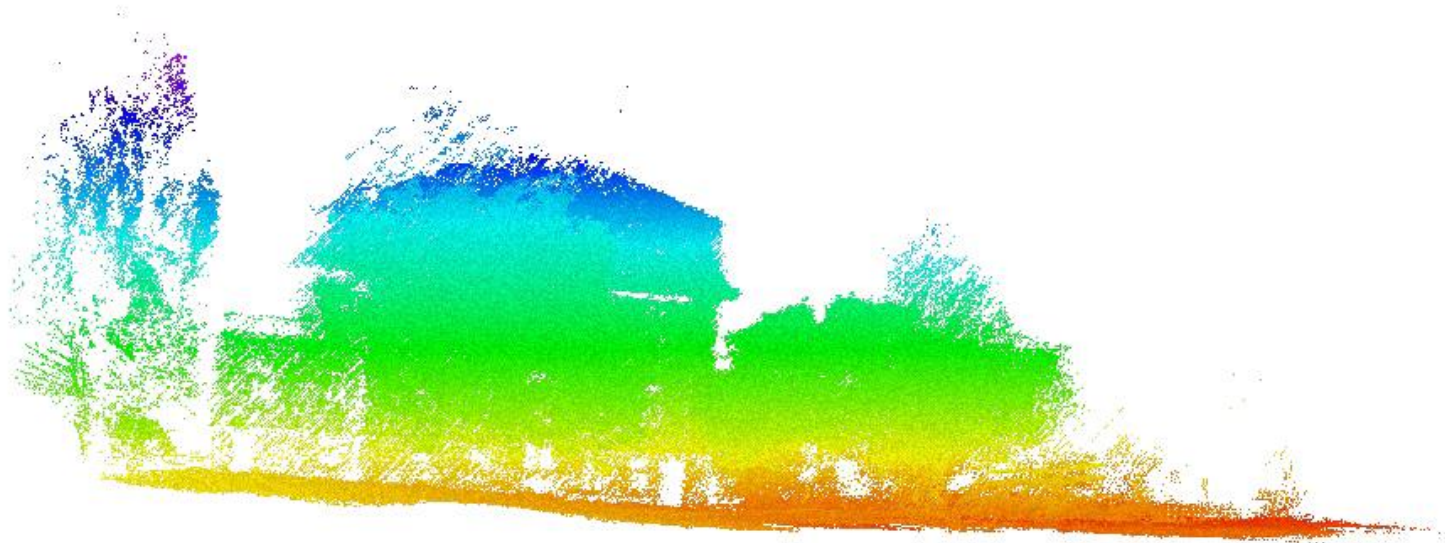


Autonomer Flug in Hindernisnähe

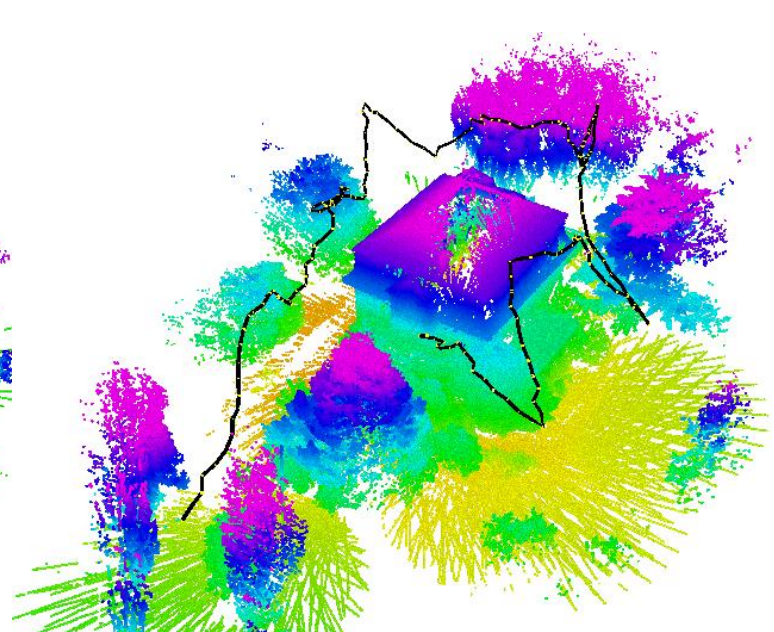
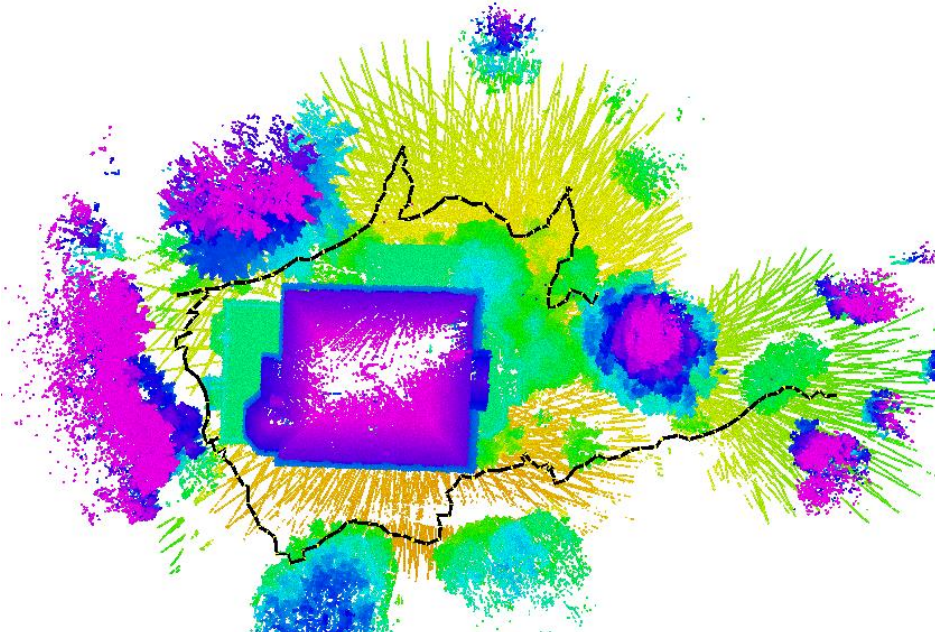
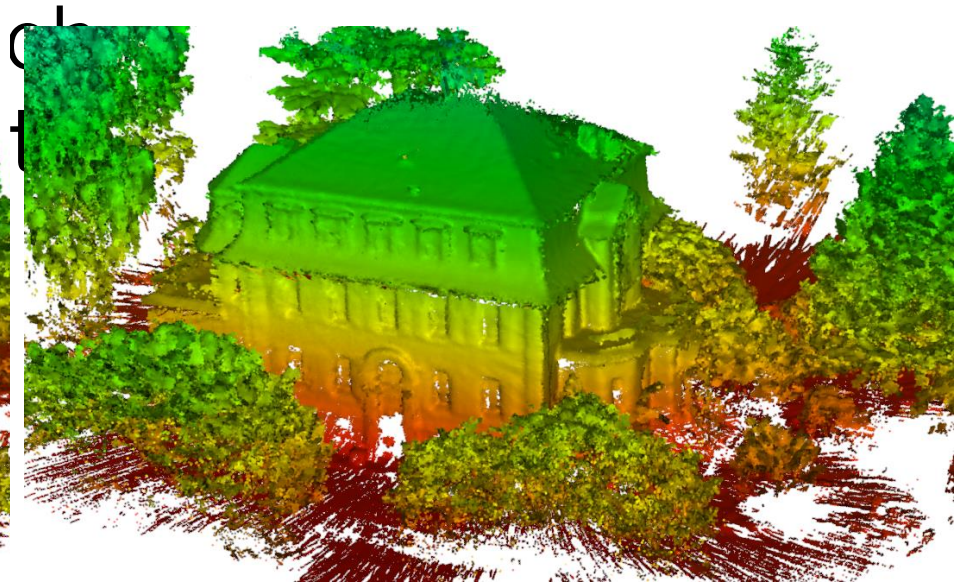
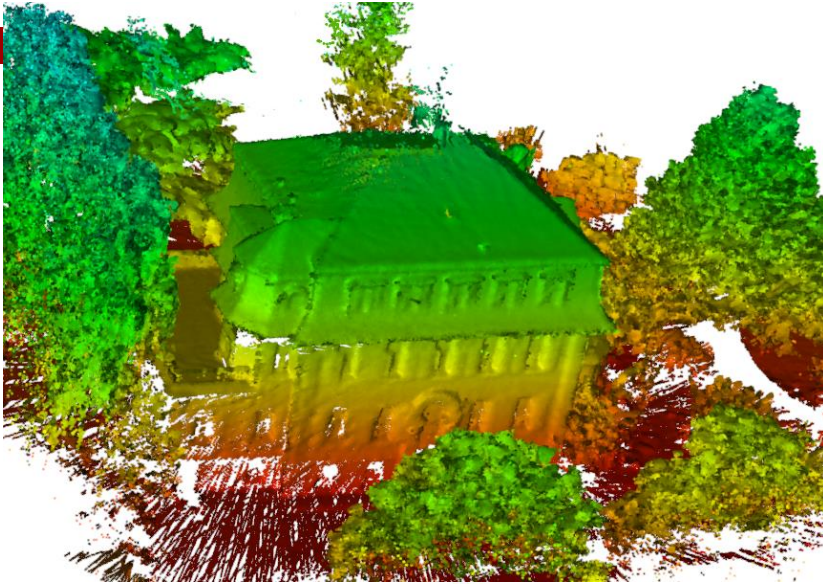
Mapping on Demand

Autonomous Flight to Planned View Poses

3D-Modell Haupthaus Frankenforst



3D-Modell Haupthaus Frankenforst



Mobile Manipulation im Gelände



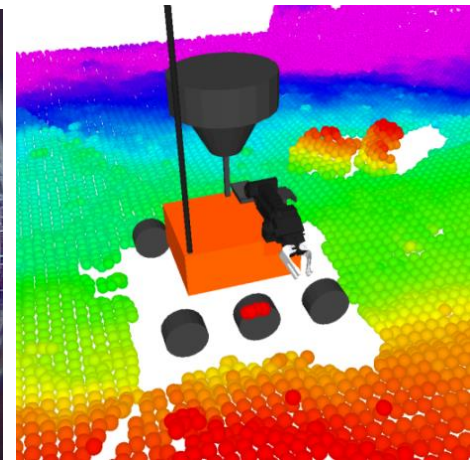
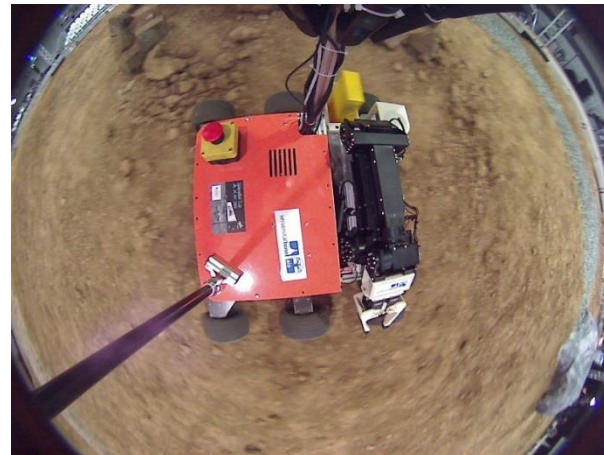
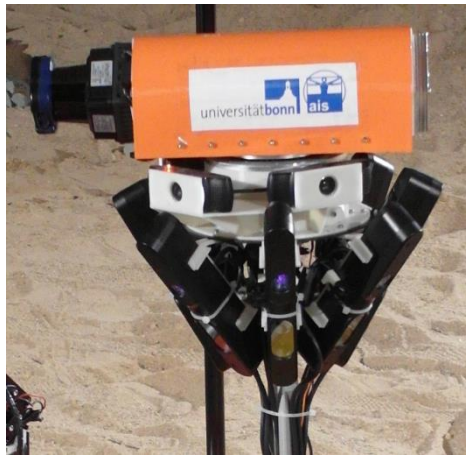
The robot starts to autonomously explore the arena

>> 2x

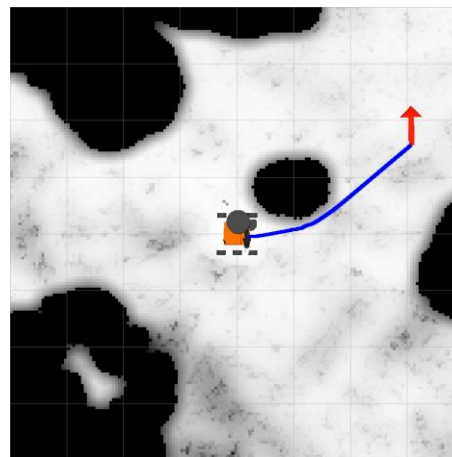
- DLR SpaceBot Cup 2013

Lokale Navigationsplanung

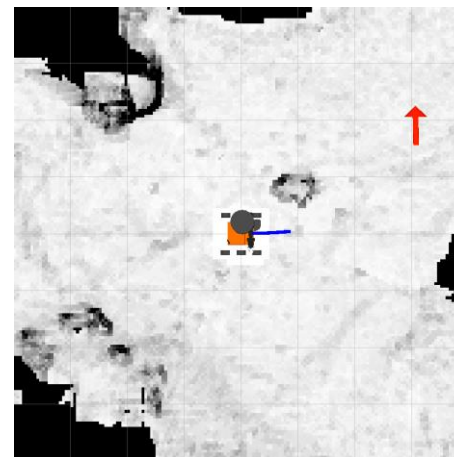
- Lokales Geländemodell aus Rundum-RGB-D-Kamera



- Zellkosten und geplanter Pfad



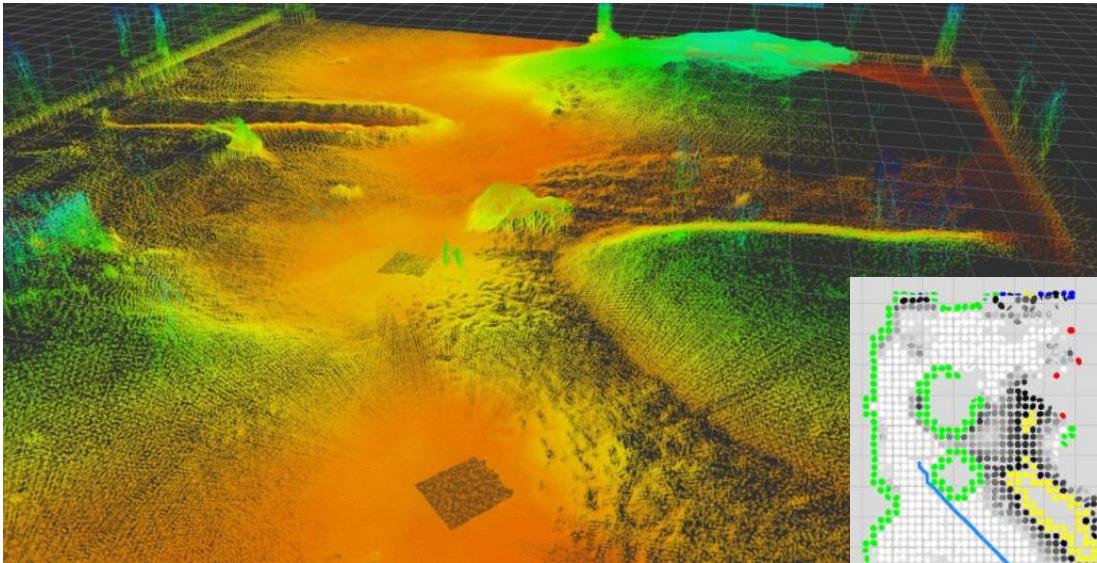
A*



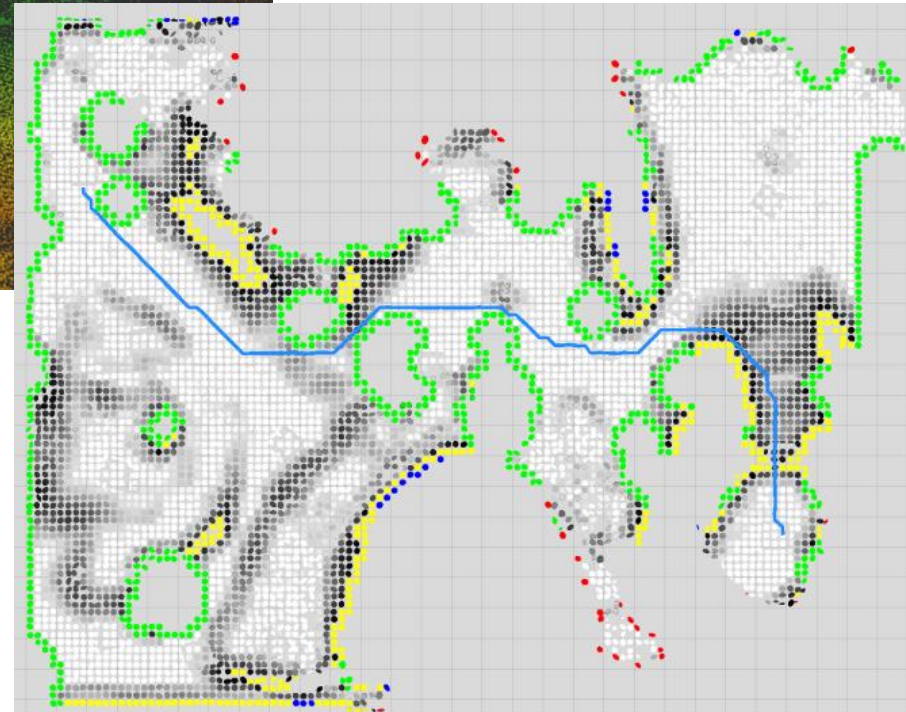
Rollout

Pfadplanung in unebenem Gelände

- 3D-Karte aus mehreren registrierten 3D-Laserscannerscans

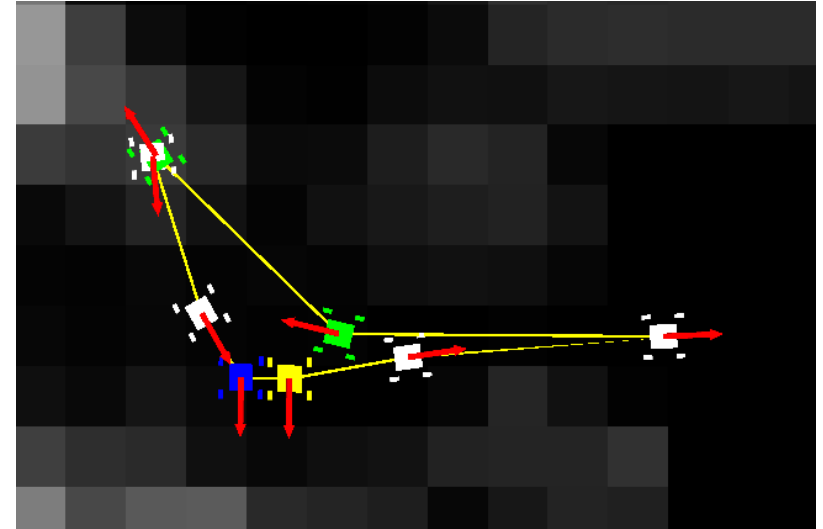
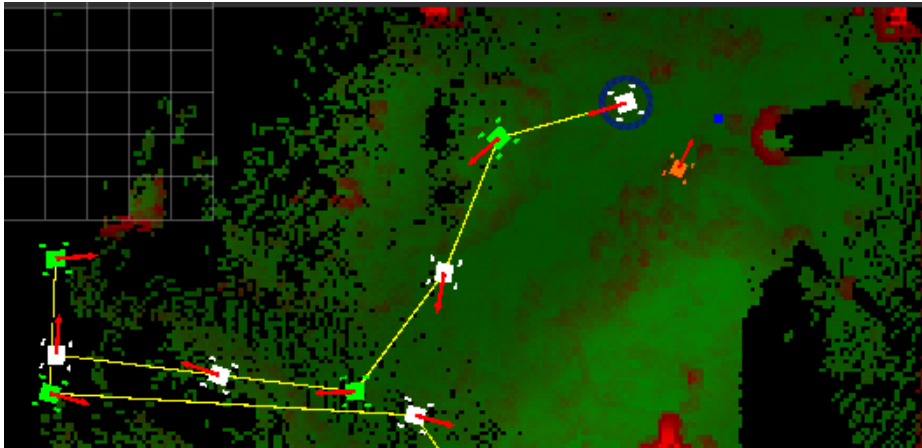


- Zellkosten abgeleitet von lokalen Geländeeigenschaften



Missionsplanung

- Spezifikation von Wegpunkten relativ zu initialer Karte
- Scan- und Objektsuchposen
- Interaktive Verfeinerung bei Checkpunkten



- Posen sind Ziele für allozentrische Pfadplanung
- Abarbeitung braucht Lokalisierung!

Mobiler Manipulationsroboter Momaro



Mobiler Manipulationsroboter Momaro



Zusammenfassung

- Kognitive Roboter haben hohes Anwendungspotential
- Wahrnehmung und Handlungsplanung ist eine große Herausforderung
- Einsatz von Lernverfahren zur Anpassung an konkrete Anforderungen
- Noch viel Forschungsarbeit nötig
- Studieren Sie Informatik!

**Vielen Dank für Ihre
Aufmerksamkeit!**