

# Kognitive Roboter als Helfer des Menschen

**Prof. Sven Behnke**



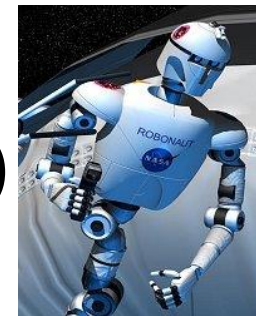
# Industrieroboter

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



# Neue Einsatzbereiche

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



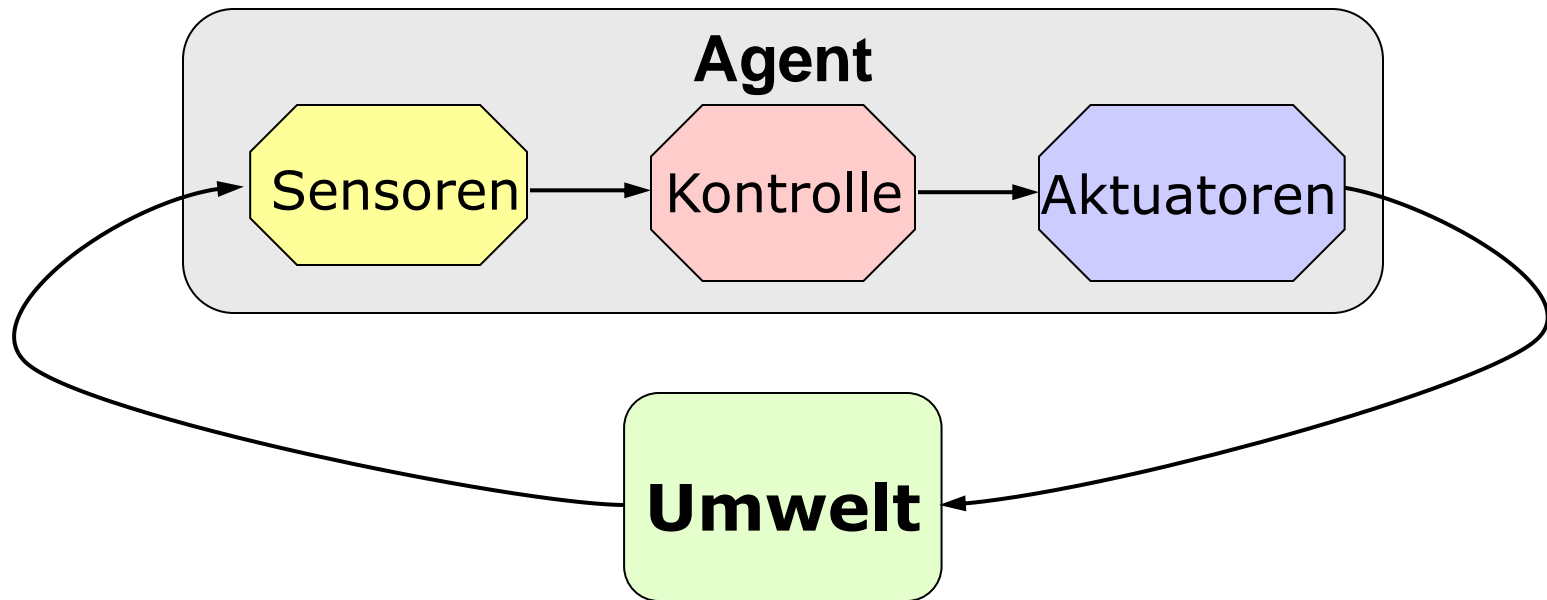
# Selbst Fahrende Automobile



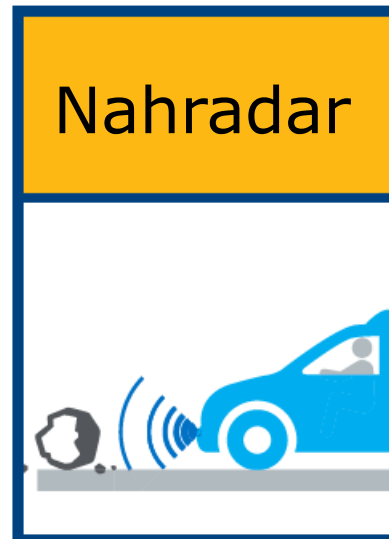
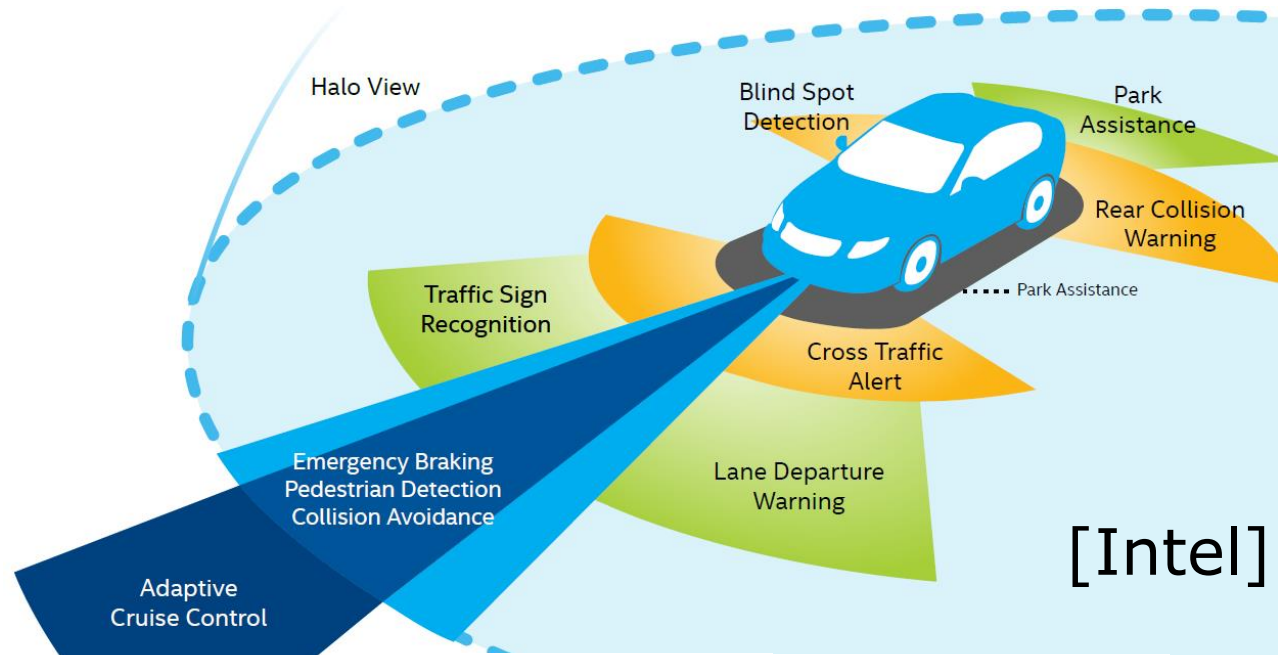
[Google 2015]

# Teilprobleme

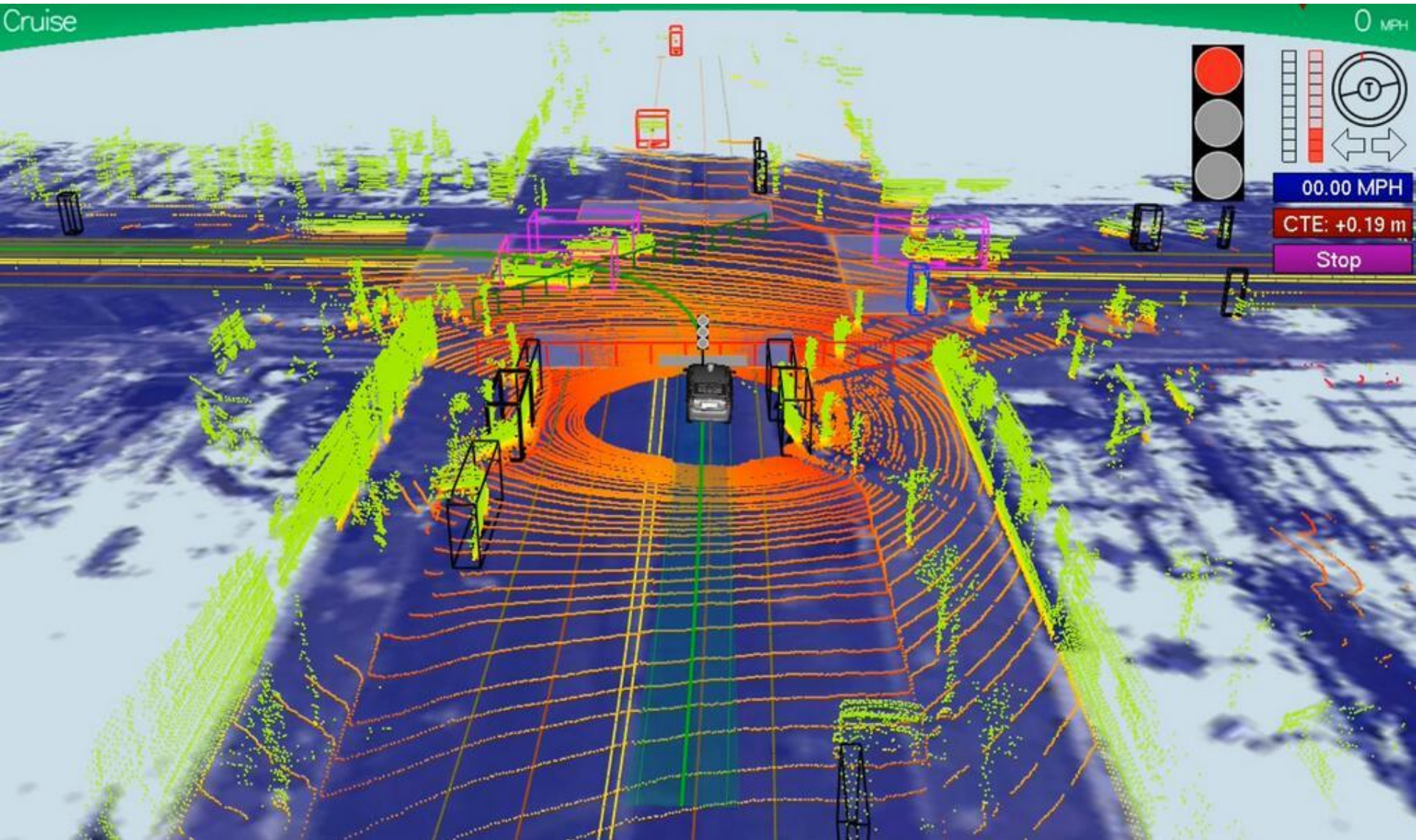
- Wahrnehmung der Umwelt
- Verhaltensplanung
- Beeinflussung der Umwelt



# Sensoren für Automobile



# Umgebungssicht des Google-Autos



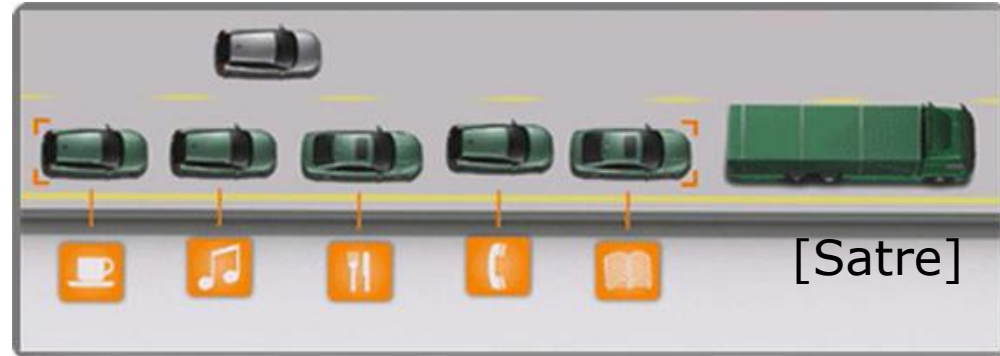
# Warten auf Abbiegenden Radfahrer





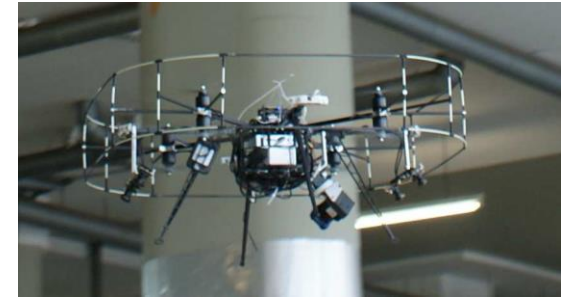
# Möglicher Nutzen Selbst Fahrender Automobile

- Höher Sicherheit
- Weniger Energieverbrauch
- Bessere Ausnutzung der Straßenraums
- Fahrer kann Zeit anders nutzen
- Preiswertere Taxis



# Unsere Kognitiven Roboter

- Ausgestattet mit zahlreichen Sensoren und Gelenken
- Demonstration in Beispielanwendungen



Flugroboter



Fußballroboter



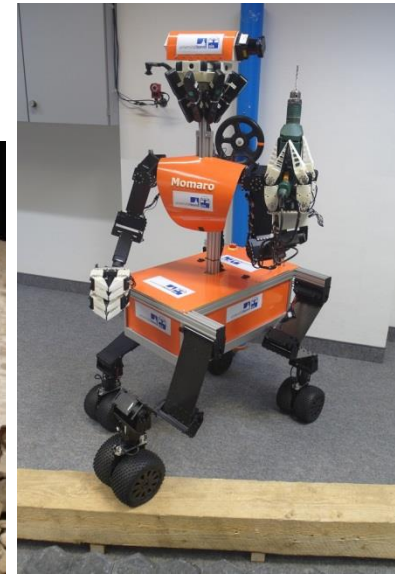
Kommunikations-roboter



Serviceroboter



Explorations-roboter



Rettungsroboter

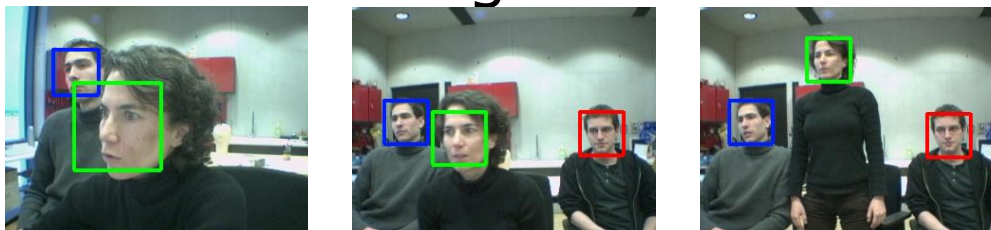


# Kommunikations- roboter Robotinho

- 110cm, 6kg
- 23 Gelenke
  - 6 pro Bein
  - 4 pro Arm
  - 3 im Rumpf
- Kommunikationskopf (17 Gelenke)
- Mini-PC
- Laser-Scanner
- Ultraschall

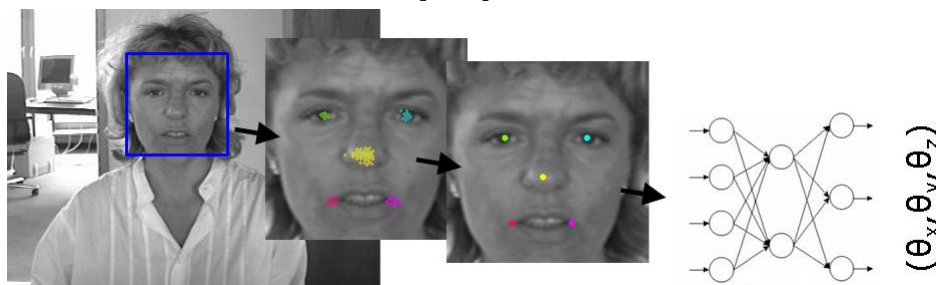
# Wahrnehmung der Gesprächspartner

- Finden und Verfolgen von Gesichtern



[Bennewitz – Behnke:  
Humanoids'05]

- Schätzen der Kopfpostur



[Vatahska, Bennewitz,  
Behnke: Humanoids'07]

- Gestenerkennung

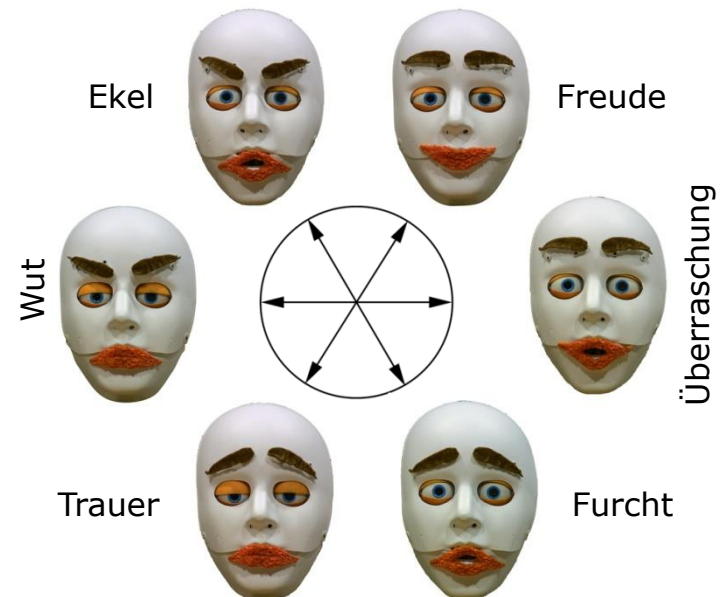


[Axenbeck, Bennewitz,  
Behnke, Burgard:  
Humanoids'08]

- Spracherkennung (Loquendo)

# Multimodales Dialogsystem

- Blickkontakt
  - Vergenz, Sakkaden, glatte Folgebewegungen
  - Aufmerksamkeit
- Emotionale Mimik
- Sprachsynthese
  - Loquendo
  - emotional
- Animierter Mund
- Gesten
  - Symbolische Gesten
  - Zeigegesten
  - Kopfgesten



[Faber – Behnke: RO-MAN'09]

# Robotinho im Deutschen Museum Bonn

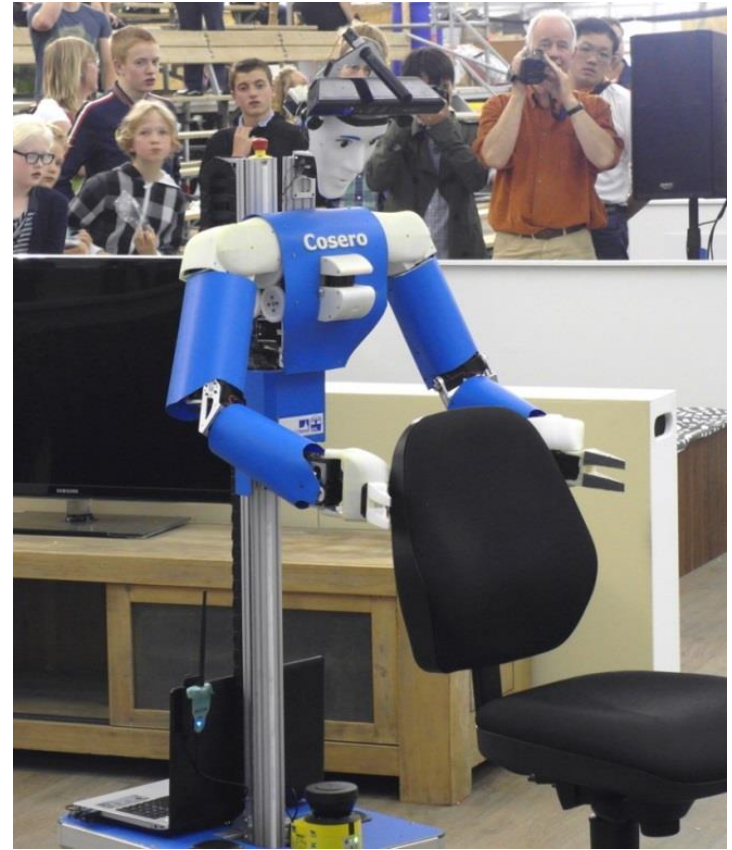


[Nieuwenhuisen – Behnke, Humanoids'10]

# Unsere Serviceroboter



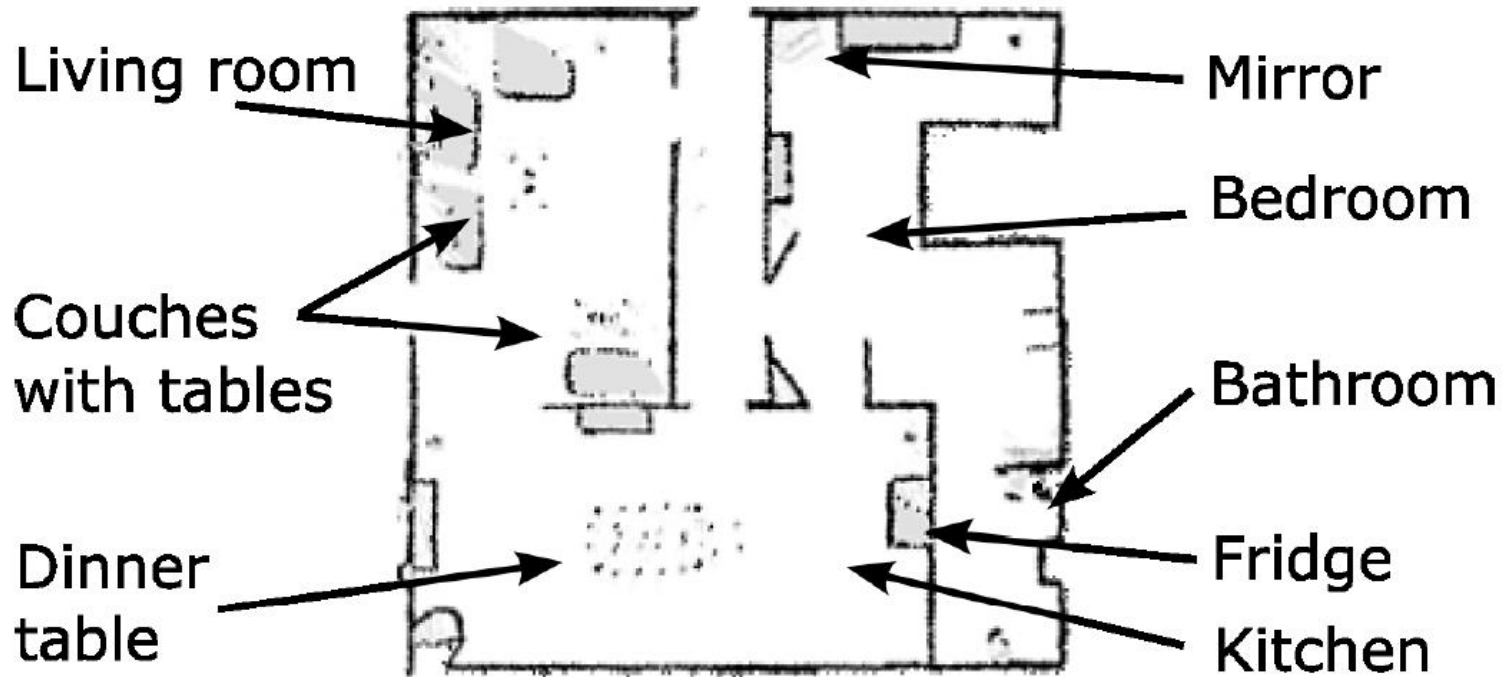
Dynamaid



Cosero

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

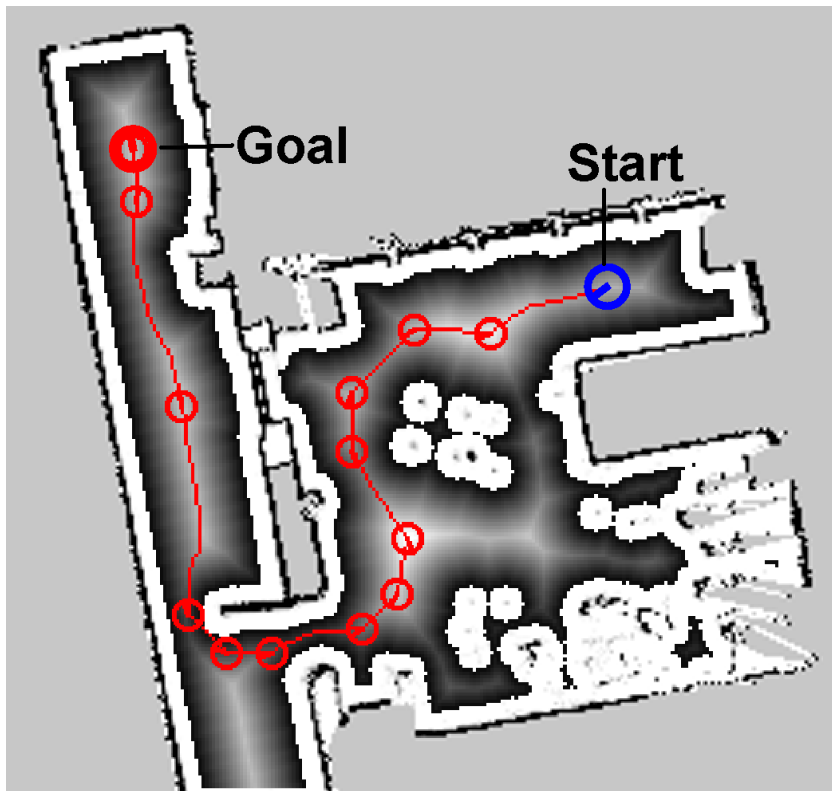
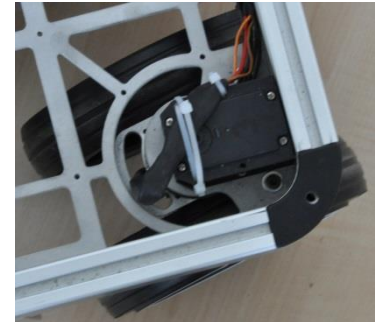
# Kartierung der Umgebung





# Pfadplanung

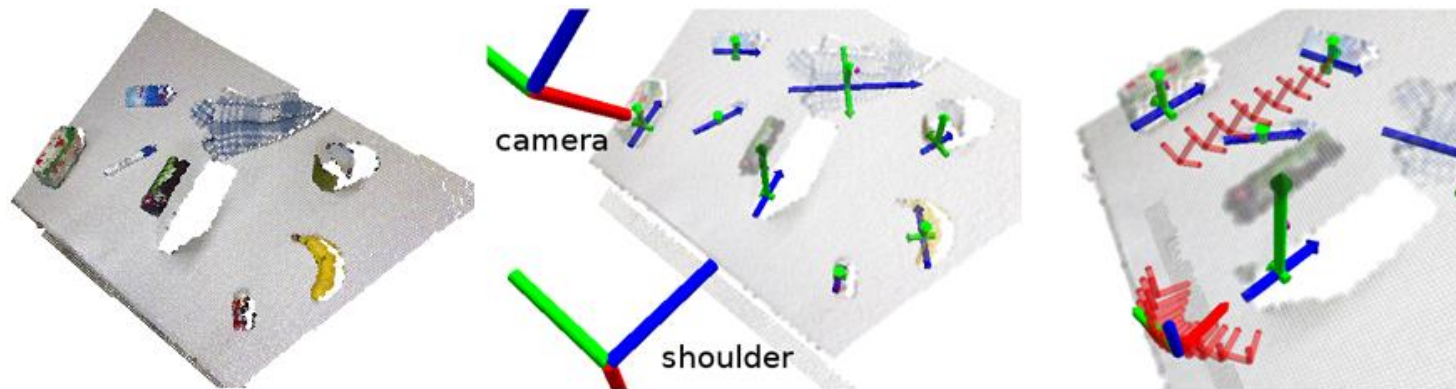
- Omnidirektionales Fahrwerk mit vier lenkbaren Radpaaren
- Zellkosten steigen in der Nähe der Wände
- A\* findet kostengünstigsten Pfad
- Ausrichtung in Engstellen
- Neuplanung wenn Pfad blockiert



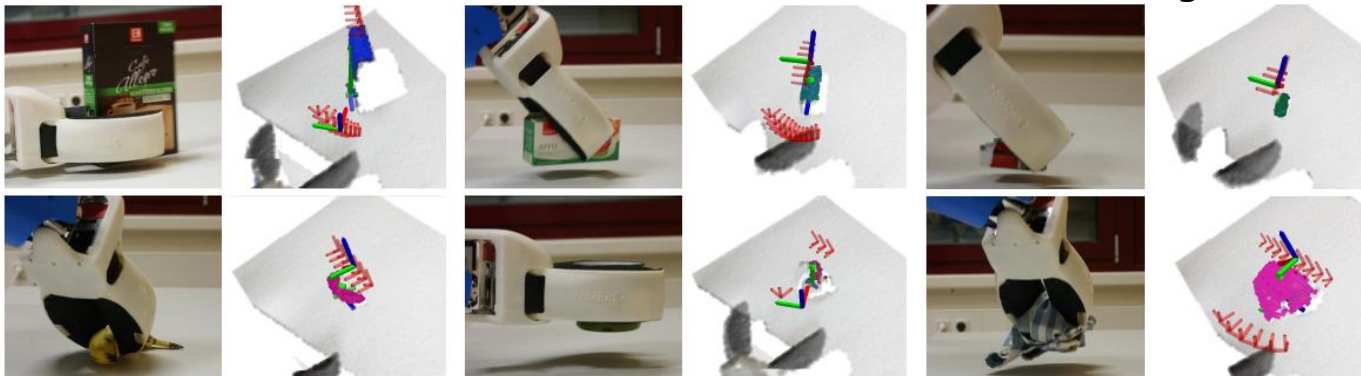
RoboCup 2013

# Analyse von Tischszenen und Greifplanung

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



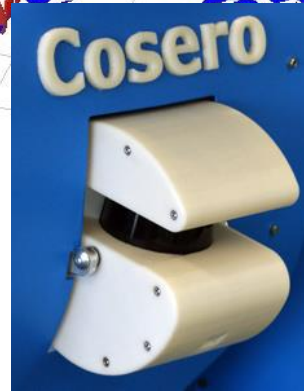
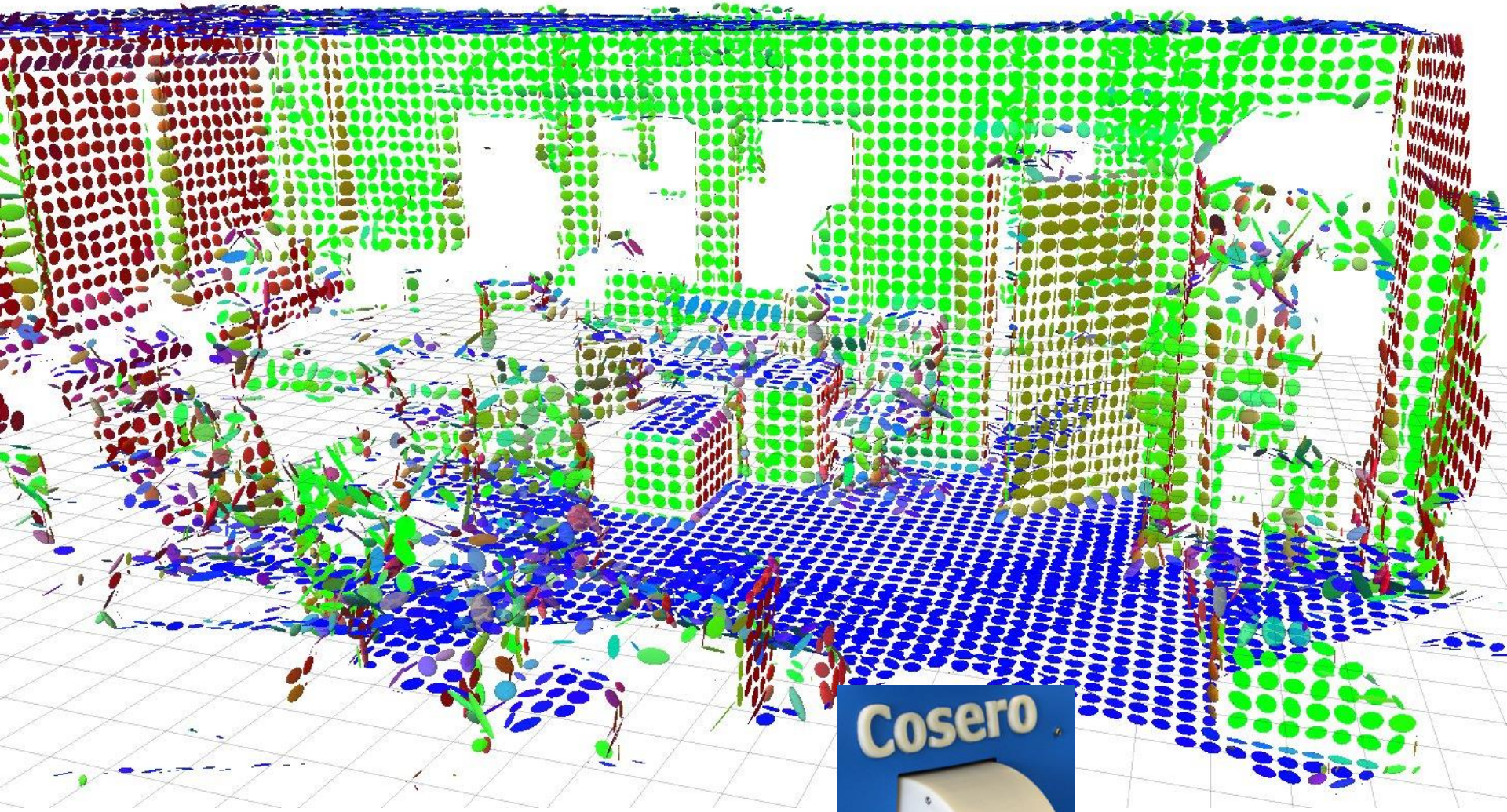
- Flexibles Greifen einer Vielzahl von Objekten



# 3D-Kartierung mit Flächenelementen

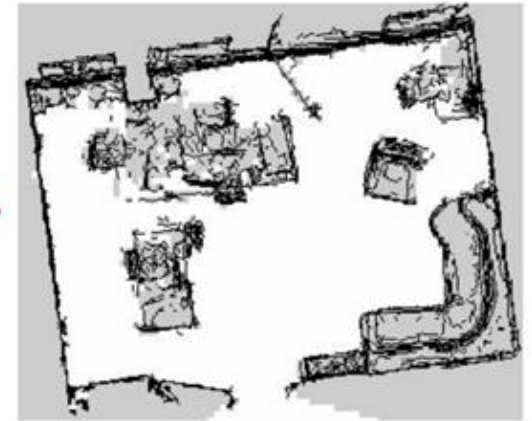
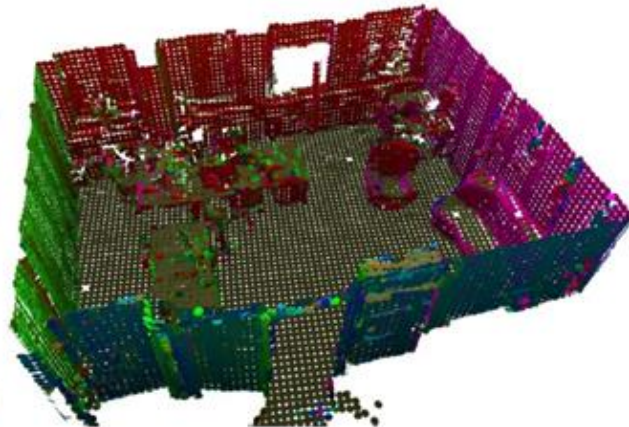


# 3D-Kartierung mit Flächenelementen



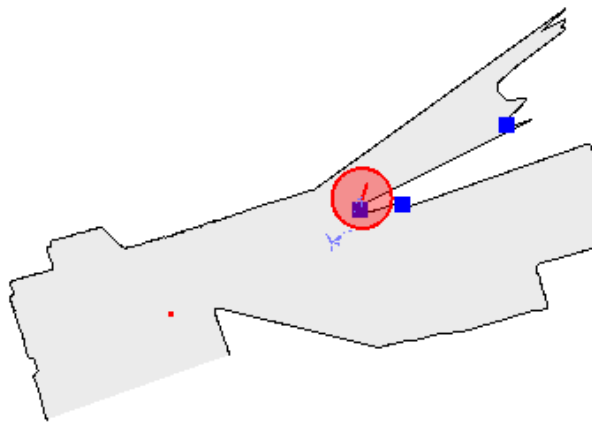
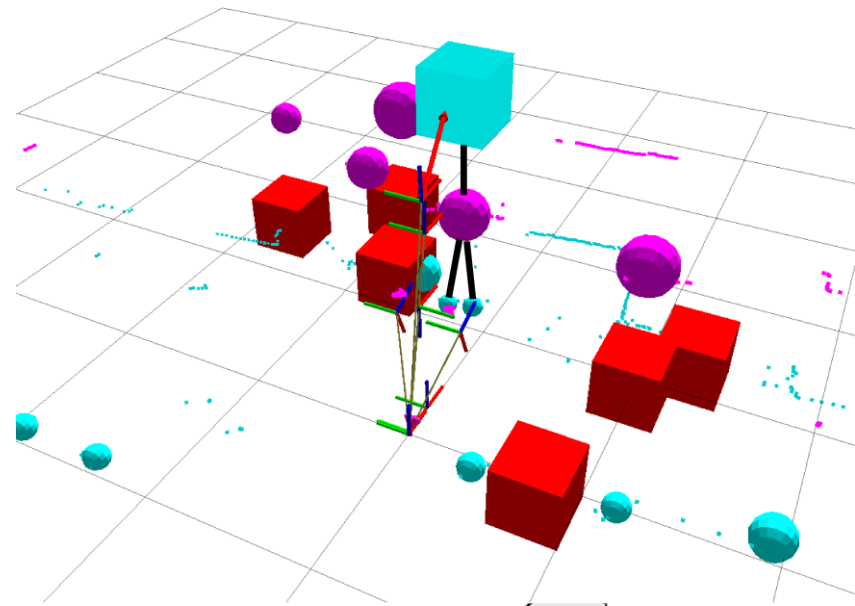
# 3D-Kartierung und Lokalisierung

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

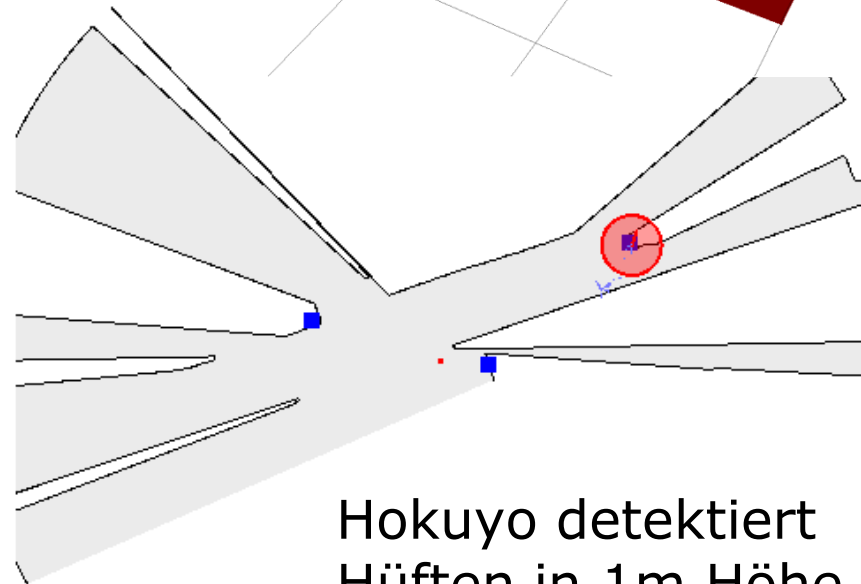


# Wahrnehmung von Personen

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



Sick detektiert Beine  
in 30cm Höhe



Hokuyo detektiert  
Hüften in 1m Höhe

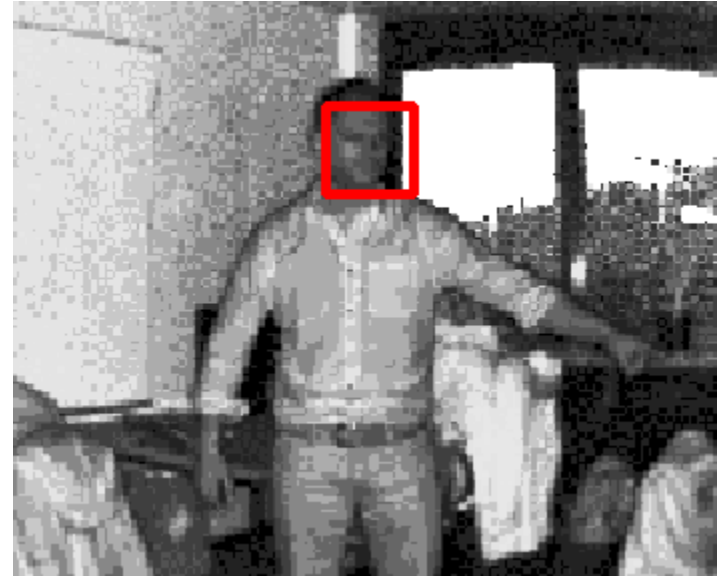
# RoboCup 2010: Follow-Me-Test



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

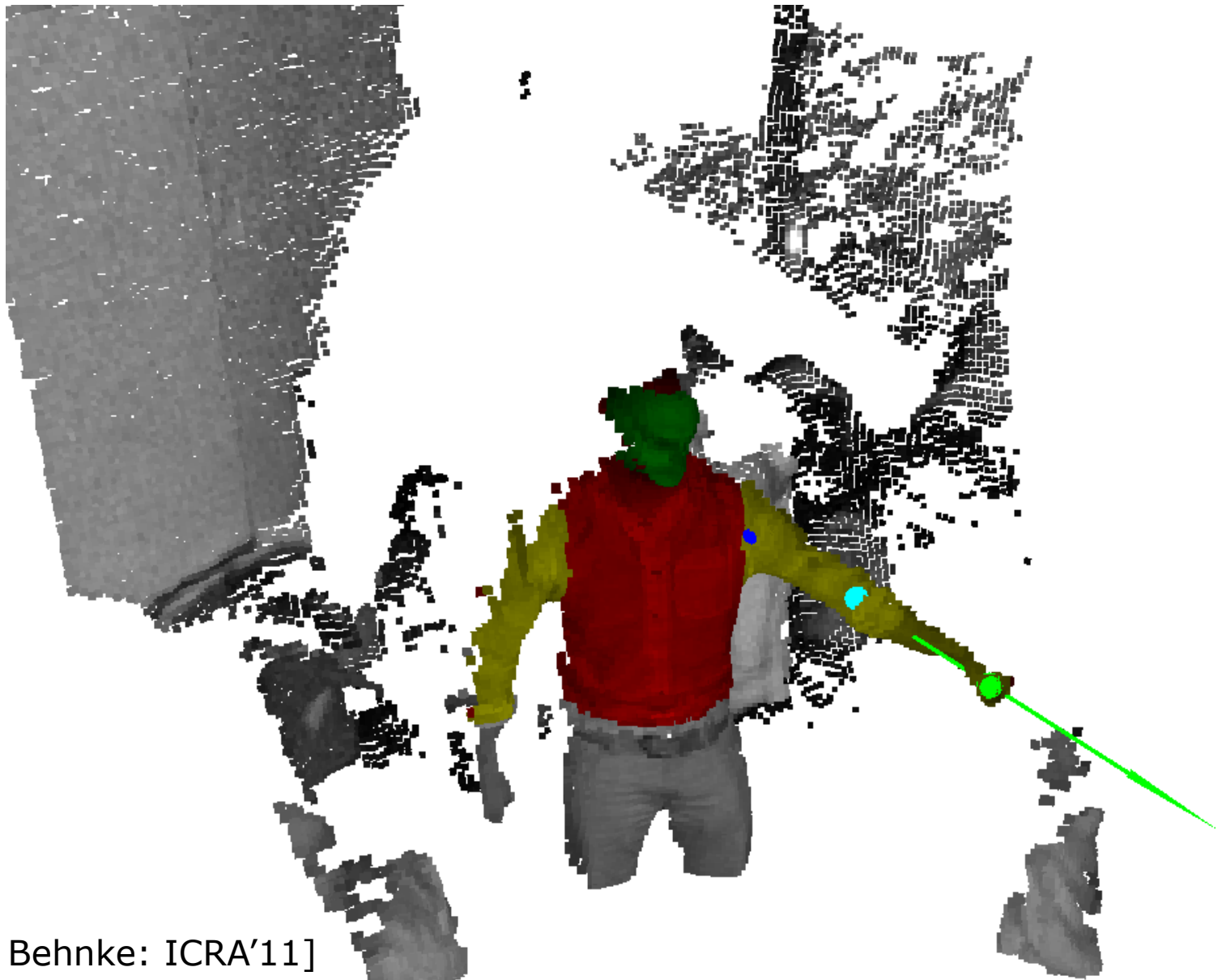
# Gestenerkennung mit ToF-Kamera

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

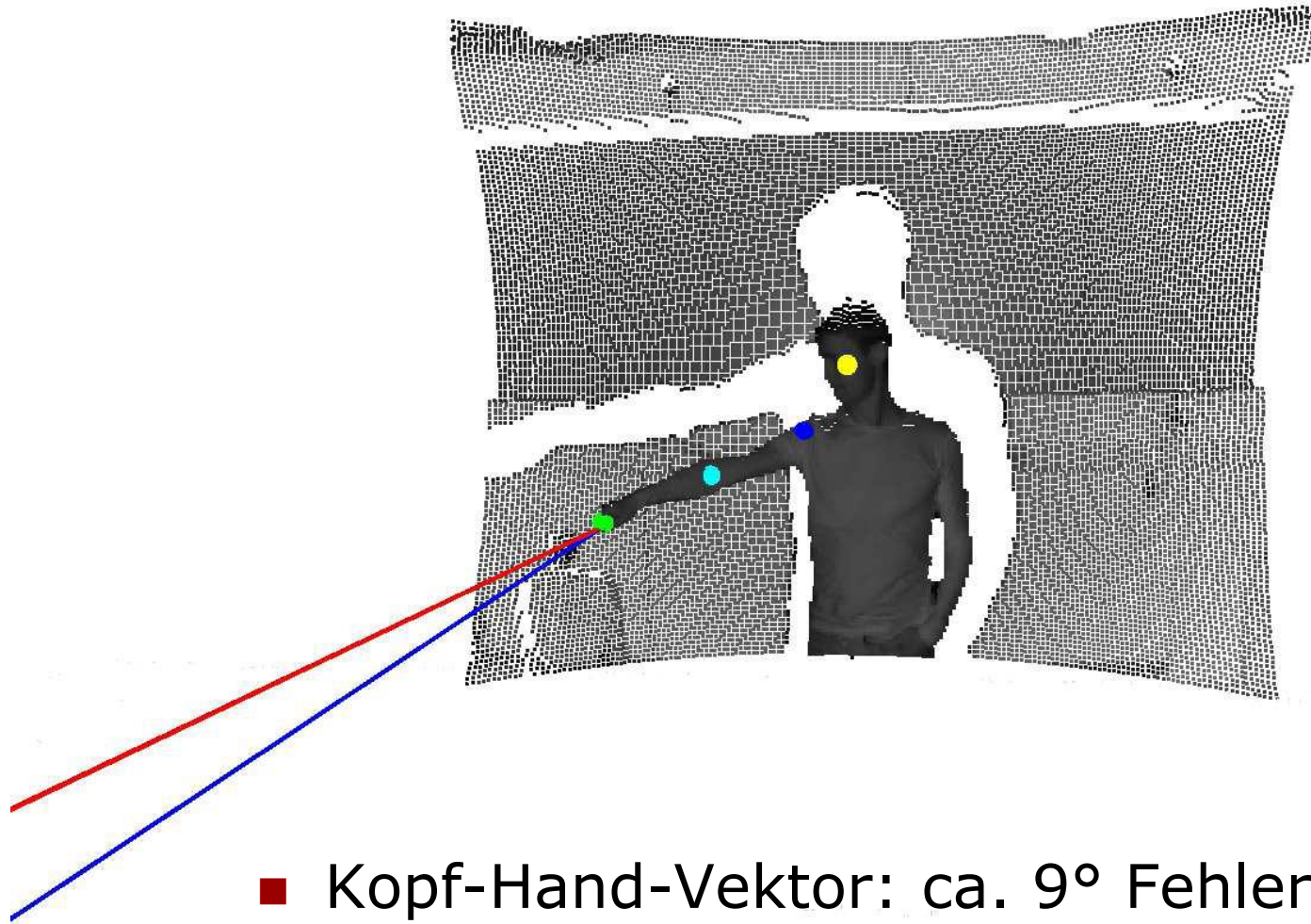




# Segmentierung und Detektion



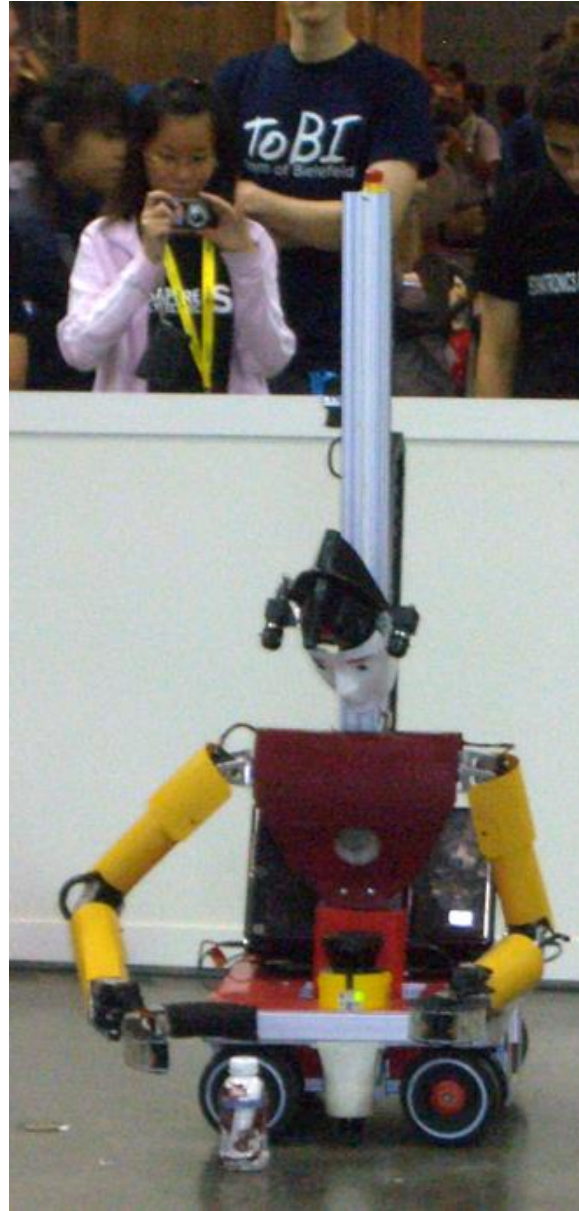
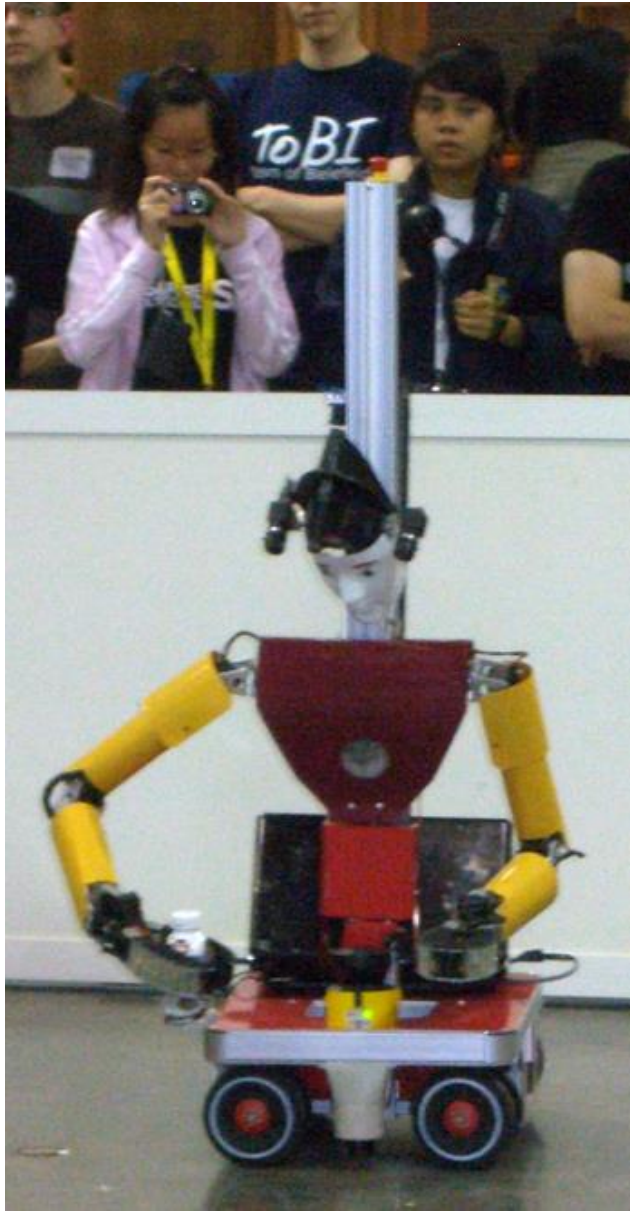
# Schätzung der Zeigerichtung



- Kopf-Hand-Vektor: ca.  $9^\circ$  Fehler
- GPR-Funktionsapproximator:  $3^\circ$  Fehler

[Dröschel, Stückler, Behnke: HRI'11]

# Aufheben von Objekten

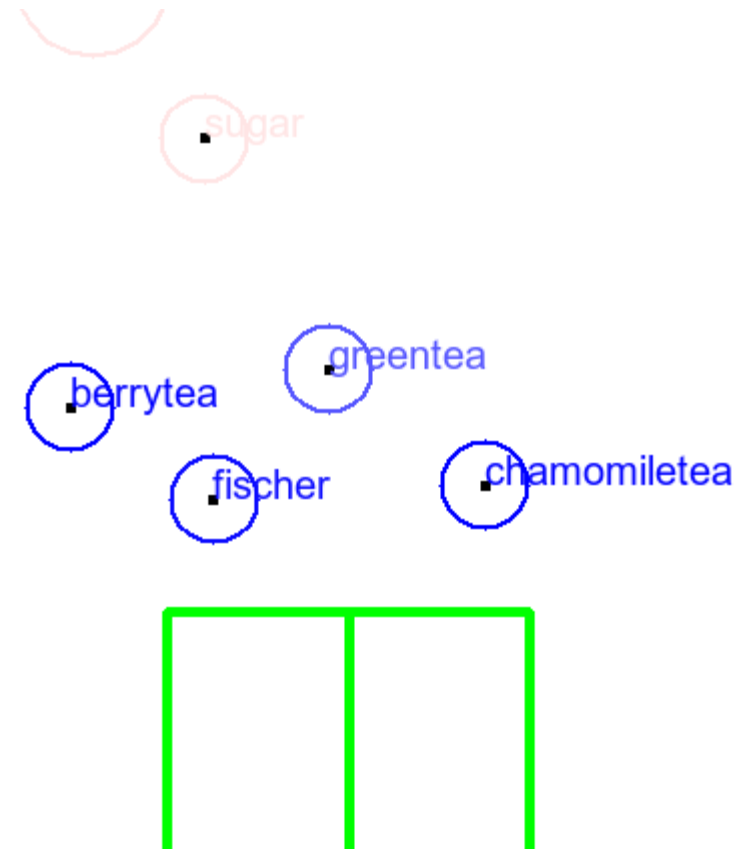
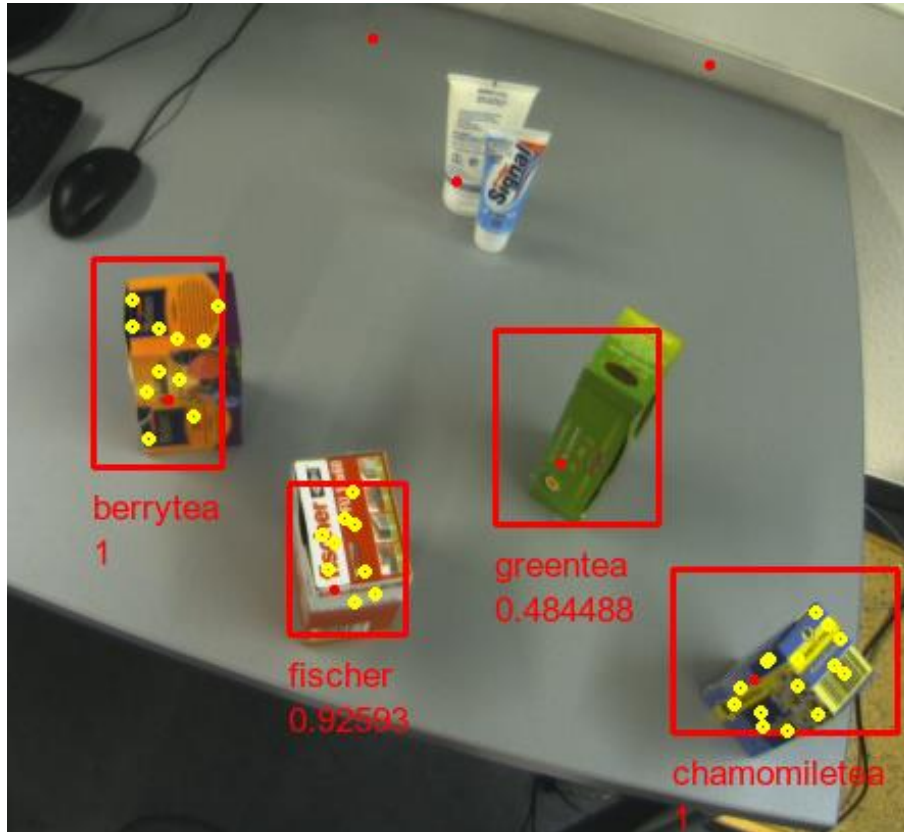


# Zeigen von Objekten



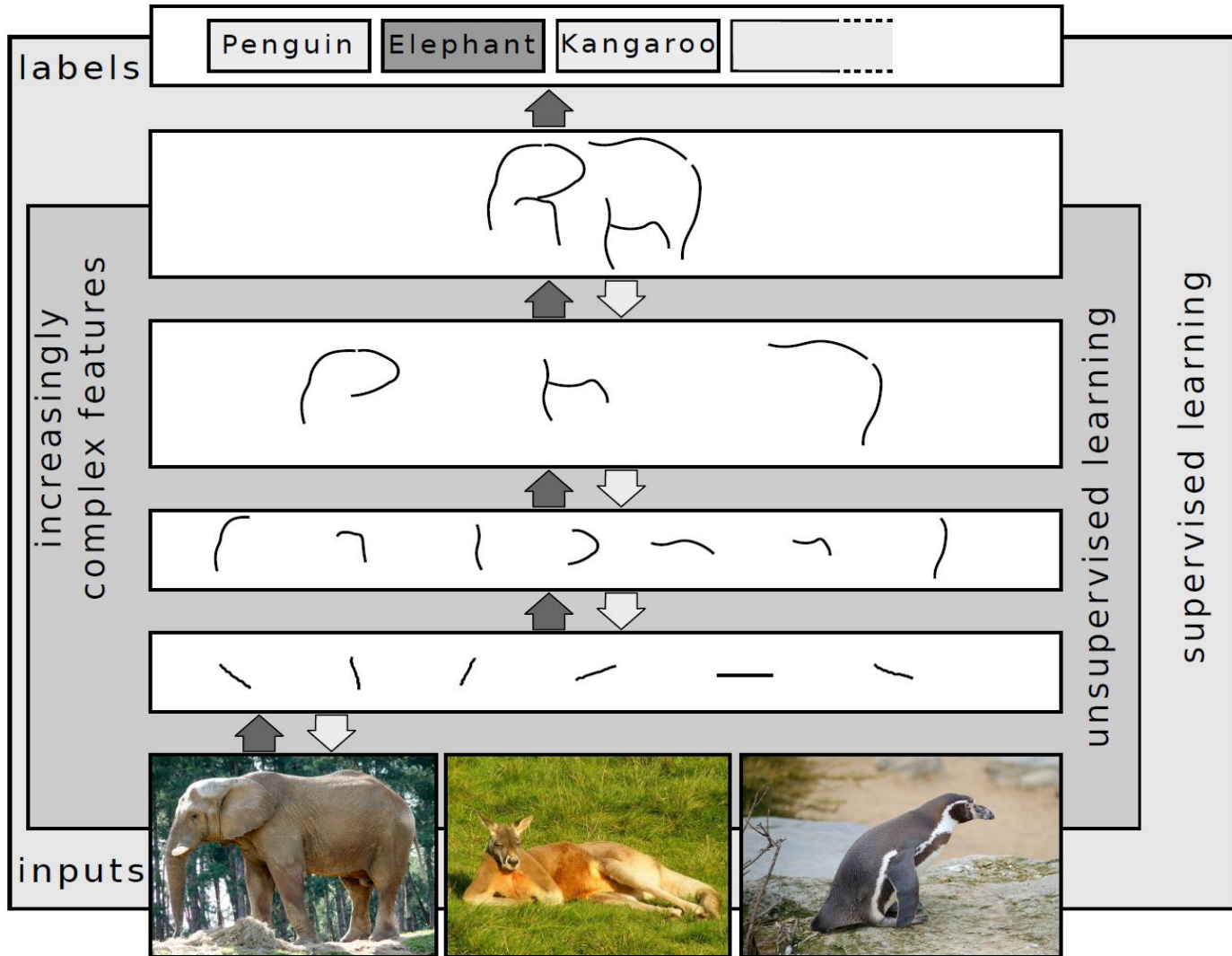
[Dröschel – Behnke: ICRA'11]

# Visuelle Objekterkennung



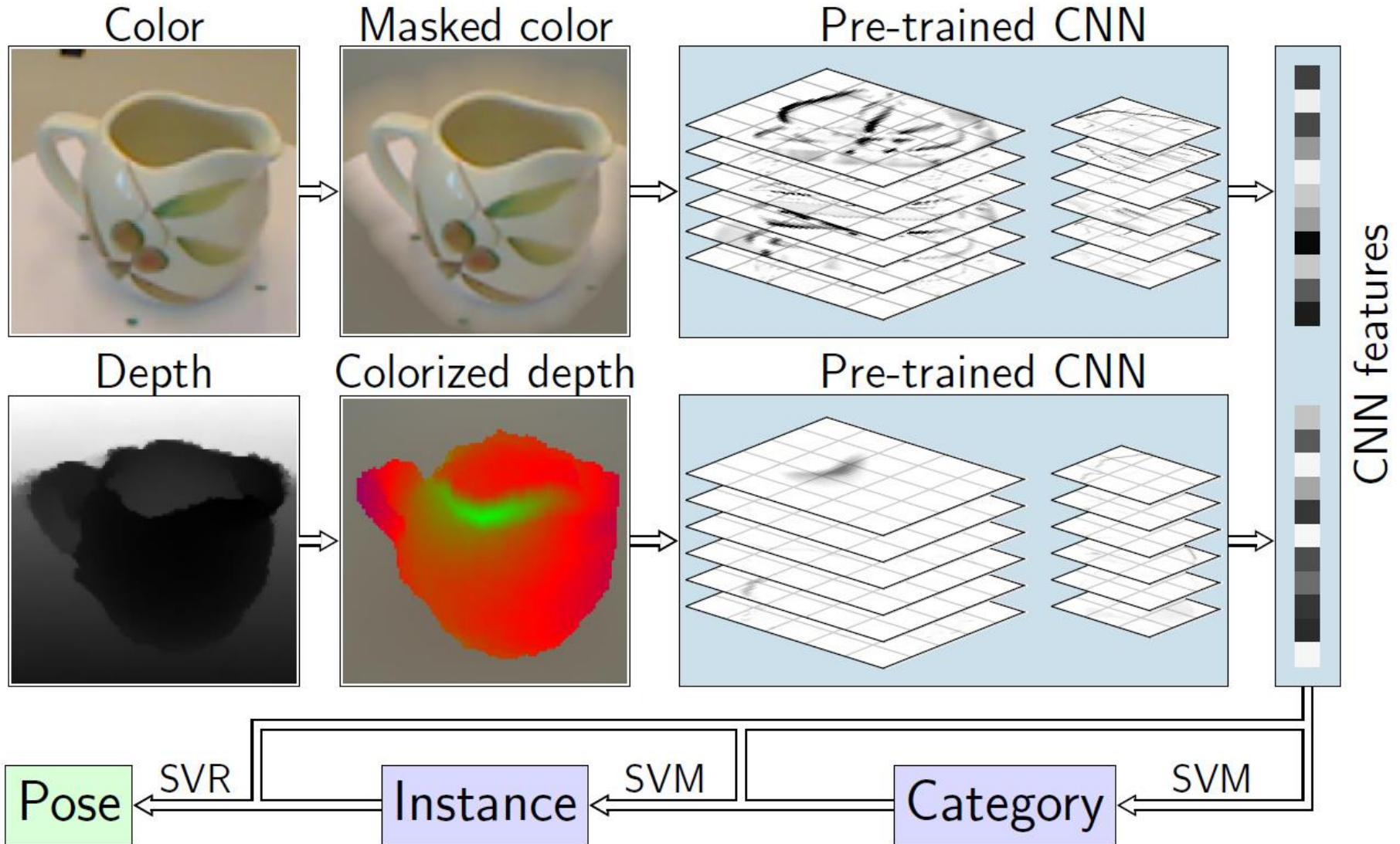
- Objektdetektion mit Laserscanner
- Abbildung in Bildebene
- Erkennung durch Farbe und Texturmerkmale (SURF)
- Objektverfolgung

# Deep Learning



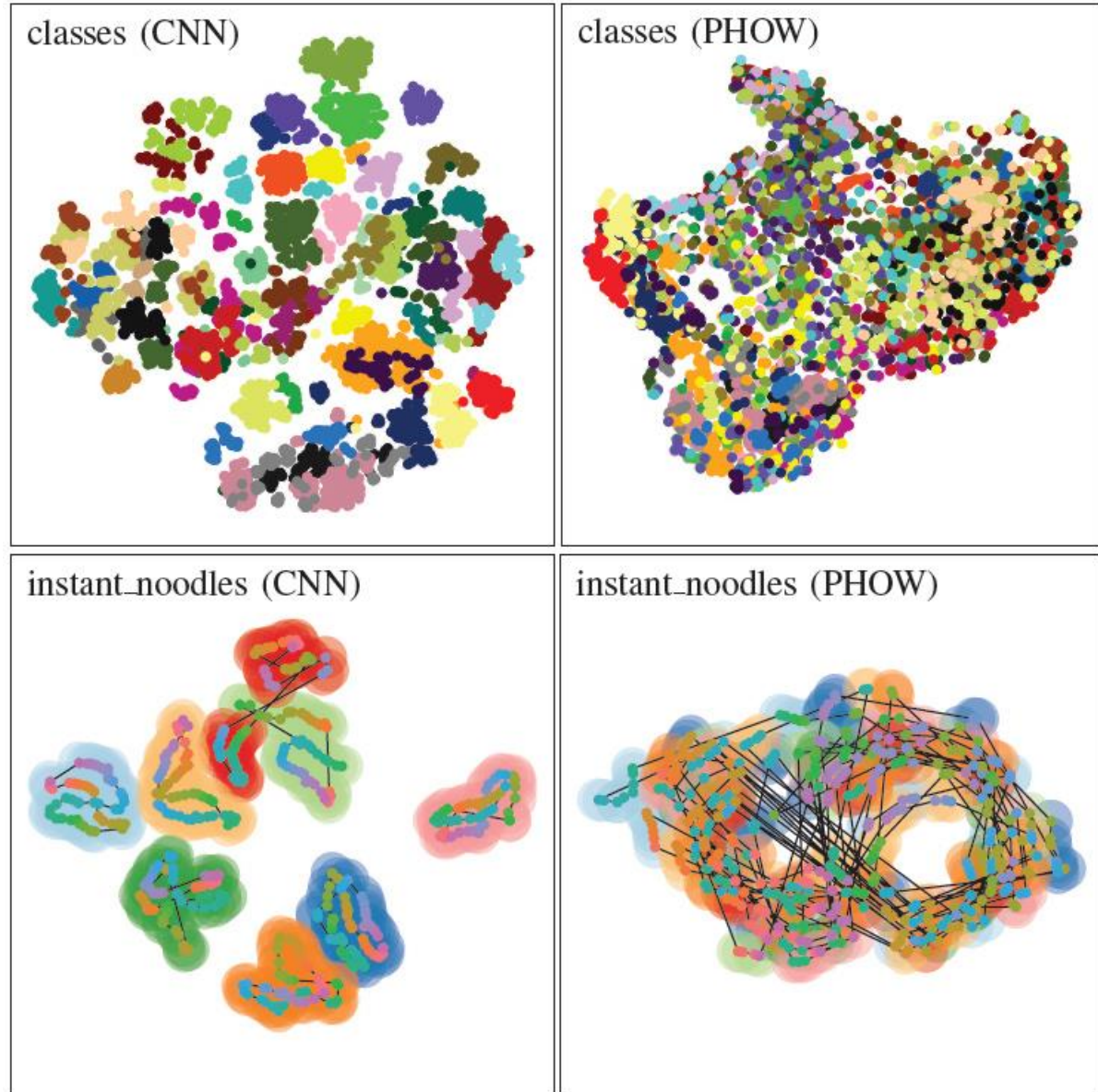
[Schulz and Behnke, KI 2012]

# Merkmalsextraktion mit vor-trainierten Neuronalen Netzen



# Merkmale Entwirren die Daten

- t-SNE Einbettung



[Schwarz, Schulz,  
Behnke, ICRA2015]

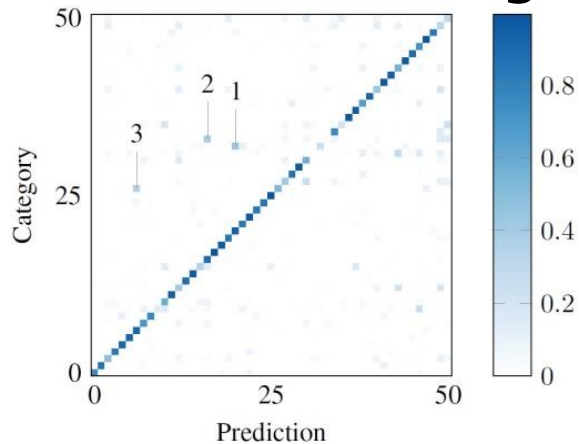


# Erkennungsrate

## ■ Verbesserte Kategorie- und Instanzerkennung

Method	Category Accuracy (%)		Instance Accuracy (%)	
	RGB	RGB-D	RGB	RGB-D
Lai <i>et al.</i> [1]	74.3 ± 3.3	81.9 ± 2.8	59.3	73.9
Bo <i>et al.</i> [2]	82.4 ± 3.1	87.5 ± 2.9	<b>92.1</b>	92.8
PHOW[3]	80.2 ± 1.8	—	62.8	—
<b>Ours</b>	<b>83.1 ± 2.0</b>	88.3 ± 1.5	92.0	<b>94.1</b>
<b>Ours</b>	<b>83.1 ± 2.0</b>	<b>89.4 ± 1.3</b>	92.0	<b>94.1</b>

## ■ Verwechslungen



1: Kännchen / Kaffetasse



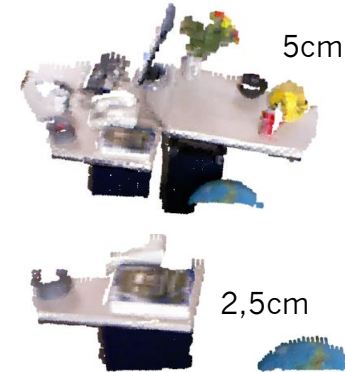
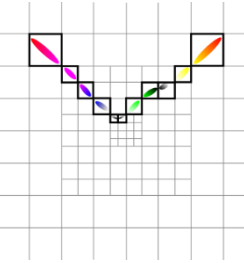
2: Pfirsich / Schwamm



[Schwarz, Schulz, Behnke, ICRA2015]

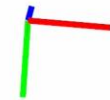
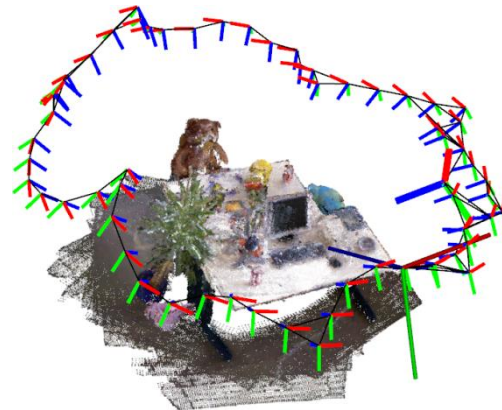
# 3D-Kartierung durch RGB-D SLAM

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



[Stückler, Behnke:  
Journal of Visual Communication  
and Image Representation 2014]

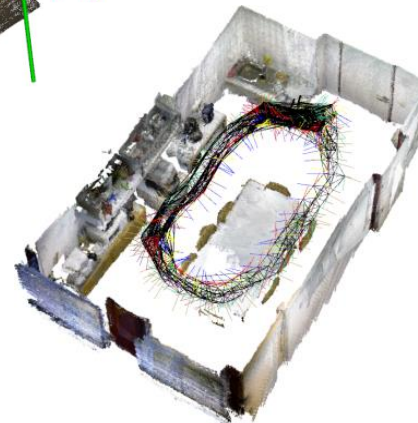
- Globale Optimierung



- Multi-Kamera SLAM

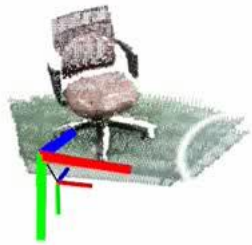


[Stoucken, Diplomarbeit 2013]



# Lernen und Verfolgen von Objektmodellen

- Objektmodellierung durch RGB-D-SLAM

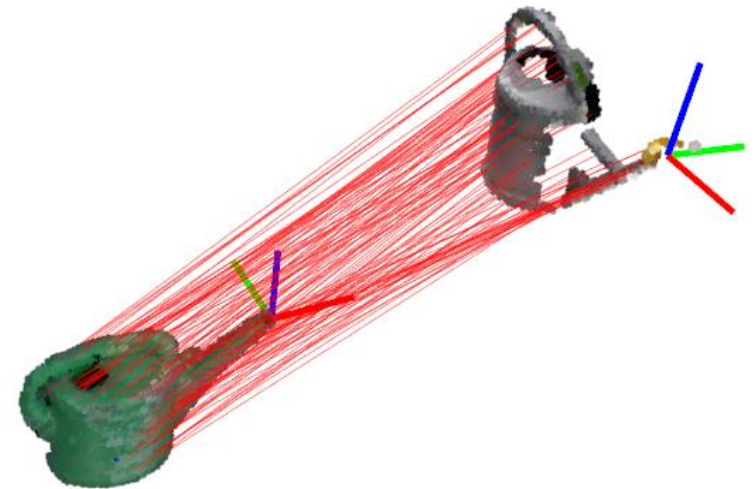
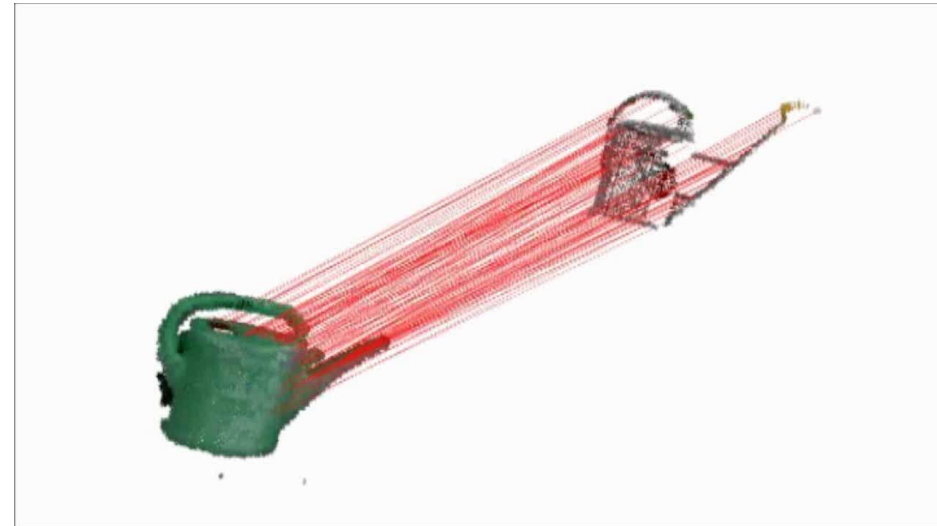


- Echtzeit-Registrierung mit aktuellem RGB-D-Bild



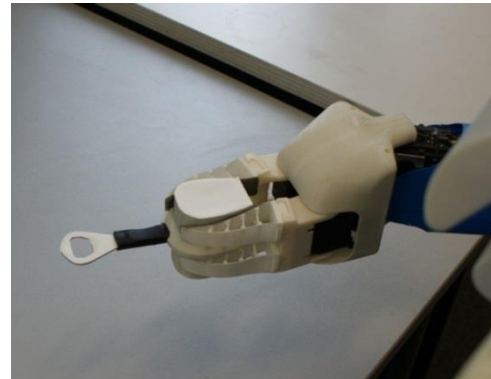
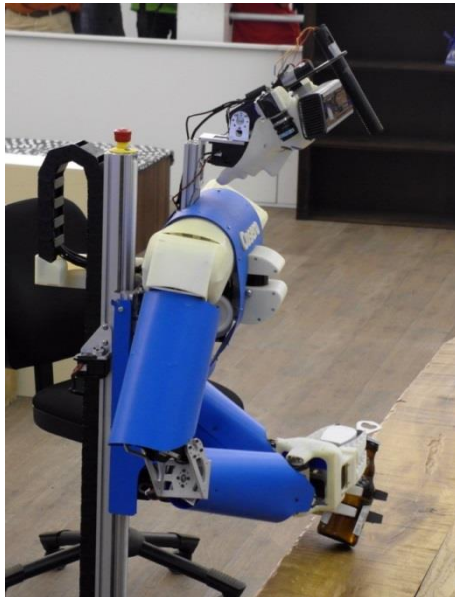
# Transfer von Handhabungswissen

- 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



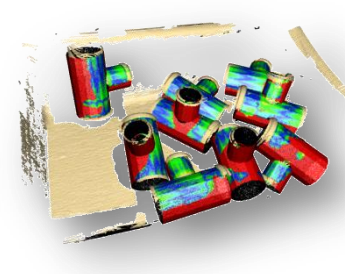
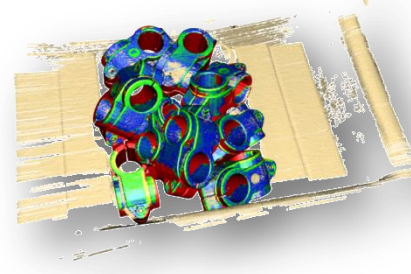
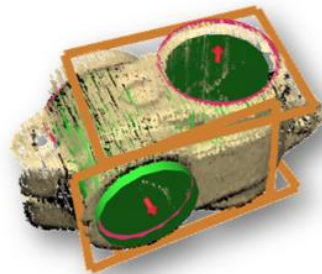
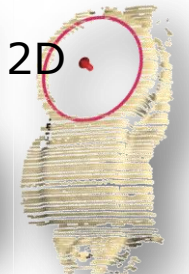
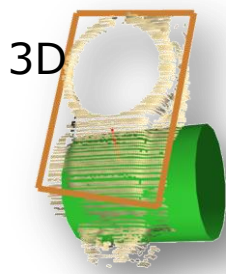
- Gewinner RoboCup@Home-Liga 2011-2013.

# Griff in die Kiste

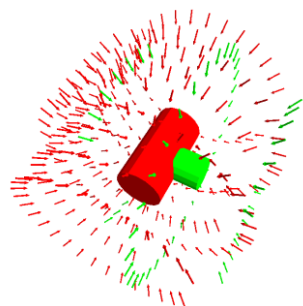
- Bekannte Objekte ungeordnet in Transportbehälter



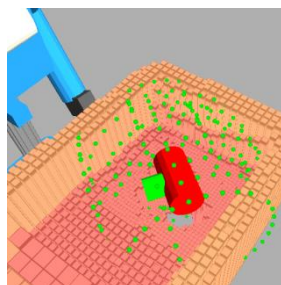
- Erkennung von Graphen aus 2D und 3D Formprimitiven



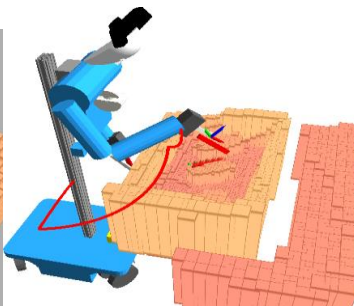
- Greif- und Bewegungsplanung



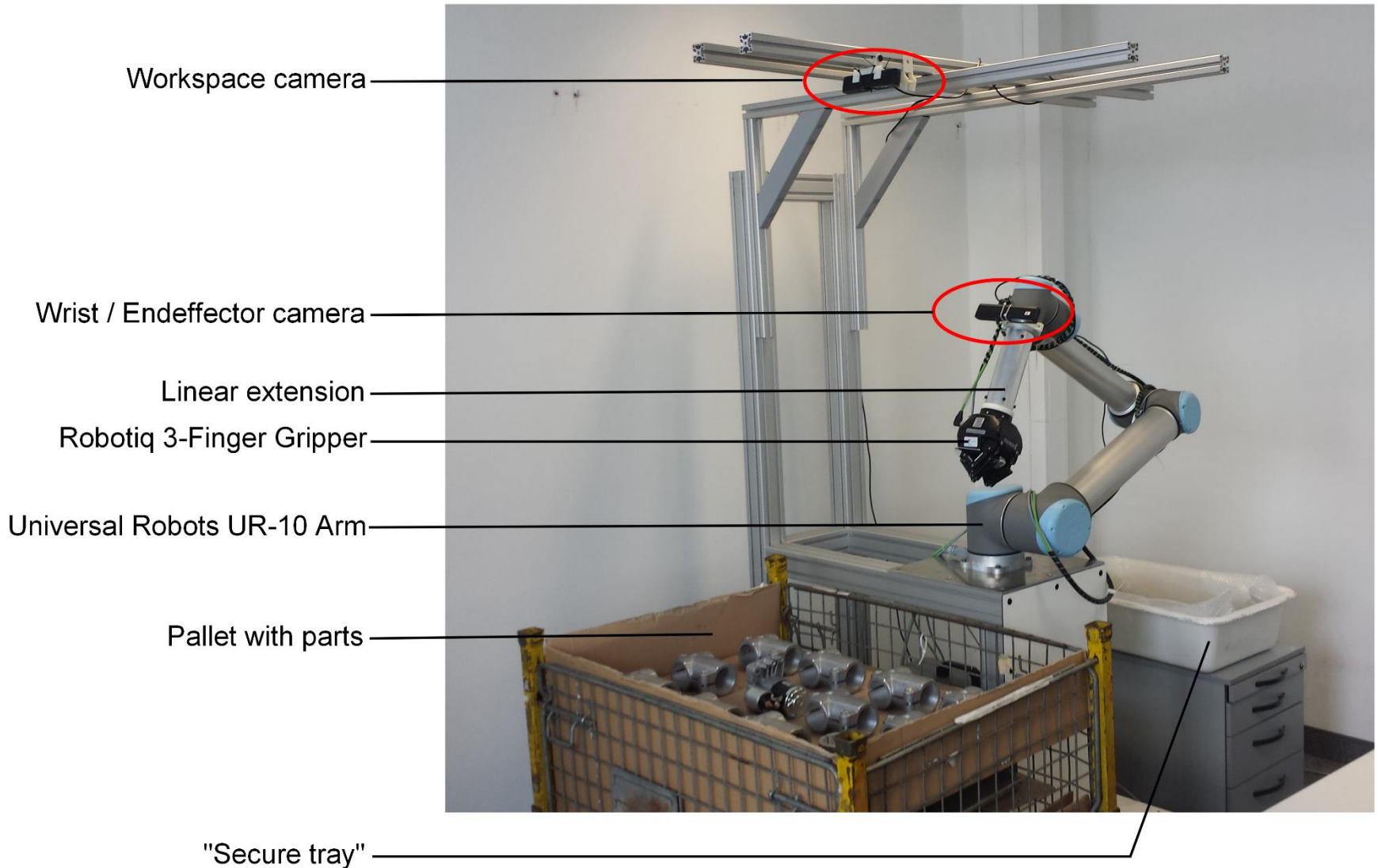
Offline



Online



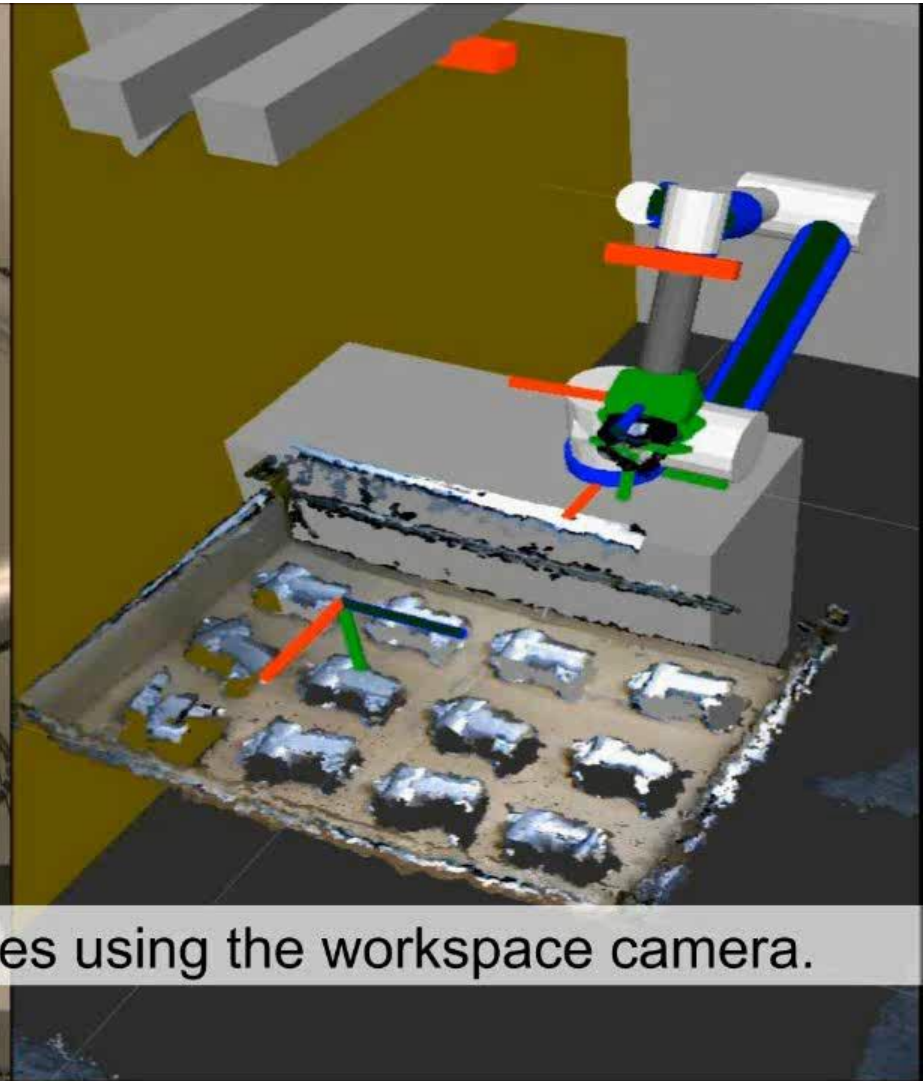
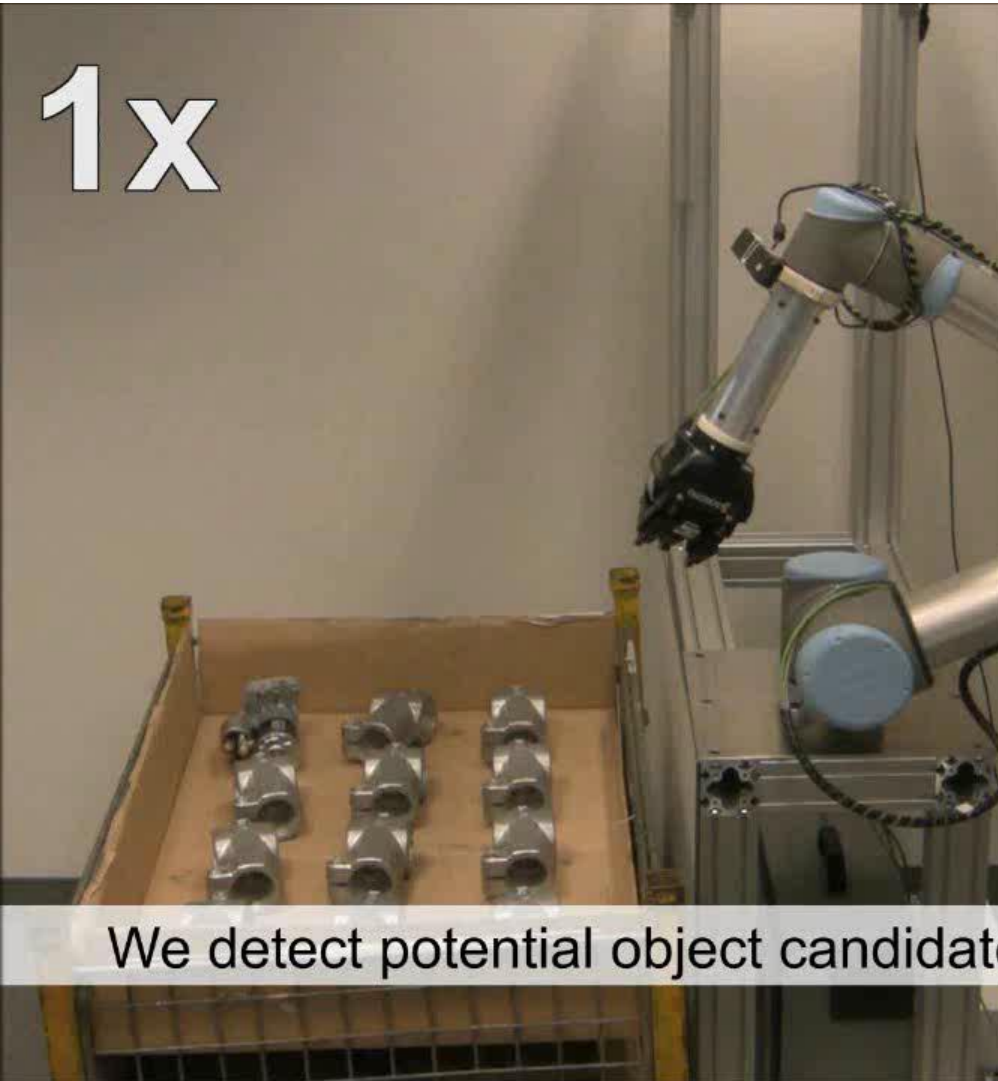
# Greifen von Teilen aus Transportbox





# Detektion der Teile und Greifen

1x



We detect potential object candidates using the workspace camera.

# Übertragung auf Industrieroboter

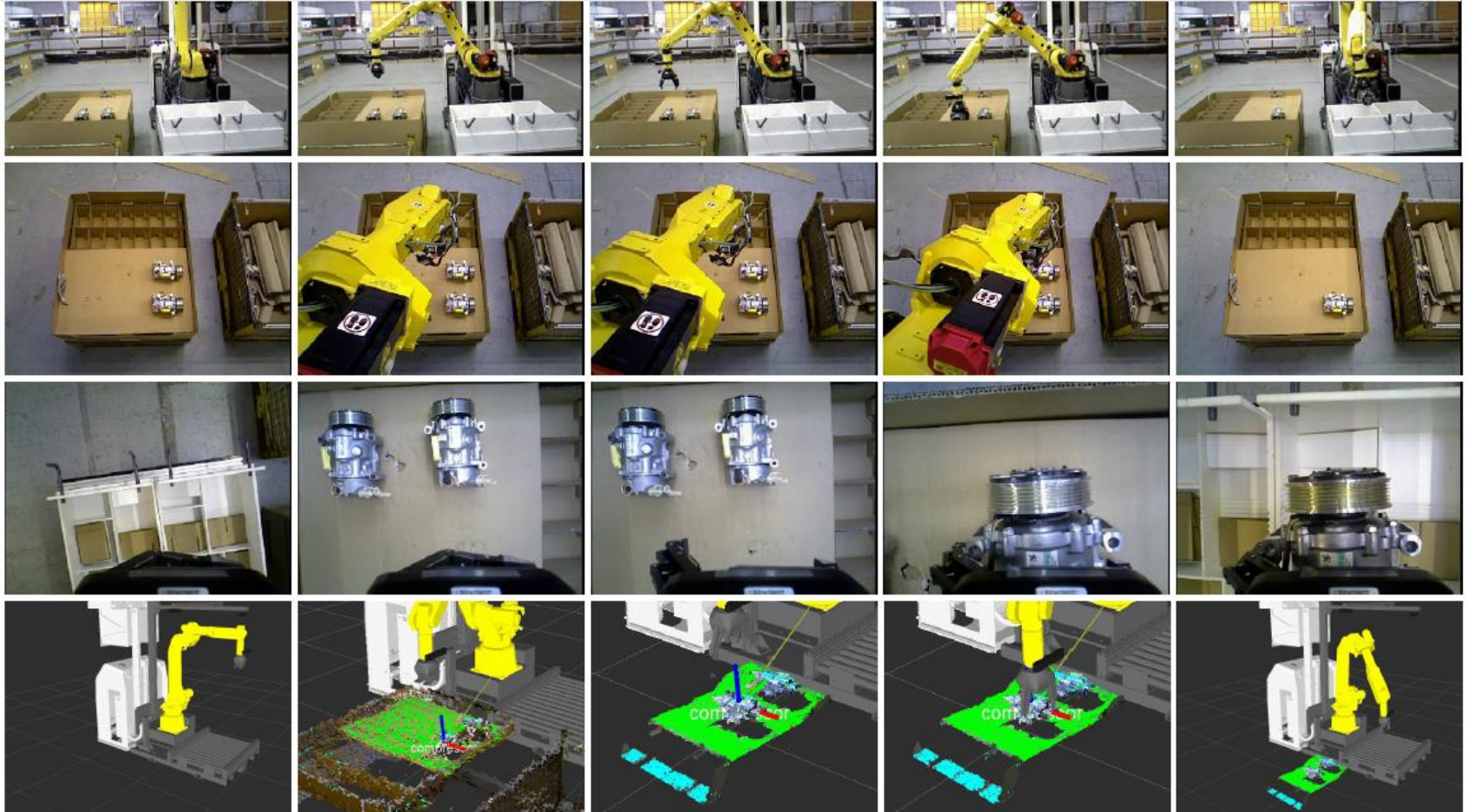
Initialisierung

Teile-Detektion

Anfahren

Greifen

Platzierung



# Flugroboter

- Zahlreiche Anwendungen möglich



[Airdog]



© Getty Images



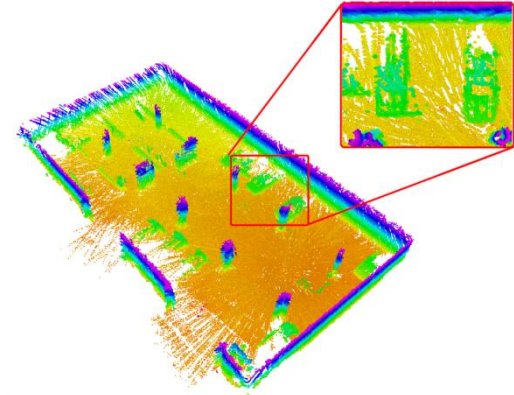
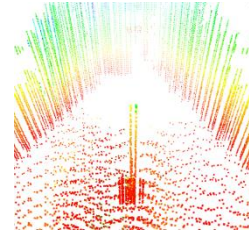
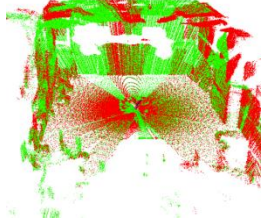
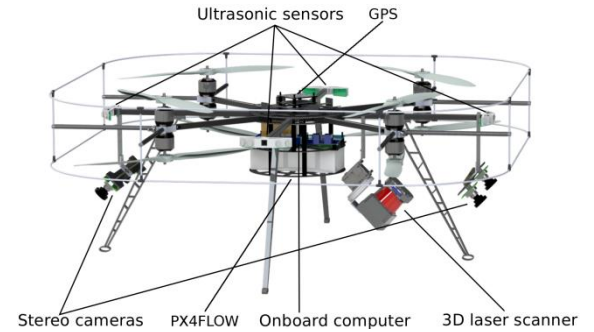
[Aibotix]



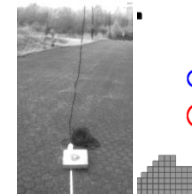
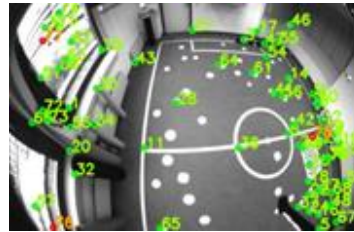
[Ehang]

# Autonomer Flug in Hindernisnähe

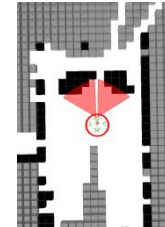
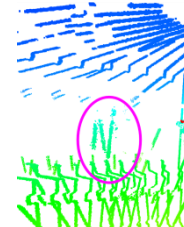
- Flugroboter mit viel Sensorik und Rechenleistung
- Multimodale Hindernisdetektion
  - 3D-Laserscanner



- Stereo-Kameras

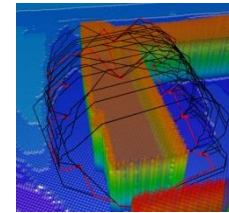
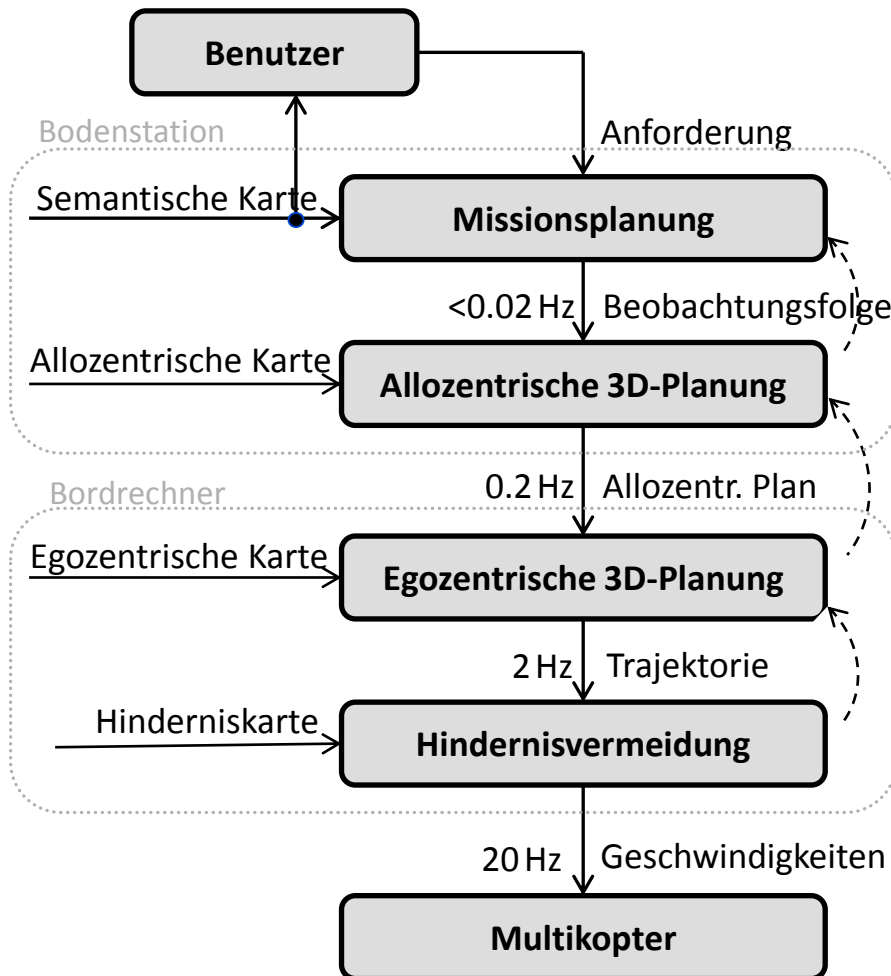


- Ultraschall

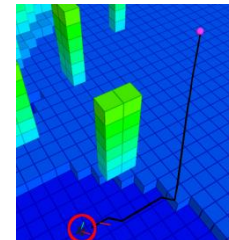


# Navigationssystemarchitektur

- Geschichtete Planung: Von abstrakt zu konkret



**Missionsplanung**



**Allozentrische Planung**



**Egozentrische Planung**

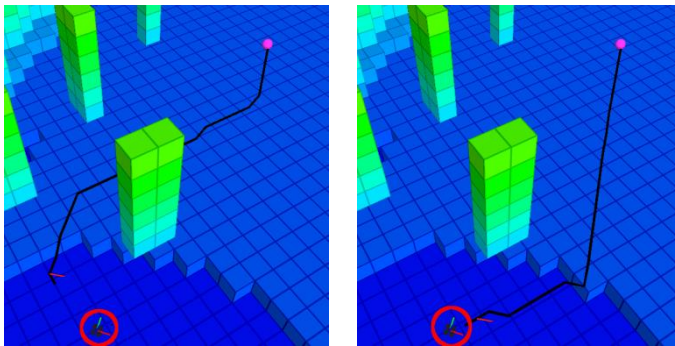


**Hindernisvermeidung**

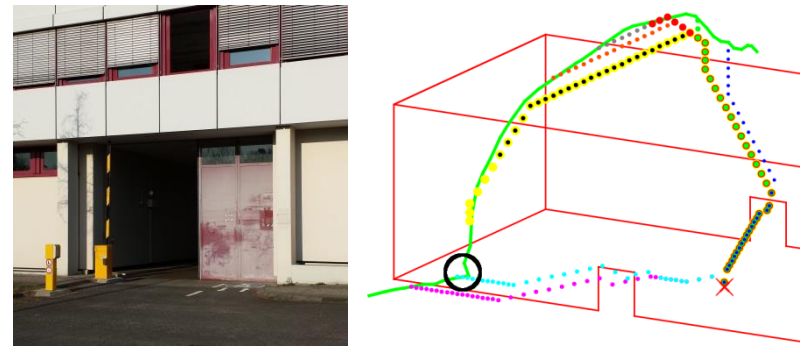
# Navigationplanung

- Kontinuierliche allozentrische Planung
  - A\*-Planer in Voxel-Gitter findet optimale Pfade

Reaktion auf Positionsabweichung

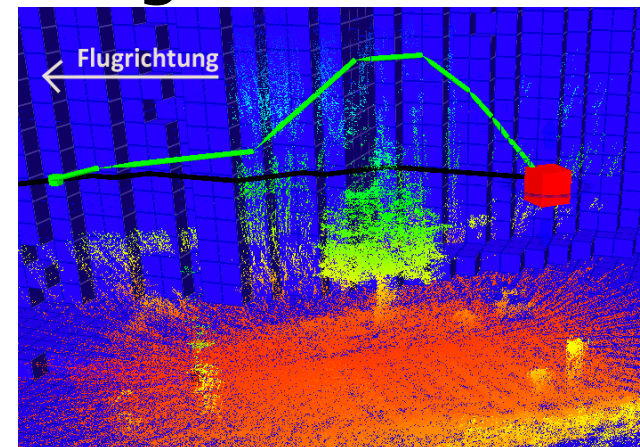


Reaktion auf Belegtheitsänderung



- Lokale Multiresolutionsplanung

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



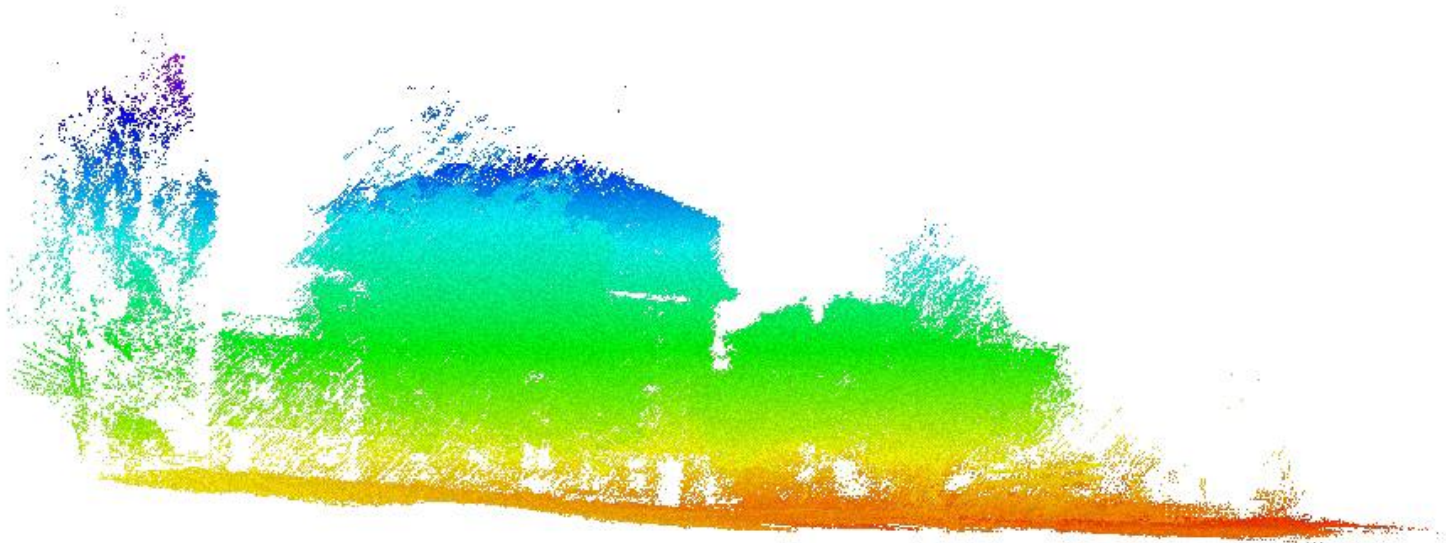
[Droeschel – Behnke: Journal of Field Robotics, 2015.]

# Autonomer Flug in Hindernisnähe

## Mapping on Demand Autonomous Flight to Planned View Poses

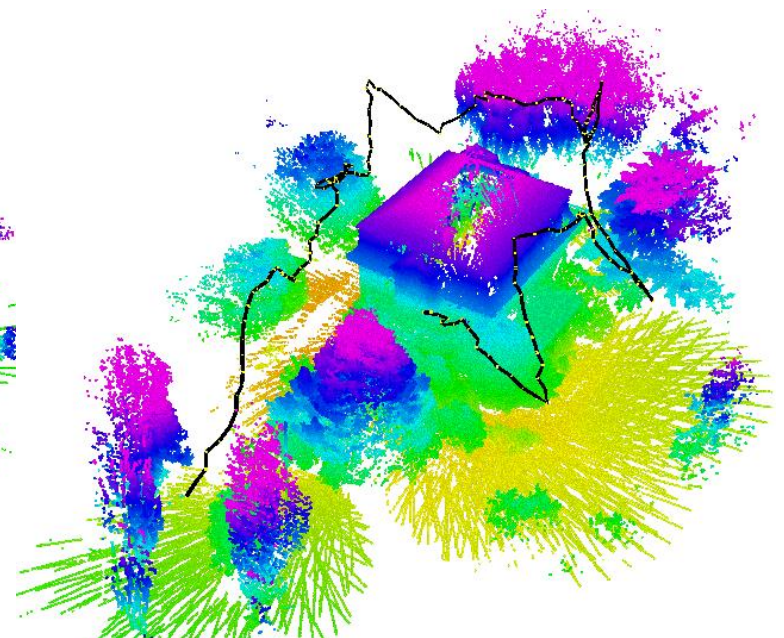
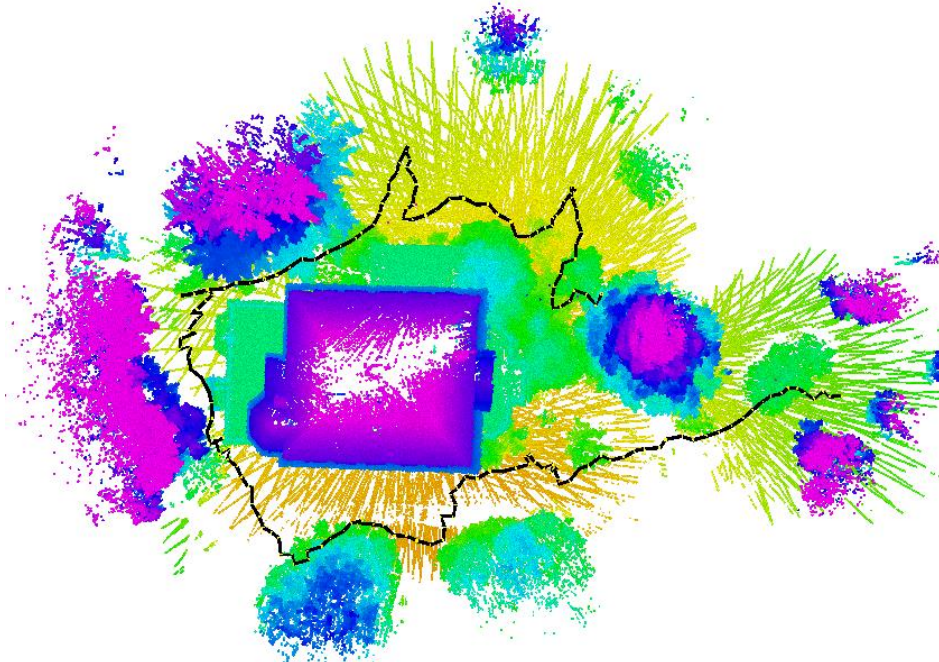
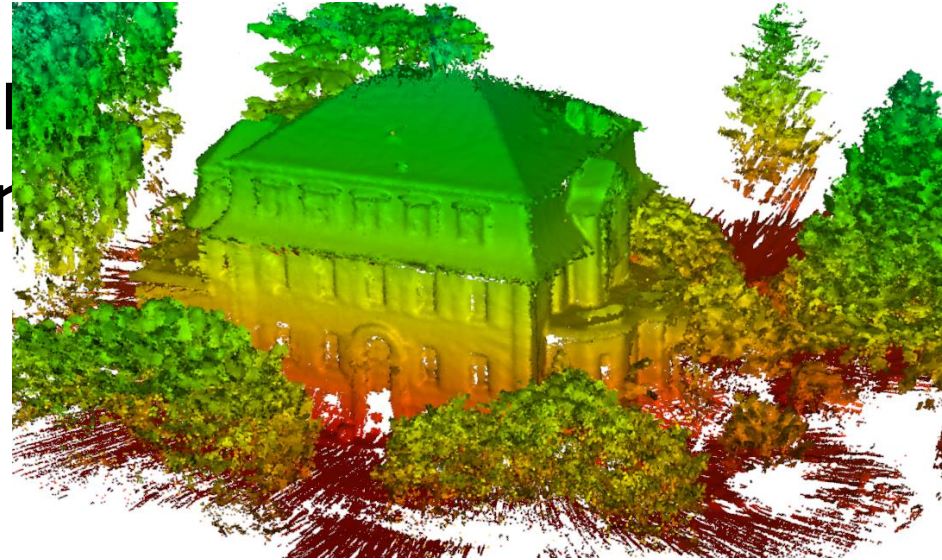
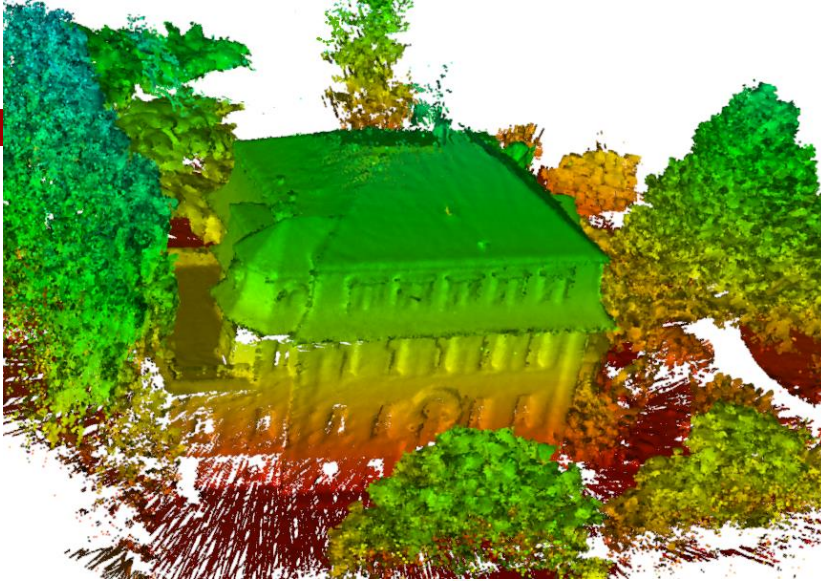
[Droeschel – Behnke: Journal of Field Robotics, 2015.]

# 3D-Modell Haupthaus Frankenforst





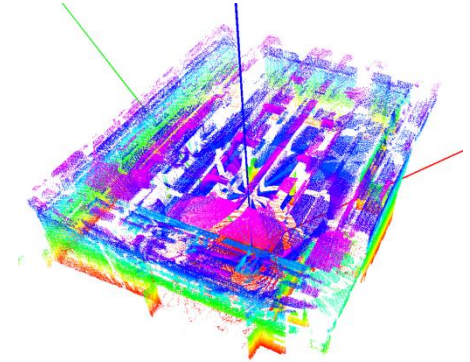
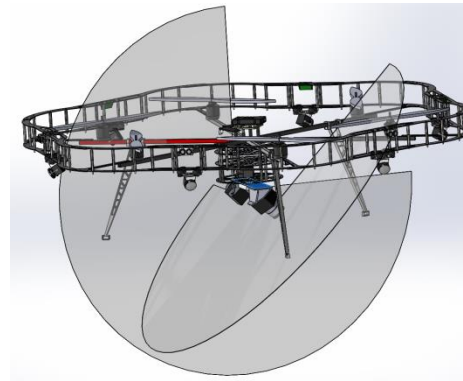
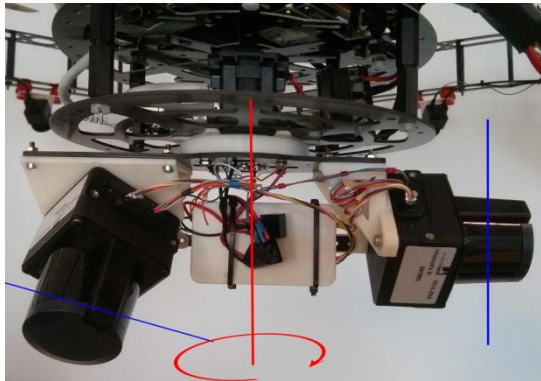
# 3D-Modell Haupthaus Frankenforst



[Droeschel – Behnke: Journal of Field Robotics, 2015.]

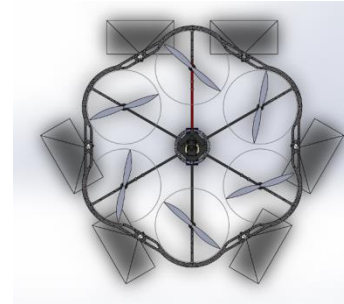
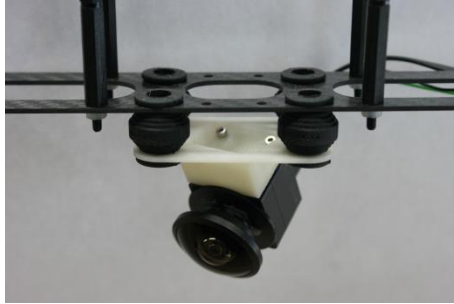
# InventAIRy-Kopter

- Flug in Warenlagern
- Erfassung von Warenträgern
- Doppel-3D-Laserscanner

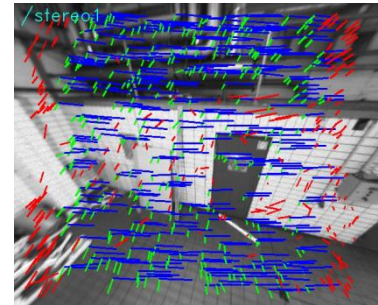
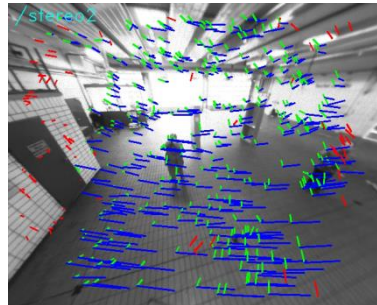
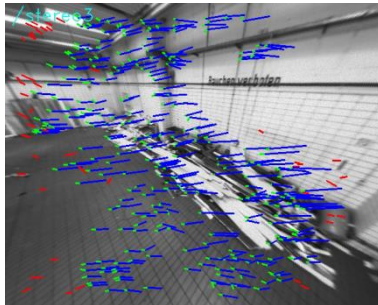


# Omnidirektionales Kamerasystem

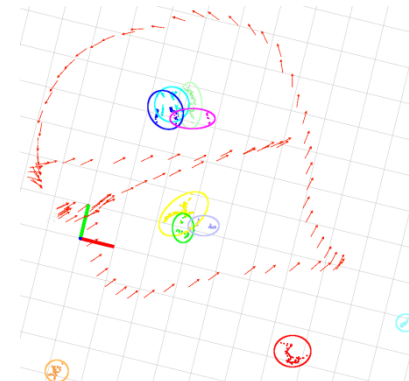
- Sechs 1,3 MPixel-USB 3.0 Kameras, Stereo-Paare



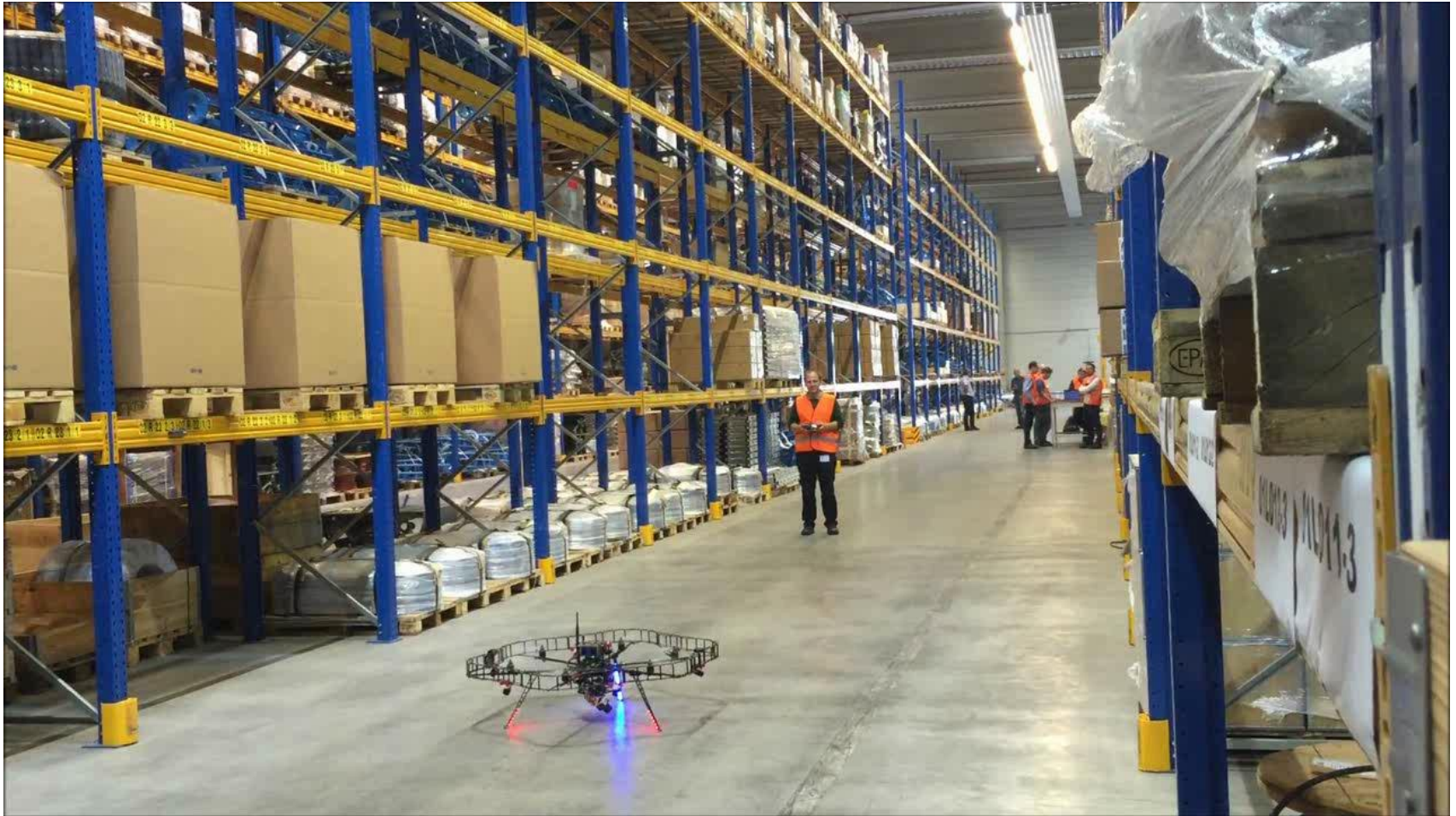
- Visuelle Odometrie (libviso2)



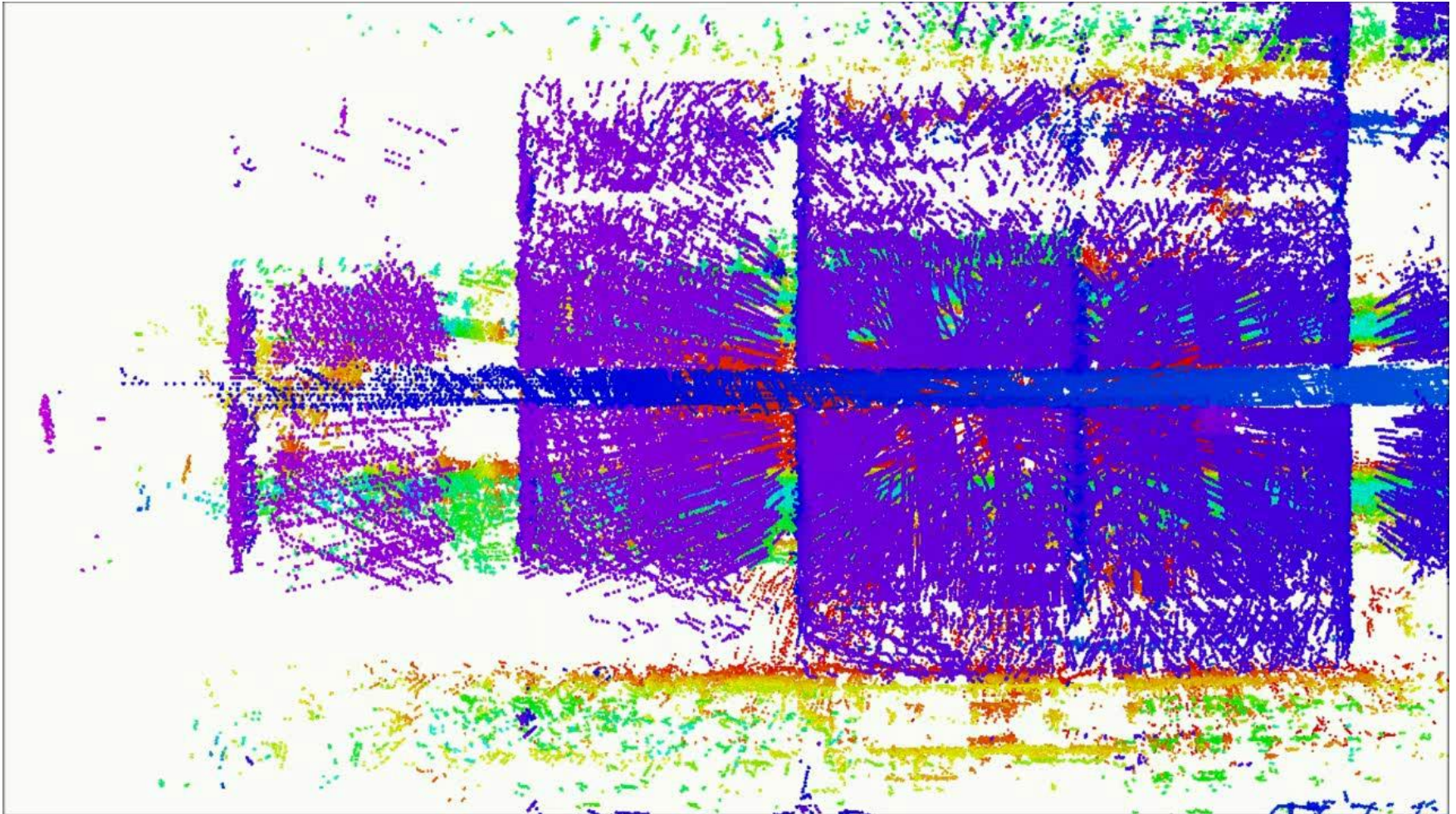
- Detektion von April-Tags



# Manuelle Erstbefliegung

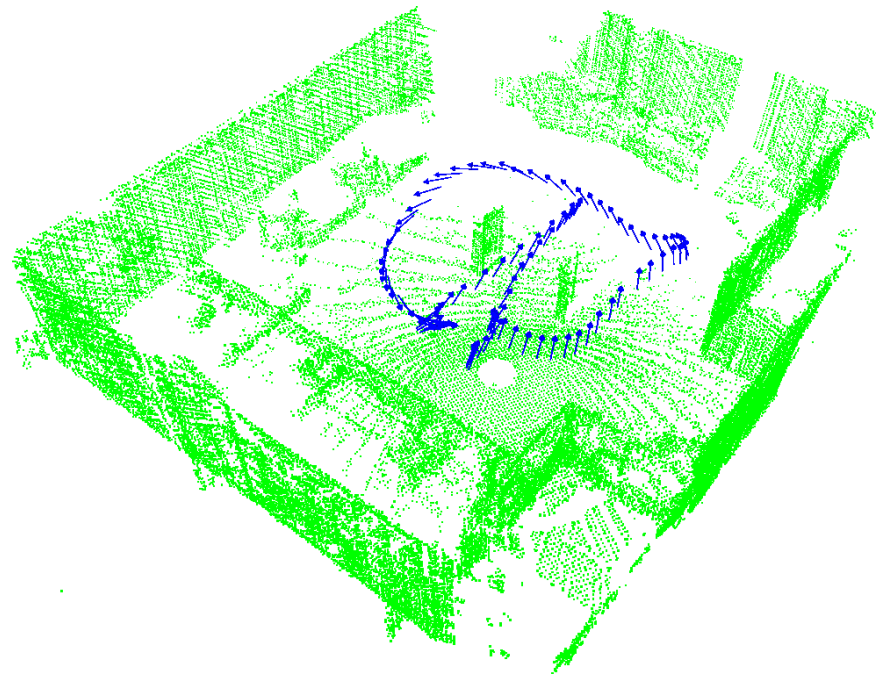
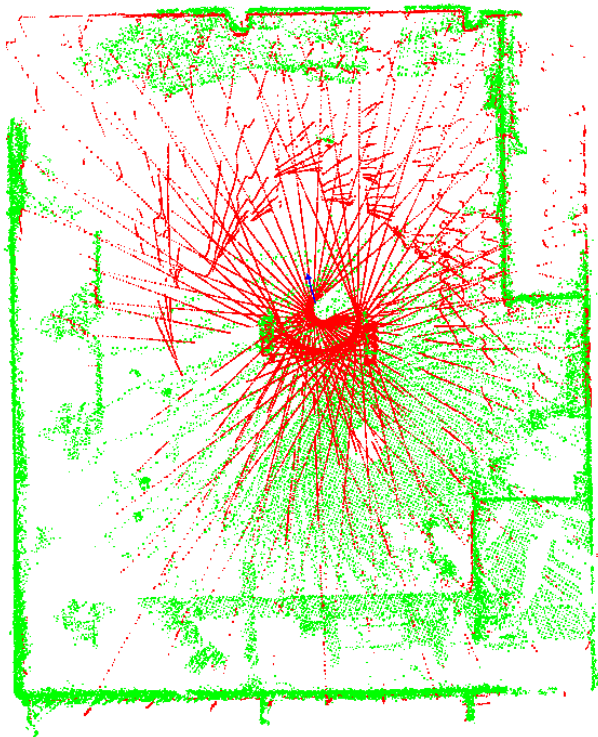


# Erstellte 3D-Karte

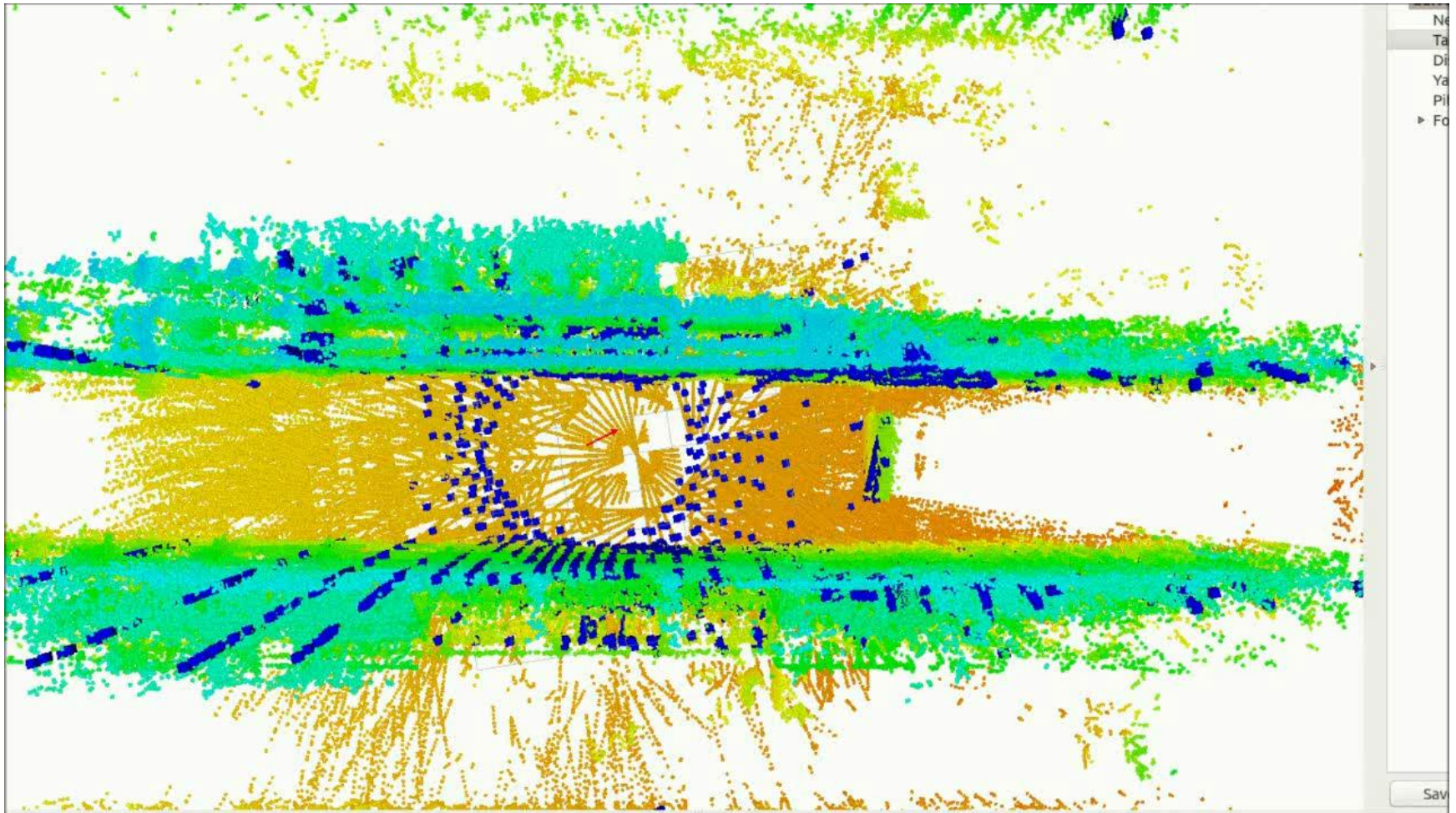


# Lokalisierung

- Registrierung von aktuellem entzerrten 3D-Scan mit Karte
- 6D-Posenschätzung mit 2Hz



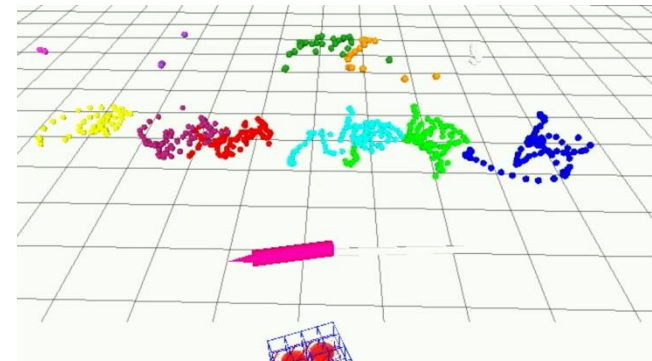
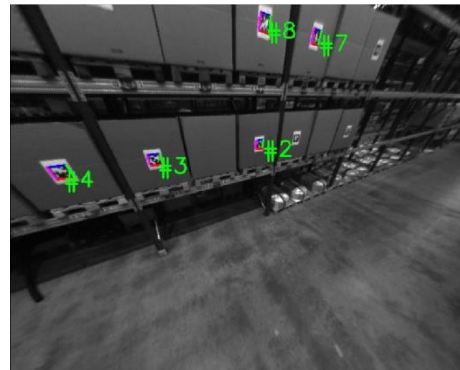
# Lokalisierung im Lager



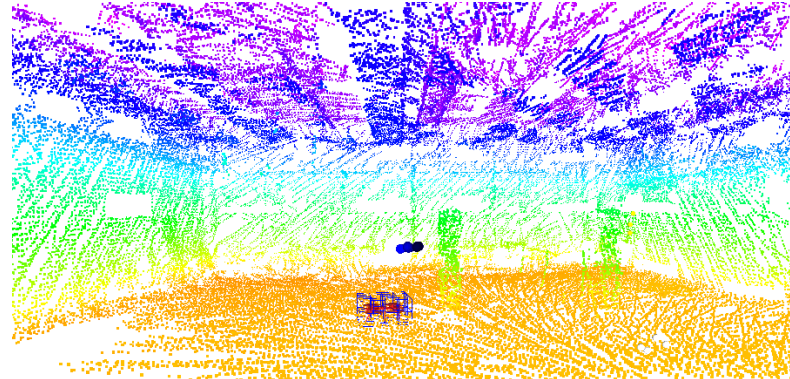
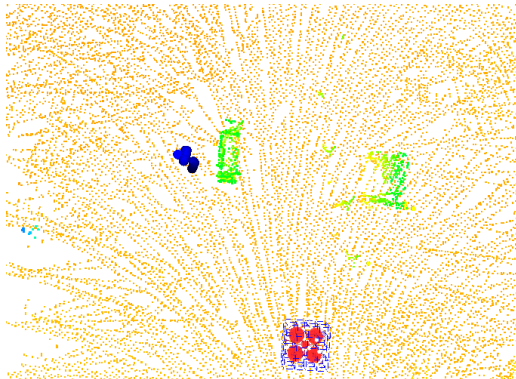


# Semantische Kartierung

## ■ Kartierung von April-Tags



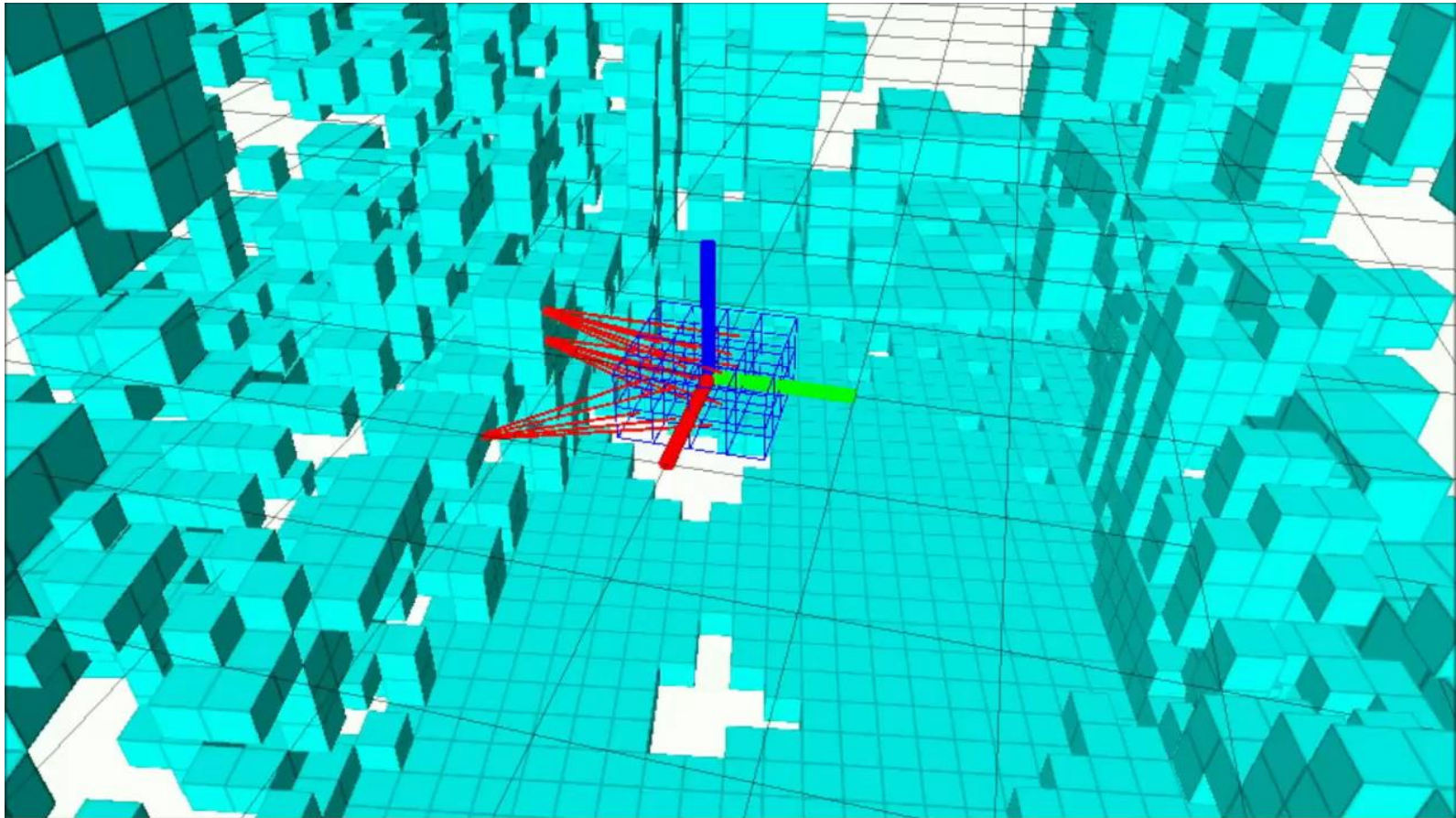
## ■ Kartierung von RFID-Tags





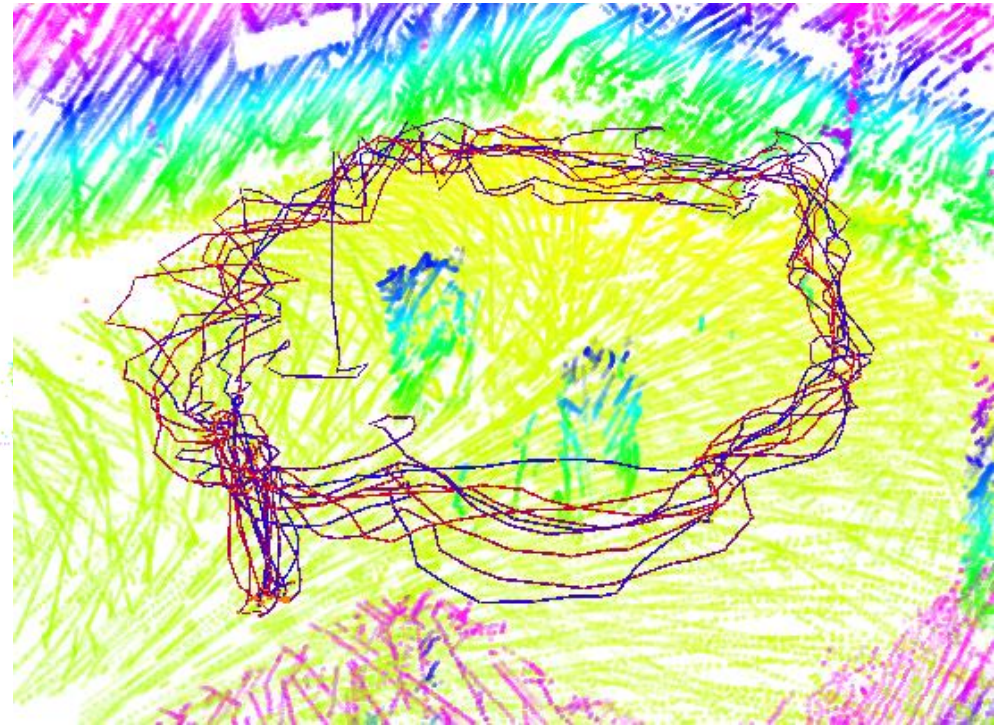
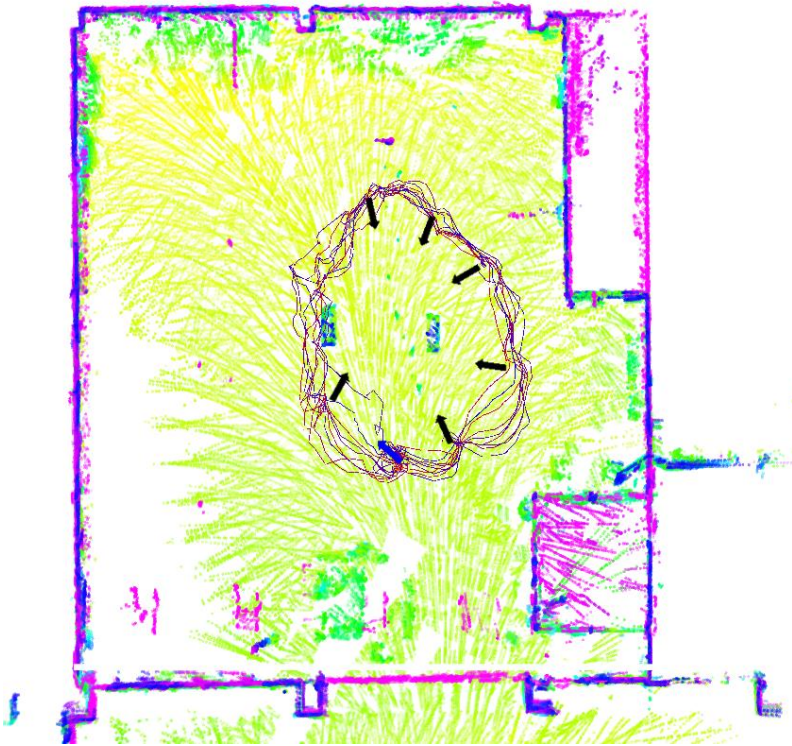
# Hindernisvermeidung

- Abstoßende Kräfte von nahen belegten Voxeln



# Abarbeitung von Missionen

- Abflug einer Folge von Beobachtungsposen

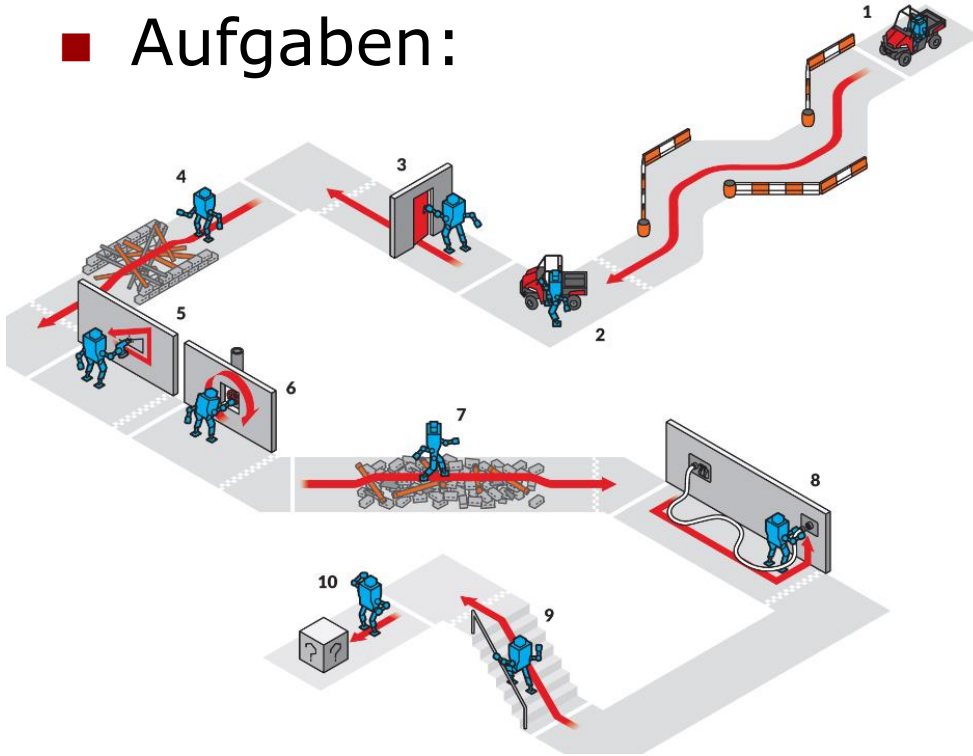


# Autonome Mission

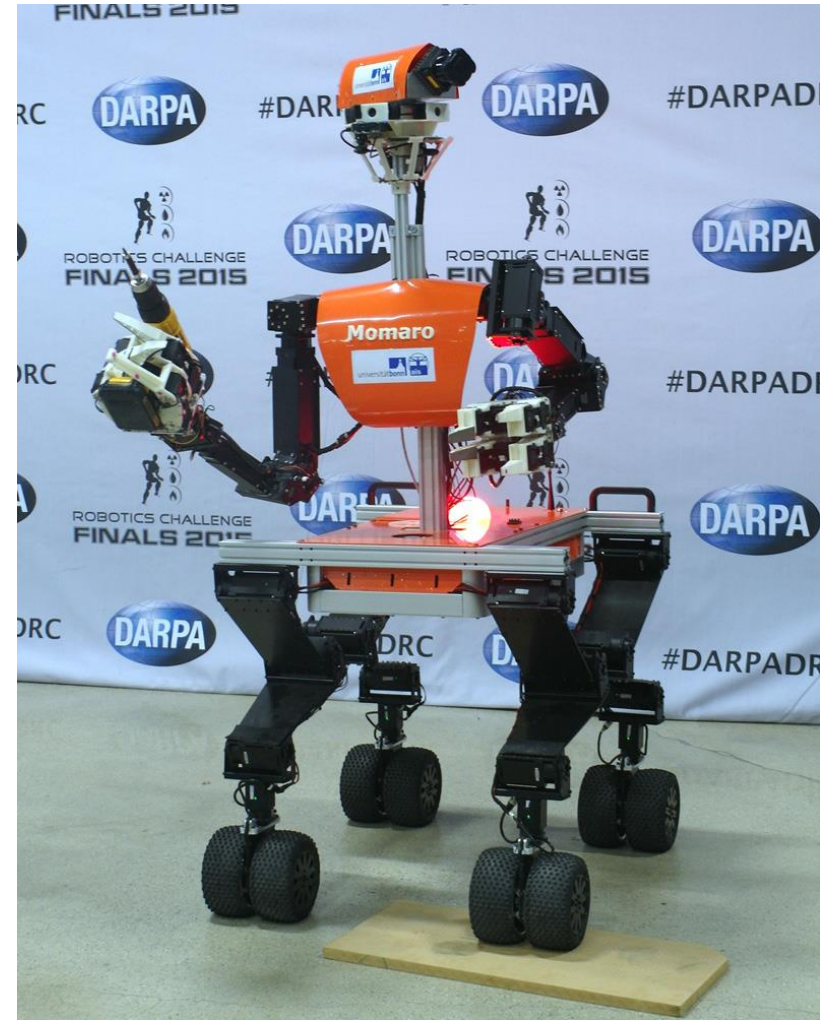


# DARPA Robotics Challenge

## ■ Aufgaben:



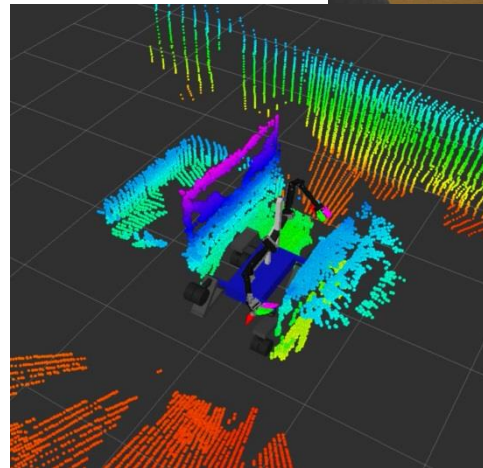
## ■ Mobiler Manipulationsroboter Momaro



[Schwarz – Behnke, ICRA 2016; Rodehuts Kors et. al., Humanoids 2015]

# Benutzerschnittstelle zum Autofahren

- Bewegungen von Lenkrad und Gaspedal werden übertragen



- Rückmeldung durch Kameras und 3D-Laserscanner

# Fahren eines Geländewagens



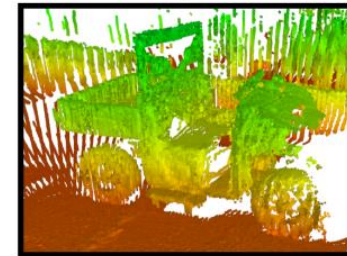
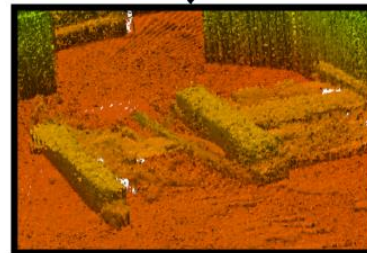
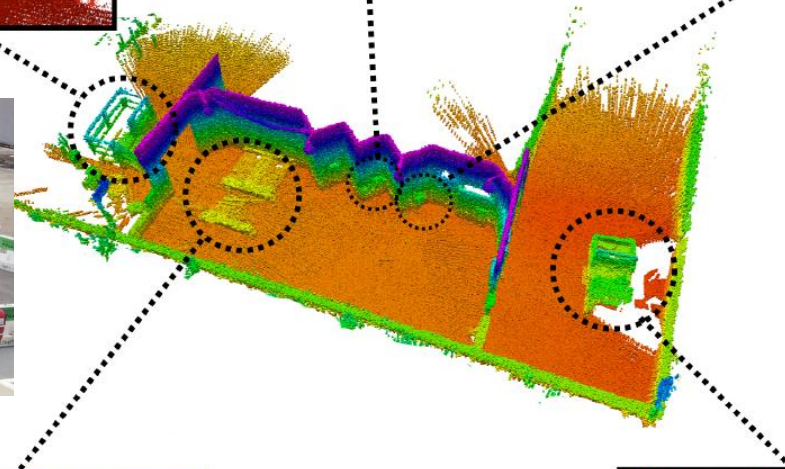
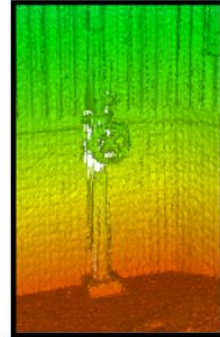
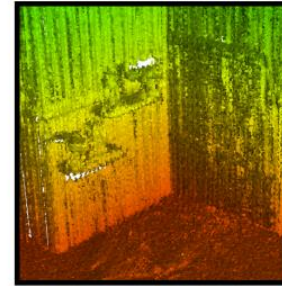
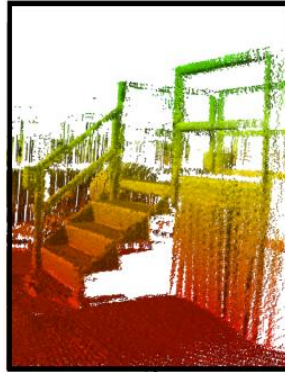
# Aussteigen



[Rodehutsiors et. al., Humanoids 2015]  
[Schwarz – Behnke, ICRA 2016]

# 3D-Kartierung

## ■ Laserscan-Registrierung

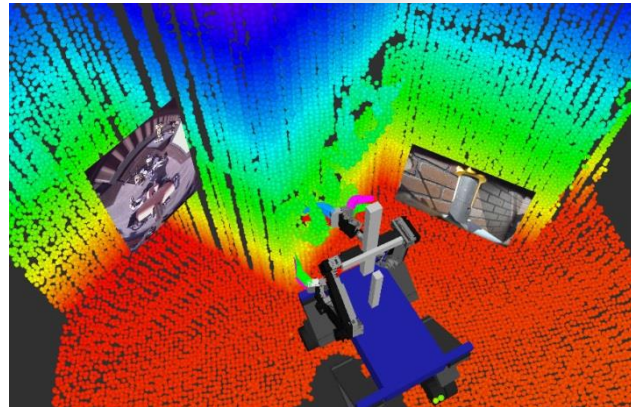


[Droeschel et al., ICRA 2014,  
IAS 2014]



# Teleoperation für Manipulation

- 3D-Datenbrille
- 3D-Umgebungsmodell  
+  
Kamerabilder
- 6D-  
Magentracker



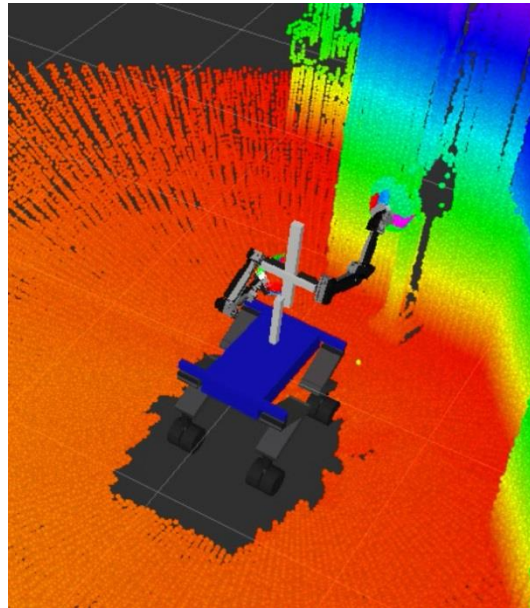
[Rodehuts Kors et. al., Humanoids 2015]

# Öffnen der Tür



# Drehen eines Ventilrads

- Registrierung eines Radmodells mit gemessenen 3D-Punkten
- Bewegungsprimitiv für Drehung



# Drehen des Ventilrads



# Umlegen eines Schalters



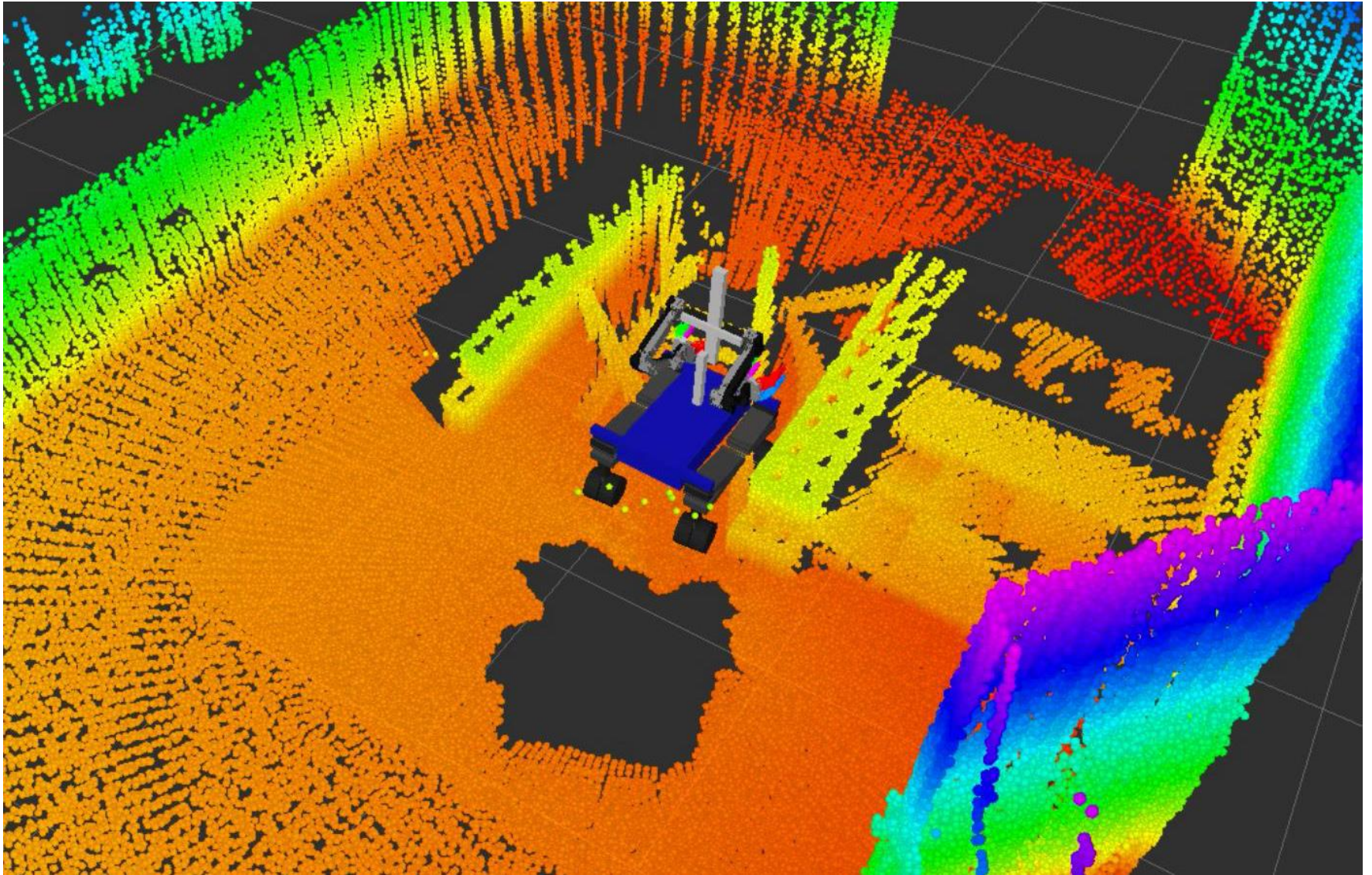
[Rodehuts Kors et. al., Humanoids 2015]

# Umstecken eines Steckers



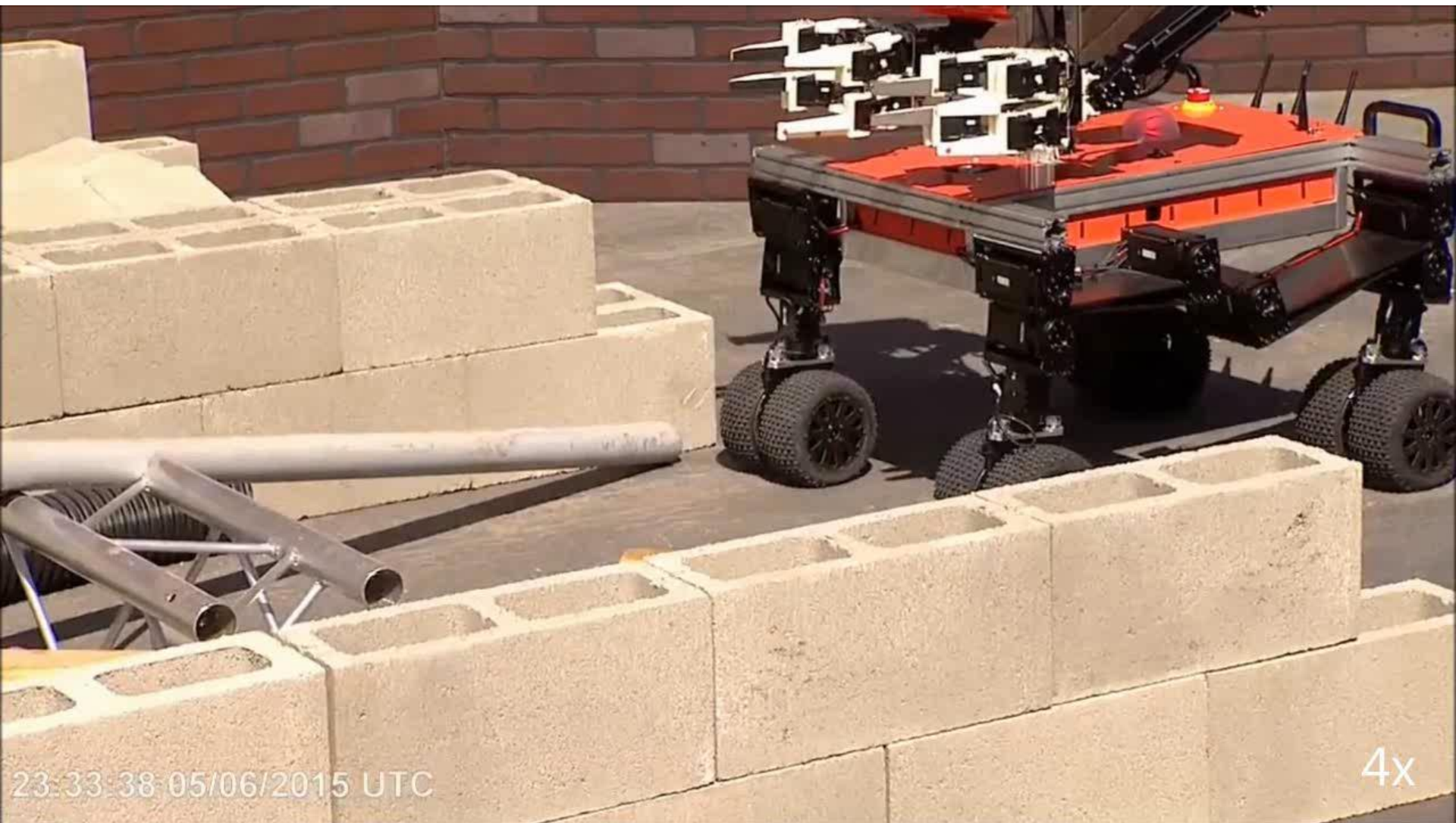
[Rodehuts Kors et. al., Humanoids 2015]

# Überwinden von Schutt



[Rodehutsors et. al., Humanoids 2015]

# Überwinden von Schutt



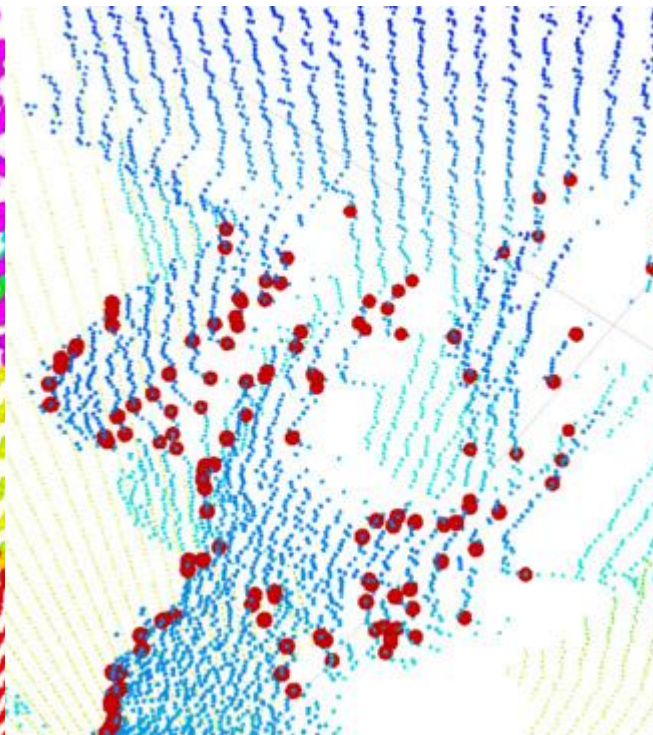
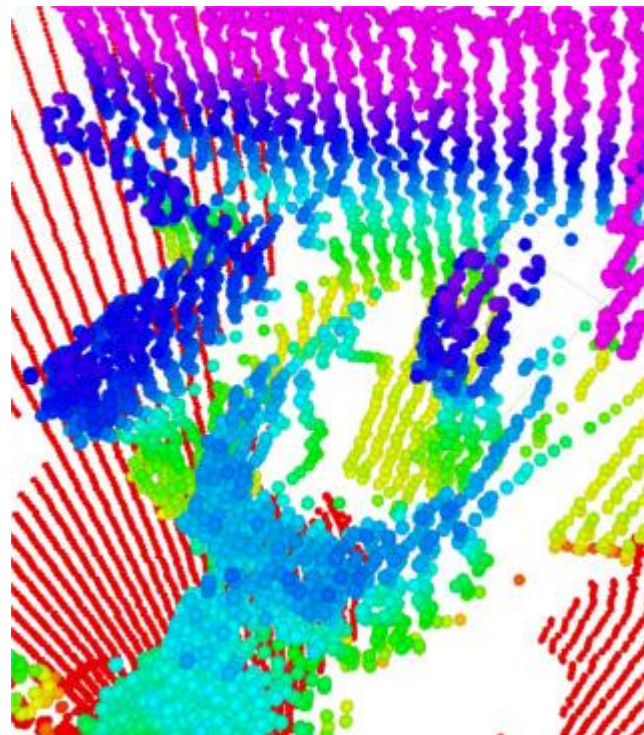
[Rodehuts Kors et. al., Humanoids 2015]

[Rodehuts Kors et. al., Humanoids 2015]



# Kommunikationsbeschränkungen

- Komprimiertes Video
- Kantenpunkte in 3D-Laserscans
- Gelenkwinkel, Neigung, Temperatur, Lautstärke, ...



# Gebrauch einer Handfräse



[Rodehuts Kors et. al., Humanoids 2015]

# Team NimbRo Rescue



**Bestes Europäisches Team**

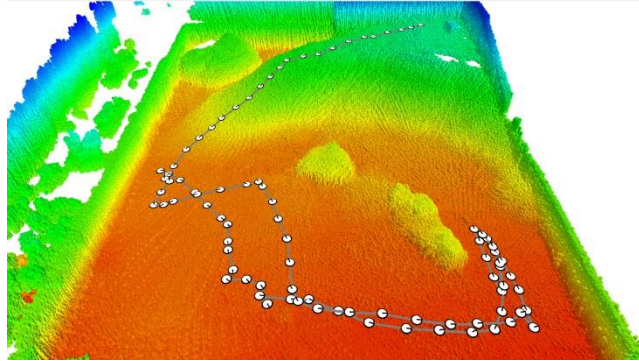
4. Platz in der Gesamtwertung,  
7/8 Aufgaben im 34min.

# DLR SpaceBot Camp

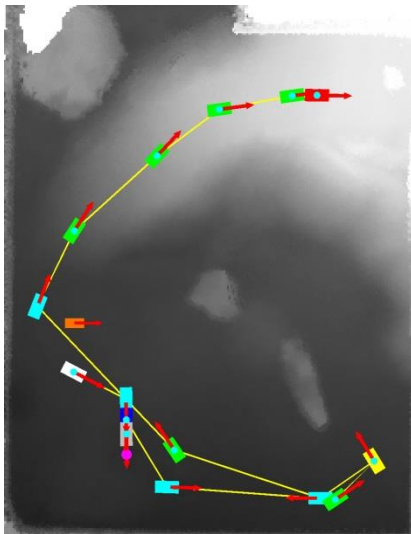
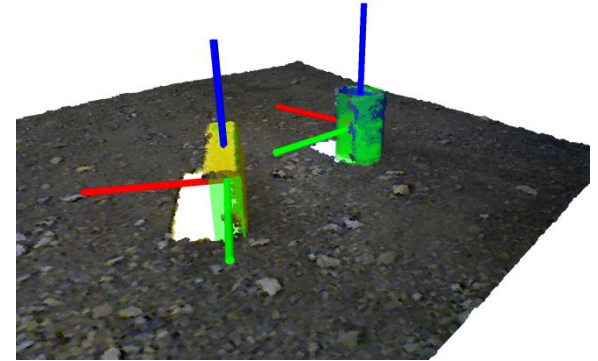


# Autonome Missionsabarbeitung

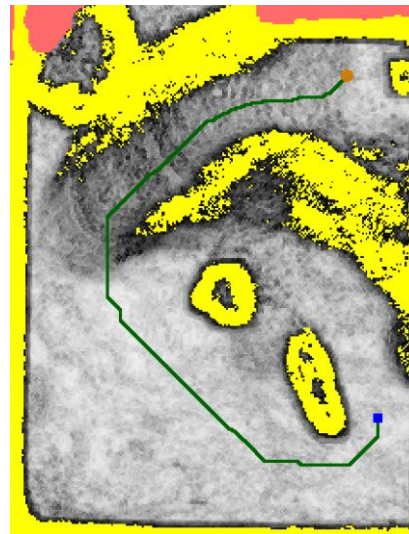
3D-Karte + Lokalisierung



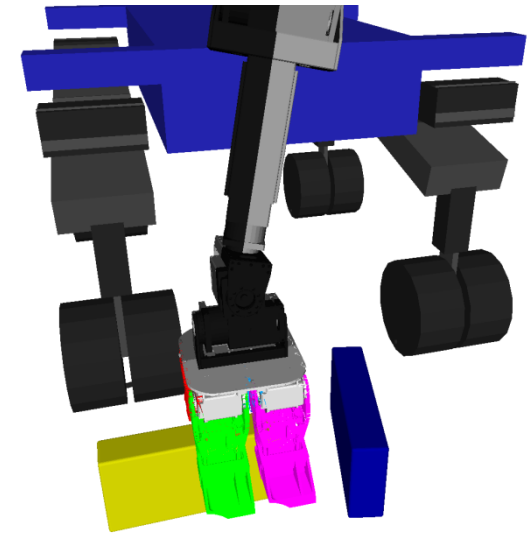
Objektwahrnehmung



Missionsplan



Navigationsplan



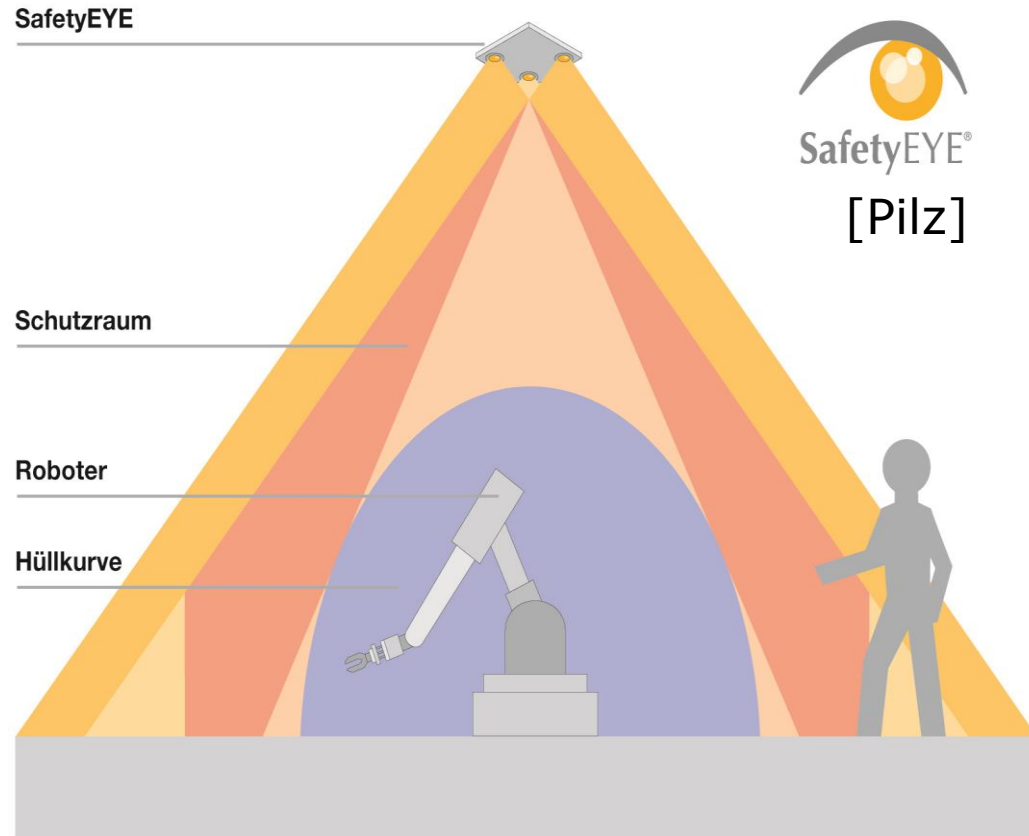
Greifen

# Zusammenfassung

- Kognitive Roboter haben hohes Anwendungspotential
- Werden Auswirkungen auf alle Lebensbereiche haben
- Noch viel Forschungsarbeit nötig
- Gesellschaftliche Herausforderungen wie Sicherheit, Haftungsfragen, Auswirkungen auf die Arbeitswelt, Privatsphäre und Datenschutz

# Sicherheit

- Trennung von Mensch und Robotern aufgehoben
- Sicherheit schwer oder gar nicht zu garantieren
- Sicherheitsnormen müssen angepasst werden
- Entscheidungs-dilemmas



# Haftungsfragen

- Wer haftet?
  - Hersteller des selbst fahrenden Autos?
  - Anbieter der Steuersoftware?
  - Fahrer?
- Das Wiener Übereinkommen über den Straßenverkehr von 1968 schreibt vor, dass jedes in Bewegung befindliche Fahrzeug einen Fahrer haben und dieser das Fahrzeug auch beherrschen muss.



# Privatsphäre und Datenschutz

- Roboter dringen in die privatesten Bereiche der Nutzer ein
- Müssen sehr viel wissen, um ihre Dienste zu erbringen
- Maßnahmen zum Datenschutz und zur informationellen Selbstbestimmung erforderlich
- Prinzip der sparsamen Datengewinnung
- Verlust an Privatheit muss gegen den Nutzen aufgewogen werden

# Auswirkungen auf die Arbeitswelt

- Einfache Tätigkeiten werden verdrängt



[CGP Grey  
<https://youtu.be/7Pq-S557XQU>]

- Müssen durch andere Tätigkeiten bzw. Umverteilung von Arbeit und Einkommen ersetzt werden

# Offener Brief gegen Autonome Waffensysteme



- “In summary, we believe that **AI has great potential to benefit humanity** in many ways, and that the goal of the field should be to do so. Starting a military AI arms race is a bad idea, and should be prevented by a **ban on offensive autonomous weapons** beyond meaningful human control.”  
28.Juli 2015
- 3037 KI/Robotik-Forscher haben unterschrieben
- 17376 weitere Unterstützer haben unterschrieben

[[http://futureoflife.org/AI/open\\_letter\\_autonomous\\_weapons](http://futureoflife.org/AI/open_letter_autonomous_weapons)]

**Vielen Dank für Ihre  
Aufmerksamkeit!**