

Umgebungswahrnehmung und Verhaltensplanung für Kognitive Roboter

Sven Behnke

Universität Bonn

Institut für Informatik VI –

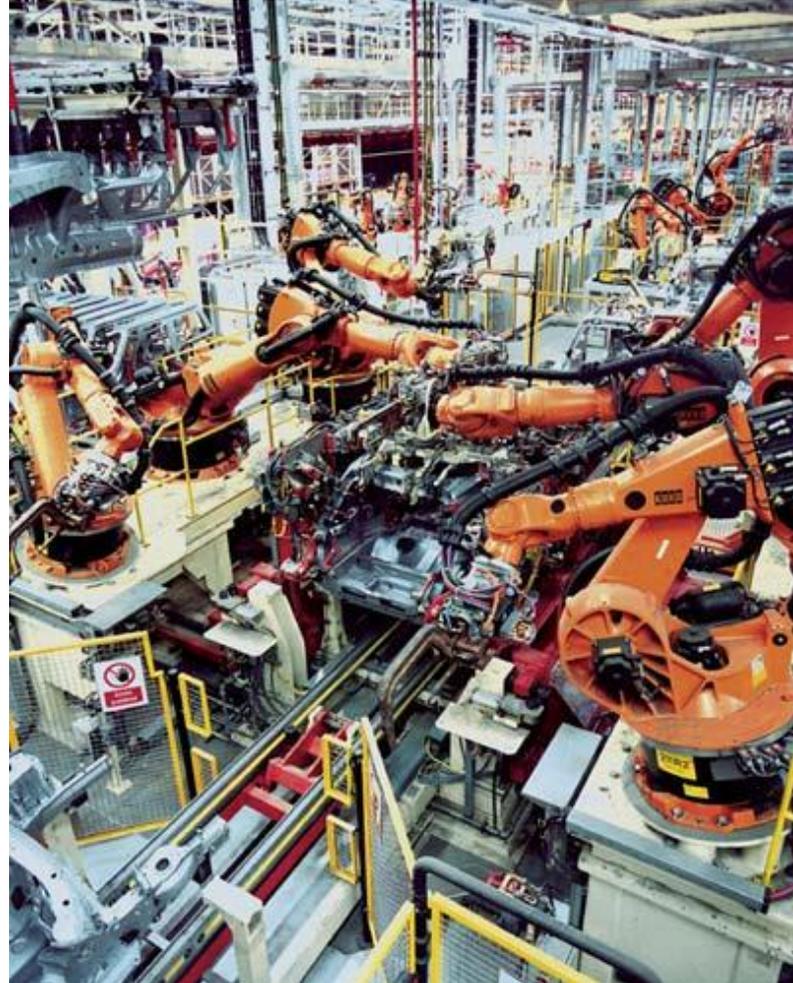
Intelligente Systeme und Robotik

Autonome Intelligente Systeme



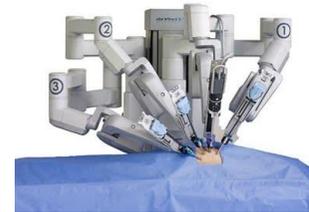
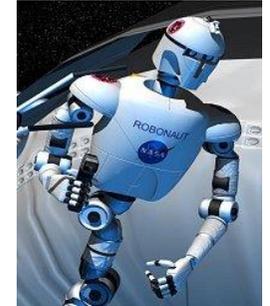
Industrieroboter

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



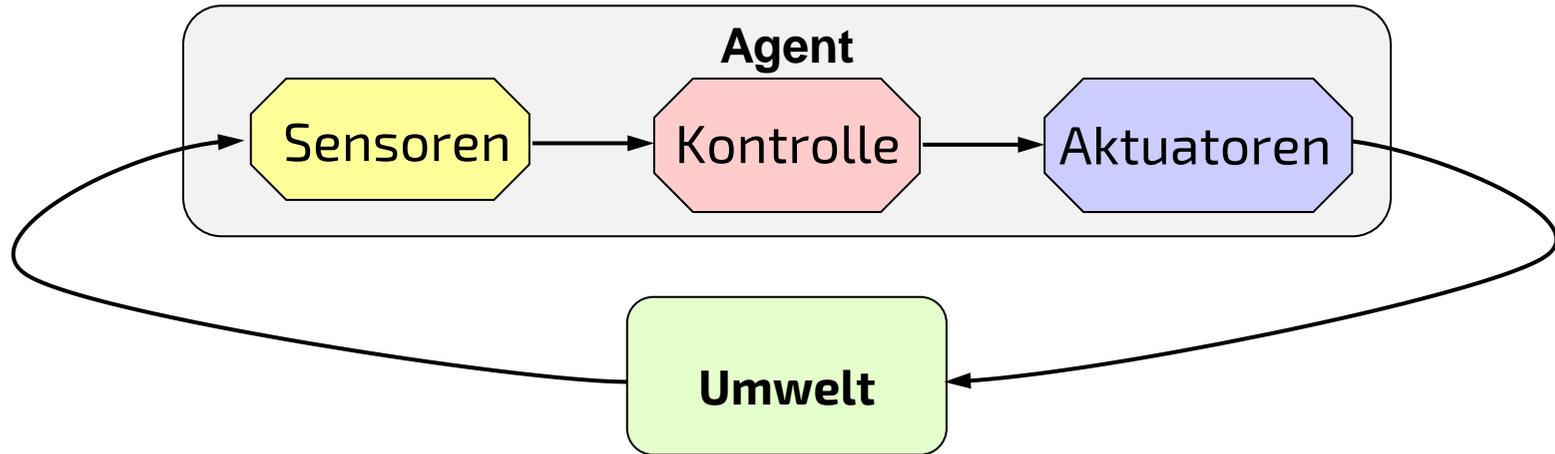
Neue Anwendungsgebiete für Roboter

- Autonomes Fahren
- Logistik
- Landwirtschaft
- Kollaborative Produktion
- Alltagsassistentz
- Weltraum, Suche&Rettung
- Medizin, Pflege
- Unterhaltung, Spielzeuge
- **Brauchen mehr Kognition!**



Teilprobleme

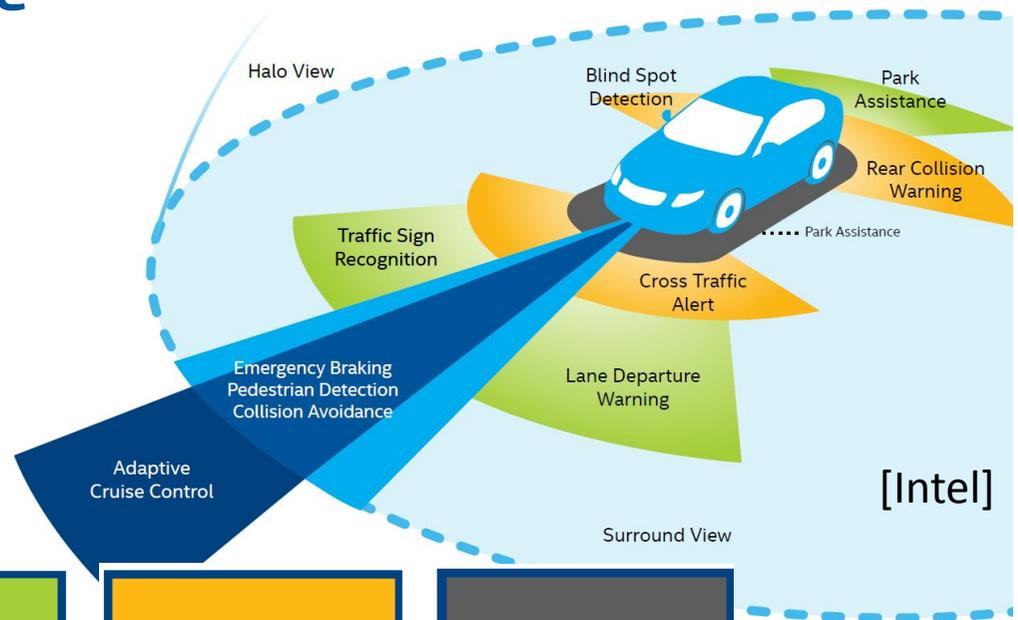
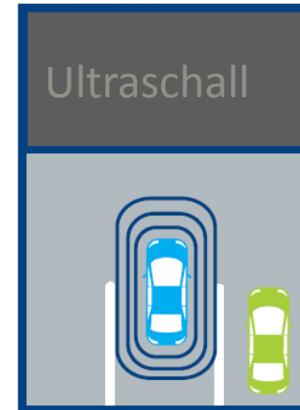
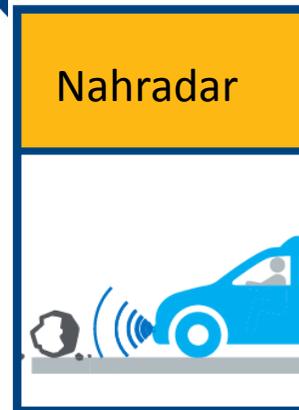
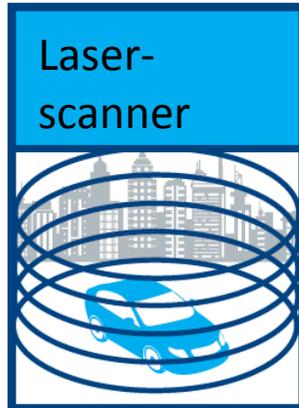
- Wahrnehmung der Umwelt
- Verhaltensplanung
- Beeinflussung der Umwelt



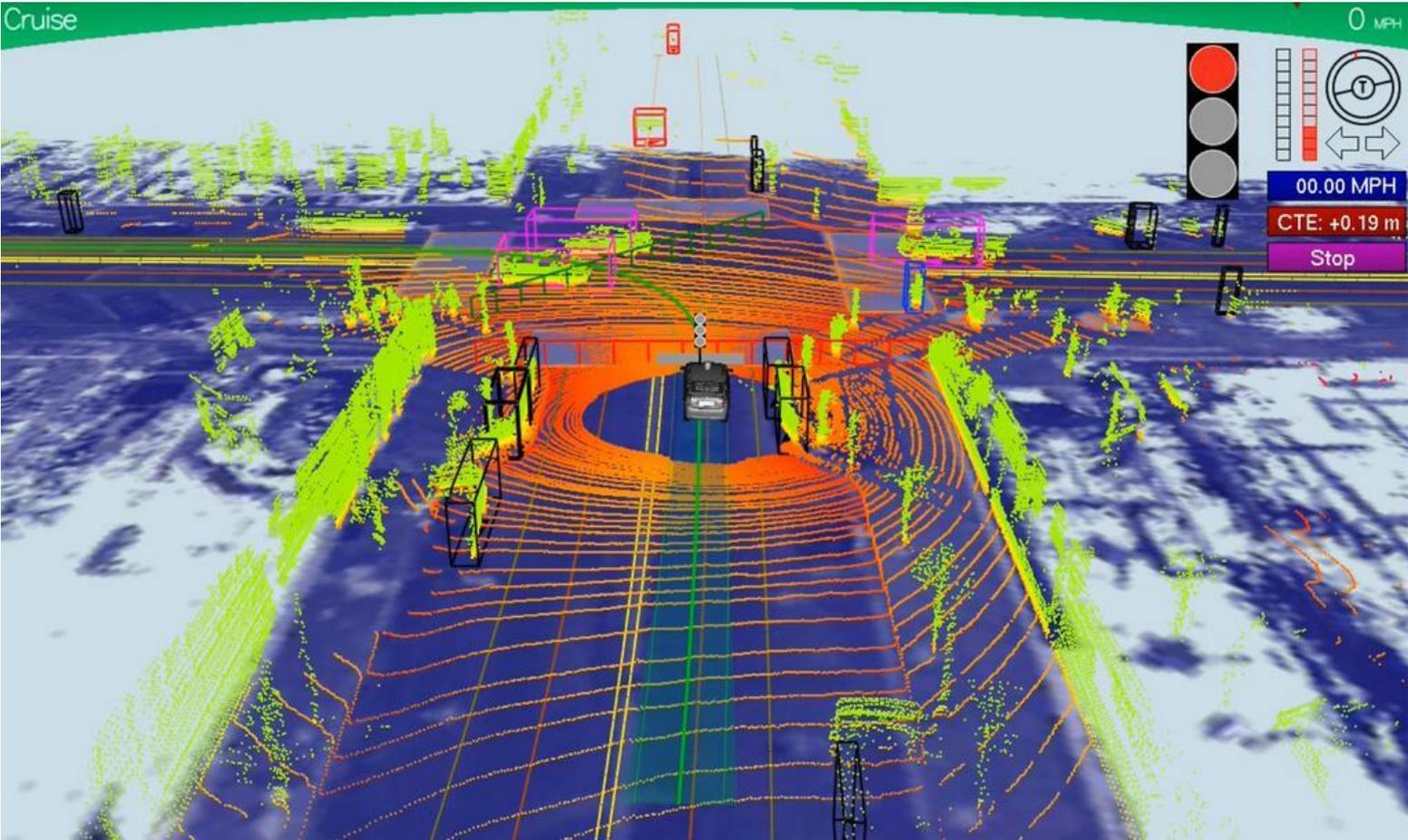
Selbstfahrende Automobile



Sensoren für Automobile

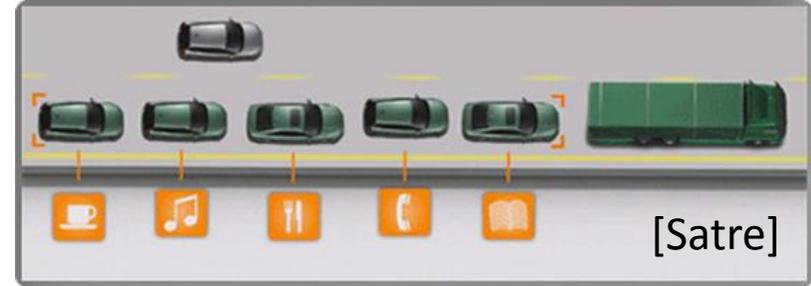


Umgebungssicht des Google-Autos



Möglicher Nutzen Selbstfahrender Automobile

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



Einige unserer Kognitiven Roboter

- Ausgestattet mit zahlreichen Sensoren und Gelenken
- Demonstration in komplexen Szenarien



Fußball



Serviceaufgaben



Griff in die Kiste



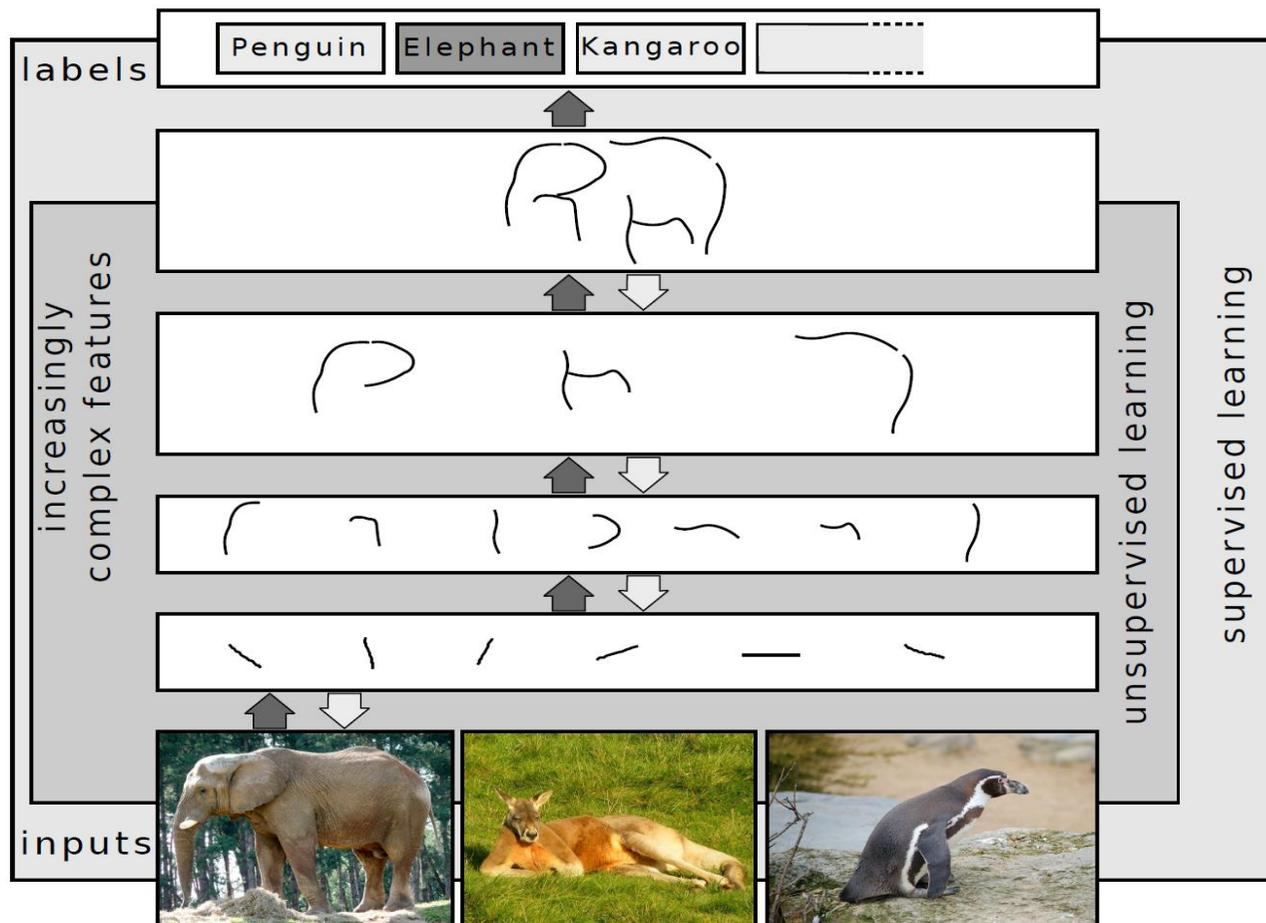
Mobile Manipulation



Inventur

Deep Learning

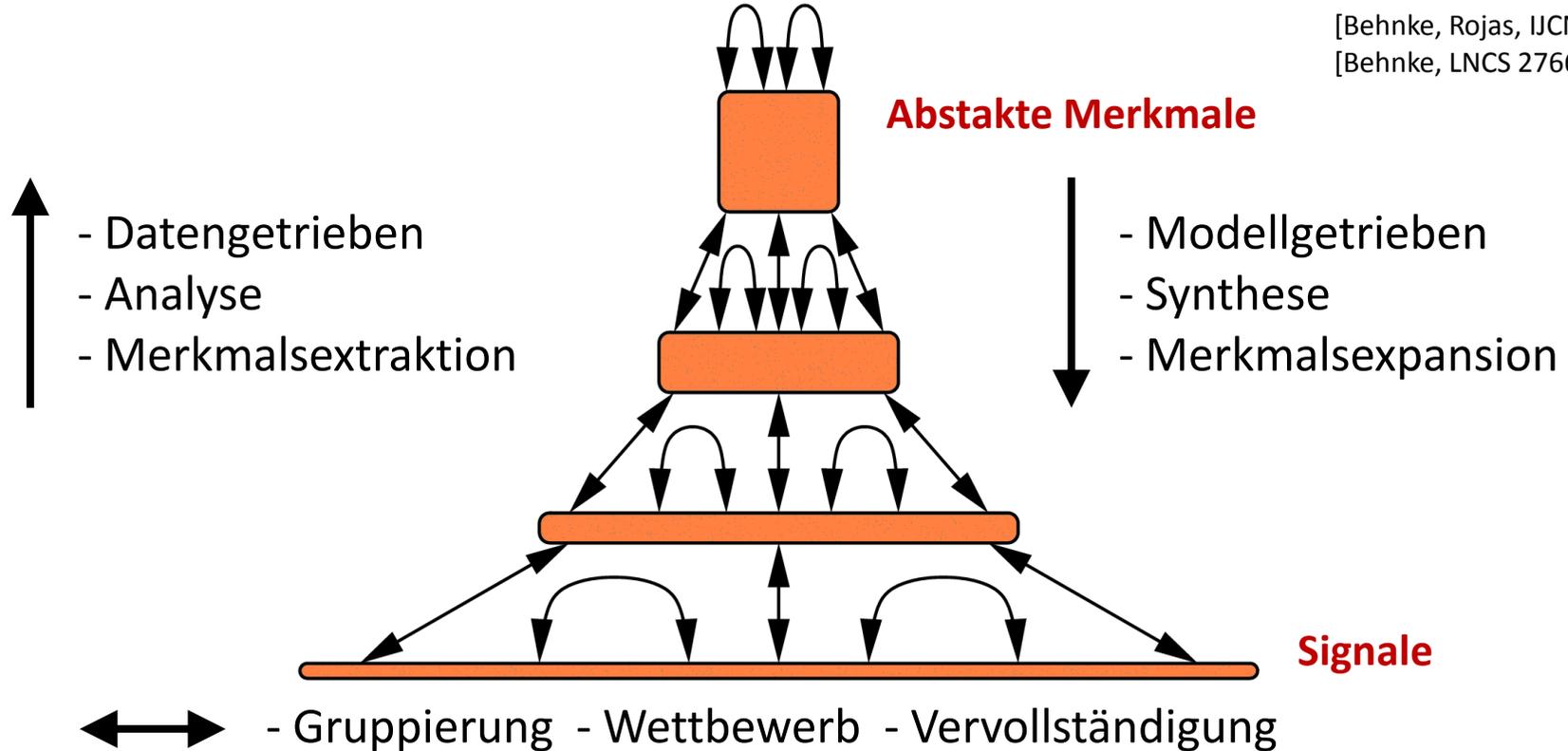
- Lernen immer abstrakterer Repräsentationen



[Schulz;
Behnke,
KI 2012]

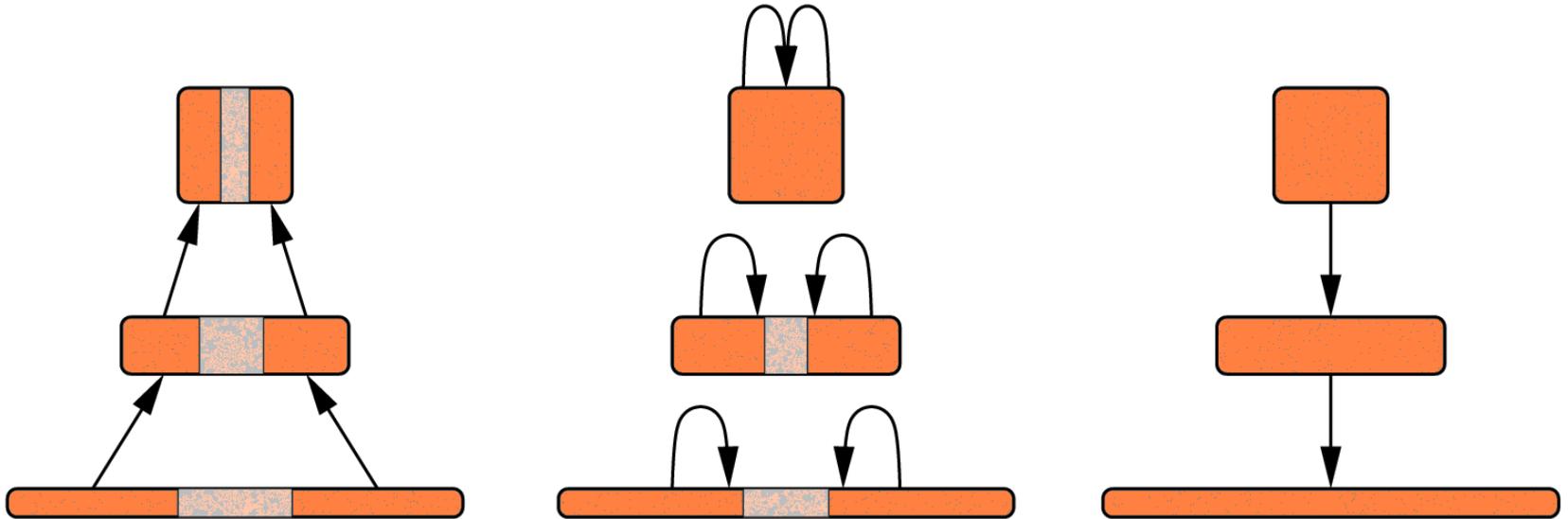
Neuronale Abstraktionspyramide

[Behnke, Rojas, IJCNN 1998]
[Behnke, LNCS 2766, 2003]



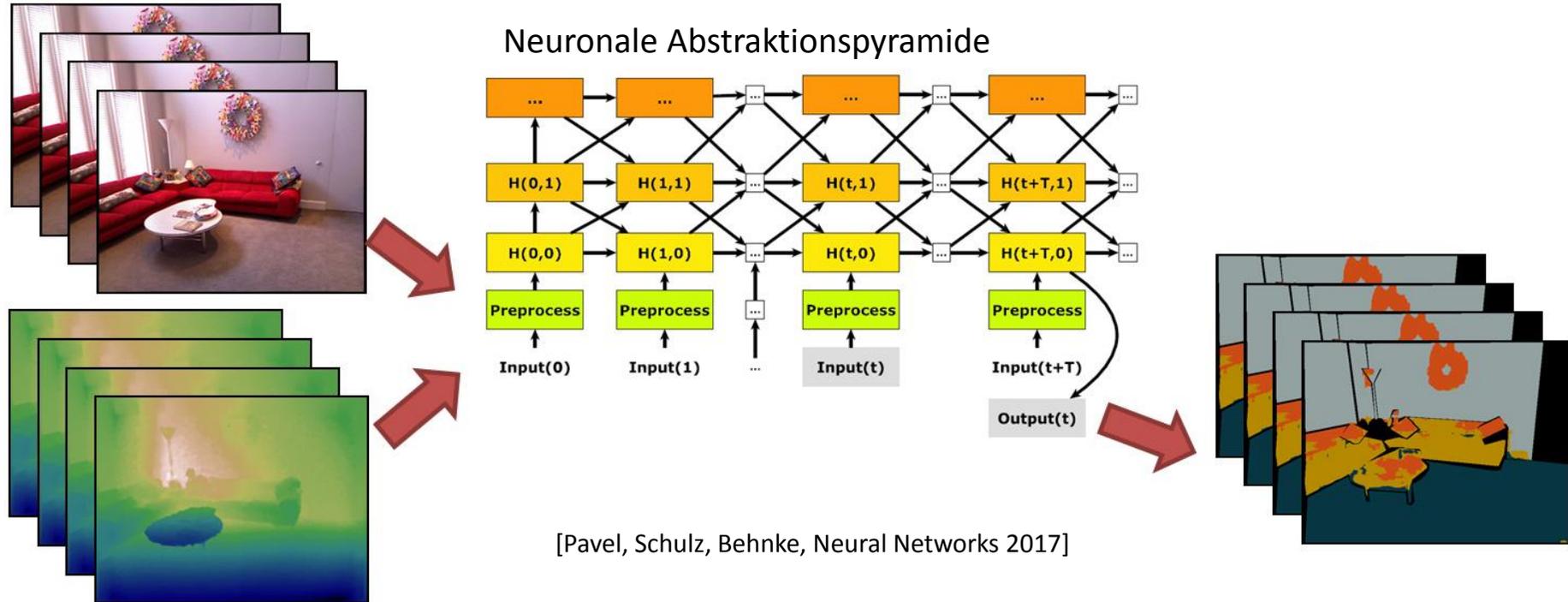
Iterative Interpretation

- Interpretiere einfache Bereiche zuerst
- Nutze Teilinterpretationen als Kontext um lokale Mehrdeutigkeiten aufzulösen



Neuronale Abstraktionspyramide zur Semantischen Segmentierung von RGB-D-Video

- Rekursive Berechnung effizient für zeitliche Integration

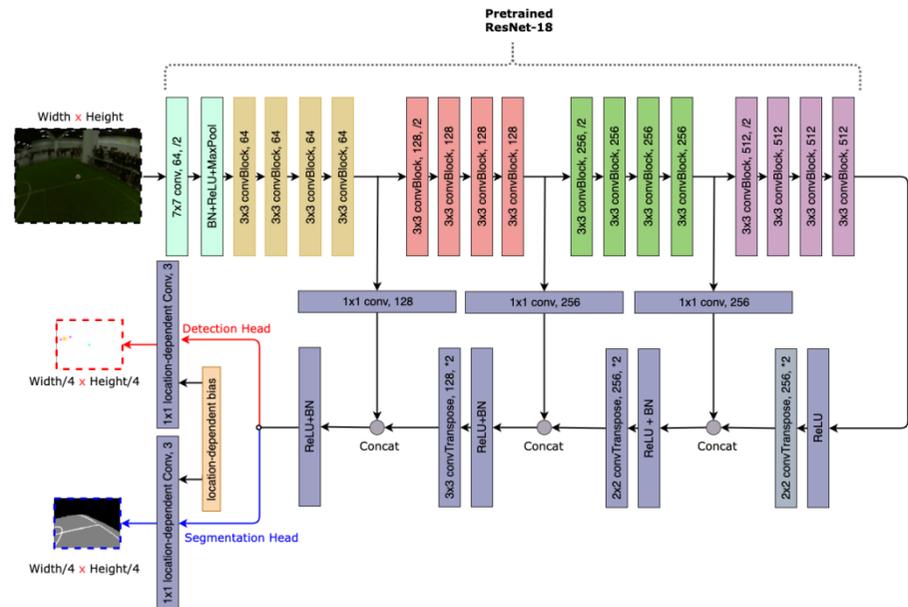
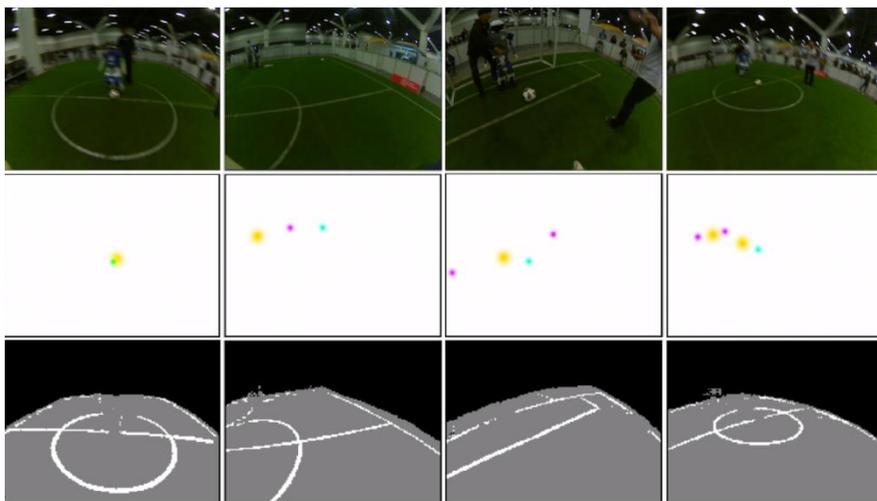


RoboCup 2019 in Sydney



Visuelle Wahrnehmung

- Encoder-Decoder-Netzwerk
- Zwei Ausgaben:
 - Objektdetektion
 - Semantische Segmentierung
- Ortsabhängiges Bias



- Detektiert Objekte die für Menschen schwer auszumachen sind
- Robust gegenüber Beleuchtungsänderungen

Das Daten-Problem

- Deep-Learning Methoden benötigen viele Trainingsdaten

- Lösungsansätze:

1. Generieren von Daten:

Automatische Datenerfassung,
Online-Datenmengen,
Synthese von Szenen



2. Dateneffiziente Verfahren:

Objektzentrierte Modelle,
Deformierbare Registrierung,
Transfer-Lernen,
Halbüberwachte Verfahren



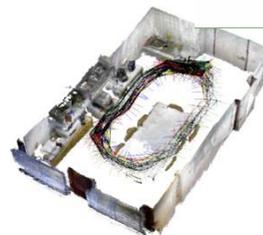
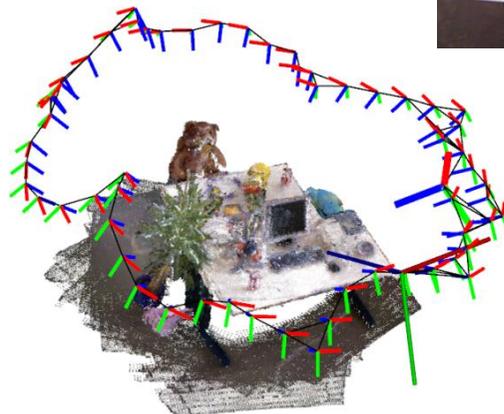
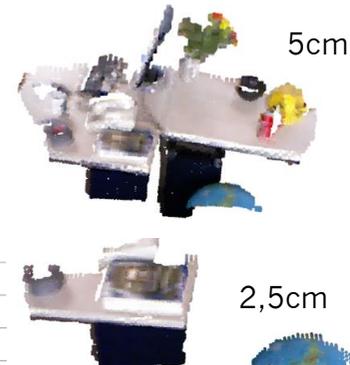
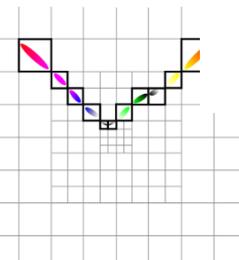
Kognitiver Serviceroboter Cosero



3D-Kartierung durch RGB-D SLAM

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

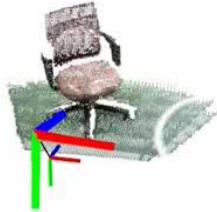
- Modellierung von Form und Farbverteilung in Voxeln
- Lokale Multiresolution
- Effiziente Registrierung mit CPU
- Globale Optimierung
- Multikamera-SLAM



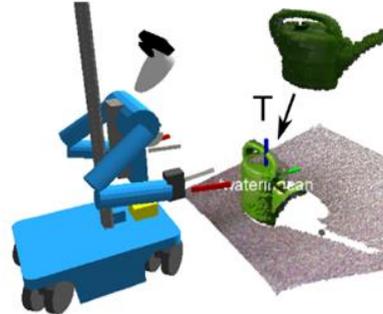
[Stoucken]

Lernen und Verfolgen von Objektmodellen

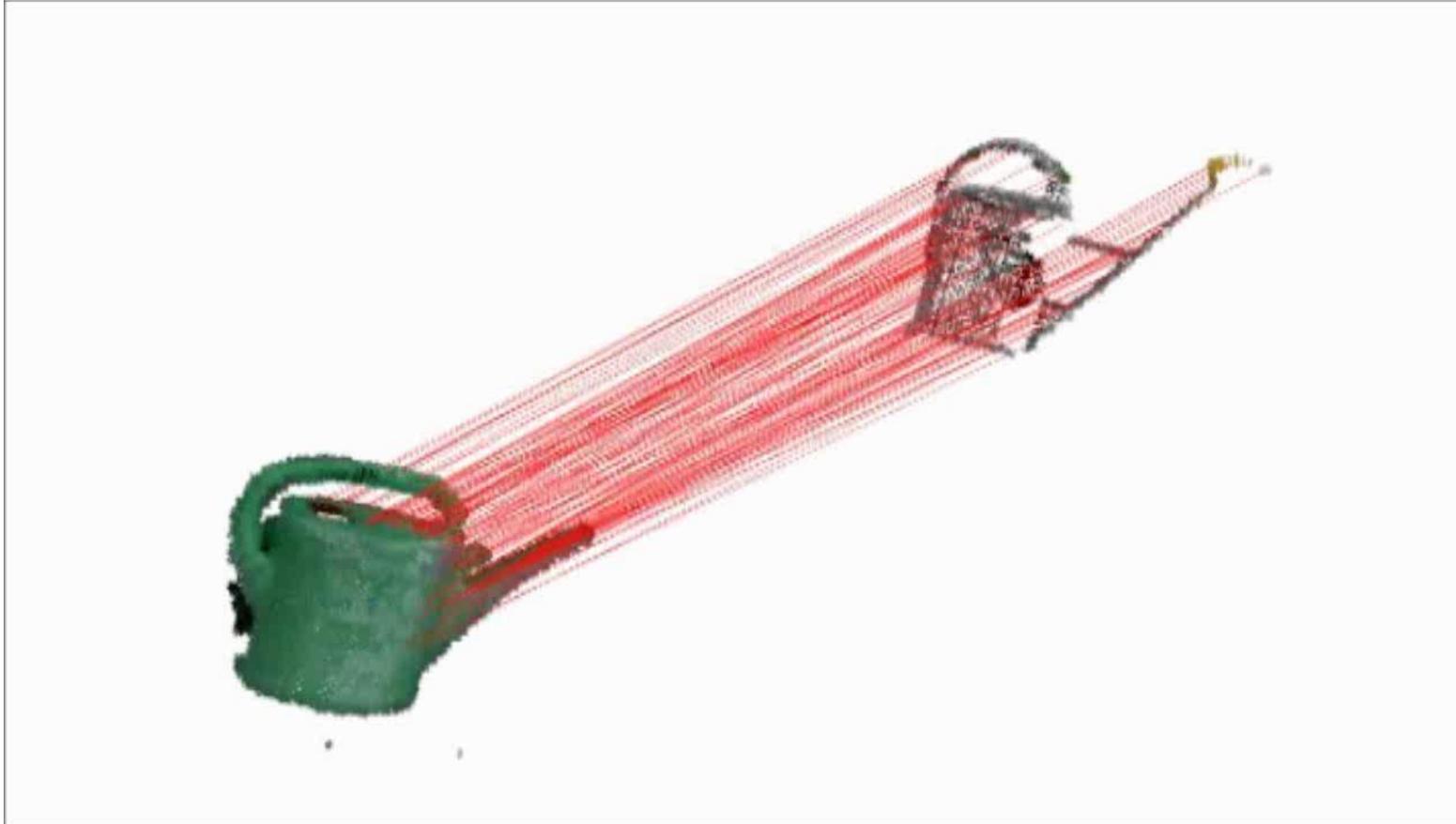
- Modellierung von Objekten durch RGB-D-SLAM



- Echtzeit-Registrierung mit aktuellem RGB-D-Frame



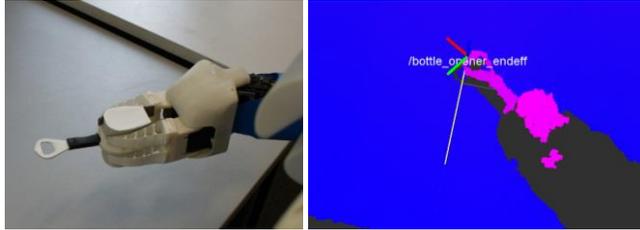
Transfer von Handhabungswissen



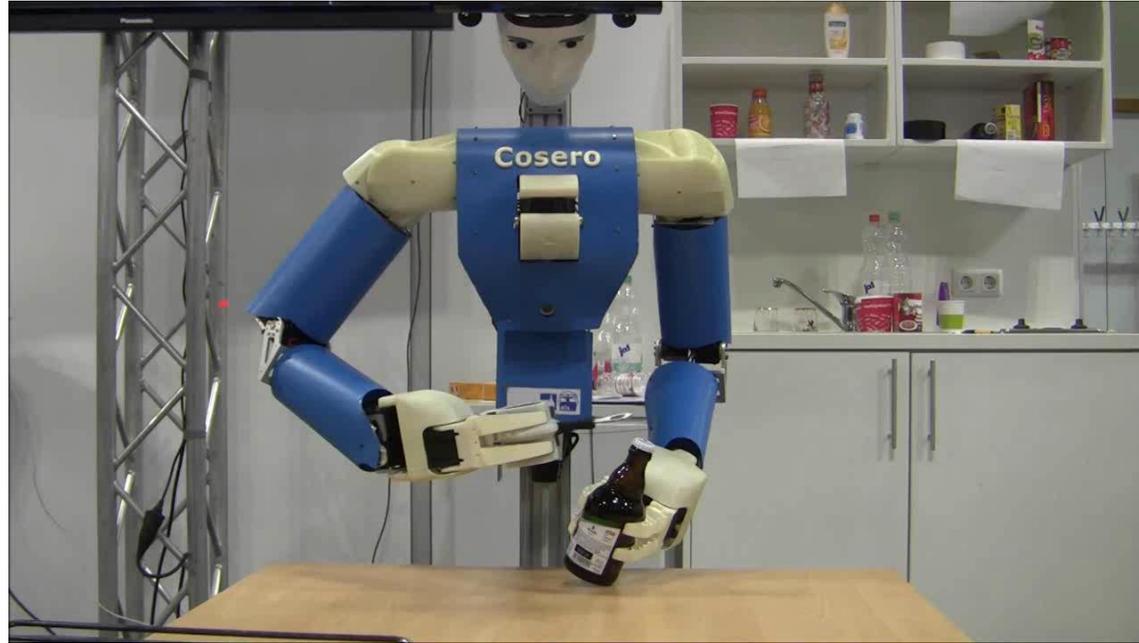
[Stückler,
Behnke,
ICRA2014]

Werkzeuggebrauch: Flaschenöffner

- Wahrnehmung der Werkzeugspitze



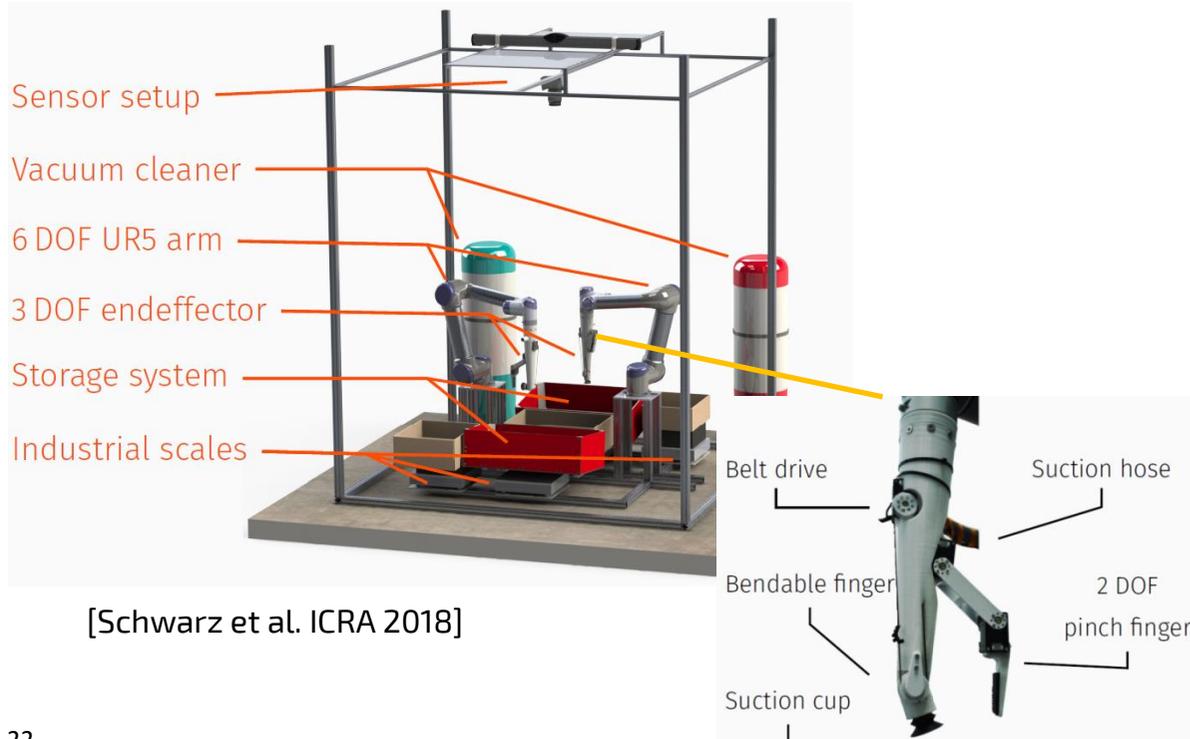
- Erweiterung der Armkinematik
- Wahrnehmung des Kronkorkens
- Anpassung der Bewegungsprimitive



[Stückler, Behnke, Humanoids 2014]

Amazon Robotics Challenge

- Einlagern und Kommissionierung von Waren
- Zweiarmiges Robotersystem



[Amazon]

Objekterfassung und Szenengenerierung

■ Drehteller + DLSR

■ Einfügen in komplexe Szenen



Szeneninterpretation und Greifplanung

- Semantische Segmentierung mit RefineNet [Lin et al. CVPR 2016]
- Saugpopen auf ebenen Flächen im Zentrum der Segmente



bronze_wire_cup
conf: 0.749401

irish_spring_soap
conf: 0.811500

playing_cards
conf: 0.813761

w_aquarium_gravel
conf: 0.891001

crayons
conf: 0.422604

reynolds_wrap
conf: 0.836467

paper_towels
conf: 0.903645

white_facecloth
conf: 0.895212

hand_weight
conf: 0.928119

robots_everywhere
conf: 0.930464



mouse_traps
conf: 0.921731

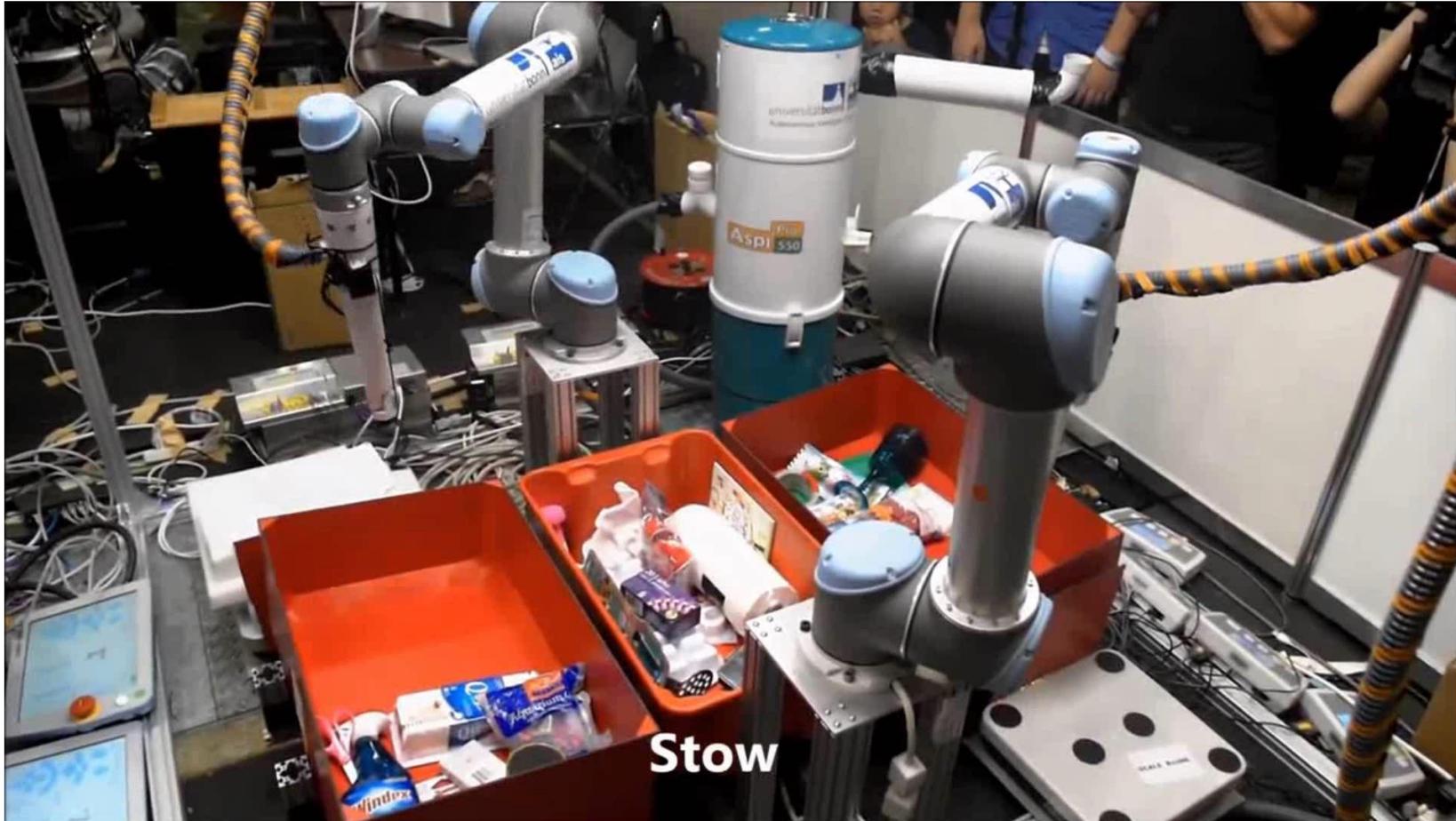
windex
conf: 0.861246

q-tips_500
conf: 0.475015

fiskars_scissors
conf: 0.831069

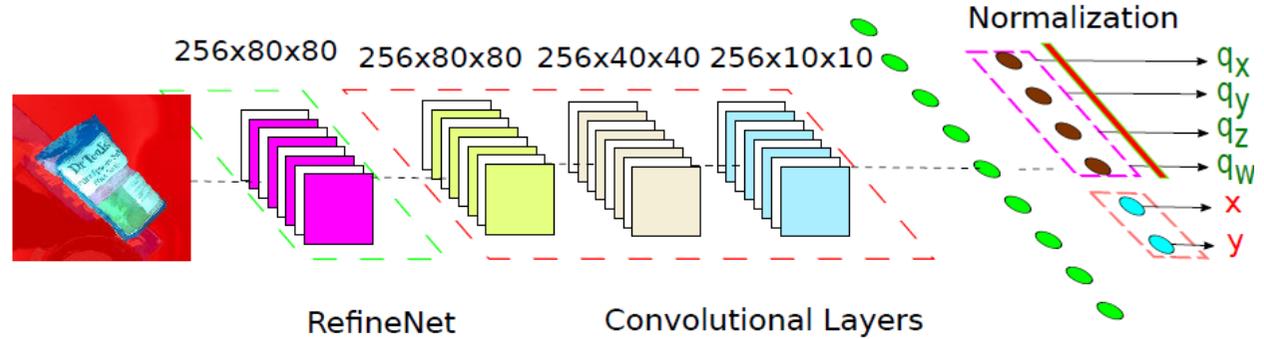
ice_cube_tray
conf: 0.976856

Amazon Robotics Challenge 2017 Finale

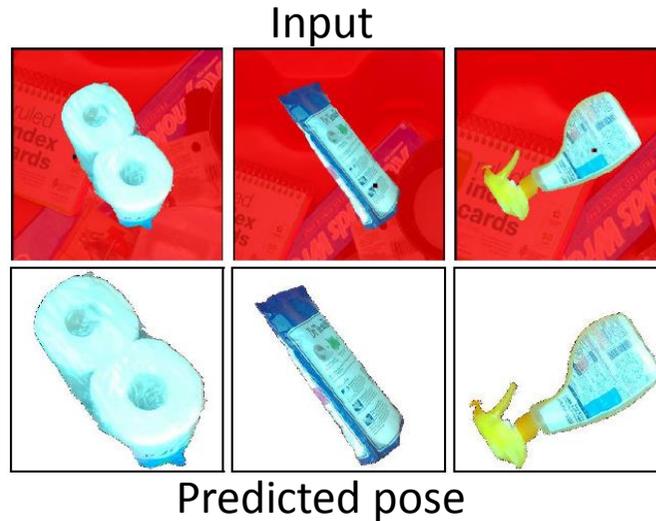


Schätzung der 6D-Objektpose

- Ausschneiden einzelner Objekt-hypothesen (Segmente)

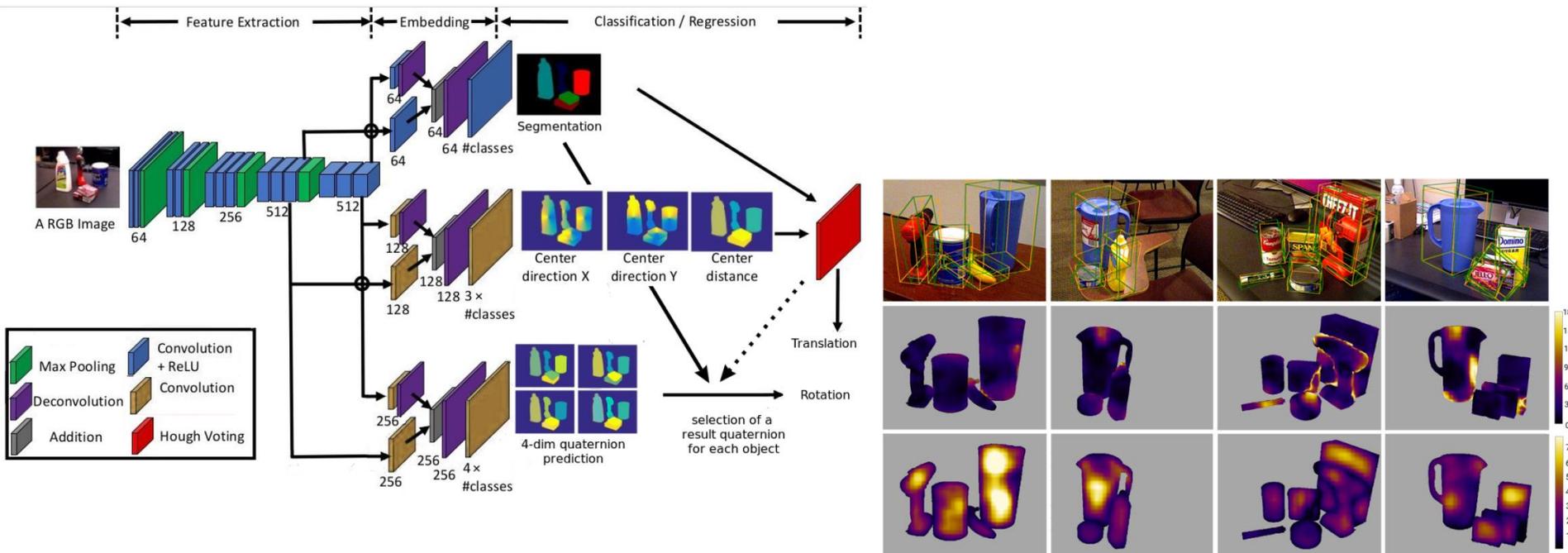


- Merkmale der obersten Schicht von RefineNet
- Vorhersage von Posenparametern
- Registrierung von Objektmodellen



Dichte Konvolutionale 6D-Posenschätzung

- Erweiterung von PoseCNN [Xiang et al. RSS 2018]
- Dichte Vorhersage von Objektzentren und Orientierungen, ohne Ausschneiden



[Capellen et al, submitted 2019]

Generieren von Trainingsdaten: Aggregieren der Objektansichten zu texturierten 3D-Objektmodellen



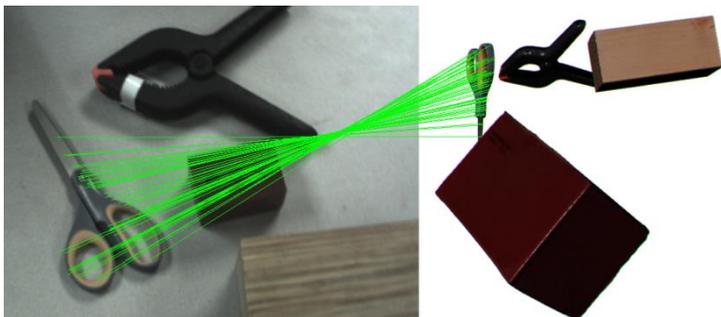
Ansichten



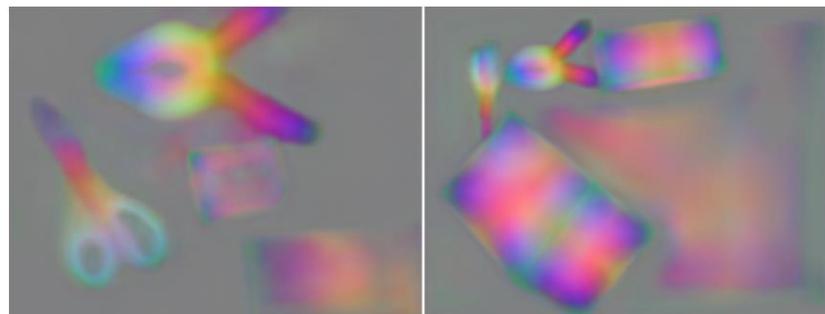
Texturierte
3D-Modelle

Selbstüberwachtes Lernen dichter Merkmale

- Oberflächenmerkmale sollen konstant bleiben, auch wenn sich Sichtwinkel, Beleuchtung, etc. ändern
- Merkmale sollen eindeutig sein, um Korrespondenzen zwischen verschiedenen Ansichten herzustellen
- Lernen dichter Merkmale aus Korrespondenzen mit Kontrast-Fehlerfunktion [Schmidt et al. 2016]



Bekannte Korrespondenzen



Gelernte Merkmale

Gelernte Szenenabstraktion



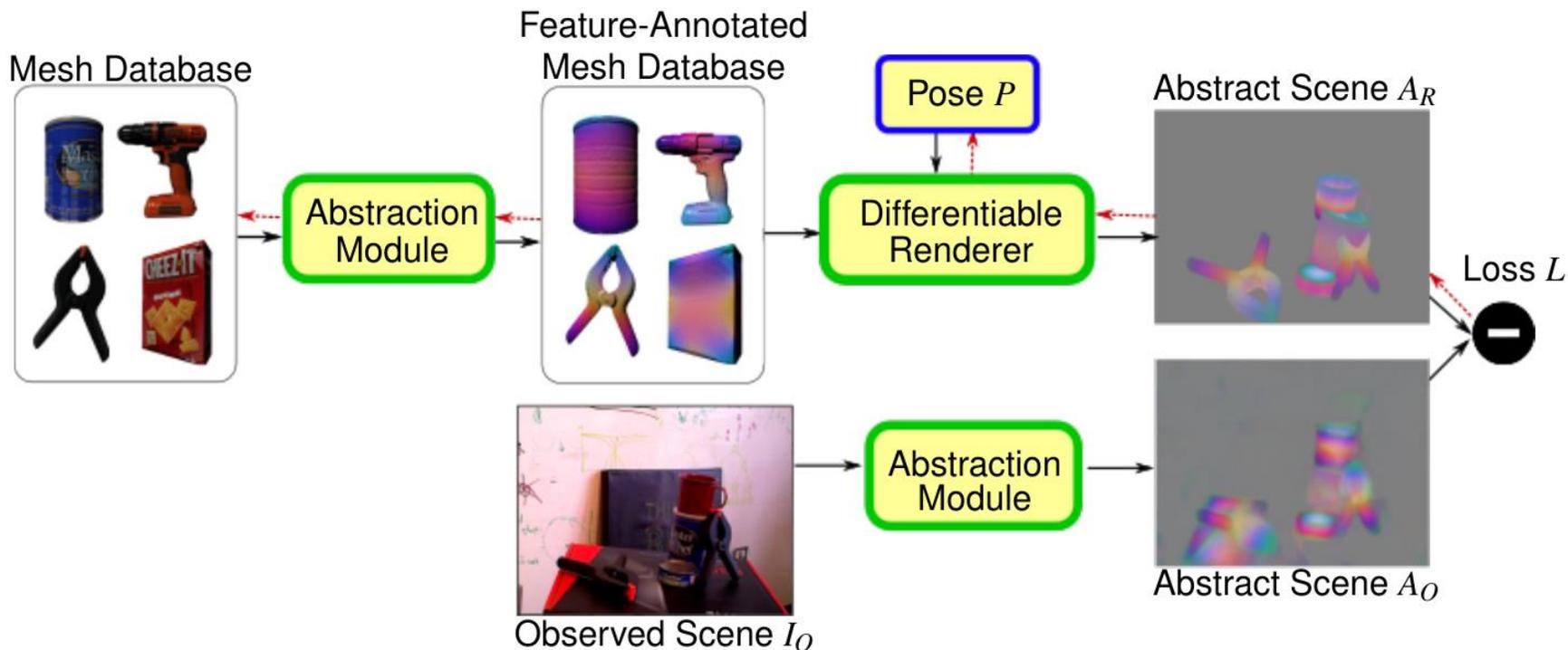
Merkmalsdeskriptoren als Texturen für 3D-Objektmodelle

- Gelernte Merkmalskanäle als “Farben” für Textur in 3D-Objektmodellen
- Nutzung für 6D-Posenschätzung



Abstrakte Objektregistrierung

- Vergleiche gerenderte und zu interpretierende Szene in gelerntem Merkmalsraum
- Passe Modellpose durch Gradientenabstieg an



Beispiel-Szene



Evaluation auf YCB-Video-Datenmenge

- Konsistente Verbesserung im Vergleich zu PoseCNN (Xiang et al. 2018)
- Monokular (keine Tiefe erforderlich)



PoseCNN



Optimierte Schätzung

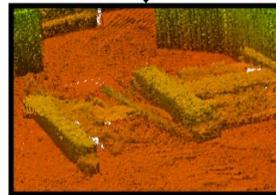
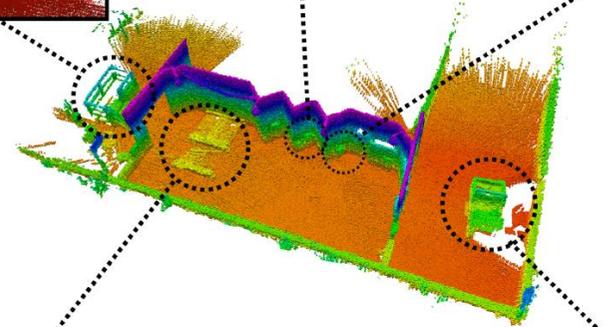
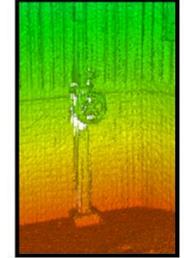
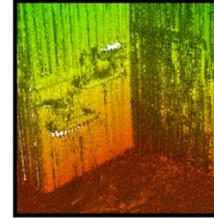
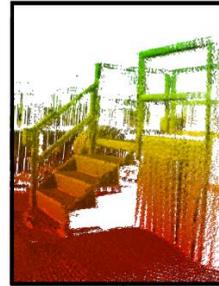
Object	PoseCNN [5]		PoseCNN refined (ours)	
	ADD	ADD-S	ADD(Δ)	ADD-S(Δ)
master_chef_can	50.2	83.9	63.3(+13.1)	91.7(+7.8)
cracker_box	53.1	76.9	65.3(+12.2)	81.7(+4.9)
sugar_box	68.4	84.2	85.3(+16.9)	92.0(+7.8)
tomato_soup_can	66.2	81.0	59.4(-6.8)	79.9(-1.1)
mustard_bottle	81.0	90.4	86.5(+5.5)	92.3(+1.9)
tuna_fish_can	70.7	88.0	81.1(+10.4)	94.3(+6.3)
pudding_box	62.7	79.1	71.1(+8.4)	83.1(+4.1)
gelatin_box	75.2	87.2	81.5(+6.3)	89.1(+1.9)
potted_meat_can	59.5	78.5	63.7(+4.2)	80.3(+1.8)
banana	72.3	86.0	82.1(+9.8)	91.8(+5.8)
pitcher_base	53.3	77.0	85.1(+31.8)	92.7(+15.7)
bleach_cleanser	50.3	71.6	65.0(+14.7)	80.4(+8.9)
bowl	3.3	69.6	6.5(+3.1)	75.5(+5.9)
mug	58.5	78.2	65.9(+7.4)	84.0(+5.9)
power_drill	55.3	72.7	73.7(+18.4)	85.9(+13.2)
wood_block	26.6	64.3	45.5(+18.9)	73.3(+9.0)
scissors	35.8	56.9	40.0(+4.1)	58.6(+1.7)
large_marker	58.3	71.7	63.9(+5.6)	77.3(+5.6)
large_clamp	24.6	50.2	37.0(+12.4)	65.1(+15.0)
extra_large_clamp	16.1	44.1	25.4(+9.3)	63.7(+19.6)
foam_brick	40.2	88.0	43.3(+3.1)	90.8(+2.8)
ALL	53.7	75.8	62.8(+9.1)	82.4(+6.6)

DARPA Robotics Challenge



Allozentrische 3D-Kartierung

- Registrierung egozentrischer Karten durch Graphoptimierung

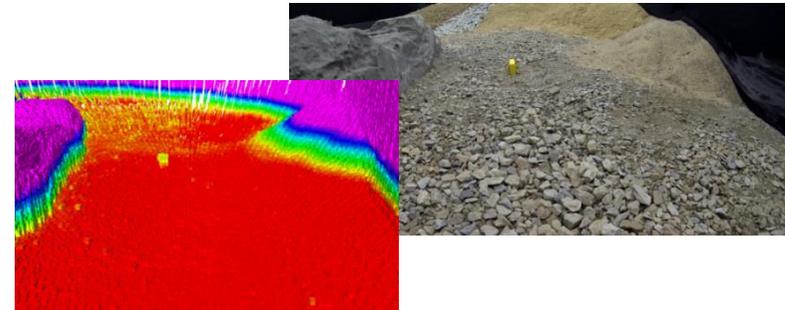
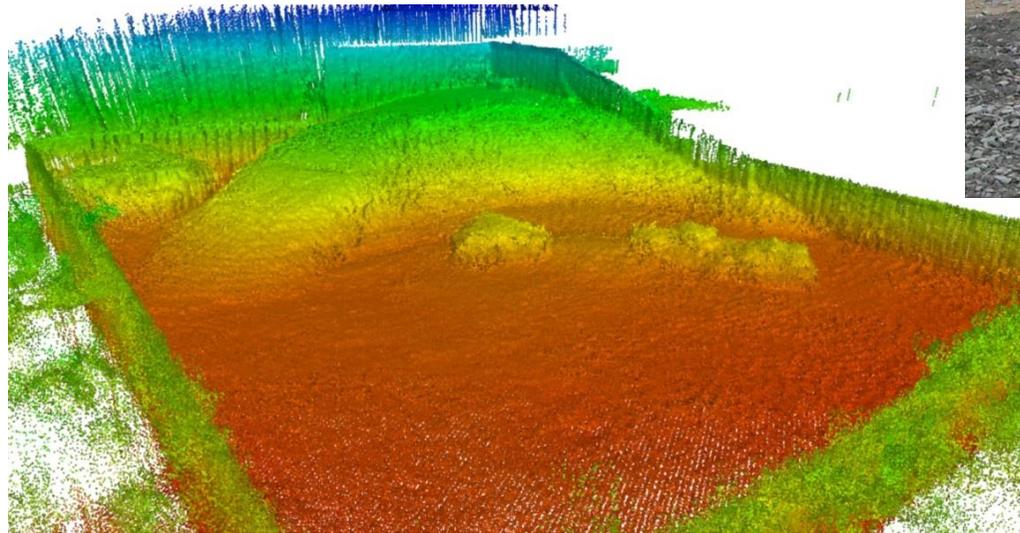


[Droeschel et al., Robotics and Autonomous Systems 2017]

DLR SpaceBot Cup 2015

■ Mobile Manipulation im Gelände

[Schwarz et al., Frontiers on
Robotics and AI 2016]

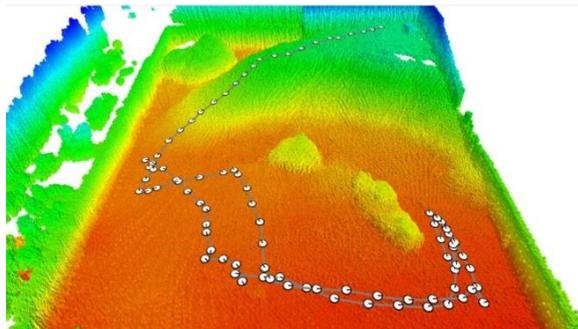


DLR SpaceBot Cup 2015

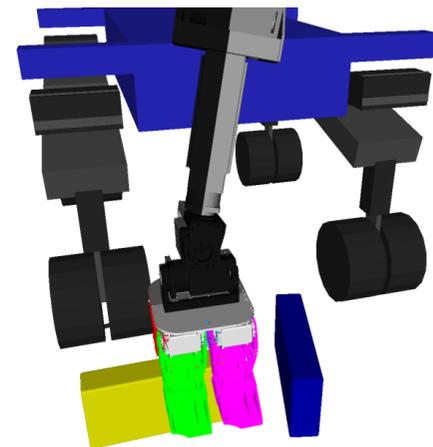
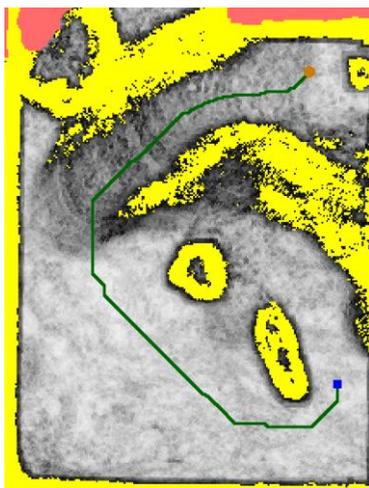
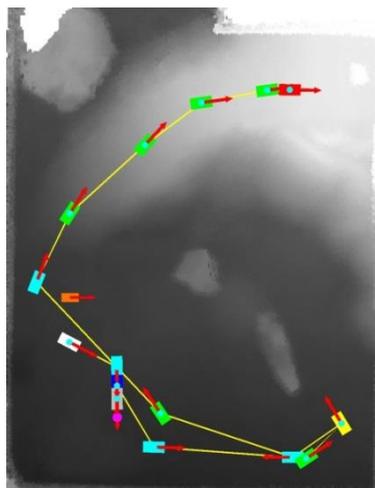
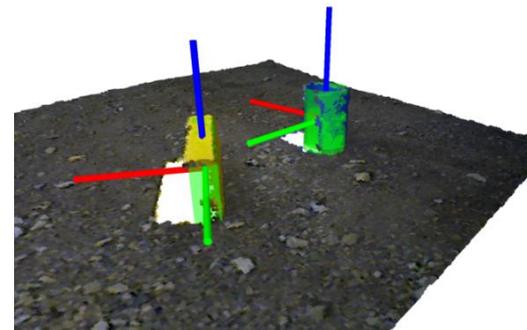


Autonome Missionsausführung

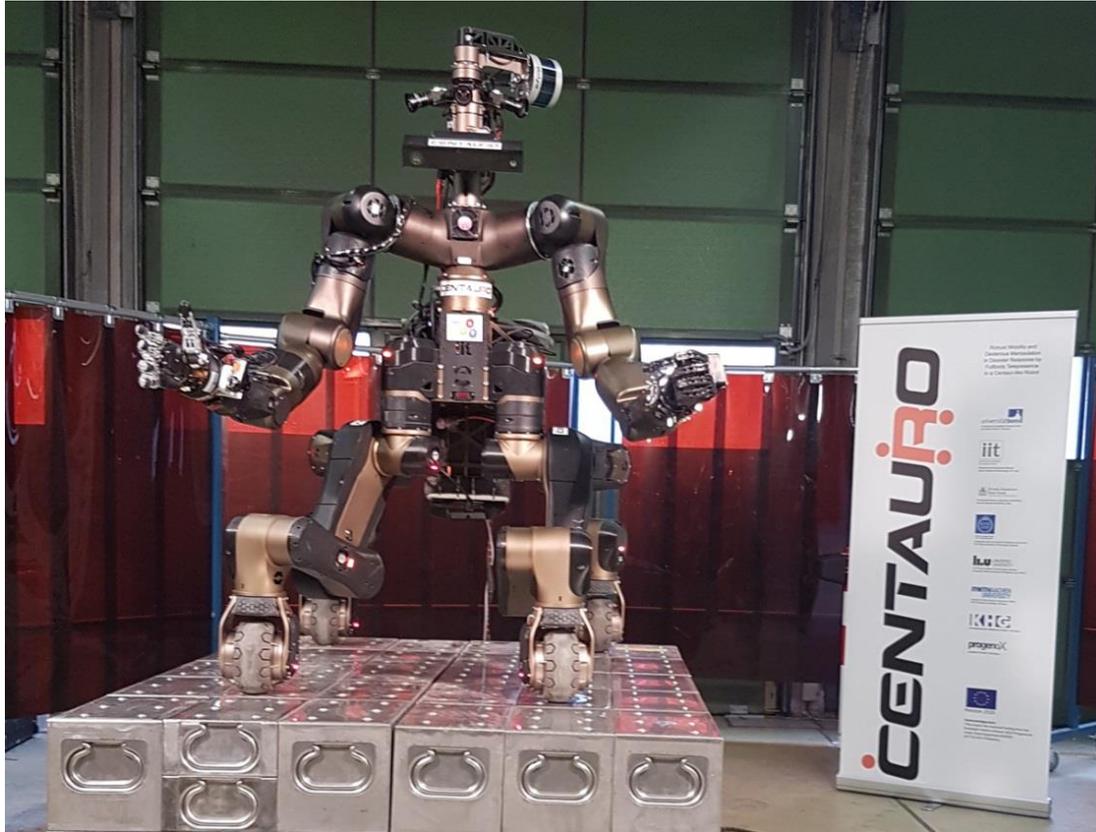
- 3D-Kartierung, Lokalisierung, Missions- und Navigationsplanung



- 3D-Objekt-wahrnehmung und Handhabung



Centauro-Roboter

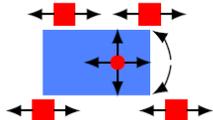
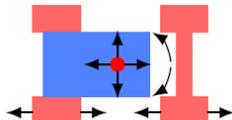
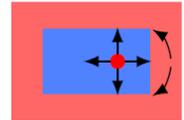


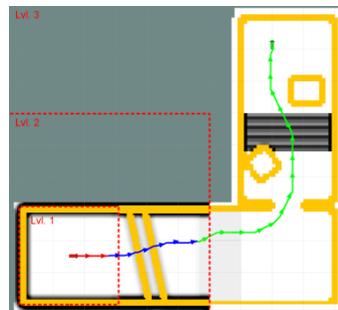
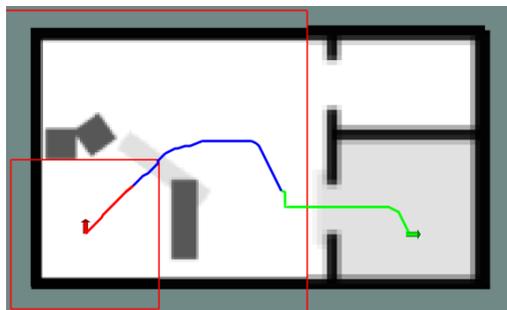
CENTAURO

- Seriell-elastische Aktuatoren
- 42 große Gelenke
- Schunk-Hand
- 3D-Laserscanner
- RGB-D-Kamera
- Farbkameras
- Zwei GPU-PCs

[Tsagarakis et al., IIT 2017]

Planen auf mehreren Abstraktionsstufen

Level	Map Resolution	Map Features	Robot Representation	Action Semantics
1	<ul style="list-style-type: none"> • 2.5 cm • 64 orient. 	<ul style="list-style-type: none"> • Height 		<ul style="list-style-type: none"> • Individual Foot Actions
2	<ul style="list-style-type: none"> • 5.0 cm • 32 orient. 	<ul style="list-style-type: none"> • Height • Height Difference 		<ul style="list-style-type: none"> • Foot Pair Actions
3	<ul style="list-style-type: none"> • 10 cm • 16 orient. 	<ul style="list-style-type: none"> • Height • Height Difference • Terrain Class 		<ul style="list-style-type: none"> • Whole Robot Actions



[Klamt and Behnke,
IROS 2017, ICRA 2018]

Evaluation @ KHG: Fortbewegungsaufgaben



Transfer von Handhabungsfertigkeiten



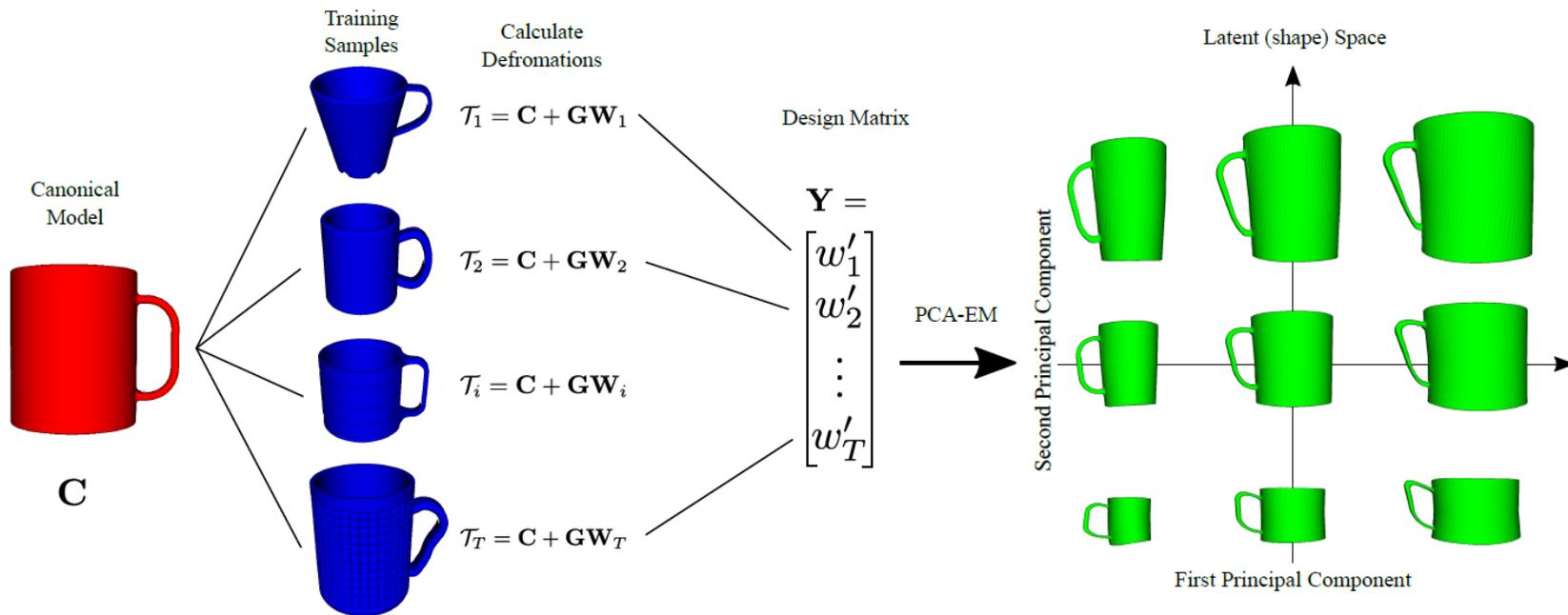
Wissens-
transfer



[Rodriguez et al. ICRA 2018]

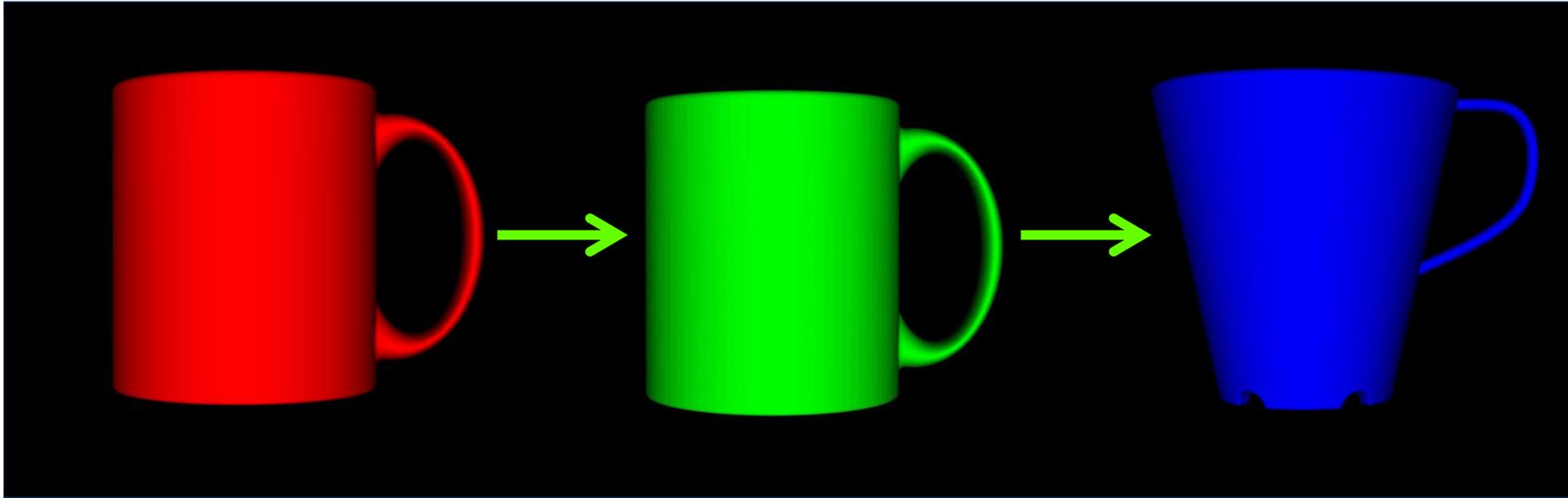
Lernen von eines Formraums

- Deformierbare Registrierung von Instanz und kanonischem Modell
- Hauptkomponentenanalyse der Verformungen



[Rodriguez et al. ICRA 2018]

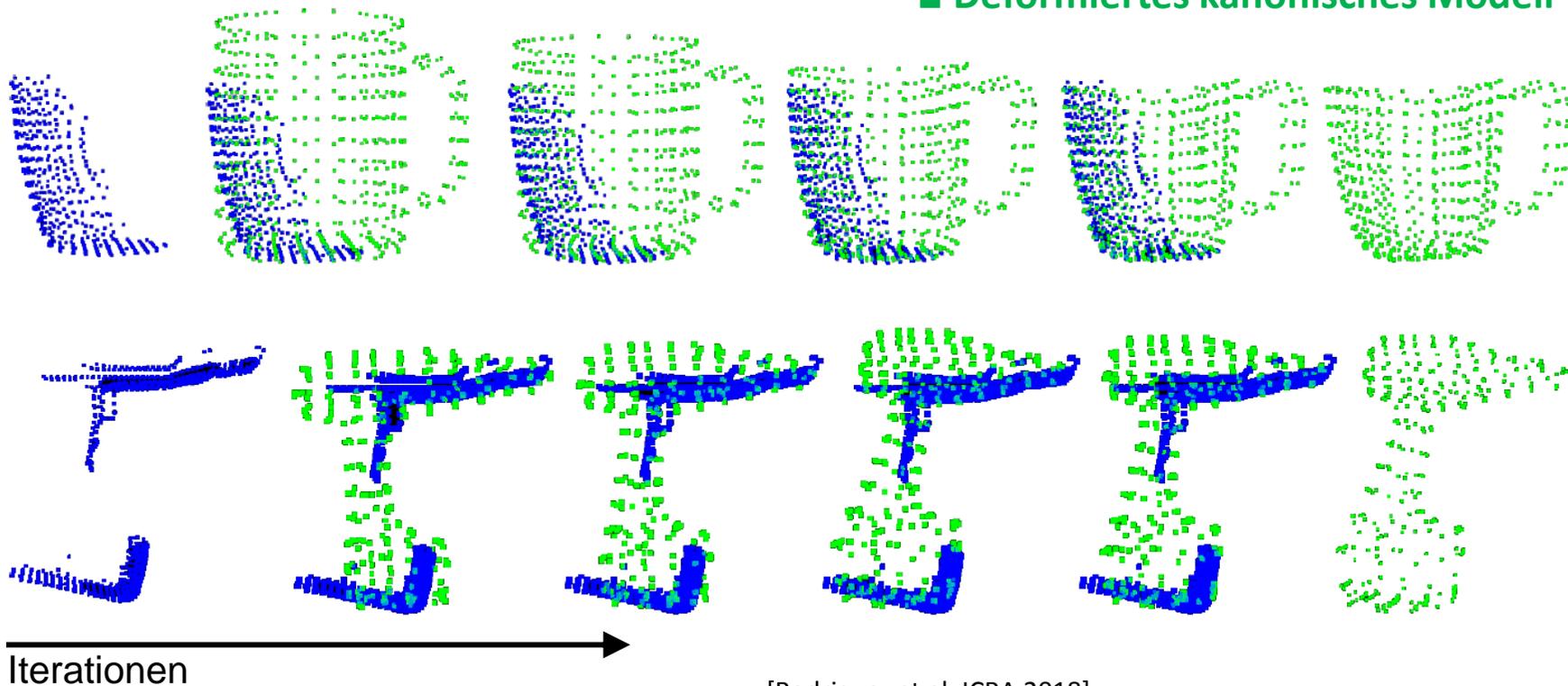
Interpolation in Formraum



[Rodriguez et al. ICRA 2018]

Deformierbare Registrierung der gelernten Form

- Teilansicht unbekannter Instanz
- Deformiertes kanonisches Modell



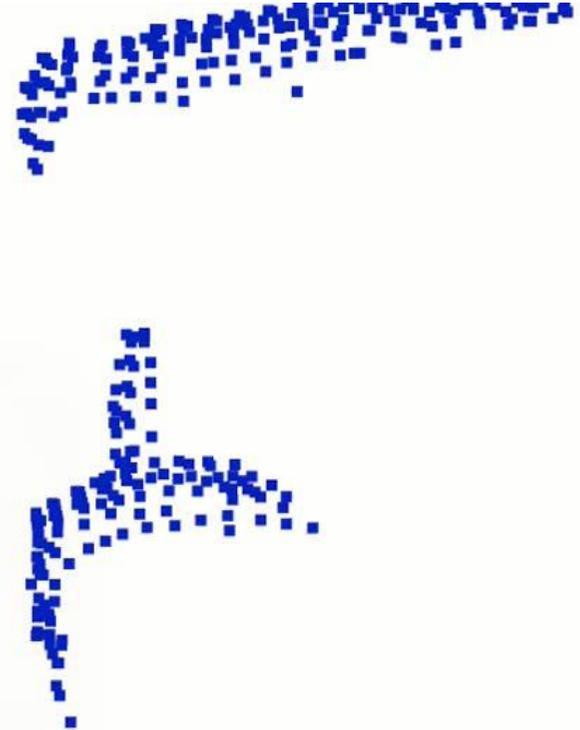
[Rodriguez et al. ICRA 2018]

Transfer von Handhabungswissen

■ Vollständige Punktwolke



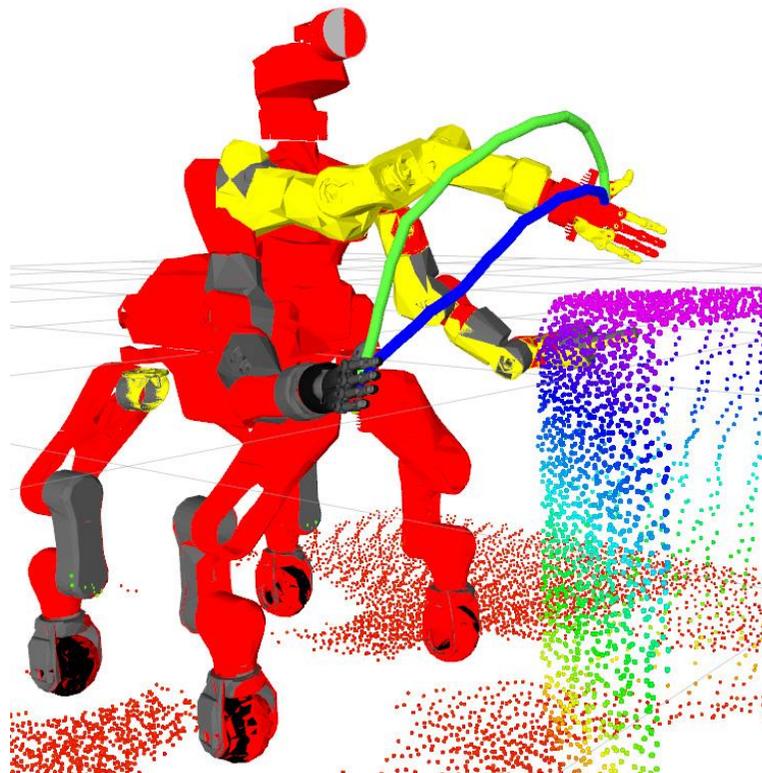
■ Teilansicht



Armbewegungsoptimierung

Trajektorienoptimierung mit Nebenbedingungen:

- Hindernisvermeidung
- Gelenklimits
- Zeitminimierung
- Drehmoment-Minimierung



[Pavlichenko et al., IROS 2017]

Greifen und Benutzen eines unbekannten Akkuschraubers

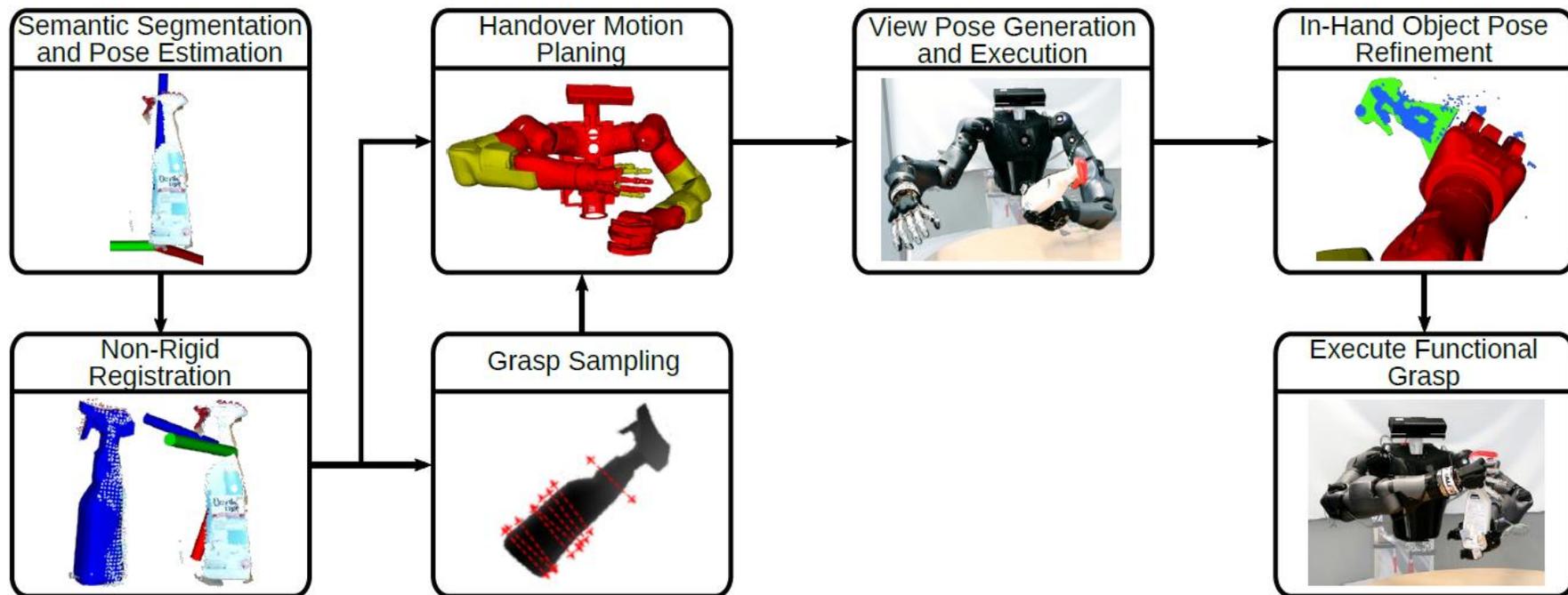


Evaluation @ KHG: Handhabungsaufgaben



Vorbereitung eines Funktionalen Griffs

- Direkte funktionale Griffe sind oft nicht möglich
- Aufheben des Werkzeugs so, dass andere Hand funktional greifen kann



Vorbereitung eines Funktionalen Griffs

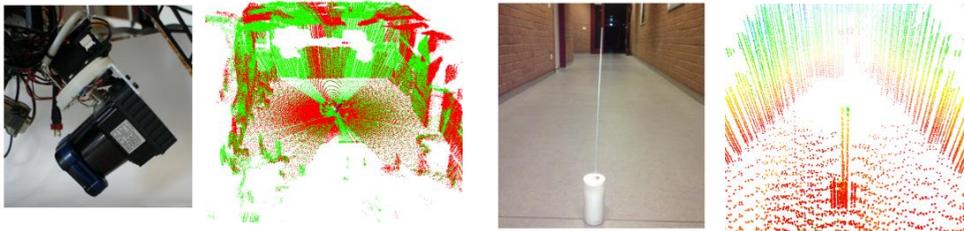
Robot Experiments



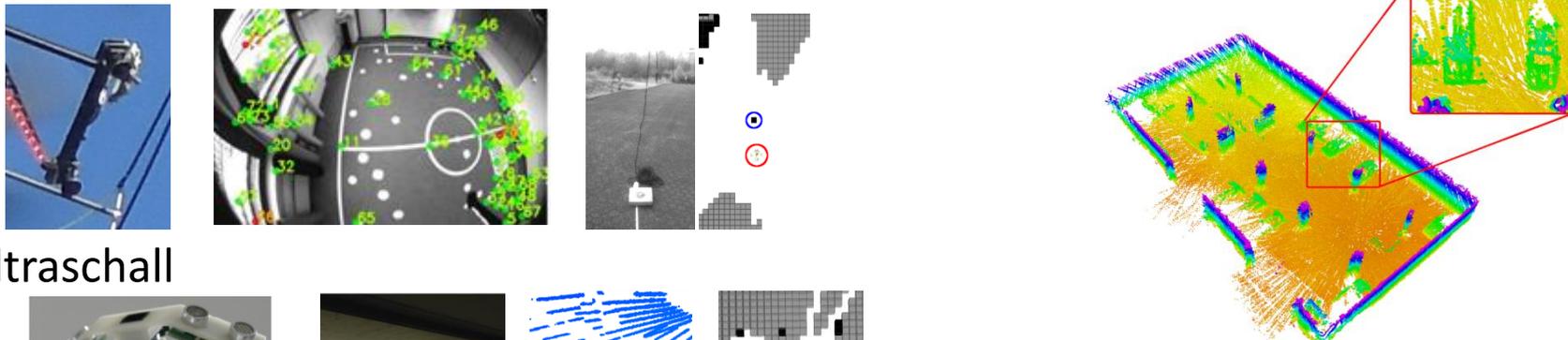
Autonomer Flug in Hindernisnähe

■ Multimodale Hinderniserkennung

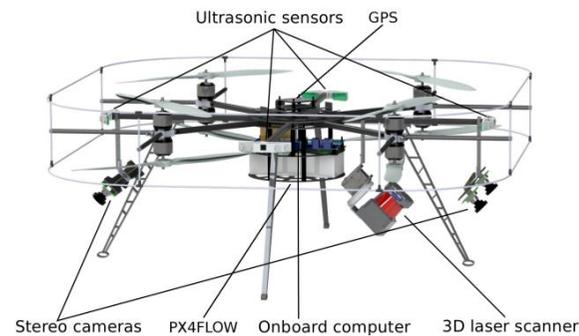
● 3D-Laserscanner



● Stereokameras



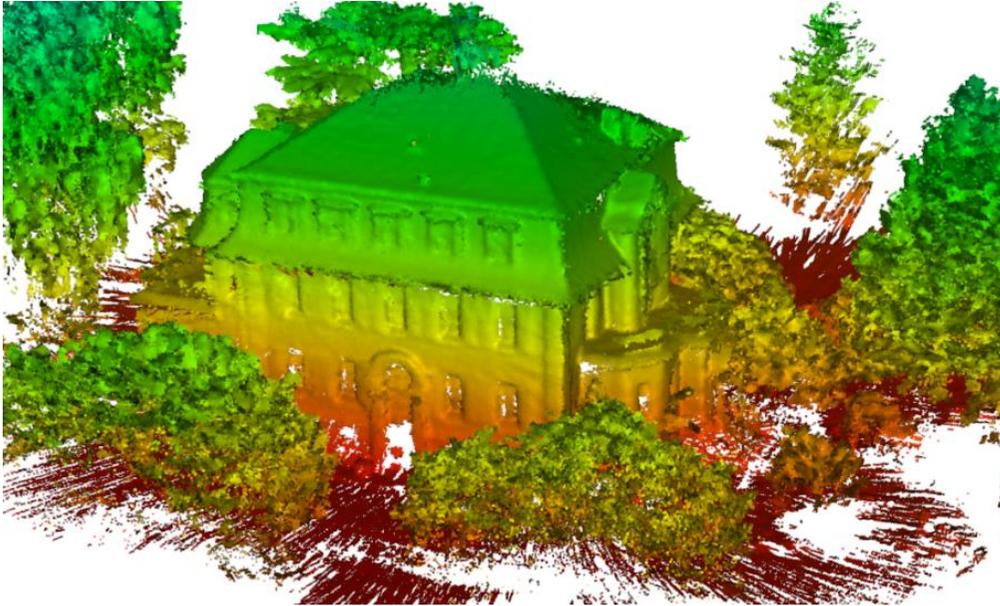
● Ultraschall



[Droeschel et al.: Journal of Field Robotics, 2015]

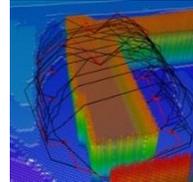
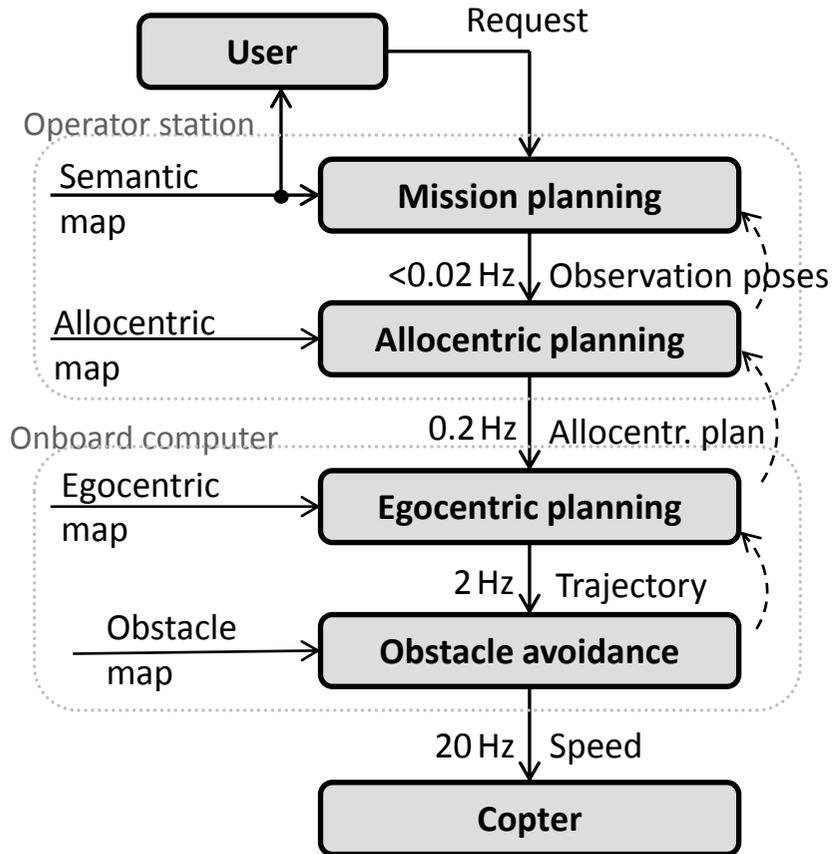
3D-Kartierung

- Registrierung von Laser-Distanzmessungen

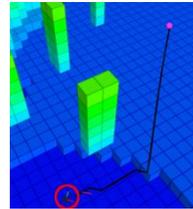


[Droeschel et al. JFR 2016]

Hierarchische Navigation



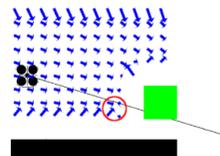
Missionsplanung



Allozentrische Planung



Egozentrische Planung

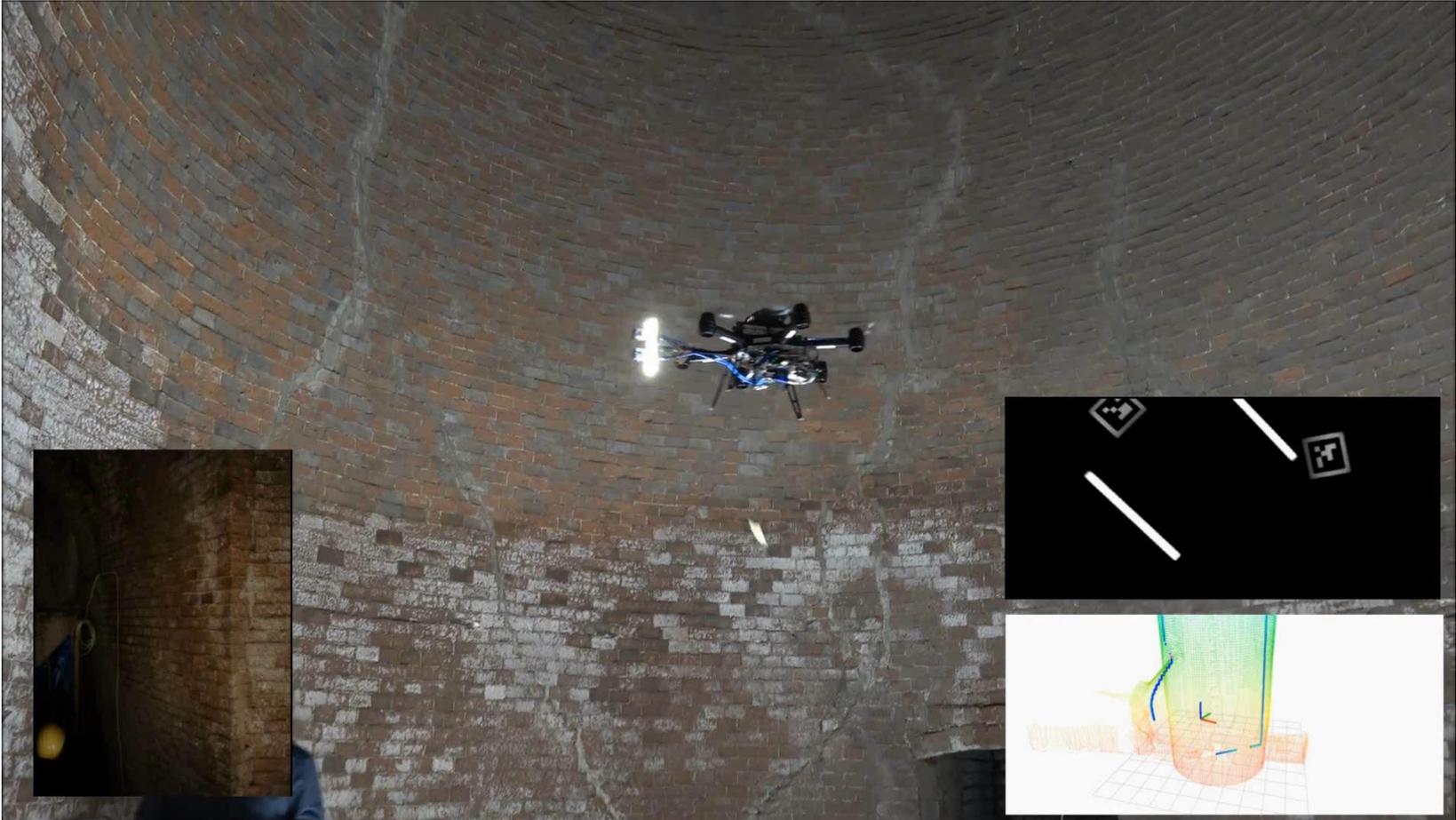


Hindernisvermeidung

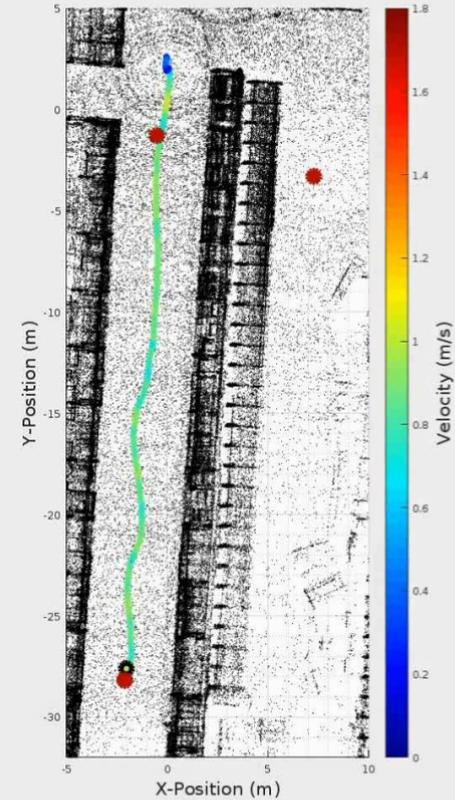
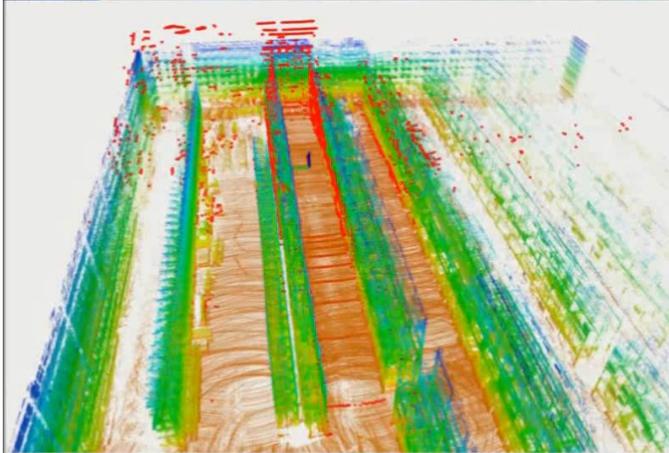
Mapping on Demand

Autonomous Flight to Planned View Poses

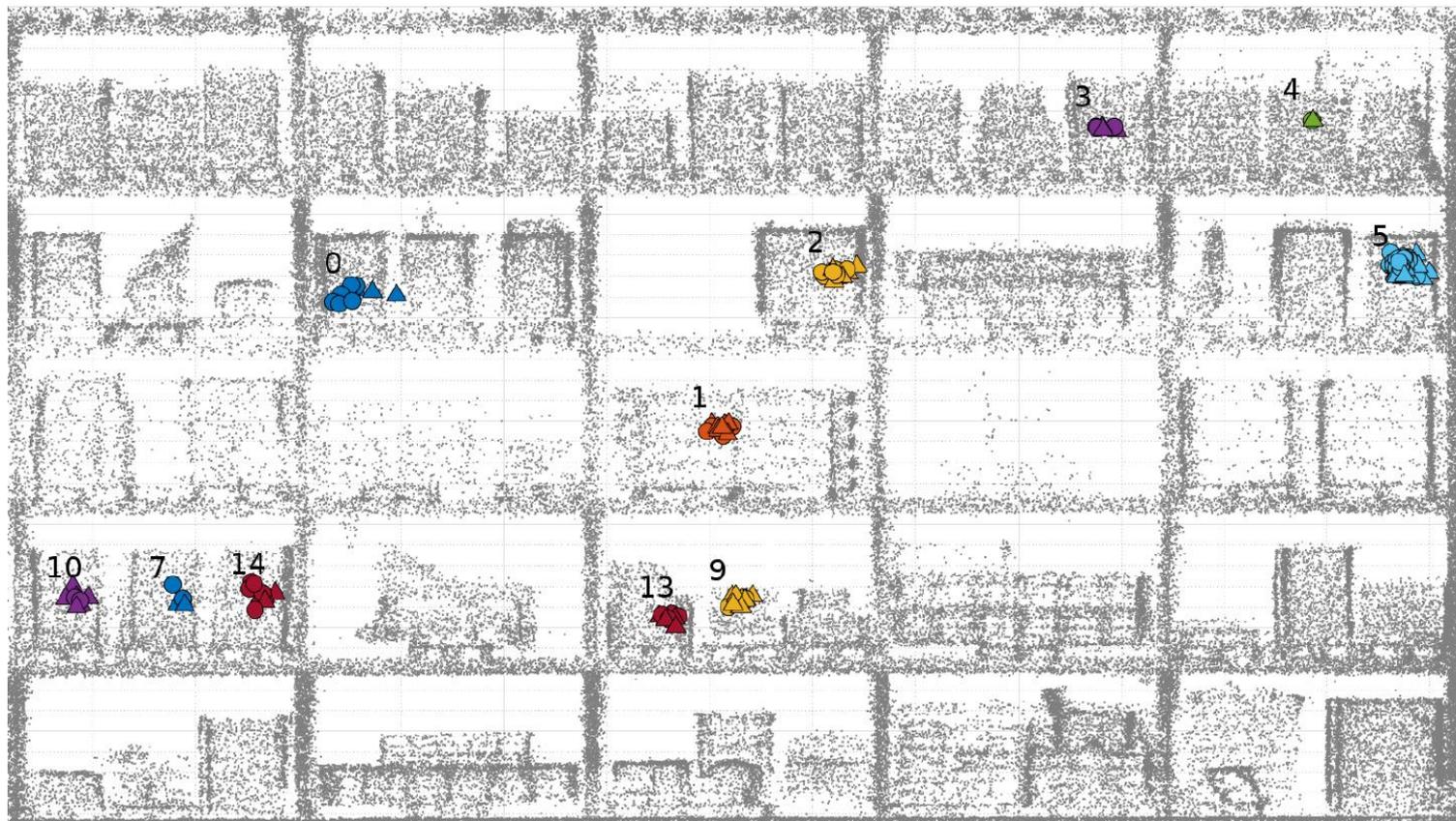
Schornsteininspektion



InventAIRy: Autonome Navigation im Warenlager

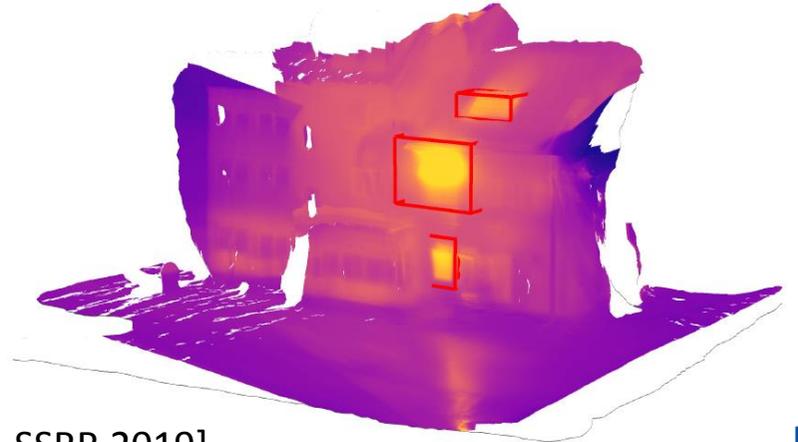
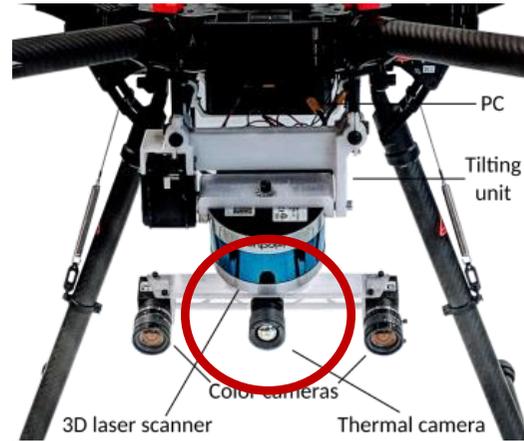


InventAIRy: Detektierte Etiketten im Regal



Unterstützung von Einsatzkräften (A-DRZ)

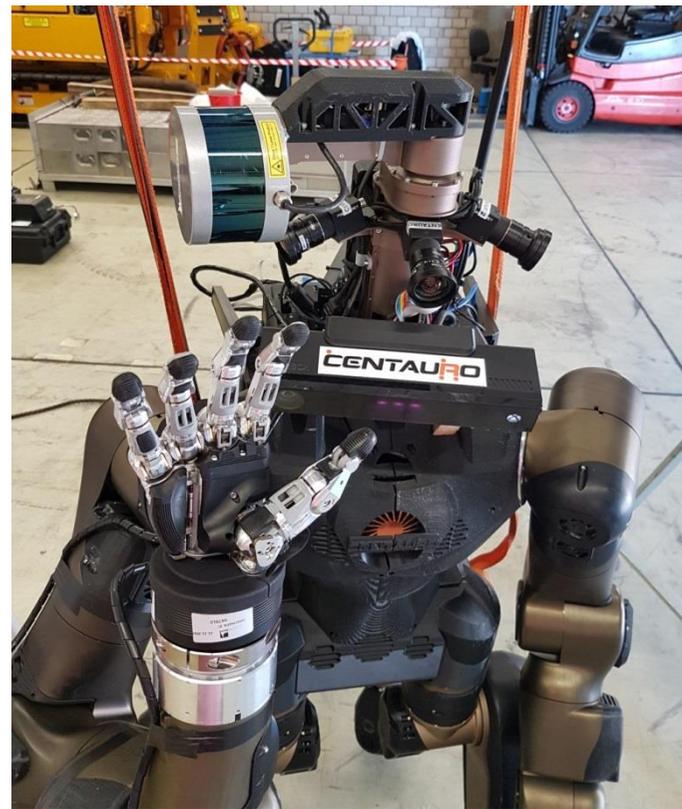
- Thermalkamera zugefügt
- Flug am Brandhaus in Dortmund
- Detektion von Brandherden und Glutnestern



[Rosu et al, SSRR 2019]

Zusammenfassung

- Beispiele für kognitive Roboter in komplexen Szenarien
 - Humanoide Fußballroboter
 - Serviceaufgaben im Haushalt
 - Griff in die Kiste
 - Menschenfeindliche Umgebungen
 - Flugroboter
- Herausforderungen beinhalten
 - Semantische 4D-Kartierung, Vorhersagen
 - Robuste hochdimensionale Bewegungsplanung
- Mögliche Lösungsansätze
 - Zusammenführen von Erfahrungen vieler Roboter
 - Kombination von menschlicher Intelligenz und Autonomie
 - Instrumentierte Umgebungen

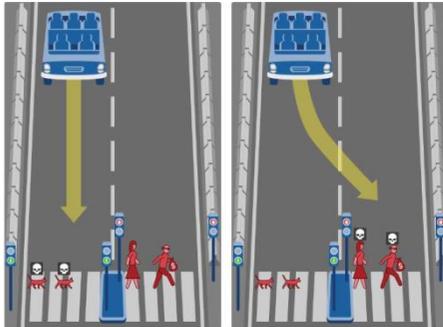


Ausblick

- Kognitive Roboter haben hohes Anwendungspotential
- Werden Auswirkungen auf alle Lebensbereiche haben
- Gesellschaftliche Herausforderungen z.B.
 - 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
- Entscheidungsdilemmata



[NTSB]

Haftungsfragen

- Wer haftet?
 - Hersteller des selbst fahrenden Autos?
 - Anbieter der Steuersoftware?
 - Fahrzeughalter?
 - 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.
 - Ist der Autopilot der Fahrer?

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

- Automatisierbare Tätigkeiten werden verdrängt



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

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

Neue Anwendungsgebiete für Roboter

- Autonomes Fahren
- Logistik
- Landwirtschaft
- Kollaborative Produktion
- Alltagsassistentz
- Weltraum, Suche&Rettung
- Medizin, Pflege
- Unterhaltung, Spielzeuge

