Umgebungswahrnehmung und Verhaltensplanung für Kognitive Roboter

Sven Behnke

Universität Bonn

Institut für Informatik VI

Autonome Intelligente Systeme

UNIVERSITÄT BONN

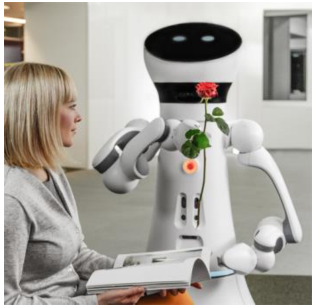
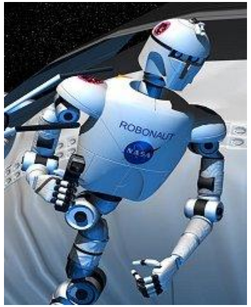
AIS

Neue Anwendungsgebiete für Roboter

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

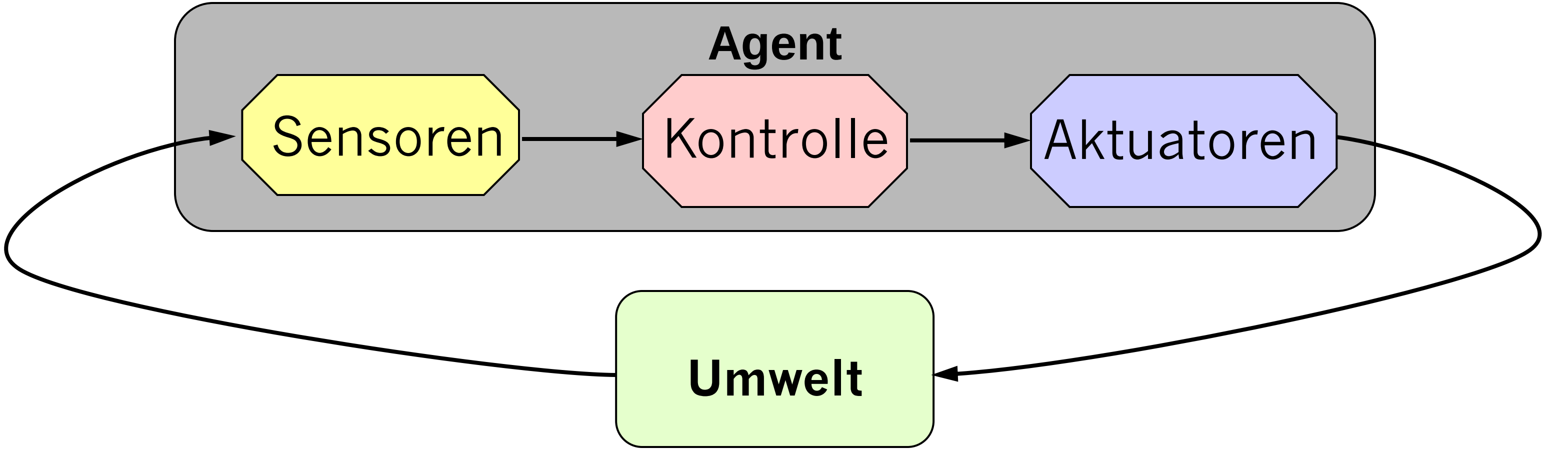




Teilprobleme

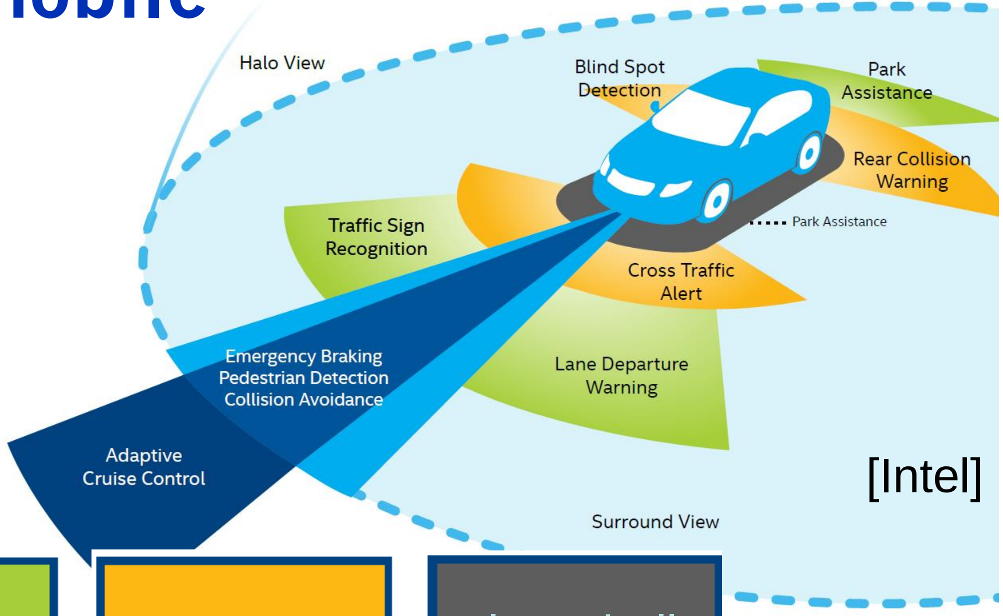
- Wahrnehmung der Umwelt
- Verhaltensplanung
- Beeinflussung der Umwelt



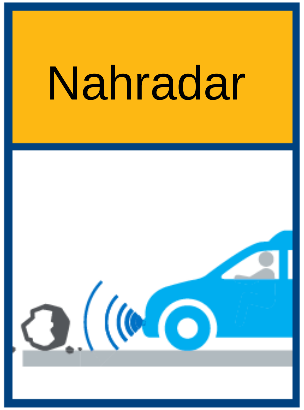
Selbstfahrende Automobile

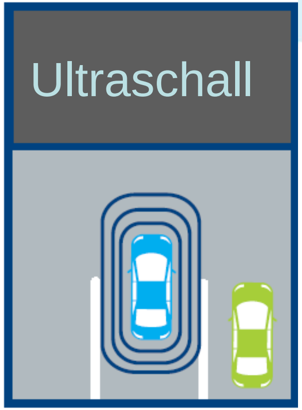
[Waymo]

Sensoren für Automobile

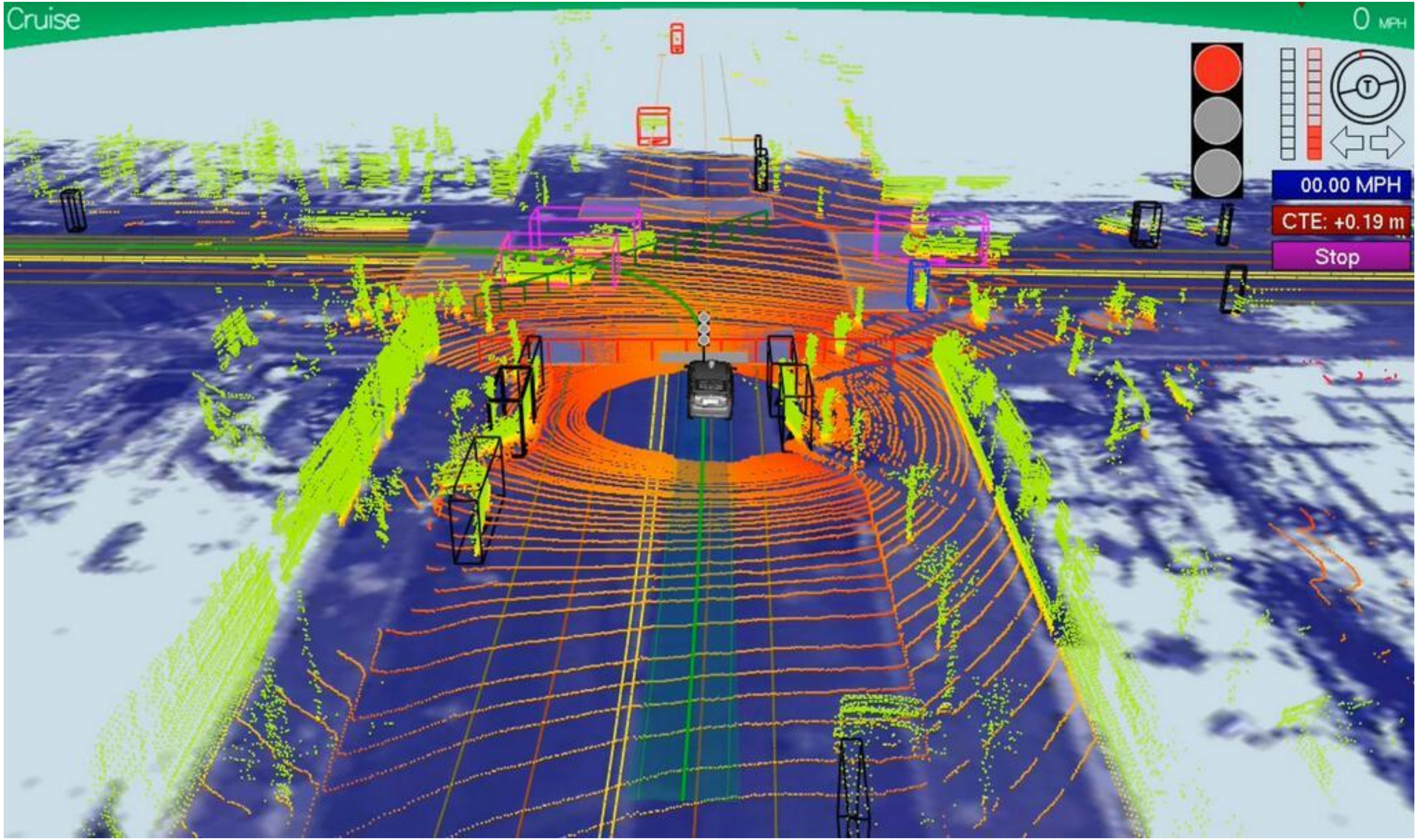


[Intel]





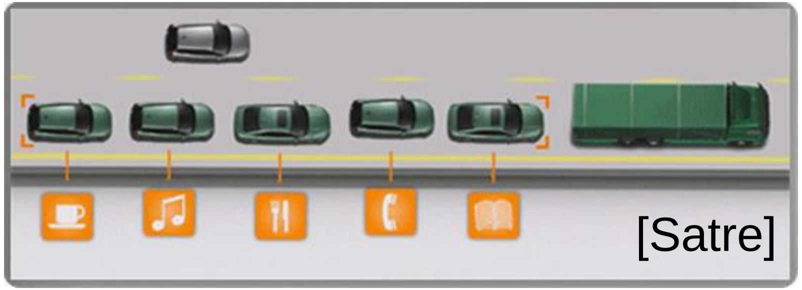
Umgebungssicht des Google-Autos



UNIVERSITÄT BONN AIS

Möglicher Nutzen Selbstfahrender Automobile

- Höher Sicherheit
- Weniger Energieverbrauch
- Bessere Ausnutzung der 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 Manipu-lation

Inventur

RoboCup 2016 TeenSize-Finale

UNIVERSITÄT BONN AIS

Visuelle Wahrnehmung der Spielsituation

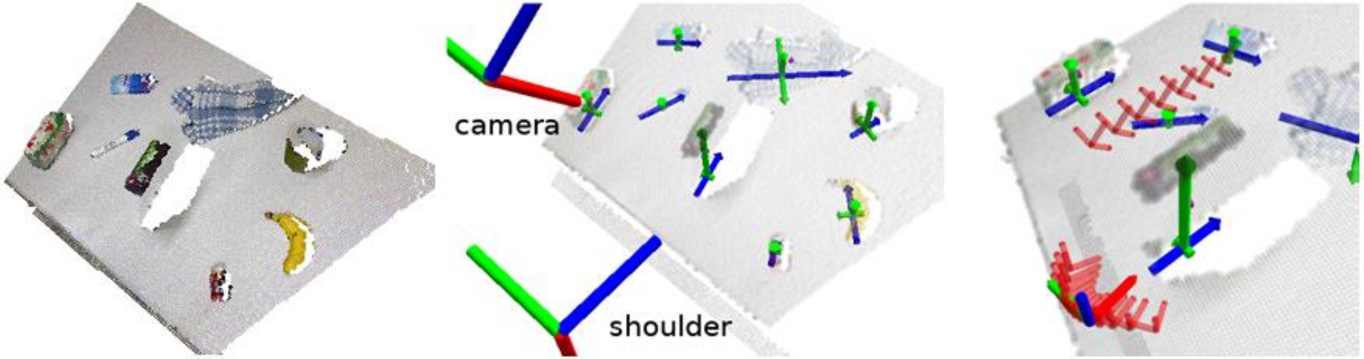
[Farazi & Behnke, RoboCup 2016]

RoboCup 2017 AdultSize-Finale

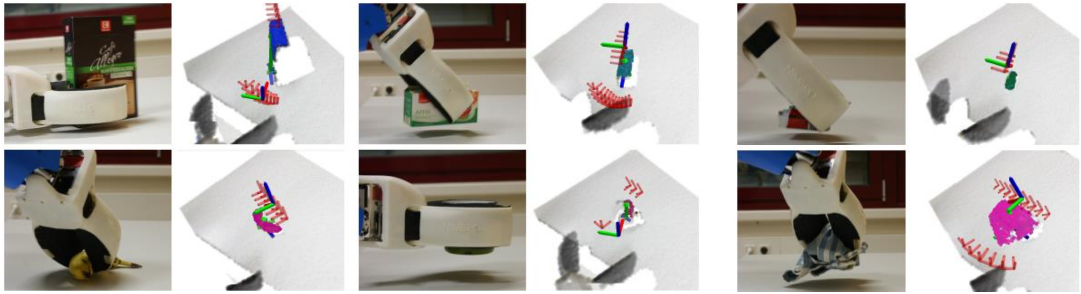
Kognitiver Serviceroboter Cosero

Szenenanalyse und Greifplanung

- Detektion von Clustern oberhalb horizontaler Ebenene
- Zwei Griff-arten (von oben, seitlich)



- Flexibles Greifen zahlreicher unbe-kannter Objekte



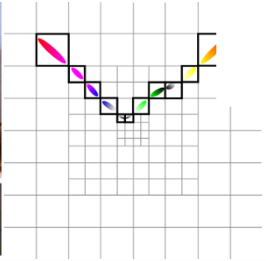
[Stückler et al, Robotics and Autonomous Systems, 2013]

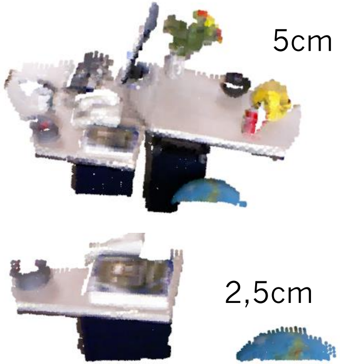
UNIVERSITÄT BONN AIS

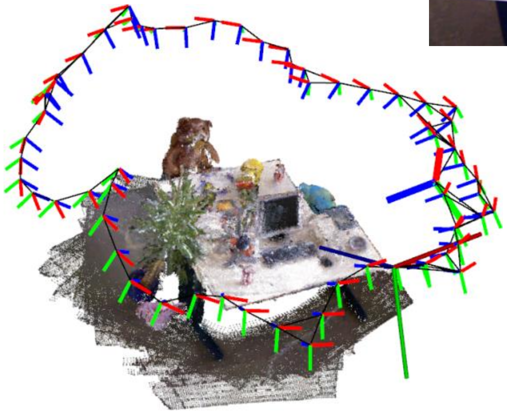
3D-Kartierung durch RGB-D SLAM

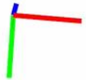
[Stückler, Behnke:
Journal of Visual Communication
and Image Representation 2013]

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

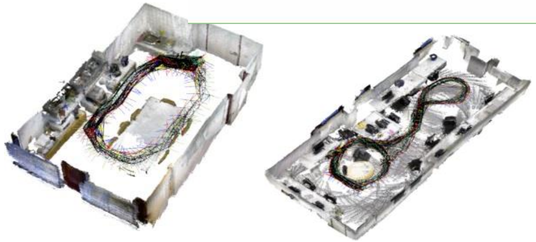








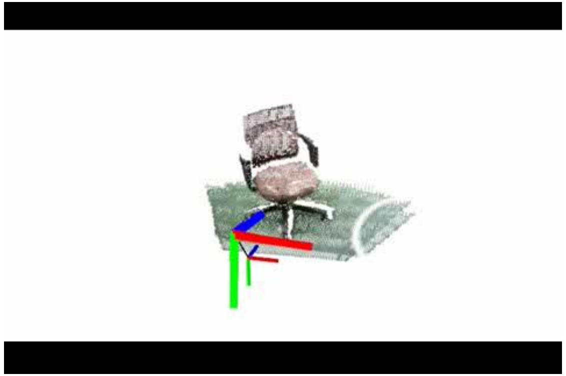
- Multikamera-SLAM



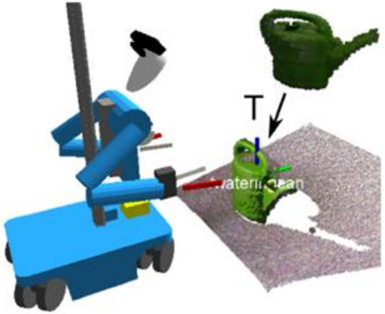
[Stoucken]

Lernen und Verfolgen von Objektmodellen

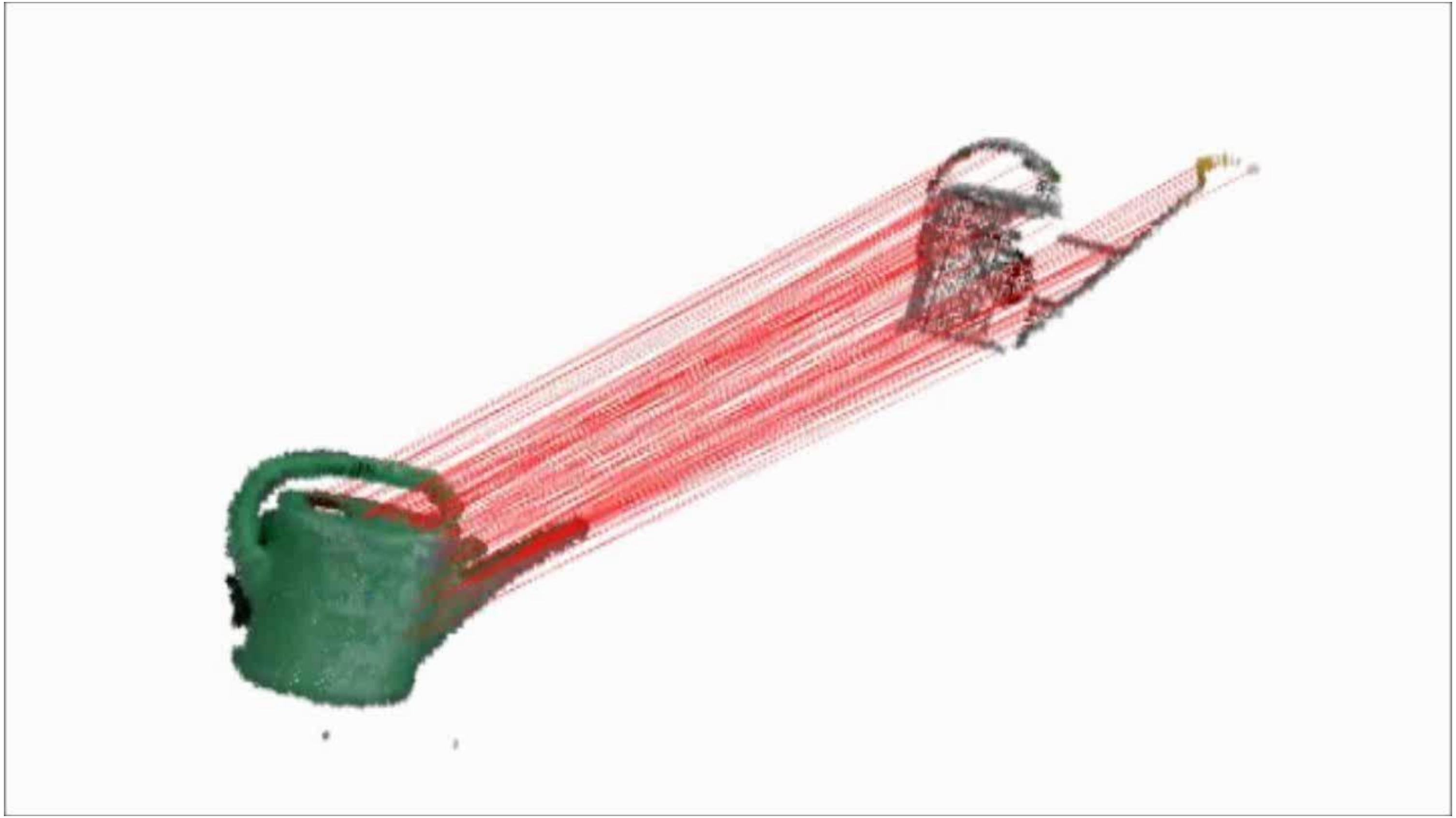
- Modellierung von Objekten durch RGB-D-SLAM




- Echtzeit-Registrierung mit aktuellem RGB-D-Frame

Transfer von Handhabungswissen

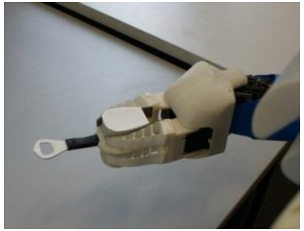
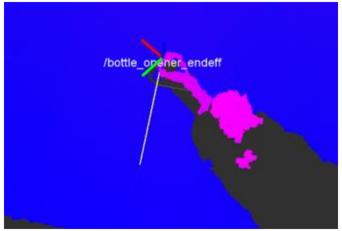


[Stückler, Behnke, ICRA2014]

UNIVERSITÄT BONN AIS

Werkzeuggebrauch: Flaschenöffner

- Wahrnehmung der Werkzeugspitze

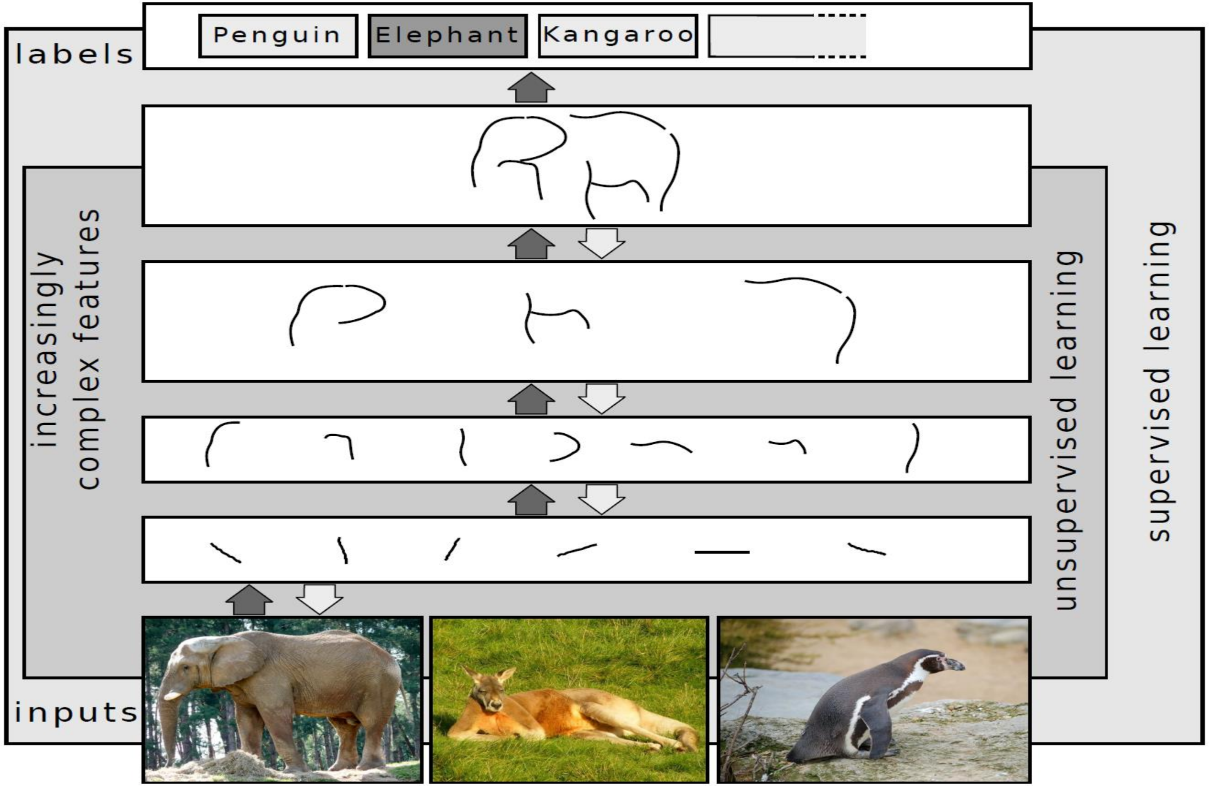
- Erweiterung der Armkinematik
- Wahrnehmung des Kronkorkens
- Anpassung der Bewegungsprimitive

[Stückler, Behnke, Humanoids 2014]

UNIVERSITÄT BONN AIS

Deep Learning

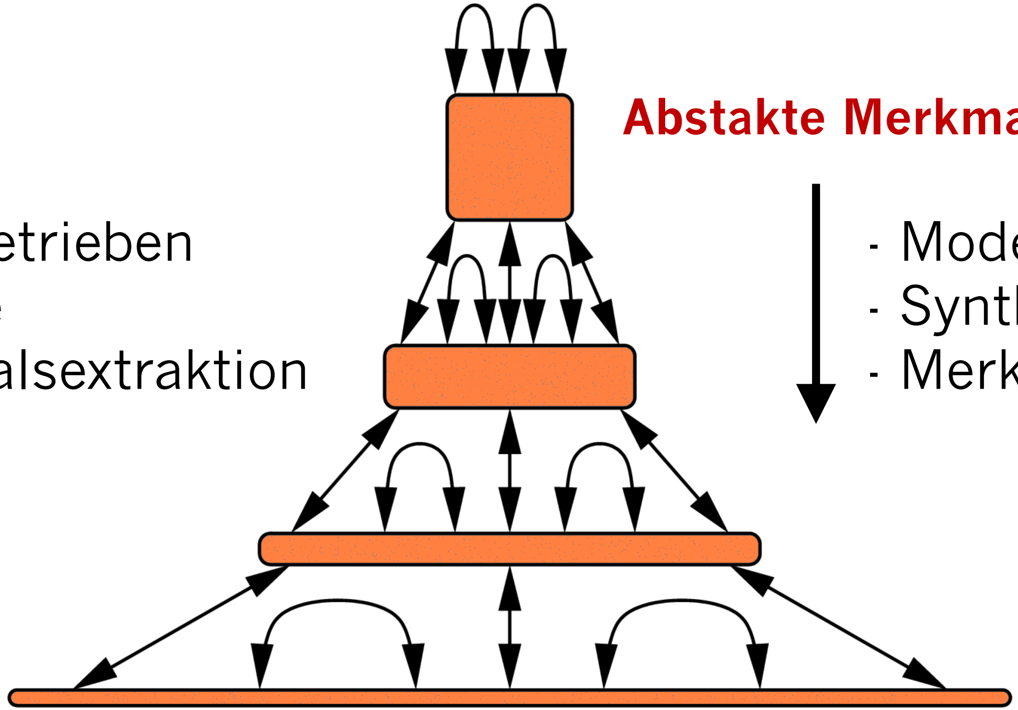
- Lernen immer abstrakterer Repräsentationen



[Schulz; Behnke, KI 2012]

Neuronale Abstraktionspyramide

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



Abstakte Merkmale

- Datengetrieben
- Analyse
- Merkmalsextraktion

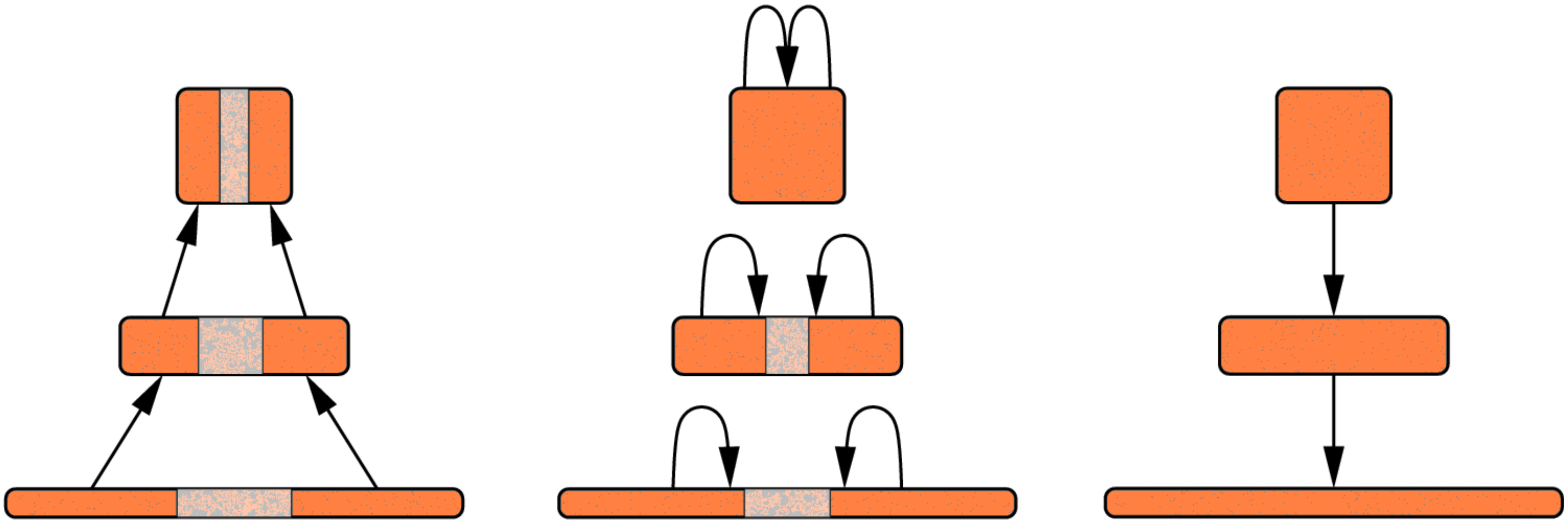
- Modellgetrieben
- Synthese
- Merkmalsexpansion

Signale

↔ - Gruppierung - Wettbewerb - Vervollständigung

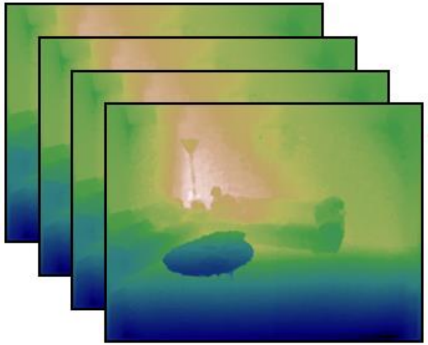
Iterative Interpretation

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

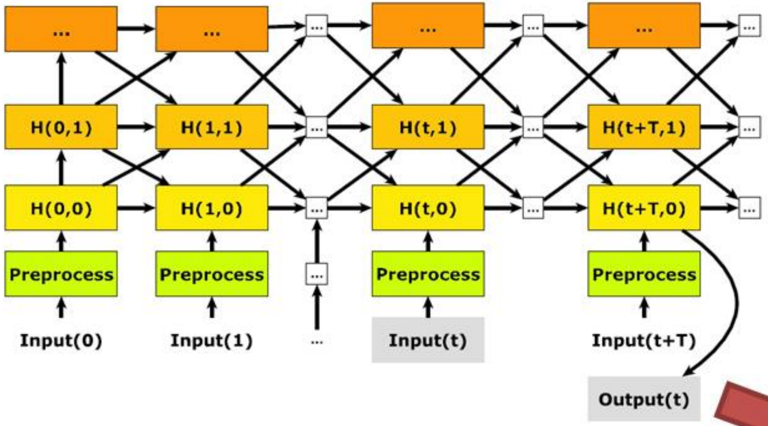


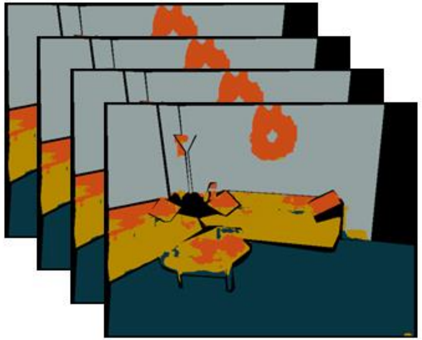
Neuronale Abstraktionspyramide zur Semantischen Segmentierung von RGB-D-Video

- Rekursive Berechnung effizient für zeitliche Integration



Neuronale Abstraktionspyramide

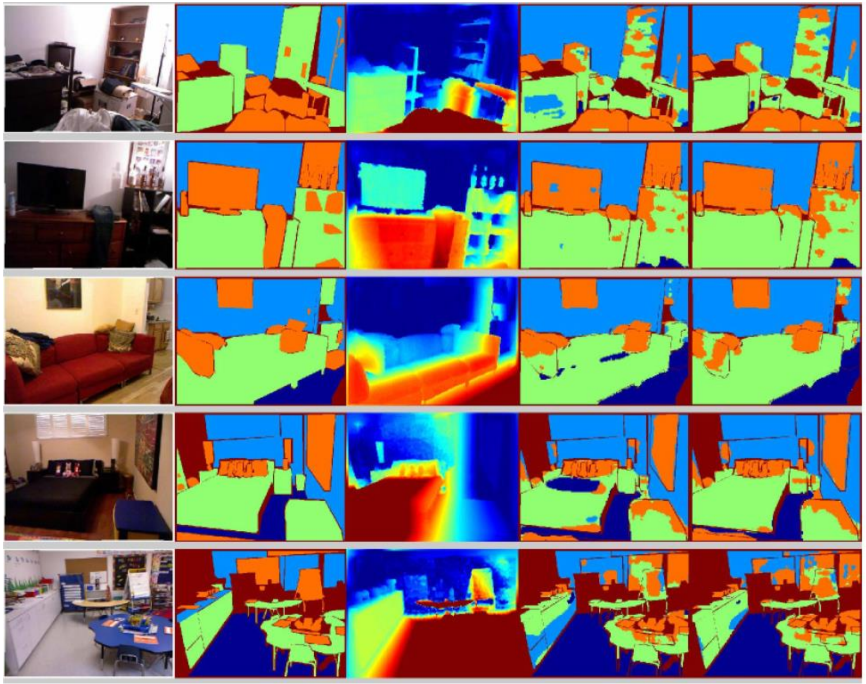




[Pavel, Schulz, Behnke, Neural Networks 2017]

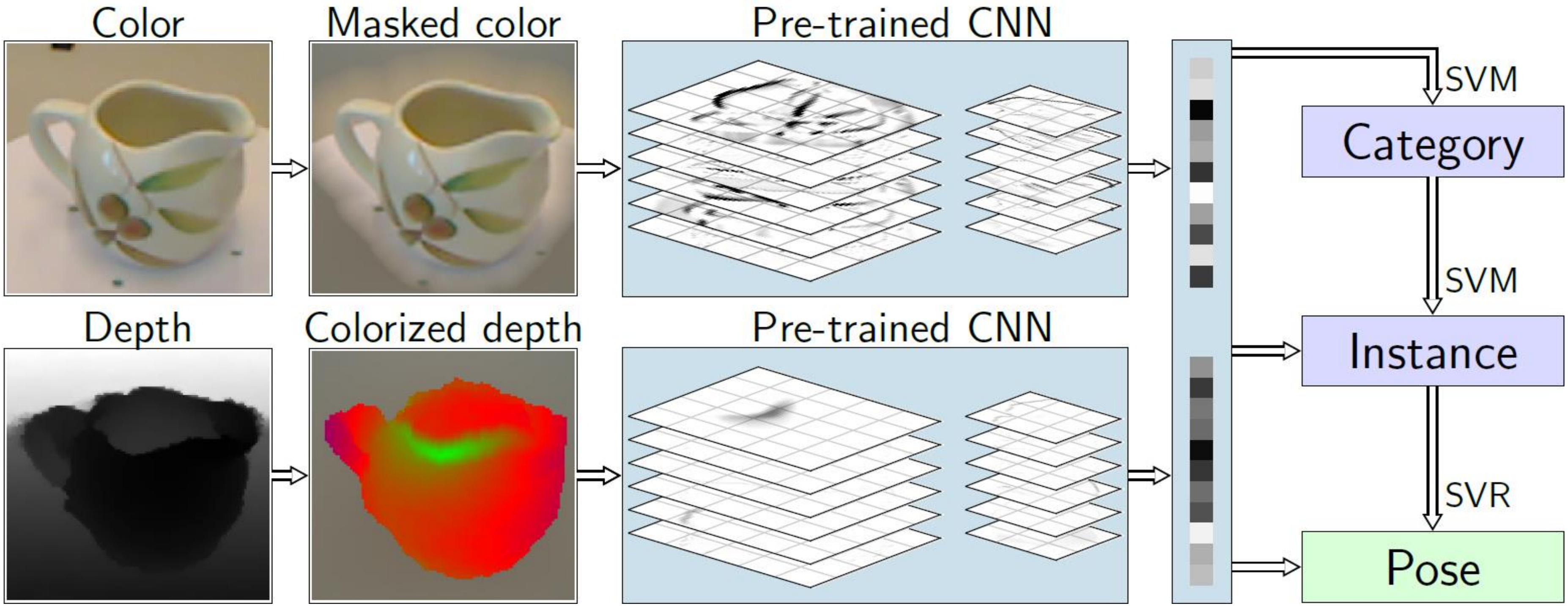
Kombination Geometrischer und Semantischer Merkmale für Semantische RGB-D-Segmentierung

- Neues **geometrisches Merkmal**: Wandabstand
- **Semantische** Merkmale vortrainiert aus ImageNet-Datenmenge
- Beide helfen signifikant



[Husain et al. RA-L 2017]

RGB-D-Objekterkennung und Posenschätzung

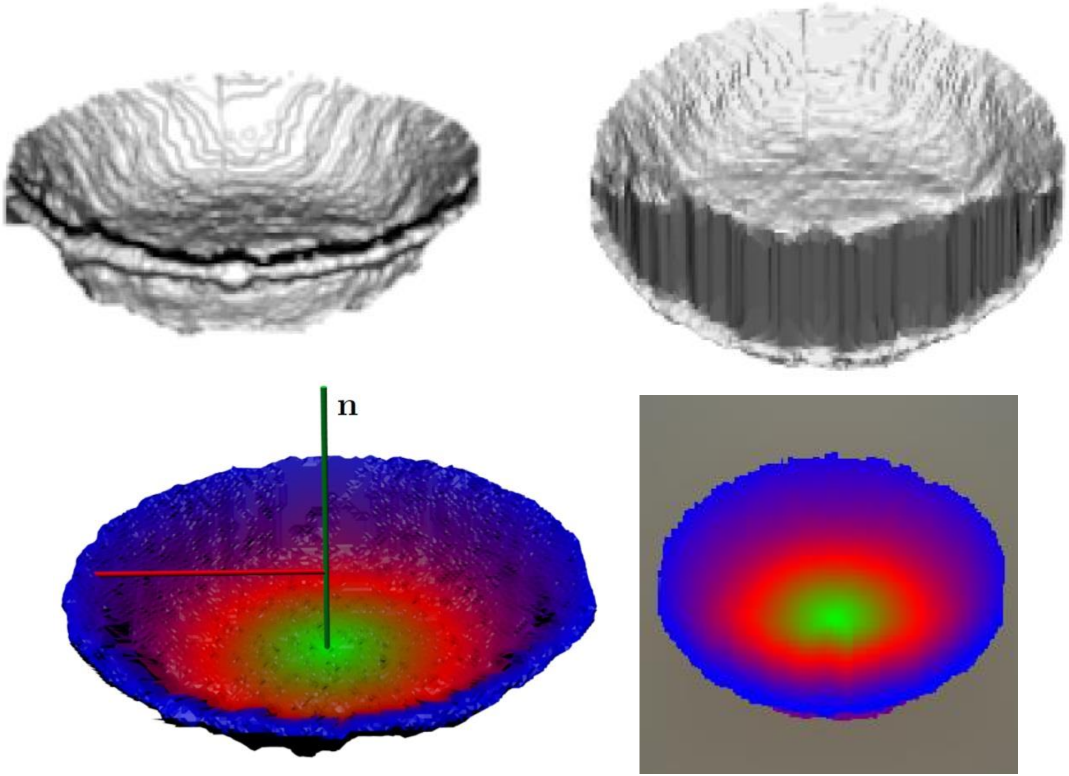


[Schwarz, Schulz, Behnke, ICRA2015]

Kanonische Ansicht, Einfärbung

- Objekte aus verschieden vertikalen Blickwinkeln aufgenommen
- Erzeugung kanonischer Ansicht

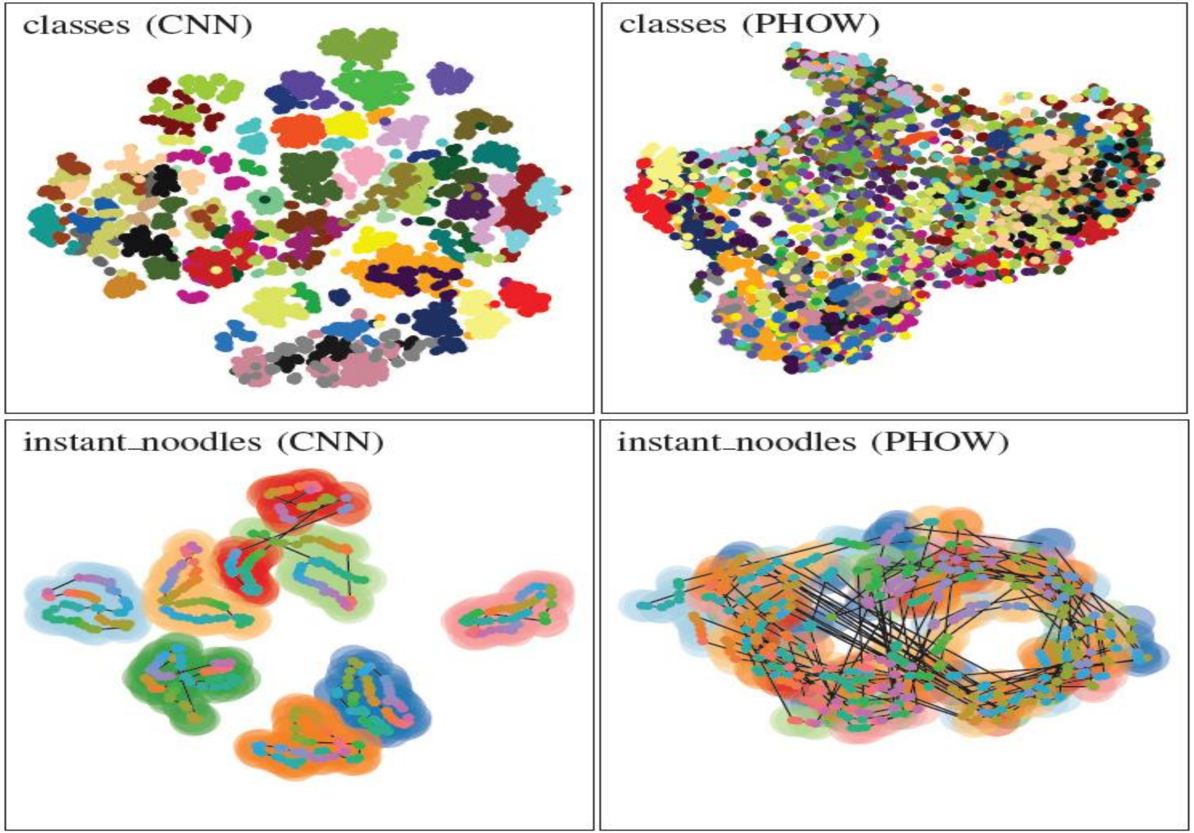
- Einfärbung entsprechend Abstand von zentraler Vertikalachse



[Schwarz, Schulz, Behnke, ICRA2015]

Vortrainierte Merkmale Entwirren Daten

- t-SNE Einbettung



[Schwarz, Schulz, Behnke ICRA2015]

Erkennungsleistung

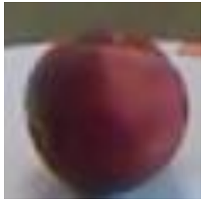
- Verbesserung von Kategorisierung und Instanzerkennung

Method	Category Accuracy (%)		Instance Accuracy (%)	
	RGB	RGB-D	RGB	RGB-D
Lai *et al.* [1]	74.3 ± 3.3	81.9 ± 2.8	59.3	73.9
Bo *et al.* [2]	82.4 ± 3.1	87.5 ± 2.9	**92.1**	92.8
PHOW[3]	80.2 ± 1.8	—	62.8	—
Ours	$\mathbf{83.1 \pm 2.0}$	88.3 ± 1.5	92.0	**94.1**
Ours	$\mathbf{83.1 \pm 2.0}$	$\mathbf{89.4 \pm 1.3}$	92.0	**94.1**

- Verwechslungen

pitcher / coffe mug

peach / sponge



[Schwarz, Schulz, Behnke ICRA2015]

Amazon Picking Challenge

- Große Objektvielfalt
- Ungeordnet in Regal oder Transportbox
- Aufgaben: Picken und Verstauen

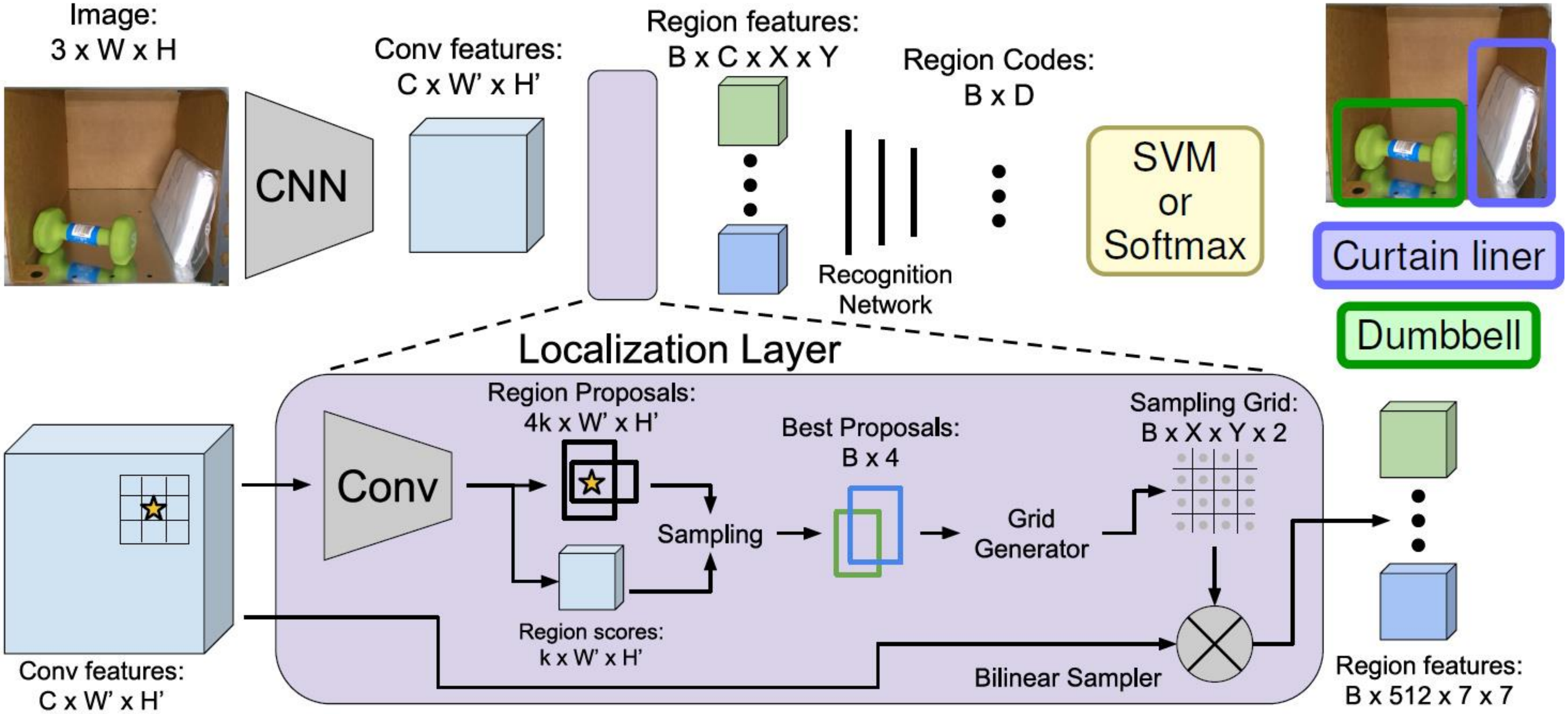
[Schwarz et al. ICRA 2017]

Semantische Segmentierung

- Adaptiert von Ansatz zur Segmentierung von Innenraumszenen
  [Husain et al. RA-L 2016]

[Schwarz et al. ICRA 2017]

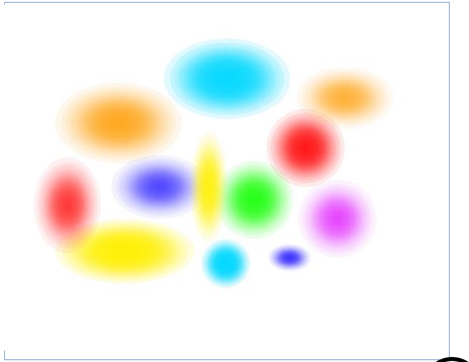
DenseCap-Objektdetektion

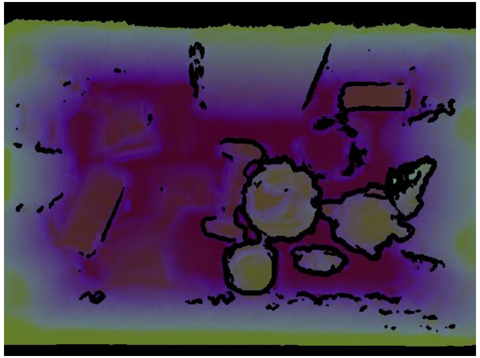


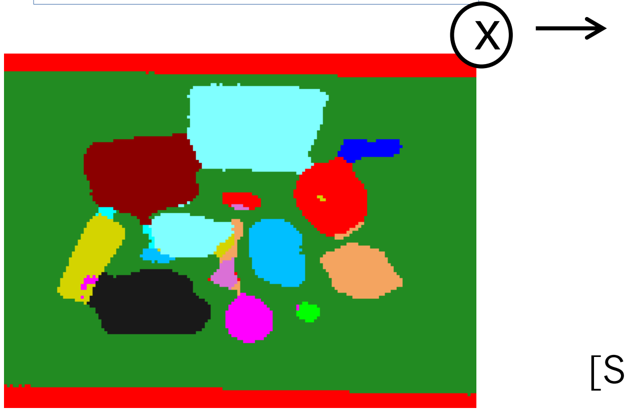
[Schwarz et al. ICRA 2017] [Johnson et a CVPR 2016]

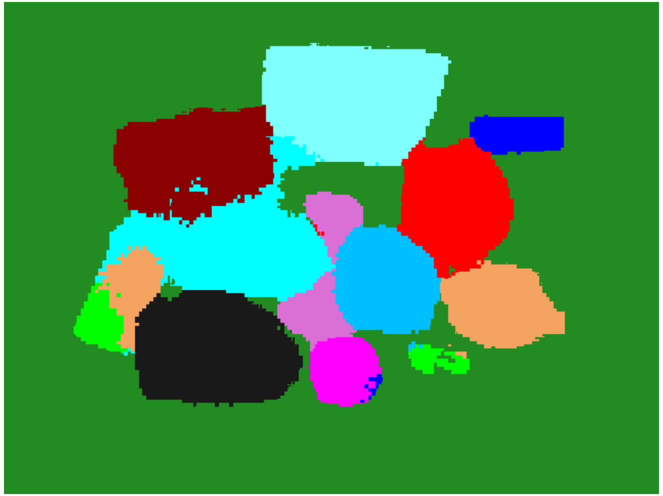
Kombination von Detektion und Segmentierung

Detektion





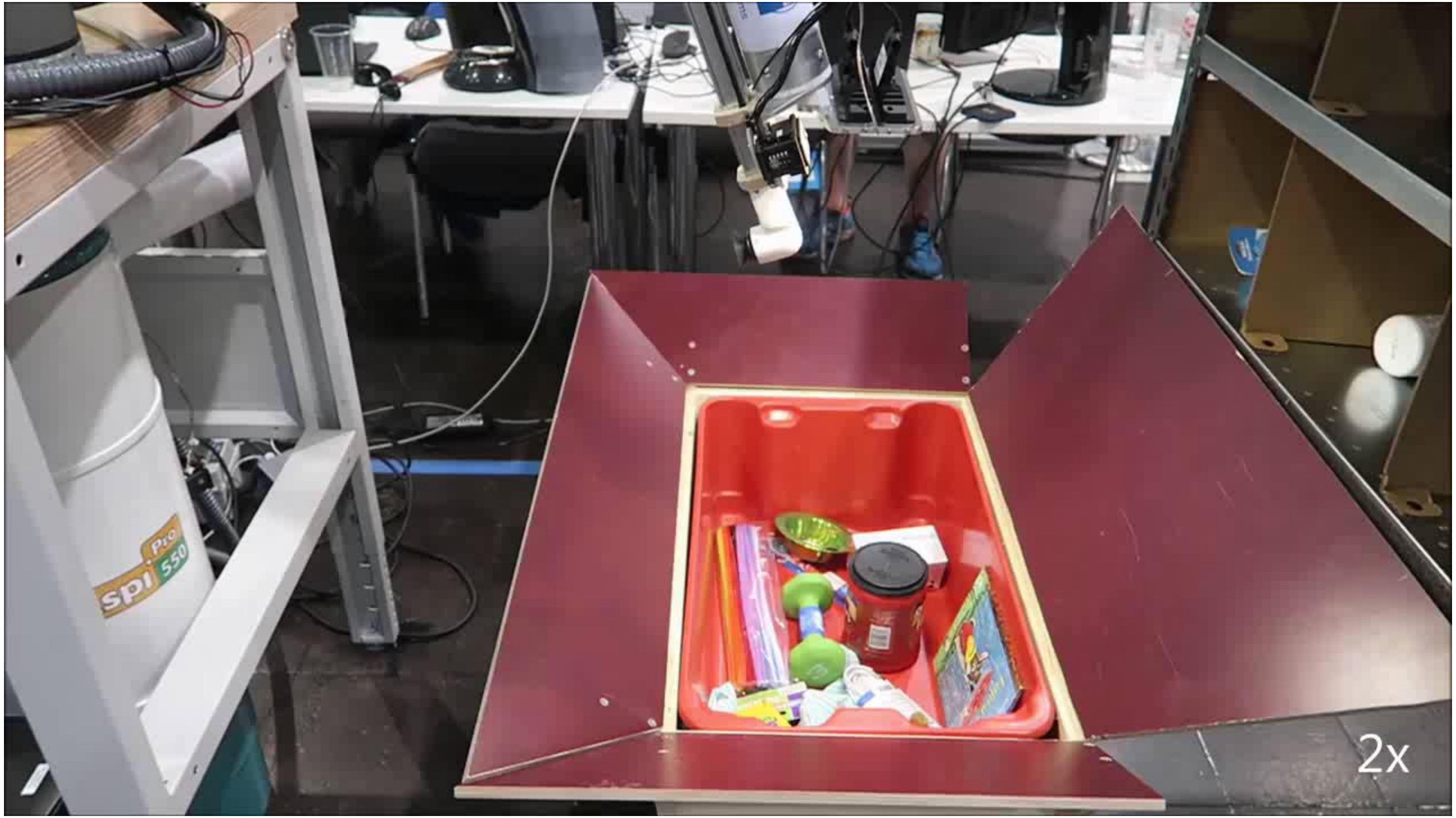




Segmentierung

[Schwarz et al. IJRR 2017]

Verstauen



UNIVERSITÄT BONN AIS

Picken

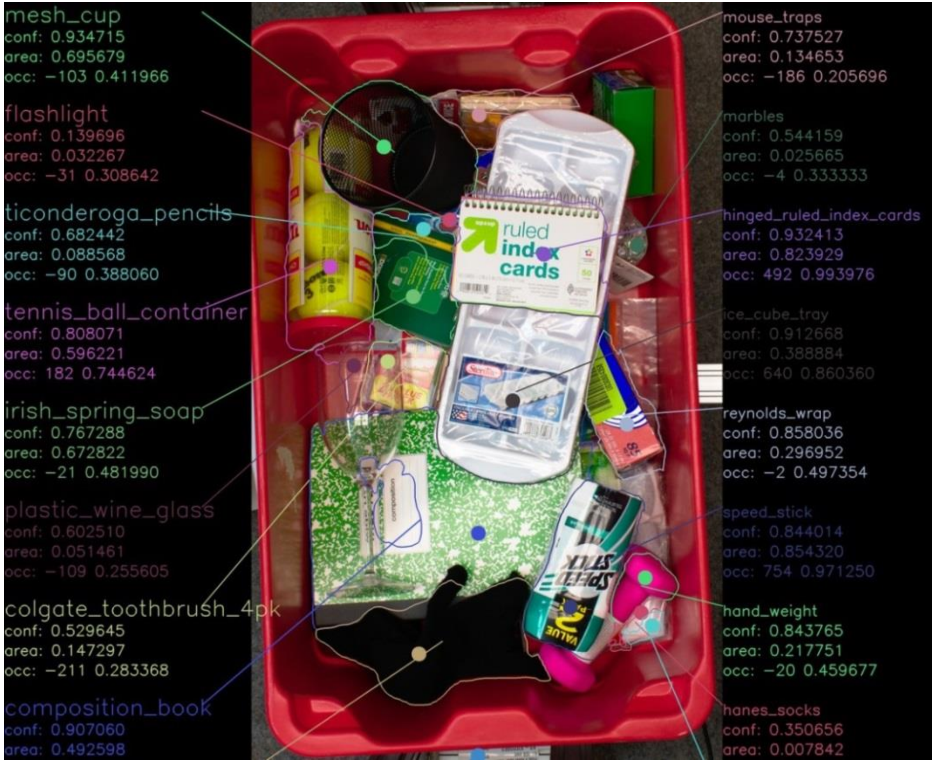
NimbRo Picking APC 2016 Resultate

- 2. Platz Stowing
- 3. Platz Picking

[Schwarz et al. IJRR 2017]

Amazon Robotics Challenge 2017

- Schnelles Lernen neuer Objekte
- Training mit künstlichen Szenen

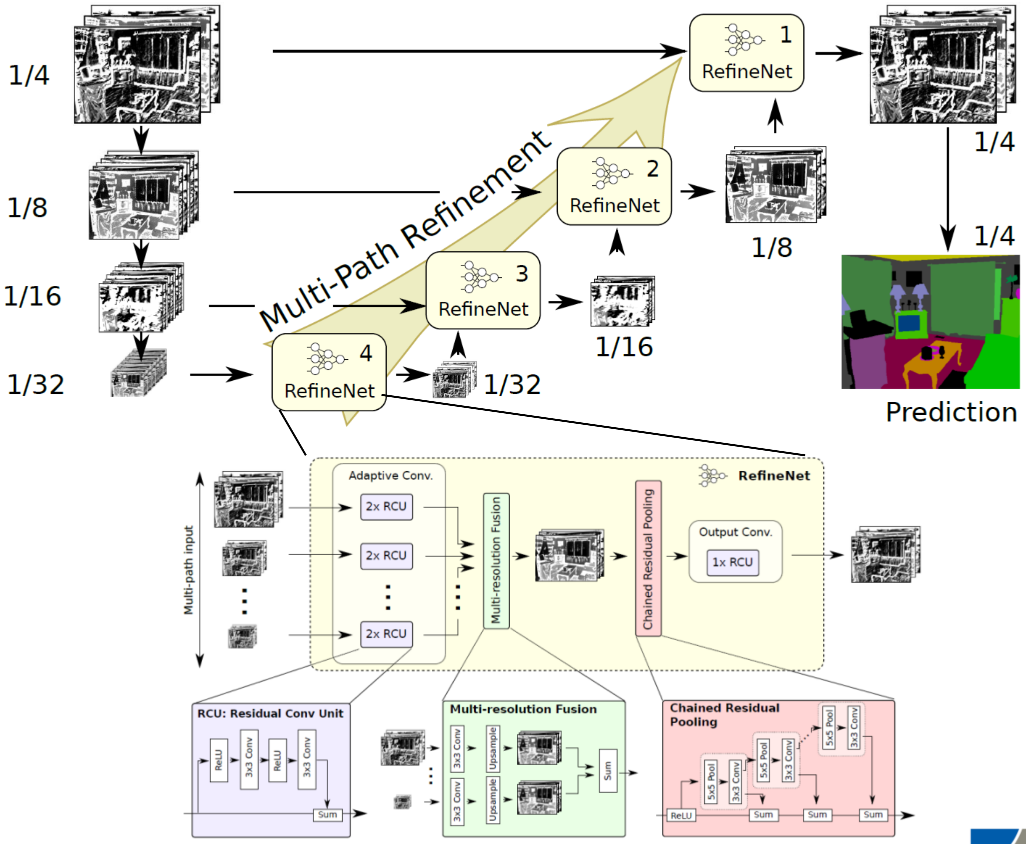


UNIVERSITÄT BONN AIS

RefineNet-Segmentierung

[Lin et al. CVPR 2017]

- Semantische Segmentierung
- Erhöhung der Auflösung durch Nutzung höheraufgelöster Merkmale
- Grob-zu-fein Strategie



UNIVERSITÄT BONN AIS

Objekterfassung und Szenengenerierung

- Drehteller + DLSR

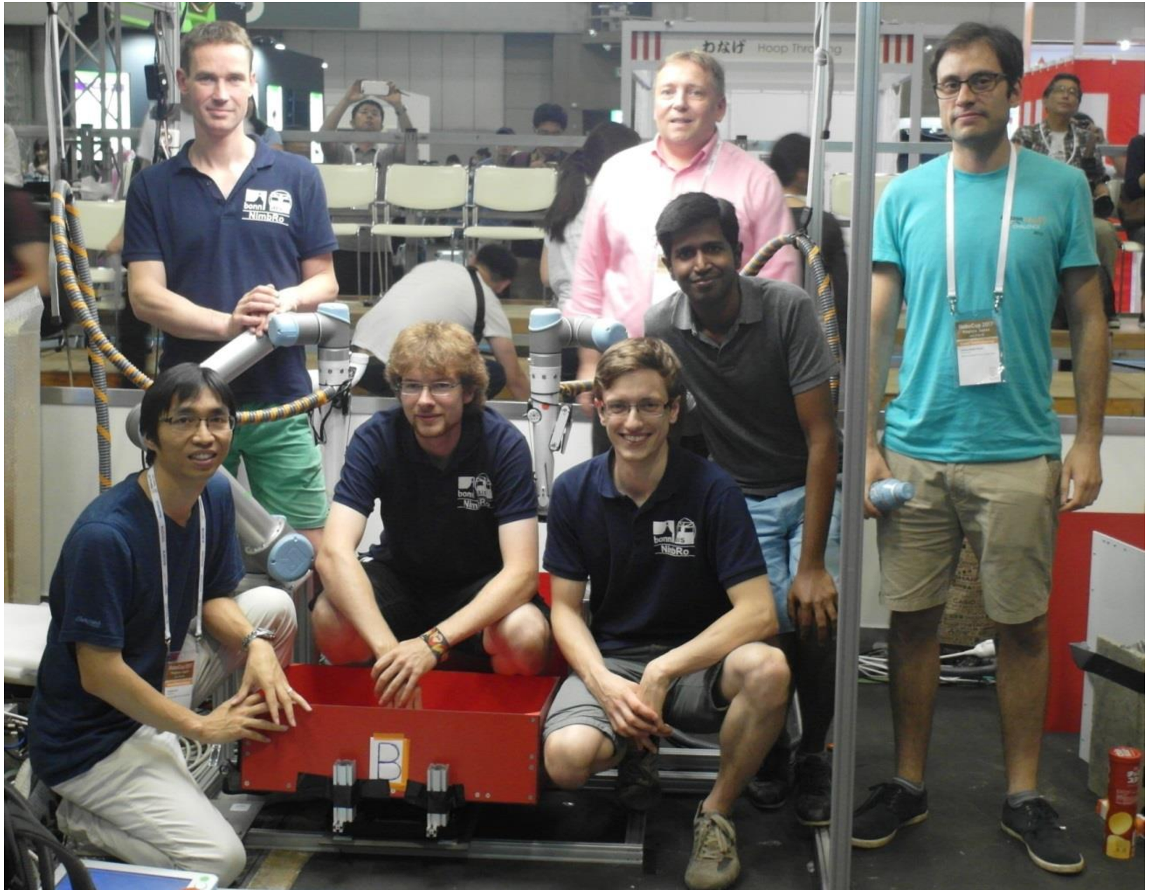
Rendered scenes

ARC 2017 Szeneninterpretation

Amazon Robotics Challenge 2017 Finale

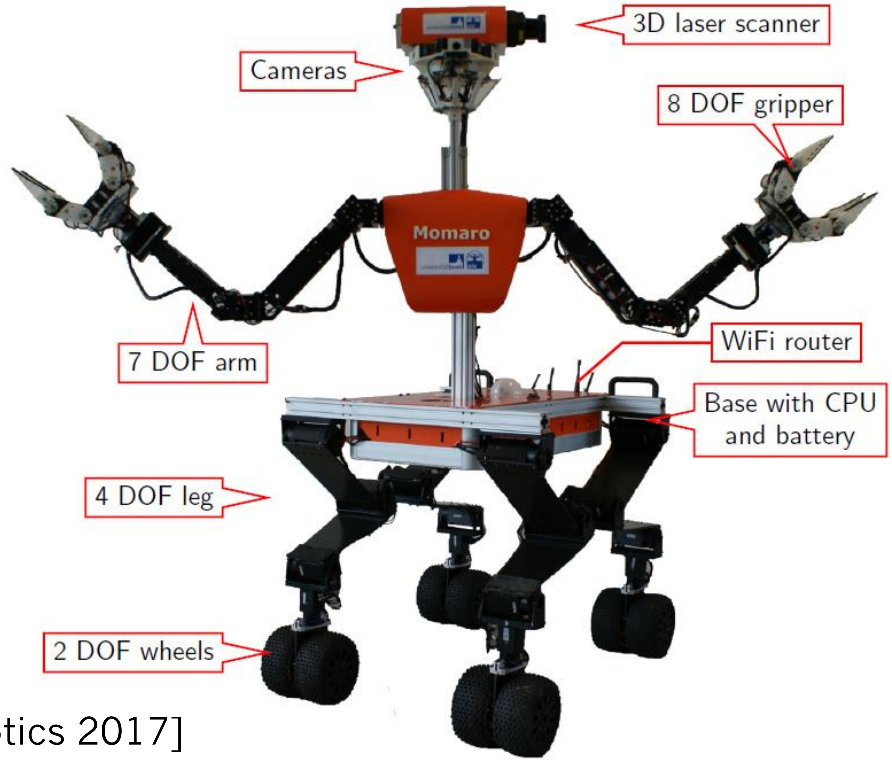
NimbRo Picking 2017 Team

- 2. Platz Pick
- 2. Platz Stow-and-Pick Finale



Mobiler Manipulations-Roboter Momaro

- Vier nachgiebige Beine mit lenkbaren Radpaaren
- Menschenähnlicher Oberkörper
- Sensorkopf
  - 3D-Laserscanner
  - IMU, Kameras



[Schwarz et al. Journal of Field Robotics 2017]

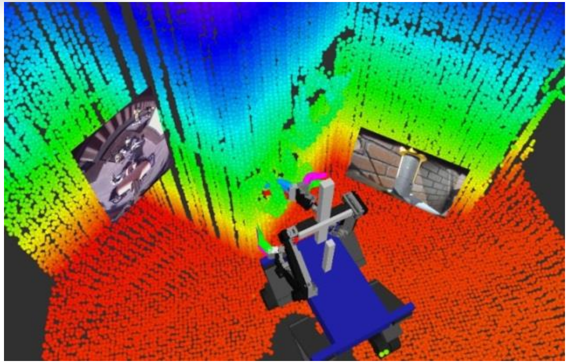
Führen eines Fahrzeugs

Ausstieg

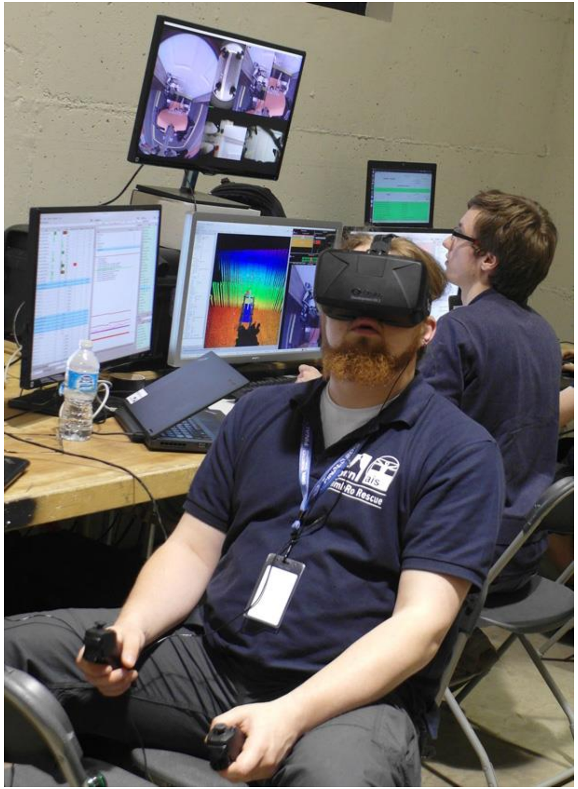
Operator-Interface für die Manipulation

- 3D-Head-mounted Display

- 3D-Umgebungs-modell + Bilder

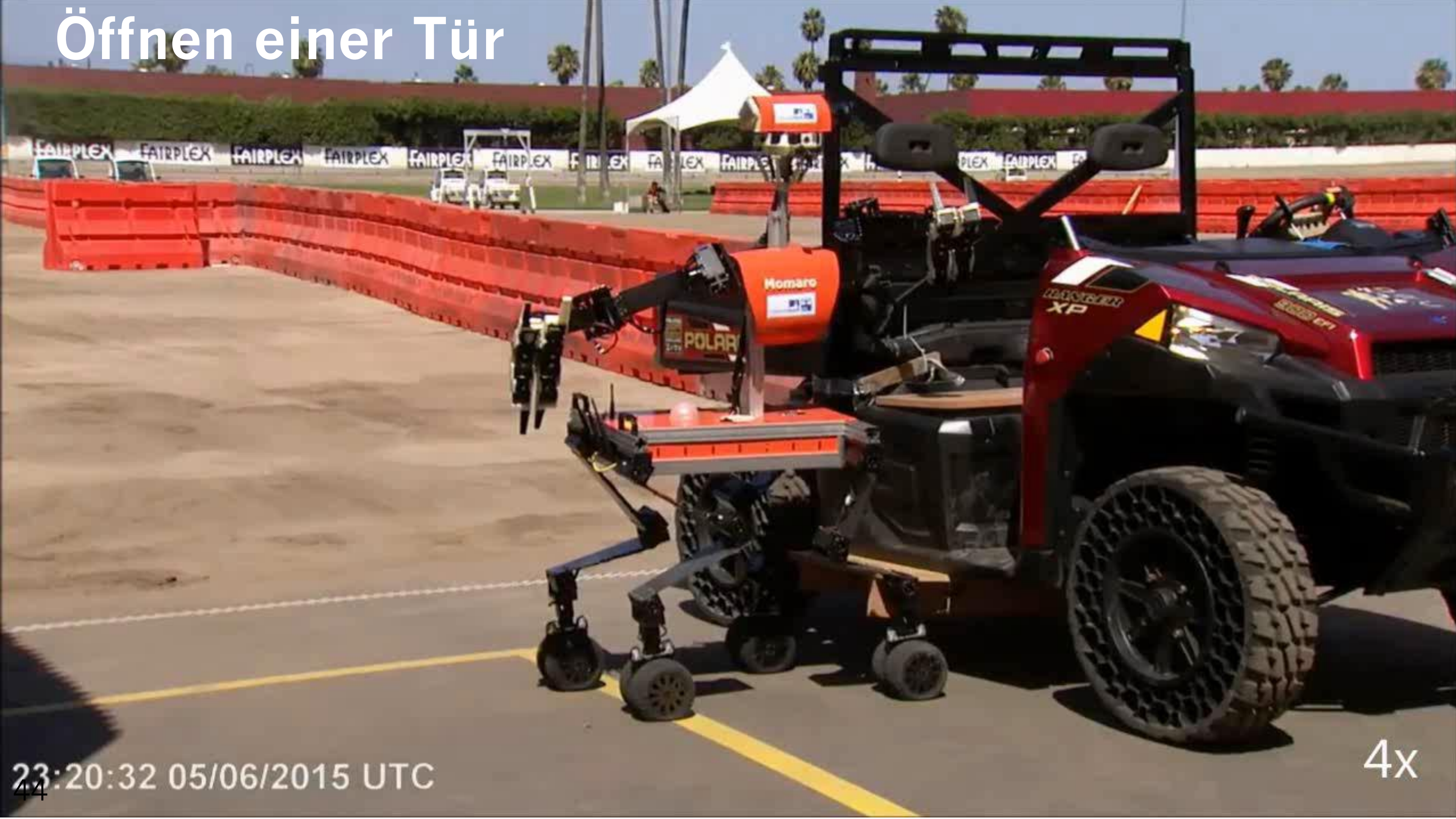


- 6D-Magnet-Tracker



[Rodehutskors et al., Humanoids 2015]

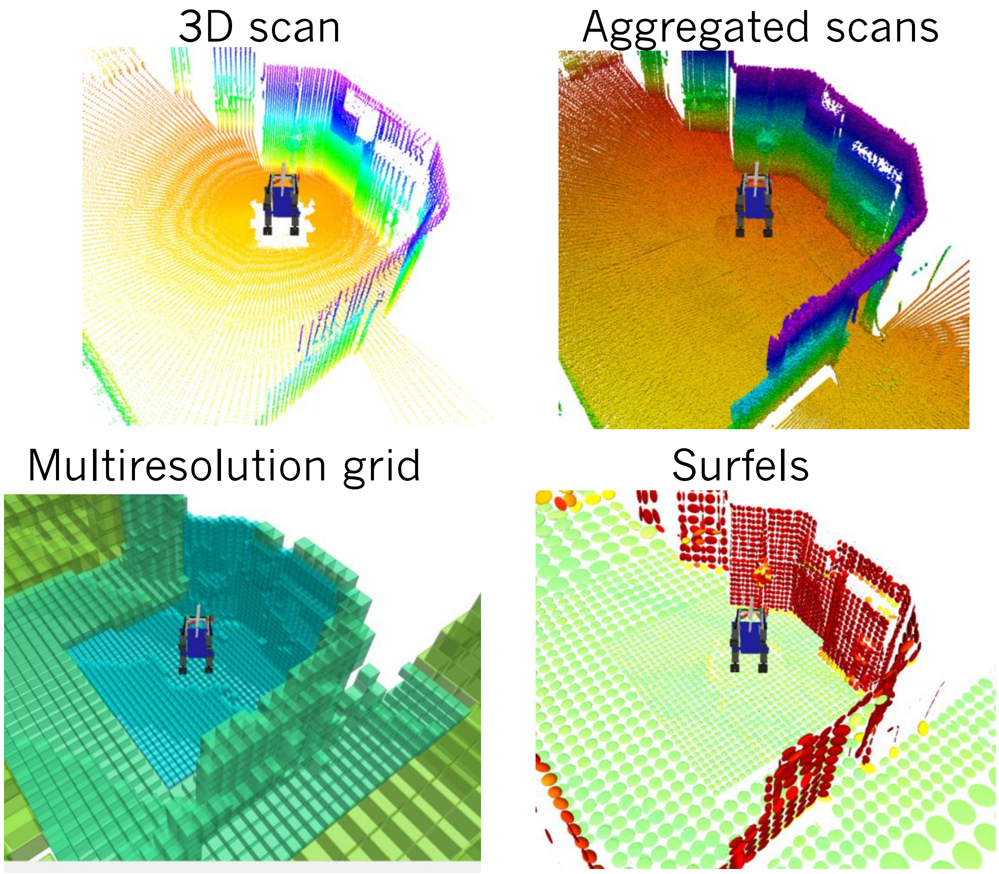
Öffnen einer Tür



Lokale Multiresolutions-Surfel-Karten

- Registrierung und Aggregation von 3D-Laserscans
- Lokales Multiresolutionsgrid
- Surfel in den Zellen

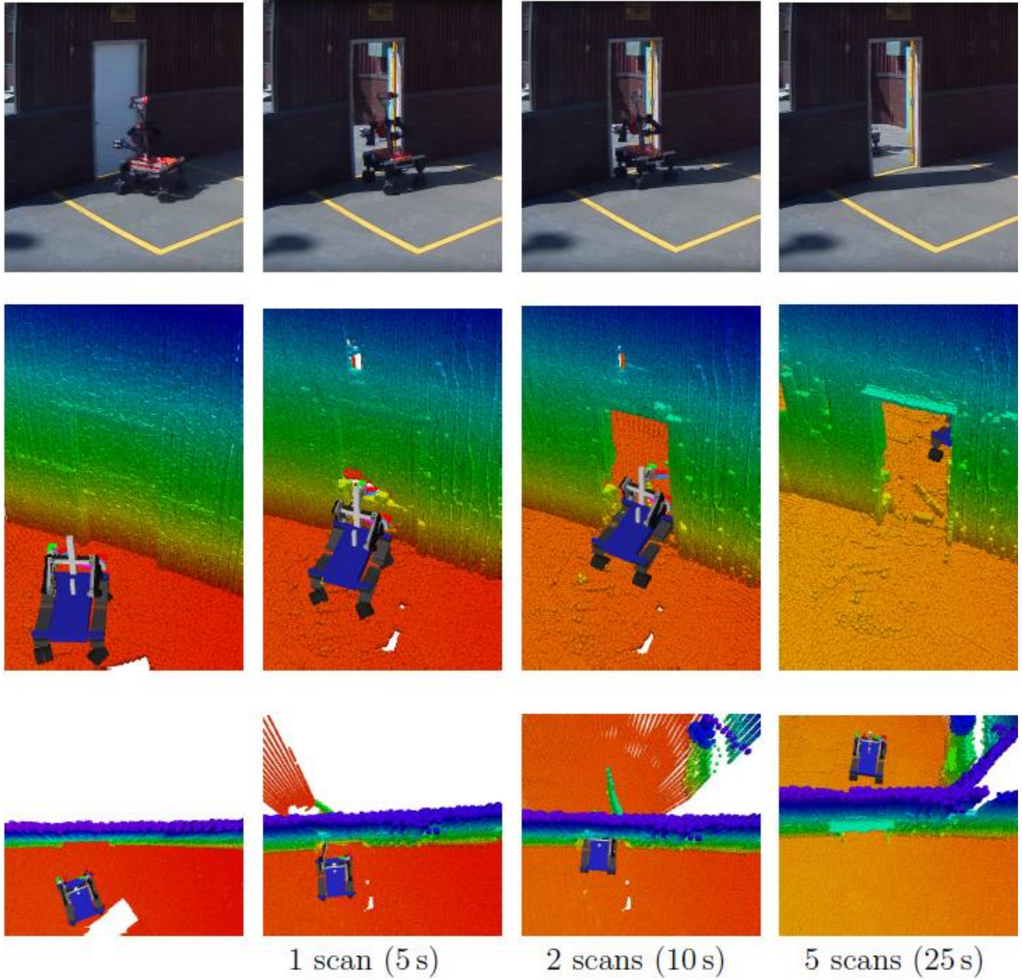
[Droeschel et al., Robotics and Autonomous Systems 2017]



UNIVERSITÄT BONN AIS

Filterung beweglicher Objekte

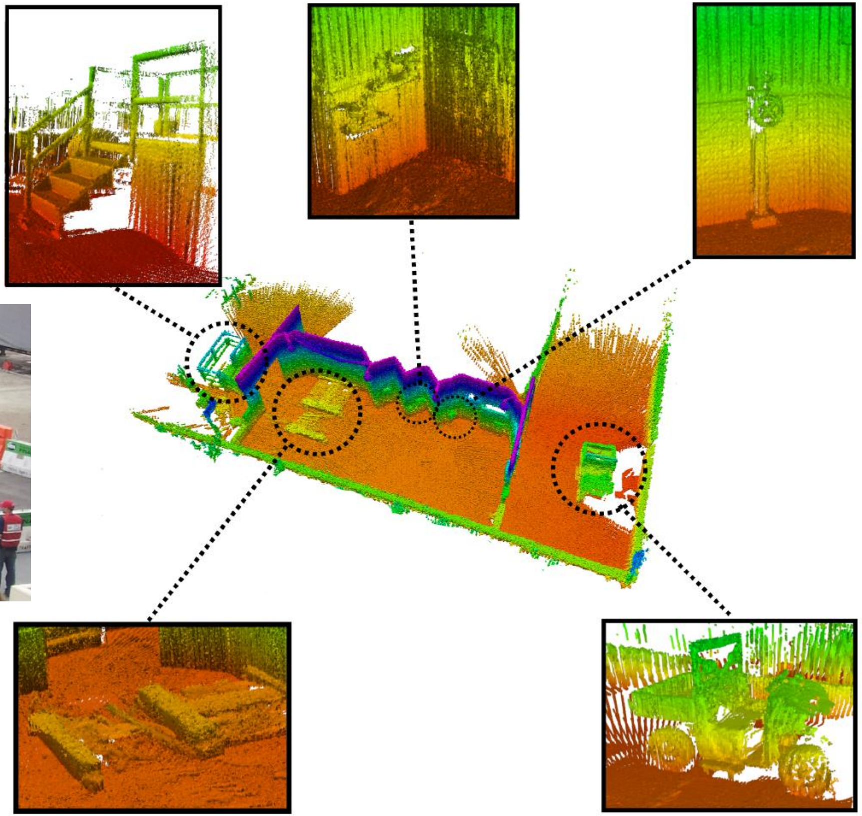
- Distanzmessungen sind auch Freimessungen
- Aktualisierung der Belegtheits-schätzung in jeder Zelle



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

Allozentrische 3D-Kartierung

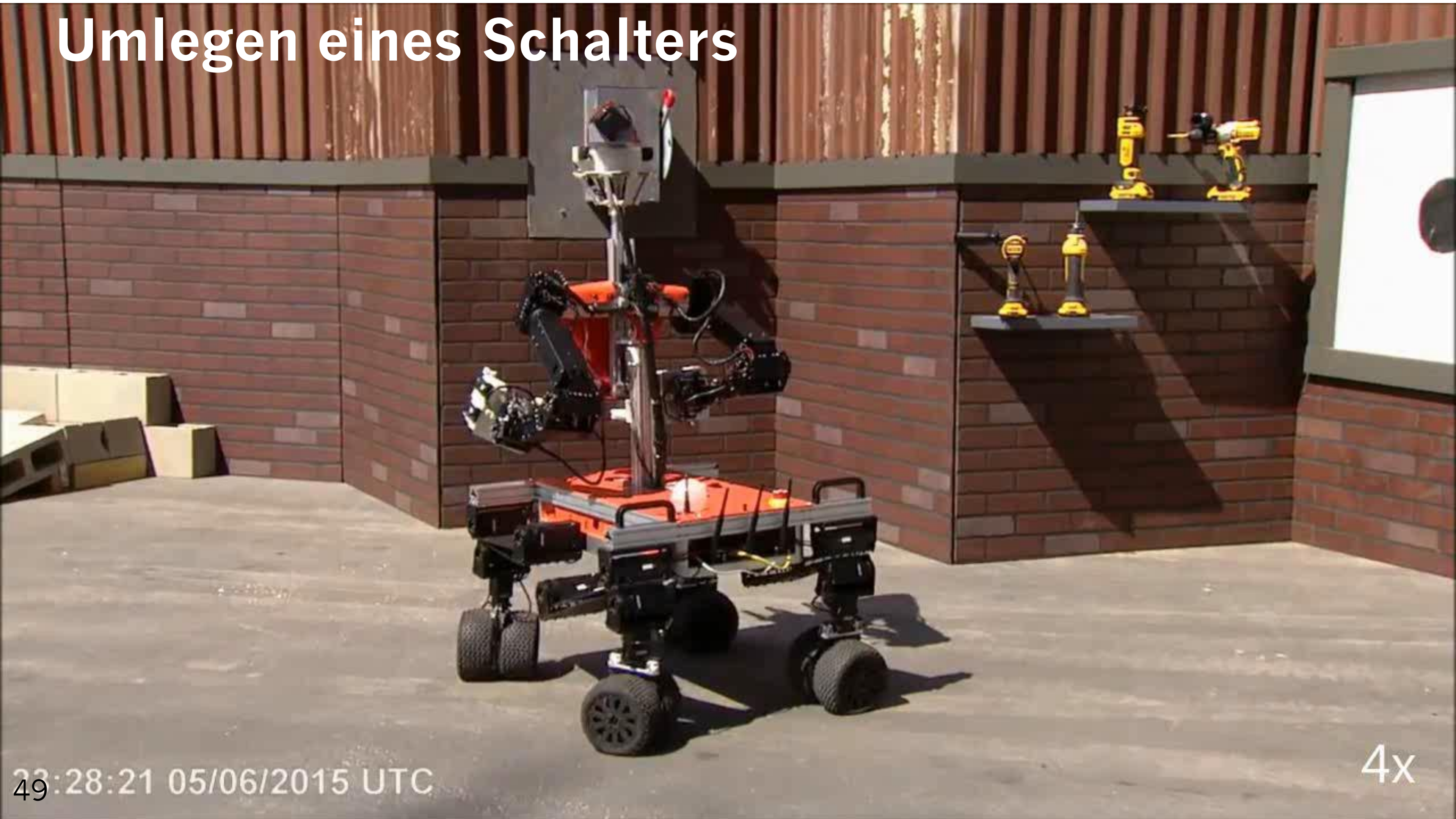
- Registrierung egozen-trischer Karten durch Graphoptimierung



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

Drehen eines Ventilrads

Umlegen eines Schalters



Umstecken

Überwindung von Hindernissen

Fräsen eines Lochs

Team NimbRo Rescue

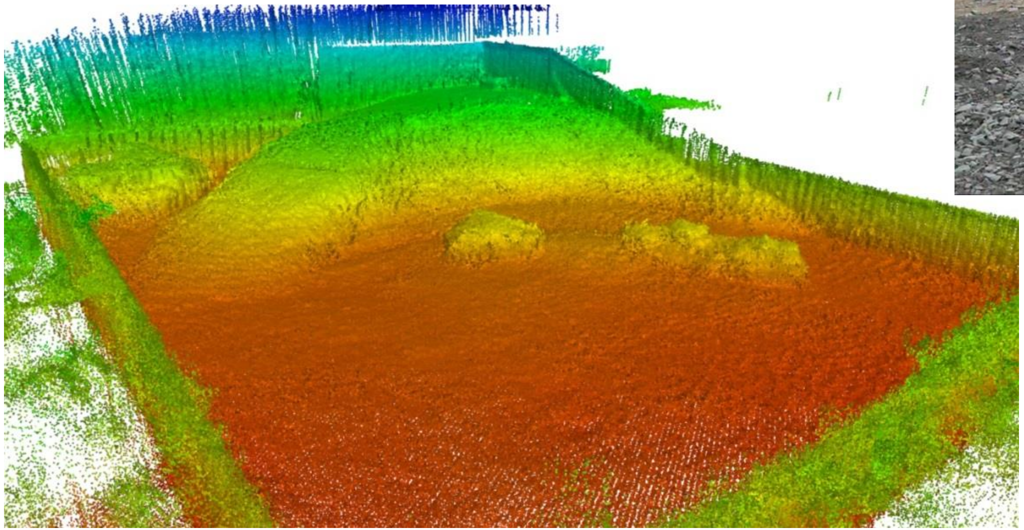
Bestes Europäisches Team (4. Platz)

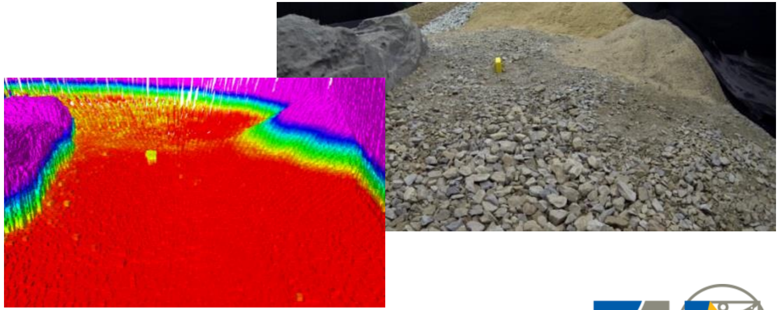
Sieben von acht Aufgaben in 34 Min. gelöst

DLR SpaceBot Cup 2015

- Mobile Manipulation im Gelände

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

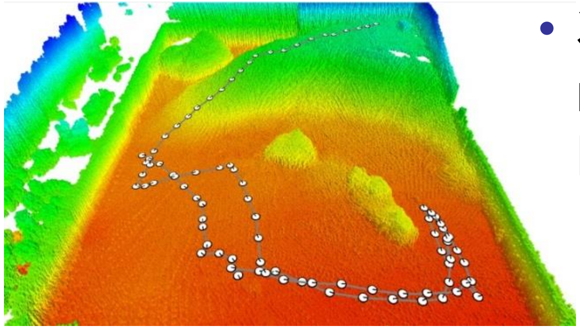


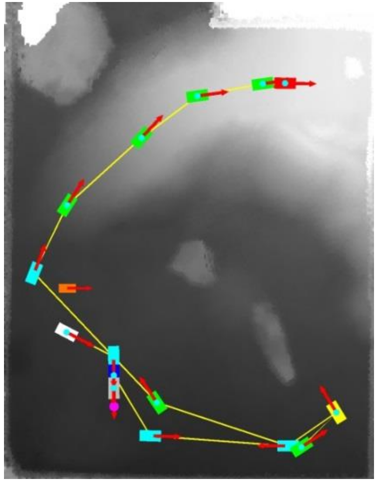


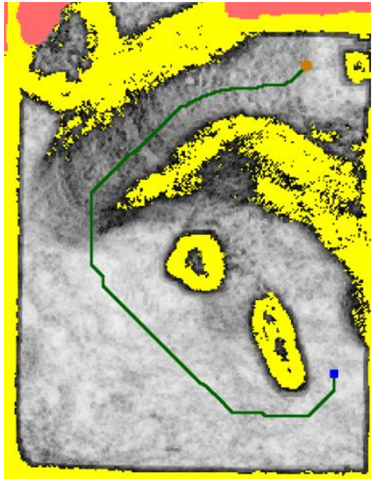
DLR SpaceBot Camp 2015

Autonome Missionsausführung

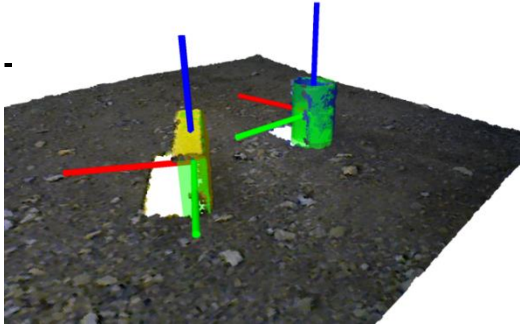
- 3D-Kartierung, Lokalisierung, Missions- und Navigations-planung

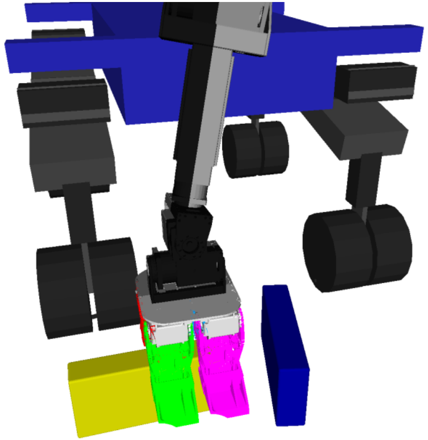






- 3D-Objektwahr-nehmung und Handhabung





[Schwarz et al. Frontiers 2016]

H2020 Project CENTAURO

Robust Mobility and Dexterous Manipulation in Disaster Response by Fullbody Telepresence in a Centaur-like Robot

universitätbonn | iit ISTITUTO ITALIANO DI TECNOLOGIA | Scuola Superiore Sant'Anna di Studi Universitari e di Perfezionamento | KTH ROYAL INSTITUTE OF TECHNOLOGY | LINKÖPINGS UNIVERSITET | RWTH AACHEN UNIVERSITY | progenox | KHG

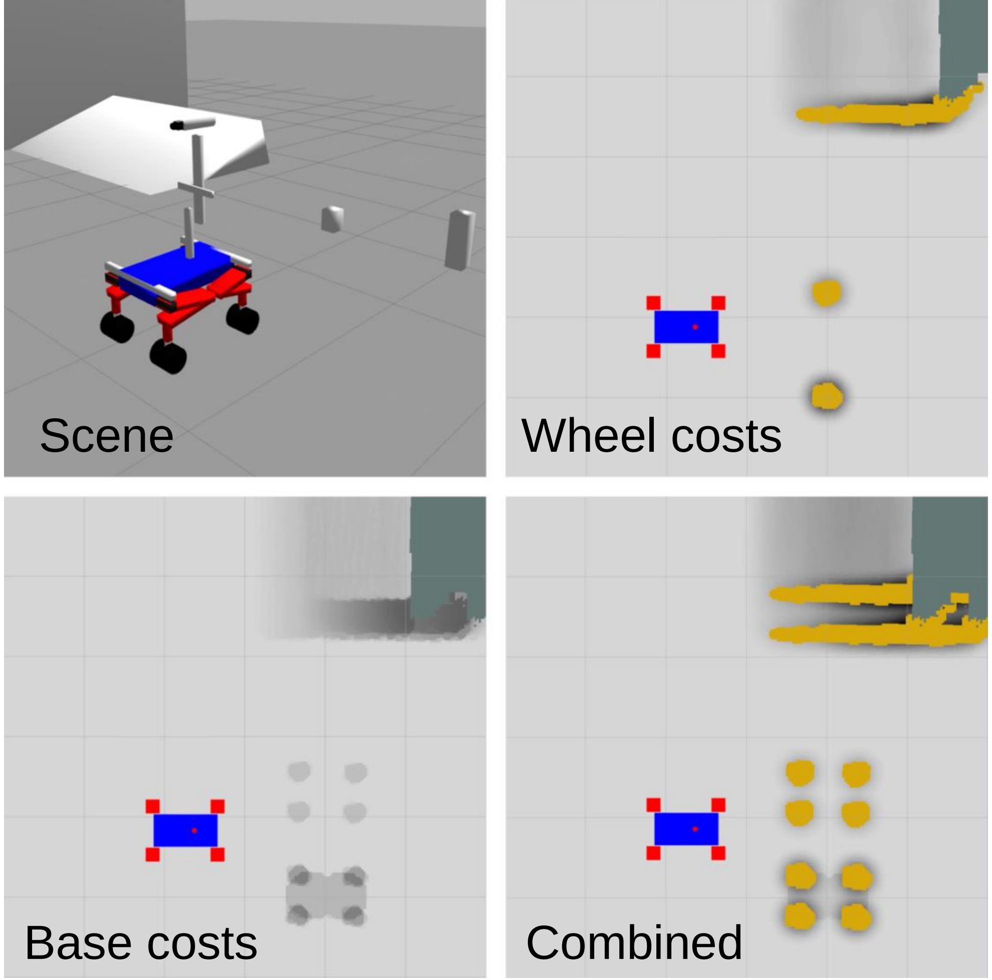
Expanding Abstract Steps to Detailed Motion Sequences

[Klamt and Behnke: IROS 2017]

Considering Robot Footprint

- Costs for individual wheel pairs from height differences
- Base costs
- Non-linear combination yields 3D (x, y, θ) cost map

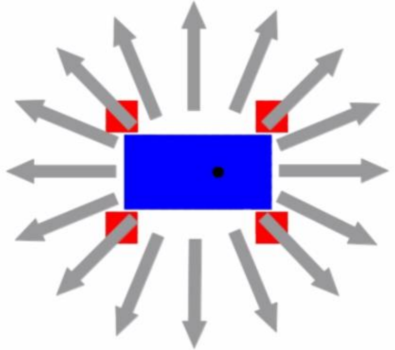
[Klamt and Behnke, IROS 2017]



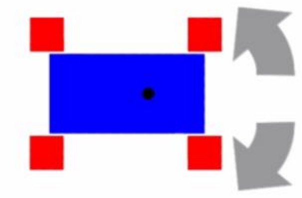
UNIVERSITÄT BONN AIS

3D Driving Planning (x, y, θ): A*

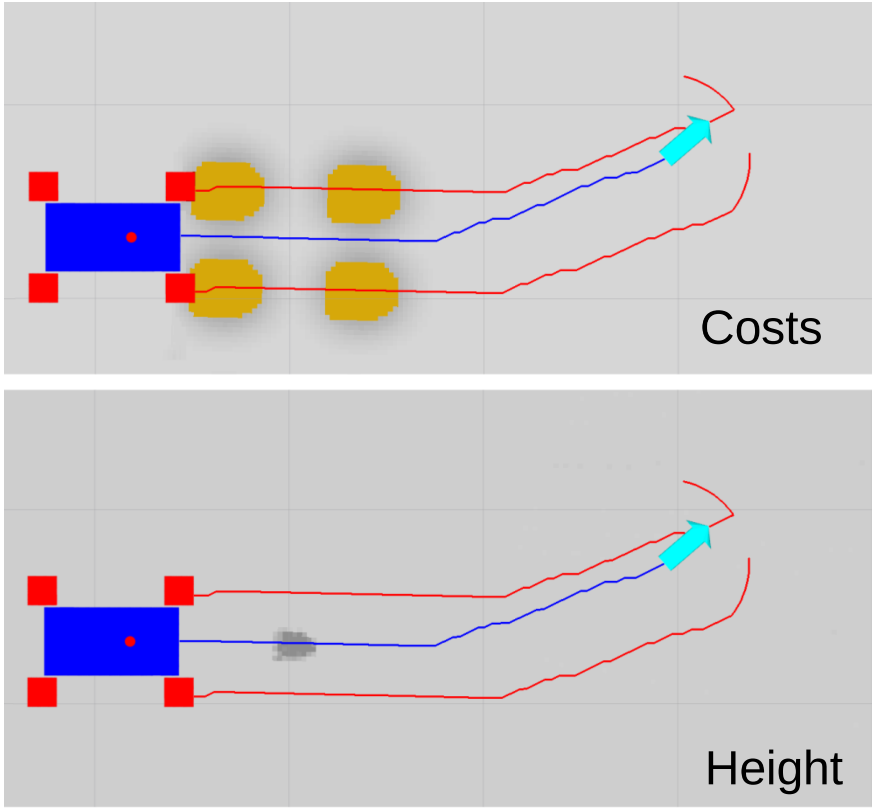
- 16 driving directions



- Orientation changes



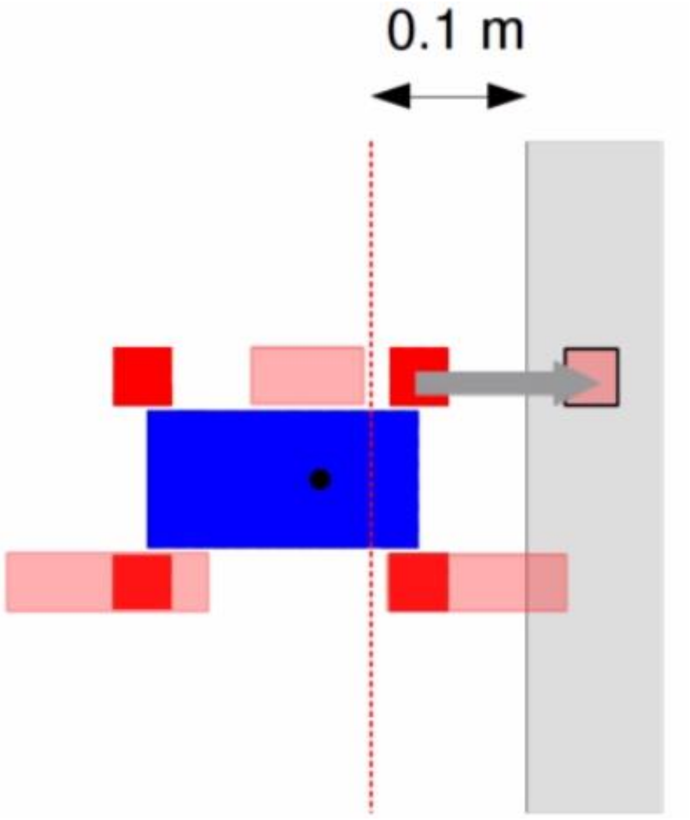
=> Obstacle between wheels



[Klamt and Behnke, IROS 2017]

Making Steps

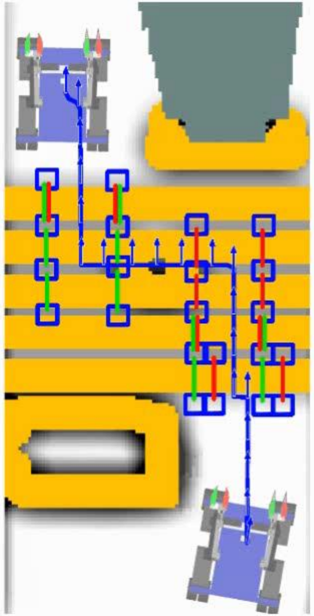
- If not drivable obstacle in front of a wheel
- Step landing must be drivable
- Support leg positions must be drivable



[Klamt and Behnke: IROS 2017]

UNIVERSITÄT BONN AIS

Planning for Challenging Scenarios



[Klamt and Behnke: IROS 2017]

Centauro-Roboter

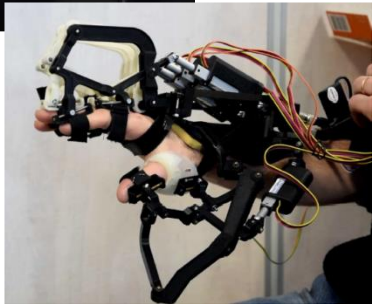
CENTAURO

- Serial elastic actuators
- 42 main DoFs
- Schunk hand
- 3D laser
- RGB-D camera
- Color cameras
- Two GPU PCs

[Tsagarakis et al., IIT 2017]

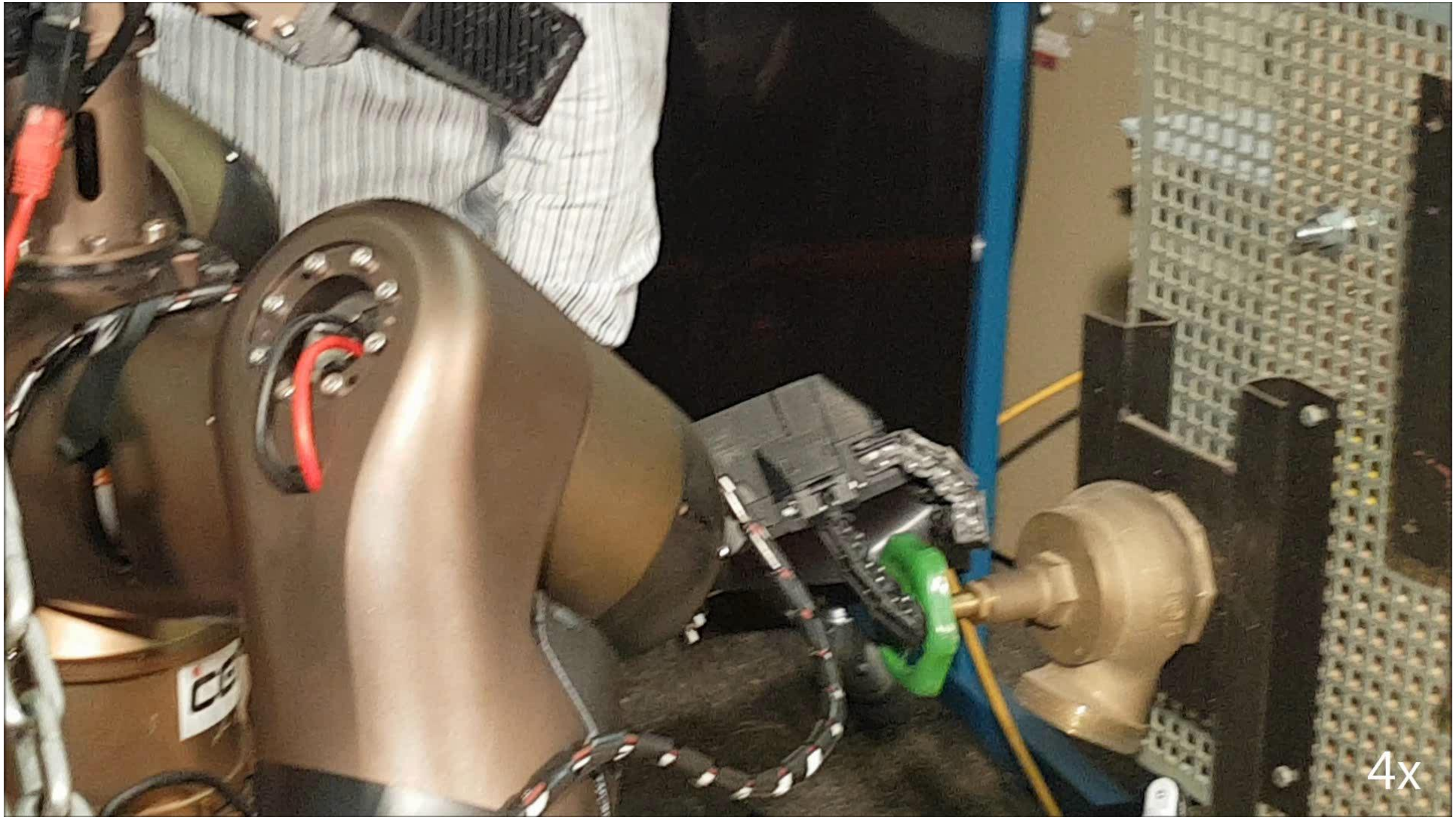
Main Operator Telepresence Interface

- Tendon-driven dual-arm exoskeleton
- Active wrist with differential tendon transmission
- Underactuated hand exoskeleton
- Head-mounted display
- Foot pedals



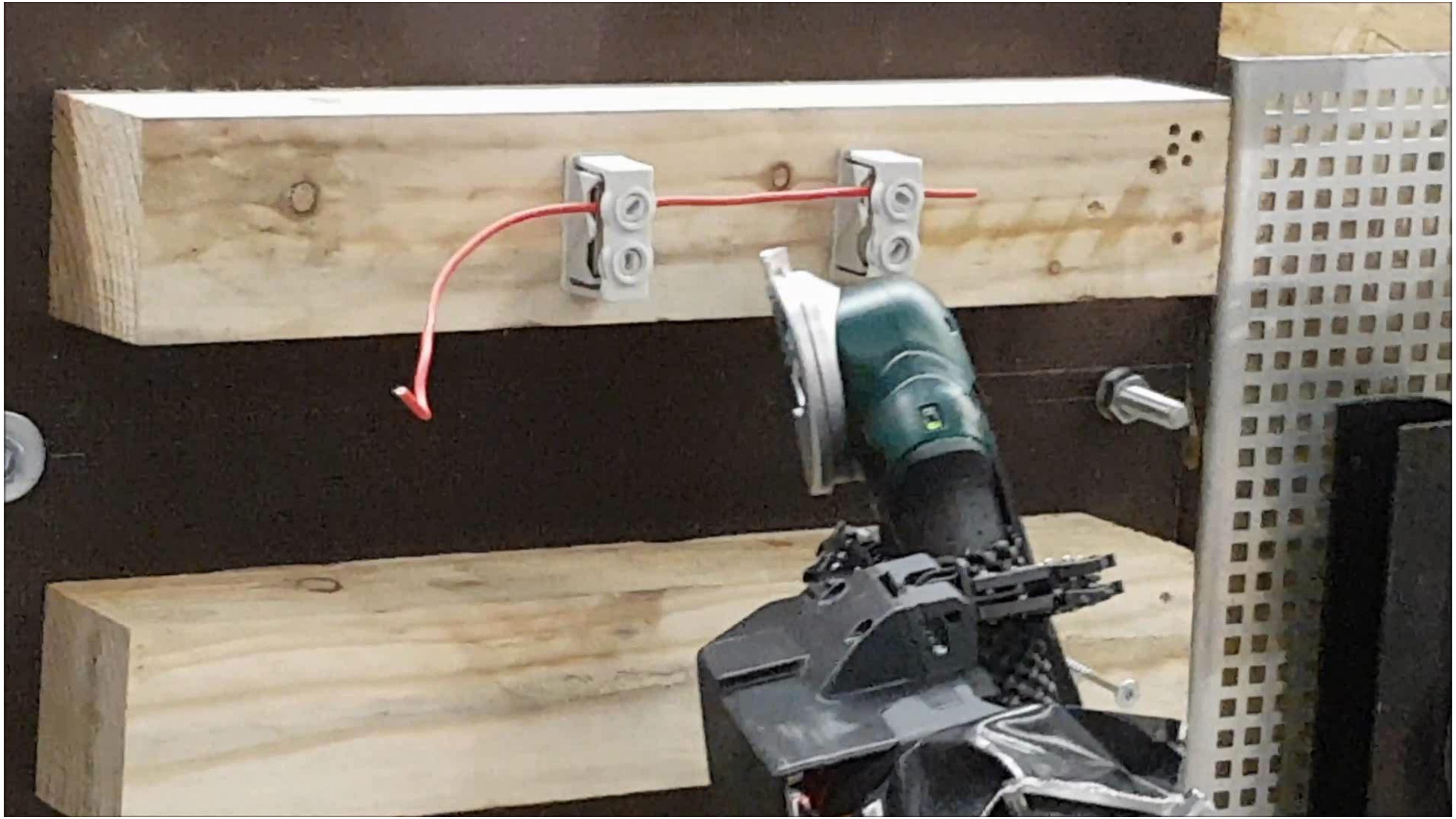
[Frisoli et al., SSSA 2017]

Turning a Valve

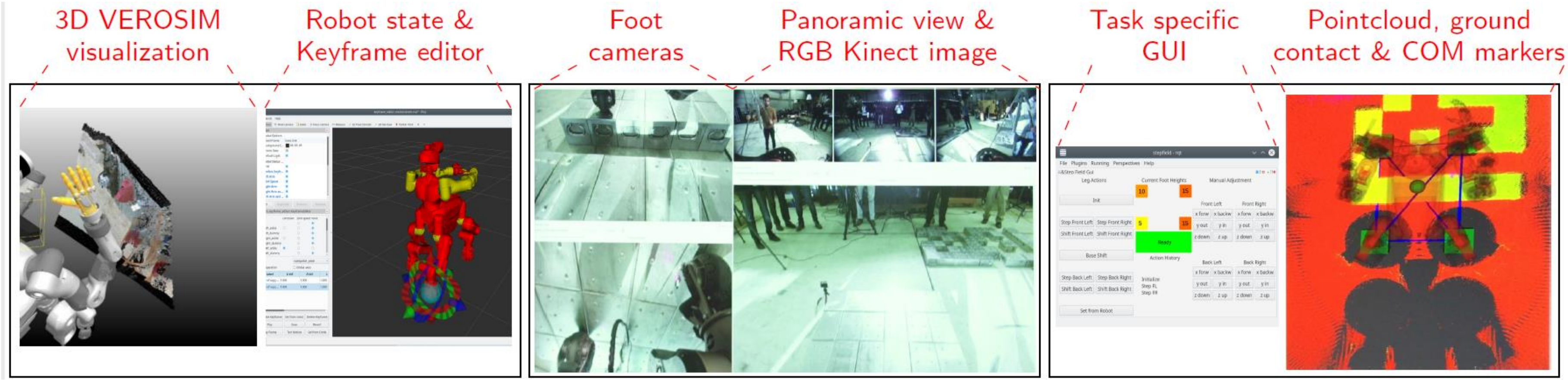


UNIVERSITÄT BONN AIS

Cutting a Wire



Support Operator Interfaces



Opening and Going Through a Door

Locomotion Tasks

- Ramp
- Small door
- **Regular door**
- Gap
- Step field
- Stairs

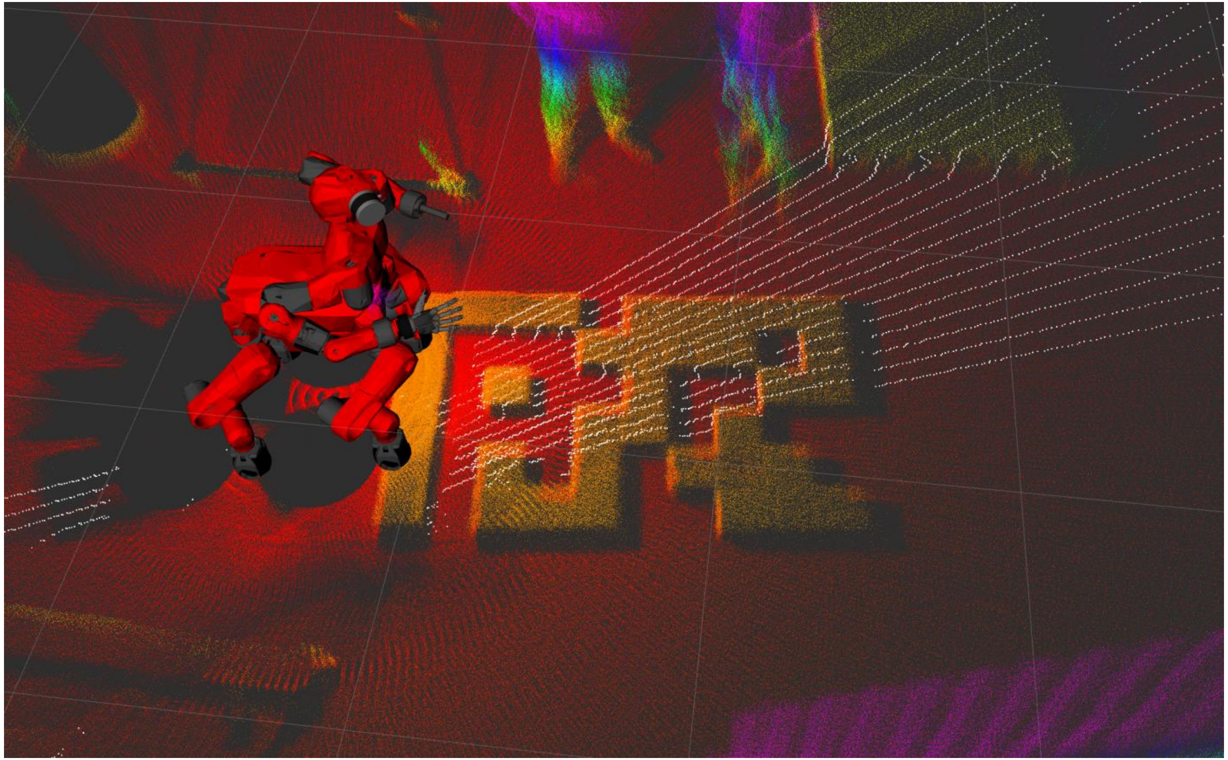
Used control interfaces

UNIVERSITÄT BONN AIS

Climbing over a Gap

UNIVERSITÄT BONN AIS

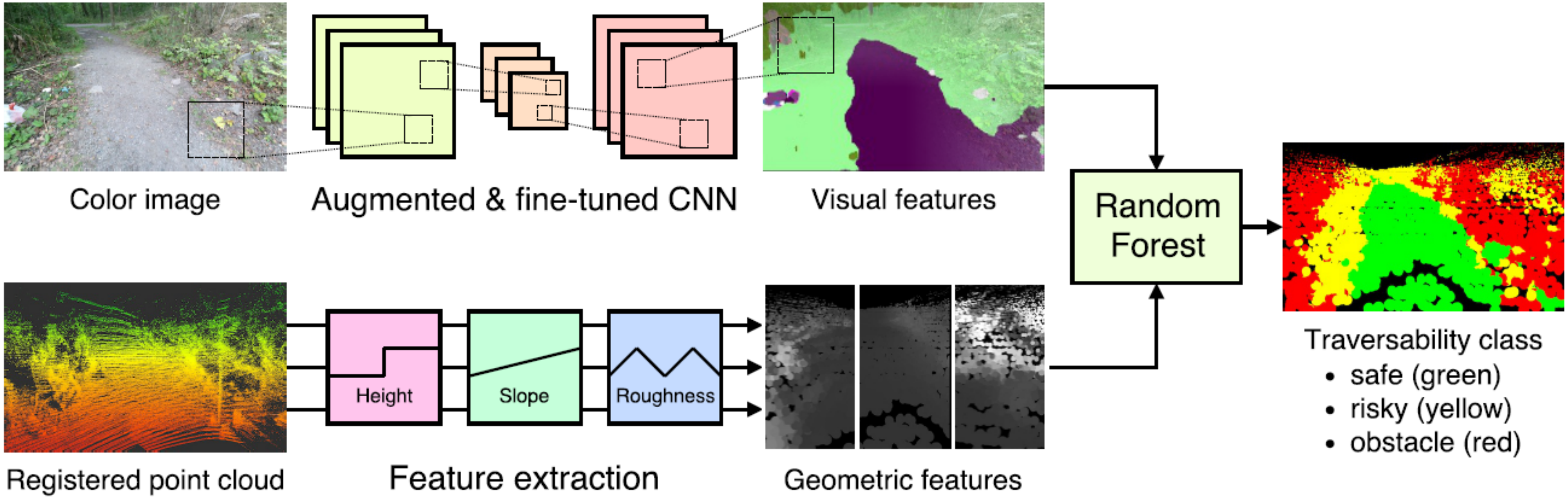
3D Mapping and Localization



Walking over a Step Field

UNIVERSITÄT BONN AIS

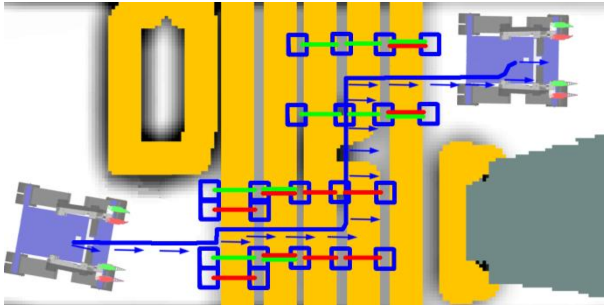
Terrain Classification

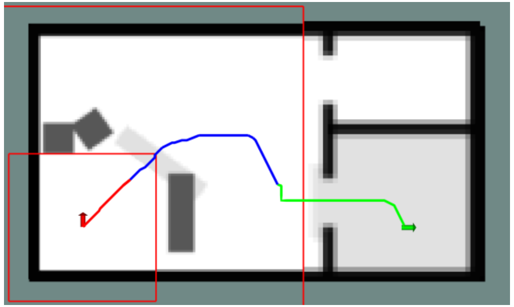


[Schilling et al., IROS 2017]

Hybrid Driving-Stepping Locomotion Planning

Level	Map Resolution	Map Features	Robot Representation	Action Semantics
1	• 2.5 cm • 64 orient.	• Height		• Individual Foot Actions
2	• 5.0 cm • 32 orient.	• Height • Height Difference		• Foot Pair Actions
3	• 10 cm • 16 orient.	• Height • Height Difference • Terrain Class		• Whole Robot Actions





[Klamt and Behnke,
IROS 2017, ICRA 2018]

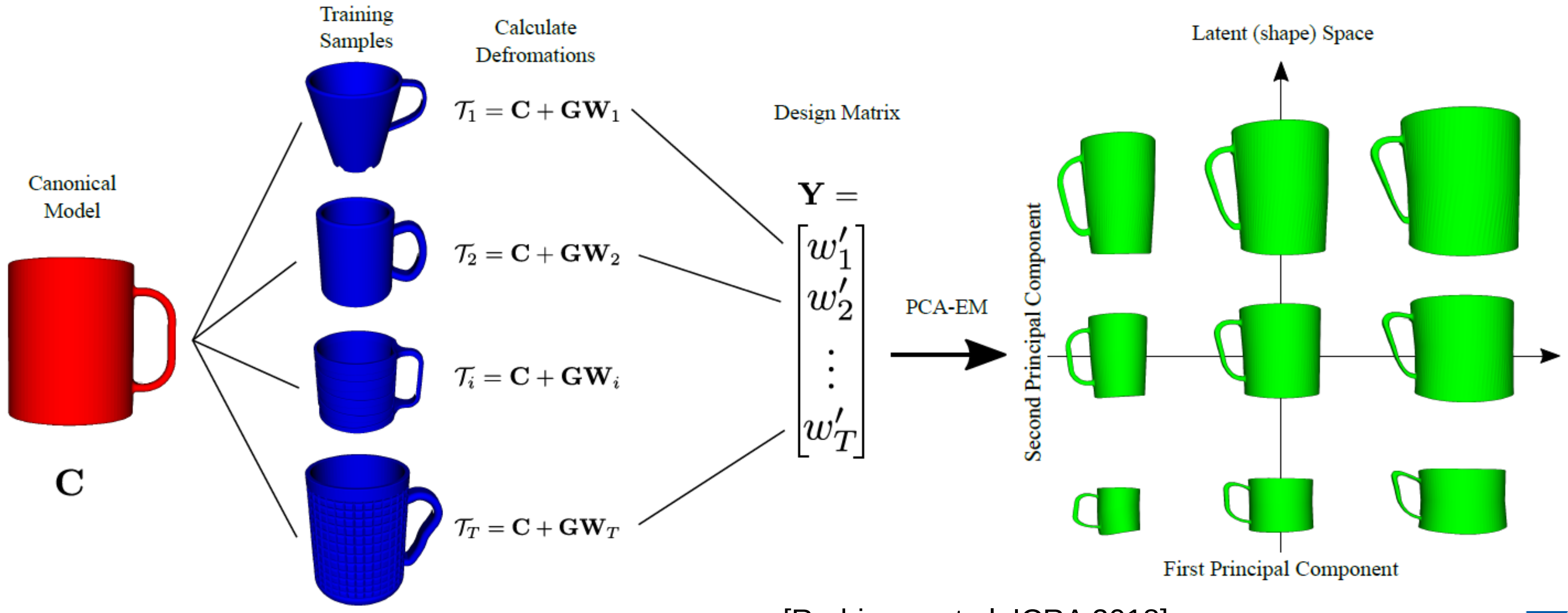
Transfer of Manipulation Skills

Knowledge Transfer

[Rodriguez et al. ICRA 2018]

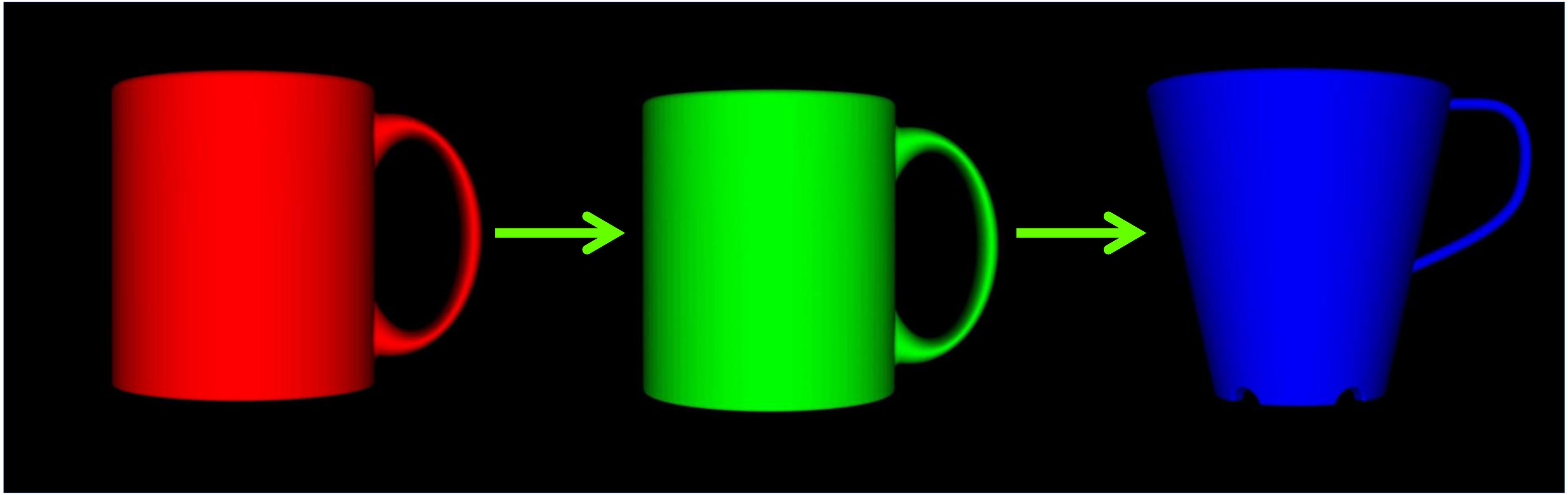
Learning a Latent Shape Space

- Non-rigid registration of instances and canonical model
- Principal component analysis of deformations



[Rodriguez et al. ICRA 2018]

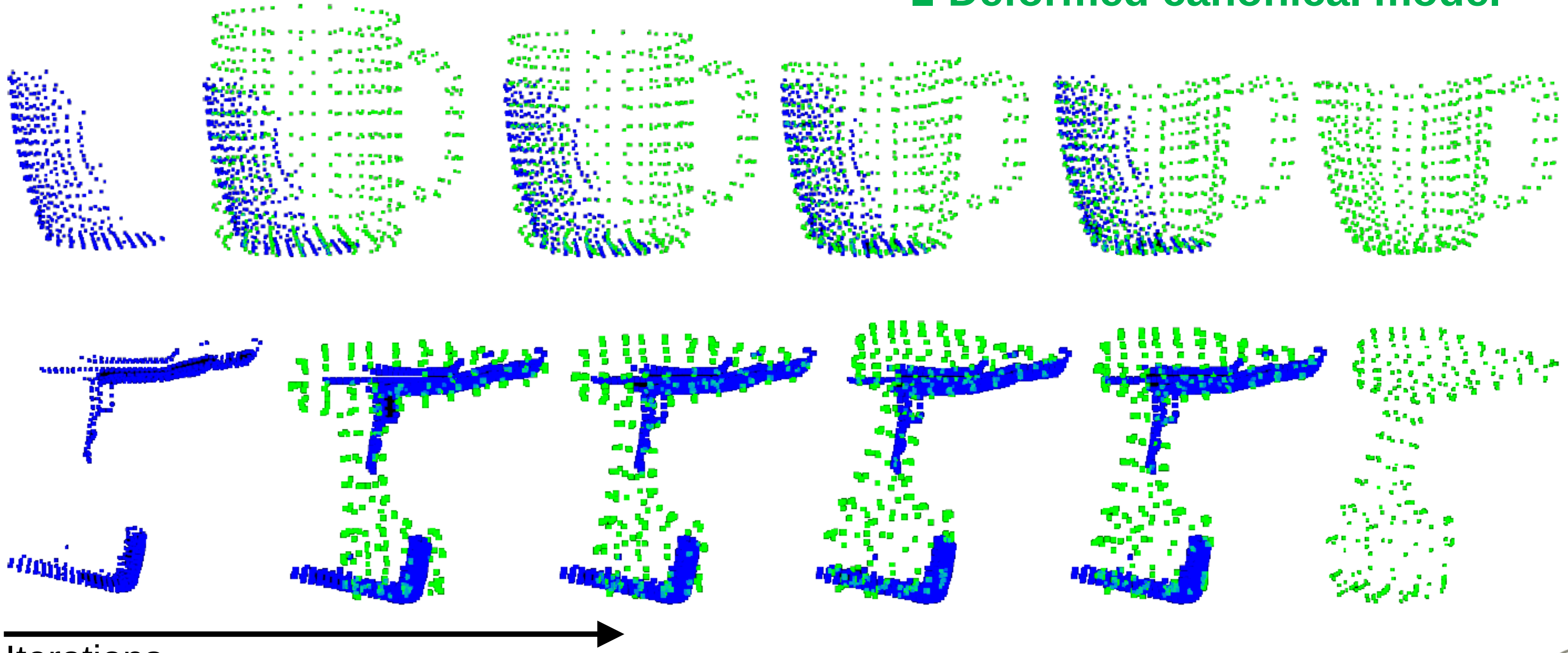
Interpolation in Shape Space



[Rodriguez et al. ICRA 2018]

Shape-aware Non-rigid Registration

- Partial view of novel instance
- Deformed canonical model



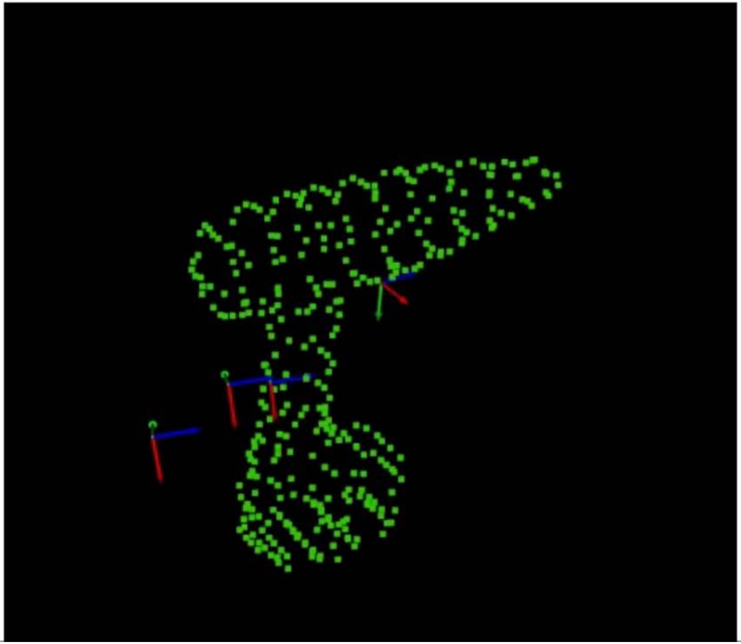
Iterations

[Rodriguez et al. ICRA 2018]

UNIVERSITÄT BONN AIS

Transference of Grasping Skills

Warp grasping information



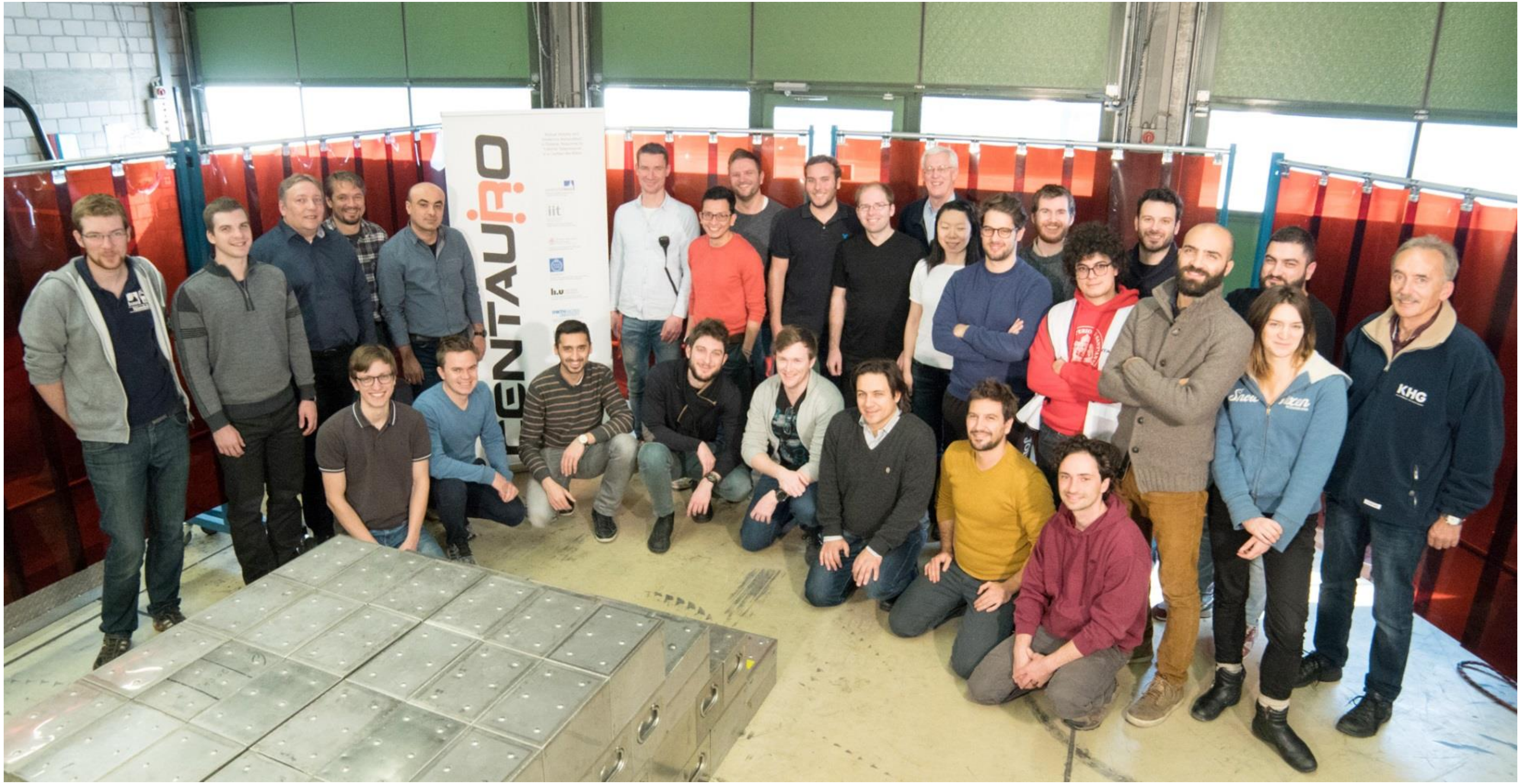
[Rodriguez et al. ICRA 2018]

Grasping an Unknown Power Drill

[Rodriguez et al. ICRA 2018]

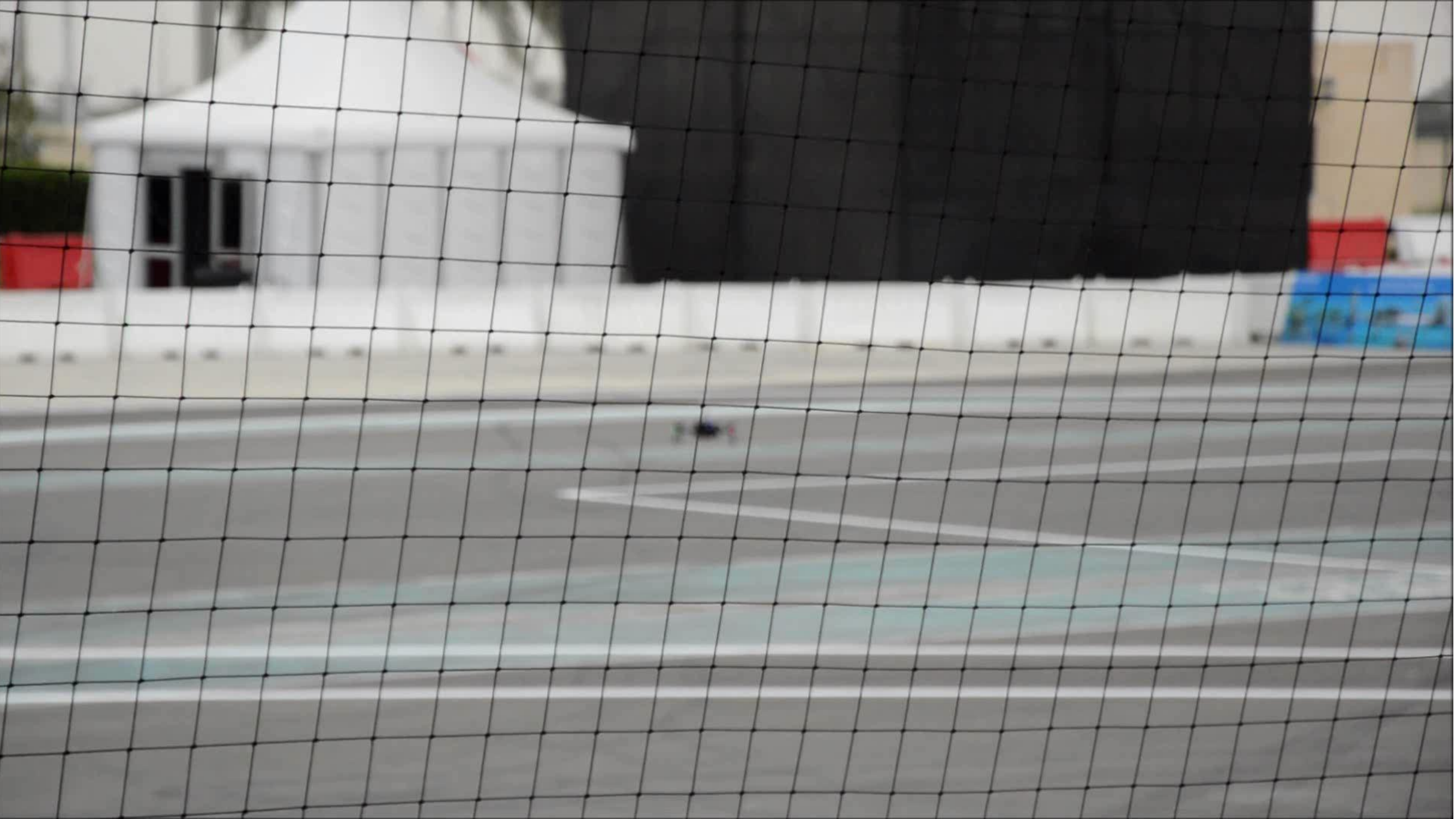
Fastening a Screw

CENTAURO Team



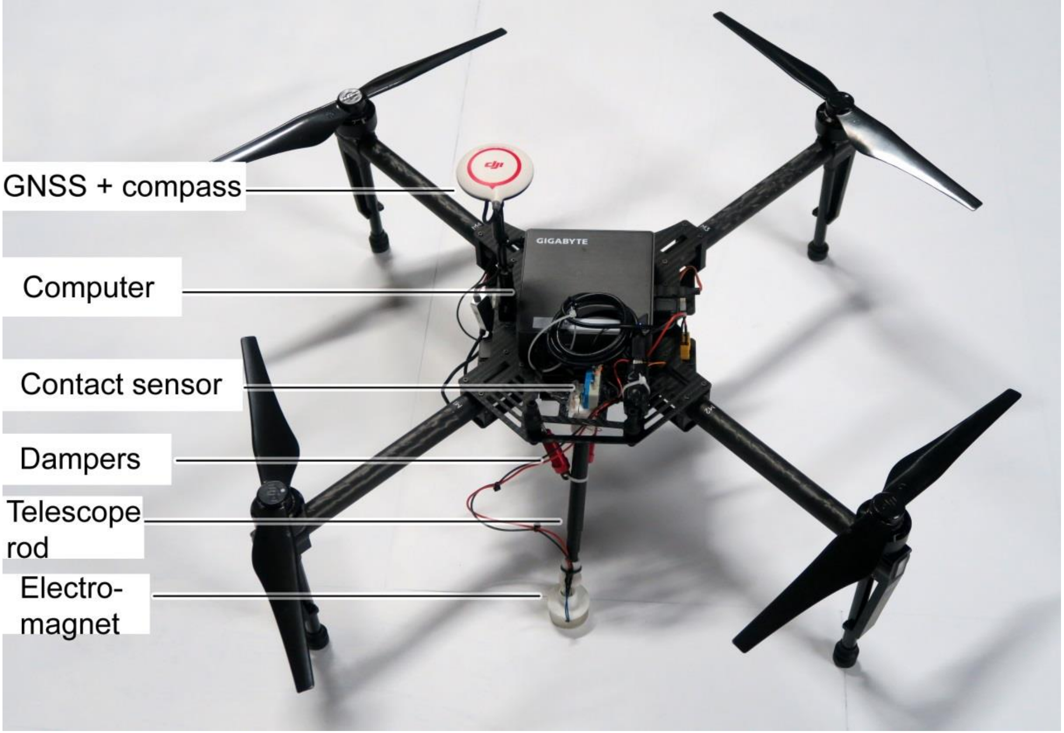
MBZIRC Challenge 2

Wrench Selection: Detection of Tool Ends

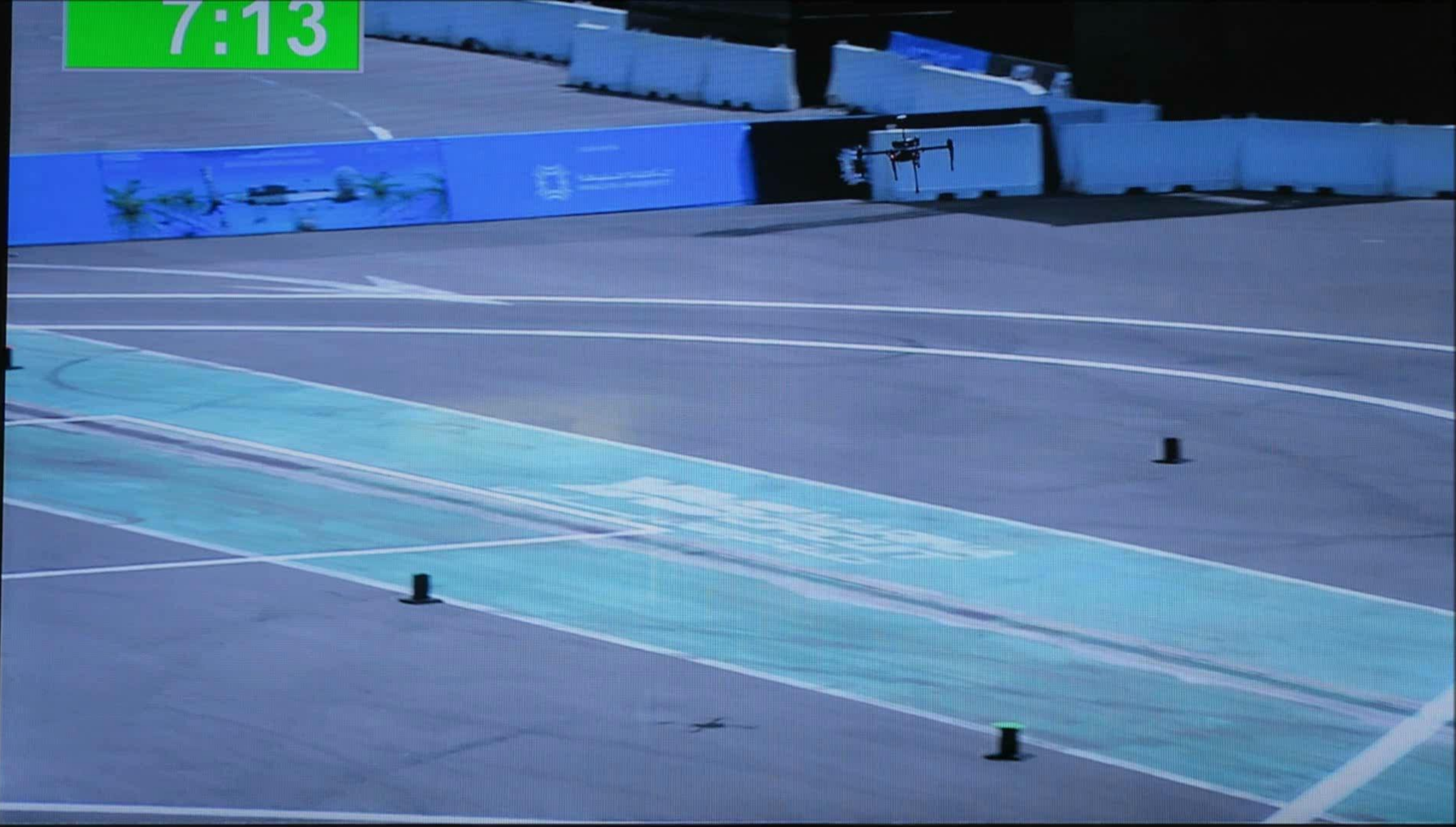


Picking Copter DJI Matrice 100

- Wide-angle downward looking color camera
- Electromagnetic gripper
- Laser-distance sensor to ground
- Dual-core PC



UNIVERSITÄT BONN AIS

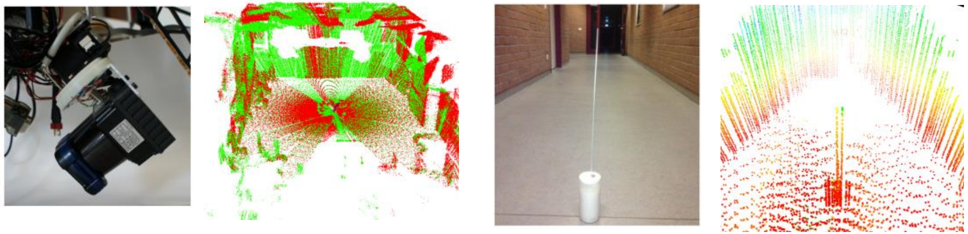

7:13

MBZIRC Team NimbRo

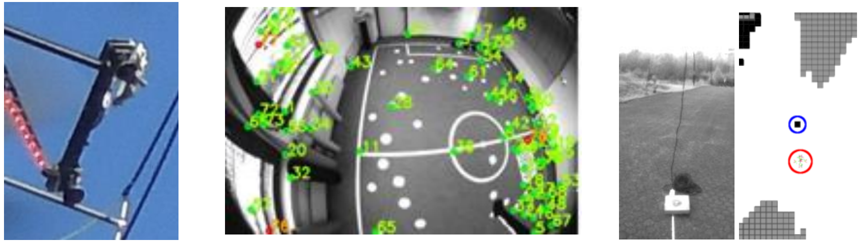
UNIVERSITÄT BONN AIS

Autonomous Flight Near Obstacles

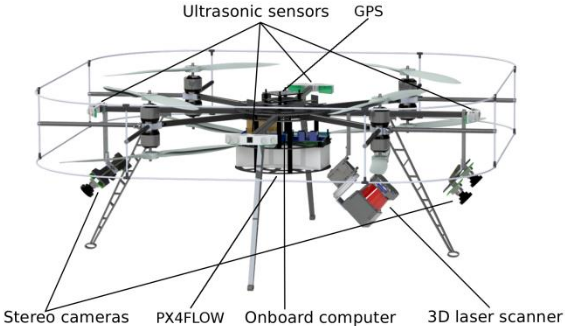
- Multimodal obstacle detection
  - 3D laser scanner

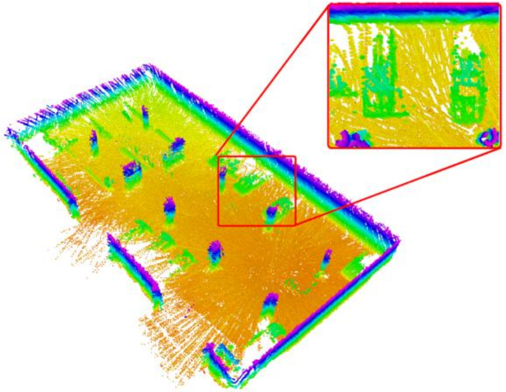


  - Stereo cameras



  - Ultrasound



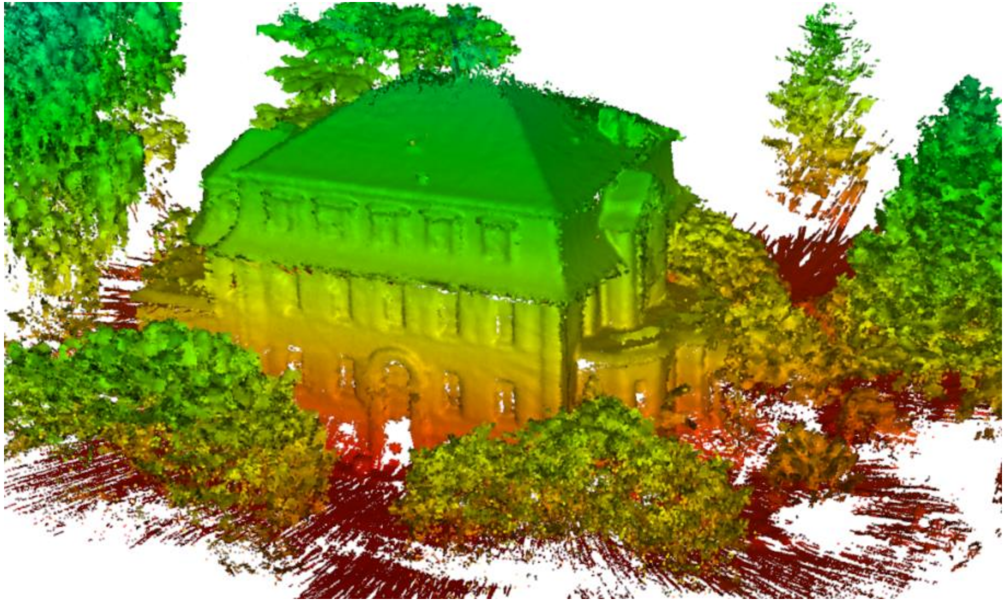


[Droeschel et al.: Journal of Field Robotics, 2015]

UNIVERSITÄT BONN AIS

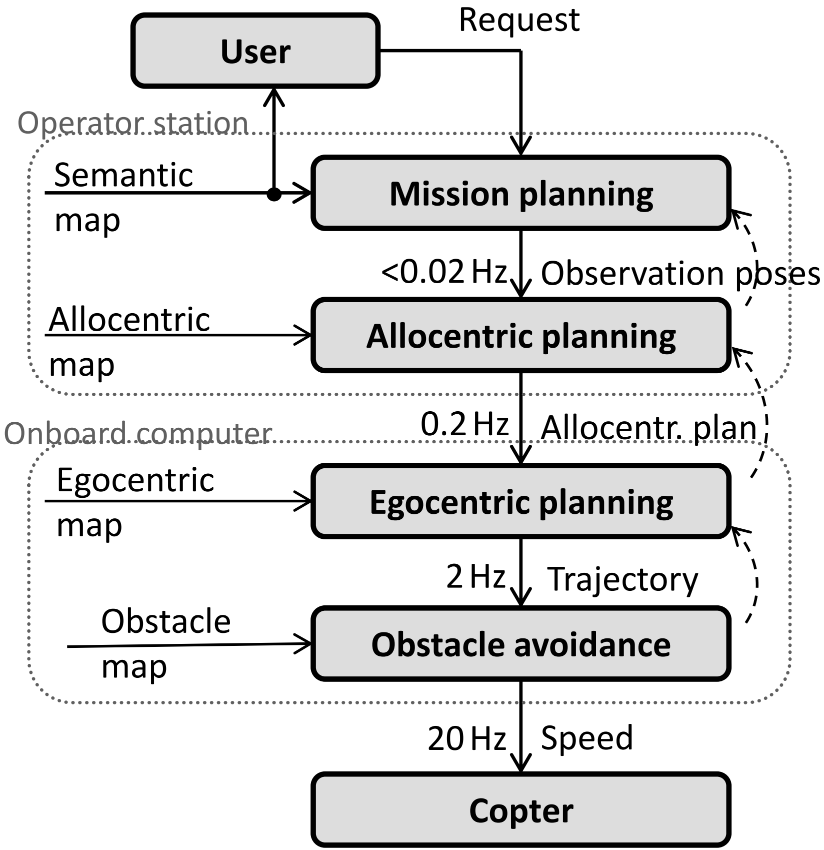
Allocentric 3D Map

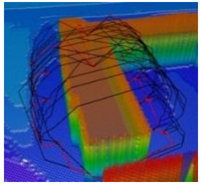
- Registration of egocentric maps
- Global optimization of registration error by GraphSLAM



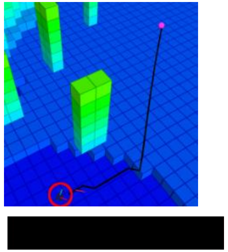
[Droeschel et al. JFR 2016]

Hierarchical Navigation

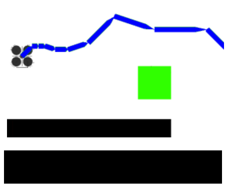




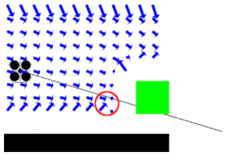
Mission plan



Allocentric planning



Egocentric planning



Obstacle avoidance

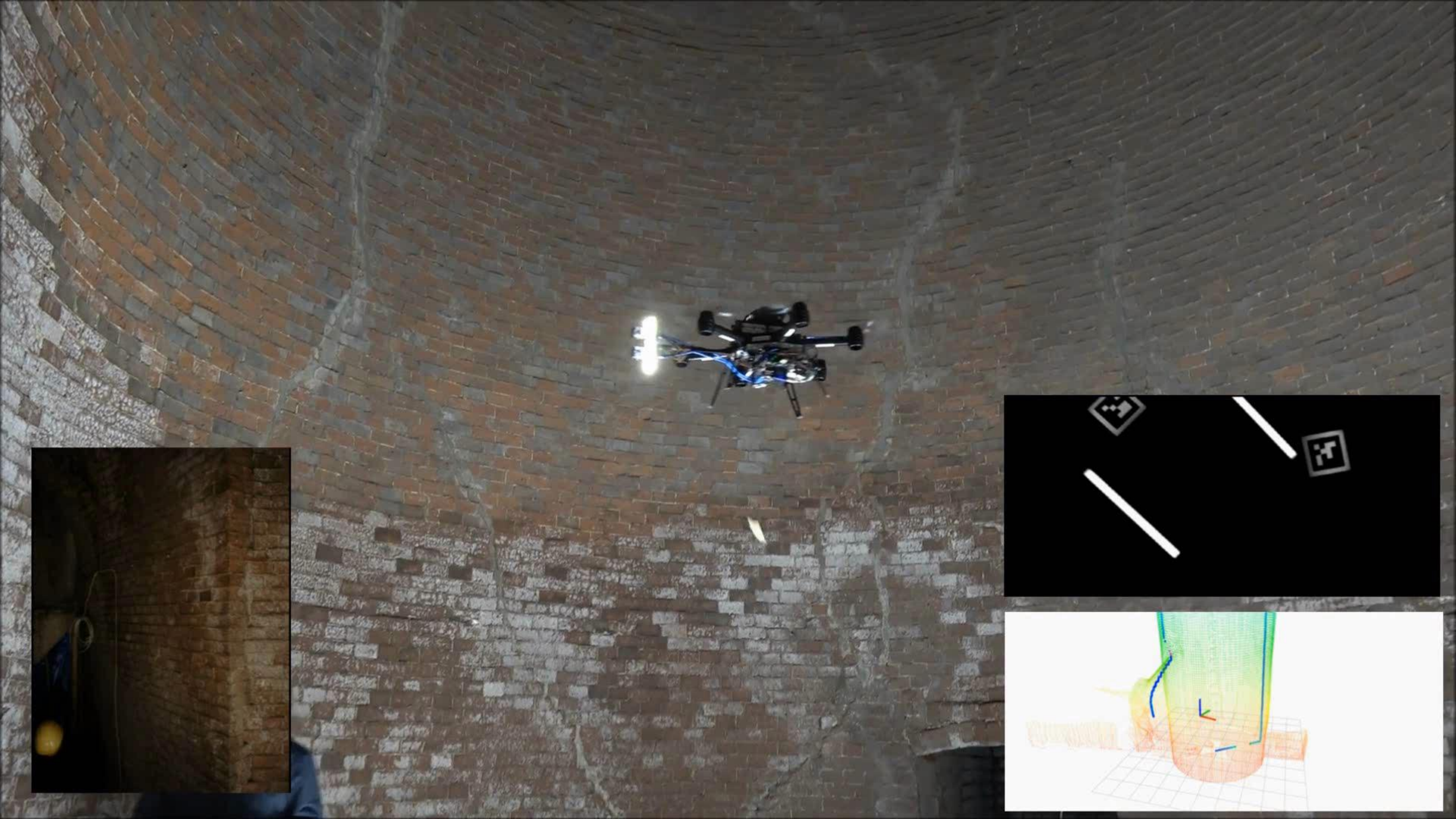
Mapping on Demand

Autonomous Flight to Planned View Poses

DJI Matrice 600 with Velodyne Puck

Autonomous Indoor Navigation

Fully Autonomous indoor flight without external tracking.



Zusammenfassung

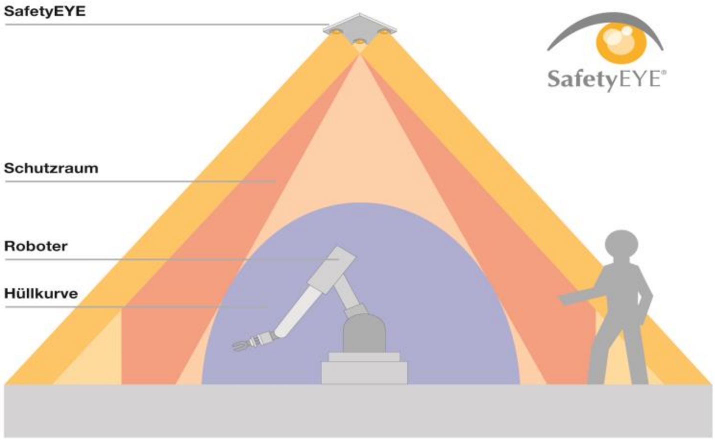
- Beispiele für kognitive Roboter in komplexen Szenarien
  - Humanoide Fußballroboter
  - Serviceaufgaben im Haushalt
  - Griff in die Kiste
  - Menschenfeindliche Umgebungen
  - Flugroboter
- Herausforderungen beinhalten
  - 3D-Kartierung, semantische Szeneninterpretation
  - Hochdimensionale Bewegungsplanung, robuste Bewegungskontrolle
- 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



[Pilz]

[NTSB]

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.
  - 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

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!