KOGNITIVE INDUSTRIEROBOTER FÜR ZUKÜNFTIGE PRODUKTIONSSYSTEME

Stuttgart, 5. Dezember 2019

Expertenforum Digitalisierung und Automation

Dr. Werner Kraus

Abteilungsleiter „Roboter- und Assistenzsysteme“

Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung IPA

Werner.Kraus@ipa.fraunhofer.de; +49 711 970 1049

https://www.ipa.fraunhofer.de/de/Kompetenzen/roboter--und-assistenzsysteme.html

Quelle: Fraunhofer IPA, Audi

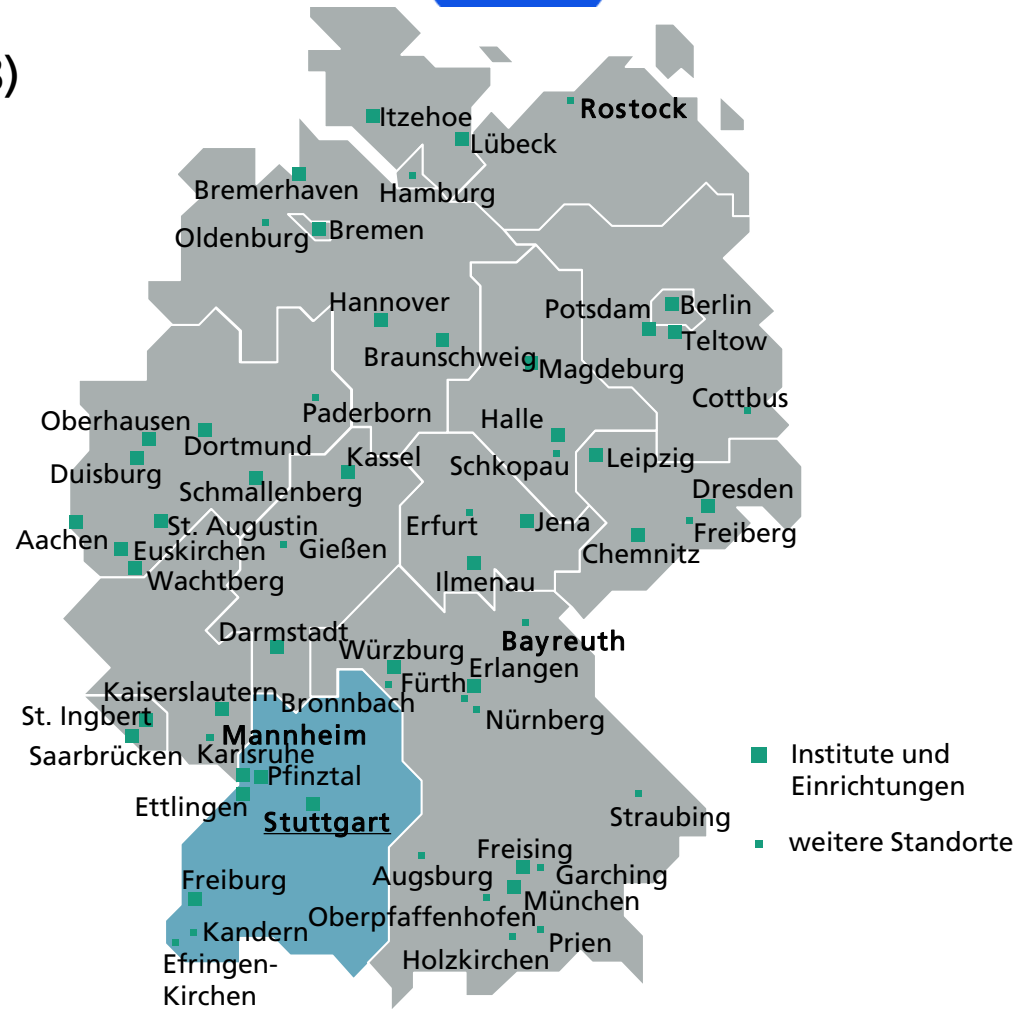
© Fraunhofer IPA

Fraunhofer IPA

Fraunhofer IPA und Einführung in Robotik und KI

Das Fraunhofer IPA
in der Fraunhofer-Gesellschaft

- Eines der größten Fraunhofer-Institute (2018)
  - 74 M€ Haushalt
  - 28 M€ Industrie-Erlöse
  - 450 Wiss. Mitarbeiter
- 60 Jahre Erfahrung in Produktions-technik und Automatisierung; https://die-uebermorgen-macher.de/
- Kompetent in der Umsetzung von Innovationen in die Praxis
- Patentneuanmeldungen: 25
- Laufende Start-up-Aktivitäten: 18
- Veröffentlichungen: >780



© Fraunhofer IPA
Fraunhofer IPA

Das Fraunhofer IPA
Unser Innovationsverständis

Research (R)

- „Verstehen, Erkennen"
- Wissenschaftliche Erkenntnisse

CyberValley

Universität Stuttgart

MAX-PLANCK-GESELLSCHAFT

EBERHARD KARLS UNIVERSITÄT TÜBINGEN

Development (D)

- „Validieren, entwickeln"
- Z.B. Potentialanalysen, Machbarkeitsstudien, Produktentwicklungen, …

Innovation (I)

- „Anwenden und Ausrollen"
- Lizenzierung
- Ausgründung
- Buy-out

Technologiereifegrad (TRL)

© Fraunhofer IPA

Fraunhofer IPA

Beispiele von Roboter-Endeffektor-Entwicklungen seit 1973 (>150)

→Ausstellung Meilensteine der Robotik am IPA

© Fraunhofer IPA

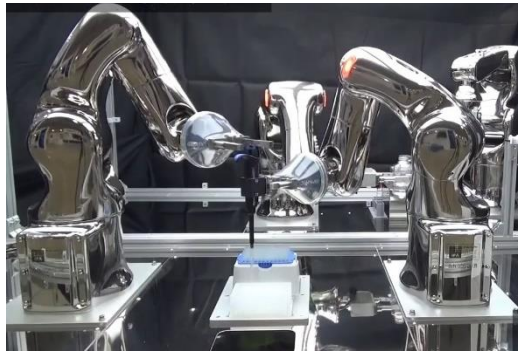
Fraunhofer IPA

Die wichtigsten Anwendungen und Prozesse

Verteilung der Neuinstallationen von Industrierobotern weltweit

Handhabung (42%)

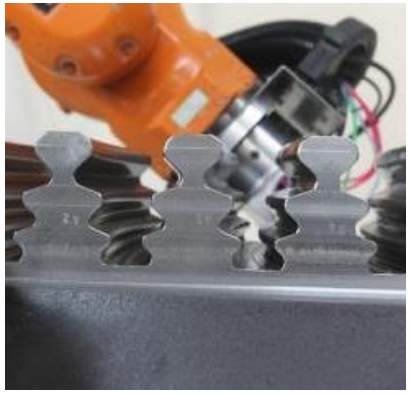
Reinraum (10%)



Schweißen (21%)

Montage (11%)

Zerspanen (1%)



Oberflächen (3%)

World Robotics Report; www.worldrobotics.org, Sept. 2019

© Fraunhofer IPA

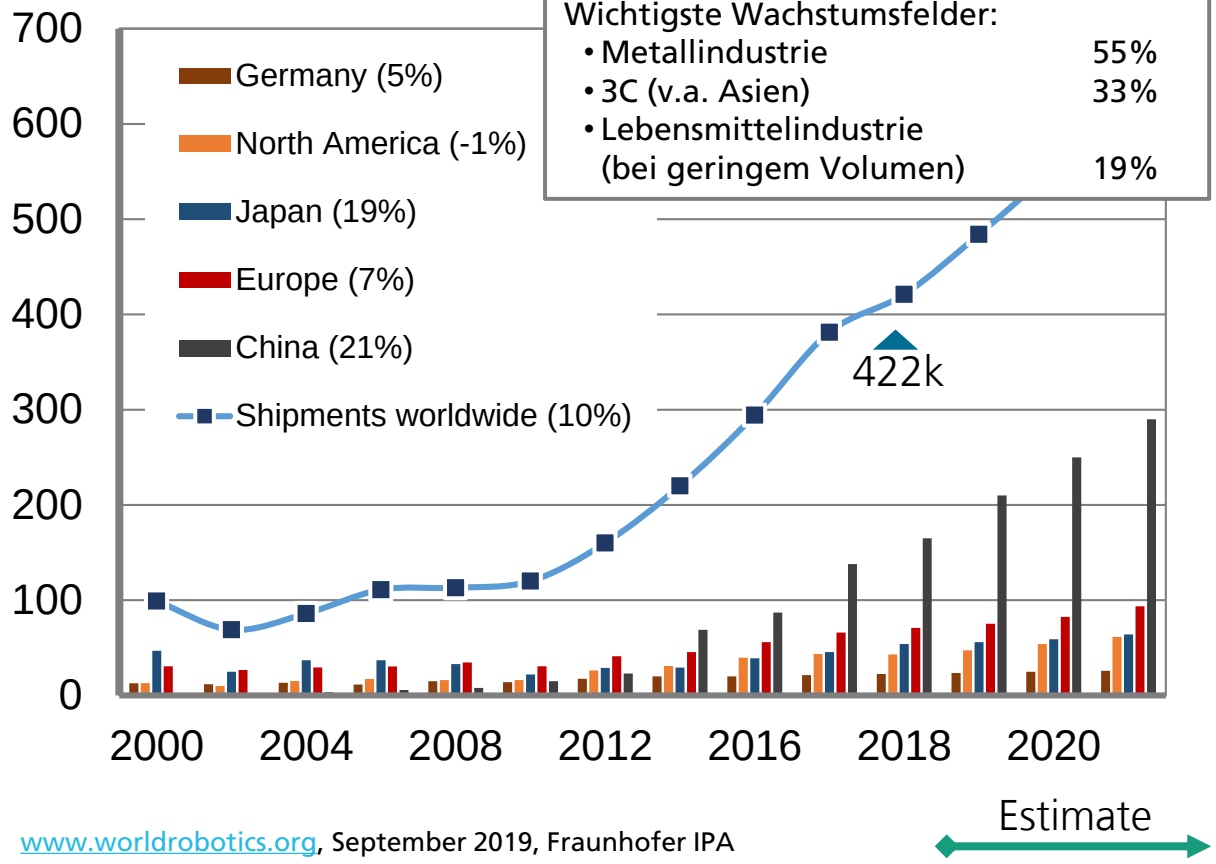
Fraunhofer IPA

World Robotics Statistik

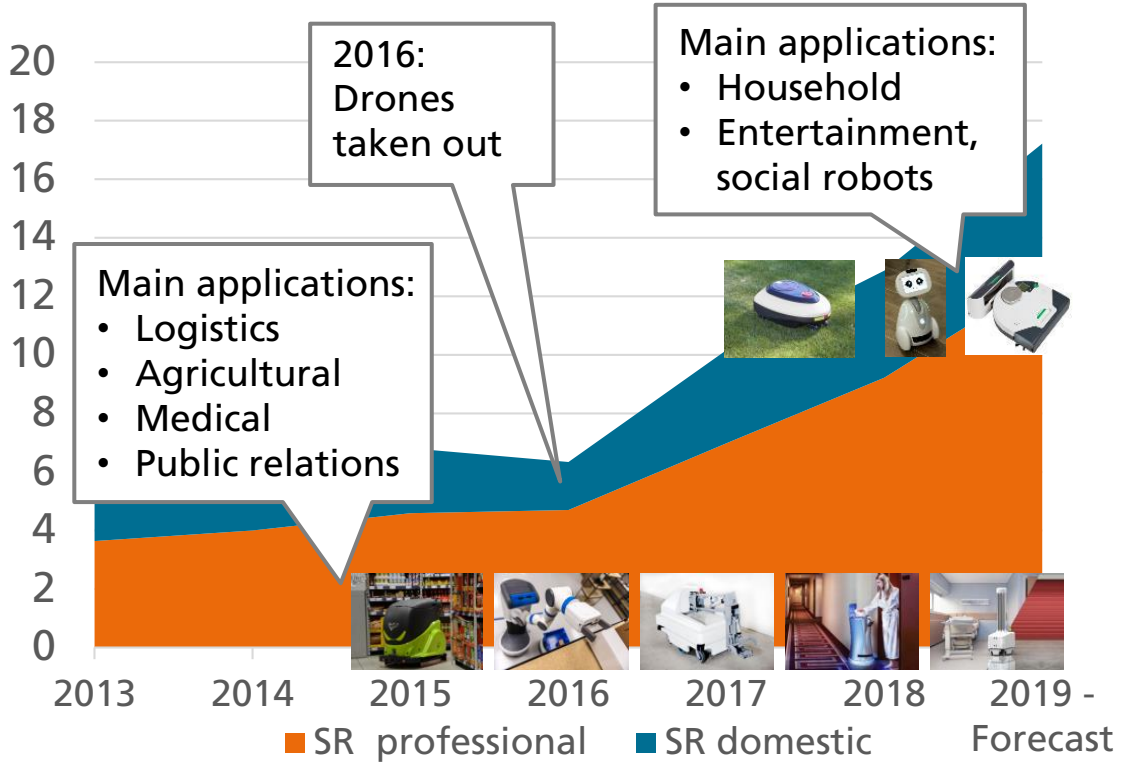
Alljahreshoch 2018 und positiver Ausblick

Industrial robot shipments worldwide [*1000 units]

Anstieg 2018/2017:	6%
2020 Roboterbestand (geschätzt):	3 Mio.
CAGR China seit 2014:	29%
IR Anteil Automobilindustrie:	~47%
Wichtigste Wachstumsfelder:	
• Metallindustrie	55%
• 3C (v.a. Asien)	33%
• Lebensmittelindustrie (bei geringem Volumen)	19%



Service robot (SR) annual sales worldwide for professional, domestic applications in [bnUS$]



www.worldrobotics.org, September 2019, Fraunhofer IPA

© Fraunhofer IPA

Fraunhofer IPA

Maschinelles Lernen (ML)

Traditionelle Datenverarbeitung

Maschinelles Lernen

Problem: Schreiben des Programms ist ein Flaschenhals!

A. Samuel, 1959: „Machine Learning is the field of study that gives computer the ability to learn without being explicitly programmed.“

→ Lernen an **Beispielen** → **verallgemeinern**

Wann ist Maschinelles Lernen sinnvoll?

- Ursachen-Wirkzusammenhänge analytisch nur schwer/nicht beschreibbar oder nicht bekannt
- Optimierungen mittels physikalischer Modelle aufwändig

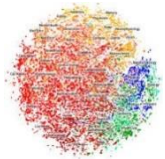
© Fraunhofer IPA

Arten des (maschinellen) Lernens

Unüberwachtes Lernen

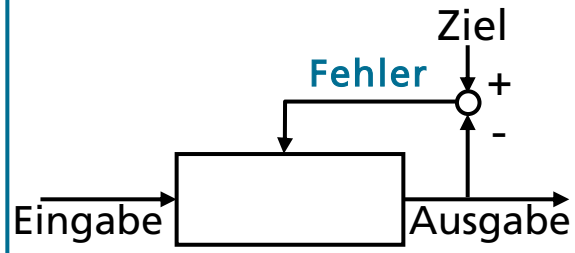
Anomalieerkennung

k-Means
Autoencoder
Gaussian Mixtures

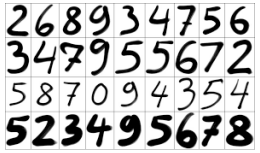


Clustering

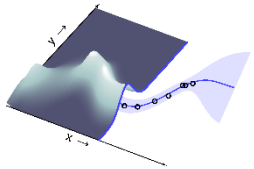
Überwachtes Lernen



Klassifizierung

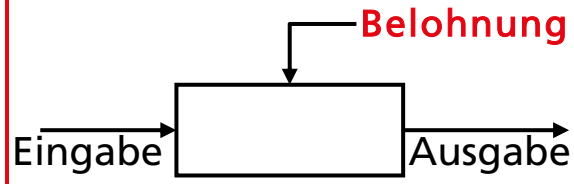


(Tiefe) Neuronale Netze
Support Vector Machines
Entscheidungsbäume
Gaussian Processes
Random Forrests



Regression

Verstärkungslernen



Regelung

Dynamic Programming
Q-Learning
Policy Iteration
Monte Carlo

Strategielernen

© Fraunhofer IPA

Fraunhofer IPA

Genauigkeit zählt

Niedrige Anforderungen — *Hohe Anforderungen*

Empfehlungen in Online-Shops

Finanzen, Versicherungen

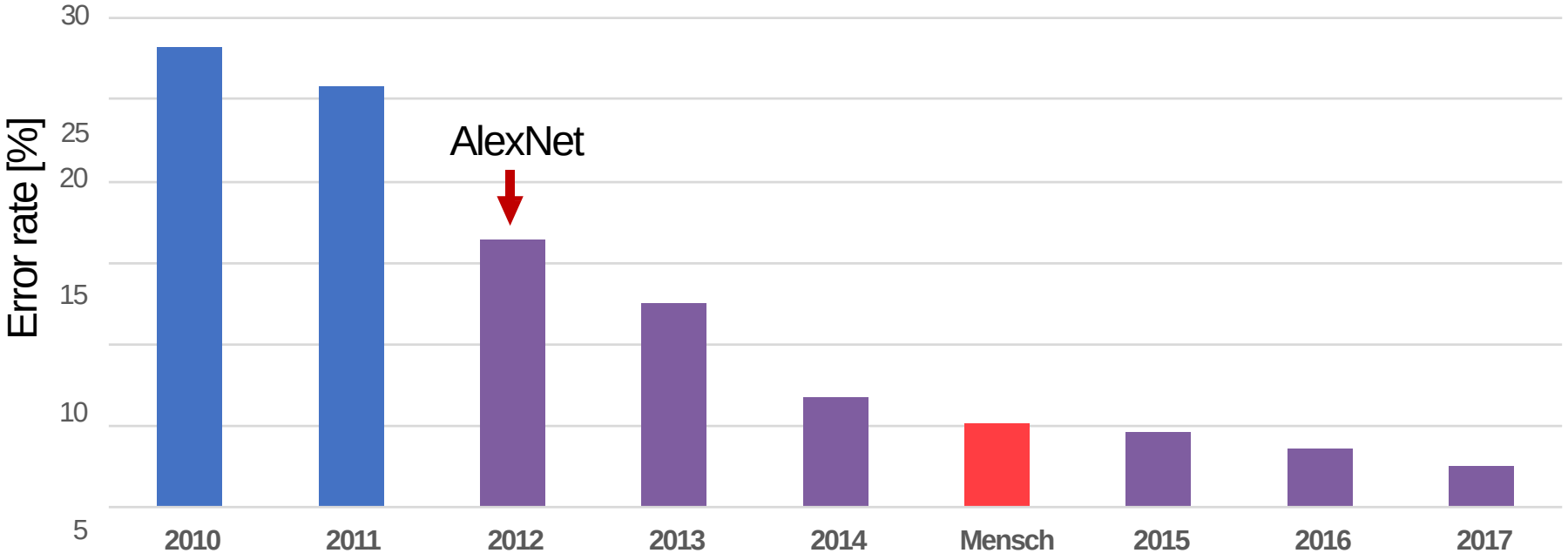
Produktion

Medizin, auton. Fahren

© Fraunhofer IPA

ImageNet Datensatz zur Bildklassifizierung

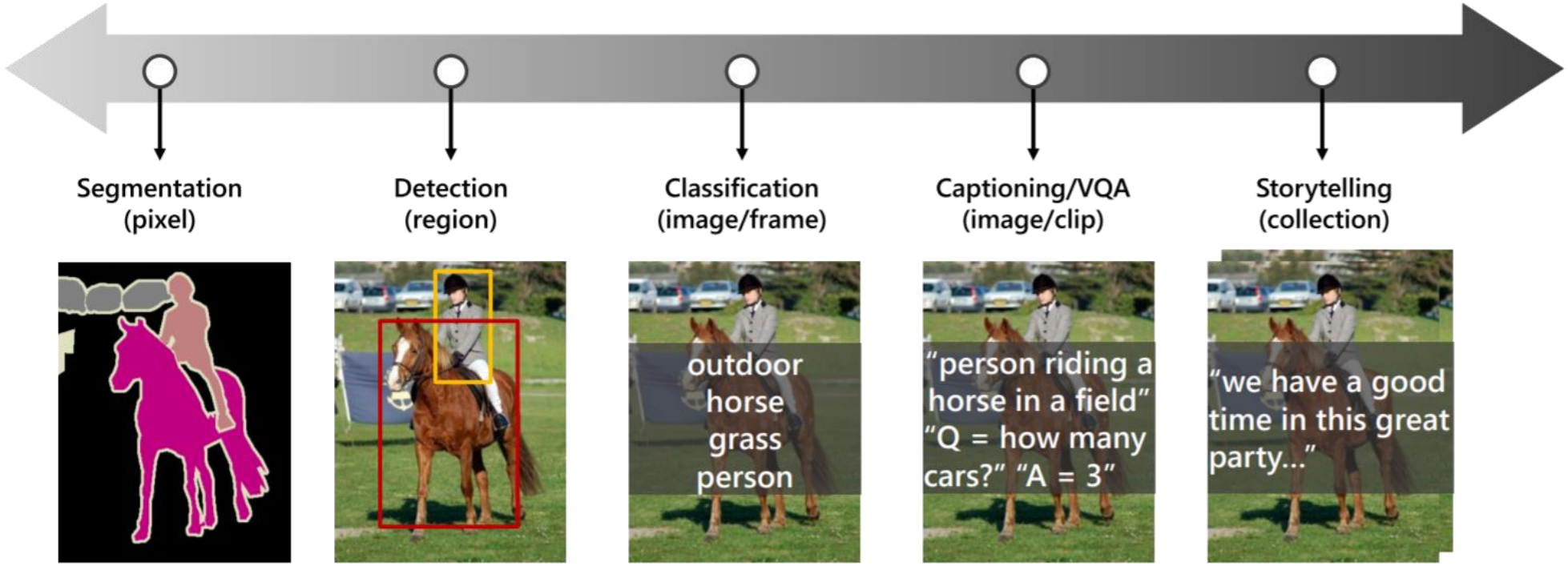
- 14 Mio. Bilder mit 1000 Klassen (z.B. Schiff, Hund)
- Klassifizierungsfehlerrate Mensch: ~5%



© Fraunhofer IPA
Fraunhofer IPA

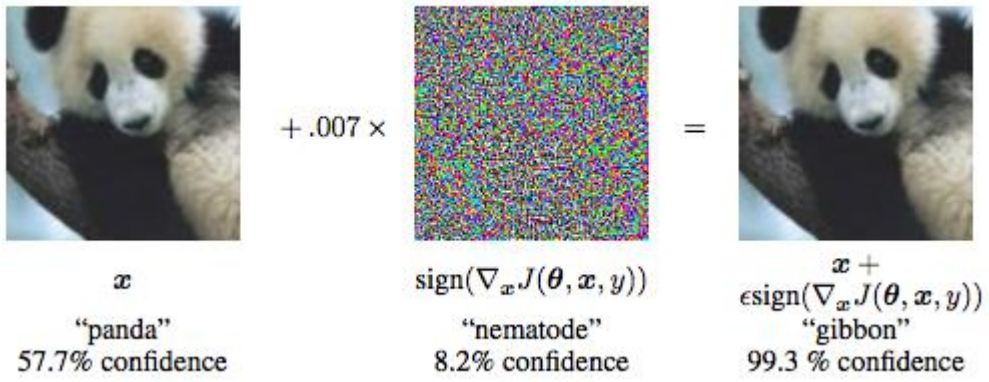
Typische Aufgaben von Computer Vision

- Mei, T. and Zhang C. (ACM 2017): Deep Learning for Intelligent Video Analysis

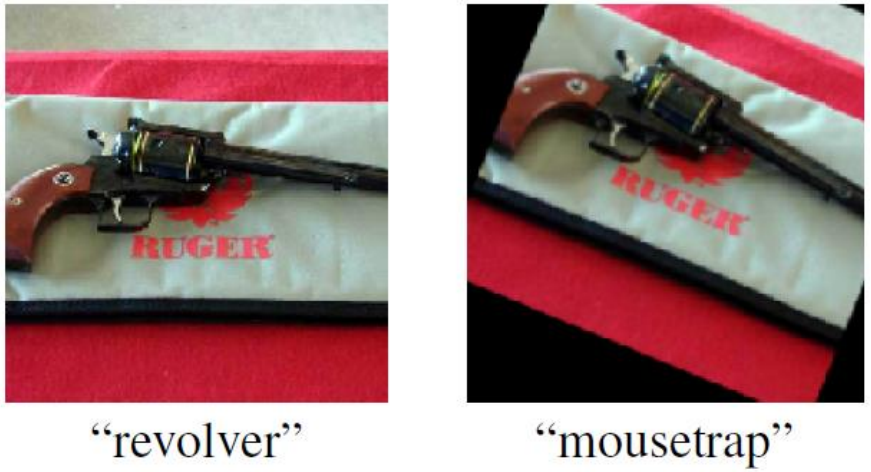


© Fraunhofer IPA
Fraunhofer IPA

Einschränkungen bei der Klassifizierung (Auszug)



Ian J. Goodfellow, Jonathon Shlens, Christian Szegedy.
Explaining and Harnessing Adversarial Examples, Dec 2014



Logan Engstrom, Dimitris Tsipras*, Ludwig Schmidt, and Aleksander Mądry.
A Rotation and a Translation Suffice: Fooling CNNs with Simple Transformations. NIPS Machine Learning and Computer Security Workshop, 2018

→ Derzeit Goldgräberstimmung, weitere Forschung notwendig für Safety, Security und Privacy

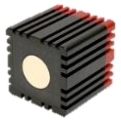
© Fraunhofer IPA
Fraunhofer IPA

Handhaben und Vereinzelung / Deep Grasping

Handhaben und Vereinzelung / Deep Grasping

- Vereinzelung chaotisch gelagerter Werkstücke und passgenaue Ablage
- Objekterkennung in 3D-Punktewolke der Kiste
- Flexible Software: einsetzbar mit verschiedensten Roboter-, Greifer- und 3D-Kameratypen
- Über 25 Industrieinstallationen im Einsatz

Typische Sensoren für Griff in die Kiste:

Laufzeit-messung	Phasenlage-messung	Lasertri-angulation	Stereovision
			
MESA SR4000	Sick LMS400	Leuze LPS36	Ensenso N10

Video: https://www.youtube.com/watch?v=xhTkgajg8wQ

© Fraunhofer IPA

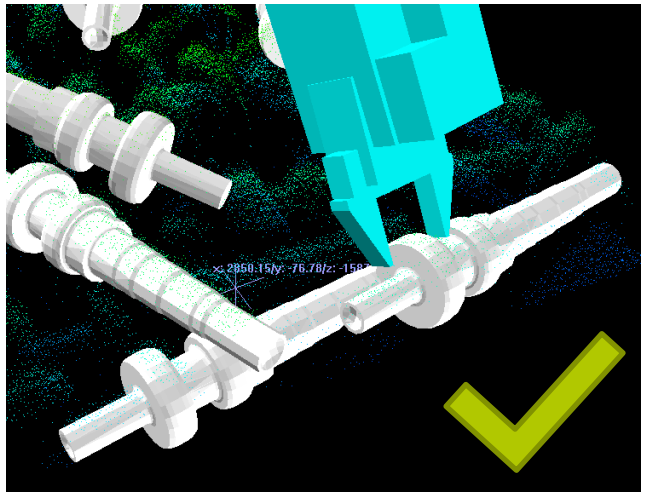
Fraunhofer IPA

Handhaben und Vereinzelung / Deep Grasping

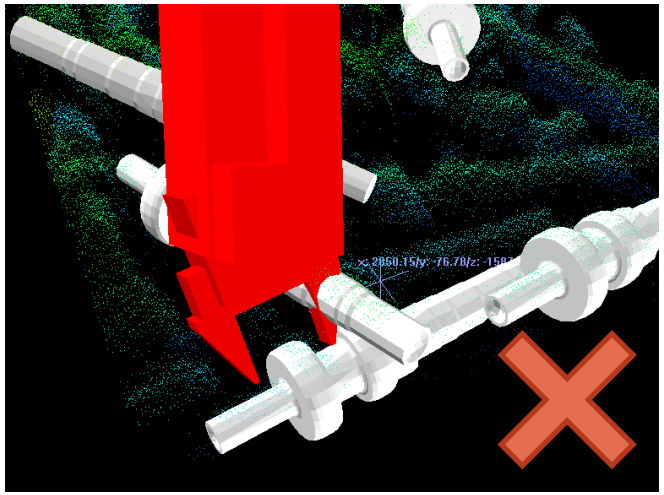
Modellbasierte Objektlageerkennung und Greifplanung

- Automatisches Einlernen der Werkstücke über ein CAD-Modell
- Lagebestimmung durch heuristische, modellbasierte Suche in Punktewolke und Modellabgleich
- Automatische oder manuelle Greifpunktdefinition am CAD-Modell
- Kollisionsvermeidung bei Griffauswahl in Szene und Armbewegung

Punktewolke mit lokalisierten Werkstücken



kollisionsfreier Griff



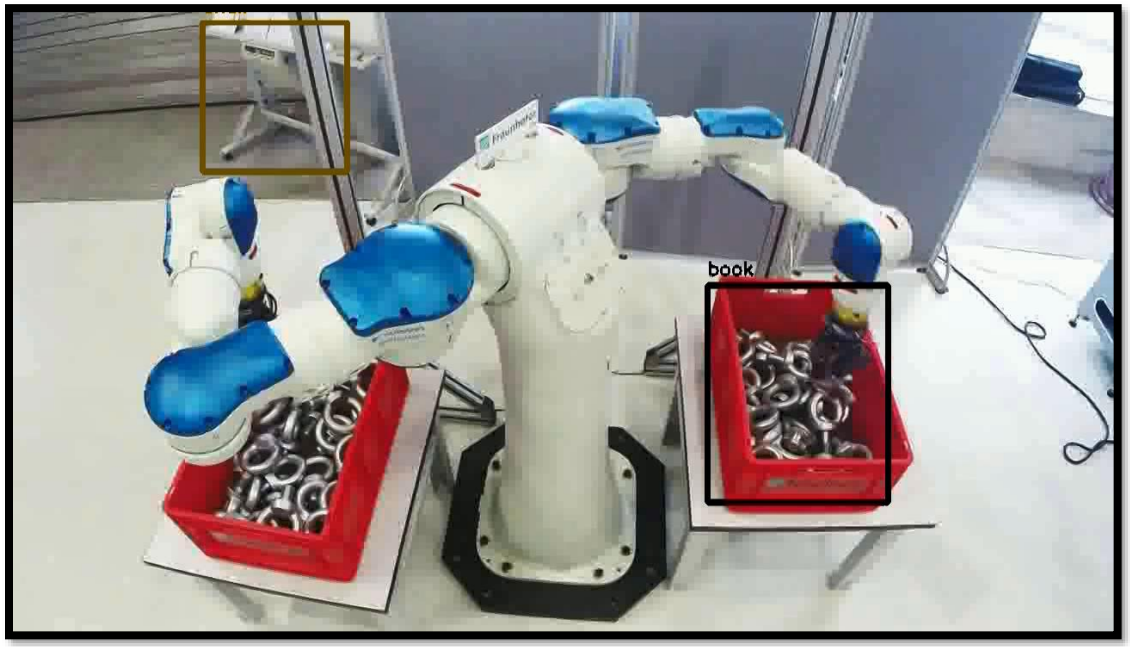
kollisionsbehafteter Griff

© Fraunhofer IPA

Fraunhofer IPA

Handhaben und Vereinzelung / Deep Grasping

You Only Look Once (YOLO)



- You only look once (YOLO): Real-Time Object Detection
- Video source: https://www.youtube.com/watch?v=xhTkgajg8wQ
- Fine-tuning of the network is needed!

© Fraunhofer IPA

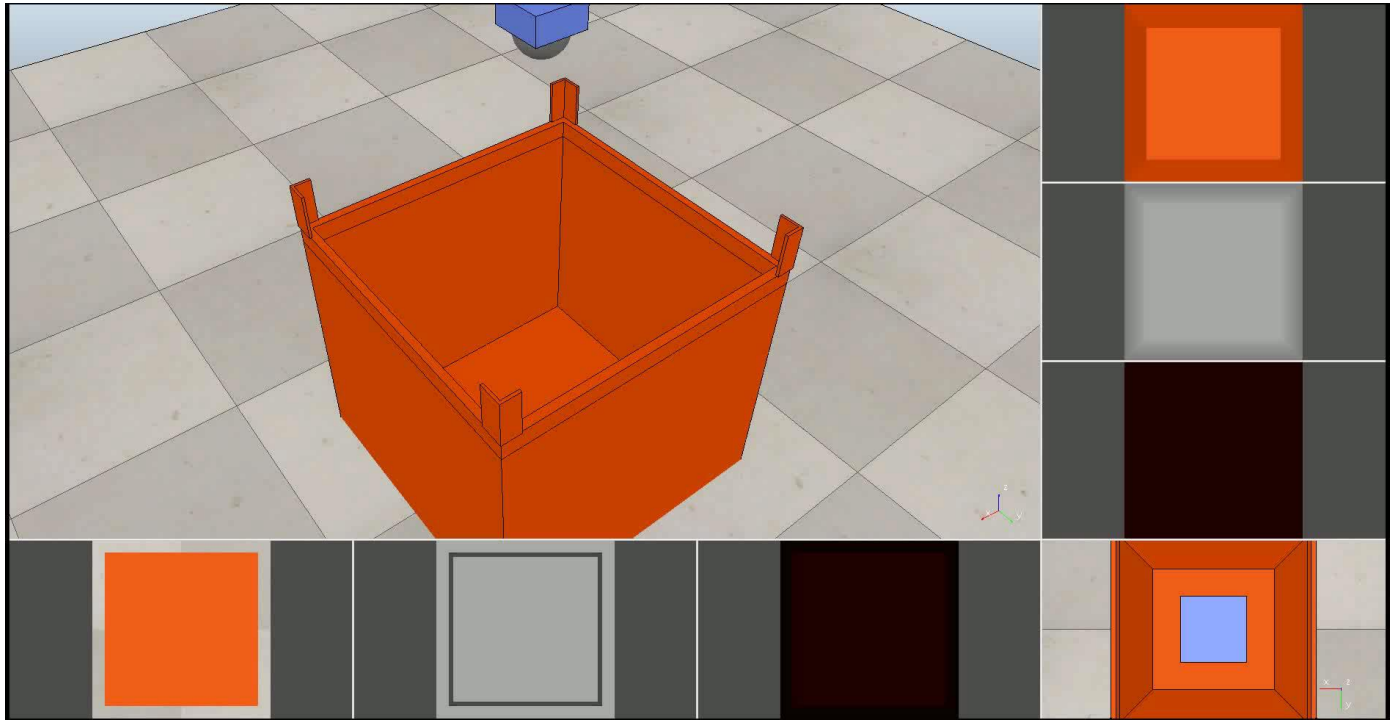
Quelle: https://www.youtube.com/watch?v=VOC3huqHrss

Fraunhofer IPA

Handhaben und Vereinzelung / Deep Grasping

KI-Methoden: Datengenerierung durch Simulation

- Trend: Einsatz von Methoden der künstlichen Intelligenz (KI) und des Machine Learning (ML)
- Bedarf an ausreichend vielen repräsentativen, annotierten Trainingsdaten (aufwändig, teuer)
- Simulation der Trainings-daten (schneller, günstiger)
- Sim-to-Real Transfer-techniken notwendig



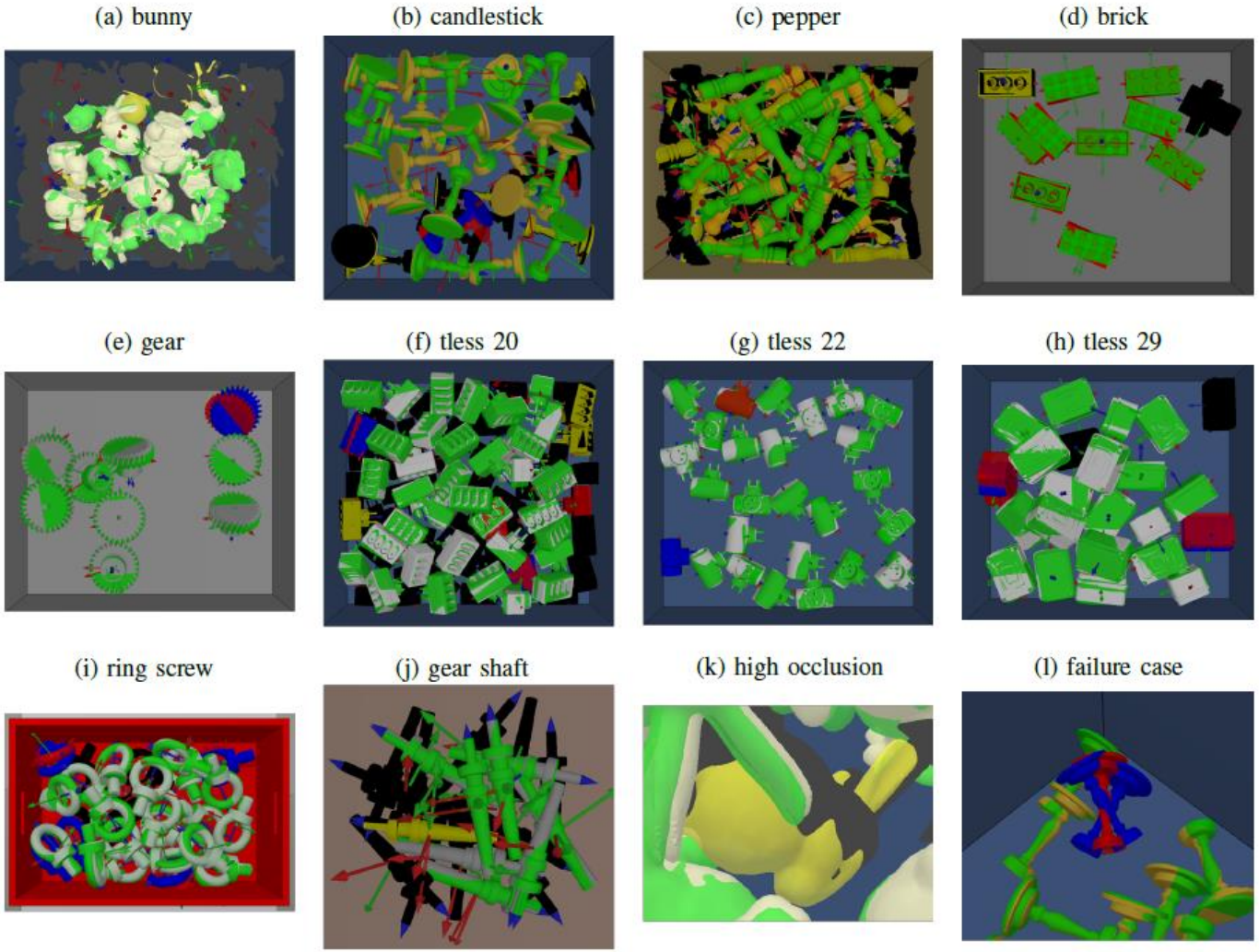
© Fraunhofer IPA
Fraunhofer IPA

Handhaben und Vereinzelung / Deep Grasping

KI-Methoden: Objektlageschätzung

Grau: reale Lage
Grün: erfolgreiche Lageschätzung
Gelb: erfolgreiche Lageschätzung trotz erheblicher Verdeckung
Blau + Rot: fehlende + falsche Lageschätzung

- Objektlageerkennung mit tiefen Neuronalen Netzwerken (CNN)
- Input: Tiefenbild
- Output: 6D-Objektposen
- Vorteile:
  - Extrem schnell (nur 13 ms pro Tiefenbild)
  - Robuste und genaue Posenschätzungen
  - Einfach skalierbar: kein Expertenwissen notwendig (einfach das 3D-Objektmodell importieren und automatisch lernen lassen)

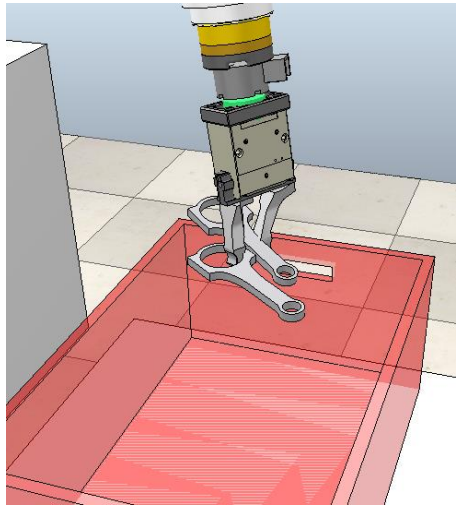


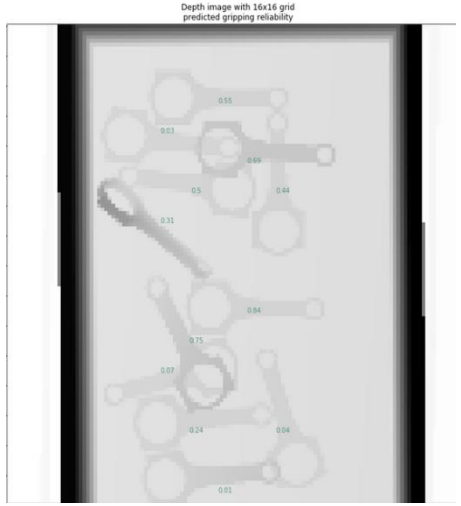
© Fraunhofer IPA
Fraunhofer IPA

Handhaben und Vereinzelung / Deep Grasping

KI-Methoden: Verhakungen vermeiden

- Physikalische Simulation verhakender Teile
- Nachbildung eines realen Greifprozesses in Simulation
- Training eines CNN mit Tiefenkarten der Kistensituation und Greifzuverlässigkeitslabel für jedes Bauteil
- Prognose des neuronalen Netzes für ungesehene Kistensituationen, in welcher jedes Bauteil auf Greifzuverlässigkeit bewertet wird
- Zusätzlicher Entscheidungsfaktor bei der Greifpunktauswahl
- Greifzuverlässigkeitssteigerung der Bauteilauswahl > 50%

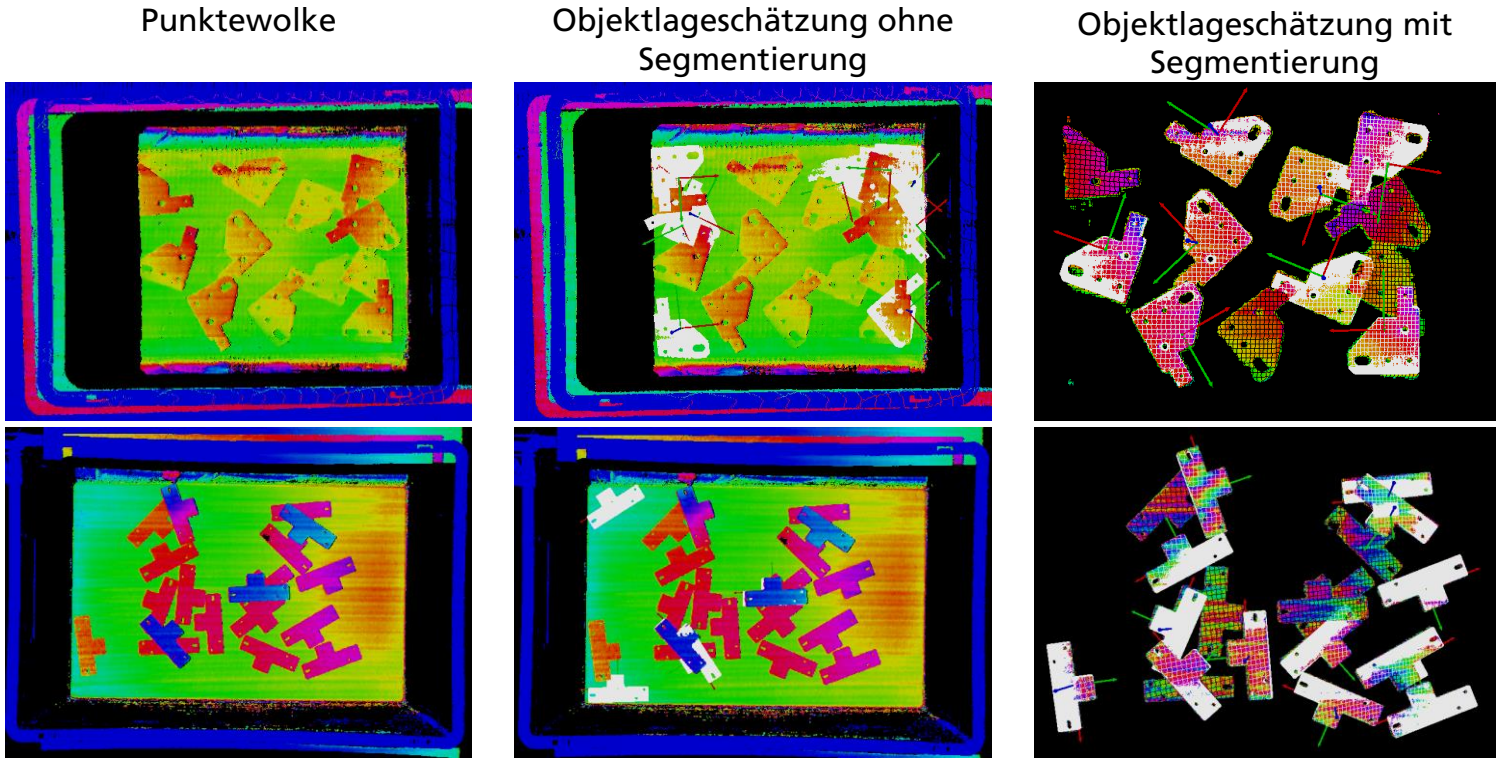




© Fraunhofer IPA

Handhaben und Vereinzelung / Deep Grasping

KI-Methoden: Segmentierung von Punktewolken



- Objektlageerkennung mit Segmentierung: deutlich höhere Anzahl erkannter Werkstücke
- Nützlich bis notwendig zur Objektlageerkennung flacher Teile
- Suchraumreduktion – Verkürzung der Objektlageerkennung um bis zu 1 Sekunde
- Netzwerk generalisiert, funktioniert mit untrainierten Werkstücken

© Fraunhofer IPA
Fraunhofer IPA

Handhaben und Vereinzelung / Deep Grasping

KI-Methoden: Segmentierung von Punktewolken → Einsatzbeispiel

© Fraunhofer IPA

Fraunhofer IPA

Roboterschweißen

Roboterprogrammierung heute

Teach-In Programmierung

- Viele Iterationen
- Aufwändige Mitarbeiterschulung
- Blockierung der Roboterzelle

Offline-Programmierung

- Aufwändige Expertensysteme
- Manuelle Anpassung in Roboterzelle nötig

Aktuelle Programmierlösungen stoßen bei kleinen Losgrößen und/oder geometrische Bauteilabweichungen ihre Grenzen

© Fraunhofer IPA
Fraunhofer IPA

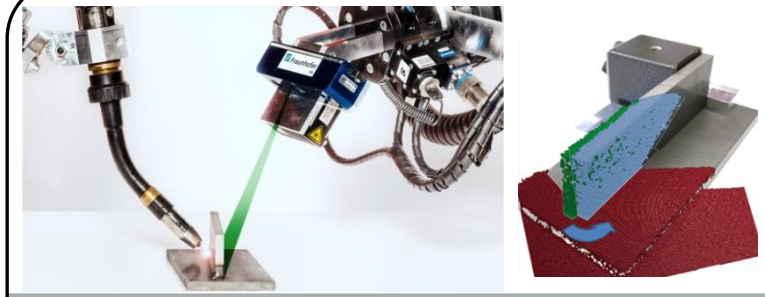
Erkennung geometrischer Bauteilabweichungen
Video

© Fraunhofer IPA

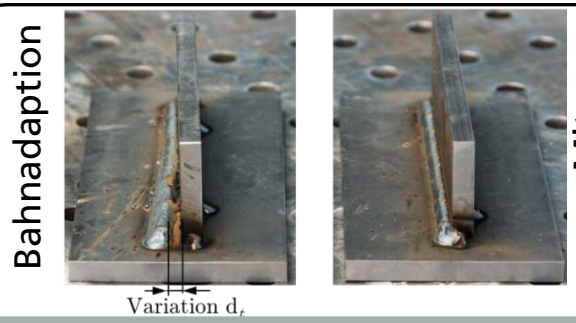
3D-Sensorik zur Erkennung von Bauteilabweichungen

- Detektion von geometrischen Bauteilabweichungen mittels innovativer 3D-Sensorik
  - Lage- und Formabweichungen
- Automatische Adaption von Schweißbahnen und Prozessparametern

- **Fehlertolerantes Robotersystem** (Roboter kann mit Abweichungen umgehen)
- Konstante Prozessqualität
- Erkennung von Lageabweichungen mit Genauigkeit von ca. 0,1 mm
- Erkennung von Formabweichungen aktueller Forschungsgegenstand



Erfassung geometrischer 3D-Bauteilabweichungen



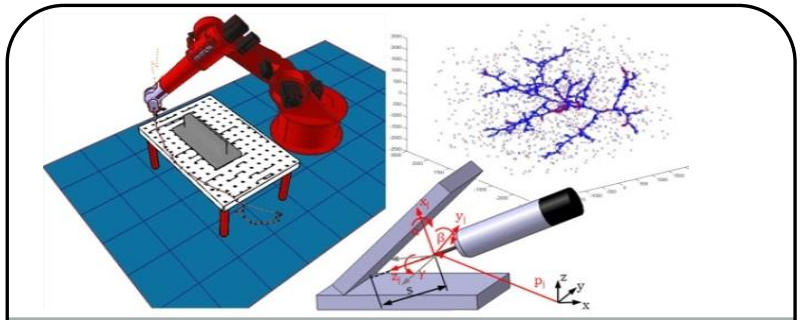
Automatische Adaption von Schweiß- und Bahnparametern

© Fraunhofer IPA
Fraunhofer IPA

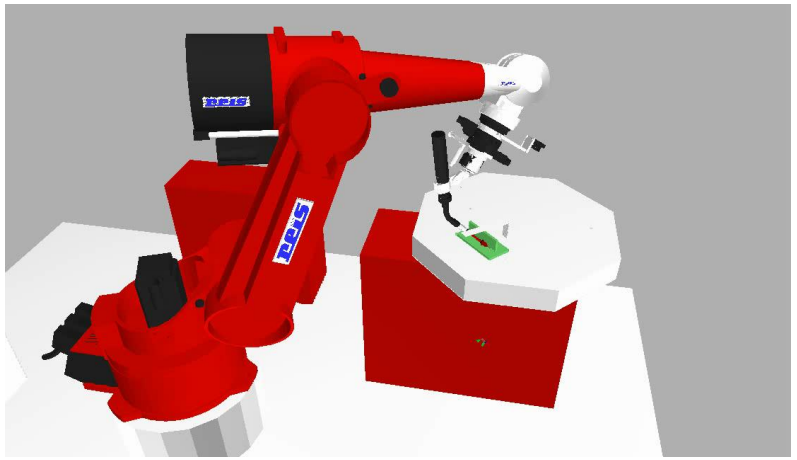
Optimale und kollisionsfreie Bahnplanung

- Automatische Berechnung kollisionsfreier Roboterbahnen
- Optimale Nutzung von Freiheitsgraden des Prozesses (z.B. z-Rotation um Schweißpistole)
- Einfache Definition tolerierbarer Bahnabweichungen

- ➢ Starke Reduktion der Programmierzeit (ca. 4 mal schneller als Offline-Programmierung)
- ➢ Reichweitenerhöhung
- ➢ Einfache Anpassung an Anforderungen/ Know-How in Unternehmen

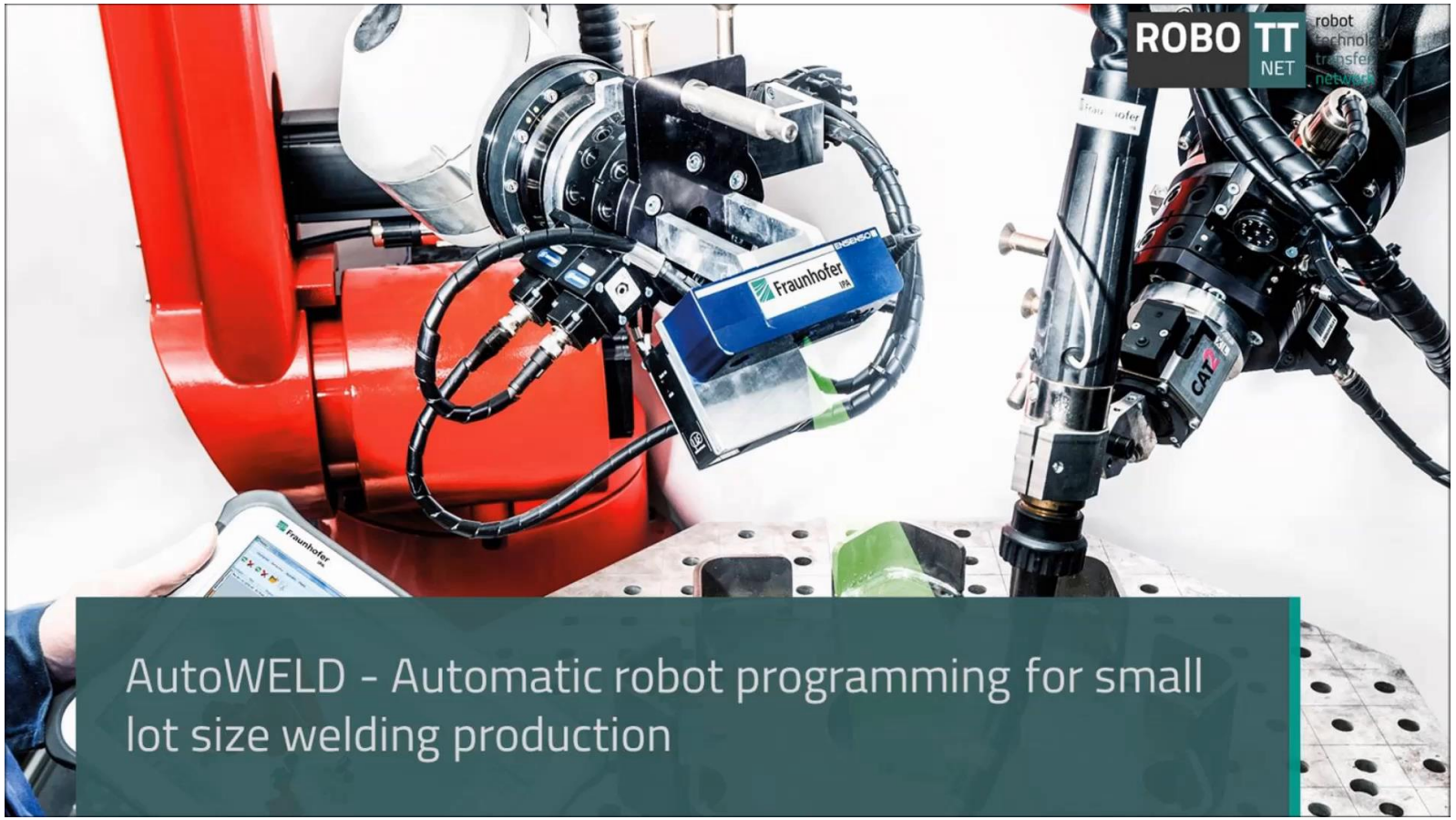


Intelligente und kollisionsfreie Bahnplanung



© Fraunhofer IPA
Fraunhofer IPA

Intelligente und kollisionsfreie Bahnplanung
Video



© Fraunhofer IPA
Fraunhofer IPA

Kognitive Industrieroboter für zukünftige Produktionssysteme

Wie geht es weiter, wenn Sie…

… eine »Griff-in-die-Kiste« Anwendung umsetzen möchten?	… eine herausfordernde MRK oder KI Projektidee umsetzen möchten?	… ein Machine Learning Experte werden möchten?
Einsatz der bewährten **bp3™ Software mit DeepGrasping**: • Machbarkeitsuntersuchung • Realisierung mit Systemintegrator	z.B. Computer-Aided-Risk Assessment, geschützte Kommunikation mit ROS 2, explainable AI, usw. Bewerben Sie sich auf einen **Quick Check** bis zum 10. Januar https://quickchecks.de/	Besuchen Sie unsere **ML-Expertenschulung „Cognitive Robotics“** - 5./6. Mai - 24./25. Juni - 24./25. November www.ipa.fraunhofer.de/cognitiverobotics

ROS-industrial conference, 10.-12.12. Stuttgart: https://rosindustrial.org/events/2019/12/10/ros-industrial-conference-2019

Kontaktdaten: Werner.Kraus@ipa.fraunhofer.de, 0711/970-1049

© Fraunhofer IPA
Fraunhofer IPA