



Dr.-Ing. Werner Kraus | Fraunhofer IPA |
Forschungsbereichsleiter Automation und Robotik
werner.kraus@ipa.fraunhofer.de | 0711/970-1049

Keynote: KI-basierte und
humanoide Robotik

Fraunhofer IPA als innovativer Partner für angewandte Forschung im Bereich Automatisierung und Robotik

Angewandte Forschung Made in Germany

- ❖ Fraunhofer ist eine der weltweit führenden Organisationen für angewandte Forschung mit >30.000 Mitarbeitern
- ❖ IPA eines von über 70 Instituten
- ❖ KPI Fraunhofer IPA:
 - ❖ >1.000 Mitarbeiter
 - ❖ über 1.000 Industrieprojekte pro Jahr
 - ❖ ~ 100 Mio. € Budget
 - ❖ Fokus auf Automatisierung und Robotik

Zwei innovative Roboterstandorte für das IPA

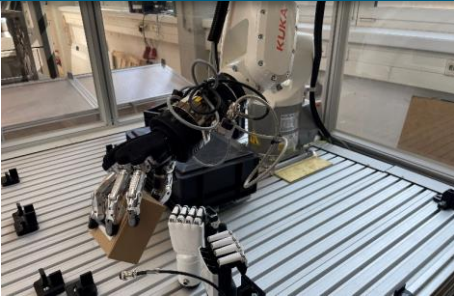


Hervorragende Infrastruktur für ein europäisches Forschungsinstitut



Mehr als 70 wissenschaftliche Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter für die Lösungsfindung Ihrer Automatisierungs-Herausforderung

**Handhabungsprozesse
und Dexterity**



**Roboterprozesse und
Kinematiken**



**Automatisierungs-
planung**



**Kraftgeregelte
(De-)Montage**



**Navigation mobiler
Roboter**



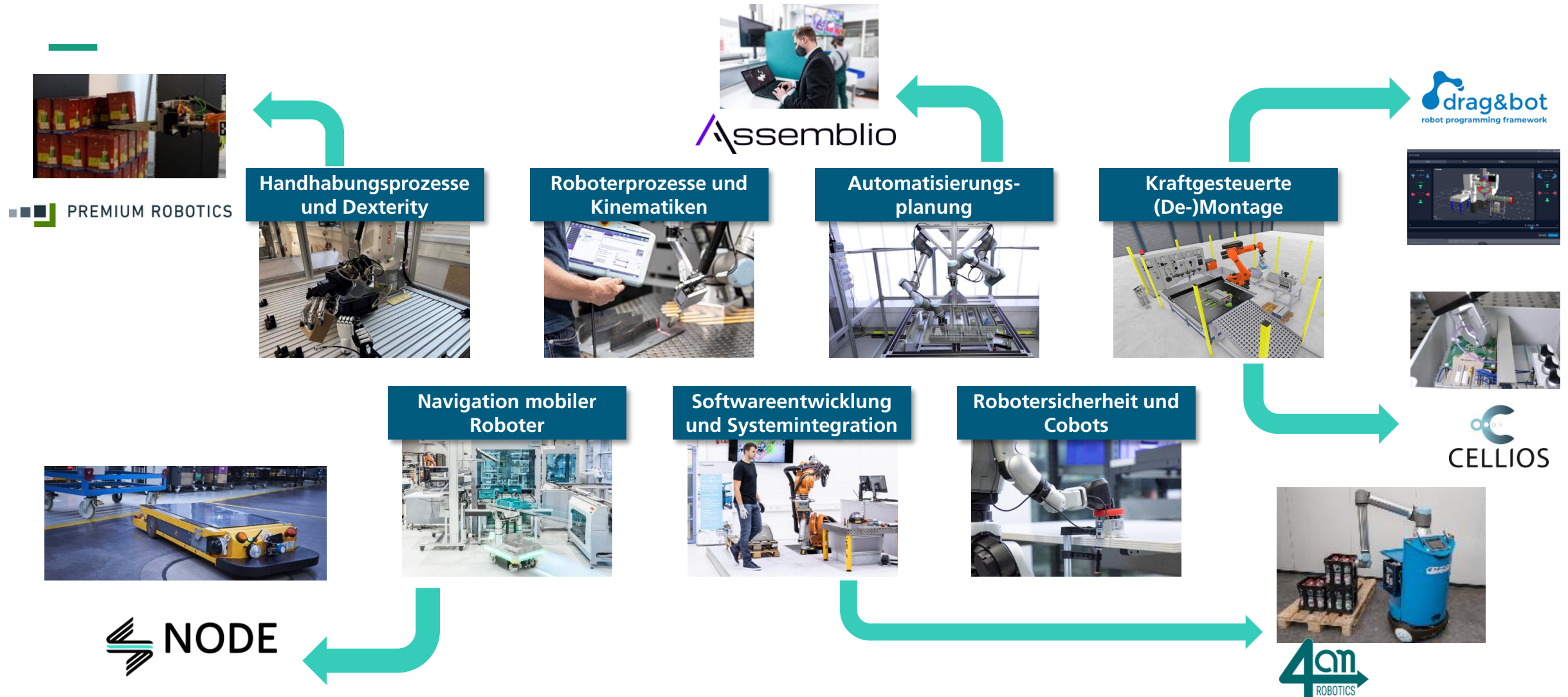
**Software Engineering
und Systemintegration**



**Robotersicherheit und
Cobots**

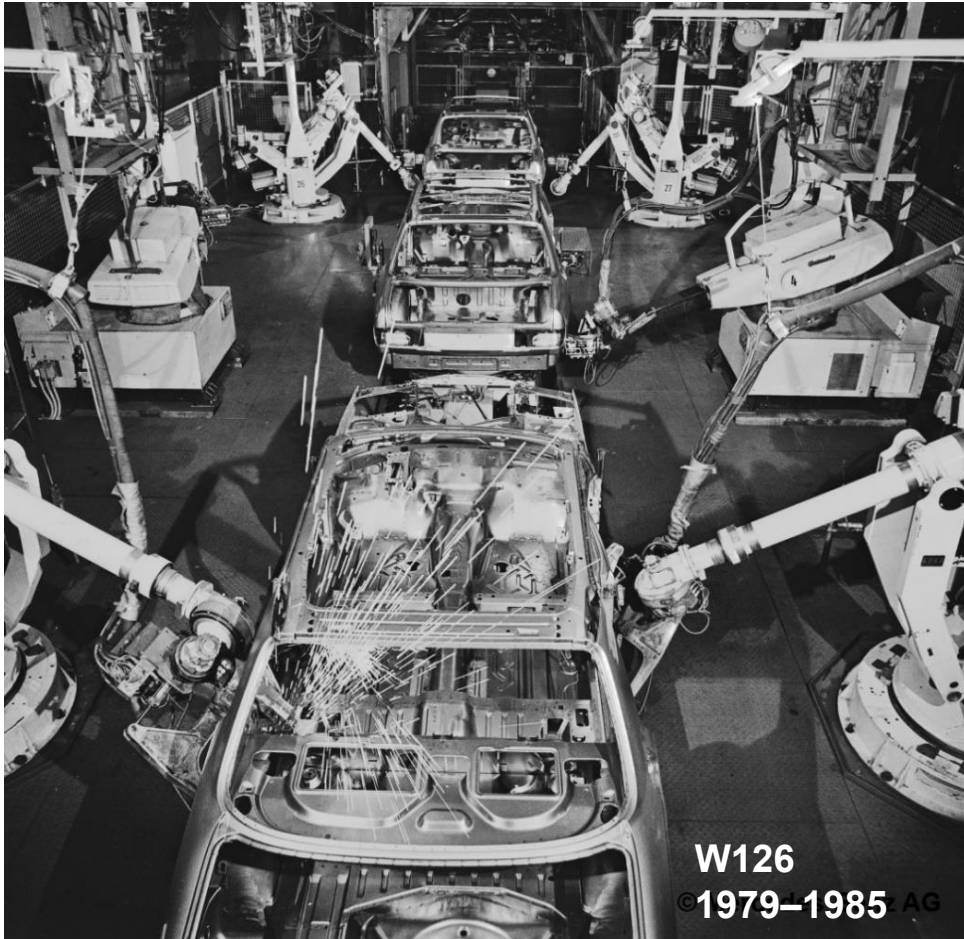


Robotik am Fraunhofer IPA – unsere Spin-offs



Industrieroboter in der Massenproduktion

Seit 50 Jahren erfolgreich in der Automobilproduktion



Quelle: <https://mercedes-benz-publicarchive.com/marsClassic/en/instance/picture/S-Klasse-Karosserierohbau-Schweisstrasse.xhtml?oid=33492362>



Quelle: <https://trendkraft.io/wirtschaft-geschaeft/audi-stoesst-rekord-investitionen-von-rund-e-22-mrd-bis-2018-an/>

Pick & Pack

LogiMAT 2024

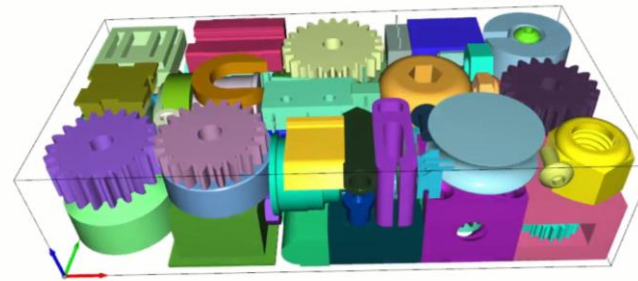


3D-Containerpackung für beliebig geformte Objekte

Globale Planung für ganze Aufträge

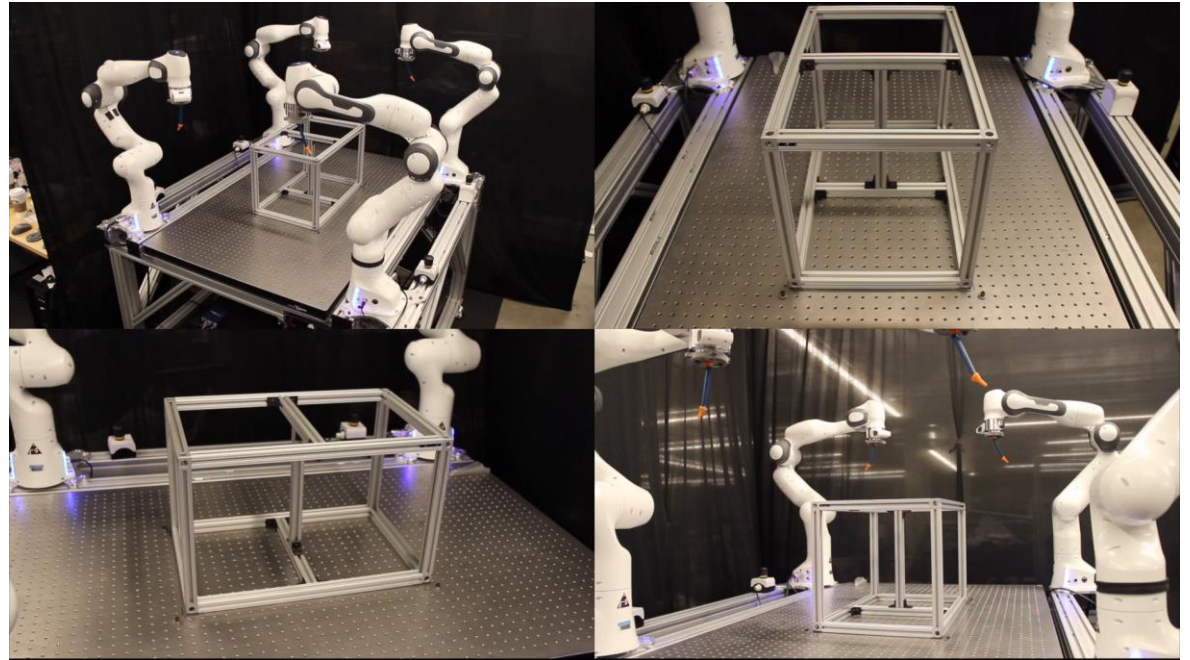
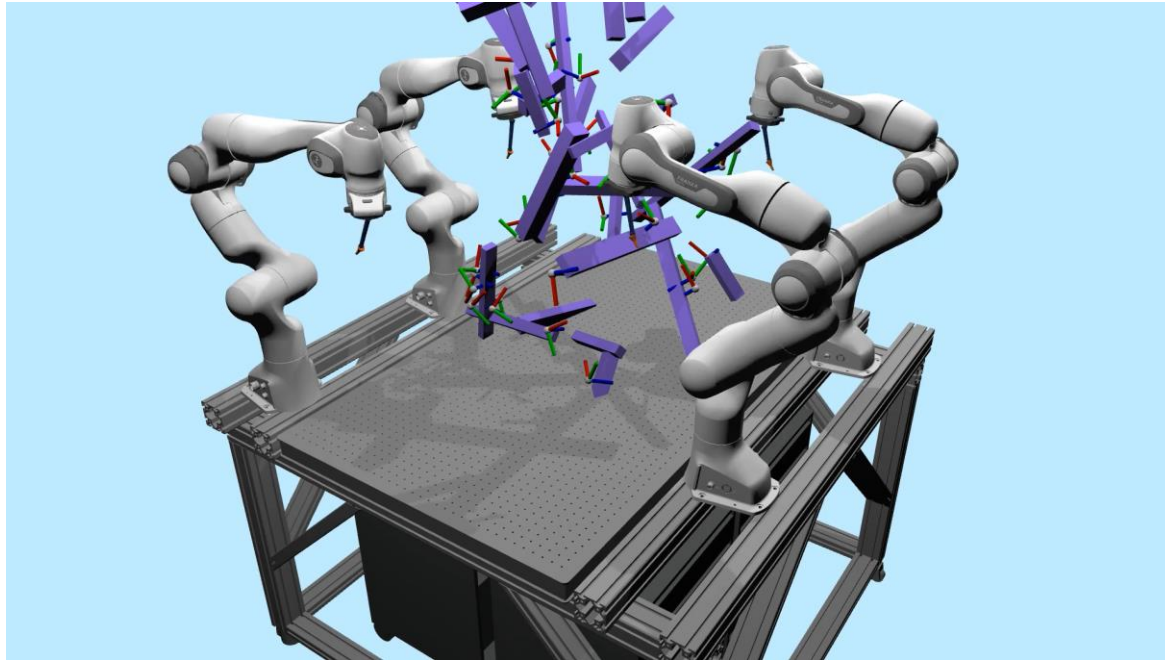
Statische Planung für optimierte Anordnungsmuster und Verpackungssequenzen für ganze Aufträge

- Statische Planung für **global optimierte** Platzierungskonfigurationen für 3D-Freiformobjekte in 6 Freiheitsgraden (erfordert 3D-Stammdaten der Artikel)
- Optimierte **Sequenzierung**
- Optimierte Roboter-Anfahrbahn
 - Nicht nur auf Top-Loading beschränkt
 - Komplexe Bahnen mit Unterschnitten möglich
- Schnelle Planung mit hoher Präzision



KI-gestützte Industrierobotik

KI ermöglicht enorme Effizienzsteigerungen bei klassischen Roboteraufgaben



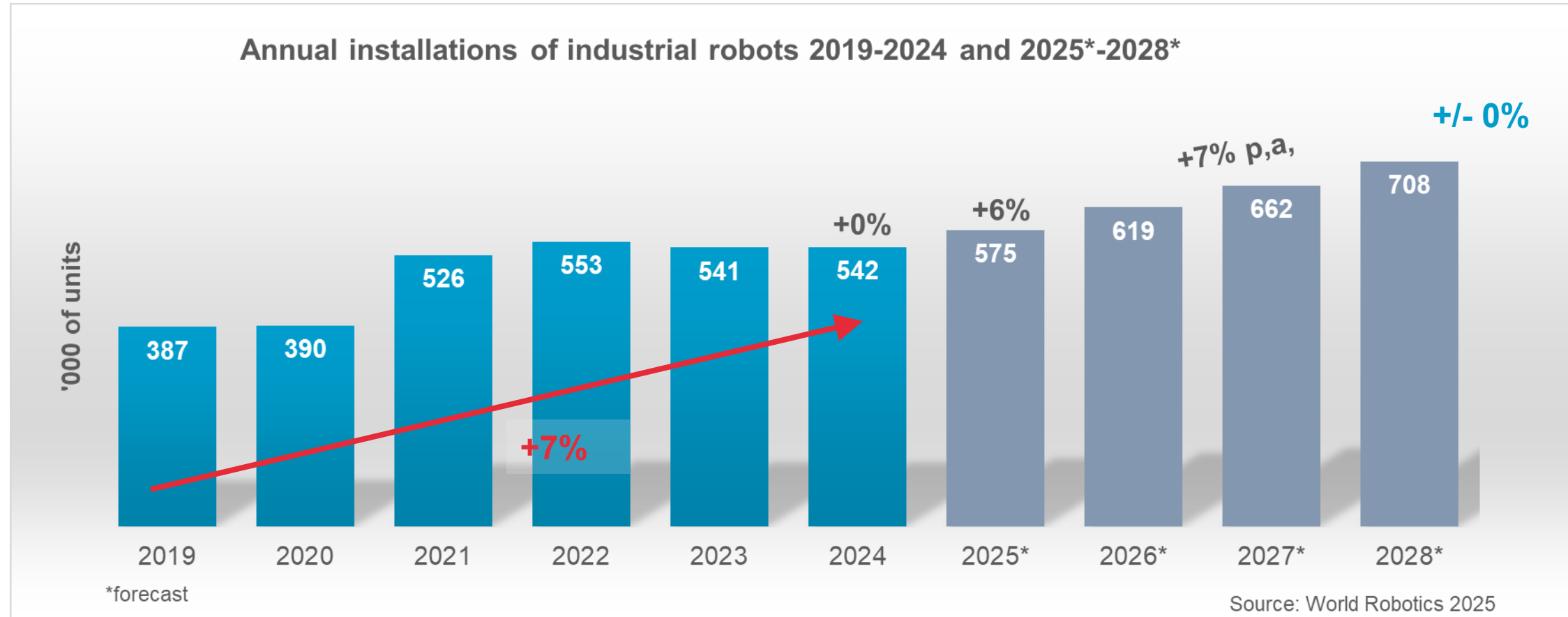
RoboBallet von Google Deepmind: Planung für Multi-Roboter-Greifvorgänge mit graphischen neuronalen Netzen und verstärktem Lernen. Labortests zeigten:

- Übertreffen herkömmliche Methoden und von Experten entwickelte Lösungen um etwa 25 %.
- Starke Ergebnisse bei der Skalierung von vier auf acht Roboter, wobei die durchschnittliche Zeit zur Ausführung von Aufgaben um 60 % reduziert wurde

Matthew Lai, Keegan Go, Zhibin Li, Torsten Kröger, Stefan Schaal, Kelsey Allen, Jonathan Scholz: RoboBallet: Planning for multirobot reaching with graph neural networks and reinforcement learning, Science Robotics

Weltroboterstatistik

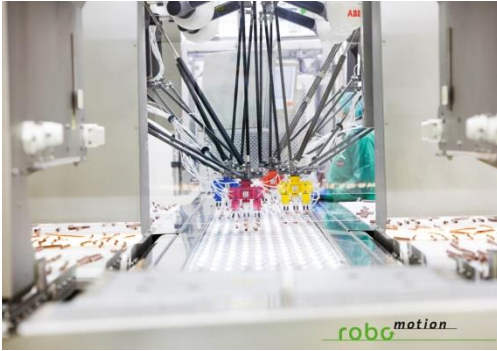
542.000 neu installierte Industrieroboter weltweit 2024, 12% davon Cobots



Die wichtigsten Anwendungen und Prozesse

Verteilung der Neuinstallationen von Industrierobotern weltweit

Handling (52%)



Clean Room (6%)



Welding (17%)



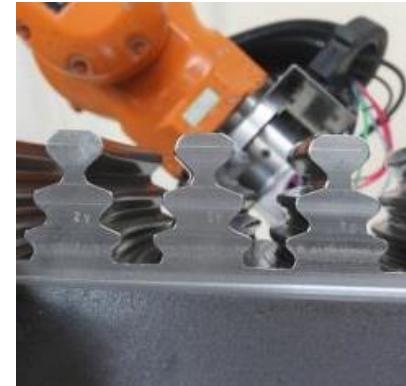
Assembly (9%)



Machining (1%)



Dispensing (3%)



World Robotics Report; www.worldrobotics.org, Sept. 2025

Bringing ROS to the industry since 2013

A vibrant ROS-driven ecosystem democratizing robotics
and enabling global adoption of innovative capabilities for industry.

- Align priorities across three independent consortia through collaboration and shared infrastructure
- Promote dialogue and coordinate capability development via a joint roadmap
- Reduce duplication by sharing tools and focusing on complementary software functions

- Engage members through roadmapping, workshops, and education
- Develop and share foundational technologies for real-world industrial use
- Support adoption with training, technical guidance, and best practices

- Co-leading with SwRI and ARTC A*. Our consortium members are industry and research institutes from Europe. We share partners from other Consortia.



ROS-Industrial repositories

813 followers

<http://rosindustrial.org>

Three research-led consortia
united by a **Memorandum of Understanding**



(RIC-NA)

San Antonio, USA



(RIC-EU)

Stuttgart, Germany



(RIC-AP)

Singapore

Global Members (EU-NA-AP)



ROS-Industrial Consortium

Bringing ROS to the industry since 2013

Activities

Technical support for our members

- On-call support for your development projects that leverage ROS 2 as a robotics framework

Joint Project and collaboration

- Shared cost for the dev. of common software infrastructure
- Exchange between developers

Promote ROS-Industrial technologies and tools

- We actively promote the ROS-Industrial Consortium by showcasing its technologies and project outcomes at major trade fairs and industry events.

Provide trainings

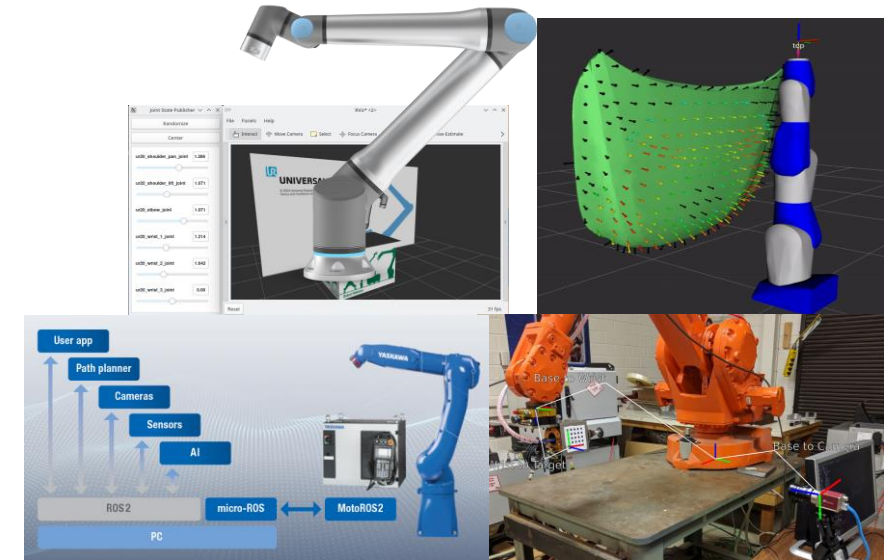
- Basics and advanced workshop and trainings based on the ROS 2 framework

Organize networking events

- The ROS-Industrial Conference, the ROS-Industrial Developer Meeting and various ROS Meet-ups.

Projects and tools

- [ros2_canopen](#)
- [industrial_ci](#)
- [UR drivers](#)
- [Yaskawa drivers](#)
- [industrial calibration](#)
- [scan-n-plan](#)
- [REACH](#)
- ...



Events and Trainings

[ROS-I conference](#)
[ROS-Meetup](#)
[ROS-I dev meeting](#)



Updates from ROS industrial conference 2025

Conclusions / observations

Good things

- many usecases in industrial context
- interoperability reached via ros2_control integrating fieldbus communication
- documentation on standardization and tesseract in progress,
- asynchronous controller integration in ros2_control

Challenges

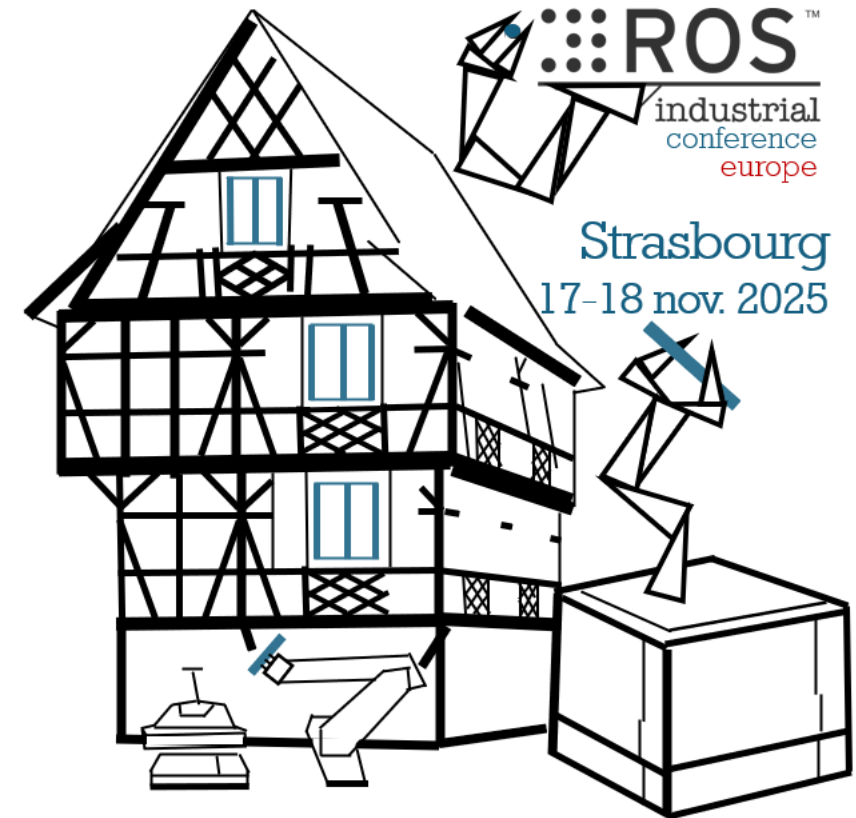
- documentation missing,
- realtime performance to be improved

Expectation

- EU project like a ROSin 2.0

Trends

- driver development (kuka, yaskawa, UR, ros2-control fieldbus)
- behavior tree usage (intrinsic, ipa, picknik)
- safety topics discussed using ROS and AI for safety
- Visit of the T&S Englab showing outdoor mobile robots and AI integration in flexible production line and showing new HMI



Motivation

Challenges in Modern Automation

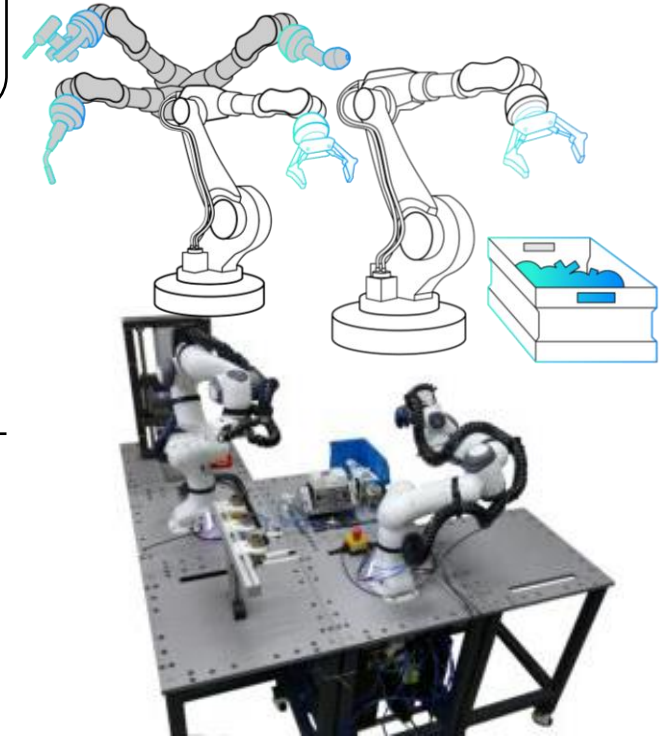
“Modern industrial robots are becoming more connected, intelligent, and versatile, enabling task switching within the same workday.”
- International Federation of Robotics (IFR) 2021

Industrial Demands:

- **Flexible** and **reconfigurable** automation systems
- Robots capable of **quick task** or **product switching**
- Consistent application **quality** and **reliability**
- **Reduced downtime** and **easy system adaptation**

Current Challenges

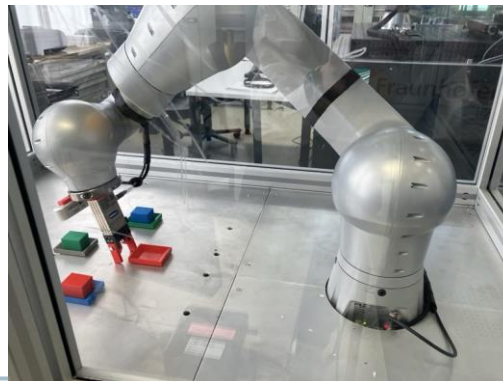
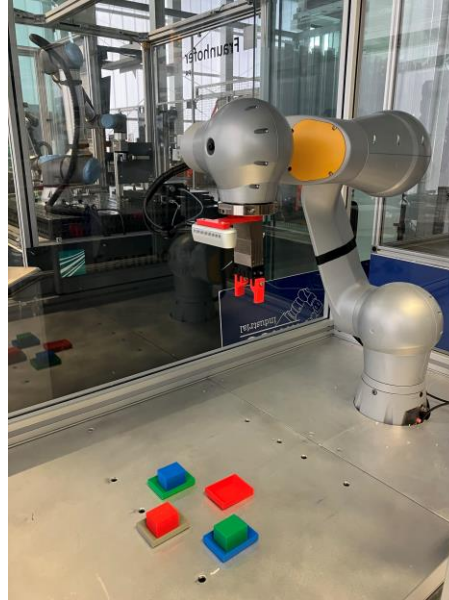
Need	Current Limitation
Flexibility	Reconfiguration requires manual code changes; limited reuse of software modules
Integration	Tight coupling between hardware and software; low interoperability across vendors
Resilience	Failures often stop production; limited automated recovery and fault tolerance
Transparency	Poor runtime monitoring and system awareness hinder optimization and diagnosis



Reconfigurable robotic assembly work cell
Source: <https://digitalfactoryalliance.eu/a-reconfigurable-robot-workcell/>

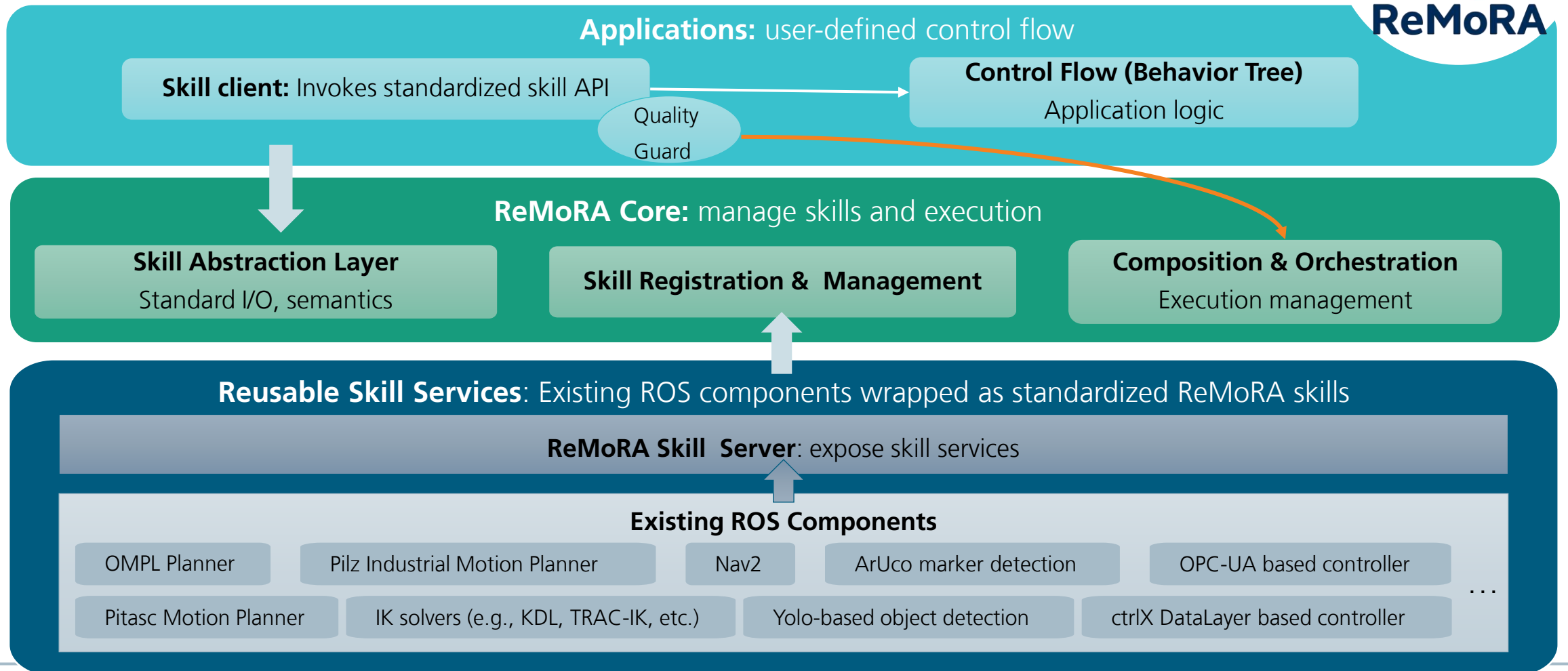
Motivation

System integration and application creation



Our Solution

ReMoRA – Resilient Modular Robotic Application Framework



ReMoRA workflow

Reusable → Composable → Deployable → Executable

ROS2™

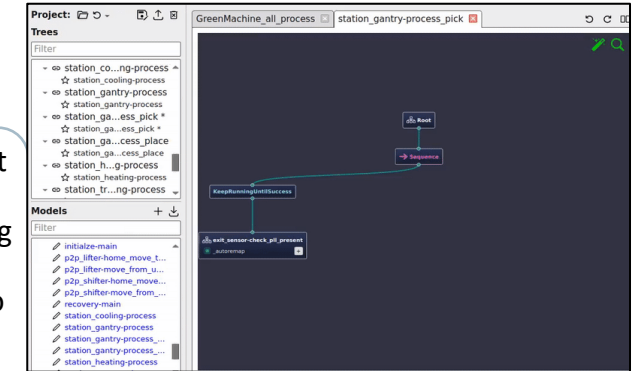


- Includes general-purpose automation functions that can be applied across multiple robots and processes.
- Skills are developed once and reused across multiple applications.

Reusable and Extensible Skill Library

Visual Application Design

- Users create robot applications by dragging, dropping and configuring skills in Groot¹ to create BehaviorTree²

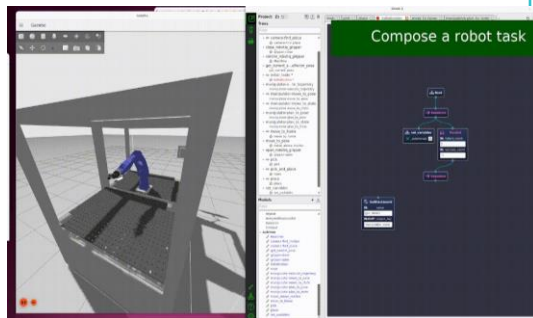


Interactive Execution with RViz Plugin

Easy and Flexible Deployment



- All software components and skills run in Docker containers, ensuring easy deployment and consistent environments across systems.



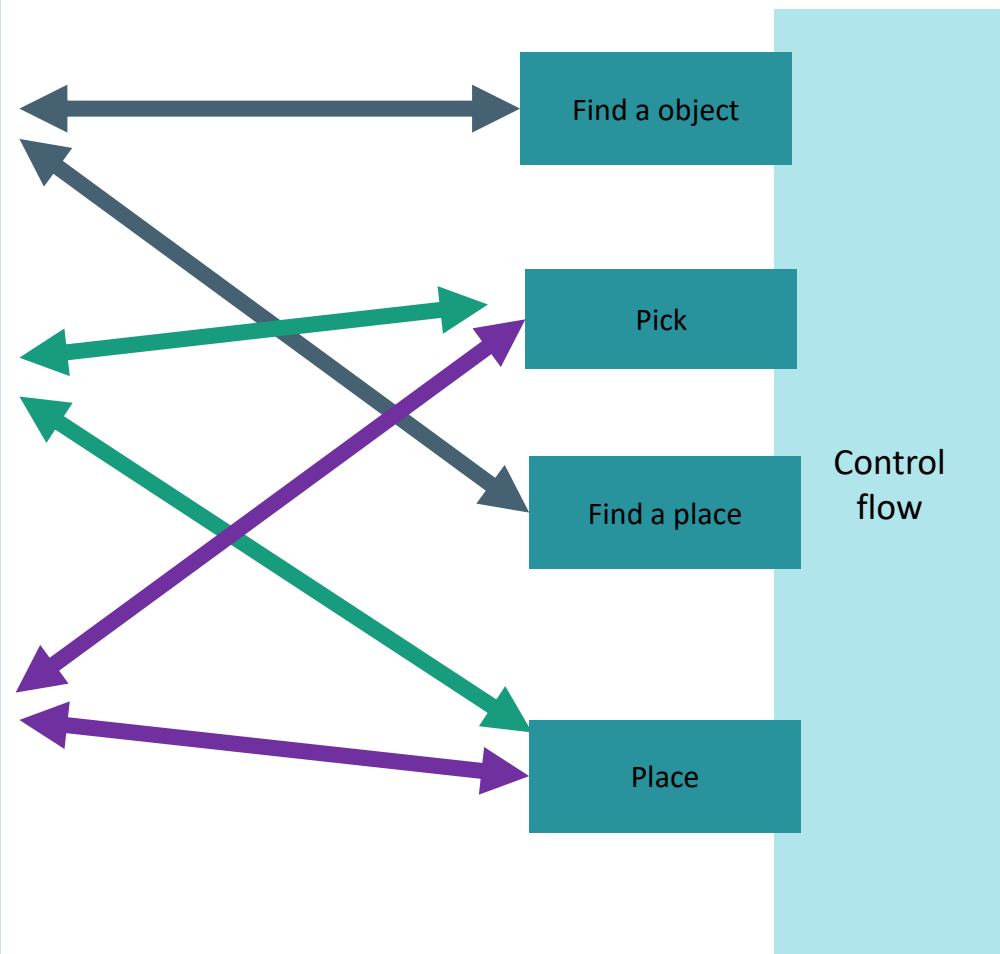
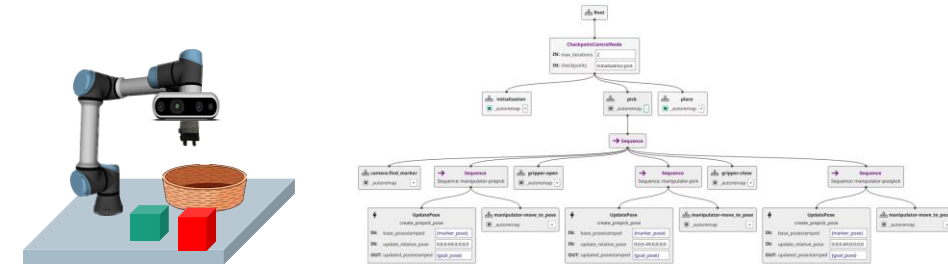
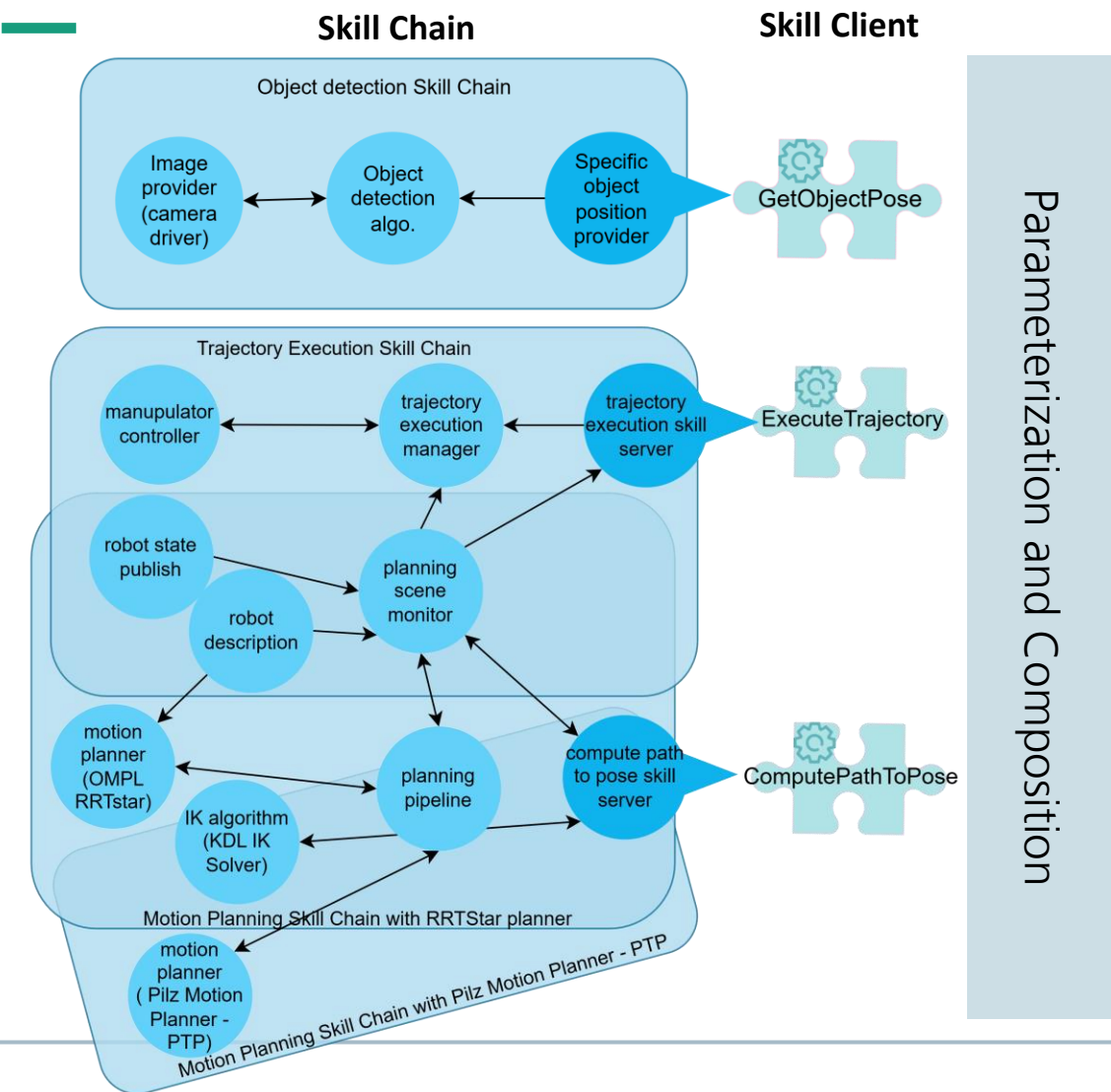
- Users select and execute full application flows or individual tasks.
- Facilitates quick testing and debugging of application logic in simulation or real hardware — enabling seamless iteration from design to execution.

1. <https://www.behaviortree.dev/groot/>

2. <https://www.behaviortree.dev/>

Case study

“pick-and-place” application with ReMoRA



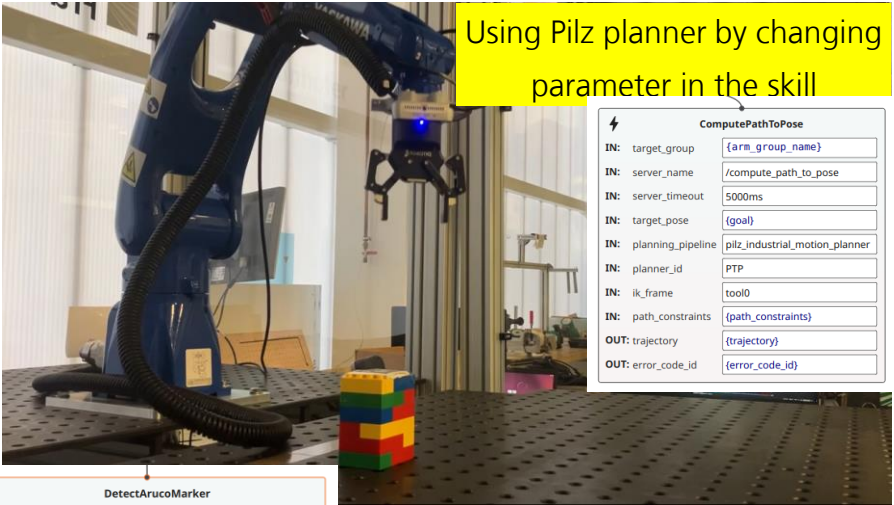
Demo

ReMoRA: robot applications

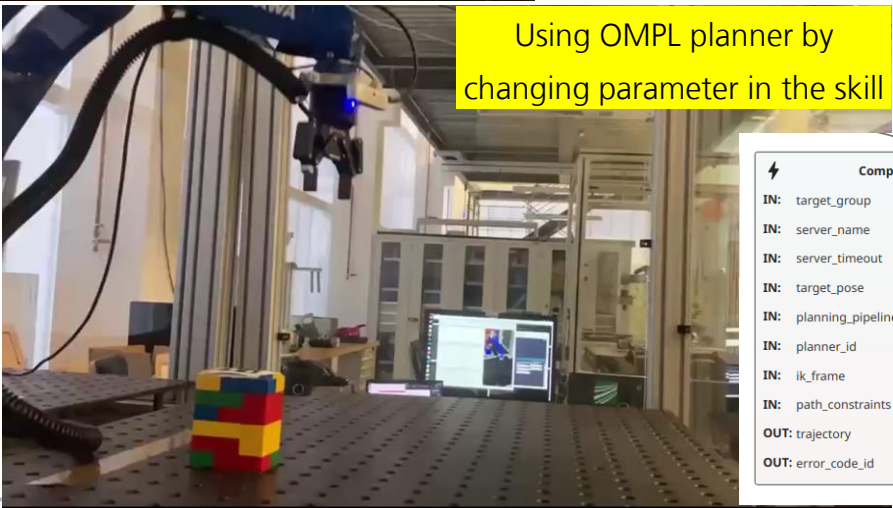


⚡	DetectArucoMarker
IN: marker_id	42
IN: server_name	/perception_skill/detect_aruco_marker
IN: server_timeout	20ms
IN: sub_topic_name	/marker_publisher/markers
IN: required_pose_num	2
OUT: marker_pose	{marker_pose}
OUT: error_code_id	{error_code_id}

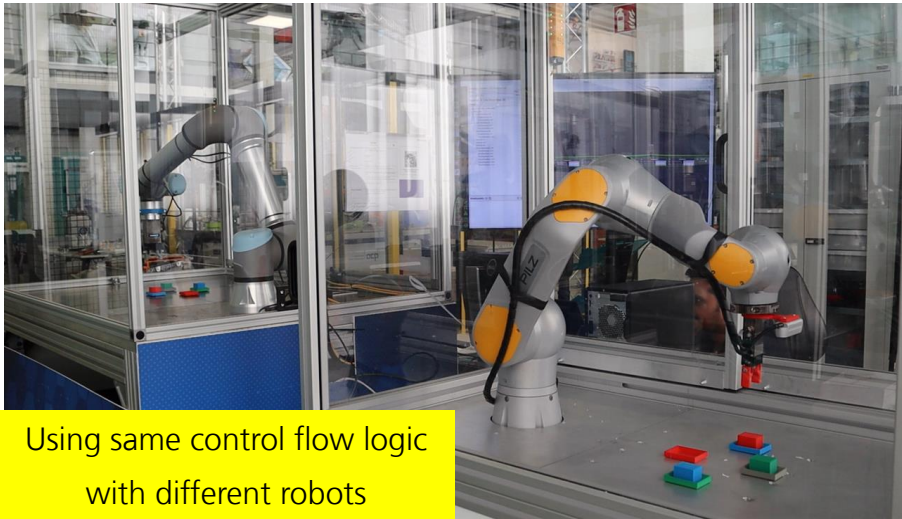
⚡	LegoPoseEstimator
IN: color	{color}
IN: server_name	/lego_pose_estimator
IN: timeout	10000ms
IN: server_timeout	10000ms
IN: sub_topic_name	/lego_pose_estimator/lego_pose_array
IN: lego_pose	{lego_pose}
IN: error_code_id	{error_code_id}



⚡	ComputePathToPose
IN: target_group	{arm_group_name}
IN: server_name	/compute_path_to_pose
IN: server_timeout	5000ms
IN: target_pose	{goal}
IN: planning_pipeline	pilz_industrial_motion_planner
IN: planner_id	PTP
IN: ik_frame	tool0
IN: path_constraints	{path_constraints}
OUT: trajectory	{trajectory}
OUT: error_code_id	{error_code_id}

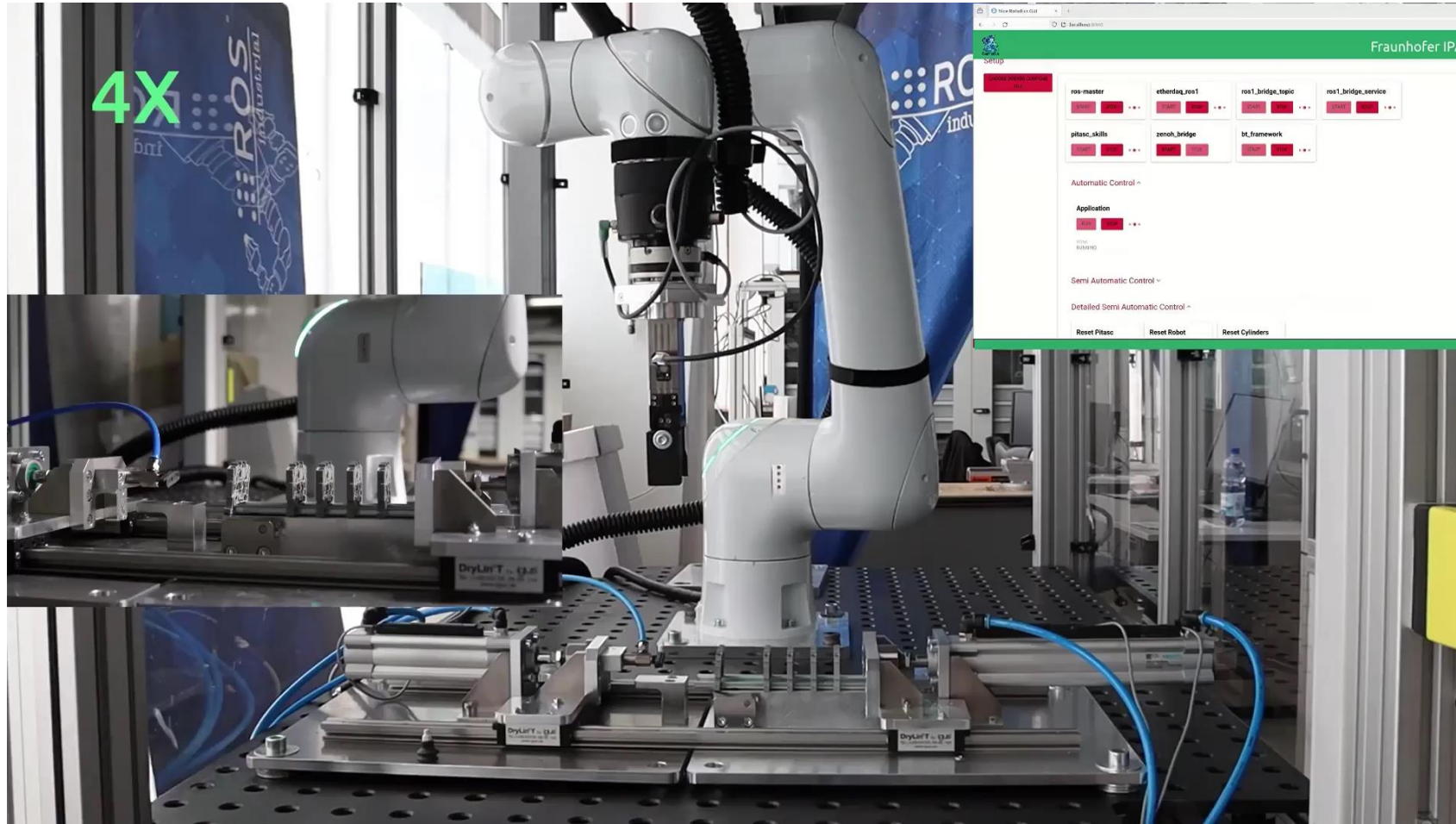


⚡	ComputePathToPose
IN: target_group	{arm_group_name}
IN: server_name	/compute_path_to_pose
IN: server_timeout	5000ms
IN: target_pose	{goal}
IN: planning_pipeline	ompl
IN: planner_id	RRTConnect
IN: ik_frame	gp7_tool_tip
IN: path_constraints	{path_constraints}
OUT: trajectory	{trajectory}
OUT: error_code_id	{error_code_id}



Demo

ReMoRA: Integrate robot with industrial devices



Assemble and disassemble:

- Control industrial devices:
 - CtrlX (ros2control)
 - (OPC-UA with PLC)
- Motion Planner:
 - Pitasc (developed by IPA)
<https://pitasc.github.io/>



ReMoRA Extension: LLM-assisted Application Generation

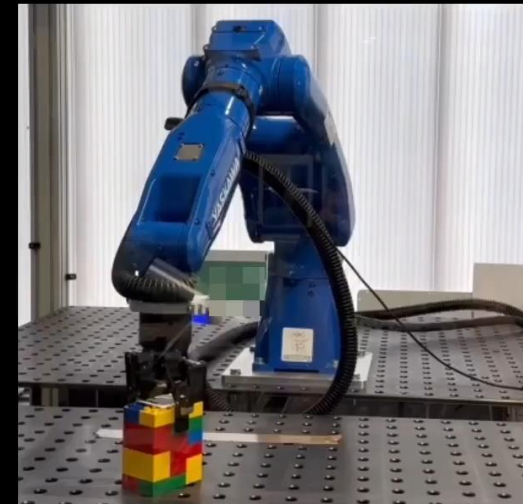
Workflow:

1. **Natural Language Input**
2. **LLM-based Behavior Tree (BT) Skeleton Generation:** LLM interprets the task and maps it to ReMoRA skills to produce an interpretable Behavior Tree skeleton.
3. **MCTS Offline Parameter Optimization** in the simulation
4. **ReMoRA Deployment:** The optimized, transparent BT is executed in the ReMoRA runtime.

Key takeaway:

- LLMs are used as **assistive** design tools, not as runtime controllers.
- The BT structure ensures **transparency** — every step is visible and traceable.
- MCTS adds **data-driven optimization** while maintaining safety and explainability.
- This approach **bridges** AI assistance with industrial reliability.

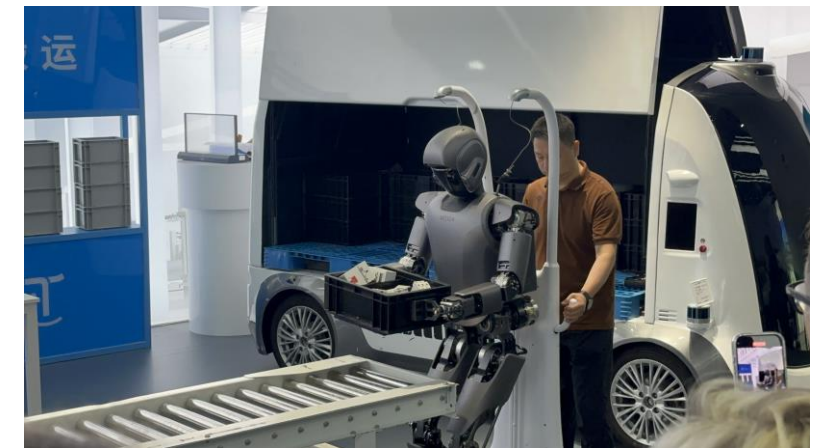
From Language to Deployment: Offline Optimization and Ontology-Guided Behavior Tree Generation for Transparent Robot Applications





Beijing Humanoid Center

Große Roboter Ausstellung







Humanoide Roboter – Game Changer oder Irrweg?

Februar 2025

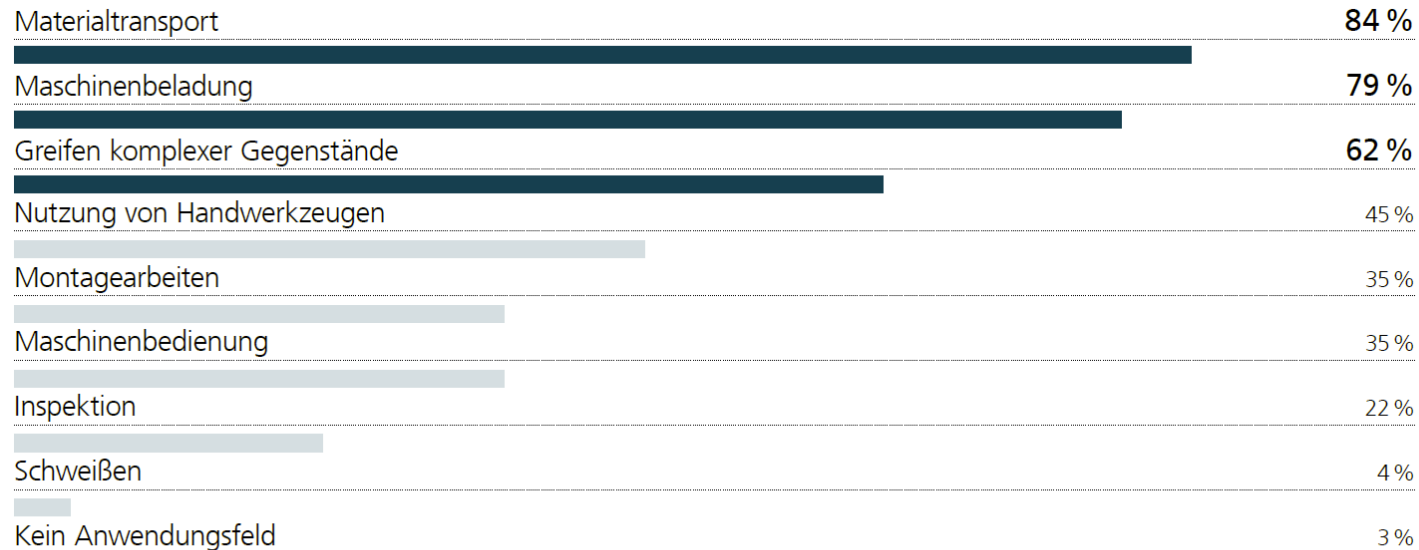
Kennzahlen zur Studie: Humanoide Roboter – Game Changer oder Irrweg?



IPA-Studie: Humanoide Roboter – Game Changer oder Irrweg?

Einsatzszenarien für Humanoide Roboter in der Produktion und Logistik

Einsatzszenarien für Humanoide Roboter in der Produktion und Logistik



(n=113), Anwendungsfelder für Humanoide Roboter, Mehrfachauswahl möglich

Vielseitige Aufgaben in Logistik und Produktion

- Als Einsatzszenarien werden vor allem einfache Aufgaben genannt: Materialtransport in der Logistik und Bereitstellung in der Produktion, Kommissionieren und Maschinenbeladung.
- Humanoide Roboter sollen als Springer vielfältige Aufgaben übernehmen können.



Humanoide Roboter müssen sich für einen gewinnbringenden Einsatz maßgeblich durch ihre Flexibilität von anderen Automatisierungslösungen abheben.«



IPA-Studie: Humanoide Roboter – Game Changer oder Irrweg?

Umfrage unter über 100 Unternehmen aus Deutschland

Top 5 der gefragten Fähigkeiten

Nachgefragte Endeffektoren

Nachgefragte Fortbewegungsart

Indoor-Navigation

Umgebungserfassung

Gegenstände zuordnen und sortieren können

Gehen auf ebenem Untergrund

Lasten tragen

Je **42 %**

Modulare Greifer oder Hände

56 %

Mobile Plattform

■ Modulare Greifer	42 %	■ Mobile Plattform	56 %
■ Hände	42 %	■ Beine	40 %
■ Spezifischer Greifer	16 %	■ Stationär	4 %



Diskrepanzen bei Feinfühligkeit

- Nachgefragte Fähigkeiten stimmen mit den meistbenannten Anwendungsfeldern überein: Materialtransport, Maschinenbeladung, Greifen komplexer Gegenstände (Kommissionieren, Bereitstellung von Material).
- Ein Abgleich der gefragten Fähigkeiten mit derzeitigen Fähigkeiten Humanoider Roboter zeigt unter anderem hinsichtlich der Feinfühligkeit und Genauigkeit der Endeffektoren sowie der Zusammenarbeitsmöglichkeiten mit Menschen große Diskrepanzen auf.



Beine und dem Menschen nachempfundene Hände werden nur von ca. 40 Prozent der Befragten als notwendig angesehen.»

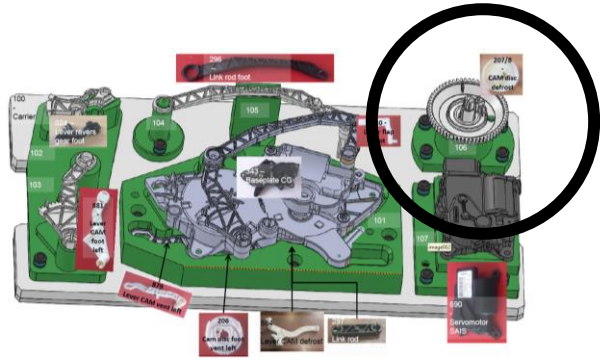
Roboterhände in China

Fa. Robotera in Peking

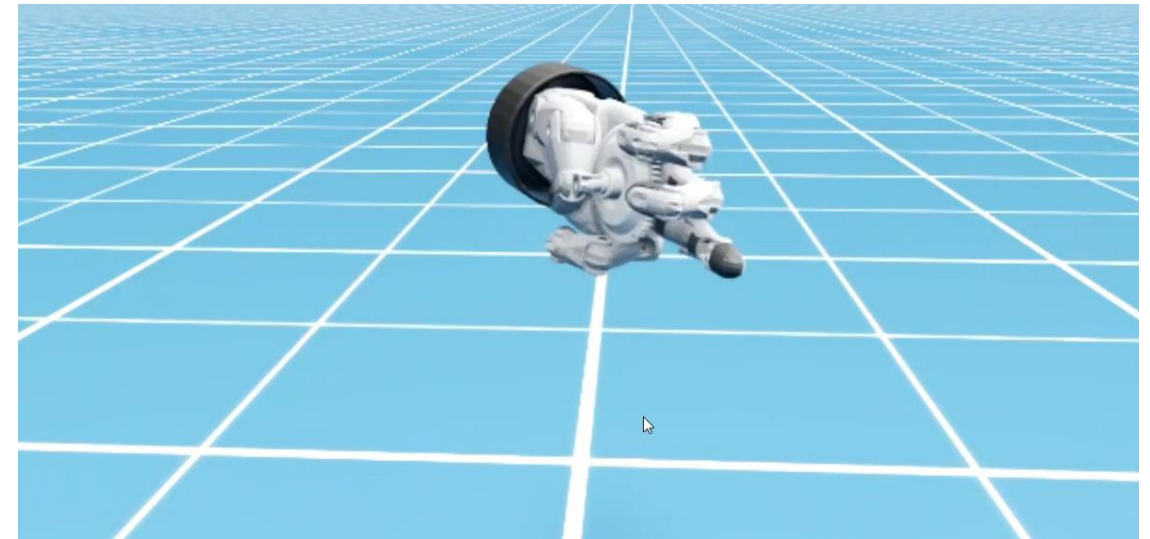
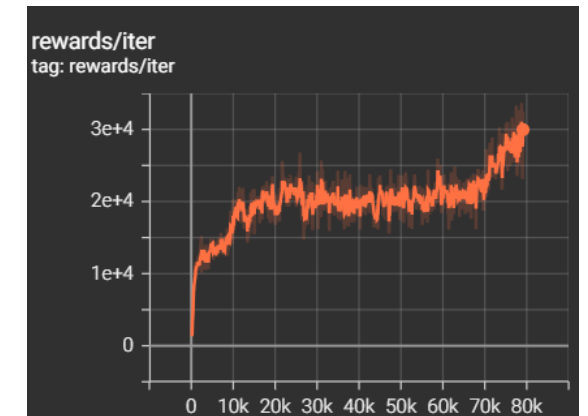
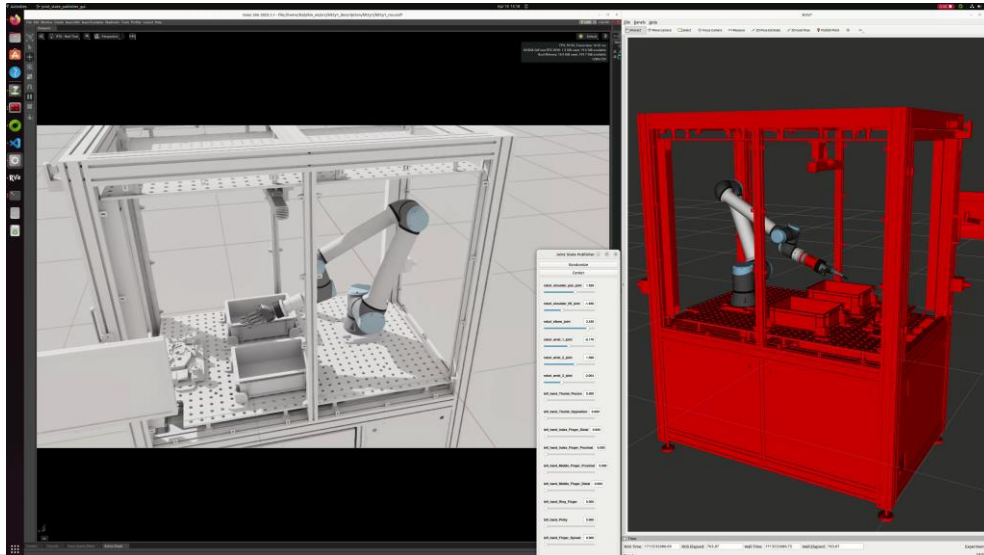


IPA-Projekt „Kitty&Monty“

Lernen von Greifvorgängen in der Simulation



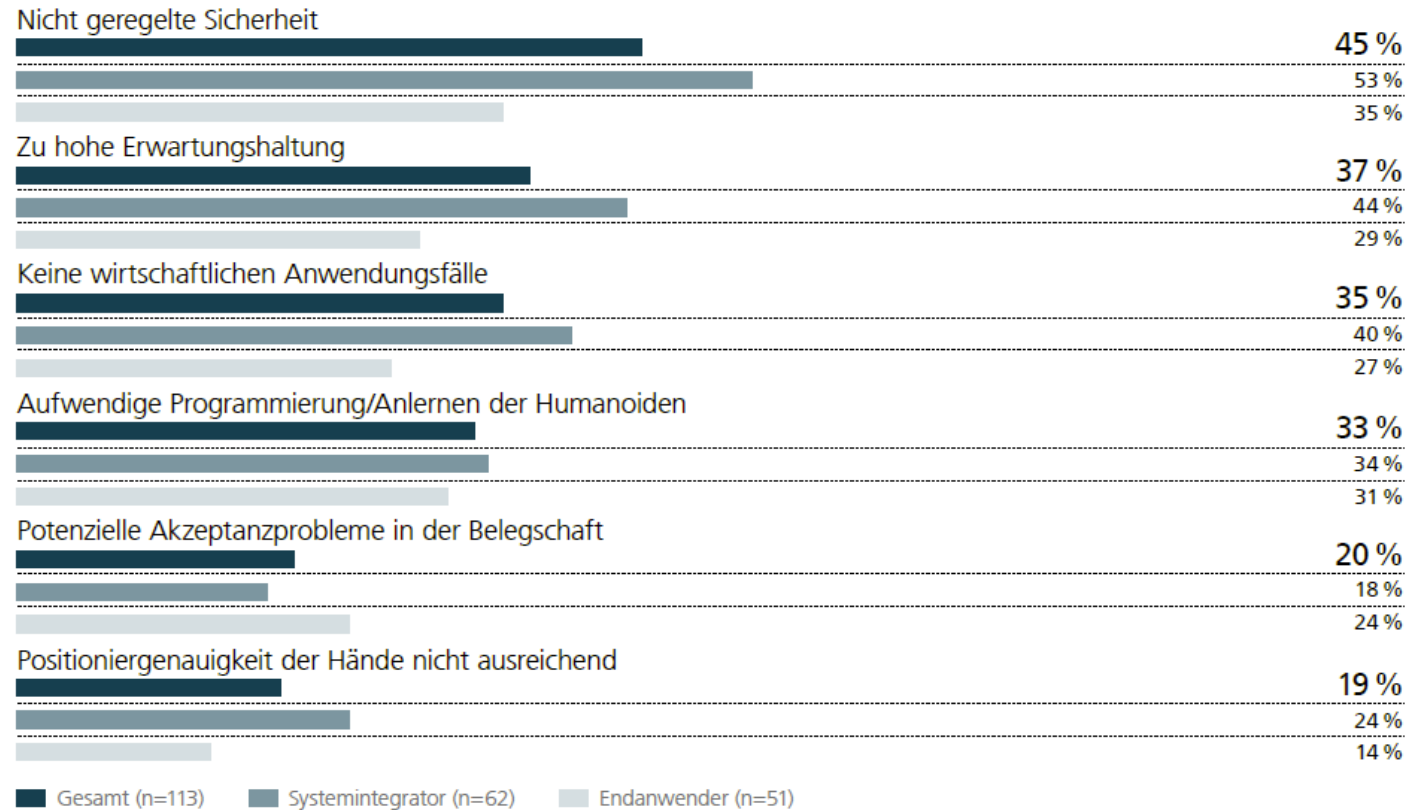
Kitting-Applikation: Bauteil CamDisc



IPA-Studie: Humanoide Roboter – Game Changer oder Irrweg?

Größte Hindernisse für Humanoide Roboter

Größte Hindernisse für Humanoide Roboter



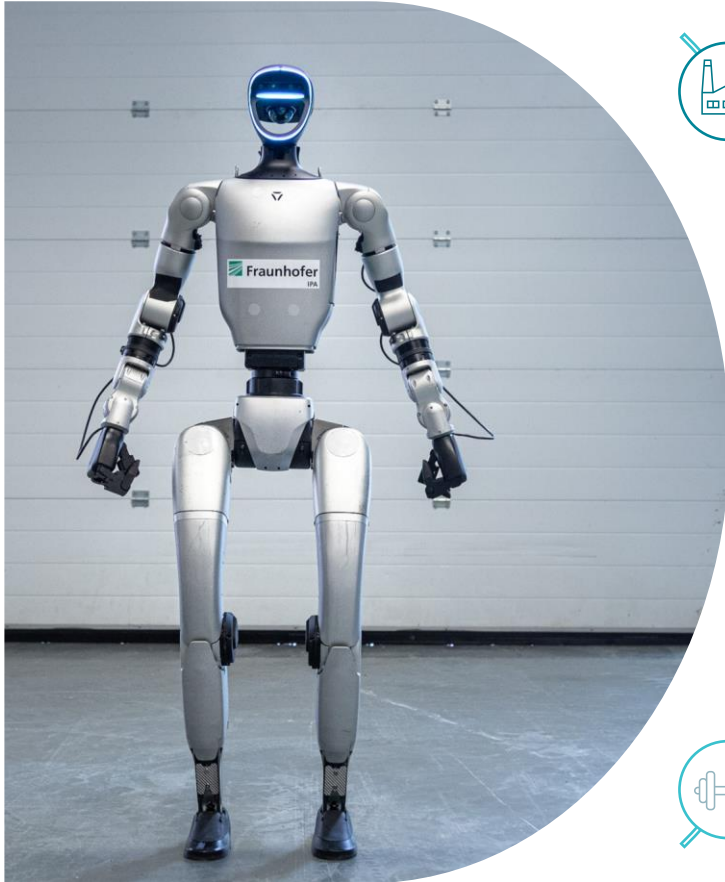
Sicherheitsfragen und Akzeptanzprobleme

- Fehlende Regelung der Sicherheit bei Humanoiden Robotern im Einsatz wird als größtes Hindernis gesehen.
- Systemintegratoren sehen zum aktuellen Zeitpunkt eine größere Zahl an Hindernissen im Vergleich zu den Endanwendern.
- Endanwender haben größere Bedenken in Bezug auf die Akzeptanz Humanoider Roboter.

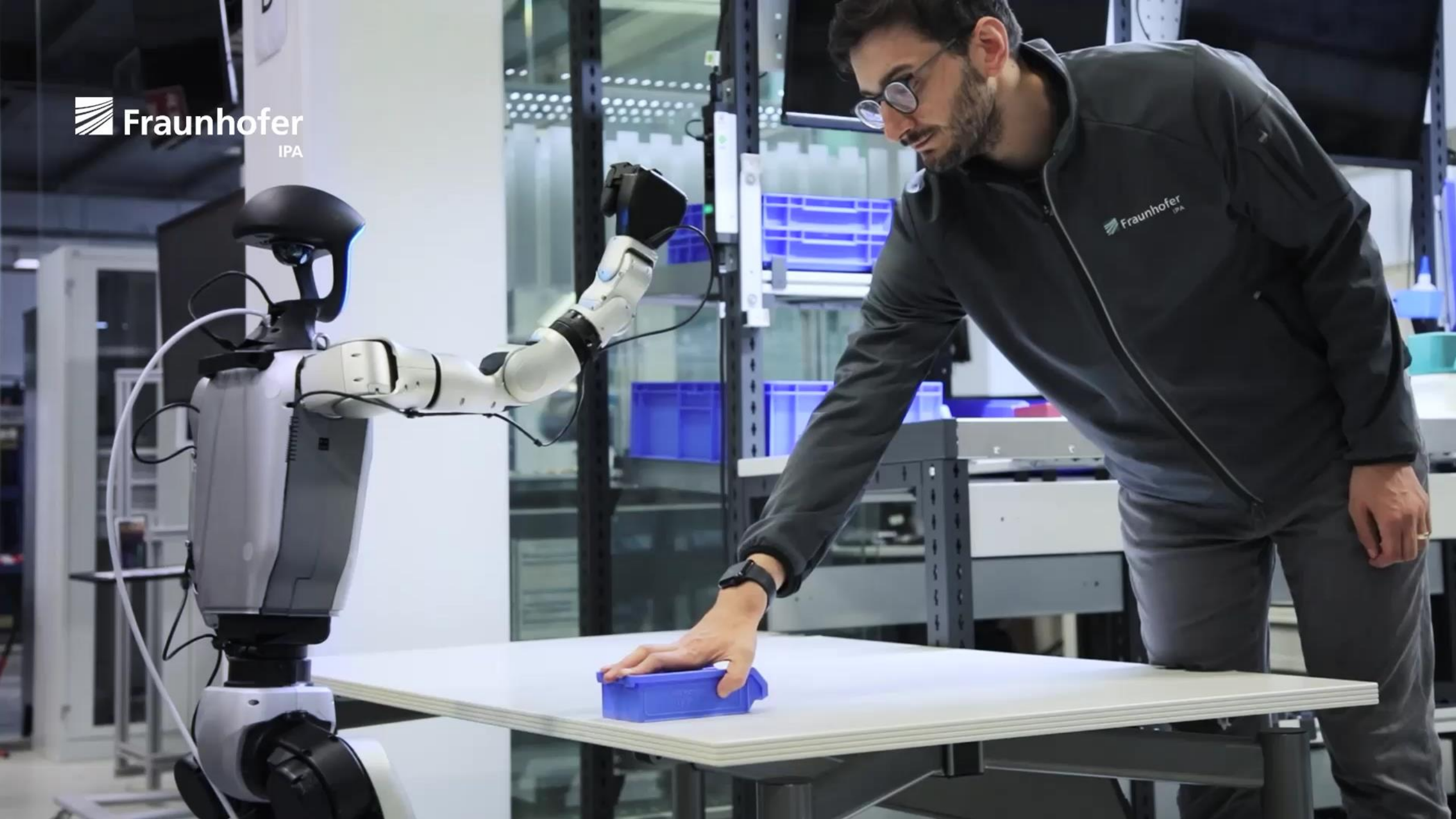


Für einen Einsatz Humanoider Roboter in Deutschland müssen Hersteller deren Sicherheit sowie belastbare Fähigkeiten für Kunden beweisen.«

Safety risks: Unitree G1 robot under investigation

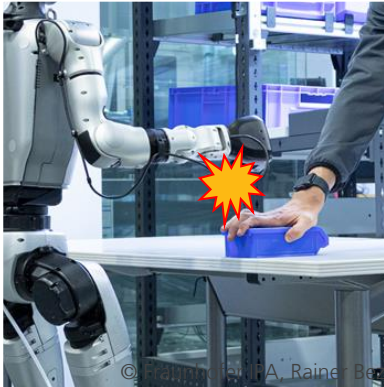


-  Manufacturer: Unitree Robotics
-  Country of origin: China
-  Model: G1 EDU+ with Dex 3-1 three-fingered hands
-  Size: 1320 mm
-  Weight: 35 kg
-  Degrees of freedom (body + hands): 29 + 14
-  Load capacity: 3 kg per arm



Sicherheitsrisiken: Kollisionen mit dem Roboterarm

Hand schlägt nach unten:
≈190N



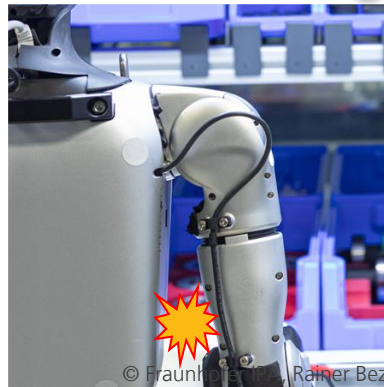
Hand schlägt nach vorne:
≈140N



Hand schlägt zur Seite:
≈130N



Klemmung zwischen Körper
und Oberarm: ≈130N



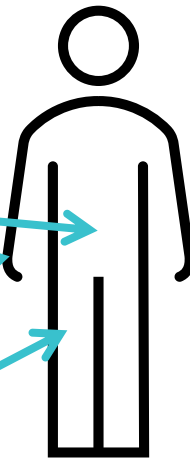
Alle angezeigten Kräfte sind Durchschnittswerte der Maximalkräfte (mind. drei Versuche pro Szenario) mit einem Unitree G1. Programmierte Bewegungen wurden mit einer »normalen« Geschwindigkeit (0,7s für ca. 30cm von Start- zu Endposition) durchgeführt. Gemessen wurden die Kraftwerte mit einem GTE CBSF 75N/mm.

Beispiel Schmerzschwellen (nach ISO 10218-2:2025) für Kollisionen ohne bleibende Klemmung:

Bauch: 220N

Hand und Finger: 280N

Oberschenkel und Knie: 440N



Die gemessenen Kraftwerte hängen stark von der Geschwindigkeit der Bewegung ab. Beim Szenario »Hand schlägt nach unten« ergab eine Halbierung der Ausführungszeit (0,35s) eine Kraft von ca. 500N.

Sicherheitsrisiken: Kollisionen

Alle angezeigten Kräfte sind Durchschnittswerte der Maximalkräfte (mind. drei Versuche pro Szenario) mit einem Unitree G1. Bei den Lauf-Kollisionsszenarien wurde der Roboter im »schnellen« Modus getestet.

Kollision vorwärtslaufend...

... mit Schulter: $\approx 380\text{N}$

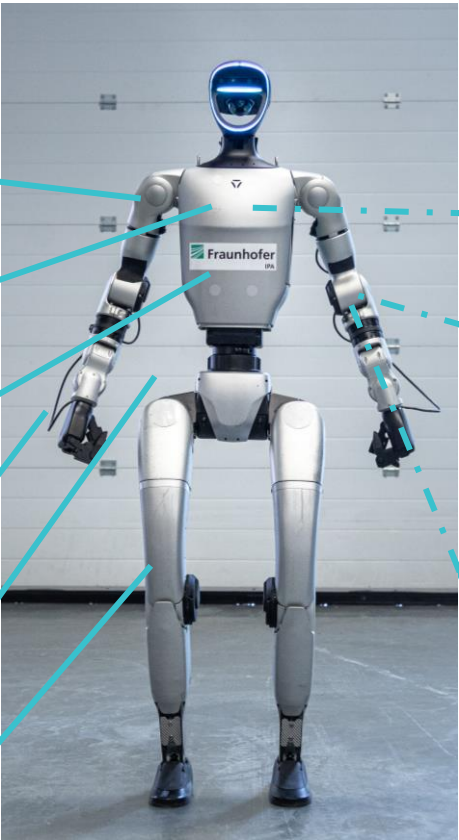
... mit Brust: $\approx 510\text{N}$

... mit Bauch: $\approx 530\text{N}$

... mit Hand: $\approx 220\text{N}$

... mit Hüfte: $\approx 480\text{N}$

... mit Knie: $\approx 420\text{N}$



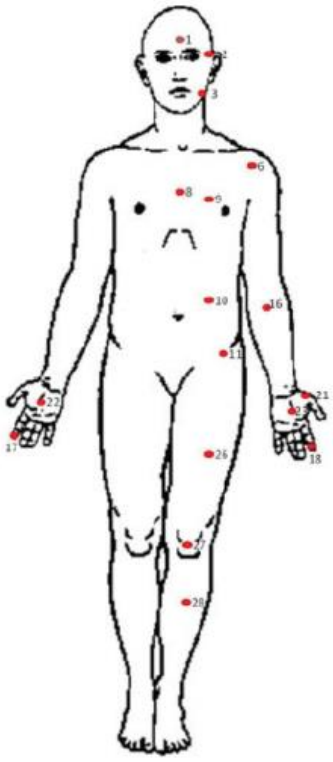
Kollision rückwärtslaufend...

... mit Rücken: $\approx 480\text{N}$

... mit Ellenbogen: $\approx 340\text{N}$

Kollision seitwärtslaufend...

... mit Ellenbogen: $\approx 170\text{N}$

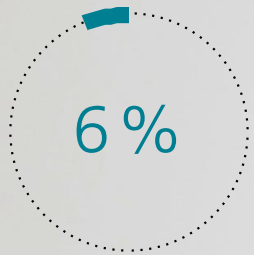


Front

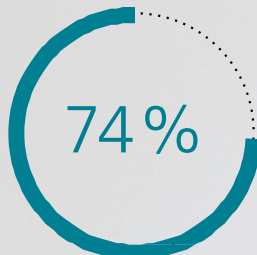
Je nach Bewegungssituation können bei Humanoiden Robotern Kollisionskräfte auftreten, die die in ISO 10218-2:2025 festgelegten Schmerzeintrittsschwellen weit überschreiten. Auch schwerwiegende Verletzungen sind im Einzelfall nicht auszuschließen.

Ökonomische Fragestellungen

Erwartete Zeit bis zur Marktreife
Humanoider Roboter



< 3 Jahre



3 bis 10 Jahre



Frühestens in 10 Jahren



Nicht absehbar

(n=89)



Erwartete Marktreife nach Branchen

- Mittelfristig wird übergreifend davon ausgegangen, dass Humanoide Roboter Einzug in die Produktion erhalten.
- Die Logistik, Lebensmittel- und die Textilindustrie sind hinsichtlich der Marktreife Humanoider Roboter optimistischer als andere Branchen.

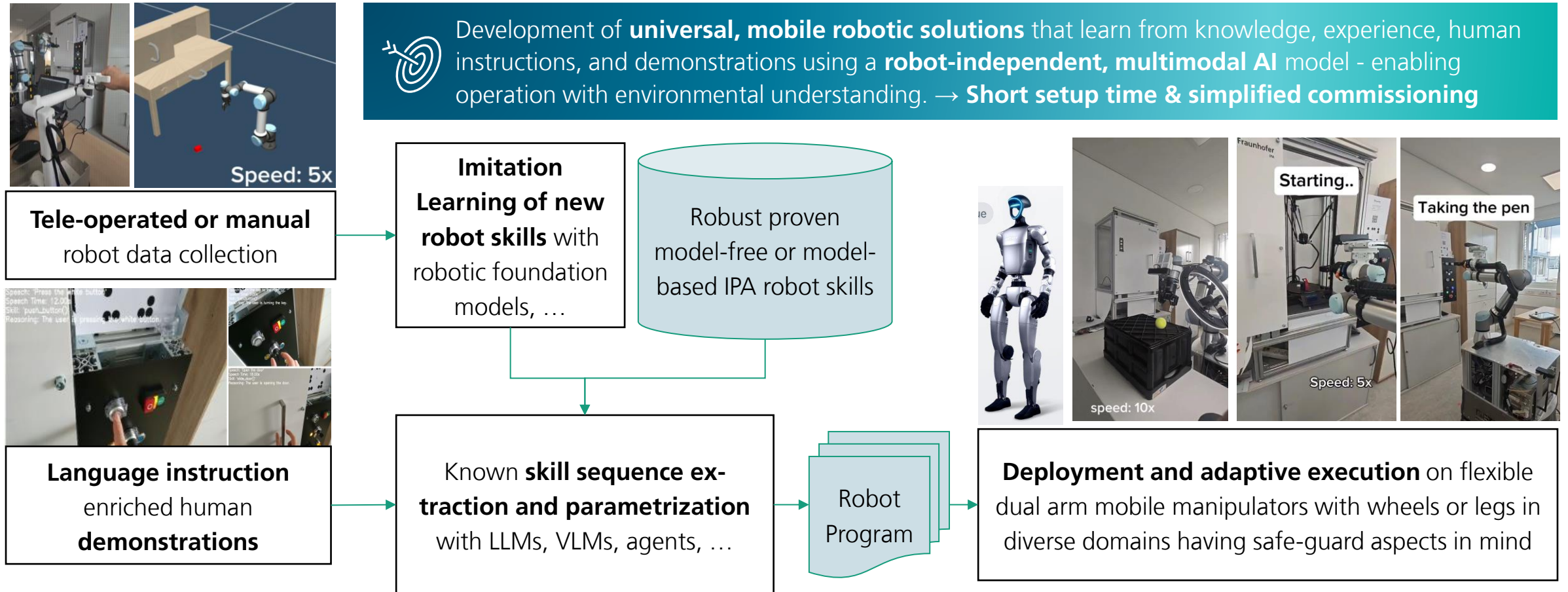


Circa 80 Prozent der Befragten schätzen den Einsatz Humanoider Roboter in Produktion und Logistik innerhalb der nächsten 10 Jahre als realistisch ein.

80%

Intelligent Mobile Manipulators: Foundation Models and Hybrid Robotic AI

Efficient Robot Application Setup with Imitation Learning and Skill Sequencing



AI-MATTERS

AI Testing and Experimentation facilities for manufacturing

Objective

Establishing high-end testing and experimentation facilities to evaluate AI solution for use in manufacturing. Support AI technology providers in meeting regulatory requirements, and in building trust with customers

Approach:

- Build physical and digital testing and experimentation facilities.
- Offer standardized testing and experimenting services across Europe
- Address all aspects of AI in manufacturing

Partners:

- 25 European research and technology organisations across eight member states



AI MATTERS Network 25 beneficiaries

7 Nodes  1 Satellite 



Brainport Industries



innovation for life



EINDHOVEN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



ALEXANDRA INSTITUTTET



ODENSE robotics



FORCE TECHNOLOGY



Fraunhofer IPA



Physikalisch-Technische Bundesanstalt National Metrology Institute



University of Stuttgart Institute of Electrical Energy Conversion

ARENA2036



CZECH INSTITUTE OF INFORMATICS ROBOTICS AND CYBERNETICS CTU IN PRAGUE



VSB TECHNICAL UNIVERSITY OF OSTRAVA



CEITEC



BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



cea list

Network coordinator



MADE Competence Center 14.0



ENGINEERING THE DIGITAL TRANSFORMATION COMPANY



FONDAZIONE BRUNO KESSLER FUTURE BUILT ON KNOWLEDGE



MEMBER OF BASQUE RESEARCH & TECHNOLOGY ALLIANCE



CLUSTER FOR ADVANCED & G MANUFACTURING



INVEMA



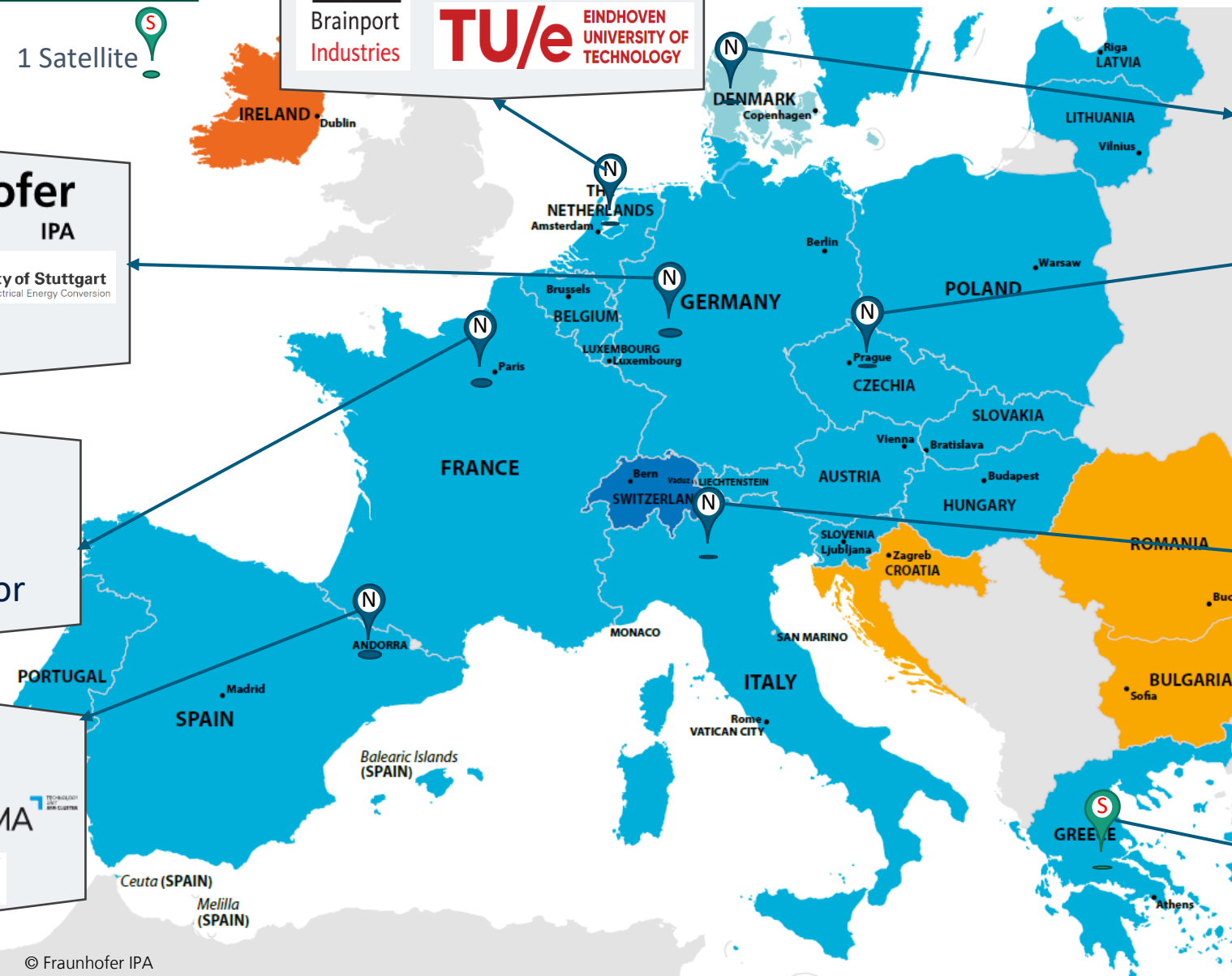
TECHNOLOGY CENTRE



LMS Laboratory for Manufacturing Systems & Automation



Teaching Factory



Commercial mobile robots

Test environments and services

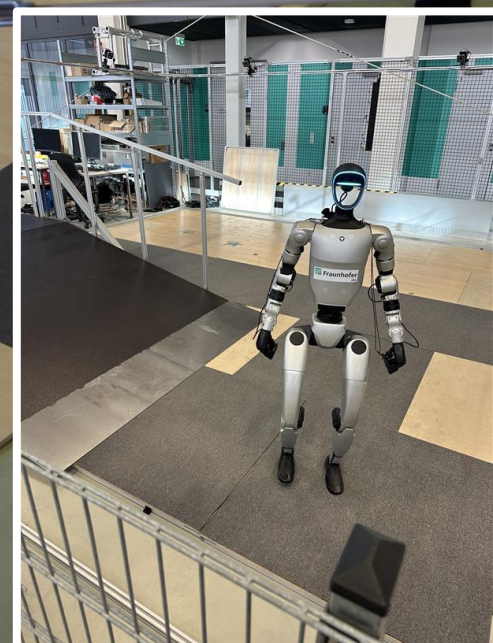
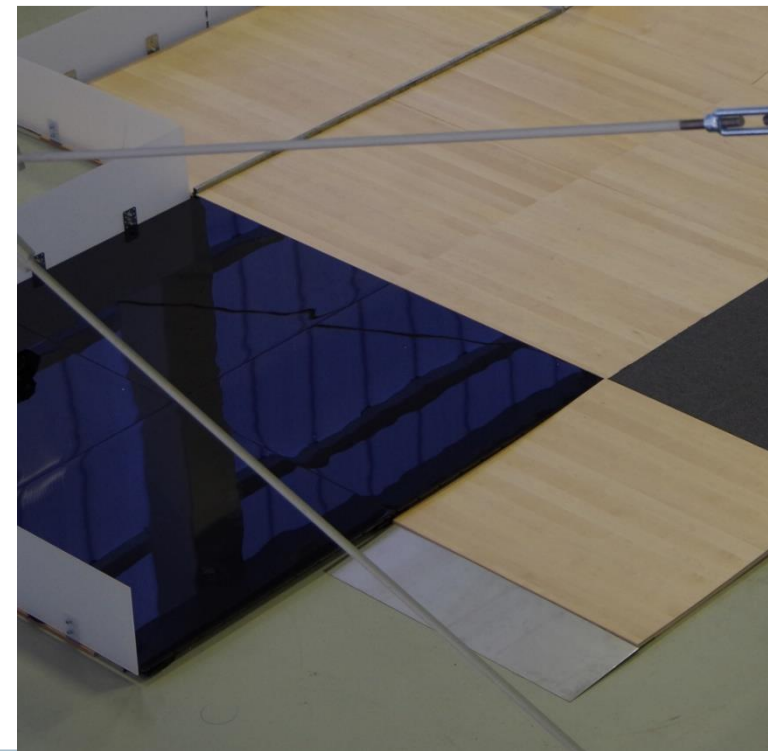
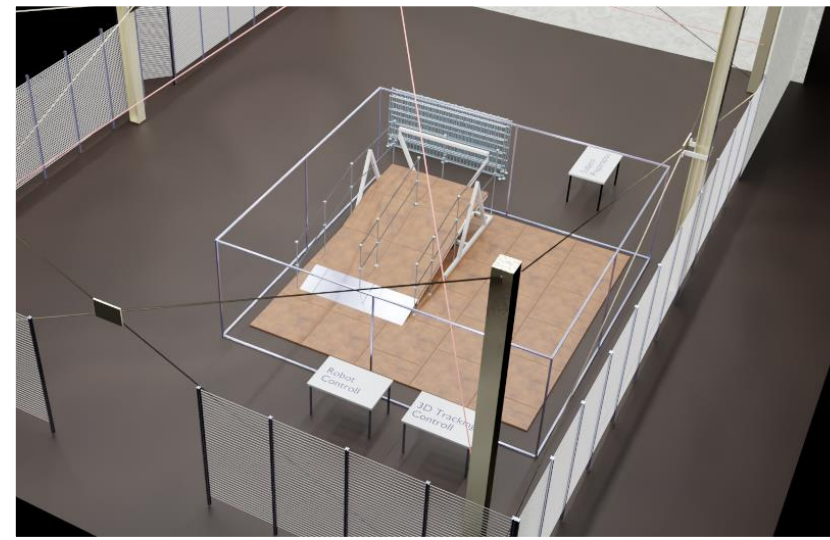
The **test environment for mobile robots** simulates common environments in the home, retail and public sector scenarios. The test environment supports analysing several aspects of mobile robot operation. From the **validation of basic driving capabilities** of mobile robots such as climbing capability and handling of different floor types, **to testing advanced behavioural planning** to demonstrating **complex human robot interactions**.

Target group:

- Mobil robot manufacturers
- (Institutional) users / operators of mobile robots

Benefit:

- Independent performance evaluation
- Compliance testing against standards & best practices
- Usability, user experience and user acceptance testing



Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!



Fraunhofer-Institut für Produktions-
technik und Automatisierung IPA

Let's connect on
LinkedIn



Dr.-Ing. Werner Kraus

Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und
Automatisierung IPA
Tel. +49 711 970 1049
werner.kraus@ipa.fraunhofer.de

