

# Die Robotik und KI in der digitalen, vernetzten Welt

Alin Albu-Schäffer

DLR, Robotics and Mechatronics Center

TU Munich, Chair of Intelligent Assistance Robots and Systems



Wissen für Morgen



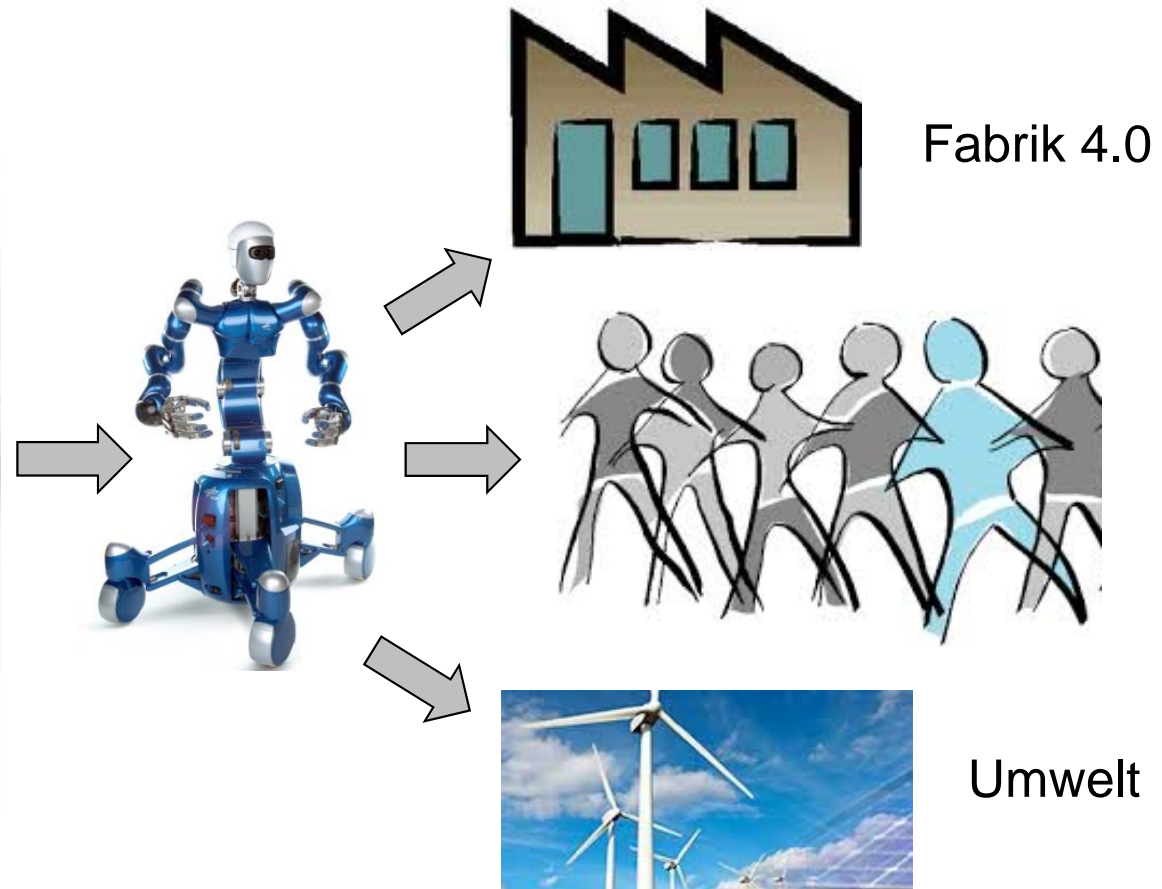
# DLR-Motivation: Robonauts and Rovonauts in earth orbit, on planets and moons





# Roboter – „Boten“ aus der digitalen Welt

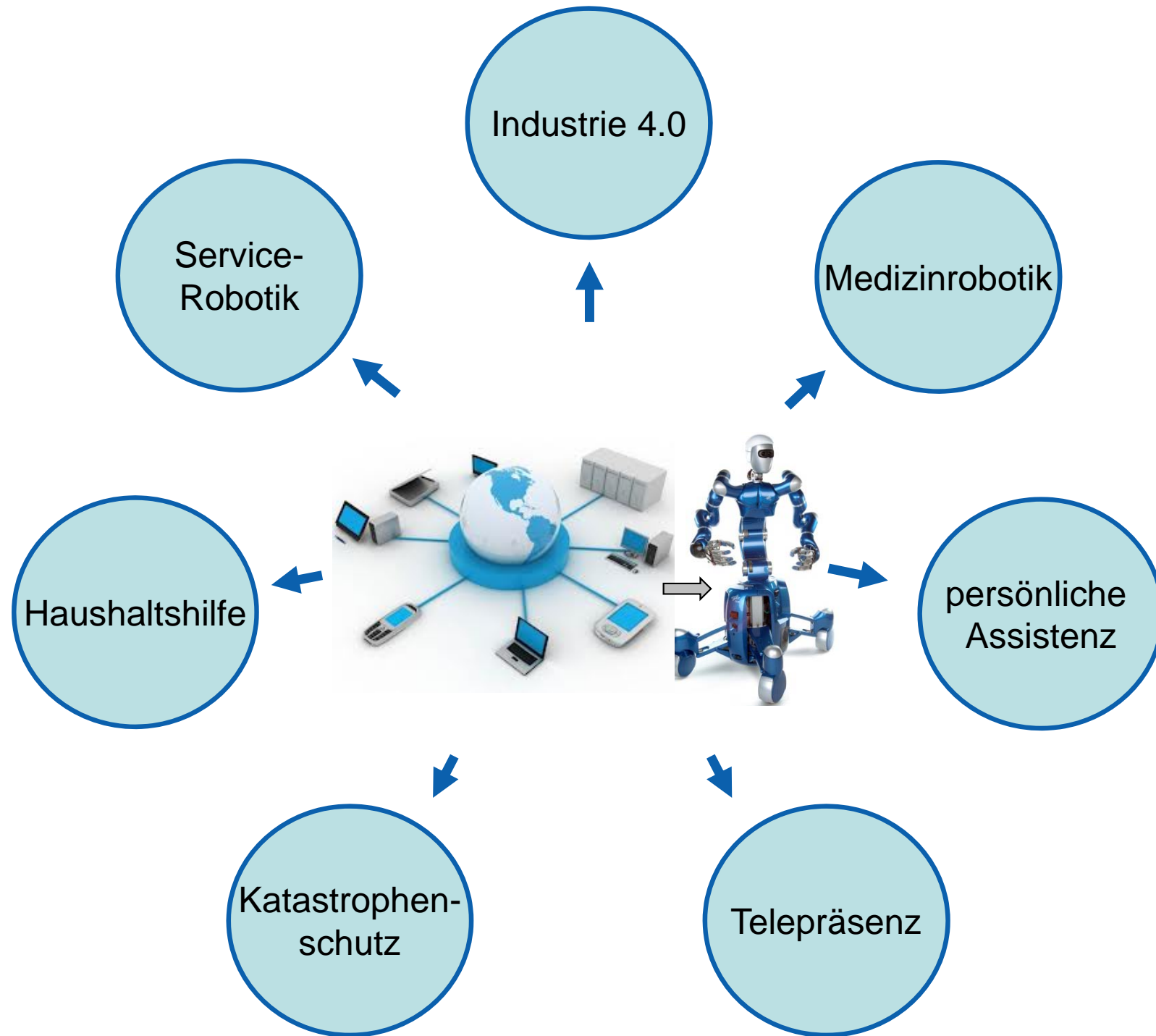
Die digitale, voll vernetzte Welt sichert zunächst die Allgegenwärtigkeit von Daten und Informationen



Roboter können eine Schlüsselrolle spielen, als universell wirkende Agenten aus der digitalen in die physikalische Welt



# Applikationen der vernetzten Robotik





# A Helper for Daily Life: Safe, Robust, Precise, Sensitive

I, Robot Chicago 2035



They should have at least human motion performance ...



But what kind of actuators could we use for such robots?



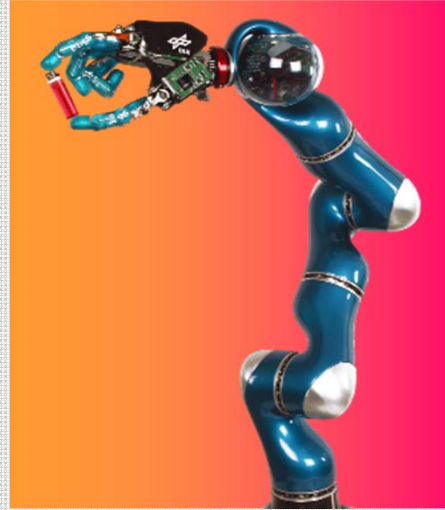
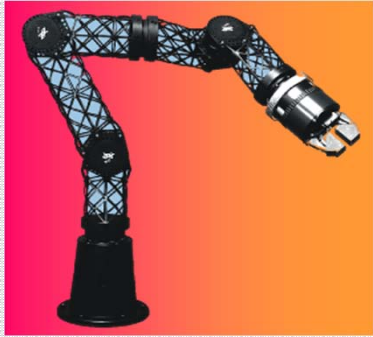


# Torque Controlled Light-Weight Robotics at DLR

Justin

TORO

Three generations of light-weight robots



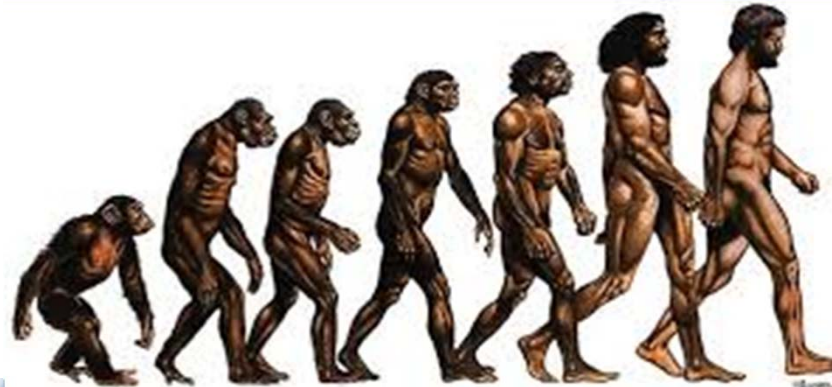
1995

1999

2003

2007

2012



4 M years





# Feinfühlige Leichtbaurobotik

## Technologietransfer

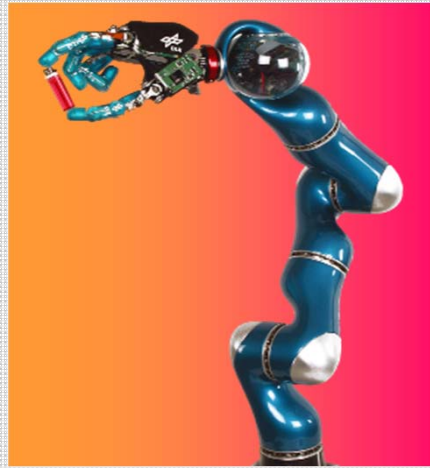
Drei Generationen von DLR-Leichtbaurobotern



1995



1999



2003



2006-2012



2013

Grundlagen-Forschung



Produktentwicklung



# Soft Robotics

Paradigmenwechsel in der Robotik:

von groß, starr, absolut genau  
zu Leichtbau, nachgiebig, feinfühlig

Dafür haben wir den Begriff **“Soft Robotics”**  
geprägt

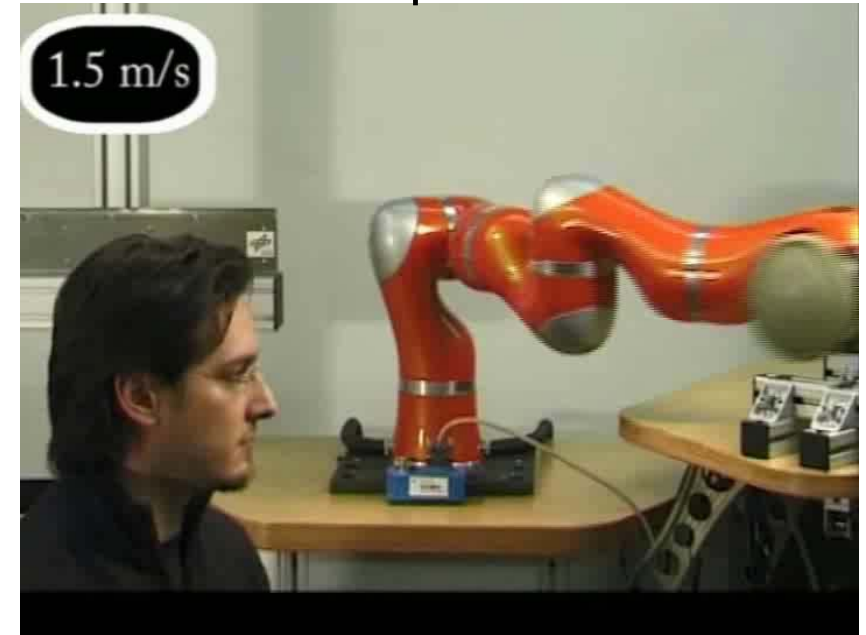
EURON Tech-Transfer Award 2011



programmierbare Steifigkeit und Dämpfung



Schwerkraftkompensation

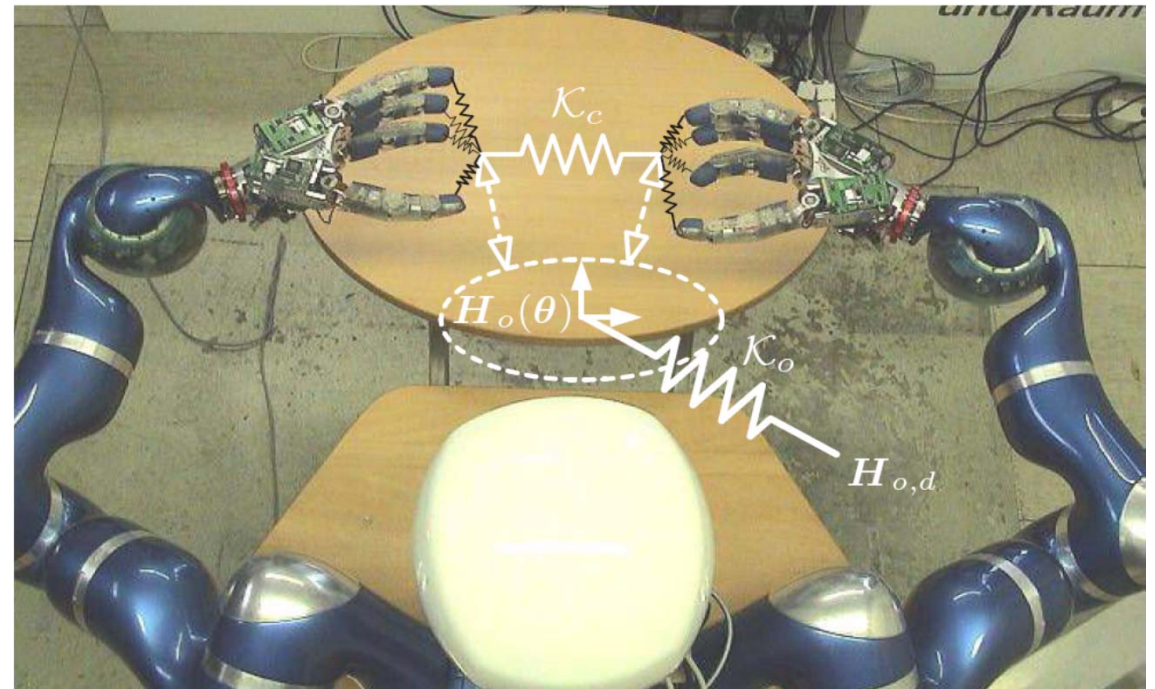
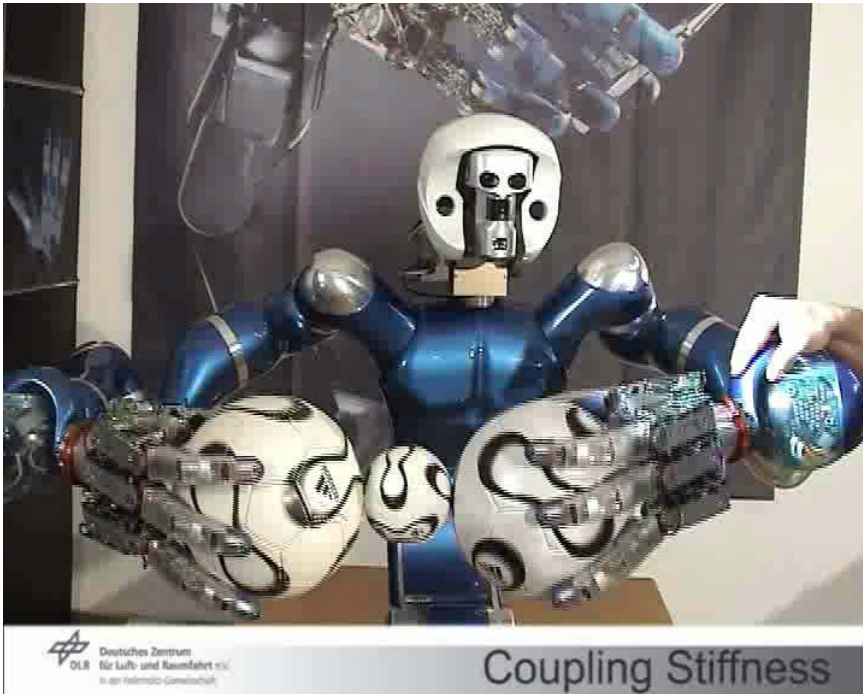


sichere Roboter





# Impedance Control for Two Handed Manipulation



$$\tau_d = \bar{g}(\theta) - \frac{\partial V(\theta)}{\partial \theta} - D(\theta)\dot{\theta}$$

Gravity  
compensation

Stiffness term

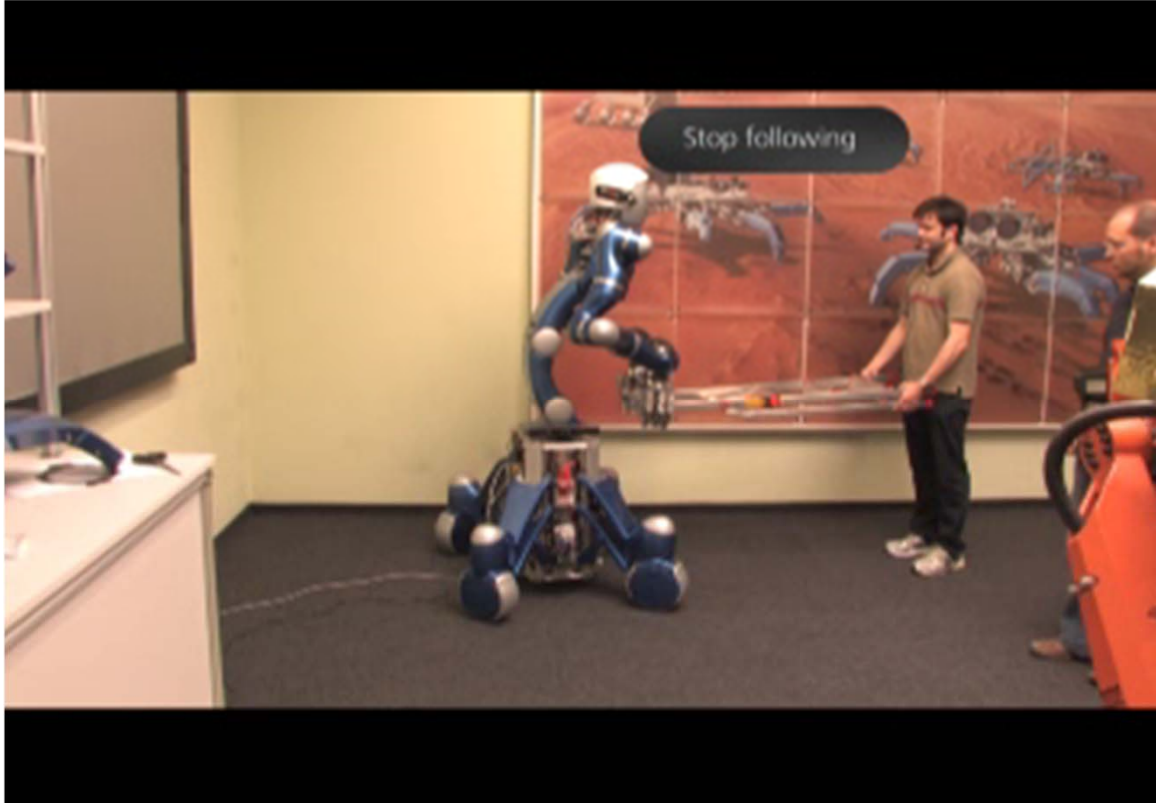
Damping term

[Ott, Albu-Schäffer, Hirzinger, TRO2008]



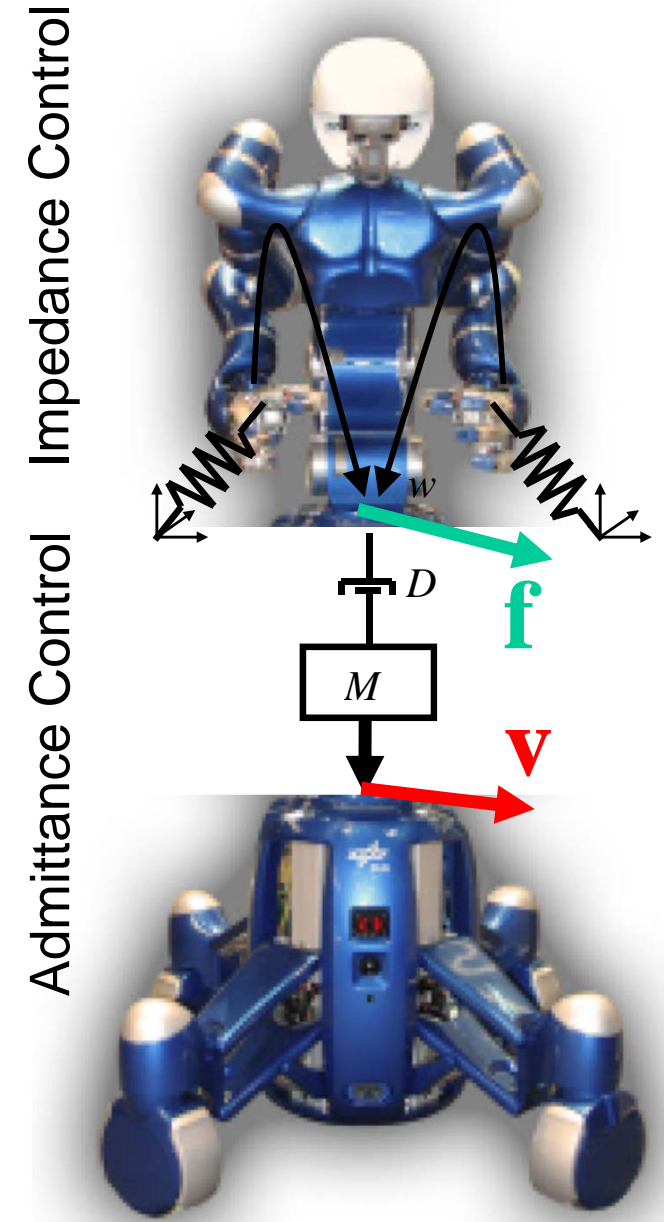


# Human-Robot-Interaction



Multi-priority compliant control of the entire robot

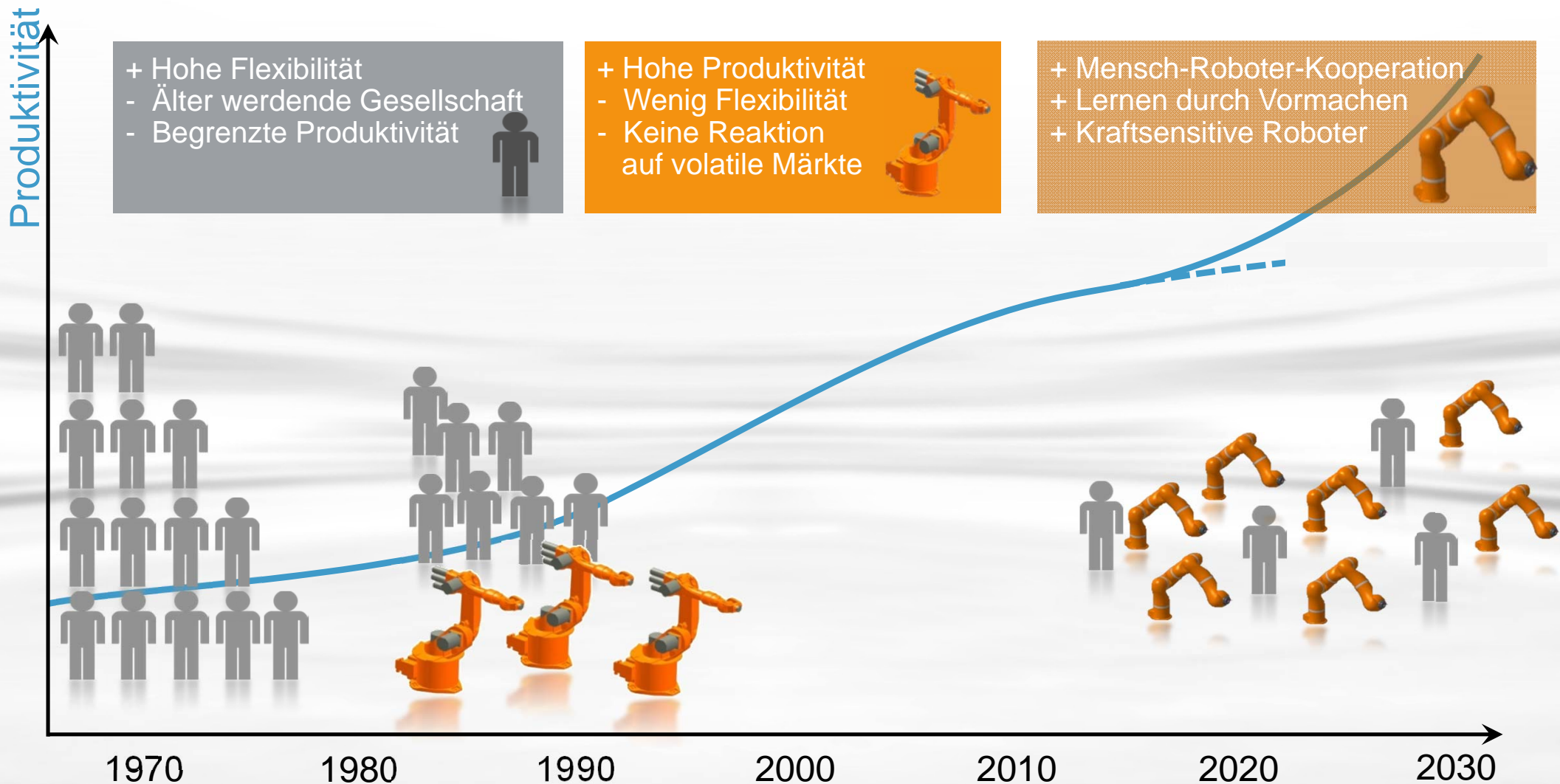
- Main task of the hands
- Collision & singularity avoidance
- posture control
- load minimization



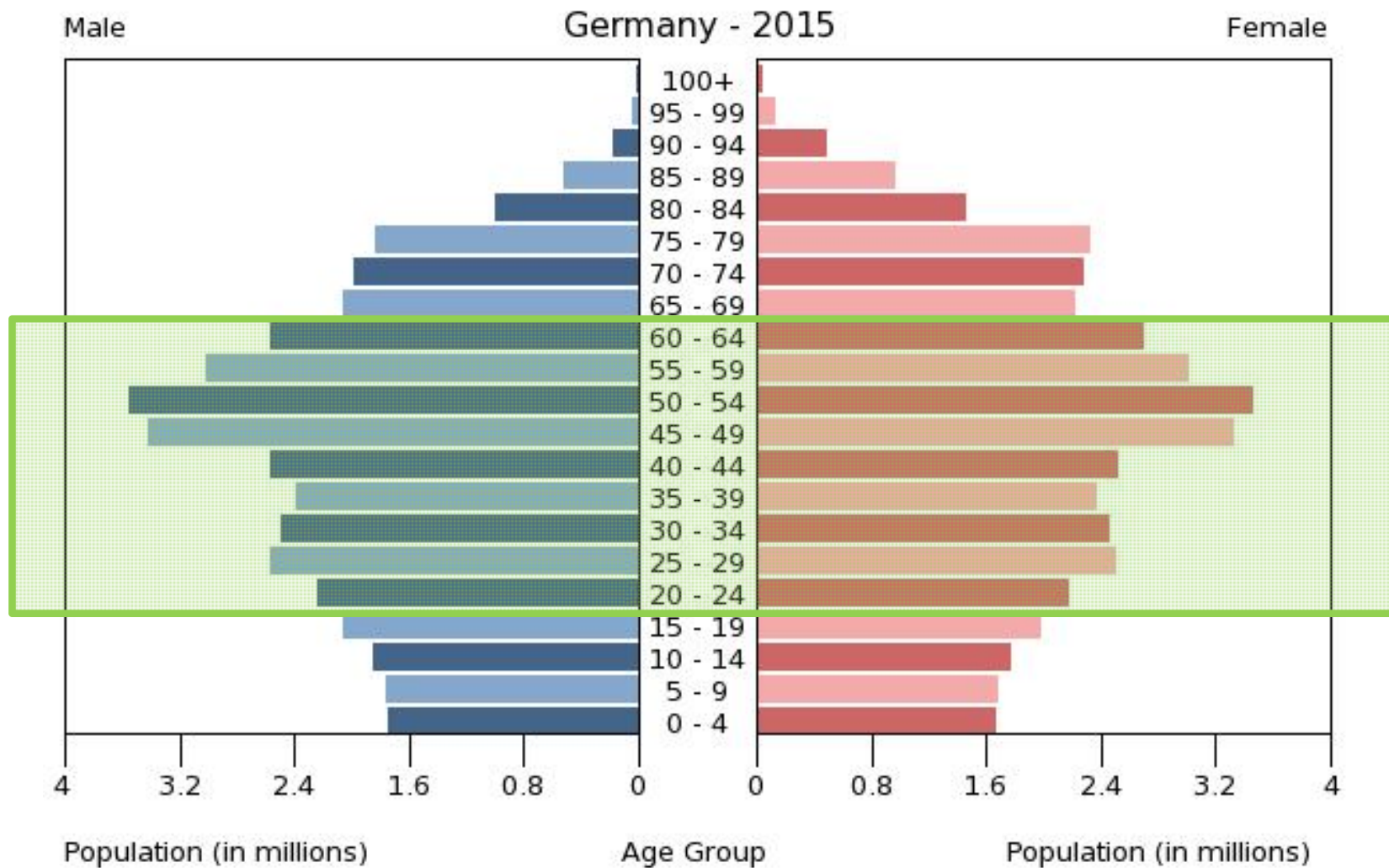
[Dietrich et al. TRO2012]



# Evolution der Automobil-Produktion: Quo vadis? Von der Handarbeit zur Mensch-Roboter-Kooperation



# Demographic Change in Germany



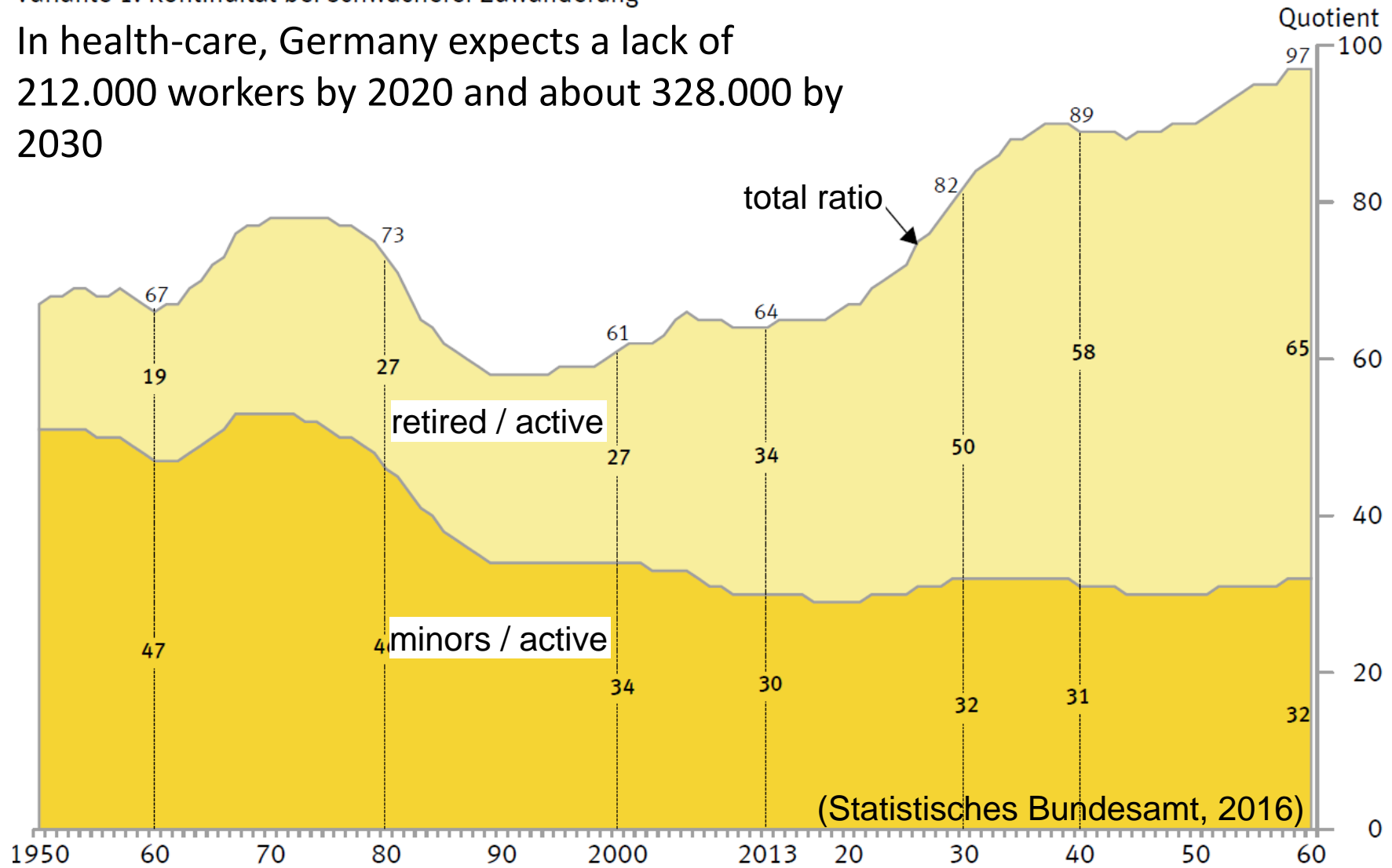
year	2000	2016	2030
retired/active population ratio	27%	35%	50%





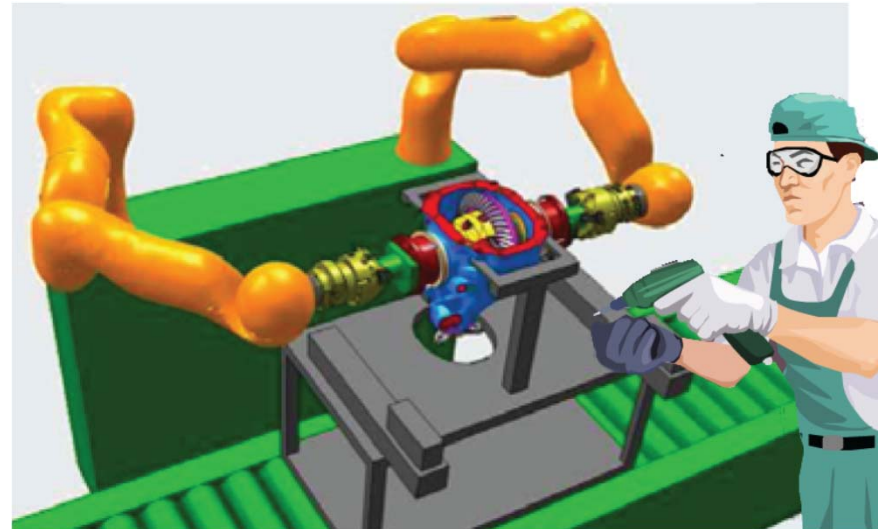
Variante 1: Kontinuität bei schwächerer Zuwanderung

In health-care, Germany expects a lack of 212.000 workers by 2020 and about 328.000 by 2030



# Fabrikautomation der Zukunft – Fabrik 4.0 und Robotik

## Produktionsassistent



[KIVA Systems]

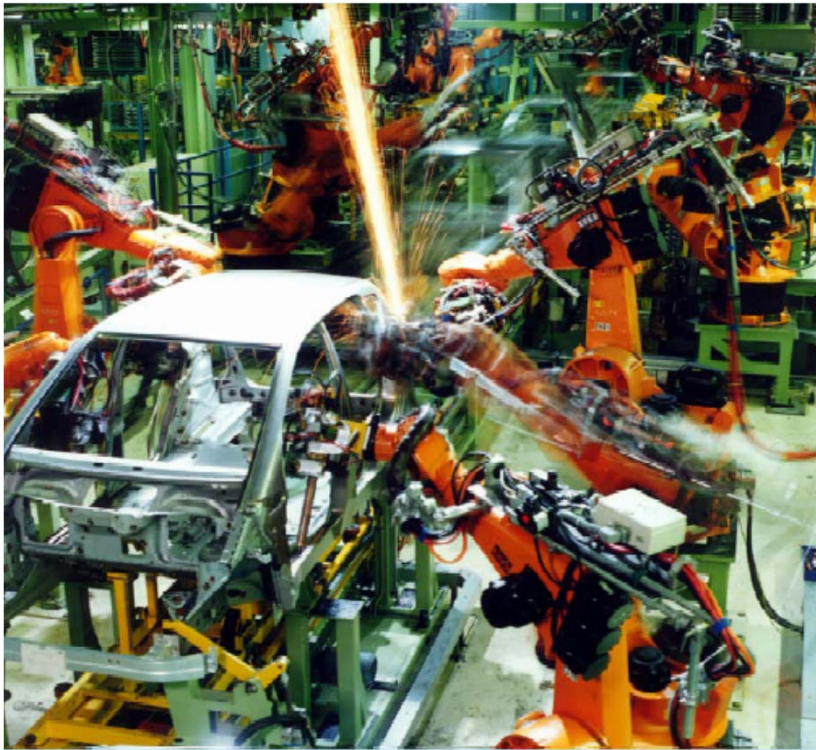


Skalierbares Produktionskonzept  
Menschen und Roboter interagieren direkt  
Mobile Manipulation – keine Förderbänder – volle Flexibilität



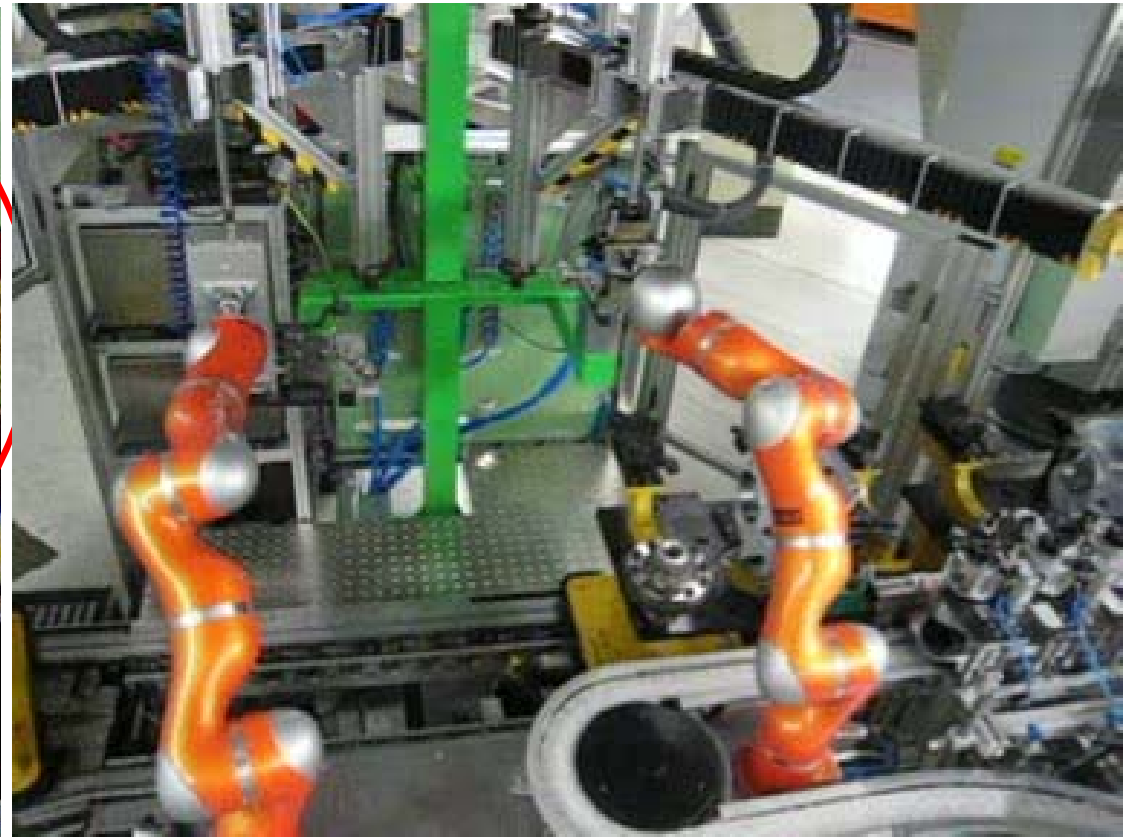
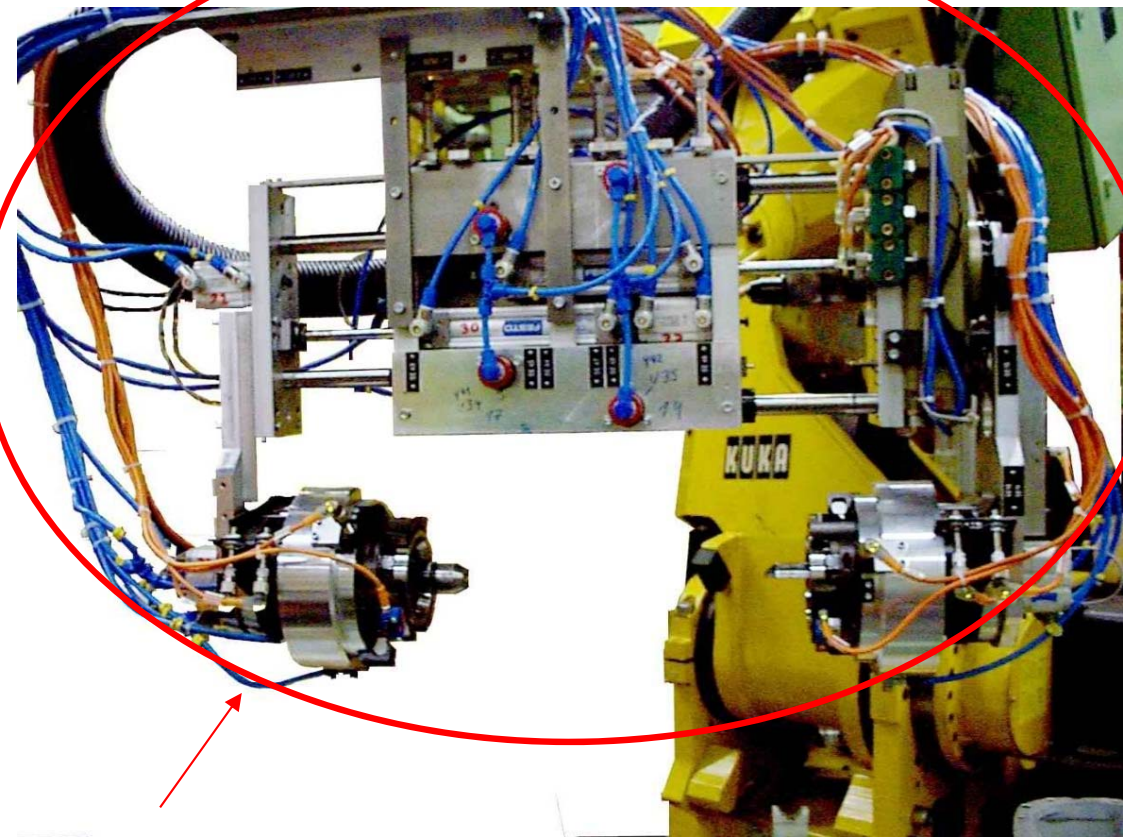
# The Lion's Cage – Classical Industrial Robotics

- **Separation of robots from humans!**
- Structured environments
- Limited sensory feedback and flexibility





# Getriebemontage bei Daimler



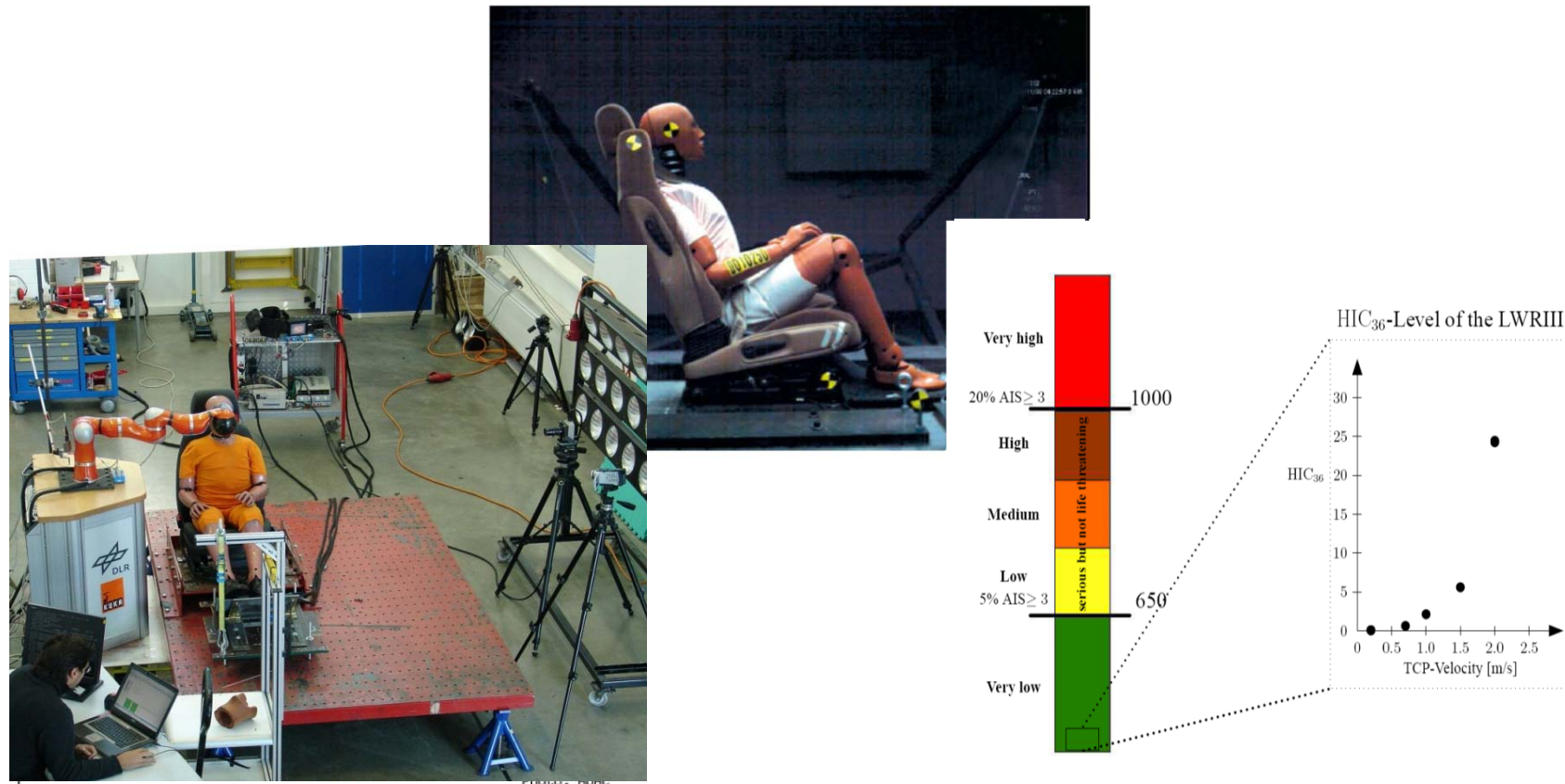
## Frühere Lösungen mit Spezialgreifer

- Produktion 2009 gestartet – erste 24/7 Applikation mit dem LBR
- Produktion ohne Schutzzäune, Menschen können direkt mit dem Roboter interagieren



# Wie kann man Sicherheit gewährleisten, ohne die Performanz massiv einzuschränken?

## Erste standardisierte Crash-Tests in der Robotik

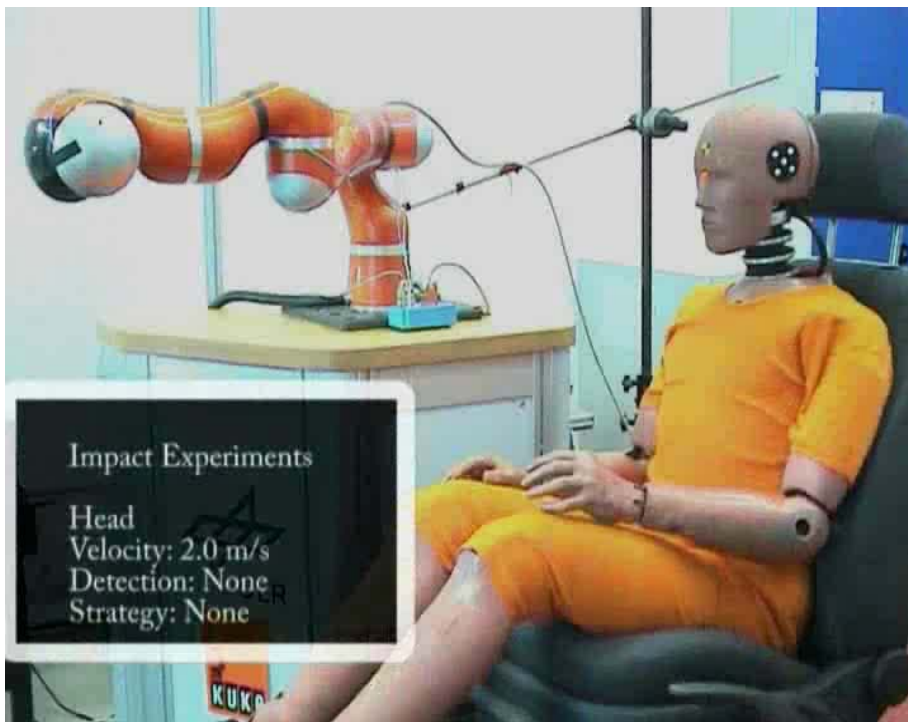


ISO – Standardisierung in der Robotersicherheit

Es hat fast zehn Jahre gedauert, um die ISO-Normen zu ändern und sichere MRK zu ermöglichen und zu regeln









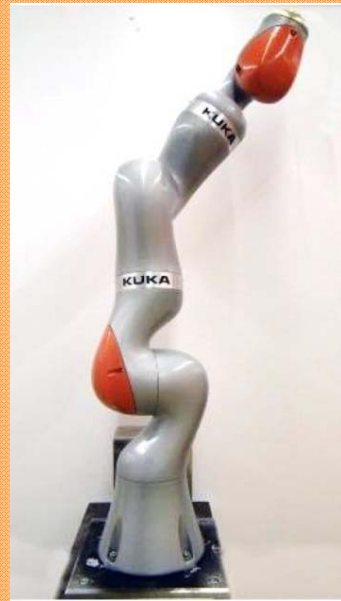
# Mensch-Roboter-Kooperation ist industrielle Realität

## sichtbarste Robotik-Innovation auf der Hannover Messe 2015/2016!!

KUKA ist Vorreiter in MRK  
Technologietransfer vom DLR



2006-2012



2013



Weltmarktführer FANUC  
zieht nach



MRK von Bosch



„ABB macht aus Gomtec  
F&E-Zentrum für MRK“  
B. Gombert früher DLR-RM



# Mensch-Roboter-Kooperation ist industrielle Realität sichtbarste Robotik-Innovation auf der Hannover Messe 2015/2017!!

KUKA ist Vorreiter in MRK  
Technologietransfer vom DLR



2006-2012



2013





# DLR-Ausgründung Kastanienbaum + KBee

Hoch-performante Mensch-Roboterinteraktion wird preisgünstig



Ein Highlight auf der Hannover Messe 2016/17

Basispreis unter 10k€





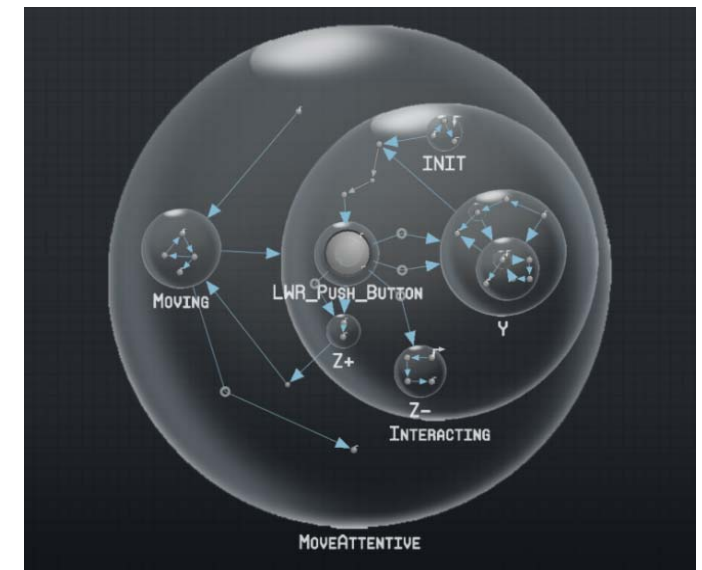
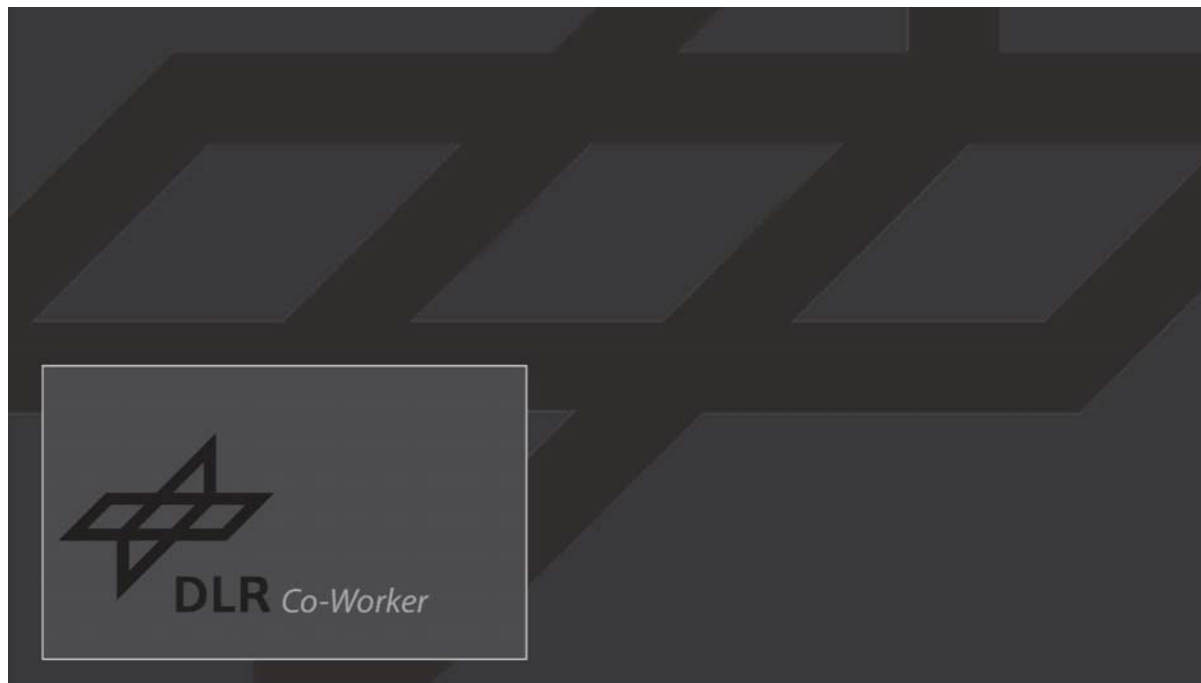
# Intuitive, Hands-on Roboterprogrammierung

Integration der “Soft Robotics” features in einer konsistenten, einheitlichen Bedienerschnittstelle

Wie lässt sich das iPhone-Konzept auf Roboter übertragen?



Wie macht man die Vielzahl der Betriebsmodi intuitiv bedienbar für die Nutzer?



X-Box – KINECT zur Detektion und Interaktion mit dem Menschen



# RaceLab: Projektinhalte und Ziele



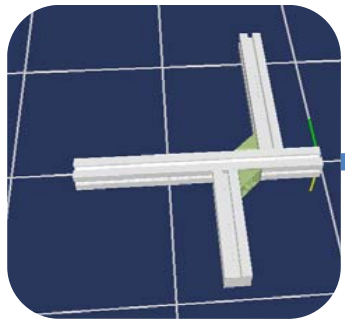
- Marktanalyse, Konkurrenz, Patentrecherche, Kundenanalyse, ...
- Aufbau eines Roboterlabors zur Forschung und Entwicklung von Roboterfertigkeiten
- Einwicklung eines Prototypen für Fortgeschrittenen-/Expertenprogrammierung
- Spezifikation und Entwicklung von Bibliotheken mit Roboterfähigkeiten
- Design und Analyse eines Zertifizierungskonzepts für Library-Items
- Validierung an 2 Use-Cases aus realem Umfeld
- Finale Zertifizierung wird von der Industrie durchgeführt



# Study of Fully Automated Manufacturing Workflow

Automatic generation of robot programs starting from CAD Applications

- mass customization
- highly variable, rapidly changing product families (towards lot size 1)



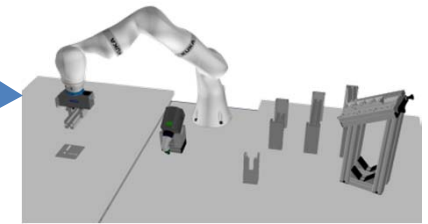
**CAD design**



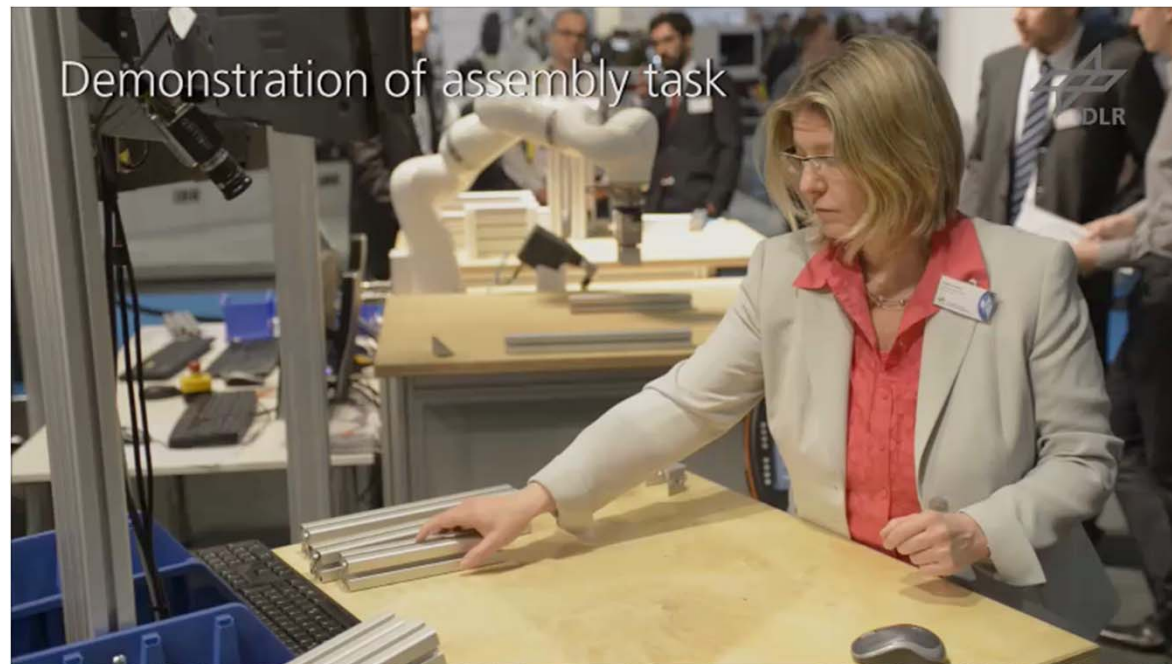
**automatic assembly planning**



**automatic robot program generation**



**robot program execution**

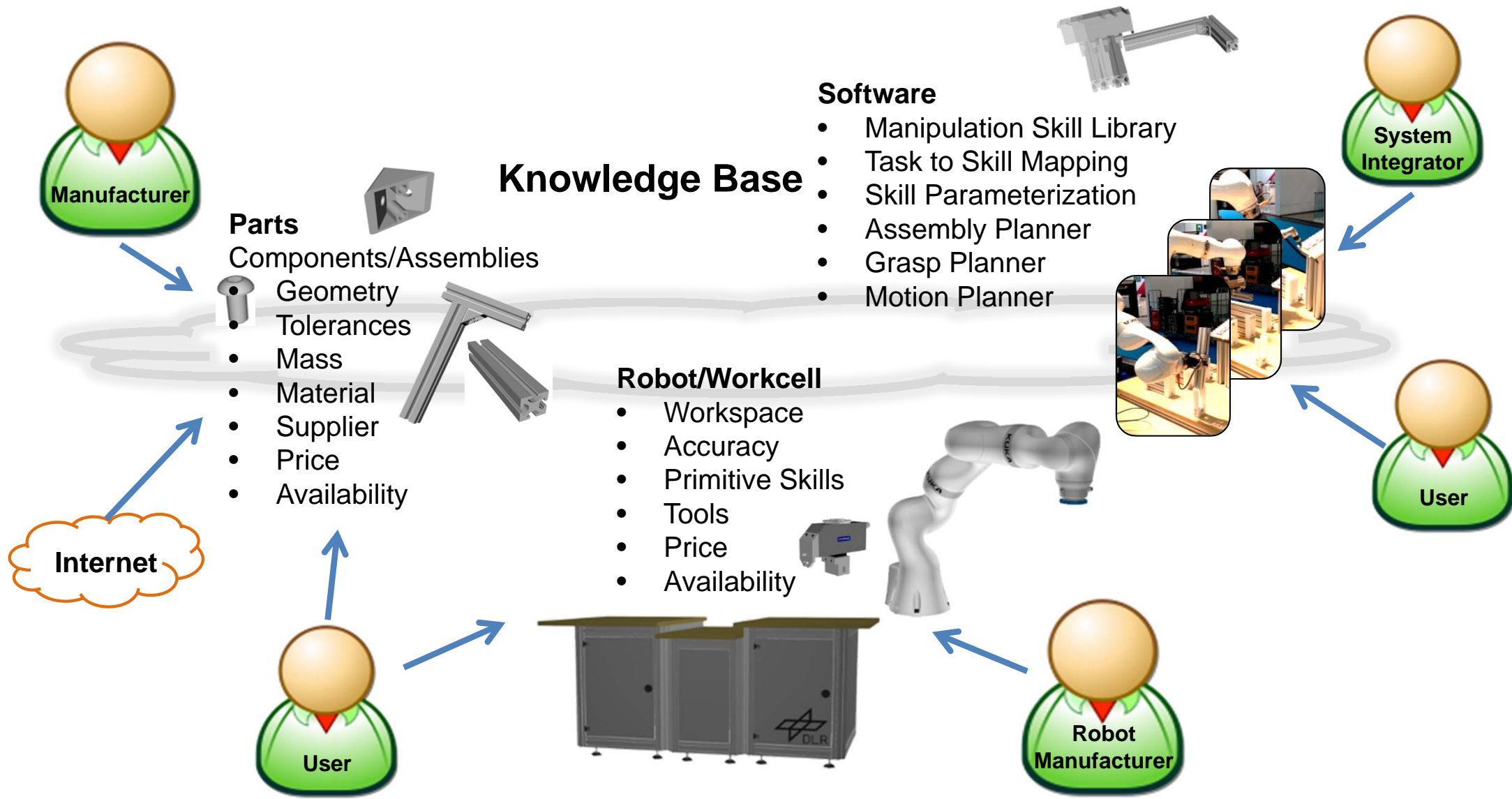


Demonstration of assembly task





# Industry 4.0: Shared Data for Automatic Manufacturing Workflow



# Mobile Manipulation



## Mitarbeiter des Monats

Vor allem wegen Robotern wie KMR iiwa 14 planen die Chinesen, seinen Hersteller Kuka zu kaufen. Die Maschine ist höchst sensibel VON KOLJA RUDZIO

„Vor allem wegen Roboter wie KMR iiwa planen die Chinesen, seinen Hersteller KUKA zu kaufen“

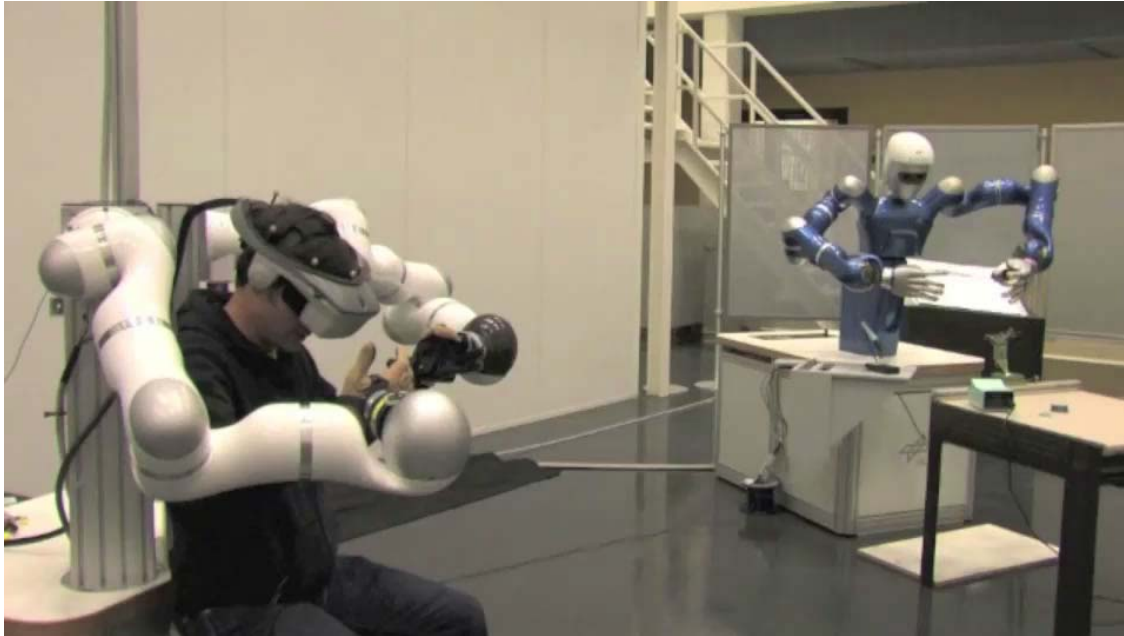
Die Zeit, 2. Juni 2016





# Telemanipulation with Time Delay

Teleoperation with force feedback is feasible today to between any two point on the earth connected over fast internet



[Ryu, Artigas & al., Mechatronics, 2010]

- Effective operation up to 0.8s delay



# METERON: ESA Technology Validation Mission

## Kontur 2: German – Russian Teleoperation Mission

### -Mars-End-To-End-RObotic Networking METERON



-manned orbiter

- Human landing on Mars can hardly be funded today
- Bringing humans to a Mars orbit with a large joint international effort is rather feasible

### -Mission Approach

- direct teleoperation of complex robots for complex tasks with minimal time delay





# METERON: ESA Technology Validation Mission

## Kontur 2: German – Russian Teleoperation Mission

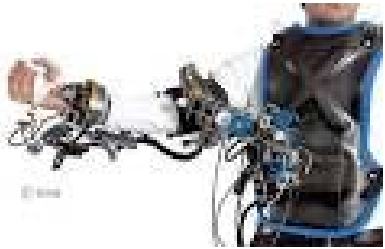
### Mars-End-To-End-RObotic Networking METERON



DLR joystick (2015)



tablet PC



ESA exoskeleton

Technology validation on earth with teleoperation from ISS

#### Mission Approach

direct teleoperation with force-feedback



РОСКОСМОС



ESA – DLR joint lab

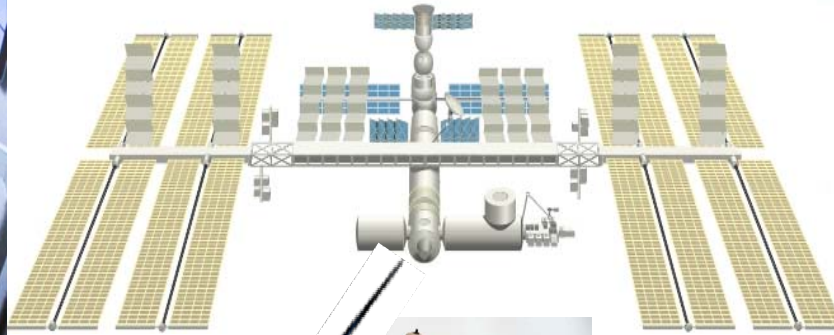


# First Force Feedback Control of a Humanoid from Space

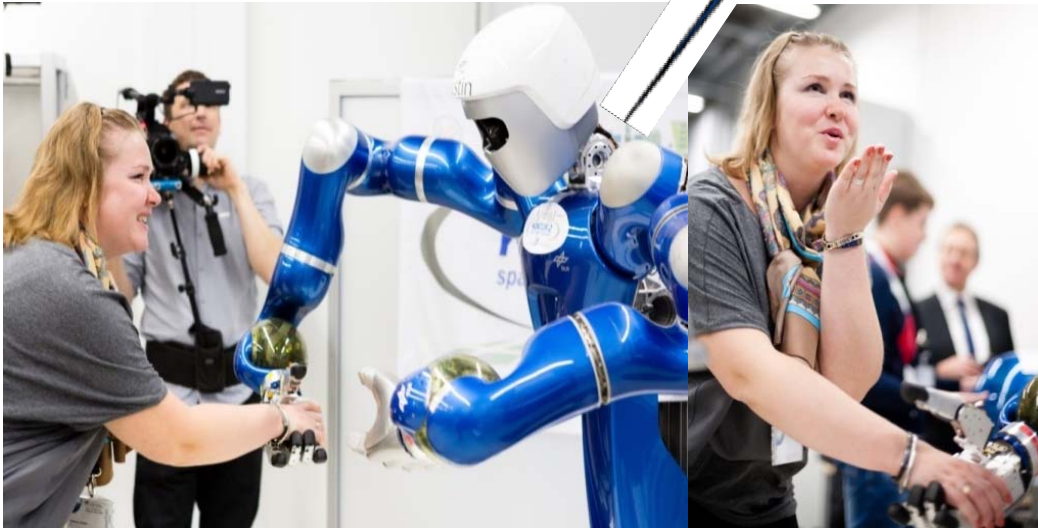
December, 2015



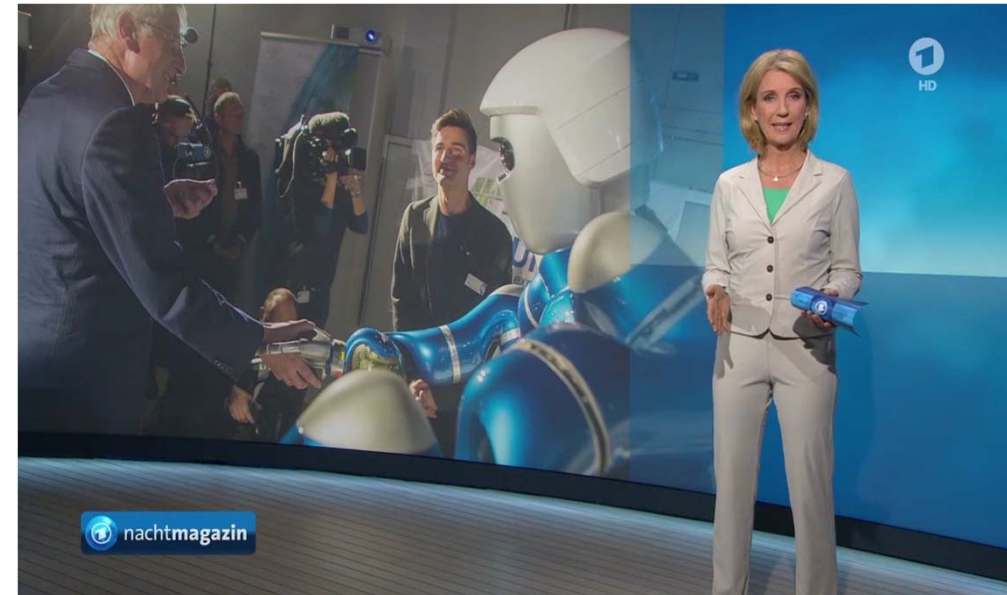
Kosmonaut S. Volkov on ISS  
Right arm control



DLR - Force  
Feedback  
joystick



Mrs. Volkova, at DLR, in  
Oberpfaffenhofen





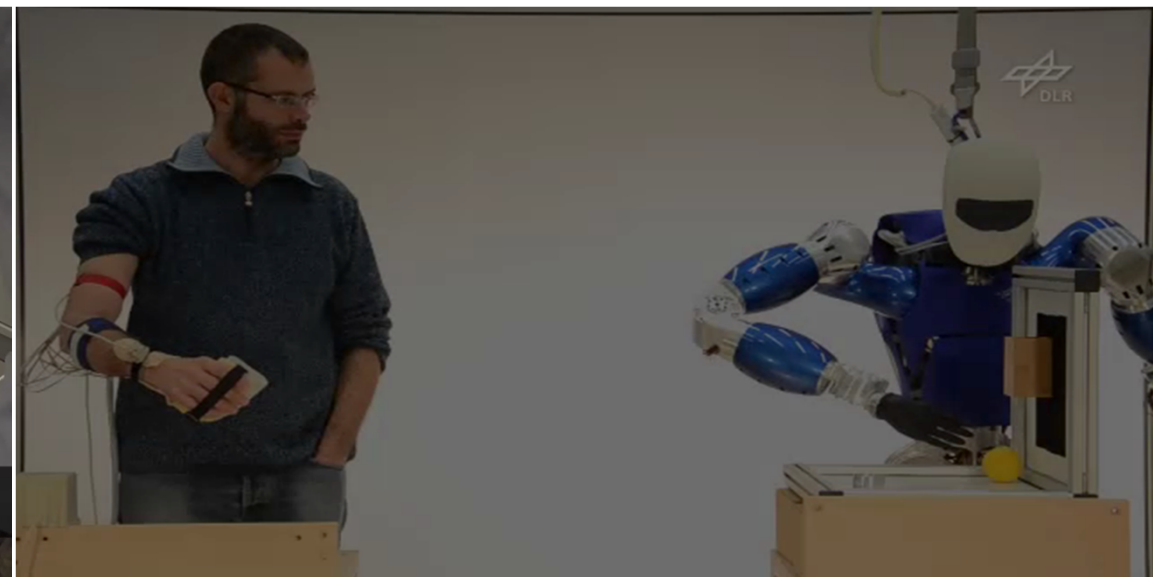
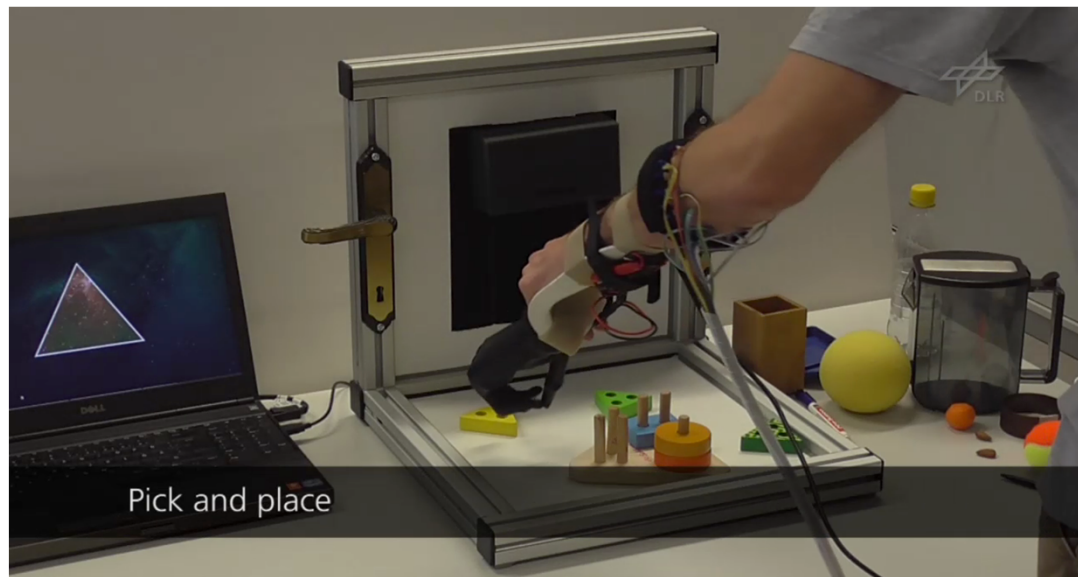
# The Future of Telemedicine



**Christmas 2011 Movie**



# Prostheses and Robotic Assistance with Natural Interfaces



- EMG for hand posture, motion and forces
- Calibration through incremental machine learning techniques
- Directly usable to advanced prosthetic devices

Castellini et al., Front. In Neurobotics, 2014





# Tele-Manipulation with Brain Interface or EMG Signals

brain interface



Smagt, Vogel, Haddadin, together with Brown University/USA, 2011

The future of teleoperation:

- arm movements and hand actions can be well detected from natural interfaces (EMG, brain signals)

- shared autonomy/control substantially improves performance and reduces patient mental effort



EMG interface

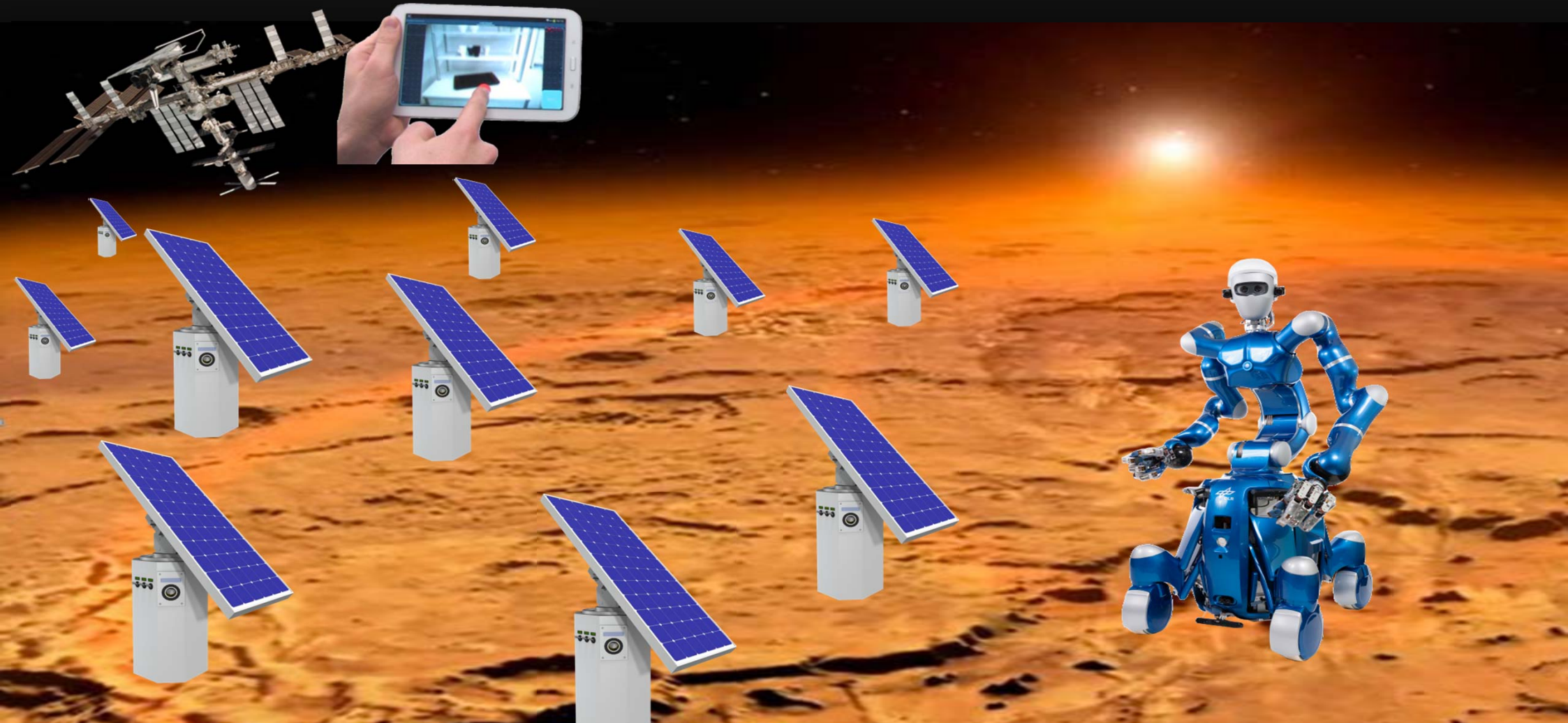
Vogel, Smagt, 2015

**Are these kind of „cyborg“ technologies going to be accepted and broadly adopted and are they preferable to thee pure segregation human - robot ??**



# METERON SUPERVISED AUTONOMY EXPERIMENT

## SUPVIS-JUSTIN



Website: <http://meteron.dlr.de/>

Contact: [Neal.Lii@dlr.de](mailto:Neal.Lii@dlr.de)



# METERON SUPVIS Justin

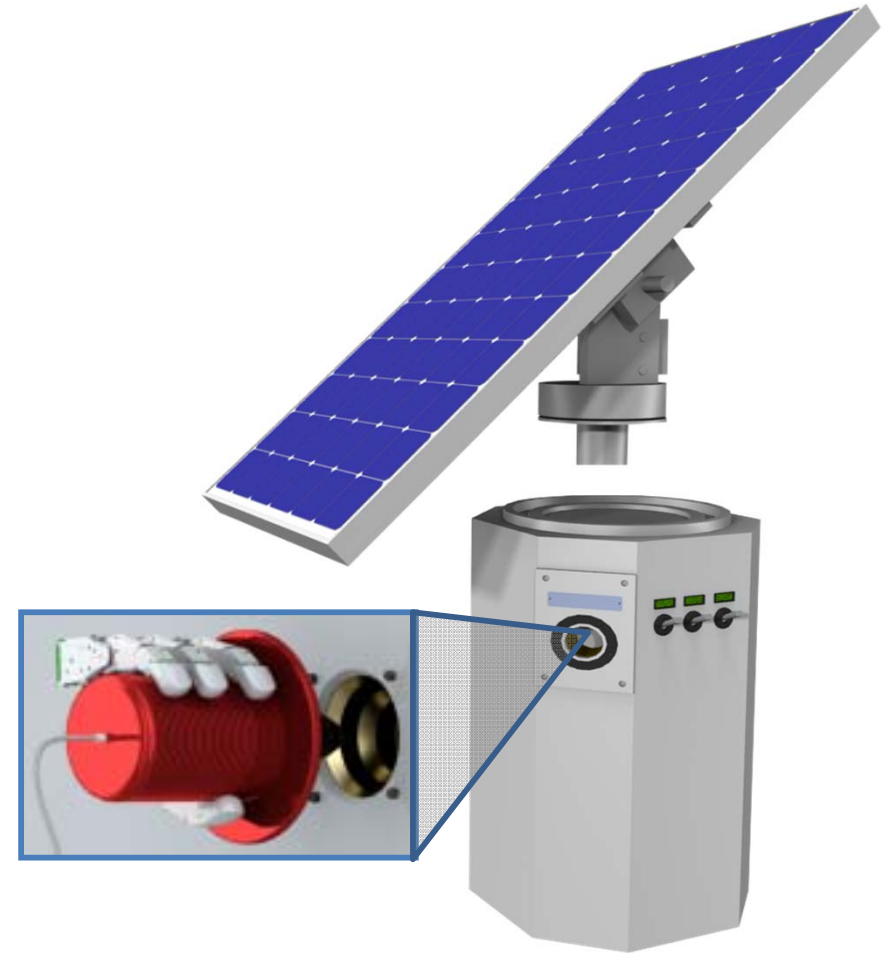
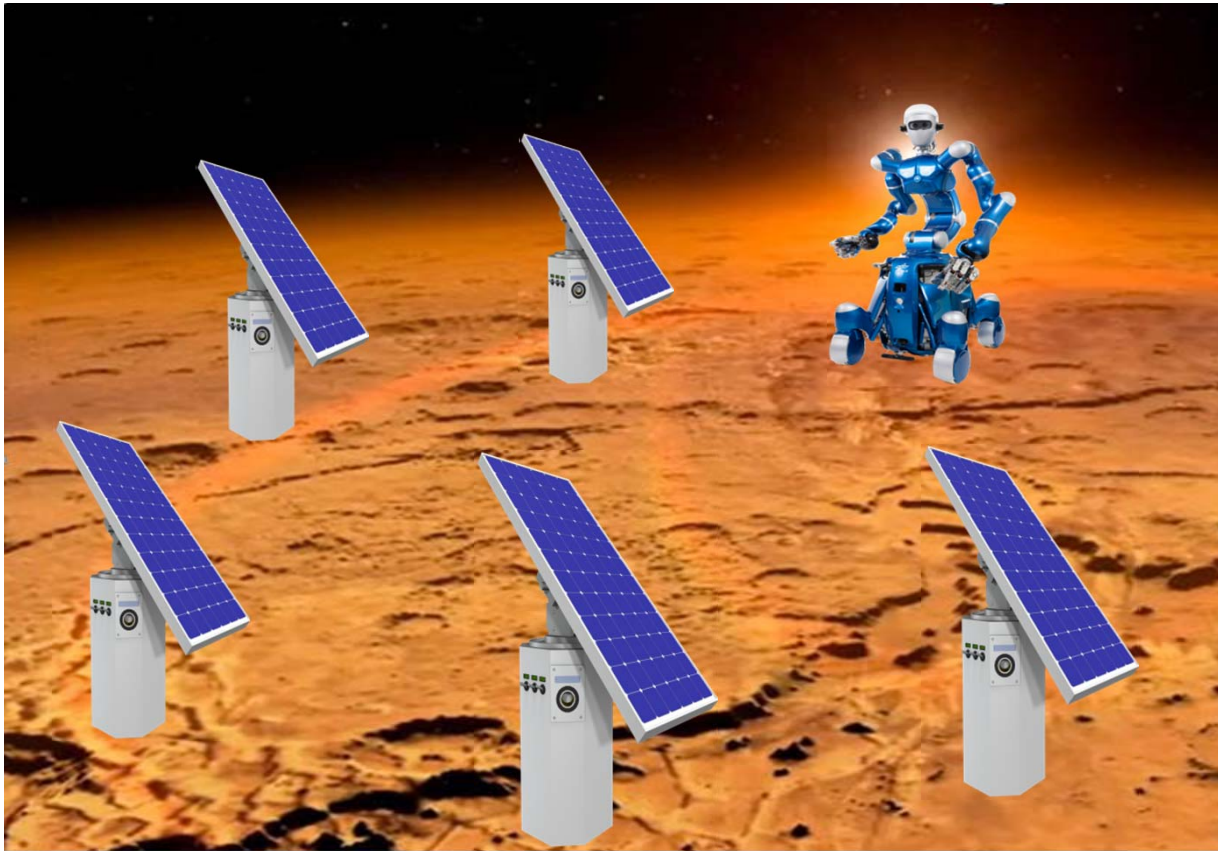
Current team of astronauts enlisted:

Astronaut	Training Date	Experiment Date
Paolo Nespoli (Italy) 	March 2017	Expedition 52
Randy Bresnik (USA) 	April 2017	Expedition 52 or 53
Mark Vande Hei (USA) 	July 2017	Expedition 53 or 54
Norishige Kanai (Japan) 	July 2017	Expedition 54
Scott Tingle (USA): 	July/September 2017	Expedition 54 or 55



# SUPVIS-JUSTIN: on-ground hardware

## Mars on earth: the SOLEX experiment environment



# Der mobile Heimassistenzroboter Justin

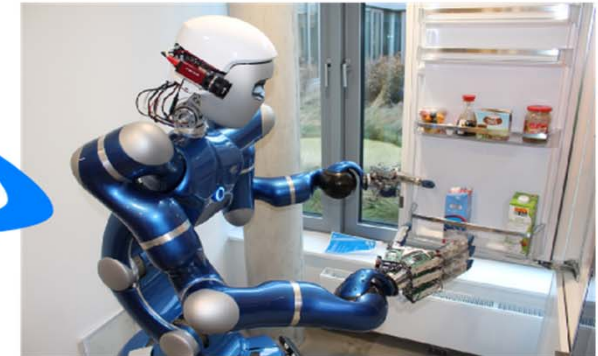
Bayrisches Projekt (Digitalisierungsoffensive) + privates Stiftungsgeld



Angehöriger



*Intuitive Steuerung  
mittels Tablet & Smartphone*



Operator



*Haptische Teleoperation  
durch ein Expertensystem*



- Steuerung des Roboters über Tablet/Smartwatch/Smartphone
- Teilautonome Ausführung von Aufgaben („Hole Medikamente!“)
- Kommunikationsmodul integriert (Videotelefonie)
- Unterstützung durch Experte in Call-Center für Manipulation (→ Fernsteuerung)



„Notspritze setzen“





# Der mobile Heimassistenzroboter Justin



## Bayrisches Projekt mit privatem Stiftungsgeld

Angehöriger



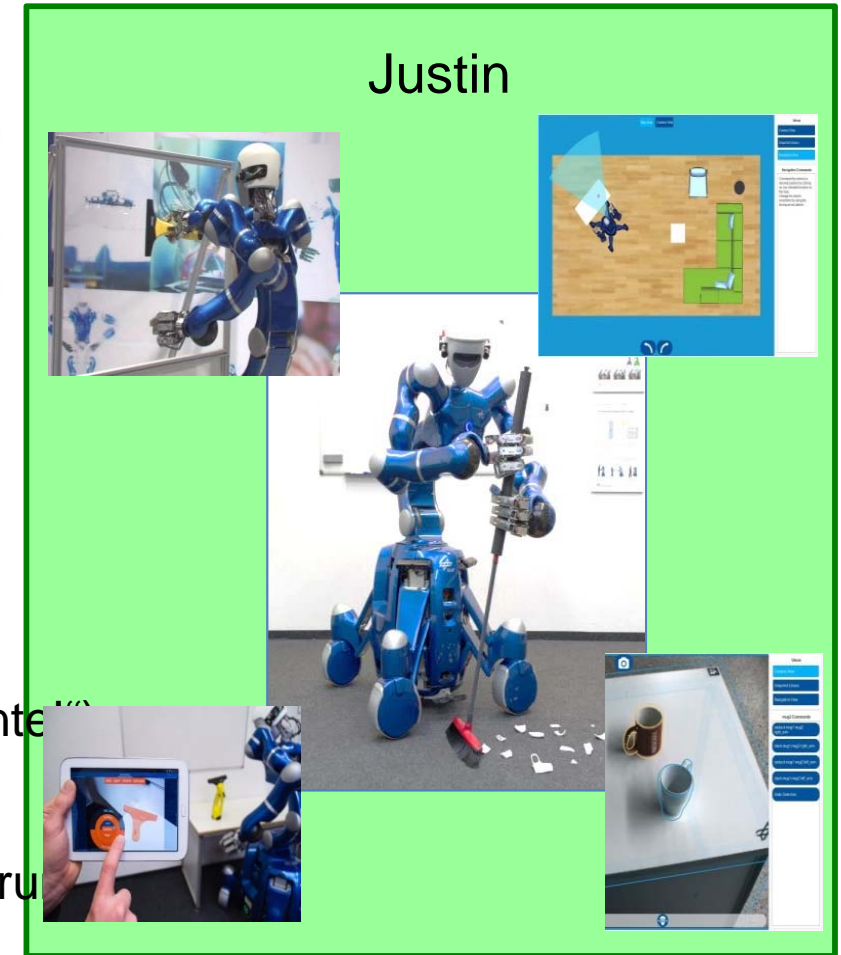
*Intuitive Steuerung  
mittels Tablet & Smartphone*



Operator



*Haptische Teleoperation  
durch ein Expertensystem*

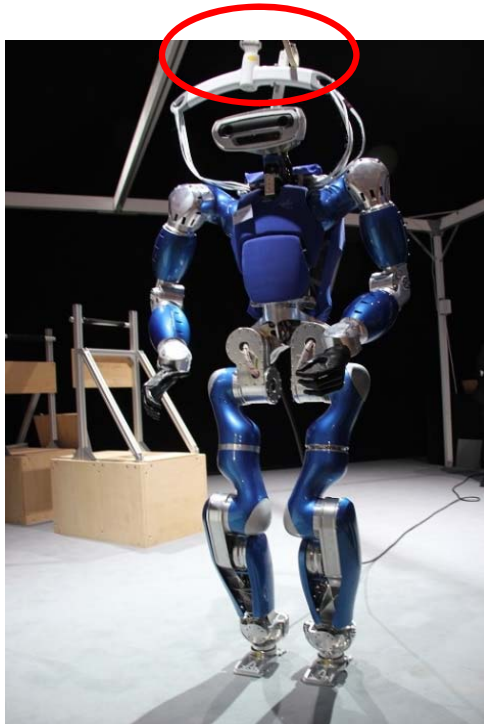


Justin

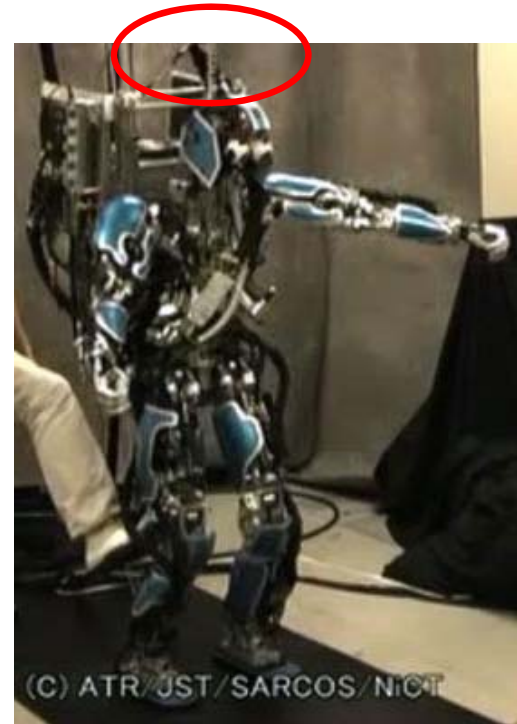
- Steuerung des Roboters über Tablet/Smartphone
- Teilautonome Ausführung von Aufgaben („Hole Medikamente“)
- Kommunikationsmodul integriert (Videotelefonie)
- Unterstützung durch Experte in Call-Center (→ Fernsteuerung)



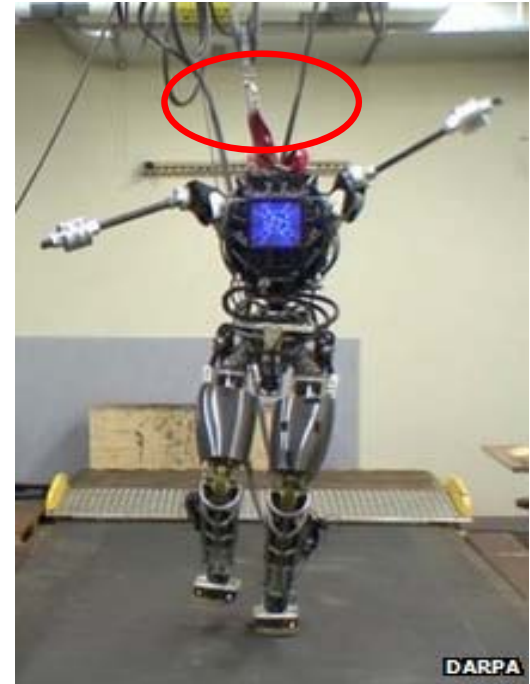
# Muscle-Like Controlled Actuators in Humanoids



DLR TORO  
**T**ORque Controlled **R**Obot  
Ott & al `09



ATR and SARCOS  
Hydraulic Humanoid



ATLAS  
Hydraulic Humanoid

- Very good control performance
- Limited power/weight ratio to geared actuators
- Limited robustness to impacts





# Why Passive Compliance?



[parkour.wikia.com]

Compliance needed for **dynamics & robustness**

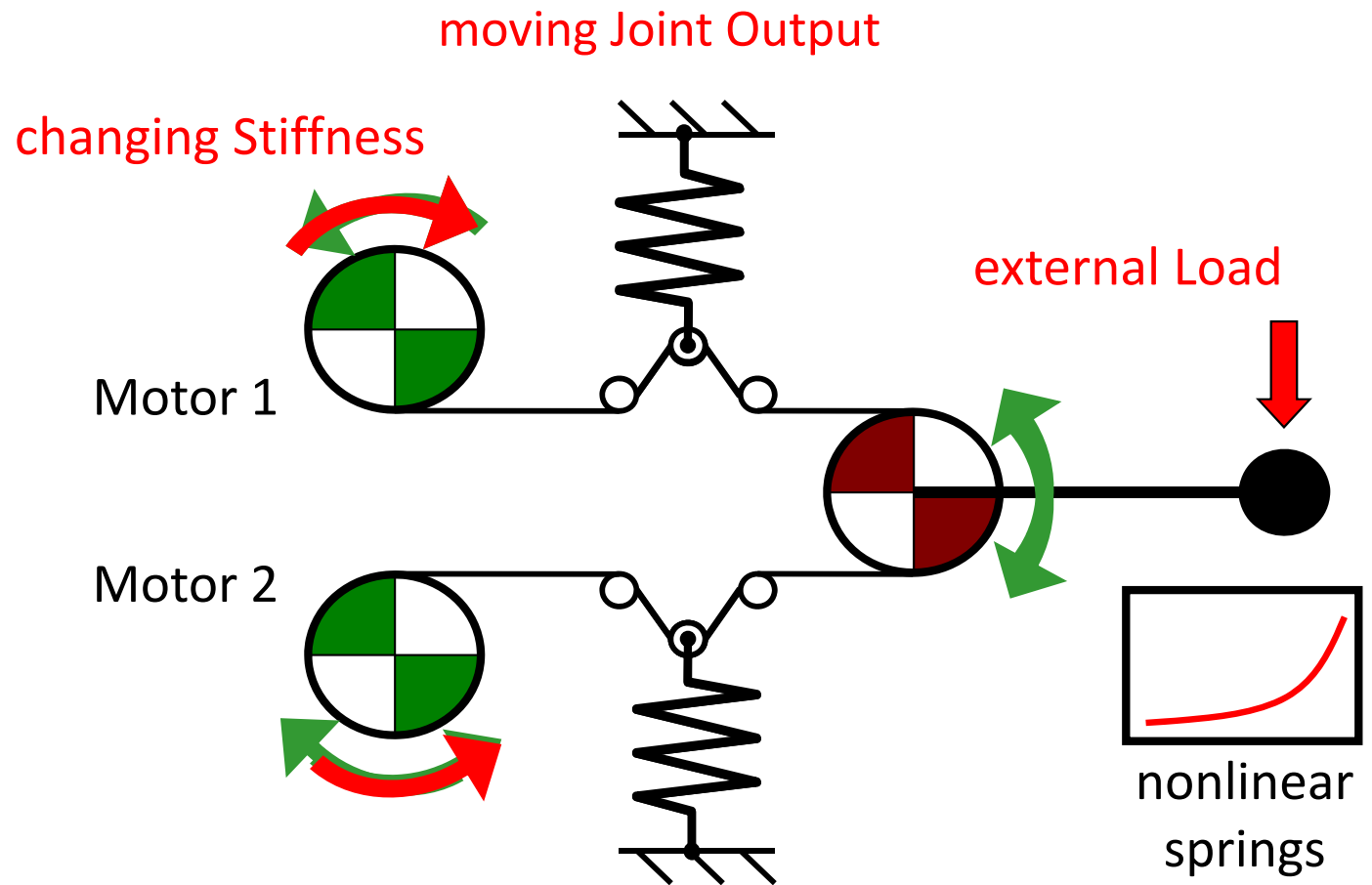
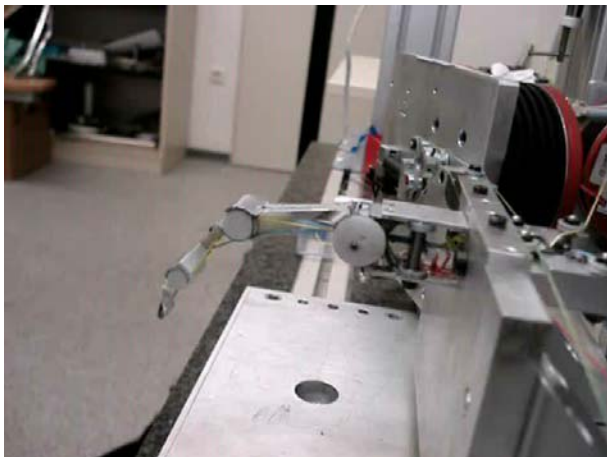
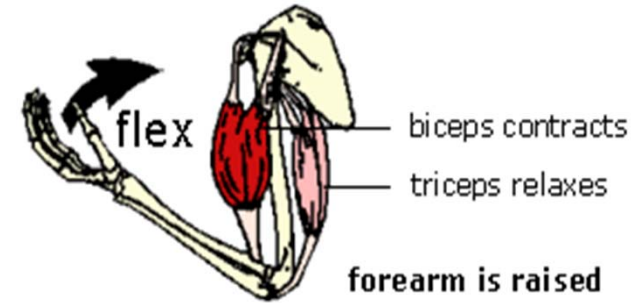
- to store and release energy for explosive motions
- to absorb energy and reduce impact force peaks



# VIA – Variable Impedance Actuators

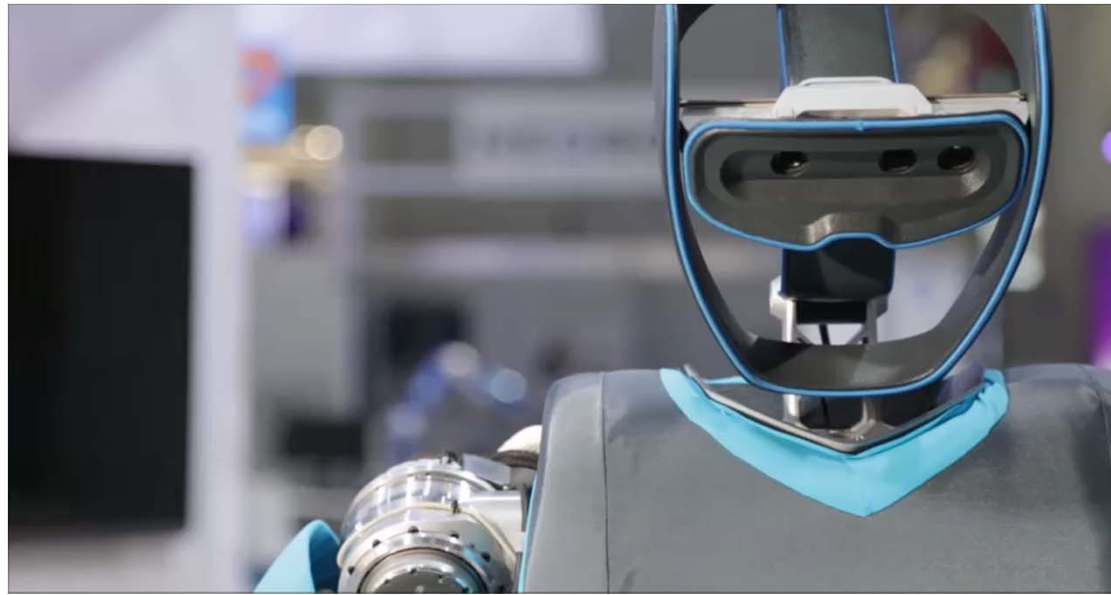
Antagonistic Actuators directly inspired by the biological muscle function

- 2 equally sized motors
- *motors pull tendons*





# Robustness, Dynamic Motion, Precision, Repeatability



# Kombination von nachgiebiger Regelung und KI



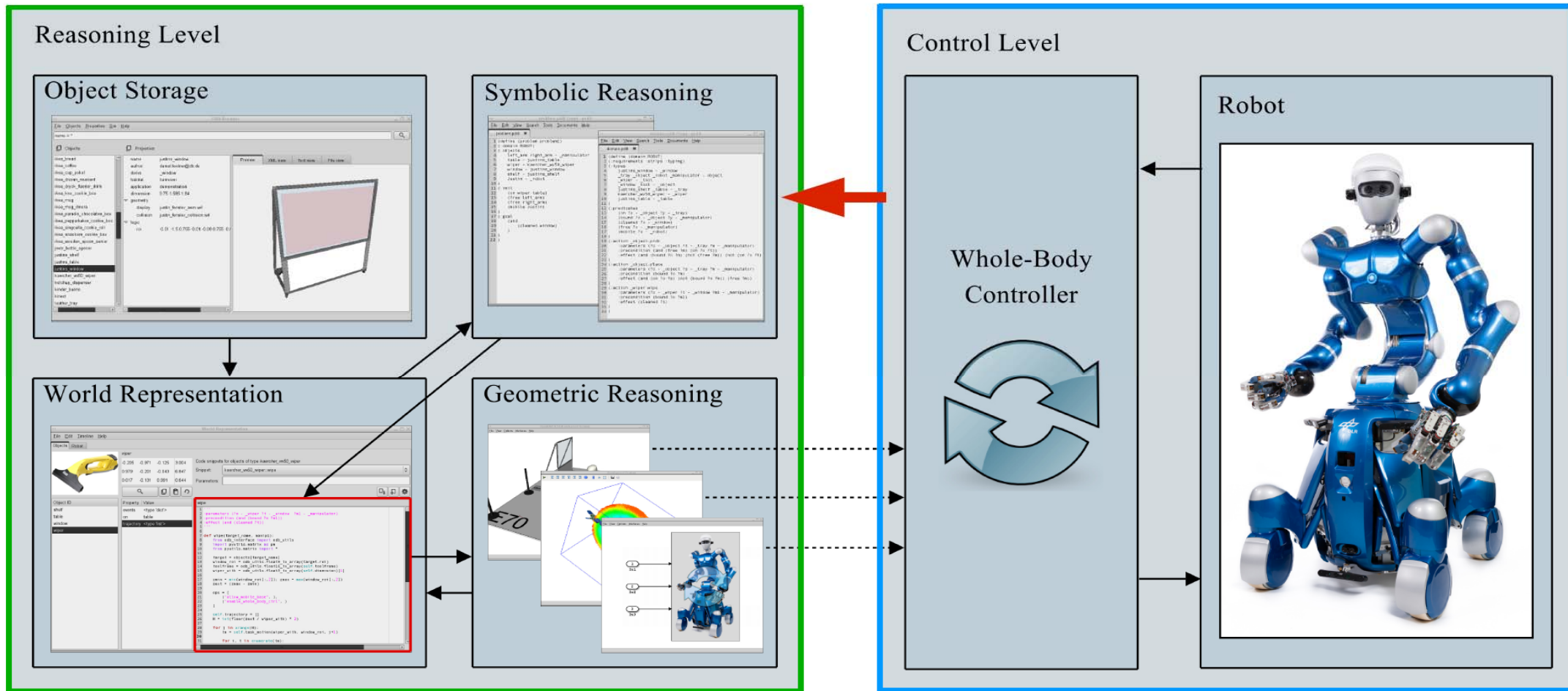
- Generalisierung der Aufgabenplanung für eine Menge ähnlicher Aufgaben
- Kann man die nächste Haushaltsapplikation in nur einem Tag programmieren?

Kooperation mit Michael Beetz, TU Bremen





# Combining Compliant Control and AI



*Hybrid Reasoning*

*Compliant Control*

Cooperation with Michael Beetz, TU Bremen



# Humanoids Are Getting Skillful and more and more autonomous !

Advanced (near) real time

- perception
- motion planning
- task planning
- semantic reasoning



M. Beetz, Univ. Bremen



Dillmann & Asfour, KIT



Ashimo@Honda



P. Abbeele, Univ. California



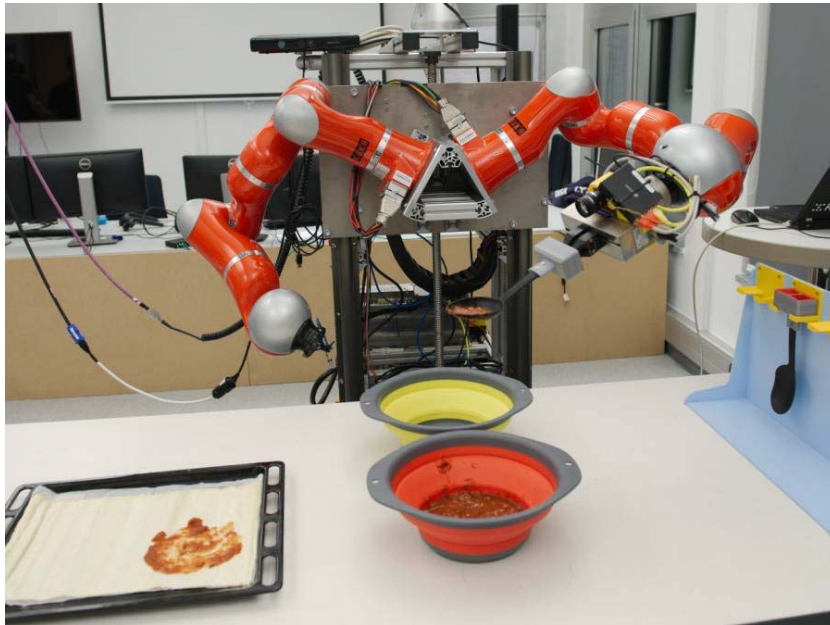


# Big and Smart Data in Robotics

Ab 01.07.2017 - neuer Sonderforschungsbereich in Bremen, mit Beteiligung DLR, TUM  
„EASE – Everyday Activity Science and Engineering“

„Der Roboter, der weiß, was er tut“

- Aufzeichnung großer, semantisch annotierter Datenmengen im Roboterbetrieb
- Nutzung von KI um Daten zu analysieren und auf zukünftige Aufgaben zu übertragen



Univ. Bremen

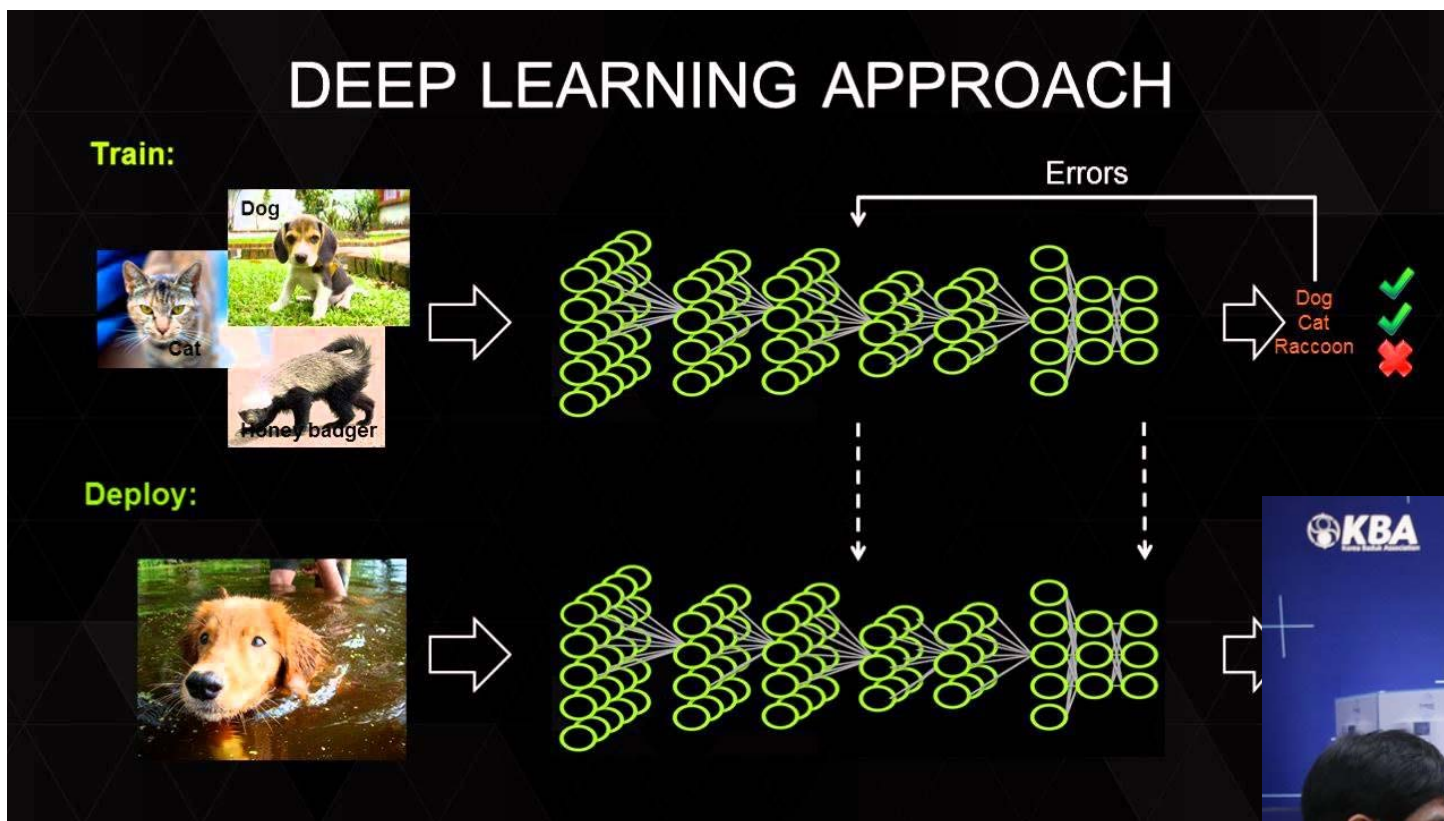


DLR



# Deep Learning

- bahnbrechende Fortschritte im Bereich der Bildverarbeitung und Mustererkennung
- in diesen Bereichen sind klassische, modellbasierte Ansätze deutlich unterlegen



- ähnlich eindrucksvolle Ergebnisse bei bildbasierter Entscheidung von Aktionen
- Vorschlag des „Nobel Turing Test“  
Kato, Sony Research, ICRA 2017





# Machine Learning at Google

Deep Learning Networks for learning to connect images to grasping motions  
„from pixels to motor currents“

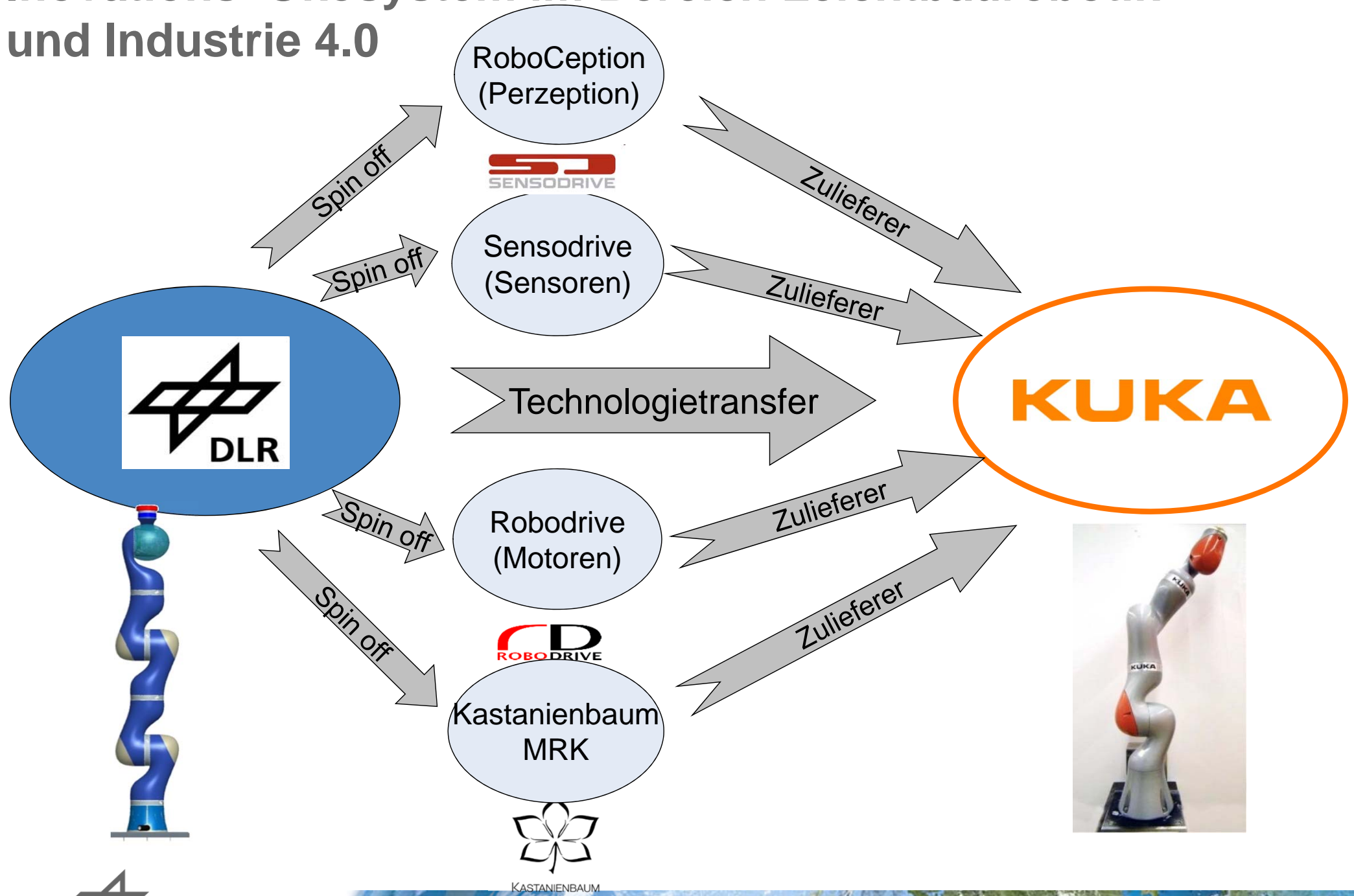


Many robots collect millions of images, associated robot actions and labels indicating  
If the grasp was successful

Serghej Levine, Univ. Berkley



# Inovations-Ökosystem im Bereich Leichtbaurobotik und Industrie 4.0





# RMC Spin-Offs and Start-Ups



**3Dconnexion**  
A LOGITECH COMPANY

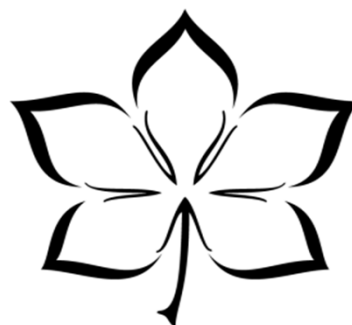
Wessling Robotics GmbH



**Kbee AG**

**Elektra UAS**

**DUALIS**  
SPACE FOR  
MEDICAL  
INNOVATION



KASTANIENBAUM



**eStop**



**Roboception**



über 300 Mitarbeiter in RMC - Ausgründungen beschäftigt



# Zusammenfassung

- Digitalisierung und Industrie 4.0 sind nicht nur Computernetze und Cloud. Wenn man aus der Cloud in unsere „reale“ Welt wirken will, braucht man nicht nur virtuelle, sondern auch physische Agenten. Robotik sollte daher ein stärkeres integrales Bestandteil dieser Strategien werden.
- Automatisierung und KI sind Grundvoraussetzungen zur Sicherung der Wettbewerbsfähigkeit – die Wertschöpfung wird weltweit gerade neu umverteilt
- Ein großer Teil der Robotertechnologien sind heute bereits verfügbar – KI, Wahrnehmung, Planung, einfache Programmierbarkeit sind aber noch die großen Engpässe
- Wie die Balance zwischen Fachkräftemangel, Produktivitätssteigerung und Arbeitsplatzabbau, neue Arbeitsplätze durch neue Geschäftsfelder ausschlägt, ist heute schwer einzuschätzen
- wir brauchen eine Soziologische und politische Auseinandersetzung mit den Auswirkungen eines massiven Einzugs von Robotern in der Gesellschaft

**Die Roboter sind nicht das Problem sondern die Lösung, wenn die Gesellschaft darauf richtig vorbereitet ist!**

