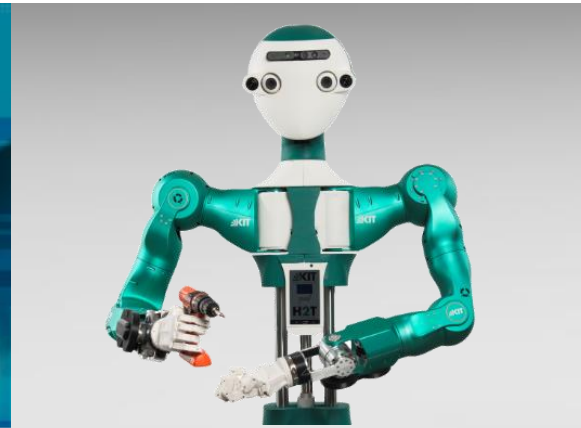


# Robotik I: Einführung in die Robotik

## Kapitel 0 – Einführung

Tamim Asfour

<http://www.humanoids.kit.edu>



# Organisatorisches

# Vorlesungsbetreuer H2T (Geb. 50.20)



**Tamim Asfour**  
Prof. Dr.-Ing.  
Raum 017  
Tel.: 608 - 47379  
[asfour@kit.edu](mailto:asfour@kit.edu)



**Abdelrahman Younes**  
M. Sc.  
Raum 332  
Tel.: 608 - 48821  
[younes@kit.edu](mailto:younes@kit.edu)



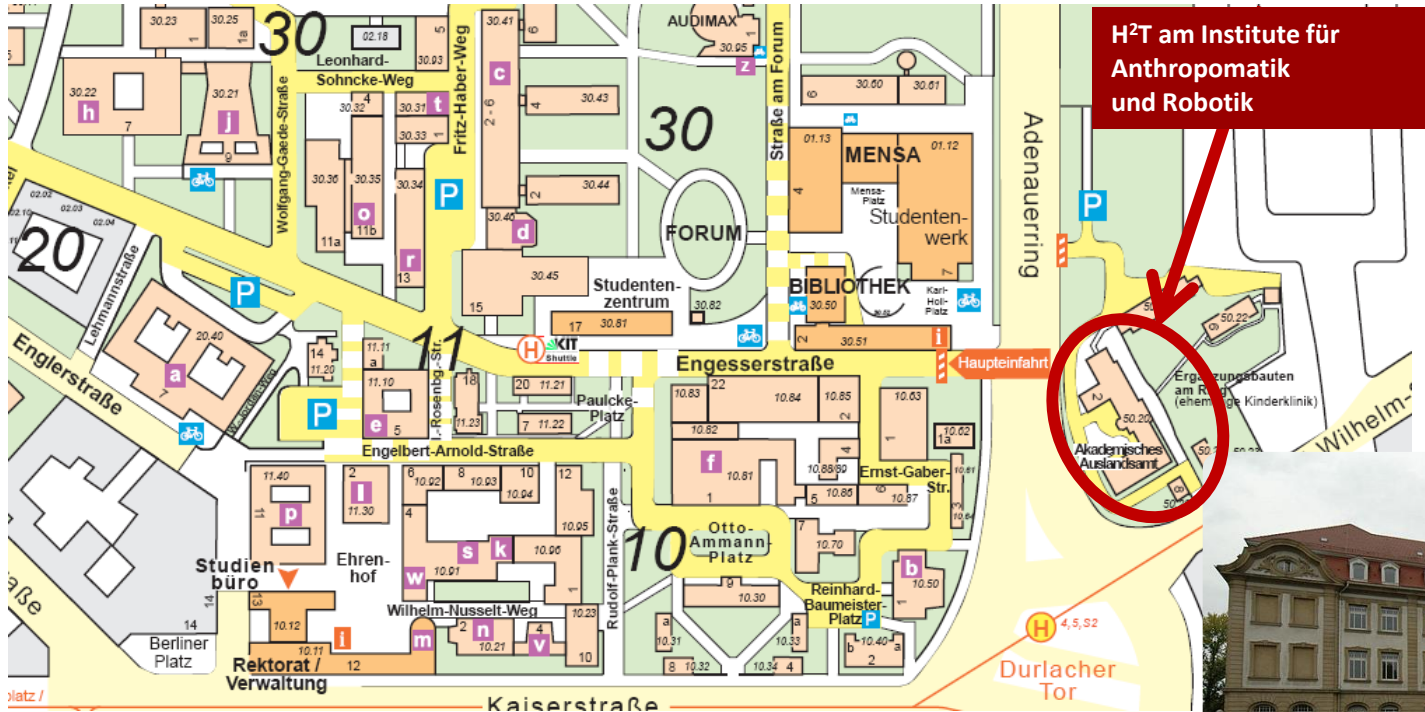
**Tilman Daab**  
M. Sc.  
Raum 334  
Tel.: 608 - 47133  
[tilman.daab@kit.edu](mailto:tilman.daab@kit.edu)

For questions and comments write to: [robotics-1@lists.kit.edu](mailto:robotics-1@lists.kit.edu)

# Sprechstunde

- Tamim Asfour
  - Mittwochs 14:00 –16:00 Uhr,  
und nach Vereinbarung per E-Mail an  
[asfour@kit.edu](mailto:asfour@kit.edu)
  
- Weiter Sprechstunden: Siehe H<sup>2</sup>T Webseite
  - [www.humanoids.de](http://www.humanoids.de)
  - [www.humanoids.kit.edu](http://www.humanoids.kit.edu)

# H<sup>2</sup>T: Geb. 50.20



# Termine

- Vorlesung & Übung
  - Montags, 17:30 - 19:00 Uhr
  - Donnerstags, 17:30 - 19:00 Uhr
  - Übung: Wird angekündigt
  
- Aktuelle Termine in ILIAS

# Vorlesungsmaterial

## ■ KIT Lehrsystem ILIAS

- Im ILIAS-Portal: <https://ilias.studium.kit.edu>

## ■ Folien zur Vorlesung

- Im ILIAS
- Kennwort für ILIAS: **armar@kit**

## ■ Zugang ILIAS:

- Einloggen
- Kurs suchen: „Robotik I – Einführung in die Robotik“
- Dann „Kurs beitreten“ mit dem Passwort

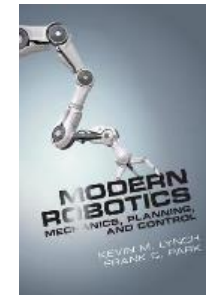
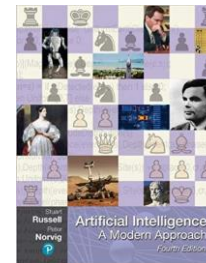
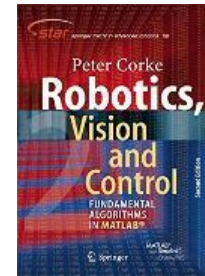
# Themen der Vorlesung

- Mathematische Grundlagen der Robotik
- Kinematik
- Dynamik & Regelung
- Bewegungsplanung
- Greifplanung
- Grundlagen der Bildverarbeitung in der Robotik
- Symbolische Planung
- Programmieren durch Vormachen



# Literatur

- **Handbook of Robotics:** Umfassender Überblick Robotik (1600 Seiten)  
Bruno Siciliano and Oussama Khatib (PDF aus dem KIT-Netz verfügbar)  
<http://link.springer.com/book/10.1007%2F978-3-319-32552-1>
- **Robotics, Vision and Control: Fundamental Algorithms in Matlab**  
Peter Corke  
<https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-642-20144-8>
- **Modern Robotics: Mechanics, Planning and Control**  
Kevin M. Lynch and Frank C. Park  
[http://hades.mech.northwestern.edu/index.php/Modern\\_Robotics](http://hades.mech.northwestern.edu/index.php/Modern_Robotics)
- **Robotics: Control, Sensing, Vision, and Intelligence**  
K.S. Fu, R.C. Gonzalez, C.S.G. Lee
- **Artificial Intelligence – A Modern Approach**  
Stuart Russel and Peter Norvig  
<http://aima.cs.berkeley.edu/>
- **Ausgewählte Publikationen:** Details siehe ILIAS Arbeitsbereich



# Software

Wir werden in den Übungen verschiedene Programme und Bibliotheken kennen lernen, die in der Robotik eingesetzt werden

- Matlab:

<https://www.scc.kit.edu/produkte/3841.php>



- Robotics Toolbox (Matlab und Python):

<http://petercorke.com/wordpress/toolboxes/robotics-toolbox>



- Simox:

<https://gitlab.com/Simox/simox/wikis/Installation-Source-Ubuntu>

- OpenCV (Python):

<https://opencv-python-tutroals.readthedocs.io/en/latest/>



# Prüfung

- Robotik I ist Stammmodul für InformatikerInnen zum Vertiefungsfach „Robotik und Automation“
- Prüfung: **Schriftlich**
- Klausur im WS 23/24
  - Termin: **23. Februar 2024, 08:00 Uhr**
  - Anmeldung: **im Campus-System**, <https://campus.studium.kit.edu>
- Klausur im SS 2024: Termin wird bekannt gegeben

## Robotik I – Einführung in die Robotik Stammmodul (6 ECTS)

### Vorlesungen

Mechano-Informatik in der Robotik (4 ECTS)

Robotik II: Humanoide Robotik (3 ECTS)

Anziehbare Robotertechnologien (4 ECTS)

Robotik III: Sensoren und Perzeption in der Robotik (3 ECTS)

Riemannsche Methoden zum Lernen in der Robotik (3 ECTS)

### Praktika

Lego Mindstorms (3 ECTS)

Humanoide Roboter (6 ECTS)

Roboterpraktikum (6 ECTS)

Basispraktikum Mobile Roboter (4 ECTS)

### Seminare

Humanoide Roboter (3 ECTS)

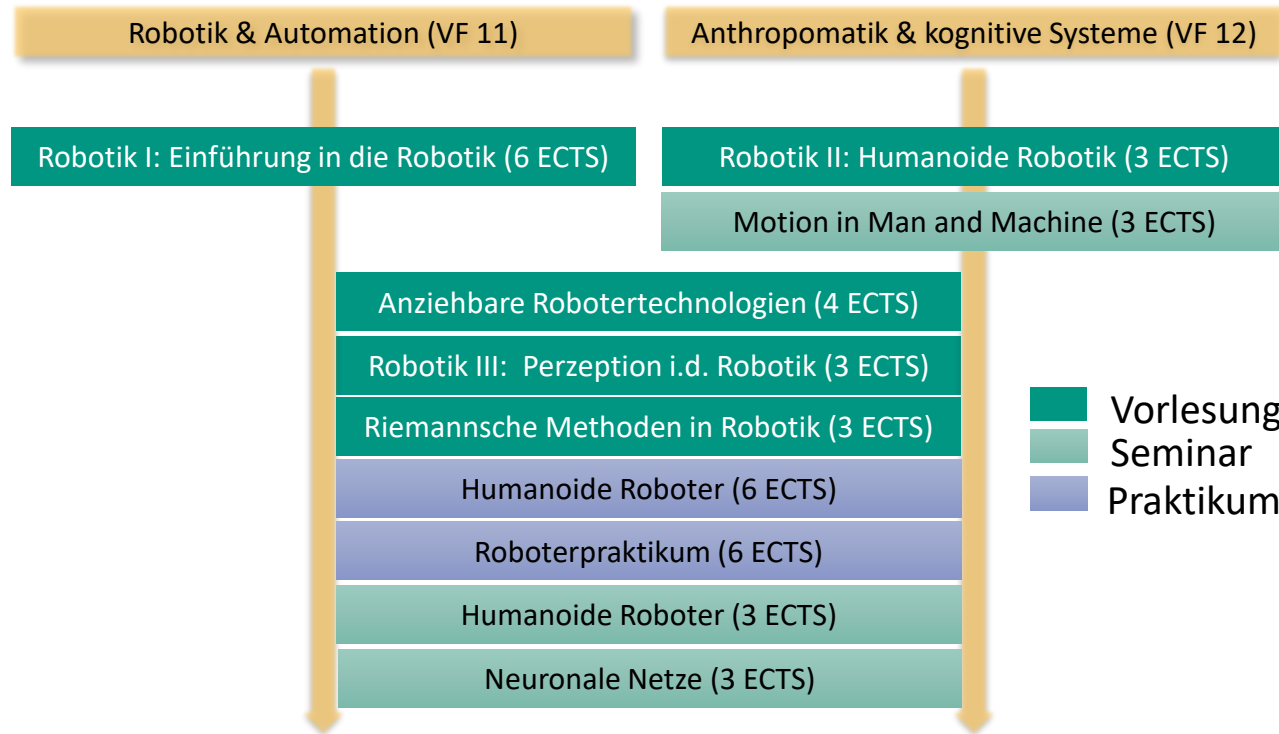
Neuronale Netze (3 ECTS)

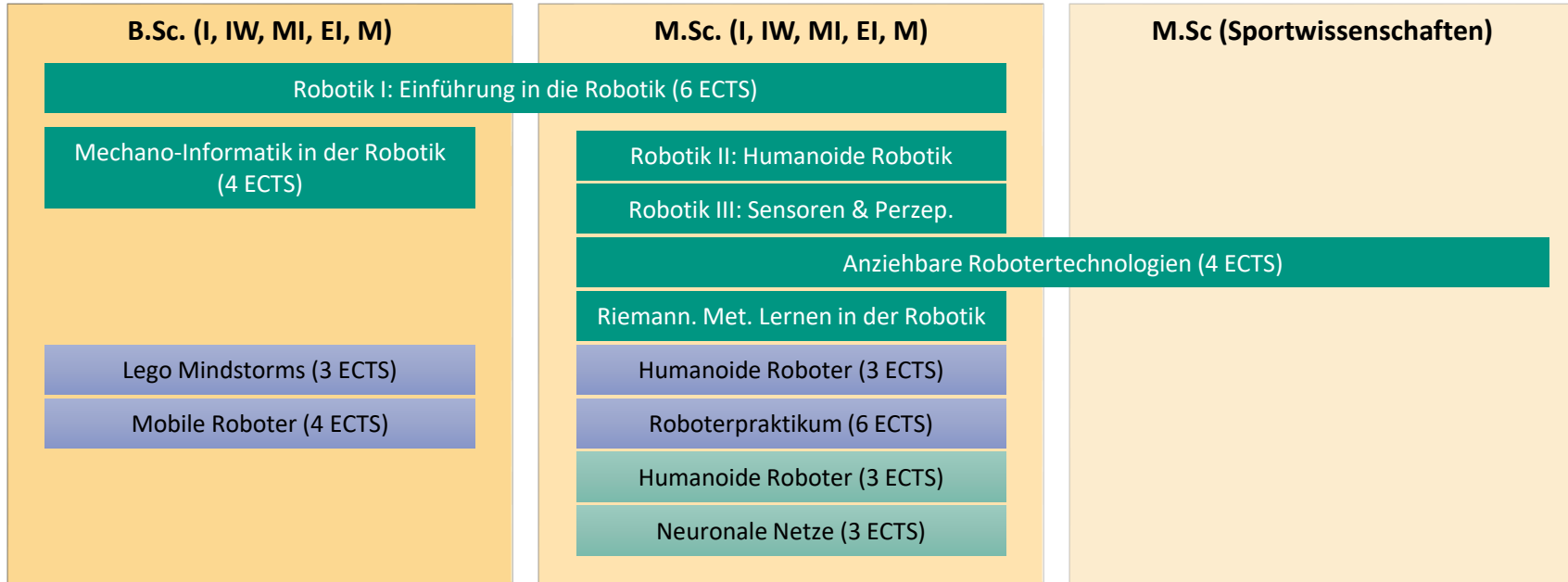
Praxis der Softwareentwicklung (6+2 ECTS)

Praxis der Forschung (24 ECTS)

Praktika für Schülerinnen und Schüler (Robotik AG, BOGY, Robotics Science Camps, Hector Seminar)

# Lehrveranstaltungen @ H<sup>2</sup>T – Vertiefungsfächer





I = Informatik (\* = gilt **nur** für Informatik)  
IW = Informationswirtschaft  
MI = Mechatronik & Informationstechnik

EI = Elektrotechnik & Informationstechnik  
M = Maschinenbau

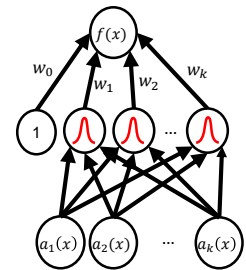
 Vorlesung  
 Seminar  
 Praktikum

## ■ Vorlesung: **Robotik I – Einführung in die Robotik**

Mathematische Grundlagen, Kinematik, Dynamik  
Bewegungsplanung, Greifplanung, Steuerungsarchitekturen,  
symbolische Planung, Programmieren durch Vormachen  
(Imitationslernen), ...

## ■ Vorlesung: **Mechano-Informatik in der Robotik**

Mechano-Informatik als synergetische Integration von  
Informatik, künstlicher Intelligenz und Mechatronik  
(Algorithmen in der Robotik, Grundlagen des maschinellen  
Lernens, Neuronale Netze, Dynamische Systeme)



# Lehrveranstaltungen am H<sup>2</sup>T im WS

- Praktika:
  - Basispraktikum Lego Mindstorms
  - Humanoide Roboter
- Seminare:
  - Humanoide Roboter

**Anmeldung: siehe nachfolgende Folien**





# Basispraktikum Lego Mindstorms

## ■ Veranstaltung im **Bachelor (4 ECTS)**

- Konzeption und Konstruktion eines einfachen Roboters mit Lego Mindstorms
- Vorausgesetzt:
  - Gute Kenntnisse von Python und git
  - Grundlegende Konzepte der Algorithmik (insb. Zustandsautomaten)

■ 23.10.2023 bis zum 12.02.2024:  
**montags 09:00–13:30 Uhr, Raum 148, Gebäude 50.20**

## ■ Registrierung via ILIAS:

- [https://ilias.studium.kit.edu/goto\\_produkativ\\_crs\\_2186627.html](https://ilias.studium.kit.edu/goto_produkativ_crs_2186627.html)
- **Noch frei: 3 von 24 Plätzen**

# Praktikum: Humanoide Roboter

- Veranstaltung im **Master (6 ECTS)**
  - Mittelgroßes Projekt aus dem Forschungsbereich humanoider Robotik
  - Allein oder in kleinem Team
  - Vorausgesetzt: sehr gute Programmierkenntnisse
  
- Bewerbungsfrist:
  - **Freitag, 27. Oktober 2023**
  
- Registrierung:
  - ILIAS-Kurs beitreten um Themen anzusehen:  
[https://ilias.studium.kit.edu/goto\\_produkativ\\_crs\\_2190270.html](https://ilias.studium.kit.edu/goto_produkativ_crs_2190270.html)
  - Per E-Mail bei Betreuer:in bewerben
  - Entscheidungen werden spätestens am 30.10.2023 bekannt gegeben

# Seminar: Humanoide Roboter

- Veranstaltung im **Master (3 ECTS)**
  - Einarbeitung in ausgewähltes Thema der Robotik
  - Abgabe einer schriftlichen Ausarbeitung und Vortrag am Ende des Semesters
  
- Auftaktveranstaltung / Themenvorstellung
  - **Freitag, 27. Oktober, 14:00 – 15:30, R035, Gebäude 50.20**
  
- Registrierung via ILIAS
  - [https://ilias.studium.kit.edu/goto\\_produkativ\\_crs\\_2195230.html](https://ilias.studium.kit.edu/goto_produkativ_crs_2195230.html)
  - **Noch frei: 2 von 9 Plätzen**
  - Weitere Plätze können bei der Auftaktveranstaltung frei werden

















# Institut für Anthropomatik und Robotik (IAR)

- **Anthropomatik: Die Wissenschaft über die Symbiose zwischen Mensch und Maschine**
- Wissenschaft und Technologie für eine bessere Lebensqualität des Menschen



# Institut für Anthropomatik und Robotik (IAR)

■ 14 Lehrstühle mit ca. 150 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter

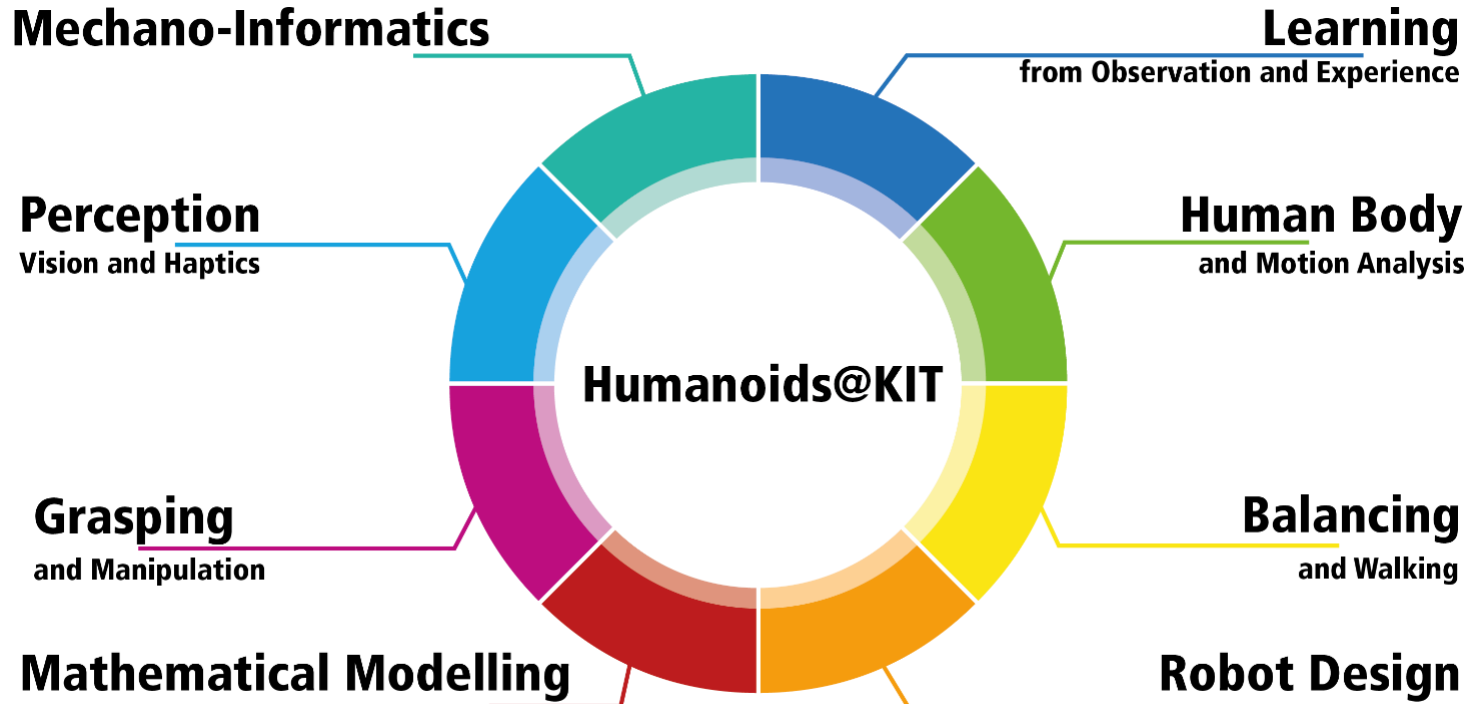
<ul style="list-style-type: none"><li>• High Performance Humanoid Technologies</li></ul> <p>Asfour</p> 	<ul style="list-style-type: none"><li>• Vision and Fusion</li></ul> <p>Beyerer</p> 	<ul style="list-style-type: none"><li>• Socially Assistive Robotics with Artificial Intelligence</li></ul> <p>Barbara Bruno</p> 	<ul style="list-style-type: none"><li>• Human-Computer Interaction for Accessibility</li></ul> <p>Gerling</p> 	<ul style="list-style-type: none"><li>• Intelligent-Sensor-Actuator Systems</li></ul> <p>Hanebeck</p> 	<ul style="list-style-type: none"><li>• Intuitive Robot Intelligence</li></ul> <p>Lioutikov</p> 	<ul style="list-style-type: none"><li>• Optimization and Biomechanics for Human Centered Robotics</li></ul> <p>Katja Mombaur</p> 	<ul style="list-style-type: none"><li>• Autonomous Learning Robots</li></ul> <p>Neumann</p> 
<ul style="list-style-type: none"><li>• AI for Language Technologies</li></ul> <p>Niehues</p> 	<ul style="list-style-type: none"><li>• Computer Vision for Human Computer Interaction</li></ul> <p>Stiefelhagen</p> 	<ul style="list-style-type: none"><li>• Intelligent Robot Perception</li></ul> <p>Rudolph Triebel</p> 	<ul style="list-style-type: none"><li>• Machine Learning</li></ul> <p>Stühmer</p> 	<ul style="list-style-type: none"><li>• Interactive Systems</li></ul> <p>Waibel</p> 	<ul style="list-style-type: none"><li>• Intelligent Process Control and Robotics</li></ul> <p>(Asfour)</p> 	<ul style="list-style-type: none"><li>• Medical Robotics</li></ul> <p>NN</p> 	<ul style="list-style-type: none"><li></li></ul> <p>N.N.</p> 

# Humanoids@KIT

## Humanoids@KIT

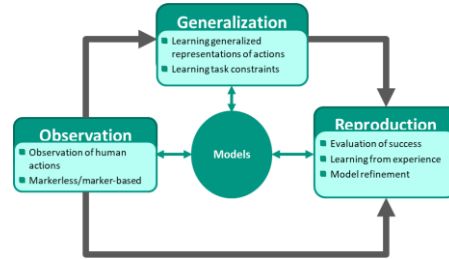




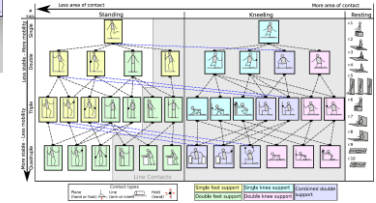
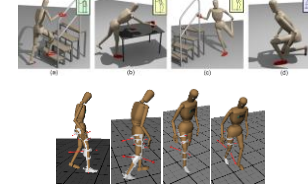




Humanoid Assistance Robotics



Learning from Human



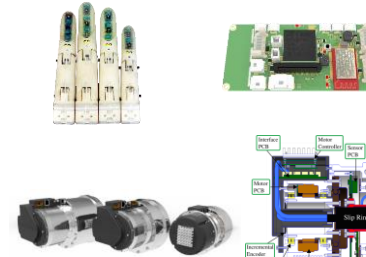
Human Motion Intelligence



Collaborative Robotics



Wearable Robotics



Robotronics



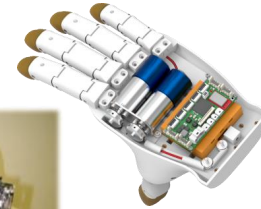
Mechano-Informatics

- **Engineering** humanoider Roboter
- **Greifen und Manipulation**
- **Lernen** aus Beobachtung des Menschen und aus **Erfahrung**
- **Natürliche Interaktion** und Kommunikation

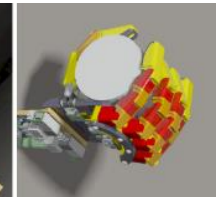
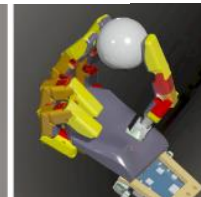
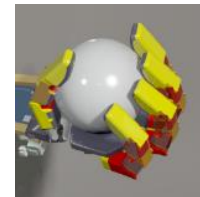
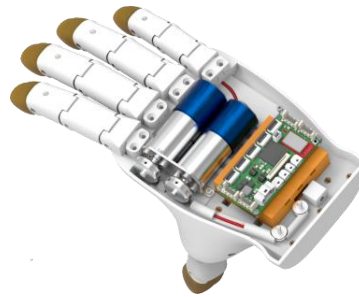
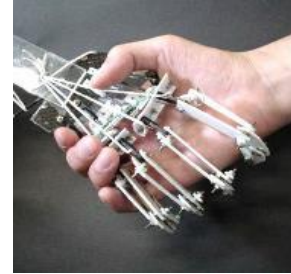
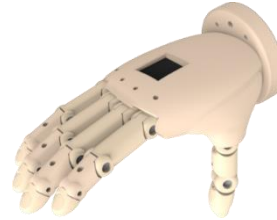


© SFB 588

# Die ARMAR Roboter (1999-heute)



# Die ARMAR-Familie: Hände

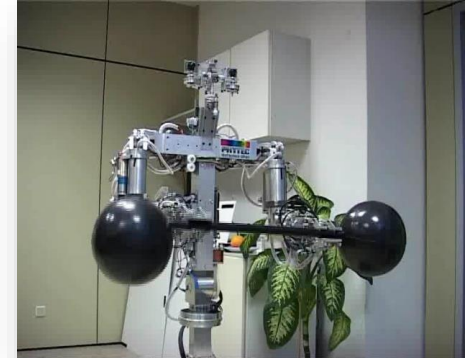
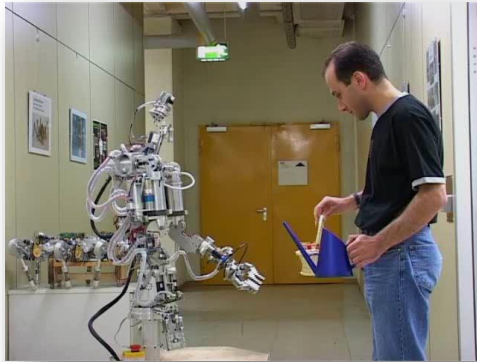


- Engineering humanoider Roboter
- Greifen und Manipulation
- Lernen aus Beobachtung des Menschen und aus Erfahrung
- Natürliche Interaktion und Kommunikation



© SFB 588

# ARMAR-I (1999) and ARMAR-II (2003)



First demonstrator of the SFB 588



Demo at CEBIT 2006

# ARMAR-III in der RoboKITchen

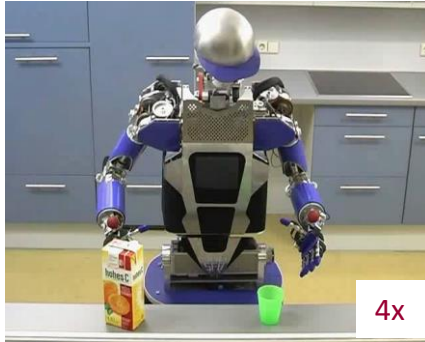


45-minütige Aufgabe, mehr als 3000 mal seit 3. Februar 2008

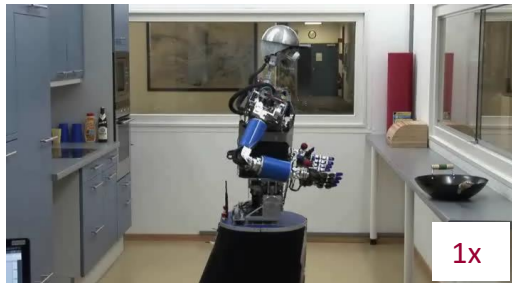
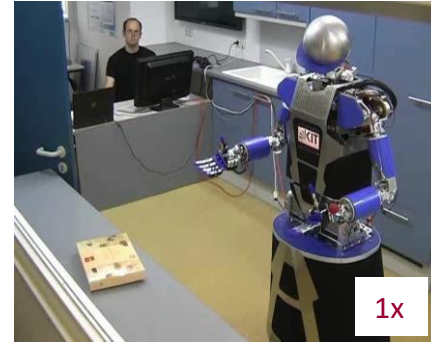


# Greifen und Manipulation

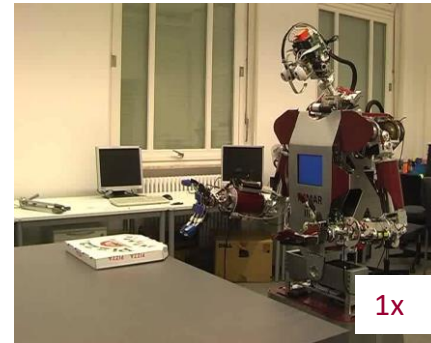
## Zweihändige Manipulation



## Manipulation um zu greifen



2010

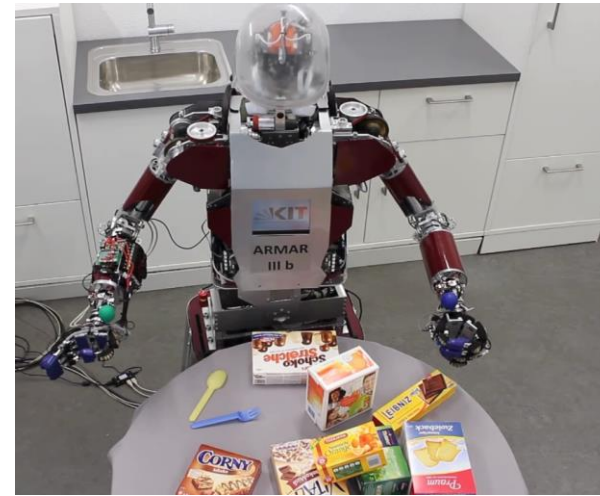


2011

# Lernen und Greifen von unbekannten Objekten



Interaktive Perzeption



Integration von Aktionen, Vision und Haptik

## Initial object hypotheses

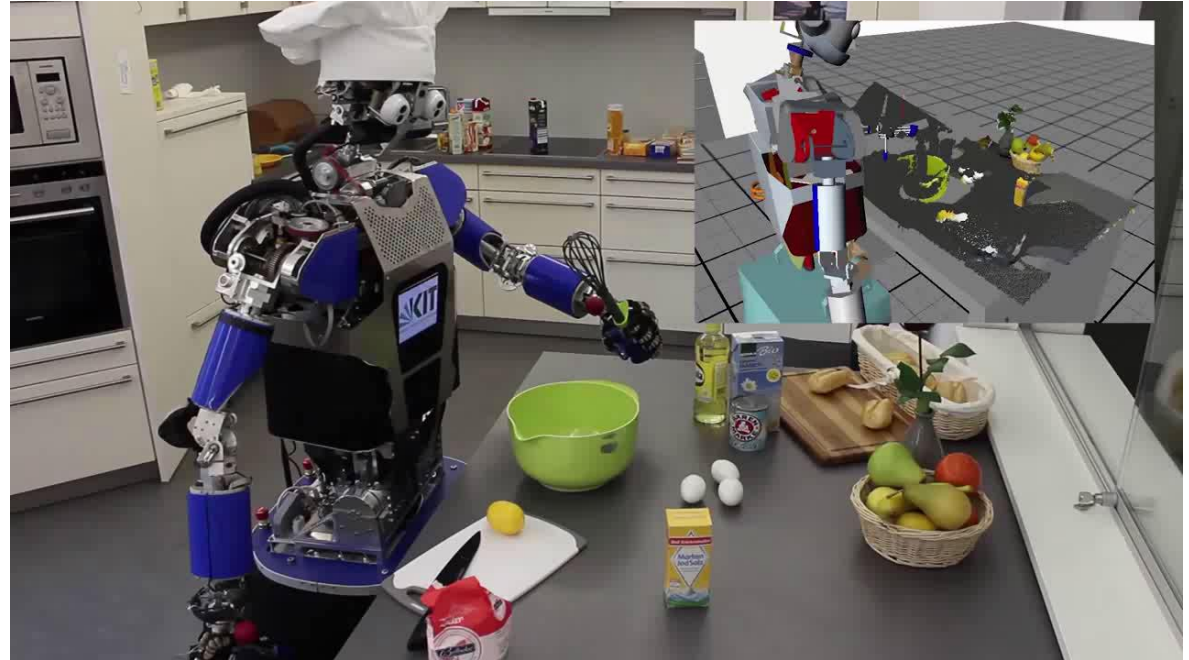
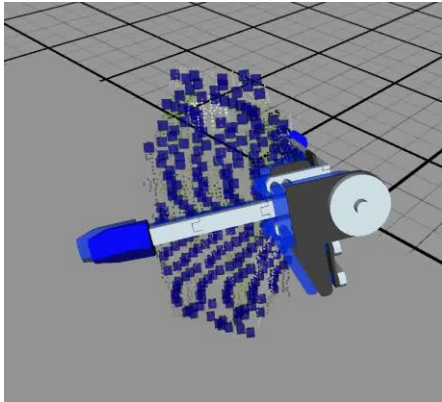
Generate *hypotheses* based on  
Color, Geometric primitives  
and Saliency

Hypothesis 49 is chosen  
for verification by pushing



# „Deep“ Grasping

Eingabe: Tiefenbilder



# Physikalische Mensch-Roboter-Kollaboration



2010

2018

- **Engineering** humanoider Roboter
- **Greifen und Manipulation**
- **Lernen** aus Beobachtung des Menschen und aus **Erfahrung**
- **Natürliche Interaktion** und Kommunikation



© SFB 588

# Lernen aus Beobachtung des Menschen

- Bewegungsalphabet (analog zur natürlichen Sprache)
- Bibliothek aus Bewegungsprimitiven
- Handlungen als Sequenzen von Primitiven



# Lernen von Ganzkörperbewegungen

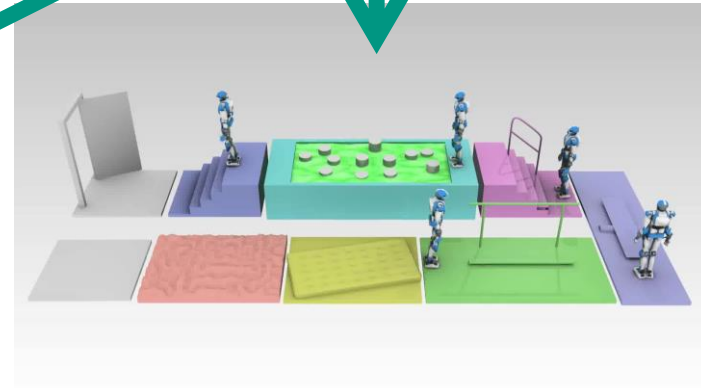
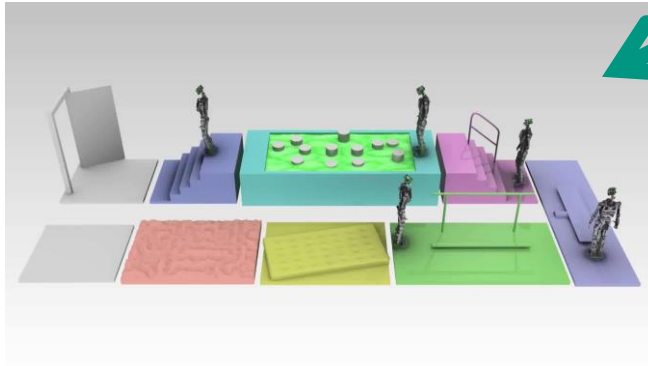
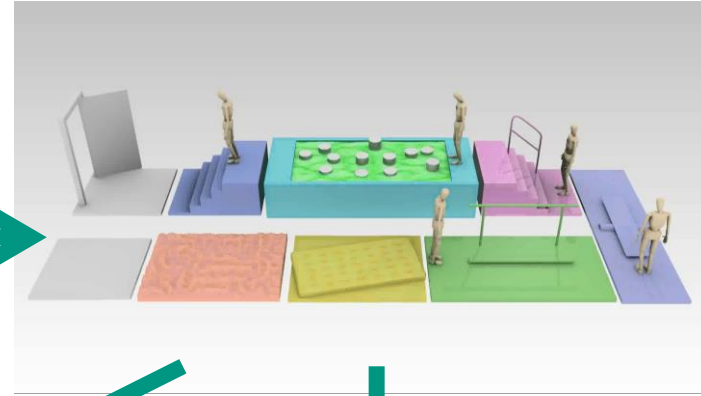


## KIT Whole-Body Human Motion Database

42 hours of manually labeled human motion data (including object information); 9375 motions; 229 (108/40) subjects and 158 objects.

[motion-database.humanoids.kit.edu](https://motion-database.humanoids.kit.edu)  
<https://gitlab.com/mastermotormp>

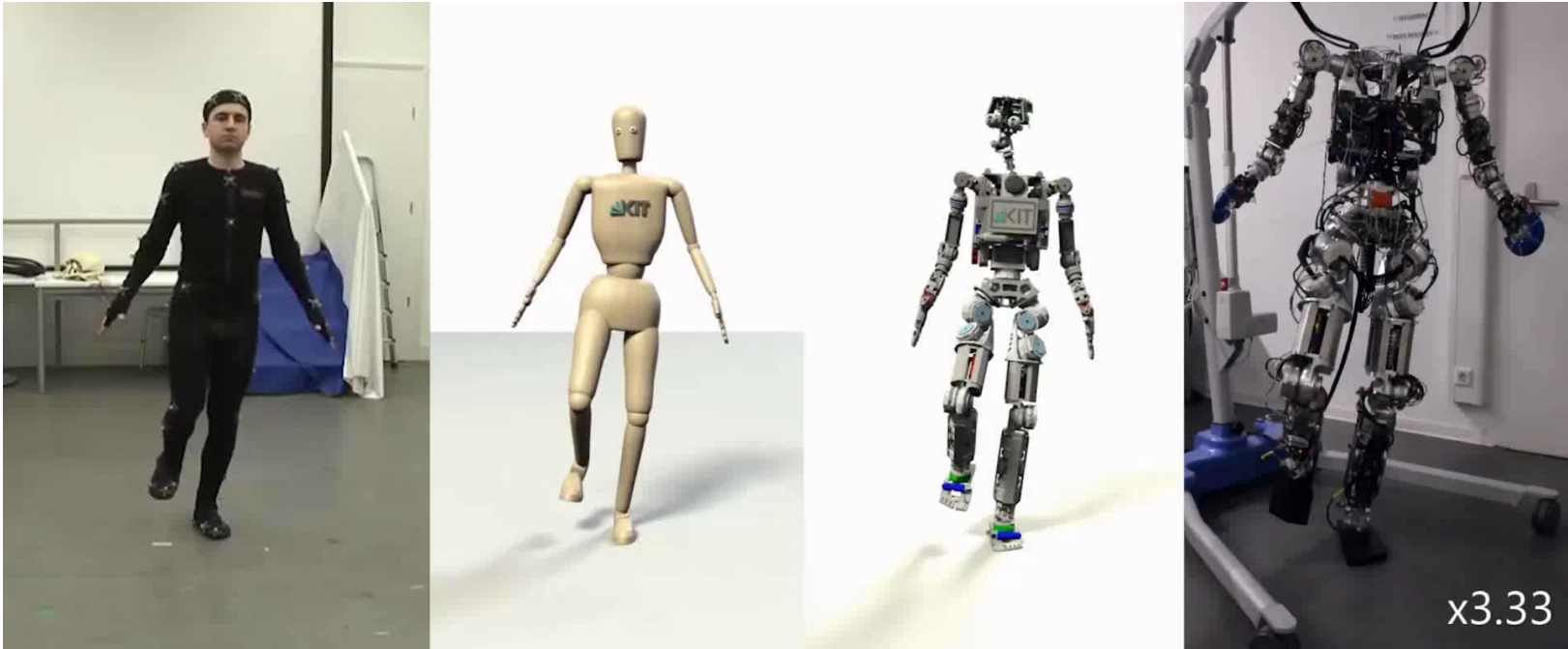
# Von menschlicher Bewegung zu Roboterprogrammen



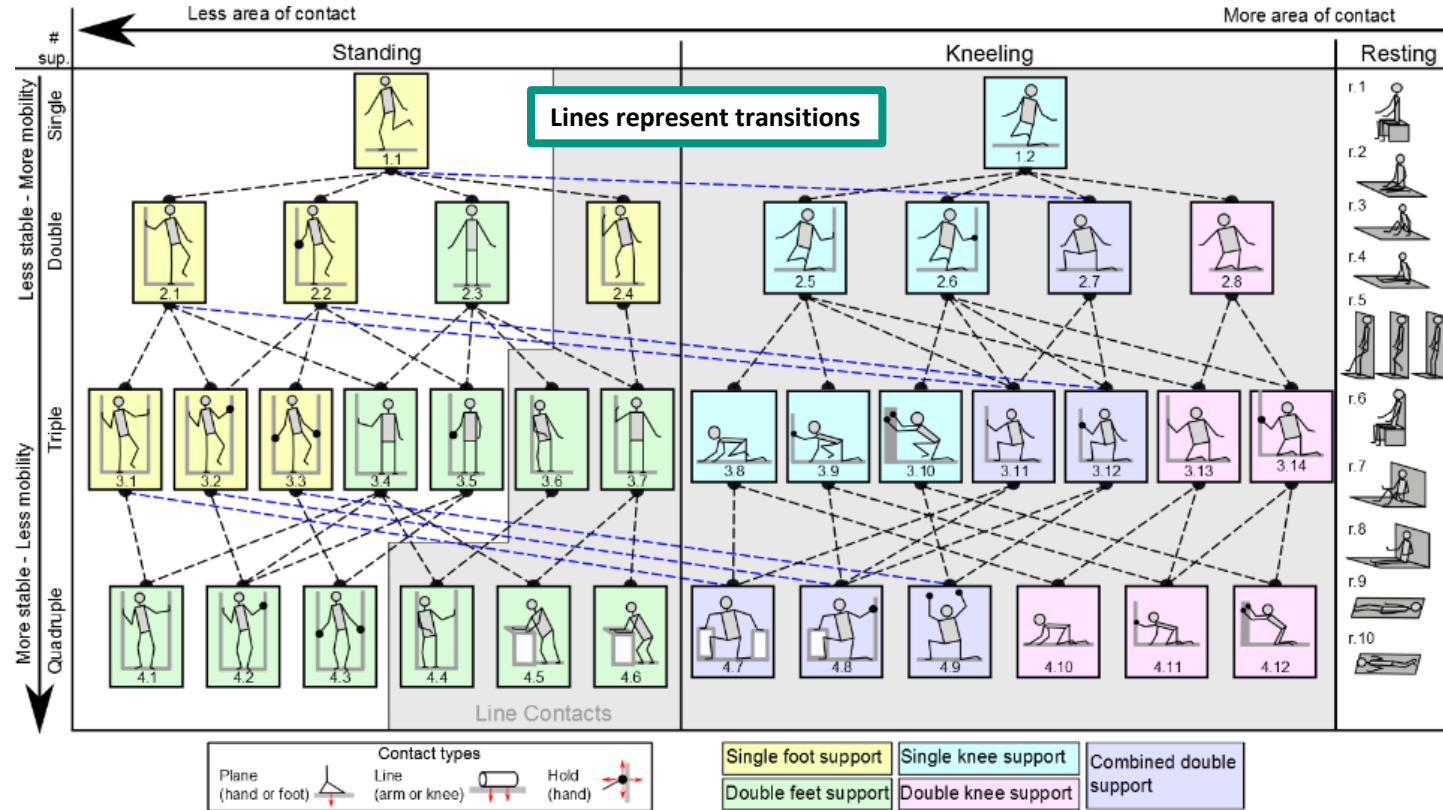


# Von Menschlicher Bewegung zu Roboterprogrammen

Mensch → Menschmodell → Robotermodell → Realer Roboter



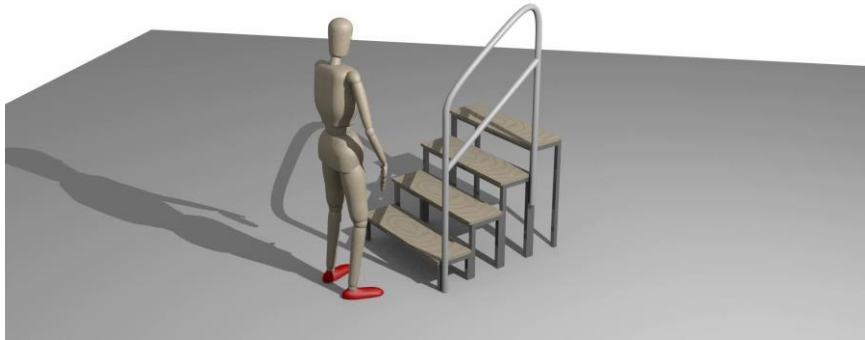
# Taxonomie von menschlichen Ganzkörper-Posen



# Analyse von Posen-Transitionen

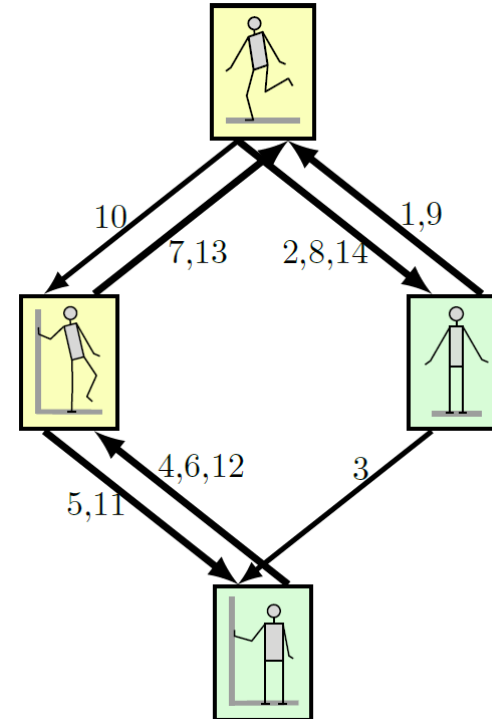
Treppensteigen mit Geländer

Erkennung von **Unterstützungskontakten** in rot

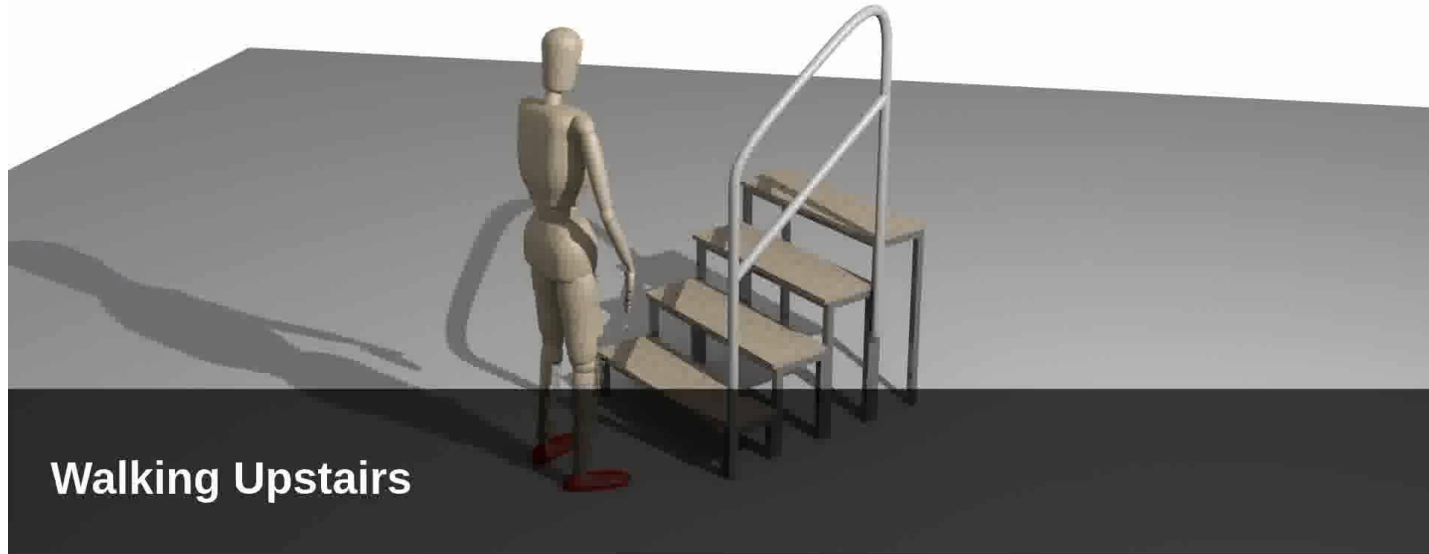


Subjekt schwingt das linke Bein mit einer **rechter Fuß – rechte Hand** Unterstützungspose

Generierter Transitionsgraph:




# Semantik von menschlichen Bewegungen



**Walking Upstairs**

## Bewegung (Satz) als Folge von Posen (Worte)




KIT  
Karlsruhe Institute of Technology

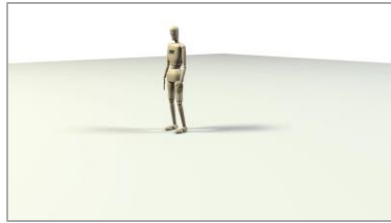
### Using Language Models to Generate Whole-Body Multi-Contact Motions

Christian Mandery, Júlia Borràs, Mirjam Jöchner, Tamim Asfour

Institute for Anthropomatics and Robotics (IAR), High Performance Humanoid Technologies (H2T)

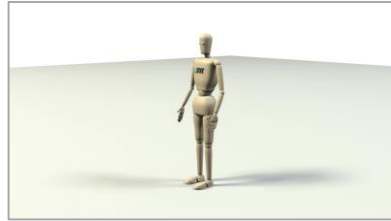


# Von Bewegung zu Text und Zurück



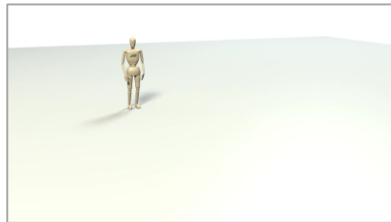
## Output

- "a person walks in a circle to the left"
- "a person walks in a circle"
- "a person walks a circle"
- "a person walks a circle to the left"
- "a person walks in a counter-clockwise circle"



## Output

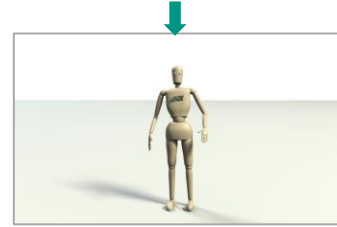
- "a person bows"
- "a person performs a deep bow"
- "a person jumps to the right"
- "a person stomps with both feet"
- "a person stomps with both feet to the left"



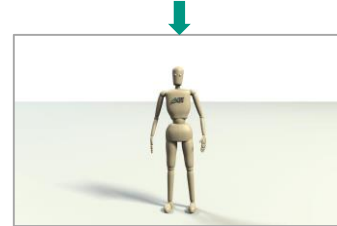
## Output

- "a person runs forward"
- "a person jogs forwards"
- "a person jogs forward"
- "a person runs forwards"
- "a person is running forward"

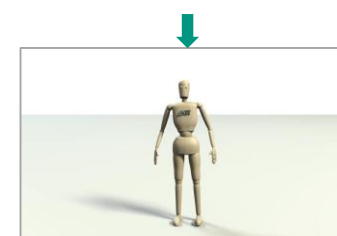
"A person waves with the left hand."



"A person waves with the right hand."



"A person waves with both hands."



"A human subject dances the Waltz."

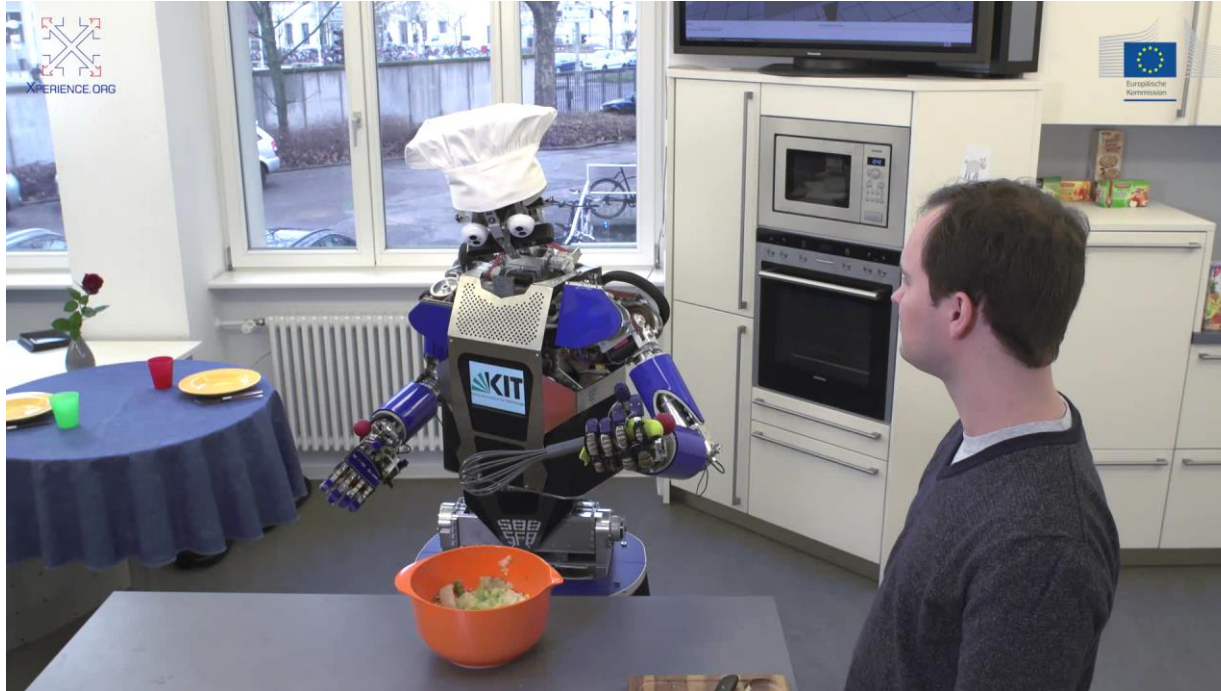


"The subject plays the air guitar."

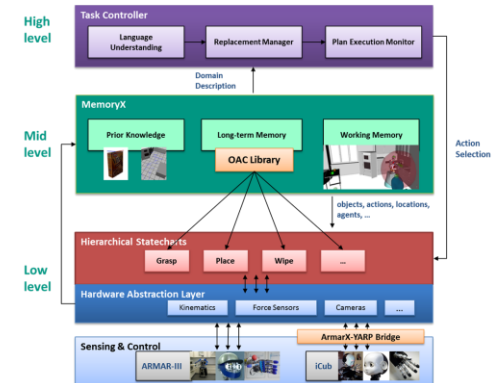


# Integration von KI, ML und humanoider Robotik

- ARMAR, please help me to prepare dinner for two people

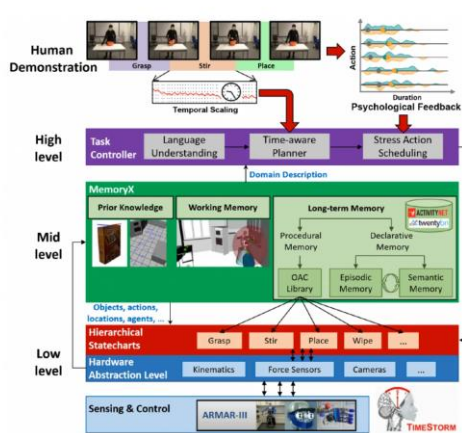


paco|plus  
perception, action and cognition  
through learning of object-action complexes



# Episodisches Gedächtnis

## Effiziente representation von sensomotorischem Erfahrungswissen



### The TimeStorm Architecture

- Time-aware planning with stressed actions
- Deep episodic memory
- Temporal action scaling based on psychological feedback

Integrated into the robot development environment ArmarX.

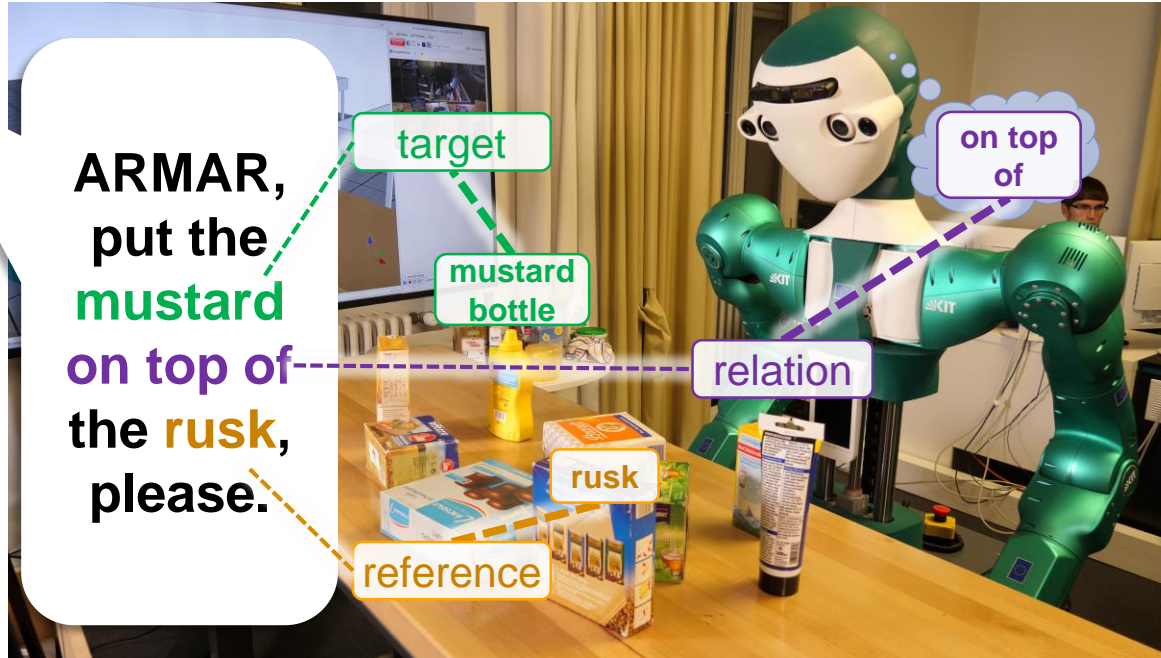




# Verbalisierung von Erfahrungswissen



# Verbale Manipulation der Szene

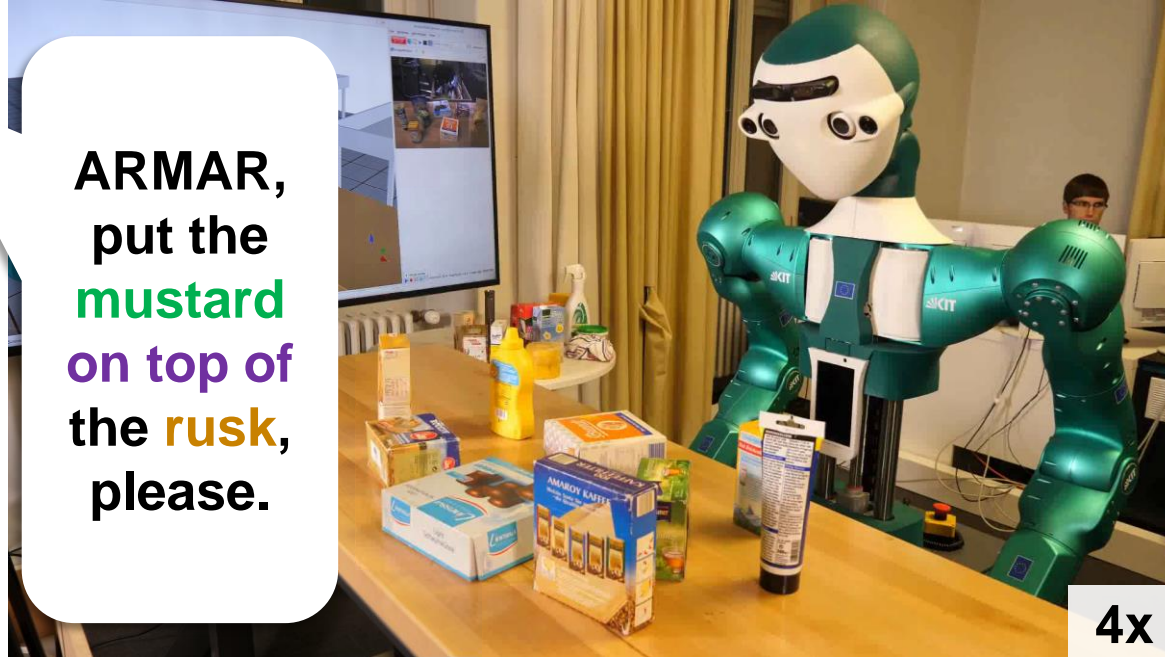


# Verbale Manipulation der Szene



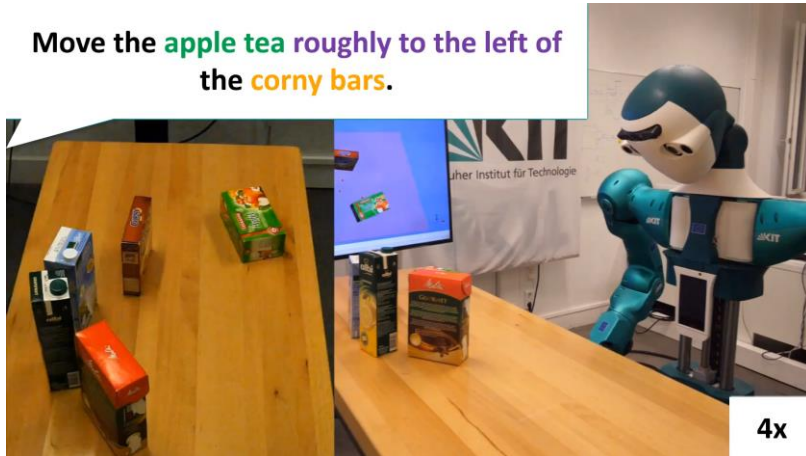
# Verbale Manipulation der Szene

ARMAR,  
put the  
mustard  
on top of  
the rusk,  
please.



# Verbale Manipulation der Szene

Move the **apple tea** roughly to the left of  
the **corny bars**.



Put the **apple tea** on the other side of  
the **corny bars**.



# Kollaborativer Humanoide Roboter

- **Erkennt, dass der Mensch Hilfe benötigt** basierend auf Sprache, Kraft/Haptik oder visueller Perzeption



# Humanoide Roboter für die Dekontamination



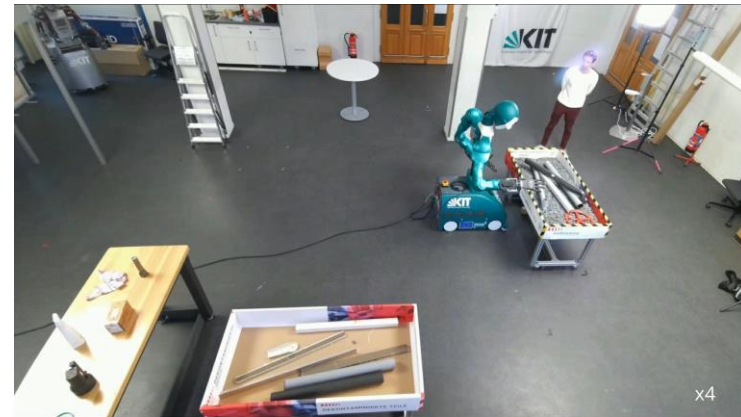
## ROBDEKON

Robotersysteme für  
die Dekontamination in  
menschenfeindlichen  
Umgebungen

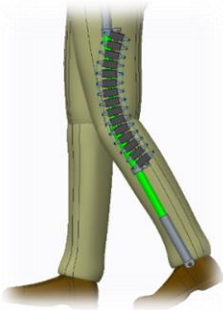
GEFÖRDEBT VOM



Bundesministerium  
für Bildung  
und Forschung

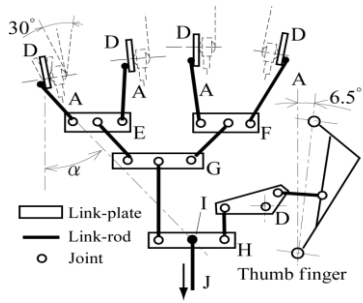


# Anziehbare Robotik

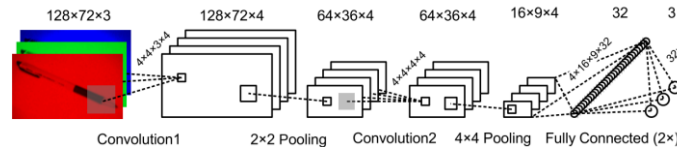
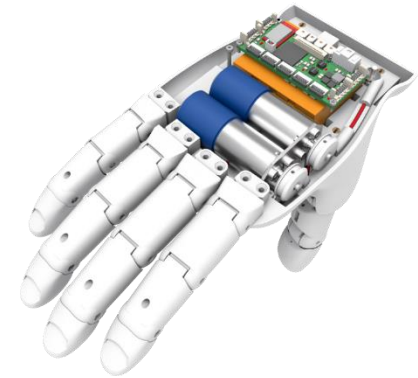




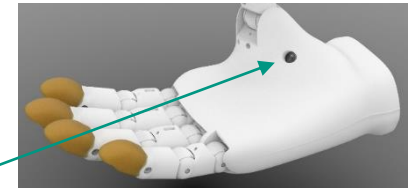
## Die KIT Prothesenhand: Personalisierte Handprothesen mit semi-autonomen Greiffähigkeiten



TUAT-Karlsruhe hand mechanism



Kamera



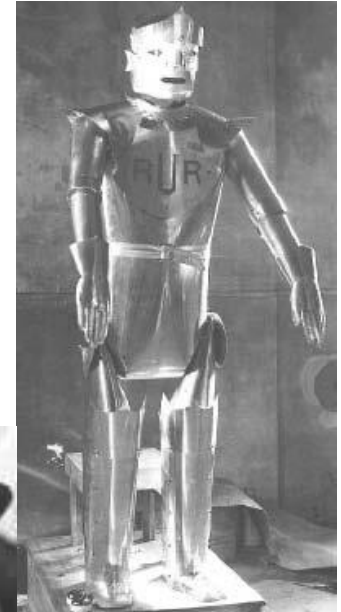
Vorlesung  
**ROBOTIK I**

- **Begriffsbildung**
- Geschichte
- Teilbereiche
- Anwendungsfelder & Beispiele

# Begriffsbildung

## Begriff: Roboter

- Karel Capek (1920) ist ein tschechischer Schriftsteller
- Er prägte den Begriff „robota“ (westslawisch: Schwerarbeit) in seinem Roman R.U.R (Rossum's Universal Robot)
- für Capek ist ein Roboter (im Gegensatz zum Menschen) „**rastlos arbeitend**“.



# Asimovsches Robotergesetze („Runaround“ 1942)

- Ein Robot darf keine Menschen verletzen oder durch Untätigkeit zu Schaden kommen lassen
- Ein Robot muss den Befehlen eines Menschen gehorchen, es sei denn, solche Befehle stehen im Widerspruch zum ersten Gesetz
- Ein Robot muss seine eigene Existenz schützen, solange dieser Schutz nicht dem ersten oder zweiten Gesetz widerspricht.



Isaac Asimov

# Begriffsbildung

## Kontext Industrie (VDI- Richtlinie 2860, 1990)

Ein **Roboter** ist ein **frei programmierbarer, multifunktionaler Manipulator** mit mindestens 3 unabhängigen Achsen, um Materialien, Teile, Werkzeuge oder Geräte auf programmierten, variablen Bahnen zu bewegen zur Erfüllung verschiedener Aufgaben.

## Kontext Wissenschaft (Thomas Christaller, 2001)

**Roboter** sind **sensomotorische Maschinen zur Erweiterung der menschlichen Handlungsfähigkeit**. Sie bestehen aus mechatronischen Komponenten, Sensoren und rechnerbasierten Kontroll- und Steuerungsfunktionen. Die Komplexität eines Roboters unterscheidet sich deutlich von anderen Maschinen durch die größere Anzahl von Freiheitsgraden und die Vielfalt und den Umfang seiner Verhaltensformen

## Begriff: Robotik (NEUMANN, Lexikon der Informatik)

**Robotik** ist ein **interdisziplinär ausgerichtetes Forschungsgebiet**, bei dem im Mittelpunkt **mechanische Vorrichtungen und geeignete Steuereinheiten selbsttätig komplexe Aufgaben verrichten**.

Während Roboter im Bereich des Science-Fiction meist mit menschenähnlicher Gestalt und sensorischen Fähigkeiten vorgestellt werden, sind die bisher praktisch eingesetzten Roboter stationäre Manipulatoren, die durch Programmierung für wechselnde industrielle Aufgaben eingesetzt werden können, z.B. Schweiß- oder Lackierarbeiten im Automobilbau.

# Begriffsbildung

## Begriff: Robotik (Wikipedia, 2017)

Das Themengebiet der **Robotik** (auch Robotertechnik) befasst sich mit dem Versuch, das Konzept der **Interaktion** mit der **physischen** Welt auf Prinzipien der **Informationstechnik** sowie auf eine technisch machbare **Kinetik** zu reduzieren.

Der Begriff des „Roboters“ beschreibt dabei eine Entität, welche diese beiden Konzepte in sich vereint, indem sie die Interaktion mit der physischen Welt auf der Basis von Sensoren, Aktoren und Informationsverarbeitung umsetzt.

**Kernbereich der Robotik** ist die Entwicklung und Steuerung solcher Roboter. Sie umfasst Teilgebiete der **Informatik (insbesondere von Künstlicher Intelligenz)**, **der Elektrotechnik und des Maschinenbaus**.

<https://de.wikipedia.org/wiki/Robotik>



# Begriffsbildung

## Begriff: Robotik (Meine Definition)

Robotik ist die Wissenschaft des **Engineering** von technischen Systemen mit **intelligentem Verhalten für die reale Welt**, d.h. technische Systeme, die **Bewegung als zentrale Grundlage für Intelligenz** generieren, **Situationen** wahrnehmen und bewerten, **Konsequenzen von Aktionen** vorhersagen und interpretieren können und **kontinuierlich** durch **Interaktion mit der realen Welt lernen** können, um ihren kognitiven Horizont zu erweitern.

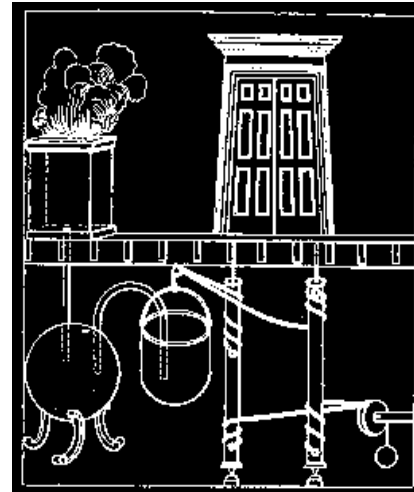
## Robotik ist Künstliche Intelligenz in der realen Welt

Robotik ist ein interdisziplinäres Forschungsgebiet, das Biologie, Neuro- und Kognitionswissenschaften, Psychologie, Materialwissenschaften und Ingenieurwissenschaften sowie Informatik und künstlichen Intelligenz verbindet.

- Begriffsbildung
- **Geschichte**
- Teilbereiche
- Anwendungsfelder & Beispiele

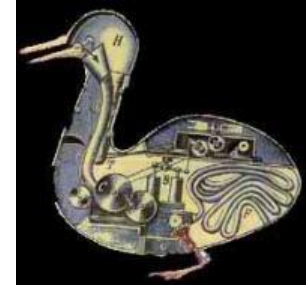
# Geschichte der Robotik

- **1. Jh. n. Chr.,** Heron von Alexandria, Automatischer Altar
- **3. Jh. n. Chr.,** Vierbeinige Laufmaschine, China,  
200-250 kg Nutzlast bei einer Geschwindigkeit von  
10 km pro Tag



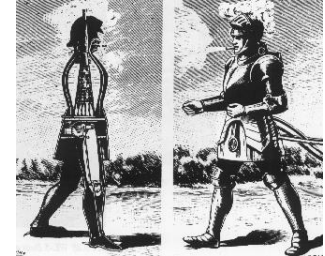
# Geschichte der Robotik

- **15. Jhd**, Leonardo Da Vinci, mechanischer Soldat
- **1738**, Jaques de Vaucanson, mechanische Ente: Flügel schlagen, Schnattern, Wasser trinken, Körner essen und verdauen
- **1774**, Pierre Jaquet-Droz & Jean-Frédéric Leschot mechanischer Schreiber
- **1805**, Joseph Maria Jacquard, programmierbarer Webstuhl (Lochkarten)



# Geschichte der Robotik

- **1893**, George Moore, Steam Man
- **1927**, Haushaltsroboter Televox; Schaltzentrale für Haushalt
- **1930**, Sabor II; Unterhaltungszwecke
- **1954**, Georg Devol, Patent für programmierbaren Manipulator
- **1959/60**, Georg Devol und Joesph Engelberger, erster Industrieroboter „Unimate“, hydraulisch angetrieben mit Computersteuerung



Steam Man



Televox



Sabor IV



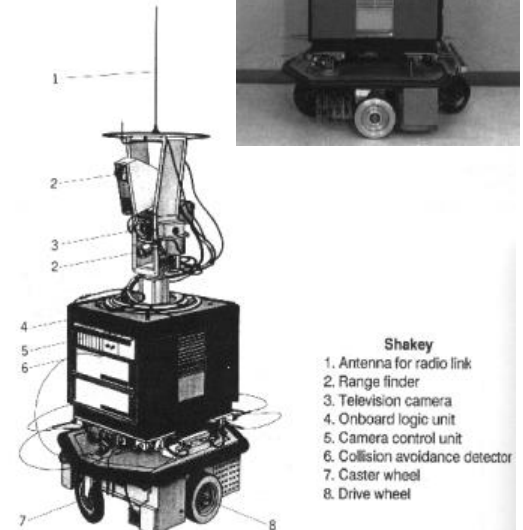
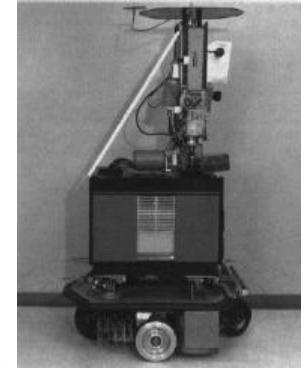
Unimate

# Geschichte der Robotik

- **1959**, Planet Corp., erster kommerzieller Roboter (Steuerung durch Kurvenscheiben & Begrenzungsschalter)
- **1961**, Installation eines Roboters des Typs „Unimate“ bei Ford
- **1968**, Charles Rosen, **Shakey**, Stanford Research Institute; erster mobiler Roboter (Robotik, Bildverarbeitung, Sprachverarbeitung)

See [Celebration of the 50th Anniversary of Shakey at ICRA 2015](#)

youTube: <https://www.youtube.com/watch?v=7bsEN8mwUB8>



# Geschichte der Robotik

- **1970er**, Daimler-Benz, Sindelfingen, erste Industrieroboter
- **1973**, Waseda-Universität Tokyo  
erster humanoider Roboter: Wabot-1
- **1974**, Entwicklung der Sprache AL (Assembly language)
  - Weiterverwendung von Unimation zur Programmiersprache VAL
- **1978**, PUMA (Programmable Universal Machine for Assembly) von Unimation



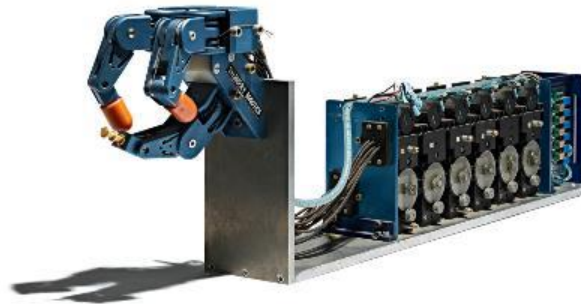
Wabot-1



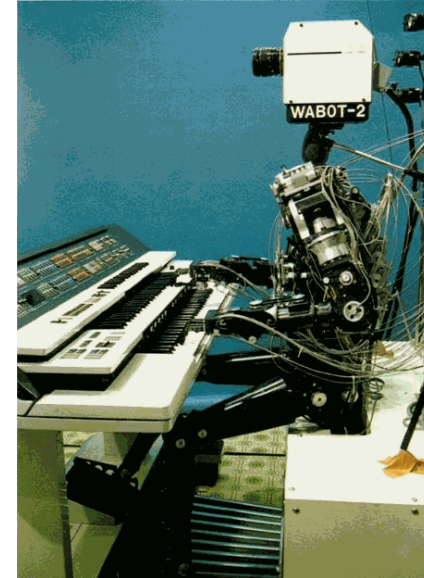
PUMA

# Geschichte der Robotik

- **1984**, Wabot-2, Prof. Ichiro Kato, Waseda Universität, Tokyo
- **1985**, 3-Finger Salisbury Hand, Stanford/JPL



Salisbury Hand



Wabot-2



# Geschichte der Robotik

- **1996**, Sojourner, Pathfinder MARS Mission
- **1998**, DLR Hand
- **1999**, The Sociable Machine Project, Kismet, MIT
- **2005**, Wakamaru, Mitsubishi



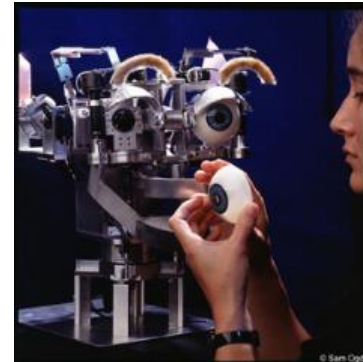
Sojourner



Wakamaru

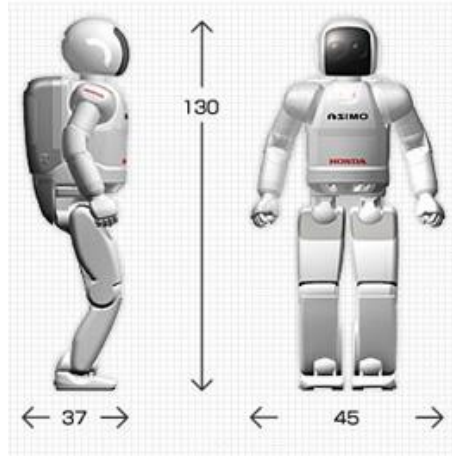


DLR-Hand



Kismet

## ■ 2005, Humanoider Roboter Asimo



### Size

Height: 130cm

Width: 45cm

Depth: 37cm

Weight: 54Kg

### Degrees of Freedom

Head: 3

Arm: 7 × 2

Hand: 2 × 2

Torso: 1

Leg: 6 × 2

TOTAL 34

### Performance

Running speed: 6km/h

Operational Time:(Walking) 40minutes



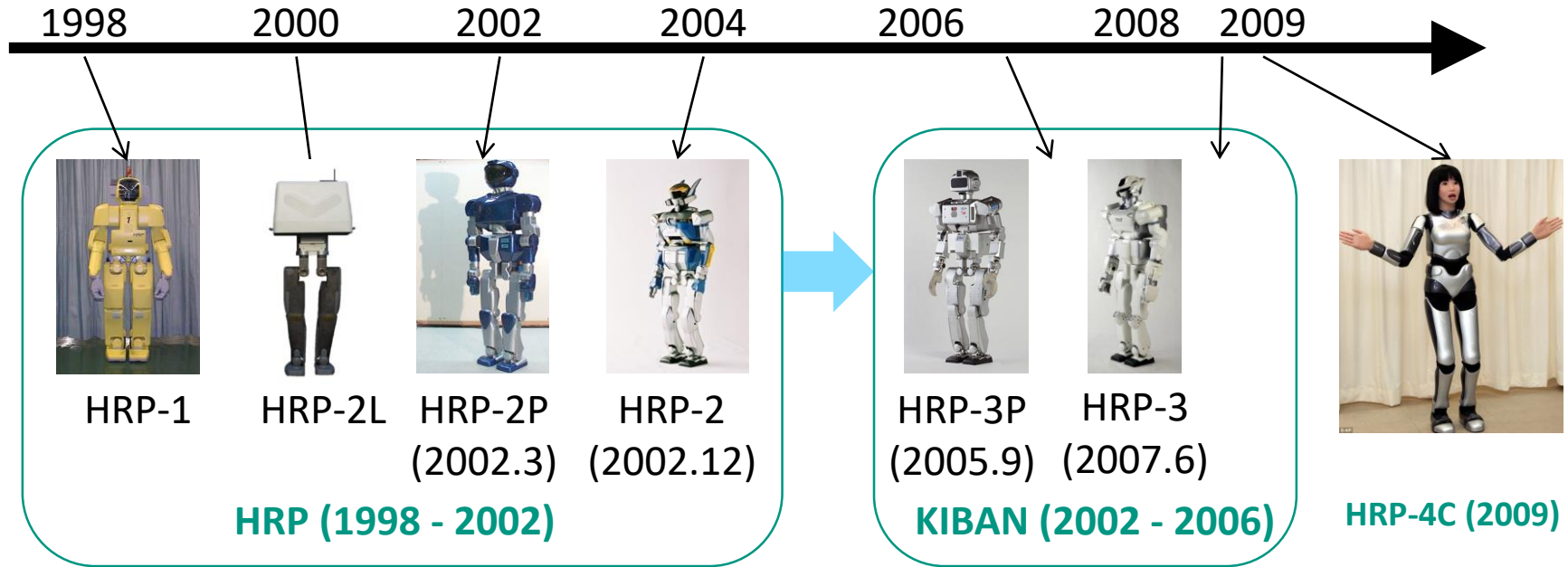
<http://asimo.honda.com>

# ASIMO, Nov. 2011



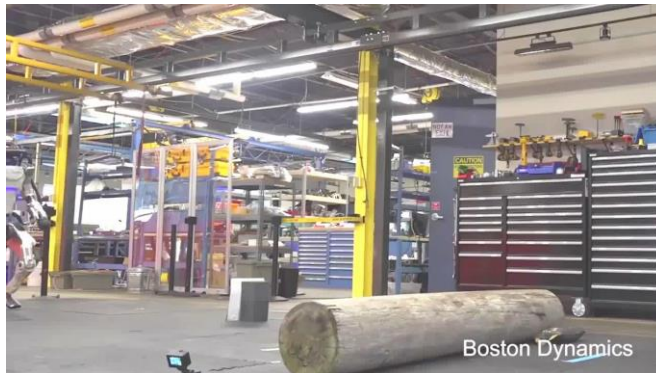
<http://asimo.honda.com>

# Humanoide Roboter – HRP-Serie: Von HRP-1 bis HRP-4C



AIST: <http://www.is.aist.go.jp/humanoid>

# Boston Dynamics Atlas (2006 – heute)



<https://www.youtube.com/user/BostonDynamics>

# Geschichte der Robotik

- **1986:** Ernst Dickmanns, Bundeswehr Universität München
  - Roboterfahrzeug VaMoRs mit Geschwindigkeiten bis zu 96 km/h
- **2004:** Grand Challenge
  - Ghost rider, Berkeley
- **2005:** Grand Challenge
  - Stanford Racing Team
- **2007:** Urban Challenge
  - Team Annieway, Karlsruhe
- **2011:** Straßenzulassung
  - Google Autonomous Vehicle

Stanford  
Racing Team



Team Annieway



Google  
Autonomous  
Vehicle

# Geschichte der Robotik

## Leichtbauroboterarme

- **2003: DLR LWR III (Lightweight Robot)**
  - Traglast zu Eigengewicht im Verhältnis 1:1 (je 14 kg)
  - 7 Freiheitsgrade mit Drehmomentregelung
  - Integrierte Elektronik und interne Verkabelung
  - 2013: Transfer als Produkt KUKA LBR iiwa
- **2008: Universal Robots:**
  - UR5 (5kg Traglast)
  - Danach: Weitere mit verschiedenen Traglasten
- **2017: Franka Emika Panda**
  - Deutscher Zukunftspreis
  - Ursprünglicher Preis: ab ca. 10.000 EUR
  - 7 Freiheitsgrade mit Drehmomentregelung



DLR LWR III



KUKA LBR iiwa



UR5

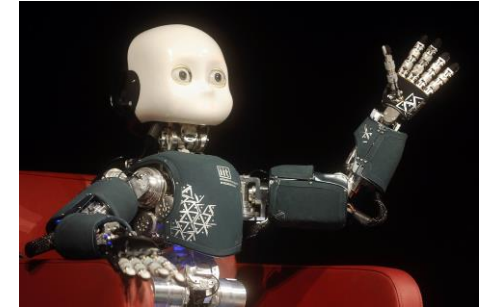


Panda

# Humanoide Forschungsroboter als Produkt

## ■ 2009: iCub

- Humanoider Roboter in der Größe eines Kindes
- Entwickelt vom IIT (Italian Institute of Technology) und RobotCub Consortium
- Dient weltweit zur Forschung an verschiedenen Universitäten



## ■ PAL Robotics

- 2013: REEM-C
- 2015: TIAGo
- 2017: TALOS
- 2019: ARI
- 2021: KANGAROO  
(Zweibeinige Forschungsplattform)



REEM-C



TIAGo



TALOS



ARI



KANGAROO



# Kommerzielle Humanoide Roboter

## ■ 2008: NAO

- Größe: 57 cm
- Entwickelt von Aldebaran Robotics (Frankreich)  
Jetzt: SoftBank Robotics
- Forschungs-, Bildungs- und Unterhaltungsroboter



NAO

## ■ 2014: Pepper

- Größe: 120 cm
- Entwickelt von Aldebaran Robotics (Frankreich)  
Jetzt: SoftBank Robotics
- Soziale Interaktionen: Kundenbetreuung, Führungen, ...
- Maximale Traglast (Hände): 0,5 kg



Pepper

# Roboterwettbewerbe (Robotic Challenges)

## ■ 1993 – heute: “RoboCup” Robot World Cup Initiative

- RoboCupSoccer, RoboCupRescue, RoboCup@Home, FoboCupIndustrial



## ■ 2012 – 2015: DARPA Robotics Challenge (DRC)

- Robotikwettbewerb zur Entwicklung von Technologien für Rettungseinsätze
- Semi-autonome Roboter sollen komplexe Aufgaben in Umgebungen wie bei Katastrophenszenarien durchführen



## ■ 2014 – 2017: Amazon Picking Challenge

- Autonome Identifikation und Greifen von Objekten aus Lagerhausregalen
- Schnelles Lernen von neuen Objekten



# Robotergenerationen

## ■ 1. Generation

(programmierbare Manipulatoren, ab 1960)

- geringe Rechenleistung
- nur feste Wegpunkte (Punkt-zu-Punkt-Programmierung)
- kaum sensorielle Fähigkeiten (Pick-and-Place-Aktionen)

## ■ 2. Generation

(adaptive Roboter, ab 1980er)

- mehr Sensoren (z.B. Kameras)
- Anpassung an Umwelt
- eigene Programmiersprachen (z.B. VAL)
- geringe Roboter-Intelligenz (adaptive Aufgabendurchführung)

# Robotergenerationen

## ■ 3. Generation

(autonome Roboter, heute beginnend)

- hohe Rechenleistung (Multiprozessorsysteme)
- Aufgabenorientierte Programmierung
- Forderung nach (maschineller) Autonomie

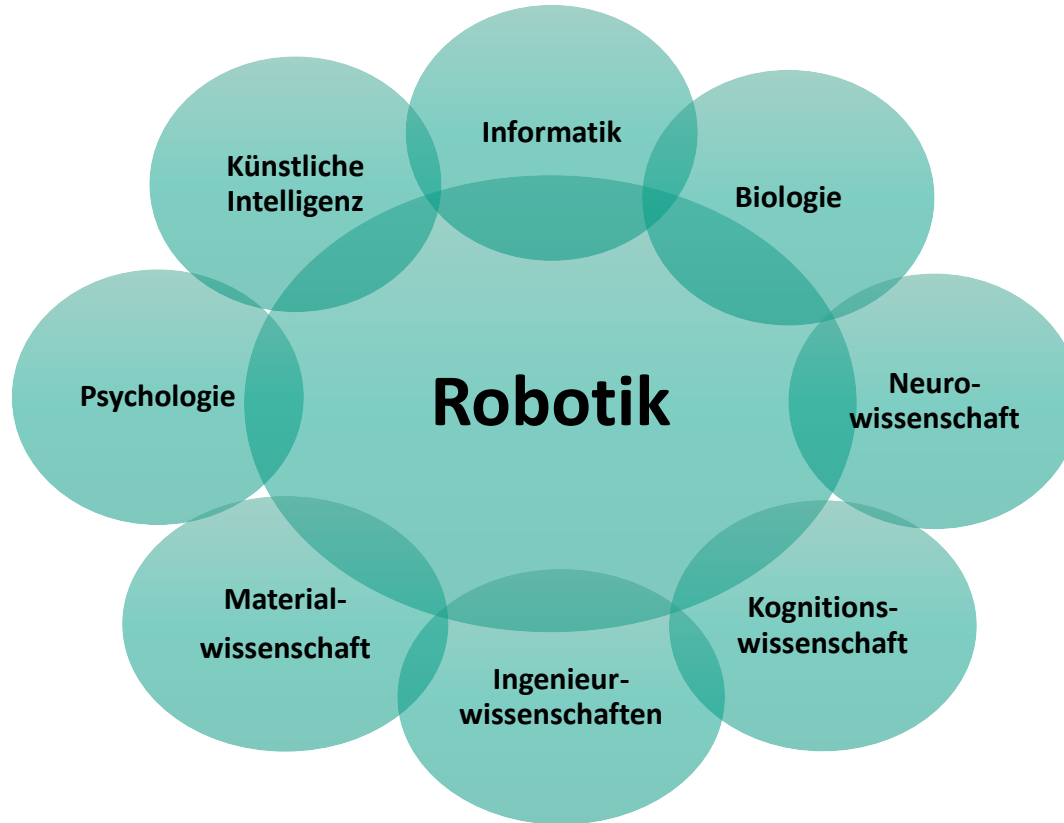
## ■ 4. Generation

(humanoide AI-Roboter, aktuell Forschungsgegenstand)

- hohe Flexibilität bzgl. Umwelt und Aufgabe
- Lernfähigkeit und Anpassungsfähigkeit
- Soziale Interaktion
- Selbstreflexion

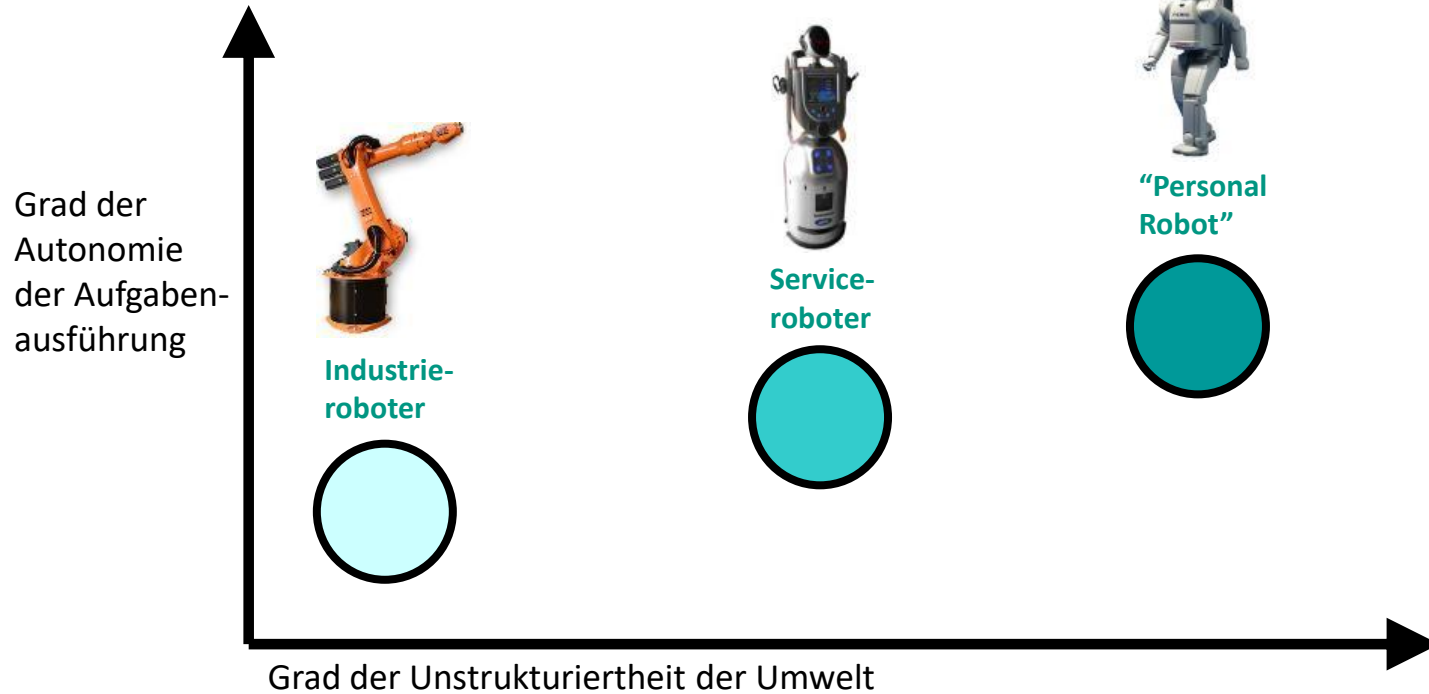
- Begriffsbildung
- Geschichte
- **Teilbereiche**
- Anwendungsfelder & Beispiele

# Teilbereiche einer modernen Robotik



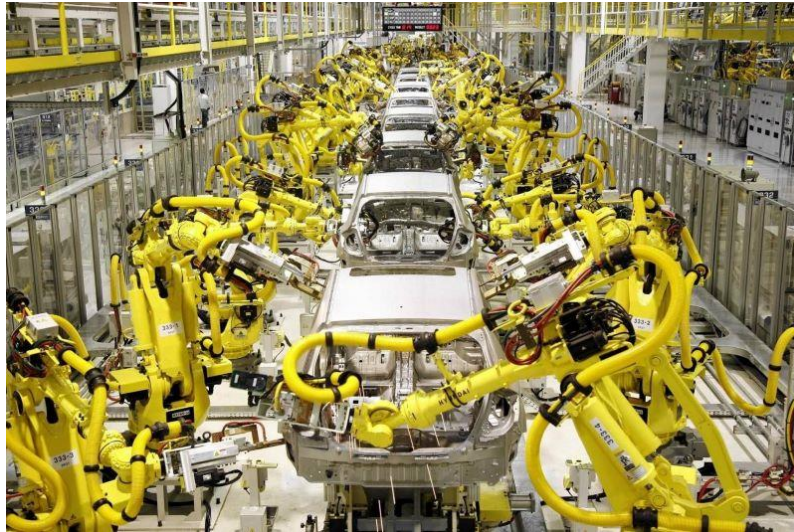
- Begriffsbildung
- Geschichte
- Teilbereiche
- **Anwendungsfelder & Beispiele**

# Anwendungsfelder





- Keine nachhaltige Produktion ohne Robotik

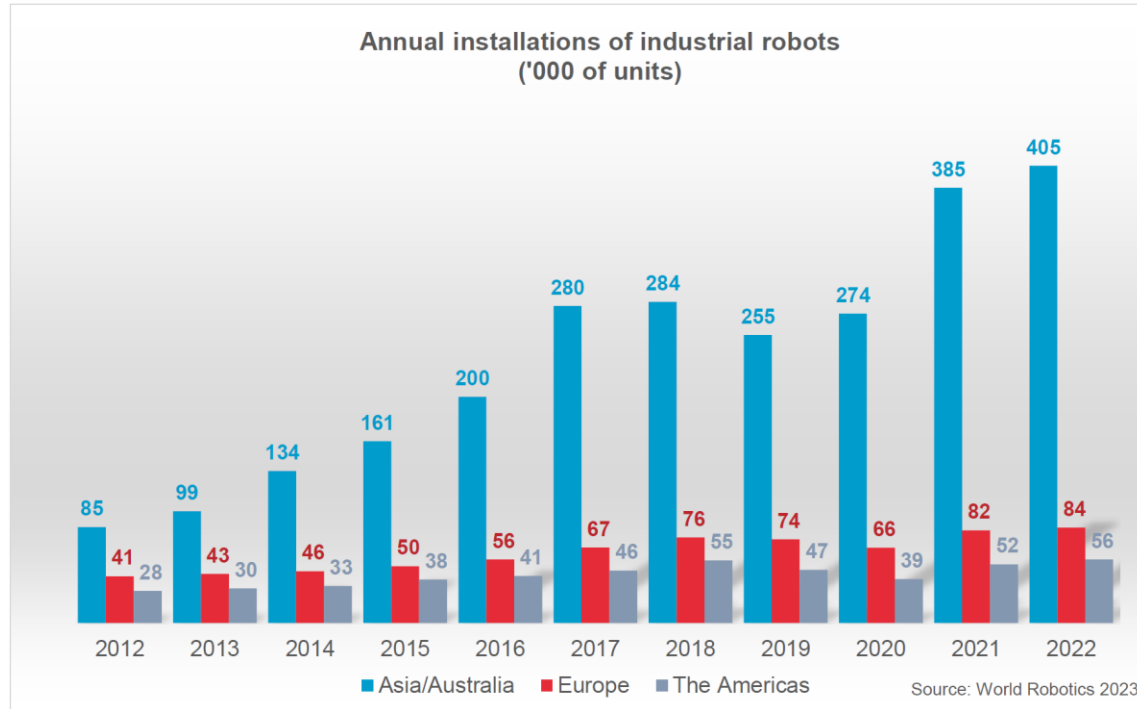


- 3,5 Millionen Industrieroboter in den Fabriken der Welt (Oktober 2022)

[https://ifr.org/downloads/press2018/2022\\_WR\\_extended\\_version.pdf](https://ifr.org/downloads/press2018/2022_WR_extended_version.pdf)

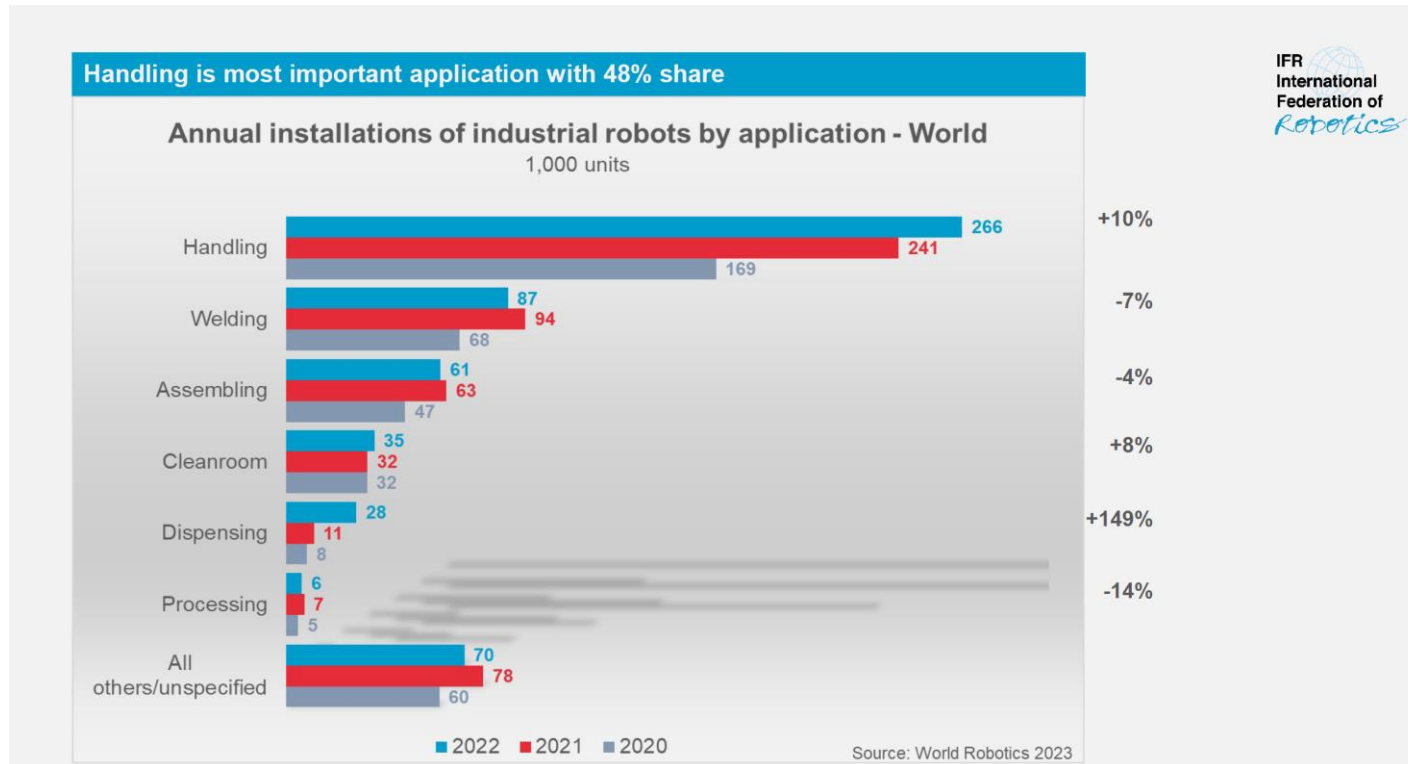
# Industrieroboter: Jährliche Installationen

**3,903,633 units  
in 2022 (+12%)**

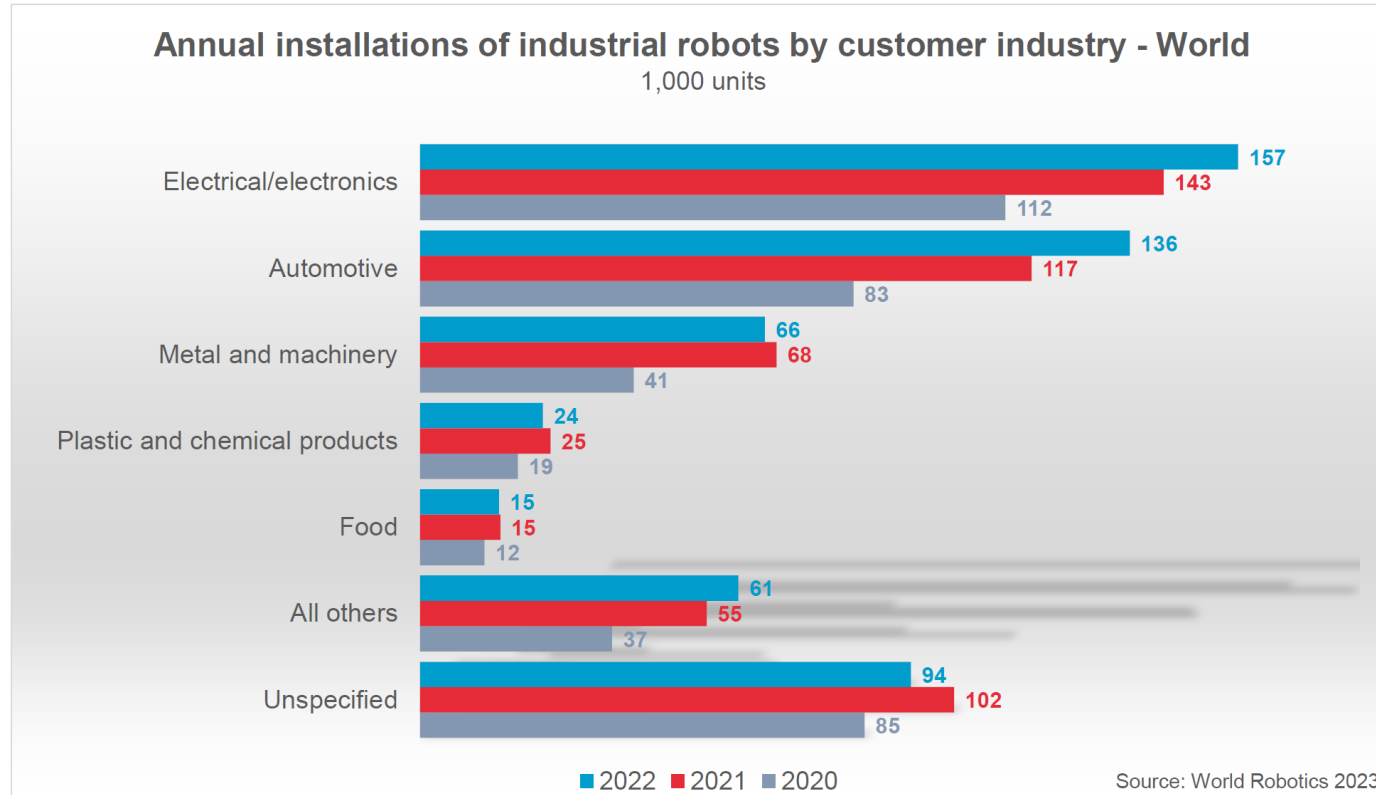


[https://ifr.org/img/worldrobotics/Executive\\_Summary\\_WR\\_Industrial\\_Robots\\_2023.pdf](https://ifr.org/img/worldrobotics/Executive_Summary_WR_Industrial_Robots_2023.pdf)

# Industrieroboter: Jährliche Installationen in Anwendungen

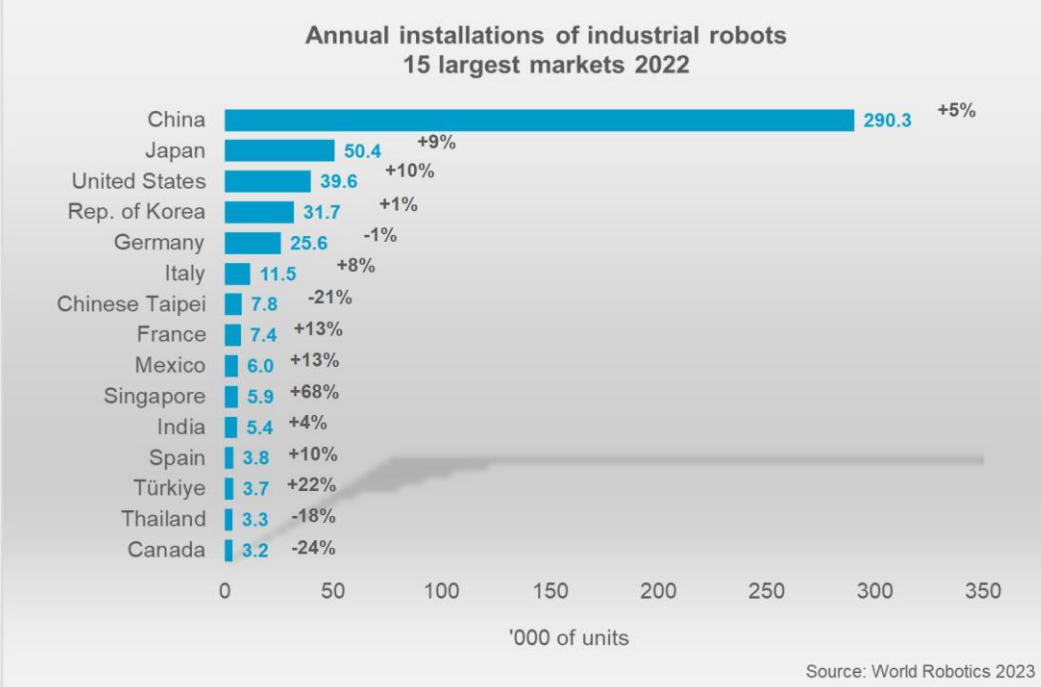


# Industrieroboter: Kundenindustrie



# Industrieroboter – Pro Land

## China installs every other robot

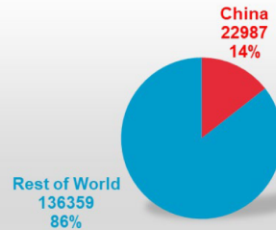


## China is growing dramatically



### China vs. Rest of World in 2012

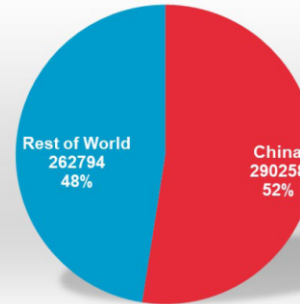
Annual installations of industrial robots in 2012



Source: International Federation of Robotics

### China vs. Rest of World in 2022

Annual installations of industrial robots in 2022



Source: International Federation of Robotics

# Industrieroboter

ISO 8373 (Manipulating industrial robots, 1994)

- An automatically controlled, reprogrammable, multipurpose manipulator programmable in three or more axes, which may be either fixed in place or mobile for use in industrial automation applications
  
- Klassifizierung über
  - Anzahl der Achsen (3, 4, 5, ...)
  - Art der Steuerung (PTP, kont. Pfad, adaptiv, teleoperativ)
  - Mechanische Struktur (SCARA, parallel, ...)

# Industrieroboter

## Beispiel: Lackierung und Rohbau

### ■ Merkmale:

- Meist stationär
- Wenige Freiheitsgrade
- Einfache Programmierung
- Hoher Spezialisierungsgrad
- Effektiver als Mensch  
(Kosten und Arbeit)



### ■ Aufgabengebiete:

- Fließband
- Schweißarbeiten
- Lackierarbeiten
- Bestückung
- Umgang mit Gefahrgut





<https://www.youtube.com/watch?v=fH4VwTgfyrQ>

# Serviceroboter

- Ein Roboter der halb- oder vollautonom arbeitet, mit dem Ziel, nützliche Dienste zum Wohle von Menschen und Einrichtungen zu erledigen. Ausgenommen sind hierbei Aufgaben im Bereich der industriellen Produktion.
- Klassifizierung in
  - Service für privaten Bereich („domestic service robots“)
  - Service für Einrichtungen, Handwerk („professional service robots“)
  - Sonstige (z.B. für Forschung, etc.)

# Serviceroboter (aus Europa)



ARMAR, KIT



Justin, DLR



Care-O-Bot; IPA



Reem, PAL Robotics



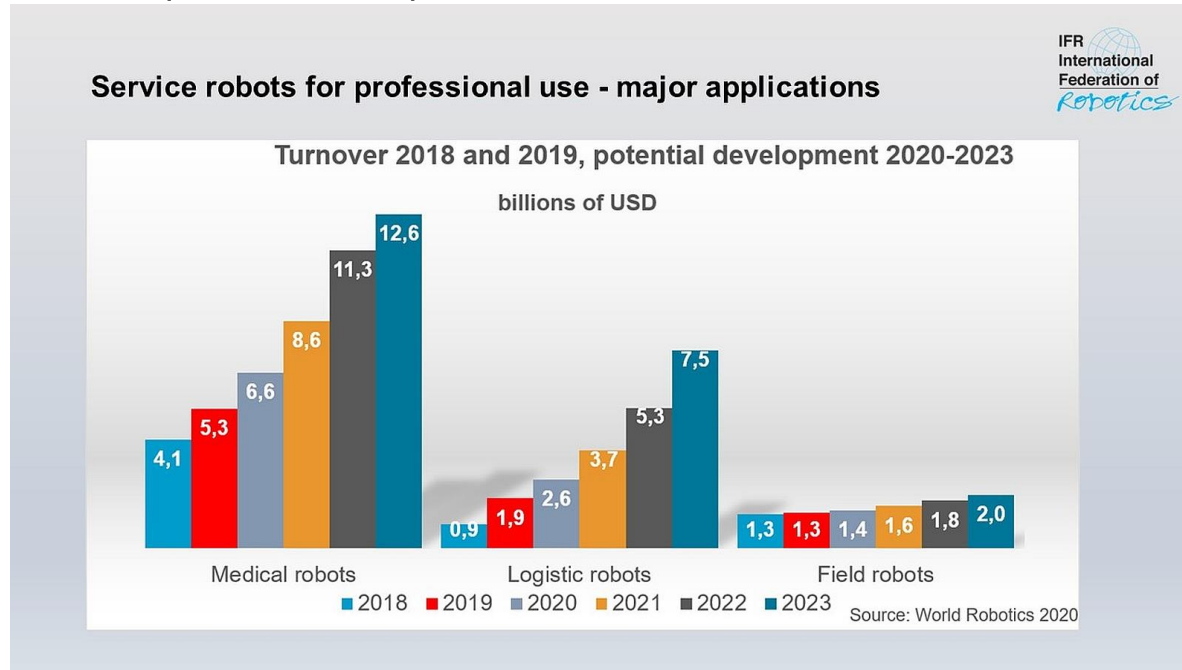
Eisroboter, FZI



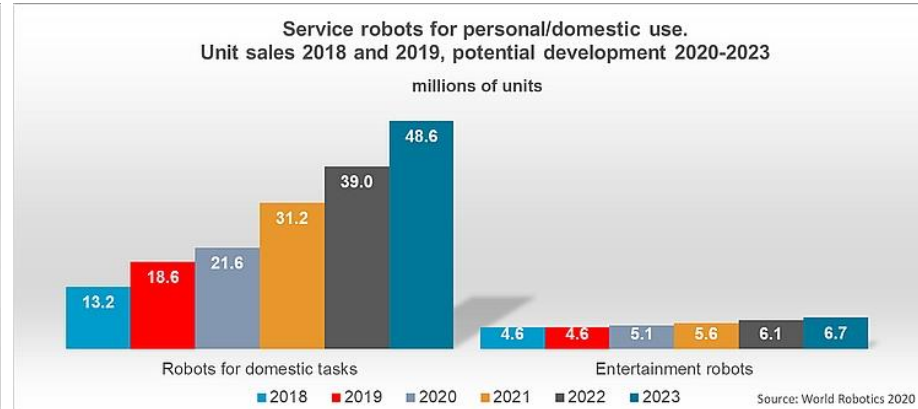
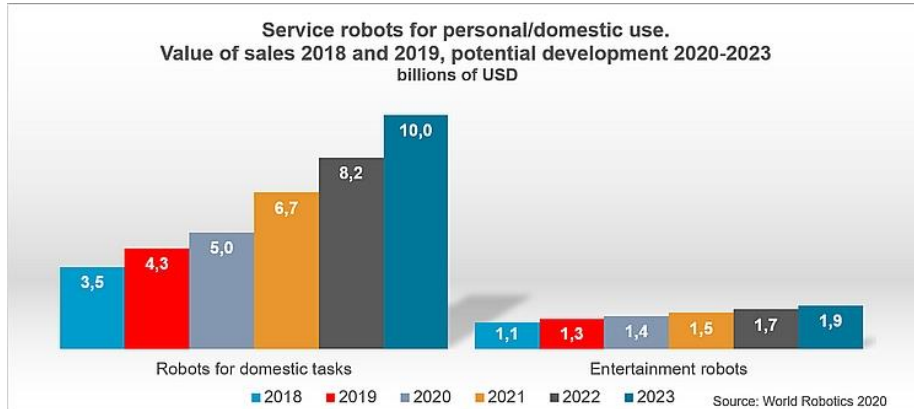
Rasenmäherroboter

# Professionelle Servicerobotik

Der Verkaufswert von professionellen Servicerobotern stieg weltweit um 32% auf 11,2 Mrd. USD (2018-2019).



## Persönliche Hausroboter





By Steve Crowe | August 5, 2022

## Amazon buying iRobot for \$1.7B

If this deal goes through, iRobot would be Amazon's fourth most-expensive acquisition ever.

## „Personal Robot“

A Robot that resembles human behavior regarding motion, intelligence, and communication. (*T. Fukuda, 2001, How Far Away Is Artificial Man?*)

### Honda's Asimo



# Ready for Robotics ?

Next lecture: **Math!**