



[Prof. Dr. Katja Mombaur // Optimization & Biomechanics for Human-Centred Robotics]

Katja Mombaur hat seit Mai 2023 die von der Hector-Stiftung geförderte W3-Proessur Optimization & Biomechanics for Human-Centred Robotics am IAR inne und leitet das KIT BioRobotics Lab. Sie ist außerdem seit 2020 Professorin und Canada Excellence Research Chair (CERC) in Human-Centred Robotics & Machine Intelligence an der University of Waterloo in Kanada. Von 2010-2020 war sie W3-Professorin an der Universität Heidelberg und leitete die Forschungsgruppe Optimierung, Robotik & Biomechanik (ORB). Ihre internationalen Erfahrungen umfassen Forschungstätigkeiten am LAAS-CNRS in Toulouse und an der Seoul National University, sowie in den USA. Sie hat Luft- und Raumfahrttechnik an der Universität Stuttgart und der SupAéro in Toulouse studiert und an der Universität Heidelberg in Mathematik promoviert.

Ihre Forschung konzentriert sich auf das Verständnis menschlicher Bewegungen durch einen kombinierten Ansatz aus modellbasierter Optimierung und Experimenten sowie die Nutzung dieses Wissens zur Verbesserung der Bewegungen von humanoiden Robotern und der Interaktion von Menschen mit Exoskeletten, Prothesen und externen Assistenzrobotern.

Katja Mombaur engagiert sich in der IEEE Robotics & Automation Society, aktuell u.a. als ExCom Secretary und AdCom Member und ab 2024 als Vice President Member Activities. Sie ist Senior Editor bei den IEEE Transactions on Robotics und hat zuvor diverse Editorenrollen bei Konferenzen und Special Issues ausgeübt.

Unsere Forschungsvision ist es, einen Beitrag zur Entwicklung menschenzentrierter Robotersysteme zu leisten, die einen wirklichen Mehrwert für die Menschheit schaffen. Menschenzentrierte Robotik umfasst verschiedenen Arten von Robotern, die direkt mit dem Menschen interagieren, ihn bei seinen Bewegungen unterstützen, oder ihn in unangenehmen Situationen ersetzen – von humanoiden Robotern über tragbare Roboter (Exoskelette, Orthesen und Prothesen) bis hin zu externen Mobilitätsassistenzrobotern. Unsere Forschungen stützen sich auf alle drei Säulen der Wissenschaft: Theorie, praktische Experimente und wissenschaftliches Rechnen.

// **Forschungsziele**

1. Entwicklung von Robotersystemen, die Menschen mit und ohne Beeinträchtigungen im Alltag unterstützen können
2. Ausstattung von Robotern mit Bewegungsintelligenz (auch als verkörperte künstliche Intelligenz bezeichnet), d.h. der Fähigkeit, menschliche Bewegungen vorherzusagen, sicher mit Menschen zu interagieren und sie zu unterstützen
3. Erreichen eines fundamentalen qualitativen und quantitativen Verständnisses menschlicher Bewegungen
4. Entwicklung und Implementierung effizienter Algorithmen für die optimale Bewegungsanalyse, -erzeugung, -regelung und das Bewegungslernen, die komplexe modellbasierte und modellfreie Ansätze kombinieren

// **Forschungsthemen**

Im Bereich der **Assistenzrobotik und anziehbaren Robotik** adressieren wir Probleme der Mensch-Roboter-Interaktion in unmittelbarer Nähe und Entwicklung von individuellen Lösungen, die die Co-Adaptation von Mensch und Roboter berücksichtigen. Im Einzelnen untersuchen wir:

- Exoskelette, insbesondere für die untere Extremität und die Wirbelsäule, zur Rehabilitation, Bewegungsassistenz und Schmerzvermeidung
- Mobilitätshilfsmittel für ältere Menschen, insbesondere Roboterrollatoren
- Prothesen für die untere Extremität: passive Prothesen im Sport und maßgeschneiderte aktive Prothesen für spezielle Nutzergruppen
- Funktionelle elektrische Stimulation (FES) von Hemiplegikern und Tetraplegikern
- Robotersysteme und digitale Technologien zum Bewegungslernen und Stabilitätstraining

Im Bereich der **humanoiden Robotik** gilt unser Hauptinteresse zweibeinigen, laufenden Humanoiden, aber - für Anwendungen in Medizin und Pflege - auch Robotern mit humanoiden Oberkörpern auf einer stabilen rollenden Plattform. Wir untersuchen u.a.

- die Erzeugung und Regelung autonomer Bewegungen in anspruchsvollen Umgebungen
- Stabilitätskriterien und -kontrolle für zweibeinige Roboterbewegungen
- systematisches Benchmarking von Humanoiden für reale Anwendungen
- Interaktion von Humanoiden mit komplexen Objekten, Tools und Personal Transporters
- Physisch-soziale Interaktionen zwischen Menschen und Humanoiden.

Auf dem Gebiet der **Biomechanik menschlicher Bewegungen** untersuchen wir durch Kombination von Motion Capture und algorithmische Ansätze:

- Aktivitäten des täglichen Lebens wie Gehen, Hinsetzen, Aufstehen, Heben und Tragen von Gegenständen

den

- Bewegungen in Sportarten wie Laufen, Springen, Tauchen, Turnen, Slacklining, Kampfsport und Tanz, und Entwicklung von Metriken
- Emotionale Körpersprache und spezifische Bewegungsstile beim Menschen und ihre Wirkung auf andere
- Veränderung von Bewegungen und motorischen Fähigkeiten über die Lebensspanne
- Bewegungen von Menschen mit körperlichen oder psychischen Beeinträchtigungen

Zusätzlich zu einer gründlichen mechanischen Analyse dieser Bewegungen sind wir an einer quantitativen Bewertung der Stabilität und Robustheit bzw. der Vermeidung von Instabilitäten interessiert.

Inspiziert einerseits durch die Annahme inhärenter Optimalitätsprinzipien in natürlichen Prozessen und andererseits durch den Wunsch, die Leistung technischer Systeme zu optimieren, stellen **modellbasierte Optimierung und optimale Steuerung** Schlüsseltechnologien für unsere Forschung dar, sowohl in der Biomechanik als auch in der Robotik. Sie werden mit modellfreien Methoden kombiniert, um die Effizienz und Präzision zu erhöhen. Dazu gehören die folgenden Aspekte:

- Mathematische Modelle von Menschen, Robotern und der Mensch-Roboter-Interaktion:
- Methoden der Optimierung & optimalen Steuerung zur Bewegungsanalyse, -synthese – regelung und zur inverse Optimalsteuerung
- Kombination von Optimierung mit modellfreien Ansätzen zur adaptiven Bewegungsregelung
- Erforschung von datengesteuerten Ansätzen zur Bewegungsklassifizierung und Komponentenbeschreibung.

// **Kooperationen**

Durch den Canada Excellence Research Chair von Katja Mombaur besteht eine enge Vernetzung mit dem Team an der University Waterloo, einer wichtigen

Partnerinstitution des KIT. Außerdem betreiben wir viele interdisziplinäre Kooperationen mit Partnern aus Medizin, Sportwissenschaften, Psychologie, Philosophie, Ethik und Kognitionswissenschaften.

// **Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter**

Verwaltungspersonal

Branca da Costa*
Francesca Morreale

Wissenschaftliches Personal

Dr. Marko Ackermann
Dr. Francisco Andrade Chavez*
Dr. Jonas Grosse Sundrup*
Jan Lau
Peter Q. Lee*
Peter Sengjune Lee
Dr. Jonathan Lin*
Anas Mahdi**
Giorgos Marinou***
Christian Mele**
Dr. Mahsa Parsapour*
Sagar Rajendran*
Will Thibault**
Dr. Ilknur Umay*

* HCRMI, University of Waterloo
** Cotutelle PhD KIT / University of Waterloo
*** ORB, Heidelberg University

// **Website**

<https://hcr.iar.kit.edu>