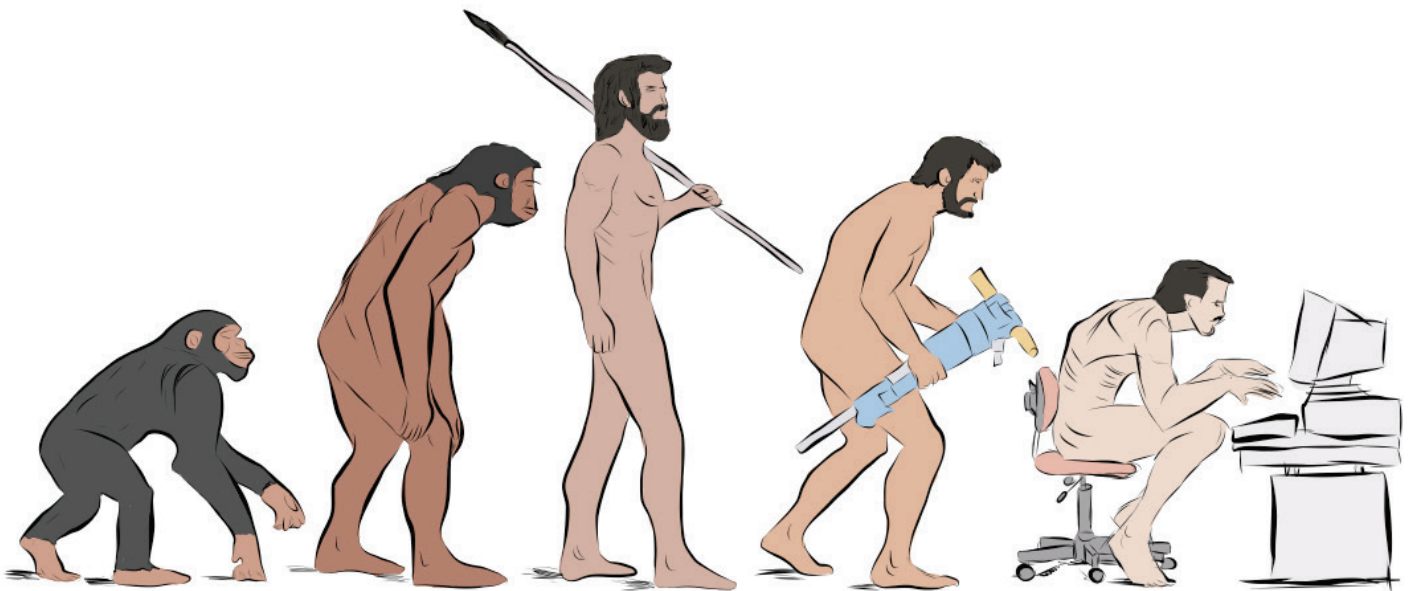


# Ergonomie

## AKTUELL



## **IMPRESSUM:**

### **Ergonomie Aktuell**

Die Fachzeitschrift des Lehrstuhls für Ergonomie erscheint im Selbstverlag einmal pro Jahr.  
Auflage 150

### **Herausgeber:**

Lehrstuhl für Ergonomie  
Technische Universität München  
Boltzmannstraße 15  
85748 Garching  
Tel: 089/ 289 15388  
<https://www.mw.tum.de/lfe/startseite/>  
<https://www.mw.tum.de/lfe/downloads/>

### **ISSN: 1616-7627**

Verantw. i.S.d.P.:  
Prof. Dr. phil. Klaus Bengler  
Prof. Dr.-Ing. Veit Senner

### **Redaktion:**

Prof. Dr. phil. Klaus Bengler  
Prof. Dr.-Ing. Veit Senner

### **Cover:**

Jonas Bender/TUM

### **Layout:**

Julia Gres/TUM

### **Druck:**

Printy, Digitaldruck & Kopierservice  
80333 München

© Lehrstuhl für Ergonomie | TUM  
Alle Rechte vorbehalten. Nachdruck, auch auszugsweise, nur in Abstimmung mit der Redaktion.

### **Zum Sprachgebrauch:**

Nach Artikel 3 Abs. 2 des Grundgesetzes sind Frauen und Männer gleichberechtigt. Alle Personen- und Funktionsbezeichnungen beziehen sich gleicher Weise auf Frauen und Männer.

Sehr geehrte Leserinnen und Leser,

die diesjährige Ausgabe der Ergonomie Aktuell zeigt, wie intensiv Automation und Robotik unsere Forschungsaktivitäten prägen - oder sollte ich besser sagen, wie sehr wir die Gestaltung automatisierter und robotischer Lösungen durch unsere Forschung prägen.

Die Entwicklungen im Bereich der Technik und Digitalisierung führen im Zusammenwirken mit dem demographischen Wandel zu einer Vielzahl von neuen Ansätzen in der Mobilität, im Bereich der Pflege und vor allen Dingen in verschiedensten Szenarien der Arbeitswelt.

Die Berichte über Abschlussveranstaltungen von Projekten, die sich mit automatisierten und autonomen Fahrzeugen beschäftigt haben, zeigen unsere lange Historie mit diesen Themen und der Ableitung von umfassenden Gestaltungshinweisen. Viel Expertise wurde bereits über einen langen Zeitraum und über Generationen von Doktorandinnen und Doktoranden aufgebaut.

Daneben ist eine beeindruckende Projektlandschaft zur Mensch-Roboter Interaktion entstanden, die sich experimentell mit unterschiedlichsten Arbeits- und Lebenssituationen befasst, in denen Menschen und Roboter aufeinandertreffen und kooperieren.

Die Effekte des Klimawandels und die damit verbundenen Extremtemperaturen lassen unsere langjährige Forschung zu energieeffizienter Klimatisierung in ganz neuem Licht erscheinen.

Sie sehen, dass die Ergonomie in diesen sehr turbulenten und manchmal auch verwirrenden Zeiten konstruktive Beiträge liefern kann, um große soziotechnische Systeme an den Menschen orientiert zukunftsfähig zu gestalten.



Unser eigenes Projekt LfE next und die damit verbundene Umgestaltung des Lehrstuhls und der Arbeitsformen ist abgeschlossen und schon von vielen Besuchern gelobt worden.

Ein Höhepunkt kurz vor der Drucklegung dieser Ausgabe war der Festakt zu Ehren des 80. Geburtstages von Prof. Heiner Bubb, den wir in wunderbarer Atmosphäre mit vielen Gästen gefeiert haben.

In diesem Sinn danke ich allen Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern, die zu unseren spannenden Forschungsaktivitäten und zu LfE next beigetragen haben.

Wir wünschen Ihnen viel Freude bei der Lektüre.

Ihr



Klaus Bengler





Impressum	02
Editorial	03
Projektabschluss: Connected and Automated Driving in Japan and Germany: Human Factors [CAD HF] <i>Burak Karakaya, Birte Emmermann</i>	06
Projektabschluss: MobiRe: Entwicklung eines Mobilitätskonzepts für den städtischen Fuhrpark <i>Jonas Schulze</i>	10
UNICARagil - from Concept to Creation: Building the Future of Vehicles <i>Manuel Kipp, Jonas Bender</i>	12
DFG-Projekt sabeS – Interaktionsräume zwischen Menschen und sich autonom bewegenden Systemen <i>Olivia Herzog</i>	18
Kollaborative Roboter als Unterstützung für Menschen mit geistiger Behinderung im Berufsbildungsbereich <i>Olivia Herzog</i>	20
Vom Menschen lernen – Für Menschen gestalten <i>Bianca Biebl</i>	22
Individuell, flexibel und innovativ: Die Zukunft der Fertigung in der KI.FABRIK <i>Theresa Prinz</i>	26
Neue Arbeitswelten und neue Methoden der Ergonomie <i>Stefan Brunner, Nicolas Nießen</i>	28
LfE NEXT <i>Annika Boos, Olivia Herzog</i>	32
Projekt HFexo – Exoskeletons for sustainable work <i>Christina Harbauer-Rieß</i>	35
STADT:up – Solutions and technologies for automated driving in town: an urban mobility project <i>Alexander Feierle, Niklas Grabbe, Jonas Schulze, Lorenz Steckhan</i>	37
Usability & Akzeptanz eines Informations- und Warnkonzepts <i>Burak Karakaya, Bianca Biebl</i>	39
Bayerische Forschungsstiftung fördert Verbundvorhaben ForNeRo im Bereich der roboter-assistierten Chirurgie <i>Manuel Ferle</i>	40
Professur für Sportgeräte und -materialien: Überblick über die neuesten Entwicklungen am Institut <i>Kati Nispel, Kevin Lippmann</i>	42
Veröffentlichungen von Sommer 2022 bis Sommer 2023	46
Dissertationen	50
Abgeschlossene Diplom- und Masterarbeiten	54
Neue Mitarbeiter und Abschied	56

# Projektabschluss: Connected and Automated Driving in Japan and Germany: Human Factors [CAD HF]

Burak Karakaya, Birte Emmermann



GEFÖRDERT VOM



Bundesministerium  
für Bildung  
und Forschung

## Motivation

Automatisiertes und vernetztes Fahren wird fortlaufend in den internationalen Markt eingeführt. Daher ist es nun notwendig, innovative Technologien zu entwickeln, die den Betrieb automatisierter Fahrzeuge (AF) über Autobahnszenarien hinaus auch in weniger strukturierten, komplexen Mischverkehr mit anderen Verkehrsteilnehmern ermöglichen. Hier ist insbesondere das Aufeinandertreffen mit nicht automatisierten Fahrzeugen, Fußgängern und Radfahrern in ländlichen und städtischen Gebieten zu nennen. Um ein ganzheitliches Interaktionskonzept zu gestalten und letztendlich einzuführen, müssen AF nicht nur zuverlässig fahren, sondern auch sicher, effizient und effektiv mit ihren Fahrern und anderen Verkehrsteilnehmern kommunizieren und kooperieren.

## Ziele und Ansätze

Die Ziele dieses Projekts waren dreigeteilt: erstens wurden innovative Konzepte für die Interaktion und Kommunikation von AF mit den umliegenden Verkehrsteilnehmern in komplexen Mischverkehrssituationen untersucht und umgesetzt. Zweitens wurde der Einfluss der Fahrerschulung auf die Interaktion mit AF erforscht. Drittens wurden verschiedene Konzepte für eine sichere und effiziente Interaktion zwischen dem Fahrer und der Automatisierung während der Transition der Fahraufgabe bewertet, welche auch im Zusammenspiel mit Minimal Risk Manuevern (MRM) betrachtet wurden. Diese Transitionsphase gilt als besonders sicherheitsrelevant, da Fahrer ihre Nebenaufgabe abbrechen und die Fahrzeugkontrolle innerhalb weniger Sekunden übernehmen müssen (siehe Abbildung 1).



Abbildung 1: Prof. Bengler in Interaktion mit einer fahrfremden Tätigkeit während seiner automatisierten Testfahrt im Fahrsimulator der University of Tsukuba in Japan.

Hierfür wurden moderne und bewährte Methoden der Human Factors Forschung eingesetzt, wie z.B. Simulatoren für Fahrer, Radfahrer und Fußgänger oder aber auch die virtuelle Realität (VR) (siehe Abbildung 2).

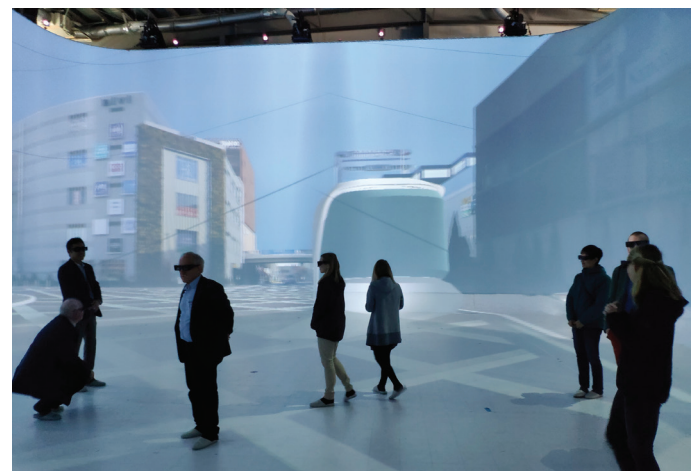


Abbildung 2: Deutsche Projektpartner bei Besuch des Cave Automatic Virtual Environments (CAVE) der University of Tsukuba in Japan. Untersuchung von ungewöhnlichem Fahrverhalten Trajektorien

Diese vielschichtige Untersuchung gekoppelt mit der regelmäßigen Zusammenarbeit der Projektpartner trugen dazu bei, dass bei der Einführung von AF

die Perspektiven aller Verkehrsteilnehmer, sowohl in ländlichen als auch in städtischen Gebieten, berücksichtigt werden konnten.

## **Ergebnisse und Nutzen der binationalen Zusammenarbeit**

Während des gesamten Projekts und auch während der COVID-19-Pandemie konnten japanische und deutsche Forscher von der binationalen Zusammenarbeit profitieren.

In Form von regelmäßigen Workshops, Treffen, Seminaren, Webinaren, gemeinsamen Experimenten, Publikationen und Bildungsaktivitäten wurde ein Austausch von Wissen sowie kulturellen und methodischen Erkenntnissen sichergestellt. Eine Vielzahl von Experimenten in Fahr-, Fahrrad- und Fußgängersimulatoren, in der virtuellen Realität, online oder im realen Verkehr wurden von den verschiedenen Forschern koordiniert und durchgeführt. Auf dieser Basis lassen sich auf internationaler Ebene konkrete Aussagen über die Interaktion zwischen dem AV und dem Fahrer sowie mit umliegenden Verkehrsteilnehmern formulieren.

Die Ergebnisse zeigen, dass Szenarien im Stadtverkehr eine hohe Komplexität aufweisen. Das heißt, ein einzelner ungeschützter Verkehrsteilnehmer verhält sich anders als eine Gruppe ungeschützter Verkehrsteilnehmer und die Kommunikation zwischen den AF – explizit und implizit – muss entsprechend gestaltet werden. Zusätzlich zur Komplexität des Stadtverkehrs wurde außerdem ein heterogenes Verhalten menschlicher Verkehrsteilnehmer und ein unterschiedliches Verhalten gegenüber AF im Vergleich zu konventionellen Fahrzeugen beobachtet. Daraus wurden konkrete Empfehlungen zur Gestaltung externer Mensch-Maschine-Schnittstellen, der Trajektorien der AF und der deutschen und japanischen urbanen Infrastruktur abgeleitet. Hierfür wurden Studienergebnisse aller Partner diskutiert, die einen fundierten und umfangreichen Input in Normungsgremien ermöglichen, die darauf abzielen, einen internationalen Standard für Interaktionskonzepte für AF zu adaptieren.

Japanische und deutsche Partner untersuchten die Wirkung von Fahrerausbildung und -training für den Betrieb eines automatisierten Fahrzeugs der SAE-Stufen 1–3. Dabei wurden verschiedene Lernfacetten berücksichtigt, z. B. die Zeit zwischen den Trainingseinheiten, die Wirksamkeit der Wissensüberprüfung der Fahrer und das Medium der Wissensvermittlung. Die Ergebnisse zeigen, dass allgemeine Schulungen und Training zur Automatisierung die Fahrleistung, das Wissen über die Automatisierung und ihre Ansichten gegenüber AF positiv beeinflussen können. Davon abgesehen muss das Training jedoch einen angemessenen Inhalt, Länge und Medium haben und zusätzlich die Erfahrung der Fahrer mit AF berücksichtigen.

Die Interaktion zwischen AF und Fahrer während Transitionsphasen wurde aus mehreren Perspektiven untersucht: 1) im Zusammenspiel mit einer MRM-Funktion, d.h. das AF ist in der Lage einen sicheren Zustand automatisiert zu erreichen, 2) Transitionen, die die Kontrolle nur teilweise auf den Fahrer übertragen, und 3) die Einbindung einer Überwachungsphase vor einer Übernahmeaufforderung. Die Ergebnisse geben einen umfassenden Einblick in aktuelle Sicherheits Herausforderungen und zeigen, dass der Fahrer nach wie vor ein wichtiger Faktor ist. Auch mit MRM lässt sich das Risiko eines Unfalls oder einer Gefahrensituation nur unter einer Vielzahl spezifischer Bedingungen reduzieren, wie z. B. durch ein ausreichend langes Zeitbudget vor der Manöverinitiierung, die Wahl einer fahrerfreundlichen Strategie und die Unterstützung von Fahrerentscheidungen und -handlungen über eine geeignete Mensch-Maschine-Schnittstelle. In Situationen, in denen das AF den Fahrer für die Erfüllung einer Teilaufgabe benötigt, bewirkt ein angemessenes Transitionsdesign eine Verbesserung der Zeit für die Aufgabenerfüllung, ohne die User Experience negativ zu beeinflussen. Darüber hinaus verbesserte die Überwachungsphase vor einer Eingriffsanforderung und der Einsatz einer entsprechend gestalteten Mensch-Maschine-Schnittstelle die Fahrleistung und das Beobachtungsverhalten der Fahrer.





Abbildung 3: Vorstellung des Projektes durch Prof. Bengler auf dem SIP-adus Workshop im Oktober 2022 in Kyoto, Japan.

## Abschlussevent

Leider hatte die Zusammenarbeit im Projekt CADJapanGermany: HF zwischen japanischen und deutschen Forschern aufgrund von COVID hauptsächlich virtuell stattgefunden. Daher hat der Lehrstuhl für Ergonomie die Einladung nach Japan im Oktober 2022 dazu genutzt, um mehrere persönliche Veranstaltungen zu besuchen: in seiner Rolle als deutscher Projektleiter stellte Prof. Bengler das Projekt auf dem SIP-adus-Workshop 2022 in Kyoto vor mehreren japanischen, deutschen und anderen internationalen Akteuren vor (siehe Abbildung 3).

Im Rahmen von zwei weiteren Workshops in Kyoto und Tokio (siehe Abbildung 4) fand ein wertvoller Austausch über alle Studienergebnisse, neue Herausforderungen, Chancen und mögliche Lösungen für eine sichere und erfolgreiche Einführung von automatisierten Fahrzeugen in unseren Alltag statt.



Abbildung 4: Abschlusspräsentation in Tokio, Japan.

## Publikationen des LfE

Kalb, L., & Bengler, K. (2021). The Importance of the Approach Towards the Curb Before Pedestrians Cross Streets. In N. L. Black, W. P. Neumann, & I. Noy (Eds.), *Proceedings of the 21st Congress of the International Ergonomics Association (IEA 2021)* (Vol. 221, pp. 674–681). Cham: Springer International Publishing. doi: 10.1007/978-3-030-74608-7\_82

Karakaya, B., Kalb, L., & Bengler, K. (2020). A Video Survey on Minimal Risk Maneuvers and Conditions. *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*, 64(1), 1708–1712. doi: 10.1177/1071181320641415

Karakaya, B., & Bengler, K. (2021). Investigation of Driver Behavior During Minimal Risk Maneuvers of Automated Vehicles. In N. L. Black, W. P. Neumann, & I. Noy (Eds.), *Proceedings of the 21st Congress of the International Ergonomics Association (IEA 2021)* (Vol. 221, pp. 691–700). Cham: Springer International Publishing. doi: 10.1007/978-3-030-74608-7\_84

Karakaya, B., & Bengler, K. (2023). Minimal Risk Maneuvers of Automated Vehicles: Effects of a Contact Analog Head-Up Display Supporting Driver Decisions and Actions in Transition Phases. *Safety*, 9 (1), 7. doi: 10.3390/safety9010007

### Projektinformationen

**Projektdauer:** 01.09.2019 bis 31.08.2022

**Budget:** EUR 2.03 Mio.

**BMBF-Förderung:** EUR 2.35 Mio.

#### Projektpartner in Deutschland:

- Technische Universität München
- Technische Universität Dresden
- Technische Universität Chemnitz
- Universität Ulm
- Deutsche Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR)

#### Projektpartner in Japan:

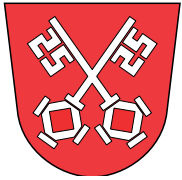
- National Institute of Advanced Industrial Science and Technology (AIST)
- University of Tsukuba
- Keio University
- Kumamoto University
- The University of Tokyo
- Tokyo Business Service Co.

# Projektabschluss: MobiRe

## Entwicklung eines Mobilitätskonzepts für den städtischen Fuhrpark

Jonas Schulze

### Ausgangssituation und Zielstellung



Die Stadt Regensburg unterhält für kommunale Aufgaben sowie Dienstleistungen eine Fahrzeugflotte (Nutzfahrzeuge, Klein-Lkw, Transporter und Personenkraftwagen), die durch das Amt für Kreislaufwirtschaft,

Stadtreinigung und Flottenmanagement zentral beschafft, bewirtschaftet und den übrigen Ämtern zur Verfügung gestellt werden.

Das Ziel von MobiRe besteht in der Transformation der aktuellen Flottenbewirtschaftung vom klassischen Fuhrparkmanagement hin zu einem innovativen und digital gestützten Service-Ansatz, welcher die konkreten Mobilitätsbedürfnisse der Verwaltungsangestellten abbildet und sie in ihren täglichen Aufgaben bestmöglich unterstützt.

Zusätzlich gilt es, Nachhaltigkeitsziele in den Vordergrund zu rücken, insbesondere im Kontext des Europäischen Green Deals und der Agenda 2030. Im Vordergrund steht die Reduktion der CO<sub>2</sub>-Emissionen mittels innovativer Antriebstechnologien und der Steigerung der Lebensqualität in der Stadt durch saubere Luft und weniger Verkehr.

Das Mobilitätskonzept entstand in der Zusammenarbeit des Lehrstuhls für Verkehrstechnik, des Lehrstuhls für Fahrzeugtechnik und des Lehrstuhls für Ergonomie.

### Ergebnisse aus Workshops und Datenanalyse

#### *Was ist den städtischen Mitarbeiter\*innen wichtig?*

Die Ergebnisse der Mitarbeiterbefragung (n=726) zeigen, dass Nutzerfreundlichkeit, Umweltverträglichkeit und Zeitersparnis im Vordergrund stehen. Technische Entwicklungen wie das Automatisierte Fahren sind für die Mitarbeiter von untergeordneter Bedeutung. In der Diskussion des ersten Workshops kristallisierte sich ein ämterübergreifendes Verwaltungs- und Buchungssystem als Grundstein für den

digitalen Zugang zum Mobilitätsangebot heraus. Mit der Einführung soll eine schrittweise Transformation des Fuhrparkmanagements zu einem „Mobility-as-a-Service“ (MaaS) Anbieter innerhalb der Stadtverwaltung angestoßen werden.

#### *Nachhaltigkeitskonzept*

Im Zusammenhang mit nachhaltigen kommunalen Flotten wird überwiegend die Elektrifizierung verbunden. Das Mobilitätskonzept adressiert die Nachhaltigkeitsaspekte in den drei Dimensionen Ökologie, Ökonomie und Soziales mit den folgenden Zielen:

- **Ökologie:** Vorrangige Reduktion der CO<sub>2</sub>-Emissionen, aber auch Minderung von Luftschadstoffen und Lärmemissionen
- **Ökonomie:** Effizienter und zielgerichteter Einsatz öffentlicher Finanzmittel
- **Soziales:** Steigerung der Nutzerzufriedenheit und Wahrnehmen einer gesellschaftlichen Verantwortung

#### *Auswertung des Mobilitätsverhaltens*

Als Datengrundlage für die empirische Studie dienten die Fahrtenbücher aller Klein- und Mittelklassefahrzeuge, die grundsätzlich für ein Fahrzeugpooling geeignet sind – Sonderfahrzeuge ausgenommen. Bereits knapp die Hälfte der Fahrzeuge ist elektrisch bzw. teilelektrisch (Hybrid/Plug-in Hybrid). Die Fahrleistungen des Großteils der Fahrzeuge fallen vergleichsweise gering aus und eine höhere Auslastung der Fahrzeuge und gleichzeitige Reduktion der Fahrzeuganzahl kann einen ökonomischen und ökologischen Nutzen bewirken. Der Tausch von stärker genutzten konventionell angetriebenen Fahrzeugen mit wenig genutzten Elektrofahrzeuge innerhalb der Flotte bringt weitere Verbesserungen.

Ca. 10% der Fahrten finden auf innerstädtischen Kurzstrecken statt, die ggf. durch unmotorisierte Fahrzeuge (Fahrräder, E-Bikes, E-Lastenfahrräder) und Mikromobilität (E-Scooter, Roller, Elekt-

ro-Kleinstfahrzeuge) abgewickelt werden können. Voraussetzung ist eine ausreichende Flexibilität hinsichtlich der Wetterbedingungen.

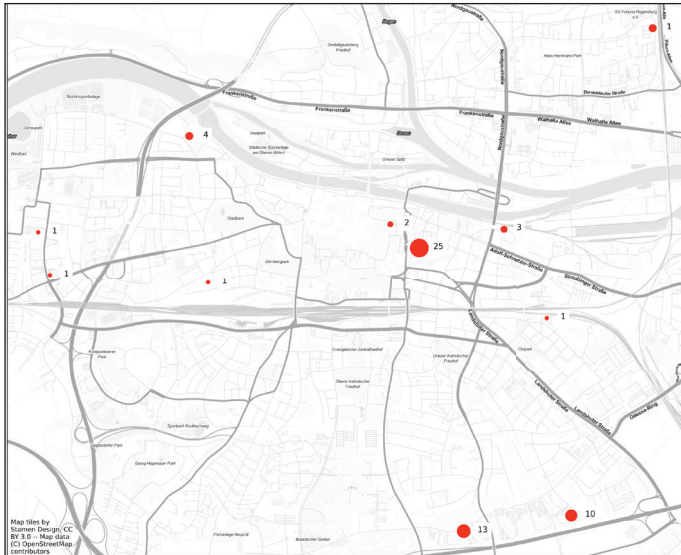


Abbildung 1: Standorte von vorausgewählten Fahrzeugen des Regensburger Fuhrparks mit Potential zum Pooling.

### Ergebnisworkshop

In einem zweiten Workshop wurden die Resultate der engen Zusammenarbeit mit dem Amt für Kreislaufwirtschaft, Stadtreinigung und Flottenmanagement in zehn Maßnahmen mit kurz- bis langfristigem Fokus vereint. Die Hauptaspekte liegen in der Digitalisierung des Fuhrparkmanagements und der Optimierung des Fahrzeugbestands. Dazu gehören die Einführung des Fahrzeugpools Johann-Hösl-Straße und die Erweiterung des Mobilitätsangebots durch E-Lastenfahrräder und Pedelecs an ausgewählten Standorten. Ein angestrebter Mobilitätsleitfaden soll Hinweise zu umweltfreundlichen Verhalten verankern und das Nachhaltigkeitsbewusstsein über die Grenzen der Stadtverwaltung hinaus auf die Regensburger Bürger ausweiten.

Der Maßnahmenkatalog definiert die strategische Ausrichtung des Fuhrparks sowie die Mobilitätsstrategie der Stadt Regensburg und dient dazu, die Entscheidung politischer Entschlüsse zu unterstützen.



# UNICARagil - from Concept to Creation: Building the Future of Vehicles



Manuel Kipp, Jonas Bender

## Die Vision

In Anbetracht des steigenden Mobilitätsbedarfs und der fortschreitenden Urbanisierung wird die Rolle von autonomen elektrischen Fahrzeugen immer wichtiger. Das Projekt UNICARagil, das von 02/2018 bis 05/2023 gelaufen ist, leistet einen bedeutenden Beitrag zur Gestaltung und Nutzung solcher Fahrzeuge im Mobilitätsgeschehen. Der Grundgedanke des Projekts ist eine modulare, skalierbare Fahrzeugplattform, die über unterschiedliche Absicherungsmöglichkeiten wie Sensoren, Cloud, Drohnen, Leitwarte und neuartige Softwarearchitekturen verfügt und somit in der Lage ist, das Verkehrsgeschehen zu erfassen und automatisiert zu agieren. Durch unterschiedliche modulare Aufbauten können individuelle Anwendungsfälle abgebildet werden. UNICARagil umfasst vier Fahrzeugkonzepte, die in Abbildung 1 dargestellt sind: autoCARGO, autoELF, autoTAXI und autoSHUTTLE.



Abbildung 1: UNICARagil Use-Cases (von links nach rechts autoSHUTTLE, autoCARGO, autoTAXI, autoELF).

Wie bereits in den vergangenen Ausgaben der Ergonomie Aktuell berichtet, konzentriert sich der Lehrstuhl für Ergonomie in diesem Projekt auf zwei Themenschwerpunkte:

- Mensch-Maschine-Interaktion
- Konzeptentwicklung, Aufbau und Realabsicherung des Prototyps autoTAXI

UNICARagil verfolgt das Ziel, eine Neukonzeption von automatisierten Fahrzeugen und ihrer Architektur anzustreben. Dazu haben sich die führenden

deutschen Universitäten auf dem Gebiet des automatisierten Fahrens und einige Schlüsselfachleute aus der Industrie im Rahmen eines vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) geförderten Projekts zusammengeschlossen. Der Antrag sieht die Entwicklung innovativer modularer Hardware- und Software-basierter Architekturen für fahrerlose Fahrzeugkonzepte vor, die auf den neuesten Erkenntnissen der Forschung zum automatisierten und vernetzten Fahren sowie zur Elektromobilität aufbauen. Die Fahrplattform und Aufbau module bilden die Grundlage für dieses modulare und skalierbare Fahrzeugkonzept, das sich an eine Vielzahl von Anwendungsszenarien in der Logistik und Personenbeförderung anpassen lässt. Die funktionale Fahrzeugarchitektur, die mit der Cloud, dem Straßennetz und einer Sensordrohne vernetzt ist, bildet einen zentralen Bestandteil der Forschungs- und Entwicklungsarbeiten. Weitere Schwerpunkte sind die Schaffung von universell einsetzbaren Sensormodulen zur Umgebungswahrnehmung, eine flexible, erweiterbare und aktualisierbare Architektur sowie hochmoderne Dynamikmodule, die völlig neue Bewegungsmuster im Verkehr ermöglichen.

## Innenraumgestaltung des autoTAXI

Der Lehrstuhl für Ergonomie und der Lehrstuhl für Fahrzeugtechnik der TUM arbeiteten im Rahmen von UNICARagil eng zusammen, um das Konzept des autoTAXI zu entwickeln. Trotz der geringen Größe des Fahrzeugs war das Ziel, einen geräumigen Innenraum zu schaffen, wofür verschiedene Sitzkombinationen getestet wurden. Die Gestaltung des Innenraums berücksichtigte Faktoren wie Sitzanordnung und -höhe, Fenstergröße und einfache Zugänglichkeit von Ablagen. Um den Einstieg und die Orientierung zu erleichtern, wurde ein Doppeltürkonzept entwickelt, das seitliches Öffnen der Türen und Anheben des Dachs umfasste. Die Beinlänge des 95. Perzentil vom Mann und die Körpergröße der 95. Perzentil Frau waren entscheidend bei der Gestaltung des Innenraums. (Kipp et al., 2020)



### *Konzeptentwicklung, Aufbau und Realabsicherung*

Es wurden verschiedene Aspekte im Entwicklungsprozess des autoTAXI berücksichtigt, um trotz der begrenzten Fahrzeugabmessungen einen geräumigen Innenraum zu schaffen und eine angenehme Fahrt für die NutzerInnen zu gewährleisten. Dazu wurden mithilfe des virtuellen Menschmodells RAM-SISTM verschiedene Sitzkombinationen getestet, um einen Innenraum zu schaffen, der flexibel an die Bedürfnisse der NutzerInnen angepasst werden kann und genügend Stauraum für Gepäck bietet. Auch der Einstieg und Ausstieg wurden berücksichtigt und durch ein duales Türkonzept ermöglicht, das den Zugang auf beiden Seiten des Fahrzeugs erleichtert. Auf Basis dieses Zugangskonzepts wurden verschiedene Innenraumkonzepte entwickelt, die von einem Expertengremium bewertet wurden. Das ausgewählte Konzept für das autoTAXI umfasst zwei vollwertige Hauptsitze in Fahrtrichtung und zwei Klappsitze in entgegengesetzter Richtung, um bei Bedarf bis zu vier Personen zu befördern. Die Ausstattung der Hauptsitze mit Armlehnen und Tischen ermöglicht es den NutzerInnen, auch während der Fahrt zu arbeiten oder zu lesen.

### *Konstruktionsprozess*

Im vergangenen Jahr widmeten sich der Lehrstuhl für Ergonomie und der Lehrstuhl für Fahrzeugtechnik der TUM intensiv der Konzeptfinalisierung des autoTAXIs und führten prototypische Aufbauten als Machbarkeitsstudie durch. Das Innenraumdesign des autoTAXIs beschränkt sich auf ein 2+2 Sitzkonzept mit vis-à-vis-Anordnung, welches durch ein Sitzschalenkonzept eine variable Platzierung der Sitze ermöglicht. Zur Sicherstellung einer ergonomischen Auslegung für eine breite Zielgruppe von 5. Perzentil Frau bis zum 95. Perzentil Mann wurden iterativ mit Hilfe des digitalen Menschmodells RAM-SISTM Simulationen zur Absicherung des Greifraums und der Erreichbarkeit sowie eine Sichtbarkeitsanalyse der konstruierten Elemente umgesetzt. (Kipp, Guo & Bengler, 2022)

Die Konstruktionsflächen des autoTAXI wurden gezielt im Hinblick auf die Konstruktion und Fertigungsanforderungen der Sitzumgebung entworfen, wie in Abbildung 2 dargestellt. Die ergonomisch geformte Sitzschale bildet das zentrale Element der Sitzumgebung im autoTAXI und sorgt für einen hohen Sitzkomfort sowie eine angenehme und private Atmosphäre während der Fahrt. Zusätzlich wurden verschiedene Features wie ein Tischsystem zum Arbeiten sowie ansprechende Designflächen in die Konstruktion der Sitzumgebung integriert. Um eine nahtlose Integration dieser Elemente zu gewährleisten, mussten die Konstruktionsflächen des autoTAXIs entsprechend den Fertigungs- und Materialanforderungen der Sitzumgebung angepasst werden. Diese Planung und Abstimmung der verschiedenen Komponenten gewährleistet eine optimale Nutzung der begrenzten Räumlichkeiten im autoTAXI und ermöglicht den Passagieren eine angenehme Fahrt.

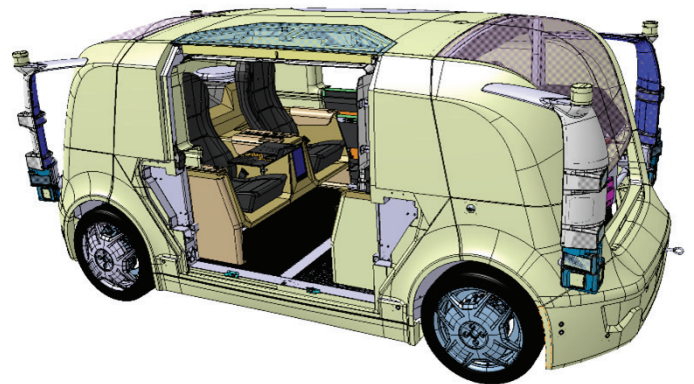


Abbildung 2: Konstruktionsflächen des autoTAXI in CATIA V5

### *Innenraumdesign*

Das Innenraumdesign wurde von Designstudenten der Fachhochschule Salzburg entworfen und anhand eines Anforderungskatalogs an Fertigbarkeit, Zugänglichkeit und Anwendbarkeit sichergestellt.

Die Designflächen wurden in vier eigenständige Baugruppen unterteilt, die zunächst unabhängig voneinander konstruiert wurden. Hierbei handelt es sich um die Sitzumgebung der Haupt- und Klappsitze, die gesamte Unterkonstruktion und sämtliche Innenraumverkleidungselemente mit integrierten

Komponenten. Die Rendering-Visualisierungen des Interieur-Designs sind in Abbildung 3 dargestellt.



Abbildung 3: Innenraumdesign-Konzept des autoTAXI.

## HMI-Entwicklung

Im Bereich der HMI-Entwicklung wurde im vergangenen Jahr die eHMI-Steuerung weiterentwickelt und in das System integriert. Dabei wurden folgende Funktionen definiert: Ladestatus, Türstatus (öffnen/schließen), Manöver und Warnsymbole. Zunächst wurde dieses Set im UNICARagil-Architektur-Tool angelegt und anschließend schrittweise entwickelt, integriert und getestet. Nach dem Umstellungsprozess auf die Cloud ASOA 0.4. wurde die HMI-Steuerung nach dem Vorbild der Lichtsteuerung sukzessive auf die einzelnen Fahrzeuge aufgespielt. Zusätzlich wurde auch die Lichtsteuerung erfolg-

reich auf 0.4.0 aktualisiert und der entsprechende Code gemeinsam mit dem eHMI-System deployed in das gemeinsame Repository hochgeladen.

## Realfahrzeug

Während der Finalisierung des autoTAXI wurden zahlreiche Tests durchgeführt, um die Funktionalität und Sicherheit des Fahrzeugs zu gewährleisten. Darüber hinaus wurde die Fertigung des Innenraums des realen Prototyps durch die Lehrstühle und mithilfe eines Prototypenbauers durchgeführt, um hohe Sicherheitsstandards zu erfüllen. Die Designflächen des Fahrzeugs wurden aus kohlefaserverstärktem Kunststoff gefertigt, um eine hohe Stabilität bei geringem Gewicht zu gewährleisten. Die Sitzumgebung des autoTAXI umfasst eine Sitzschale, welche aus Malve, einem nachhaltigen Werkstoff gefertigt ist und zugleich ein markantes Designelement darstellt, das die zukünftige Nachhaltigkeit des Fahrzeugs verdeutlicht. Die Sitzschale beinhaltet Funktionen zur Unterstützung sowohl von Arbeit als auch Entspannung während der Fahrt.

Die Elektronik des Fahrzeugs wurde von Grund auf neu entwickelt, um eine nahtlose Integration aller Komponenten und optimale Leistung zu gewährleisten. Ein besonderes Augenmerk lag auf hoher Zuverlässigkeit und einfacher Wartung. Die Herstellung des realen Prototyps war herausfordernd, da viele Komponenten und Systeme neu entwickelt werden mussten. Das Projektteam konnte alle Herausforderungen bewältigen und das Fahrzeug termingerecht fertigstellen.

Als Ergebnis entsteht ein innovatives und zukunftsweisendes Fahrzeug, das den Ansprüchen an Sicherheit, Komfort und Nachhaltigkeit gerecht wird, wie in Abbildung 4 dargestellt ist. Das autoTAXI unterzieht sich einer umfassenden Überprüfung, um seine praktische Nutzbarkeit und Zuverlässigkeit sicherzustellen. Das Final Event in Aachen stellt der Öffentlichkeit die Möglichkeiten der 4 Use-Cases vor und ebnet somit den Weg für die zukünftige Mobilität.





Abbildung 4: Realfahrzeug autoTAXI.

## Abschlussevent

Mit dem Abschluss von UNICARagil am 11. Mai 2023 in Aachen geht ein spannendes und erfolgreiches Projekt zu Ende. Die Projektbeteiligten aus verschiedenen Universitäten konnten ihre Ideen im Bereich der nachhaltigen Mobilität umsetzen und diskutieren. Die präsentierten Ideen und Konzepte zeigen, dass eine nachhaltige Mobilität bereits heute umsetzbar ist und dass es noch viel Potenzial gibt, um diese zu verbessern. Wir bedanken uns bei allen Professoren, MitarbeiterInnen und Studierenden sowie den OrganisatorInnen für ihre wertvollen Beiträge zum Projekt UNICARagil und freuen uns auf zukünftige Events und Projekte im Bereich der nachhaltigen Mobilität.



Abbildung 5: Manuel Kipp und Jonas Bender waren am Lehrstuhl für Ergonomie im Projekt UNICARagil beteiligt.

Abbildungen 5 und 6 zeigen Eindrücke vom Abschlussevent mit den Mitarbeitern Manuel Kipp und Jonas Bender sowie den finalen Innenraum des autoTAXIs.



Abbildung 6: autoTAXI Innenraum mit Hauptsitzen und Klappstühlen zum Arbeiten (oben links) und Relaxsitzen (oben rechts).

Prof. Bengler hatte beim Abschlussevent die Möglichkeit, eine Testfahrt im autoTAXI zu erleben und war von dem nachhaltigen und innovativen Innenraumkonzept begeistert (Abbildung 7). Diese positive Erfahrung zeigt, wie die zukünftige Mobilität aussehen kann.



Abbildung 7: Prof. Klaus Bengler erlebte eine komfortable Fahrt im autonomen autoTAXI.

## Acknowledgement

Die Forschungsarbeiten wurden im Rahmen des Projekts „UNICARagil“ durchgeführt (FKZ 16EMO0288). Wir bedanken uns für die finanzielle Unterstützung des Projekts durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF).

Wir bedanken uns besonders bei dem Institut für Kraftfahrzeuge, RWTH Aachen, dem Lehrstuhl für Fahrzeugtechnik, TU München, und der FH Salzburg für ihren Beitrag zu dieser Veröffentlichung.

GEFÖRDERT VOM



Bundesministerium  
für Bildung  
und Forschung

## Literatur

- Kipp, M., Bubb, I., Schwiebacher, J., Schockenhoff, F., Koenig, A., Bengler, K. (2020). Requirements for an Autonomous Taxi and a Resulting Interior Concept. In: Stephanidis, C., Antona, M. (eds) HCI International 2020 - Posters. HCII 2020. Communications in Computer and Information Science, vol 1226. Springer, Cham. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-50732-9\\_50](https://doi.org/10.1007/978-3-030-50732-9_50)
- Kipp, M., Guo, C., Bengler, K. (2022). Evaluation of the Seating Environment of an Autonomous Taxi on User Needs – An Online Survey Investigation. In: Katie Plant and Gesa Praetorius (eds) Human Factors in Transportation. AHFE (2022) International Conference. AHFE Open Access, vol 60. AHFE International, USA. <http://doi.org/10.54941/ahfe1002439>



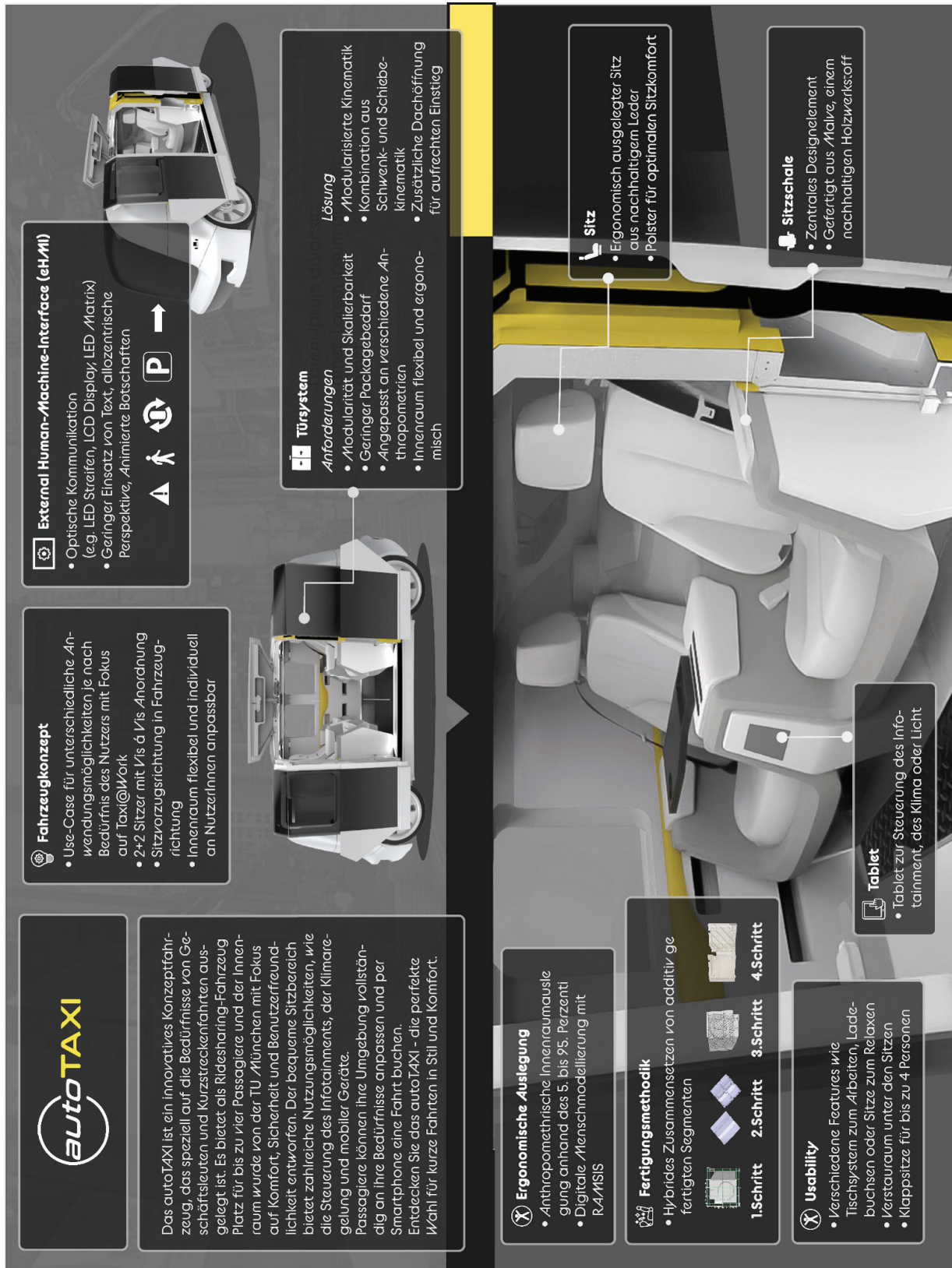


Abbildung 8: Vorstellung und Beschreibung der Hauptthemen des autoTAXIs.

# DFG-Projekt sabeS – Interaktionsräume zwischen Menschen und sich autonom bewegenden Systemen

Olivia Herzog

## Forschung zur Bewegung und Wahrnehmung von Robotern am LfE

Die Forschung zu lesbarem Bewegungsverhalten von Robotern am LfE beschäftigt sich mit der Möglichkeit, durch gezielte Variation von Bewegungsparametern, effektiv und effizient Intentionen an Interaktionspartner:innen zu kommunizieren (Dragan et al., 2013). Dies ist insbesondere in der Forschung zu human-robot spatial interaction von Bedeutung (Reinhardt et al., 2018). Sie befasst sich mit der Untersuchung der Art und Weise, wie Menschen und Roboter ihre Bewegungen in räumlicher Nähe zueinander koordinieren (Dondrup et al., 2015). Im Prozess, Motion Cues für autonome Roboter anwendbar zu machen, spielen soziale Räume (Rios-Martinez et al., 2015), menschliche Wahrnehmungsprozesse (Blake & Shiffrar, 2007), deren Design unter Berücksichtigung der robotischen Gestalt (Schulz et al., 2019), und die Evaluation der Lesbarkeit eine entscheidende Rolle (Lichtenthäler & Kirsch, 2016; Reinhardt & Bengler, 2021).

Im Rahmen des Forschungsprojektes „sabeS“ am LfE unter Förderung der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) wird die Proxemik zu sich autonom bewegenden Systemen (sabeS) untersucht. Es werden hierbei in einer Reihe von Studien die Wahrnehmung, Interpretation und Bewertung des Bewegungsverhaltens in gemeinsam genutzten Bewegungsräumen in Abhängigkeit der Distanz zum Menschen betrachtet. Spezifisch soll untersucht werden, ab welcher Distanz Menschen bei Begegnungen mit einem solchen System aufgrund sich kreuzender Bewegungstrajektorien eine erkennbare Reaktion des Systems erwarten würden, damit sie die Interaktion als sicher und zufriedenstellend erleben. Die Studienreihe sieht zunächst Experimente in virtueller Realität vor, welche es erlauben schnell und effizient Herstellungsversuche mit variablen Roboter-Prototypen zu unternehmen, um Schlüsse für weitere Studien zu ziehen. Dazu sollten Proband:innen mittels Knopfdrucks einen sich annähernden Roboter stoppen, sobald ihre Komfortdistanz erreicht wurde und die Interaktion anschließend subjektiv bewerten (Abb. 1.)

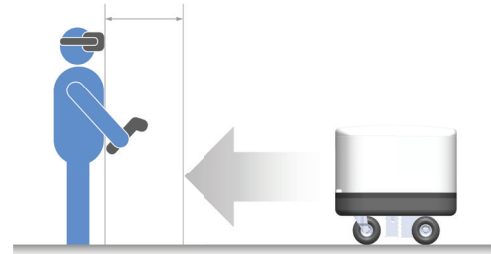


Abbildung 1: Schematischer Versuchsaufbau der Versuchsreihe in virtueller Realität.

## Ergebnisse

Die Ergebnisse von zwei durchgeführten Experimenten in virtueller Realität zeigten starke und konsistente Einflüsse der Größe und der Geschwindigkeit des Roboters sowohl auf die Entfernung (Abb. 2) als auch auf das subjektive Unbehagen (Abb. 3), gemessen mittels der Robotic Social Attributes Scale (roSAS) (Carpinella et al., 2017). Außerdem wurde ein geringer Einfluss der Kantenrundung des Roboters auf den Diskomfort festgestellt. Darüber hinaus geben die Ergebnisse Aufschluss darüber, bei welcher Entfernung ein Lieferroboter sein Verhalten in Abhängigkeit von seiner Designkonfiguration anpassen sollte, um möglichst wenig Unbehagen beim Menschen zu erzeugen (Herzog et al., 2023, in press).

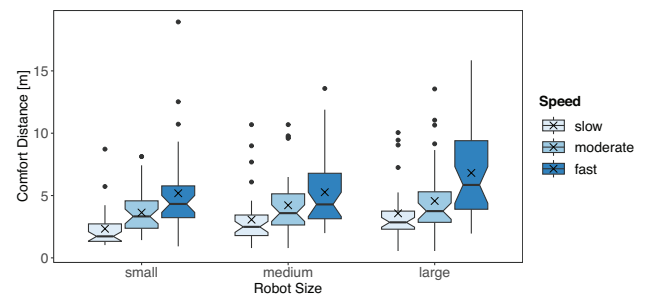


Abbildung 2: Komfortdistanzen zum Roboter in Abhängigkeit von Größe und Geschwindigkeit.

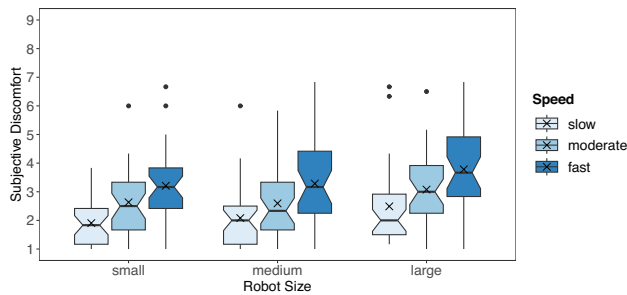


Abbildung 3: Subjektiver Diskomfort in Abhängigkeit von Größe und Geschwindigkeit.

Aufbauend auf die Ergebnisse wurde eine modulare Abdeckung für die reale Roboterplattform Heros von Innok Robotics maßgefertigt, welche es erlaubt, auch beim realen Roboter die Größe schnell zu variieren, um ihre Einflüsse im Labor überprüfen zu können (Abb. 4).



Abbildung 4: Innok Heros Roboterplattform (Innok Robotics) mit maßgefertigter, modularer Abdeckung (Zwei unterschiedliche Größen).

## Ausblick

Im Abschluss befindet sich aktuell eine weiterführende Studie in virtueller Realität, welche den Einfluss von Ablenkung (kognitiv und visuell) sowie von semantischen positiven oder negativen Framings des Roboters untersucht. Die Vorstudie für das Experiment mit dem echten Roboter ist abgeschlossen, sodass nun die Replikation als Laborstudie mit dem echten Roboter folgen kann.

## Literatur

- Blake, R. & Shiffrar, M. (2007). Perception of human motion. *Annual review of psychology*, 58.
- Carpinella, C. M., Wyman, A. B., Perez, M. A., & Stroessner, S. J. (2017, March). The robotic social attributes scale (rosas) development and validation. In *Proceedings of the 2017 ACM/IEEE International Conference on human-robot interaction* (pp. 254-262).
- Dondrup, C., Bellotto, N., Jovan, F., & Hanheide, M. (2015). Real-time multisensor people tracking for human-robot spatial interaction. In *Proceedings of the 2015 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA)*. IEEE.
- Dragan, A. D., Lee, K. C., & Srinivasa, S. S. (2013). Legibility and predictability of robot motion. In *2013 8th acm/ieee international conference on human-robot interaction (hri)*(pp. 301-308). IEEE.
- Herzog, O., Boos, A., Stockmann, J.-N. B. & Bengler, K. (2023, in press). Perception of a mobile service robot's proxemic behavior and appearance in virtual reality. In *International Conference on Human-Computer Interaction*. Springer
- Innok Robotics GmbH: Autonome Mobile Outdoor Roboter (2023), <https://www.innok-robotics.de/>
- Lichtenthäler, C. & Kirsch, A. (2016). Legibility of robot behavior: A literature review. hal-01306977
- Reinhardt, J. & Bengler, K. (2021). Design of a hesitant movement gesture for mobile robots. *PLOS ONE*, 16(3).
- Reinhardt, J., Schmidtler, J., & Bengler, K. (2018). Corporate robot motion identity. In *Congress of the International Ergonomics Association* (pp. 152-164). Florence, Italy: Springer.
- Rios-Martinez, J., Spalanzani, A., & Laugier, C. (2015). From proxemics theory to socially-aware navigation: A survey. *International Journal of Social Robotics*, 7(2), 137-153.
- Schulz, T., Torresen, J., & Herstad, J. (2019). Animation techniques in human-robot interaction user studies: A systematic literature review. *ACM Transactions on Human-Robot Interaction (THRI)*, 8(2), 1-22.



# Kollaborative Roboter als Unterstützung für Menschen mit geistiger Behinderung im Berufsbildungsbereich

Olivia Herzog

## Ein Cobot zu Gast in der Lebenshilfe Werkstatt München

Seit September 2022 beteiligt sich die Forschungsgruppe Robotics for Life & Healthcare des LfE an einem Pilotprojekt der Lebenshilfe Werkstatt (LHW) München in Kooperation mit der Firma Franka Emika zur Nutzung von Robotik zur Inklusion von Menschen mit Behinderung.

Der Einsatz kollaborativer Roboter als Unterstützung bietet einige Chancen (z. B. Inklusionspotential, verminderte Belastung, Attraktivität für Arbeitgeber als auch Bewerbende, Erweiterung des Skill- und Aufgabenspektrum), aber auch Herausforderungen (z. B. mangelnde Akzeptanz, Gefährdung der Arbeitssicherheit) (Apt et al., 2018). In ähnlichen Projekten, wie dem Projekt AQUIAS des Fraunhofer-Instituts für Arbeitswirtschaft und Organisation wurden bereits kollaborative Roboter zur Unterstützung von schwerbehinderten Produktionsmitarbeitenden eingesetzt (Kremer et al., 2019). Auch die Iserlohner Werkstätten arbeiteten bereits mit dem Cobot „Sawyer“ von Rethink Robotics und beforschten die Unterstützung durch kollaborative Roboter bei unterschiedlichen Aufgaben (z. B. bei der Qualitätskontrolle) (Schmolze-Krahn, 2022).

Ziel des LfE im gemeinsamen Projekt ist zum einen die Ermittlung der Akzeptanz von Menschen mit geistiger Behinderung gegenüber kollaborativen Robotern und zudem ein besseres Verständnis der Interaktion zwischen Menschen mit geistiger Behinderung und kollaborativen Robotern. Dazu wurde über den Zeitraum von drei Monaten der Einarmroboter „Panda“ der Franka Emika GmbH im Berufsbildungsbereich der LHW positioniert. Die folgenden Fragestellungen wurden konkret im Projekt adressiert:

- Wie wird der kollaborative Roboter akzeptiert?
- Welche Reaktionen ruft er hervor?
- Wie können Menschen mit Behinderung bei der Eingliederung und Teilhabe am Arbeitsleben

durch einen kollaborativen Roboter unterstützt werden?

- Welche Aufgaben kann ein kollaborativer Roboter in diesem Bereich übernehmen?
- Welchen Mehrwert bietet der kollaborative Roboter?

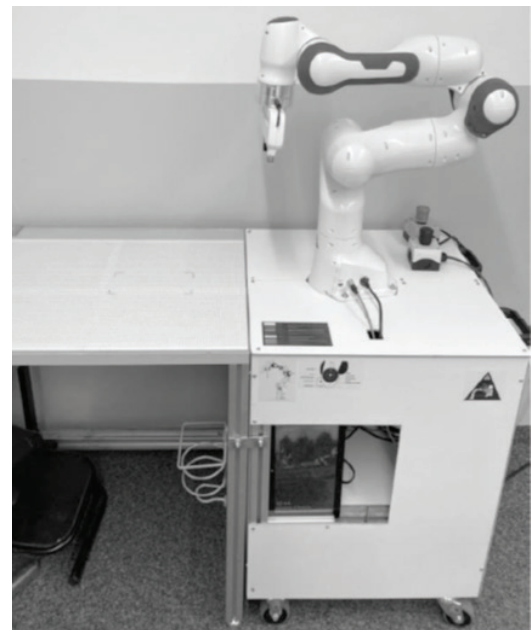


Abbildung 1: Aufbau des Roboterarbeitsplatzes im Workshop.  
(Foto: Elisa Mina)

Nach Austausch, Beratung und Votierung durch die Ethikkommission der TU München wurden eine Abfolge von Umfragen und Workshops durchgeführt.

1. Negative Attitude towards Robots Scale (NARS) in Leichter Sprache (gemeinsam mit der LHW und dem Büro für leichte Sprache übersetzt)
2. Workshop 1 und Interview 1
3. Gruppendiskussion  
Thema: Mögliche Einsatzgebiete für kollaborative Roboter im Berufsbildungsbereich

Ziel: Ideensammlung + Erfassung der Reaktionen und Bewertungen der neuen Situation



#### 4. Workshop 2 und Interview 2

Workshopthema: Wiederholung von Workshop 1 und Praxisaufgabe (Schleifen/Ventil anschrauben/ Schlauch einpacken)

Interview: Erfahrung mit und Einstellung zu kollaborativem Roboter

#### 5. Abschlussumfrage



Abbildung 2: Mitglieder der Berufsbildungsstätte am Roboterarbeitsplatz. (Foto: Elisa Mina)

Einige O-Ton Impressionen aus dem ersten Gruppengespräch zu den Einsatzgebieten des Roboters:

- „Ach und er kann auch kontrollieren, ob es richtig ist.“
- „[...] der Roboter nimmt den Schlauch, tut ihn rein und der andere hält den Schlauch fest“
- „Teamarbeiten“
- „wie zum Beispiel backen“
- „Auch Roboter Freunde sein.“
- „Basteln, kann der basteln? Also, so Ecke auf Ecke?“
- „Hmm etwas Aufheben“
- „Oder was zum, wenn was zu weit ist, weg ist, dann kann er's hergeben.“

Die Umfragen und wurden mittels deskriptiver Statistik ausgewertet, während die Ergebnisse der übrigen Erhebungen und Interviews mit Hilfe der Software MAXQDA transkribiert und qualitativ analysiert wurden. Die Ergebnisse der Studie legen dar, dass

in dieser Stichprobe die jungen Menschen mit geistiger Behinderung den kollaborativen Roboter akzeptieren. Sie reagieren vornehmlich positiv auf den Roboter und zeigen während der Zusammenarbeit Freude, Interesse und Begeisterung. Sie haben keine Berührungsängste während der Durchführung von Praxisaufgaben mit dem kollaborativen Roboter. Die Umfrageergebnisse zeigen, dass die Teilnehmenden sowohl vor als auch nach der Zusammenarbeit mit dem Roboter eine geringe negative Einstellung gegenüber kollaborativen Robotern haben. Der Cobot kann im Berufsbildungsbereich bei der Montage, Handhabung und Qualitätskontrolle eingesetzt werden. Dennoch müssen Herausforderungen – wie die Kosten der neuen Technologie oder das Ermitteln geeigneter Nutzer/-innen und Anwendungen – überwunden werden, um die Chancen der Nutzung von kollaborativen Robotern in Werkstätten für behinderte Menschen wahrnehmen zu können. Diese umfassen unter anderem die Verbesserung der Arbeitsplatzergonomie, die Erweiterung der Kompetenzen der Nutzer/-innen sowie die optimale Vorbereitung der Mitarbeitenden auf den ersten Arbeitsmarkt.

*Herzlichen Dank an Ingo Diederich von der LHW München, Simone Kager von Franka Emika und insbesondere an die Masterandin Elisa Mina für ihr Engagement.*

#### Literatur

- Apt, W., Bovenschulte, M., Priesack, K., Weiß, C. & Hartmann, E. A. (2018). Wissenschaftliche Auswertung über Theorien und Instrumente für ein inklusives Wachstum in Deutschland.
- Kremer, D., Hermann, S., Schneider, M. & Henkel, C. (2019). Mensch-Roboter-Kollaboration für schwerbehinderte Produktionsmitarbeiter. Zeitschrift für Arbeitswissenschaft, 73(1), 108-116. 10.1007/s41449-019-00147-0
- Schmolze-Krahn, R. (2022). Werkerassistenzsysteme und Cobots in den Iserlohner Werkstätten: Dokumentation und Evaluation. Bonn: syndeum GmbH.

# Vom Menschen lernen – Für Menschen gestalten

Bianca Biebl

## Projekthintergrund

Assistenz- und Automationssysteme haben durch die gezielte Unterstützung und Übernahme einzelner Fahraufgaben das Potential zur Erhöhung der Verkehrssicherheit und Reduktion des Stressniveaus von Fahrern (Litman, 2019). Vor dem Hintergrund der alternden Gesellschaft ist die Inklusion aktueller Nicht-Fahrer mithilfe technischer Systeme in der Zukunft dabei von besonderem sozialem Interesse. Da etwa 90% der fahrrelevanten Informationen visuell präsentiert werden (Sivak, 1996), führen visuelle Beeinträchtigungen bis hin zu Gesichtsfeldausfällen in vielen Rechtssystemen aktuell zu einem Entzug der Fahrerlaubnis. Studien im Fahrsimulator und im Straßenverkehr konnten jedoch zeigen, dass manche Fahrer trotz des Ausfalls einer Gesichtsfeldhälfte in beiden Augen (sog. homonyme Hemianopsie, s. Abb. 1) mithilfe geeigneter Kompensationsstrategien eine hohe Fahrsicherheit aufweisen können (Elgin et al., 2020; Tant et al., 2002).

## Projektziele

Im Rahmen des DFG-geförderten Projekts „Vom Menschen lernen – Für Menschen gestalten“ sollte identifiziert werden, inwieweit solche Kompensationsstrategien adaptiv an die situativen Anforderungen angepasst werden können. Dies erlaubte die Identifikation der Mechanismen hinter der Entwicklung kompensatorischer Scan-Bewegungen und stellte zugleich die Basis für den zweiten Teil des Projekts dar. Hier sollte ein kooperatives technisches System gestaltet und evaluiert werden, das Fahrer mit visuellen Einschränkungen durch die Anpassung an persönliche Herausforderungen und situative Anforderungen in der sicheren Bewältigung von Kreuzungssituationen unterstützt. Für eine erfolgreiche Implementierung sollte ein solches human-cyber physical system (HCPS) in einem holistischen Ansatz die verschiedenen Stärken und Schwächen des Menschen, des technischen Systems und der Interaktion zwischen beiden Agenten berücksichtigen.



Abbildung 1: Schematische Darstellung eines rechtsseitigen Gesichtsfeldausfalls

## Kompensationsstrategien visuell beeinträchtigter Fahrer

Neben Problemen in der Spurhaltung und der Anpassung der Geschwindigkeit zeigen manche Fahrer mit homonymen Gesichtsfeldausfällen eine reduzierte Detektion von potentiellen Gefahren wie kreuzenden Fußgängern. Besonders die Gefahrenerkennung kann dabei auf ein nicht ausreichendes Scanning der blinden Areale zurückgeführt werden (Wood et al., 2011; Bahnemann et al., 2015). In einer theoretischen Analyse wurde untersucht, welche Informationen für eine Anpassung des Scannings nötig sind. Die Anwendung des Saliency-Effort-Expectancy-Value Models (Wickens, 2015) zeigte, dass bei peripheren Gesichtsfeldausfällen zum Einen der Wegfall einer stimulusgetriebenen und feedbackbasierten Führung von Blickbewegungen (z.B. die Bewegung eines herannahenden Fahrzeugs im Augenwinkel) eine Herausforderung darstellt. Zum Anderen ist das Ausführen ausreichender Blickbewegungen erschwert, da Informationen bei Vorliegen eines Gesichtsfeldausfalls nicht peripher wahrgenommen und daher mithilfe besonders großer Blickbewegungen zentral erfasst werden müssten. Zur Überwindung dieser Schwierigkeiten und der Ausführung ausreichender Blickbewegungen in das blinde Feld wurden zwei Voraussetzungen identifiziert (s. Abb. 2):

1) eine extensive kognitive Repräsentation (sog. mentales Modell) der aktuellen und zu erwartenden Verkehrssituation zur Berechnung des Zeitpunkts und Orts von potenziell relevanten Informationen;

2) ein vollständiges und korrektes Verständnis der eigenen Seheinschränkung zur Berechnung der Blickbewegung, die zum Erfassen der Information nötig ist

Diese Informationen müssen top-down durch den Nutzer selbst generiert werden. Alternativ kann eine externe Vermittlung der Informationen durch ein Assistenzsystem zur Entwicklung von Kompensationsstrategien beitragen. (Biebl & Bengler, 2021)

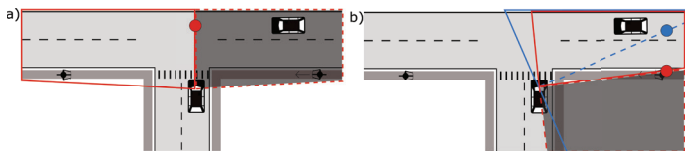


Abbildung 2: Darstellung der besonderen Herausforderungen von Fahrern mit einem homonymen Ausfall des rechten Gesichtsfelds (grau). Personen empfangen keine peripheren Informationen wie herannahende Fahrradfahrer aus der blinden Hälfte (a) und müssen verglichen mit normal sehenden Fahrern (b, blau) zur Erkennung des Fahrradfahrers eine größere Blickbewegung (Punkt = Fixation) vollziehen (b, rot). Entnommen aus Biebl und Bengler (2021).

Empirisch wurden die Strategien von Fahrern mit homonymen Gesichtsfeldausfällen sowie deren situative und personelle Einflussfaktoren in Fahrstudien untersucht. Ein Fokus lag dabei auf der Abhängigkeit der Blickstrategie von dem durchzuführenden Manöver (kreuzen, links abbiegen, rechts abbiegen) sowie der Komplexität der Kreuzung. Neben der Evaluierung des Fahr- und Blickverhaltens von Fahrern mit einer pathologischen Einschränkung des Gesichtsfeldes, wurden dabei auch Personen untersucht, die einen im Fahrstudien technisch simulierten Gesichtsfeldausfall erlebten (siehe Biebl et al., 2022). Dies erlaubte u.a. die Kontrollierung der Erkrankungsdauer und des Ausmaßes des Gesichtsfeldausfalls. Sonstige untersuchte persönliche Einflussfaktoren auf die Kompensationsfähig-

keit umfassten u.a. das Alter, Geschlecht, den subjektiven Eindruck der eigenen Fahrfähigkeit oder die Fahrerfahrung. Es zeigte sich, dass je nach Personengruppe eine unterschiedliche Kombination aus Prädiktoren zur Vorhersage des Blickverhaltens, deren Charakteristik und der Fahrsicherheit beitragen kann.

## Unfallrisiken und Assistenzbedarf an Kreuzungen

Zur Entwicklung und Evaluierung von Assistenzsystemen müssen Unfallrisiken für die untersuchten Nutzergruppen präzisiert werden. Im Falle von Seheinschränkungen ist dies besonders erschwert, da es aktuell keine großflächigen Unfallstatistiken gibt, die eine Zuschreibung dedizierter Unfallursachen als Ansatzpunkt für Assistenzsysteme zulassen würde. Aus diesem Grund stellten wir ein theoretisches kausales Unfallmodell (sog. structural causal model, SCM) basierend auf drei existierenden Unfallstatistiken für normalsehende Fahrer auf (Vollrath et al., 2006; Choi et al., 2010; Lange, 2006). Die Kombination dieser Informationen im Kreuzungsszenario ergab vielschichtige Ursachenabfolgen für eine Kollision mit einem kreuzenden, nicht wahrgenommenen Fahrzeug. Angereichert wurde dieses Modell mit bestehenden Erkenntnissen aus Modellen wie dem Informationsverarbeitungsmodell von Wickens et al. (2000) sowie Befunden aus Fahrstudien- und Realfahrzeugstudien zu menschlichem Fehlverhalten und Wahrnehmungsprozessen. Derartige Erkenntnisse erlaubten zudem die Identifizierung von Unfallursachen (nodes im Ursachenbaum), die bei Fahrern mit visueller Einschränkung mit einer höheren Wahrscheinlichkeit auftreten und zu einem Unfall führen. Daraus ließen sich vier spezielle Unfallrisiken deduzieren, die durch Fahrerassistenzsysteme adressiert werden müssen:

- Fehlerhafte Identifizierung von Ort und Zeitpunkt der relevanten Informationen
- Fehlerhafte Lenkung der Blickbewegungen

- Fehlerhafte Scanning-Strategie/-Muster zur Erfassung aller relevanten Bereiche
- Kognitive Überlastung und folglich Verringerung der Aufmerksamkeitsfähigkeit

Diese Klassifizierung stellte die Basis für die gezielte Entwicklung und Untersuchung von Assistenzsystemen zur Unterstützung von Fahrern mit homonymen Gesichtsfeldausfällen dar. Diese Systeme überwachen per Eyetracking die Blick- und Kopfbewegungen des Fahrers und geben bei Erkennung eines nicht ausreichenden Blickverhaltens im Sinne von fehlenden oder zu kleinen Blicken in den blinden Bereich einen Ton zur Erinnerung an die Scan-Aufgabe aus. Parallel leuchten LED-Leisten an der Wurzel der Windschutzscheibe in weiß, gelb oder rot zur Indizierung der Entfernung von kreuzenden Fahrzeugen an Kreuzungen. Es zeigte sich, dass Fahrer von diesen Assistenzsystemen profitieren konnten und sie als hilfreich empfanden. Zukünftige Forschung sollte sich auf die weitere Parametrisierung insbesondere der auditiven Teilsysteme fokussieren, um neben der Fahrsicherheit auch ein maximales Maß an User Experience sicherzustellen.

## Internationale Kooperationen

Die Frage nach der Gestaltung von HCPS für Fahrer mit visuellen Beeinträchtigungen ist von interdisziplinärer Natur. Daneben ist die Problematik einer alternden Gesellschaft und damit einer wachsenden Population von Fahrern und Nicht-Fahrern mit Einschränkungen weltweit wiederzufinden. Zur Akkumulation der Expertise verschiedener Disziplinen und Nationalitäten mit variierenden Rechtssystemen wurde zwischen November 2020 und Januar 2021 ein Webinar veranstaltet. Darin beleuchteten renommierte Forscher aus Australien, Japan, USA und Deutschland das Thema Fahren mit visuellen Einschränkungen aus verschiedenen Perspektiven. Darüber hinaus erfolgten Kooperationen mit der University of Vanderbilt (Prof. David Hess) in Form von Gastvorträgen an der US-Universität sowie der Betreuung eines Forschungspraktikanten aus USA.

Besonders hervorzuheben ist die während der Projektlaufzeit durchgängige Zusammenarbeit mit dem Schepens Eye Research Institute der Harvard Medical School (Dr. Alex Bowers). In diesem Zusammenhang erfolgte im Sommer 2022 ein Forschungsaufenthalt an dem Institut in Boston, USA. Dieser diente der kooperativen Durchführung einer Fahrsimulatorstudie zur Validierung des in Biebl & Bengler (2021) vorgestellten Modells zu den Voraussetzungen erfolgreicher Kompensation bei sehbeeinträchtigten Fahrern.

### Mitwirkende

#### TUM

Prof. Dr. phil. Klaus Bengler | Bianca Biebl

#### Projektpartner

Universität Oldenburg  
Prof. Dr. Jochem Rieger | Moritz Held

#### DLR

Dr. Andreas Lüdtke | Alexander Trende

## Literatur

- Bahnmann, M., Hamel, J., de Beukelaer, S., Ohl, S., Kehler, S., Audebert, H., et al. (2015). Compensatory eye and head movements of patients with homonymous hemianopia in the naturalistic setting of a driving simulation. *Journal of Neurology*, 262, 316–25. doi:10.1007/s00415-014-7554-x.
- Biebl, B., Arcidiacono, E., Kacianka, S., Rieger, J. W., and Bengler, K. (2022). Opportunities and Limitations of a Gaze-Contingent Display to Simulate Visual Field Loss in Driving Simulator Studies. *Frontiers in Neuroergonomics* 3. doi: 10.3389/fnrgo.2022.916169
- Biebl, B., and Bengler, K. (2021). "I Spy with My Mental Eye - Analyzing Compensatory Scanning in Drivers



- with Homonymous Visual Field Loss,” in *Proceedings of the 21st Congress of the International Ergonomics Association (IEA 2021)*, eds. N. L. Black, W. P. Neumann, and I. Noy (Cham: Springer International Publishing), 552–559.
- Biebl, B., Kacianka, S., Unni, A., Trende, A., Rieger, J. W., Lüdtke, A., et al. (2021). “A Causal Model of Intersection-Related Collisions for Drivers With and Without Visual Field Loss,” in *HCI International 2021 - Late Breaking Papers: HCI Applications in Health, Transport, and Industry*, eds. C. Stephanidis, V. G. Duffy, H. Krömker, F. Fui-Hoon Nah, K. Siau, G. Salvendy, et al. (Cham: Springer International Publishing), 219–234.
- Choi, E. H. (2010). Crash factors in intersection-related crashes: An on-scene perspective.
- Elgin, J., McGwin, G., Wood, J.M., Vaphiades, M.S., Braswell, R.A., DeCarlo, D.K., Kline, L.B., & Owsley, C. (2010). Evaluation of on-road driving in people with hemianopia and quadrantanopia. *American Journal of Occupational Therapy*, 64(2), 268–278. <https://doi.org/10.5014/ajot.64.2.268>
- Lange, C. (2008). *Wirkung von Fahrerassistenz auf der Führungsebene in Abhängigkeit der Modalität und des Automatisierungsgrades* (Doctoral dissertation, Technische Universität München).
- Litman, T. (2020). Autonomous vehicle implementation predictions [Paper presentation]. Victoria Transport Policy Institute. <https://www.vtpi.org/avip.pdf>.
- Sivak, M. (1996). The information that drivers use: Is it indeed 90 percent visual? *Perception*, 25, 1081–1089.
- Tant, M.L.M., Brouwer, W.H., Cornelissen, F.W., Kooijman, A.C. (2002). Driving and visuospatial performance in people with hemianopia. *Neuropsychological Rehabilitation*, 12, 419–37. doi:10.1080/09602010244000183.
- Vollrath, M., Briest, S., Schießl, C., Drewes, J., & Becker, U. (2006). Ableitung von Anforderungen an Fahrerassistenzsysteme aus Sicht der Verkehrssicherheit.
- Wickens, C.D. (2015). Noticing events in the visual workplace: The SEEV and NSEEV models. In *Cambridge handbooks in psychology. The Cambridge handbook of applied perception research*, Vol. II (S. 749–768). Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511973017.046>.
- Wickens, C. D., Hollands, J. G., Banbury, S., & Parasuraman, R. (2000). *Engineering psychology and human performance*. Psychology Press.
- Wood, J.M., McGwin, G., Elgin, J., Vaphiades, M.S., Braswell, R.A., DeCarlo, D.K., et al. (2011). Hemianopic and quadrantanopic field loss, eye and head movements, and driving. *Investigative Ophthalmology & Visual Science*, 52, 1220–5. doi:10.1167/iovs.10-6296.

# Individuell, flexibel und innovativ: Die Zukunft der Fertigung in der KI.FABRIK

Theresa Prinz

In einem neuen Forschungslabor im Deutschen Museum arbeiten Menschen und Roboter eng zusammen. Ziel der Leuchtturinitiative KI.FABRIK ist es, lernfähige und flexible Roboter zu schaffen, die die Menschen mit Hilfe von künstlicher Intelligenz (KI) in ihrer Arbeit unterstützen.

Angesichts des rasanten technologischen Fortschritts ist es nicht verwunderlich, dass auch die Fertigungsindustrie einen großen Wandel erlebt. Massenproduktion mit starren Programmierungen und Fertigungsstraßen, die nur eine begrenzte Produktvielfalt herstellen können, kommt in Zeiten von schnelllebigen Kundenwünschen und sich verändernden Anforderungen vermehrt an seine Grenzen. Somit liegt die Zukunft der Fertigung in flexiblen und innovativen Prozessen, die individuell auf spezifische Kundenbedürfnisse eingehen können. Dieser Wandel in der Fertigung erfordert einen neuen Ansatz, der im Projekt KI.FABRIK an der Technischen Universität München (TUM) erforscht wird.



Abbildung 1: Struktur der KI.FABRIK

Das Projekt KI.FABRIK konzentriert sich auf die Schaffung einer skalierbaren und flexiblen Fertigungsumgebung, die spezialisierte, individuelle und mechatronische Produkte schnell und zu angemessenen Kosten herstellen kann.

Eines der Hauptziele des Forschungsprojekts KI.FABRIK ist die Erhöhung der Flexibilität im Fertigungsprozess. Es muss eine Produktionsumgebung geschaffen werden, die sich schnell an die Anforderungen unterschiedlicher Produkte und

Kunden anpassen kann. Auf diese Weise können Hersteller schnell Lösungen entwickeln, die auf spezifische Kundenbedürfnisse zugeschnitten sind, und sich so einen Wettbewerbsvorteil auf dem Markt verschaffen.

An der Technischen Universität München forscht eine interdisziplinäre Gruppe von Doktoranden und Postdocs aus acht Fachbereichen in verschiedenen Bereichen, den so genannten "Cases". Diese Fälle umfassen ein breites Spektrum wissenschaftlicher Themen, die von Teleoperation und kollektivem Lernen bis hin zum Netzwerkdesign reichen und für die Entwicklung von Robotersystemen von größter Bedeutung sind. Durch ihren Einsatz machen die Forscher\*innen bemerkenswerte Fortschritte und verbessern die Fähigkeiten adaptiver Roboter mit Funktionen wie kollektives Lernen, Roboter-Roboter Kollaboration, Fernkommunikation und Teleoperation.

Eine der Hauptstärken dieser Forschung liegt in der plattformunabhängigen Softwarearchitektur, die entwickelt wird, um die Übertragbarkeit der Roboterfähigkeiten auf verschiedene Systeme zu erleichtern. Darüber hinaus sind die Roboter in der Lage, ihre Fähigkeiten an vergleichbare Aufgaben anzupassen und durch unabhängiges Training einen effektiven Wissenstransfer zu erzielen.

Die von den TUM-Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern erzielten Fortschritte sind von zentraler Bedeutung für die Entwicklung von adaptiven Robotern, die ein großes Potenzial für die Veränderung der Robotik und einer Vielzahl von Branchen haben. Der kontinuierliche Ausbau der Fähigkeiten von Robotern und die Vielseitigkeit ihrer plattformunabhängigen Software versprechen erhebliche Vorteile für die Gesellschaft, darunter eine höhere Produktivität und Flexibilität in der Fertigung, geringere Risiken in gefährlichen Umgebungen und eine bessere Unterstützung menschlicher Aktivitäten in Bereichen wie der Gesundheitsfürsorge und der persönlichen Assistenz.

Innerhalb des Projekts KI.FABRIK fokussiert der Lehrstuhl für Ergonomie die Gestaltung der Mensch-Roboter Interaktionen. Mittels Avatar-Stationen sollen Mitarbeiter\*innen flexibel die Kontrolle über Roboter übernehmen können, um diesen effizient und intuitiv neue Fähigkeiten anzutrainieren, Probleme zu lösen oder Kollegen und Kolleginnen schnell und unkompliziert Hilfestellung zu geben.



Abbildung 2: Prof. Bengler in Diskussion mit Wirtschaftsminister Hubert Aiwanger und Prof. Sami Haddadin auf der Forschungsfläche der KI.Fabrik im Deutschen Museum beim AI. BAY Kongress 2023.

Gestartet ist das Projekt im Sommer 2021. Seither konnten stetig neue Erkenntnisse und Entwicklungen präsentiert werden: Bereits im Juni 2022 wurden auf der automatica, der Leitmesse für Robotik und Automatisierung, erste Ergebnisse aus den einzelnen Disziplinen einem breiten Publikum vorgestellt. Waren es zu diesem Zeitpunkt meist noch voneinander unabhängige Einzelkomponenten der KI.FABRIK, wurden bereits wenige Monate später im Rahmen der internationalen KI-Konferenz AI. Bay im Februar 2023 erste vernetzte Demonstratoren vorgestellt werden, die das Zusammenspiel der einzelnen Komponenten veranschaulichen und Fortschritte in den jeweiligen Forschungsbereichen hin zu einer flexiblen Produktion erkennen lassen. Sowohl das fachkundige internationale Publikum als auch die Fördergeber des Freistaats Bayern

zeigten sich von den Ergebnissen beeindruckt. Die Forscher\*innen freuten sich über fundierte Diskussionen und den direkten inhaltlichen Austausch mit Robotik-Experten wie Prof. Oussama Khatib, Direktor des Stanford Robotics Lab der Stanford University, USA. Im Juni 2023 wurde dann eine Weiterentwicklung der verknüpften Fabrik auf der automatica Messe in München präsentiert und die gesellschaftliche Bedeutung der neuen Technologien auf der Bühne der AI.Society mit Experten diskutiert.



Abbildung 3: Doktorandin Kejia Chen im Austausch mit Prof. Oussama Khatib zum Demonstrator „Collaborative robotic cable insertion“



Gefördert durch den Freistaat Bayern

# Neue Arbeitswelten und neue Methoden der Ergonomie

Stefan Brunner, Nicolas Nießen

## Einleitung

Die Entstehung neuer Arbeitswelten und deren unterschiedliche Themen erfordern unterschiedliche Forschung. Ein Beispiel einer neuartigen Methode ist Lean Ergonomics (LE), welche als neu begründete Disziplin aus Lean Production und der Produktionsergonomie unmittelbare Anwendbarkeit und Praxisrelevanz als Anspruch hat (Brunner et al., 2022). Dies führt dazu, dass als Forschungsgrundlage eine Industriekooperation aufgrund der Praxisnähe und dem zügigen Zustandekommen des Projektes eine bevorzugte Möglichkeit ist, theoretische Hypothesen in der Praxis zeitnah zu erforschen. Es existiert keine Schablone der Anwendung und der Einführung von LE, was für Wissenschaft und Industriepartner umso interessanter ist, da somit nicht nur der Inhalt, sondern auch die Einführung der Methodik im Unternehmen erforscht werden kann. Dies betrifft im einfachen Fall die Frage, wo Lean Ergonomics als Team oder Expertise im Unternehmen angeordnet wird; Ablauf- oder Aufbauorganisation? Oder womöglich eher in beratender Stabstellenfunktion wie ein Gesundheitsdienst oder internes Consulting? Komplexere Fragen sind, welche Daten benötigt werden und wie diese erhoben und verwertet werden. Für eine erste Akquirierung von einem passenden Industriepartner ist ein gewisser Reifegrad der Methode jedoch unabdingbar, um überhaupt eine attraktive Projektsituation darstellen zu können. So fungierte für LE eine Vorstudie als Grundlage (Tropshuh et al. 2022). Neben dem Vorteil zügiger Akquise bringen Industriekooperationen eine hohe unternehmensseitige Erwartung mit sich, die anhand schneller erster Ergebnisse bereits früh im Projekt eingefordert wird. Hierfür kann eine Vorstudie einen schnellen Start und folglich hohe Arbeitsfähigkeit ermöglichen. Dies schließt aber passend den Rahmen zum Inhalt von LE, da tatsächlich schnell makroskopisches Potential durch LE aufgezeigt werden soll.

Das Kooperationsprojekt zu der Entwicklung eines Exoskeletts mit der Schmalz GmbH befasste sich dagegen mit mikroergonomischen Betrachtungen. Die Zusammenarbeit mit dem Industriepartner eignete sich für das Thema besonders, da hiermit kur-

ze Entwicklungsschleifen in einem R&D-Team mit wissenschaftlich fundierter Arbeitsweise kombiniert werden konnten. Auch war dank einer eigenen Fertigung im Unternehmen das industrielle Arbeitsumfeld als wahrscheinlichstes Anwendungsgebiet für Exoskelette nie fern. Das Projekt bot dem Lehrstuhl Einblicke in einen möglichen industriellen Entwicklungsprozess solcher körpergetragenen Roboter. Dieser konnte somit menschenzentriert ausgestaltet werden und das so gewonnene Wissen in generalisierten Leitlinien Anwendung finden.

## Lean Ergonomics als neue Methode im Praxistest

Lean Ergonomics ist die vereinte Betrachtung und Verfolgung ergonomischer und betriebswissenschaftlicher Synergien und Ziele zur ganzheitlichen und nachhaltigen *Produktivitätssteigerung* bei gleichzeitiger Erhaltung der Gesundheit und *Leistungsfähigkeit* der Mitarbeiter. Die Möglichkeit, ergonomische und betriebswirtschaftliche Aspekte in einer Methode zu bündeln, motiviert Unternehmen zur Anwendung dieser Methodik (Brunner et al., 2022).

Bei der Wacker Chemie AG wird LE derzeit konkret erforscht. Stagnierender Erfolg bei technologisch-prozessualen Veränderungen in der Produktion und gleichzeitige Überalterung der Belegschaft führen hier u.a. zur Anwendung innovativer, explorativer Ansätze wie LE.

Der Untersuchungsbereich teilt sich auf zwei Produktionshallen der Siliziumfertigung an Großanlagen auf. Es handelt sich primär um eine kombinierte Baustellen- und Werkstattfertigung. In die Untersuchung sind 120 Mitarbeiter involviert. Die Kernmethode bezieht Erhebungen der psychischen (NASA-TLX, KFzA) und physischen (Borg) Belastungen und Beanspruchungen per Fragebogen und zusätzlich Erhebungen betriebswissenschaftlicher Kennzahlen und objektivierte Bewertung der Arbeitsplatzergonomie (EAWS) mit ein. Der KFzA bezieht sich auf die Gesamtheit einer Schicht. Mittels der Borg-Skala und dem NASA-TLX werden die körper-



liche und psychische Beanspruchung erhoben. Hier ist kein Schichtbezug möglich, da ein Zyklus der Produktion einer Einheit (Charge an Siliziumstäben) in etwa 6-8h beträgt. Hierfür werden die Ergebnisse als zu unspezifisch eingeschätzt. Somit wurde die Produktion einer Charge, die nach 6-8 Stunden Arbeit vollzogen ist auf 12 Einzel-Arbeitsprozesse aufgeteilt (s. Abb. 1). Diese 12 Arbeitsschritte wurden mit Betriebsrat, Gesundheitsdienst, Betriebsleitung, Produktivitätsmanagement und den Mitarbeitern vor Ort ausgewählt. Kriterien für diese Einteilung waren unter anderem ergonomische Relevanz, Produktivität, Repräsentativität und fehlende Möglichkeit technischer Interventionen im Sinne des STOP-Prinzips.

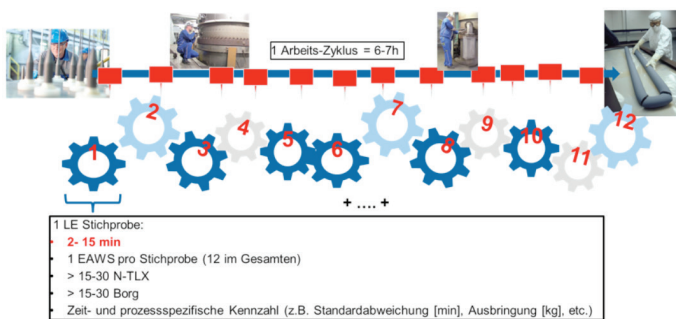


Abbildung 1: 12 repräsentativen Arbeitsprozessen wird je ein Lean Ergonomics Datenset zugeordnet

Jeder einzelne der 12 Arbeitsprozesse hat eine Dauer von 4-10 Minuten. Dies ermöglicht eine spezifische Erhebung der Beanspruchung. Abgeschlossen wird die Analyse mit einer EAWS-Bewertung eines jeden Arbeitsprozesses. Jeder teilnehmende Mitarbeiter führt jeden dieser 12 Arbeitsprozesse aus. Dies würde dazu führen, dass jeweils ca. 1500 Borg und NASA-TLX Bewertungen anfallen würden. Dies macht wissenschaftlich und ökonomisch keinen Sinn, da einerseits davon ausgegangen wird, bei ca. 30 Erhebungen eine Normalverteilung zu erkennen und andererseits würde weitere Erhebung viel Zeit bei abnehmbarem Informationsgehalt anfordern. Beides entspräche nicht dem Ziel von LE, nämlich der unternehmensfreundlichen Anwendbarkeit. Es muss folglich überprüft werden, ob bei ca. 30 Borg- und NASA-TLX Erhebungen pro Arbeitsschritt eine Normalverteilung erkennbar ist.

Seitens der Betriebswissenschaft wird die Anzahl an Arbeitsfehlern pro Arbeitsprozess, die Ausführungszeit und die interindividuelle Varianz dieser Ausführungszeit aufgenommen. Somit ergibt sich für die untersuchten Tätigkeiten ein Datensatz aus KFzA, NASA-TLX, Borg, EAWS und betriebswissenschaftlichen Indikatoren.

Die Daten liegen bei Abschluss des Projektes in pseudonymisierter Form vor. Die Auswertung erfolgt deskriptiv und inferenzstatistisch mittels multipler linearer Regression. Die Daten von EAWS, NASA-TLX und Borg sollen dazu genutzt werden, die Varianz der Ausführungszeit aufzuklären. Eine Reduktion zeitlicher Varianz würde das betriebliche Ergebnis verbessern und auf ergonomischen Optimierungen basieren.

## Weiterentwicklung mikroergonomischer Konzepte

Im Gegensatz zu LE fußt das Kooperationsprojekt mit der J. Schmalz GmbH zu einem Exoskelett auf mikroergonomischen Betrachtungen. Mit dem letzten Jahr ging das dritte und vorerst letzte Jahr der intensiven Zusammenarbeit zu Ende. Der Lehrstuhl für Ergonomie der TUM war dabei mit Beratung, Versuchen, Workshops und Simulationen Teil des Entwicklungsprozesses für ein neuartiges Exoskelett. Dabei fanden mehrere Wochen der Zusammenarbeit auf dem Firmengelände von Schmalz statt.

Das Familienunternehmen Schmalz ist spezialisiert auf Vakuumtechnik für Automation und Handhabung. Die Sauger/Greifer finden in diversen Industrien Anwendung und können als Manipulatoren von Robotern oder Greifer für manuelle Handhabung eingesetzt werden.

Letzterer Bereich beschäftigt sich mit dem Transport verschiedener Gegenstände und Ladungen durch Menschen mit maschineller Unterstützung. Dabei können mit gleicher Beanspruchung mehr Lasten oder gleiche Lasten mit geringerer Beanspruchung bewegt werden.

Auch Exoskelette können im Bereich manueller Handhabung eingesetzt werden. Diese körpergetragenen Maschinen bzw. Roboter können unter anderem in der Medizintechnik oder im industriellen Umfeld genutzt werden. Als Hebehilfe versprechen sich Unternehmen eine geringere körperliche Beanspruchung ihrer Mitarbeiter und dadurch weniger Fehl- und Krankheitstage (Ottobock, 2023). Die Verbindung zu Lean Ergonomics lässt sich hier leicht finden, da die Einführung eines Exoskelettes mit dem methodischen Grundgerüst, das LE bietet einerseits ergonomisch und somit mitarbeiterzentriert und andererseits betriebswissenschaftlich und somit unternehmenszentriert evaluiert und bewertet werden kann. Dies ermöglicht dem Unternehmen eine ganzheitliche und moderne Betrachtung. Isolierte Analysen werden den Herausforderungen des sozio-technischen Systems der Fabrik nicht mehr gerecht.

Im dritten Projektteil und -jahr wurden zunächst in einem Workshop Konzepte für die Hand-Anbindung des bisherigen Exoskelett-Prototyps erarbeitet und nach Usability-Kriterien evaluiert. Die daraus gewonnenen Erkenntnisse, sowie das erfolgversprechendste Konzept wurden anschließend in die nächste Iteration des Prototyps aufgenommen. Um die Beanspruchung des Körpers durch das Exoskelett und die verschiedenen Hand-Anbindungen zu überprüfen, wurde zusätzlich eine biomechanische Simulation in OpenSim durchgeführt (siehe Abb. 2). Dabei bestätigte sich, dass die im Workshop erarbeitete Lösung zu einer Entlastung des Ellbogengelenks führt und somit zu einer Reduktion der dortigen körperlichen Beanspruchung.

In einem zweiten Teil wurden verschiedene Bedienkonzepte für die steuerbaren Funktionen des Exoskeletts wie z.B. das Ein-/Ausschalten der Unterstützung oder verschiedene Betriebsmodi untersucht. Dafür wurde eine Probandenstudie zur Effizienz, Effektivität und Zufriedenheit der Probanden durchgeführt, um die Gebrauchstauglichkeit zu untersuchen. Das beste Konzept wurde ebenfalls in den Prototypen integriert.

Weiterhin wurde eine Probandenstudie zu einem zentralen Regelparameter durchgeführt, der die Admittanz bzw. Leichtgängigkeit der Unterstützung definiert (siehe Abb. 3). Dazu wurden mit knapp 20 Probanden subjektive Daten erhoben, sowie per motion tracking objektive Daten aufgenommen. Dabei zeichneten sich für die drei unterschiedlichen Ausprägungen der Leichtgängigkeit keine signifikanten Tendenzen in der Präferenz ab. Auch konnte keine Korrelation mit Parametern wie Gewicht, Schulterhöhe, Bewegungsgeschwindigkeit und Alter festgestellt werden.

Auch eine Iteration der Kinematik der körpernahen, strukturellen Partie des Exoskeletts war LfE-seitig Teil des Projekts.

Über die entwicklungsnahe Betrachtung hinaus bekam der Lehrstuhl für Ergonomie durch das Projekt Einblicke in den industriellen Entwicklungsprozess eines Exoskeletts. Unter anderem durch die darin gewonnenen Erkenntnisse konnten Leitlinien für einen Entwicklungsprozess geschaffen werden, die in Form eines Frameworks in Bengler, Harbauer und Fleischer (2023) veröffentlicht wurden.

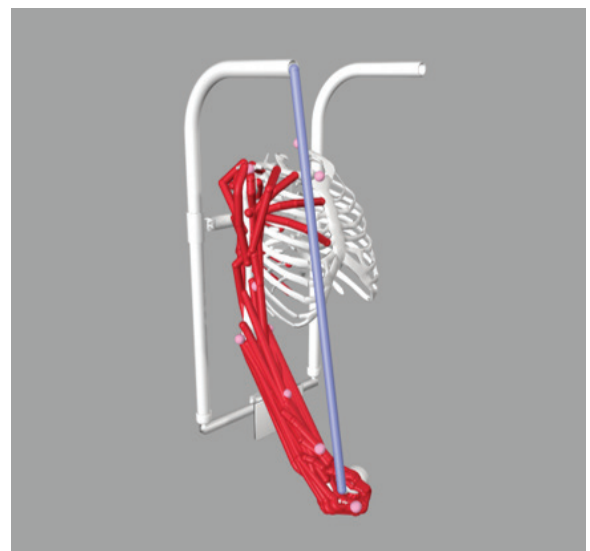


Abbildung 2: Biomechanische Simulation des Exoskelett-Prototyps mit verschiedenen Hand-Anbindungen zur Analyse der Ellbogen-Belastung

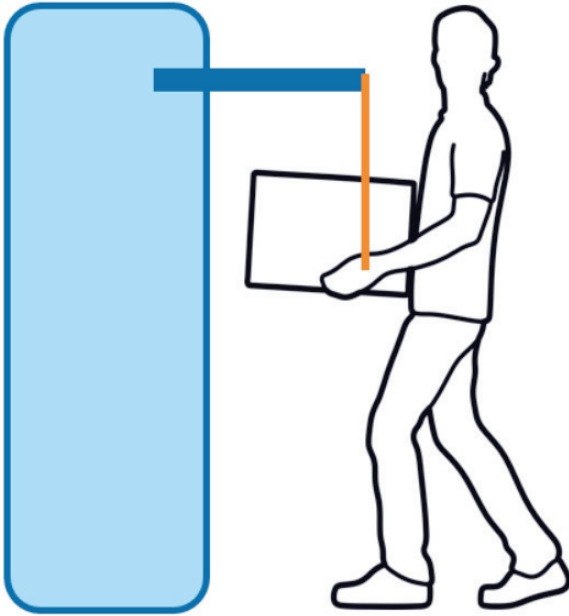


Abbildung 3: Aufbau der Probandenstudie zur Untersuchung des Admittanz-Regelparameters

## Ausblick

Das LE Pilotprojekt zeigt bereits eine erste Besonderheit von LE. Diese ist die hochgradige Interdisziplinarität, die auch unternehmensseitig eingefordert wird. Neben Betriebsrat, Gesundheitsdienst, Belegschaft und dem jeweiligen Betrieb ist auch enge Zusammenarbeit des Produktivitätsmanagements nötig, um die „Lean“ Komponente adäquat mit Inhalt zu füllen. Auch beim Projekt mit Schmalz war so ein engerer Kontakt zu den Perspektiven und Kompetenzen anderer Teile des Unternehmens, wie z.B. der betriebswirtschaftlichen Sichtweise möglich, welche auch den Entwicklungsprozess bestimmen. Diese wären im "Labor-Setting" deutlich erschwert gewesen.

LE und Exoskelette zeigen neben der praxisnahen Erforschung und dem kurzen Weg in die Industrie auch inhaltliche Gemeinsamkeiten, die Potential zu methodischer Verbindung darstellen. So kann über ein modulares LE-Konzept die adäquate Anwendung eines Exoskeletts auf dem Shopfloor betriebs-

wissenschaftlich und ergonomisch evaluiert werden. Abschließend lässt sich festhalten, dass innovativ-explorative Ansätze schnelle Erprobung benötigen, was durch einschlägige Industriekooperationen erreicht werden kann. Diese sind folglich weiterhin integraler Bestandteil der Forschung am Lehrstuhl für Ergonomie.

## Literatur

- Brunner S, Knott V, Bengler K (2022) Lean Ergonomics— are relevant synergies of digital human models and digital twins defining a new emerging subdiscipline? *Zeitschrift für Arbeitswissenschaft* 76: 401–415.
- Tropschuh B, Brunner S, Dillinger F, Hagemann F (2022) An Approach to Analyze Human-caused Work Errors. *Procedia CIRP* 106: 9–14.
- Ottobock SE & Co. KGaA. (2023). Exoskeletons reduce absenteeism in logistics by 25 percent. Retrieved March 29, 2023, from <https://corporate.ottobock.com/en/tuesday-13-september-2022-exoskeletons-reduce-absenteeism-in-logistics-by-25>
- Bengler, K., Harbauer, C., & Fleischer, M. (2023). Exoskeletons: A challenge for development. *Wearable Technologies*, 4, E1. doi:10.1017/wtc.2022.28

**Vision**

Am Lehrstuhl für Ergonomie der Technischen Universität München stehen die Themen Arbeitsumgebung und Arbeitsgestaltung seit Jahren im Fokus der Forschung. Technische Möglichkeiten wie Konferenz- und kollaborative Softwaretools (z.B. Zoom, Microsoft Teams) ermöglichen eine wesentlich flexiblere Nutzung der zur Verfügung stehenden Bürofläche sowie Homeoffice. Neue Arbeitsmethoden (Design Thinking etc.) verlangen ein Umdenken dahingehend, wie wir Büroflächen gestalten. Diese Entwicklungen haben durch die Corona Pandemie zusätzlich an Dynamik gewonnen. Als Lehrstuhl der Arbeitswissenschaft war es uns ein besonderes Anliegen unsere eigene Arbeitsweise und Arbeitsumgebung als Living Lab zu nutzen, was bedeutet unsere neuen Arbeitsformen und -räume stets aktiv zu gestalten und zu erforschen. Entsprechend stand die Erforschung neuer Arbeitsweisen, und wie unsere eigene Arbeitsumgebung am Lehrstuhl ausgestaltet sein sollte, um uns bestmöglich zu unterstützen, im Fokus des „Doktorand:innen-Workshops“ im Jahr 2021. Den Workshop haben wir mit der folgenden Vision abgeschlossen, die uns noch weitere zwei Jahre auf dem Weg der Umsetzung begleiten sollte:

CREATING A NEW, **FLEXIBLE** WORK

CONCEPT THAT OFFERS **OPTIMIZED**

**SPACES** TO EXPERIMENT, PROTOTYPE,

PRESENT, WORK IN GROUPS,

BE CREATIVE AND GET TOGETHER

Im Mittelpunkt der Vision stehen zwei Konzepte:

1. **Flexibilität**

Die Flexibilisierung von Arbeitsort und -zeit haben besonders durch die Corona-Pandemie an Fahrt aufgenommen. Am Lehrstuhl für

Ergonomie haben wir diesen Trend erkannt und über die Pandemie hinaus als bleibende Veränderung in der Arbeitswelt ernst genommen. Unsere neue Arbeitsumgebung sollte es also besser ermöglichen, nicht nur das Homeoffice zu nutzen, sondern auch die verschiedenen, entstehenden Arbeitsumgebungen flexibler zu nutzen: Weg vom „eigenen“ Schreibtisch und hinein in eine optimierte Arbeitsumgebung.

2. **Optimierung:**

Am Lehrstuhl nutzten wir vorrangig klassische Büroarbeitsplätze: Höhenverstellbarer Schreibtisch, Zusatzmonitor, Bürostuhl. Während wir beinahe alle unsere Arbeitsaufgaben in dieser Umgebung gut erfüllen können, ist dieses Setup nicht für alle Aufgaben gleich gut geeignet: Vor allem kreatives Arbeiten, spontaner Austausch, und Gruppenmeetings sollten nach unserem Verständnis optimierte Umgebungen erhalten.

Entsprechend wurde ein innovatives Konzept namens „LfE Next“ entwickelt, welches wir am Lehrstuhl in den folgenden zwei Jahren umsetzten.

**We live in a VUCA world**

VUCA ist ein Akronym der englischen Begriffe volatility (Volatilität), uncertainty (Unsicherheit), complexity (Komplexität) und ambiguity (Mehrdeutigkeit). Das Konzept wird verwendet, um Eigenschaften der digitalisierten Welt zu beschreiben. Auf den Arbeitskontext angewandt lassen sich folgende Schlussfolgerungen ableiten:

- Die VUCA Welt benötigt größere Flexibilität (Sauter et.al., 2018)
- Durch den Wandel in der Arbeitswelt und insbesondere durch technologische Innovationen verändern sich die Arbeitsaufgaben und damit auch die Anforderungen an die Arbeitsumgebung



- optimierte Umgebungen für bestimmte Aufgaben werden erforderlich (Gerdenitsch et.al., 2019)
- Arbeitnehmer:innen erwarten zunehmend flexible Standort- und Zeitkonzepte (Zaharee et.al., 2018)
- Förderung von Kreativität und Innovation (Prasch et.al., 2018), (Prasch et.al., 2020)

Zusammengefasst sollte die neue Arbeitsumgebung flexiblere Arbeitsorte ermöglichen, nicht nur aus dem Homeoffice, sondern auch vor Ort am Lehrstuhl. Entsprechend können jetzt optimierte Arbeitsumgebungen für bestimmte Aufgaben aufgesucht werden. Zum Beispiel ein klassischer Schreibtischarbeitsplatz zum Verfassen von Texten, eine Konferenz-Box für eine ungestörte (und nicht störende) Telefonkonferenz, einer der Co-Creation Räume für kreative Gruppenarbeit, ein Stillarbeitsraum mit Schreibtischen für absolute Konzentration, oder die Flex-Area für größere Treffen mit viel Platz und vielfältigen Gestaltungsmöglichkeiten. Um diese Räume zu schaffen, wurden die altbekannten Büroarbeitsplätze etwas reduziert. In der Zukunft können dann alle wissenschaftlichen Mitarbeiter:innen flexibel Büroarbeitsplätze, sowie alle anderen Arbeitsräume, belegen. Dabei ist uns besonders wichtig, dass jeder an jedem Tag auch Platz finden kann, denn das gemeinsame Arbeiten vor Ort und der Wert persönlichen Austausches sind aus unserer Sicht weiterhin nicht zu ersetzen. Mit der Umgestaltung konnten wir eine größere Vielfalt unserer Arbeitsmöglichkeiten am Lehrstuhl, und eine bessere Passung der Umgebung zu unseren Aufgaben schaffen. Wir konnten auch unsere Experimentierfläche erhöhen und repräsentativen Raum konzipieren, der auch von anderen Mitgliedern der School of Engineering and Design genutzt wird, die temporär in Garching arbeiten.

## Umsetzung

Die Umsetzung wurde gemeinsam mit dem Bauamt und einem Möbelhersteller vorgenommen. Dabei wurden nicht nur einige Bodenbeläge erneuert,

sondern auch im wahrsten Sinne Wände niedergelassen. Beispielsweise um die große Flex-Area zu schaffen, wurden drei Wände entfernt und durch flexible Wände ersetzt: Nun kann der Raum nicht nur nach Bedarf schnell leergeräumt oder bestuhlt werden, sondern auch die Raumgröße richtet sich ganz flexibel nach den individuellen Anforderungen des Meetings bis hin zur Nutzung als Labor für Robotik- und VR Studien. Die Fäden der Organisation und der Ideenentwicklung lagen immer beim Lehrstuhl. Im Folgenden sehen Sie einige Impressionen der neu gestalteten Arbeitsmöglichkeiten:



Abbildung 1: Co-Creation I & II: Räume für kreatives Arbeiten in Kleingruppen.



Abbildung 2: Allraum: Das „Foyer“ des Lehrstuhls, Raum für spontanen Austausch und informelle Treffen



Abbildung 3: Flex-Area: Ein „Raum der Wünsche“, der sich schnell und flexibel umgestalten lässt, inklusive der Raumgröße.

## Literatur

- Sauter, R., Sauter, W., Wolfig, R., Sauter, R., Sauter, W., & Wolfig, R. (2018). *Agile Arbeitswelt. Agile Werte-und Kompetenzentwicklung: Wege in eine neue Arbeitswelt*, 1-66.
- Gerdenitsch, C., Korunka, C., Gerdenitsch, C., & Korunka, C. (2019). Die Arbeitswelt im Wandel. *Digitale Transformation der Arbeitswelt: Psychologische Erkenntnisse zur Gestaltung von aktuellen und zukünftigen Arbeitswelten*, 1-21.
- Zaharee, M., Lipkie, T., Mehlman, S. K., & Neylon, S. K. (2018). Recruitment and Retention of Early-Career Technical Talent: What Young Employees Want from Employers A study of the workplace attributes that attract early-career workers suggests that Millennials may not be so different from earlier generations. *Research-Technology Management*, 61(5), 51-61.
- Prasch, L., & Bengler, K. (2019). Ergonomics in the age of creative knowledge workers—define, assess, optimize. In *Proceedings of the 20th Congress of the International Ergonomics Association (IEA 2018) Volume IV: Organizational Design and Management (ODAM), Professional Affairs, Forensic 20* (pp. 349-357). Springer International Publishing.
- Prasch, L., Maruhn, P., Brünn, M., & Bengler, K. (2020). Creativity Assessment via Novelty and Usefulness (CANU)—Approach to an Easy to Use Objective Test Tool. In *Proceedings of the Sixth International Conference on Design Creativity (ICDC 2020)* (pp. 019-026).

# Projekt HFexo – Exoskeletons for sustainable work

Christina Harbauer-Rieß

**HFexo entwickelt ein weiches, aktives Exoskelett für den Ellenbogen zur Unterstützung von ArbeiterInnen an physisch beanspruchenden Arbeitsplätzen**

## Motivation

Krankenkassen berichten, dass bis zu 23 % der Arbeitsunfähigkeitstage auf Erkrankungen des Muskel-Skelett-Apparates zurückzuführen sind, welche von körperlich stark beanspruchenden Tätigkeiten verursacht werden. Unter Berücksichtigung von Produktionsausfällen und erhöhtem Personalaufwand kosten Unternehmen diese Ausfalltage jährlich je nach Branche und Unternehmensgröße mehrere Millionen Euro. In Deutschland erzeugten 700,6 Mio. Arbeitsunfähigkeitstage im Jahr 2020 einen Verlust von insgesamt 144 Mrd. € Bruttowertschöpfung. Somit führen Muskel-Skelett-Erkrankungen zu einem gesamtwirtschaftlichen Schaden von ca. 35,2 Mrd. €. Insbesondere in Zeiten von Fachkräftemangel und dem fortschreitenden demographischen Wandel in Europa suchen Unternehmen verstärkt nach Lösungen, um die Produktionsmitarbeiterinnen und -mitarbeiter zu entlasten.

## Lösung

Die Ausgründung „HFexo“ des Lehrstuhls für Ergonomie entwickelt eine Lösung für dieses Problem. Das weiche Exoskelett (Produktname Hawk.L) bietet die Unterstützung von Arbeiterinnen und Arbeitern bei physisch stark beanspruchenden Tätigkeiten. Der spezifische Anwendungsfall ist die Unterstützung des Hebens und Tragens von Lasten in aufrechten Körperhaltungen bei nicht stationären Arbeitsplätzen mit hoher Varianz der Bauteilgröße. Solche Arbeitsplätze finden sich vorwiegend im produzierenden Gewerbe und der Logistik, in welchen 5,5 Millionen Beschäftigte in Deutschland arbeiten.

Durch die aktive Unterstützung der Arme und eine Umverteilung der Last werden die Beanspruchung der Arme und schädliche Spitzenkräfte reduziert. Somit werden die gesundheitlichen Folgen dieser

Arbeit langfristig reduziert. Die Reduktion der Kräfte im Körper bewirkt eine deutliche Verminderung der Arbeitsunfähigkeitstage, erhält langfristig die Gesundheit der physisch arbeitenden Bevölkerung und entlastet das Gesundheitssystem, wie erste Industrieversuche von Exoskeletten zeigen konnten (Ford Media Center, 2023). Gleichzeitig werden ein nachhaltiger Einsatz menschlicher Arbeitskraft und menschenwürdige Arbeit gefördert. Somit trägt das Exoskelett zu einer alters- und altersgerechten Arbeitswelt bei.

## Technische Umsetzung

Hawk.L unterstützt die Arme beim Heben und Tragen mittels Motoren und Seilzügen und stabilisiert den unteren Rücken (s. Abbildung 1). Die positiven Effekte auf Muskeln und Gelenke konnten mittels biomechanischer Simulationen nachgewiesen werden (Harbauer et al., 2022; Harbauer et al., 2021).

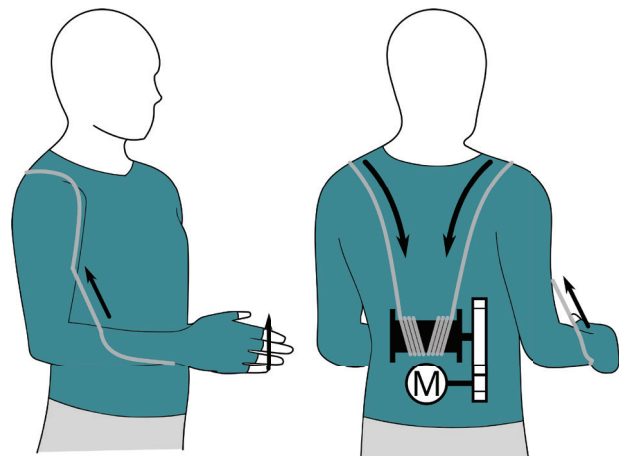


Abbildung 1: Prinzipskizze Exoskelett

Mit einem einzigartigen Sensorsystem erfasst das Exoskelett die Bewegungen der Arbeiterinnen und Arbeiter und schaltet automatisch die Unterstützung ein, wenn diese benötigt wird. Mit dieser Intentionserkennung kann sich die Person während der Arbeit frei bewegen und wird immer dann unterstützt, wenn sie es wirklich benötigt. Dies bietet einen großen Vorteil gegenüber anderen Exoskeletten, die in



vergleichbaren Feldeinsätzen als ungeeignet oder hinderlich beschrieben werden, da diese aktiven Input durch die nutzende Person benötigen, oder das Exoskelett in bestimmten Situationen Bewegungen der nutzenden Person behindert.

Durch die weiche, textile Umsetzung hat das Exoskelett ein sehr geringes Gewicht, unter 5 kg, und kann wie eine Arbeitsjacke genutzt werden (Abbildung 2). Das Bedienkonzept ist dafür ausgelegt, innerhalb kürzester Zeit das Exoskelett an- und ausziehen zu können und so einfach und schnell im Arbeitskontext einsetzbar zu sein.



Abbildung 2: Prototyp des Exoskeletts

Das Exoskelett adressiert eine Marktlücke, für die es bisher noch kein funktionierendes physisches Unterstützungssystem gibt. Im adressierten Markt herrscht noch keine Durchdringung von physischen Assistenzsystemen, trotz eines von den Unternehmen kommunizierten hohen Bedarfs.

Das Team von HFexo aus Christina Harbauer, Martin Fleischer, Noah Gerullis und Peter Schaefer (Abbildung 3) arbeitet gemeinsam an der Vision, Menschen ein schädigungsfreies Arbeitsleben zu ermöglichen. Deshalb entwickeln wir Systeme, die es den Men-

schen ermöglichen, auch in körperlich anspruchsvollen Berufen ihre Gesundheit zu bewahren.



Abbildung 3: Das Team von links nach rechts: Martin Fleischer, Christina Harbauer, Peter Schaefer, Noah Gerullis

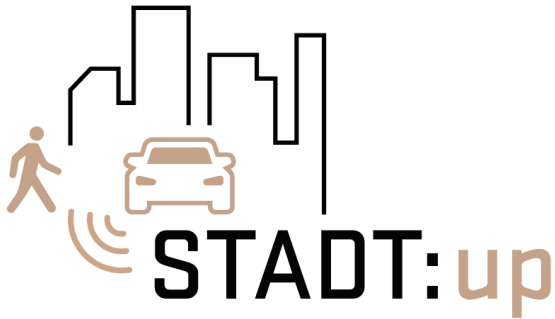
## Literatur

- Ford Media Center. (2023, May 12). *Ford Pilots New Exoskeleton Technology to Help Lessen Chance of Worker Fatigue, Injury*. <https://media.ford.com/content/ford-media/fna/us/en/news/2017/11/09/ford-exoskeleton-technology-pilot.html>
- Harbauer, C. M., Fleischer, M., Bandmann, C. E. M., & Bengler, K. (2022). Optimizing Force Transfer in a Soft Exoskeleton Using Biomechanical Modeling. In N. L. Black, W. P. Neumann, & I. Noy (Eds.), *Proceedings of the 21st Congress of the International Ergonomics Association (IEA 2021)* (pp. 274–281). Springer International Publishing.
- Harbauer, C. M., Fleischer, M., Sugiarto, W. K., & Bengler, K. (2021). Analyse der auftretenden Gelenkreaktionskräfte durch Nutzung eines weichen Exoskeletts mittels biomechanischer Simulation: Beitrag B.12.4. In Gesellschaft für Arbeitswissenschaft (Chair), *GfA Frühjahrskongress 2021: Arbeit HUMAINE gestalten*, Dortmund.



# STADT:up – Solutions and technologies for automated driving in town: an urban mobility project

Alexander Feierle, Niklas Grabbe, Jonas Schulze, Lorenz Steckhan



## Motivation

Die Herausforderungen des zukünftigen individuellen Verkehrs sind durch eine Erhöhung der Verkehrssicherheit, die Stauvermeidung, eine Reduktion des Kraftstoffverbrauchs sowie die Erhaltung der Mobilität für eine alternde Bevölkerung geprägt. Bei all diesen Themen kann das automatisierte und vernetzte Fahren und dessen Integrität in das Gesamtmobilitätskonzept eine Schlüsselrolle spielen.

Im Vergleich zu den beiden vom BMWK geförderten Projekten @CITY und @CITY-AF, die den aktuellen Stand der Technik beim automatisierten Fahren in der Stadt repräsentieren, sind für durchgängig automatisiertes Fahren im urbanen Raum weitere signifikante Verbesserungen erforderlich. Daher stürzen wir uns abermals in den Dschungel der Großstadt! Diesmal im neu gestarteten Projekt „STADT:up – Solutions and technologies for automated driving in town: an urban mobility project“, das Konzepte und Pilotanwendungen für das kontinuierliche automatisierte Fahren im urbanen Raum entwickeln soll. Aufbauend auf den Forschungsarbeiten der @CITY-Vorgängerprojekte ist es das Ziel, konkrete Fahrfunktionen für komplexeste Verkehrsszenarien zu entwickeln und zu demonstrieren.

## Konsortium

Ein starkes Team aus 22 beteiligten Automobilunternehmen, Zulieferern, Technologieanbietern und Forschungseinrichtungen stellt sich dieser Herausforderung. Gefördert wird das Projekt durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz.

## Ziele

Der Fokus des Projekts liegt auf der Implementierung neuer, KI-basierter Methoden und deren Demonstration in automatisierten Fahrsystemen, insbesondere in komplexen Verkehrssituationen. Besonderes Augenmerk wird dabei auf gefährdete Verkehrsteilnehmer, komplexe Kreuzungen, automatisiertes Zusammenführen und Hindernisvermeidung gelegt.

STADT:up zielt auf integrierte, skalierbare Lösungen für die urbane Mobilität der Zukunft: Die Fahrzeuge müssen auch komplexe innerstädtische Verkehrsszenarien sicher bewältigen können. Die Lösungen basieren auf individuellen Mobilitätsfällen und zeigen die Vernetzung für multimodale Mobilität – ein realisierbares und datenorientiertes Miteinander von Stadt und Fahrzeug. Mit Blick auf realistische Perspektiven zukünftiger urbaner Mobilität werden geeignete Zukunftskonzepte entwickelt und Anforderungen auf Basis der Nutzerbedürfnisse abgeleitet.

## Projektstruktur

Das Projekt mit einer Laufzeit von 3 Jahren (von 01.01.2023 bis 31.12.2025) gliedert sich in die fünf Teilprojekte „Perspektiven urbaner Mobilität“, „Human Factors“, „Umgebung und Kontext“, „Situationsanalyse und Planung“ sowie „Automatisiertes Fahren“.

Das Teilprojekt „Perspektiven urbaner Mobilität“ (TP1) beschäftigt sich mit Veränderungen urbaner Mobilität und setzt sich die Erarbeitung realitätsnaher, intermodaler Mobilitätsszenarien zum Ziel, welche sämtliche Stakeholder und deren Bedürfnisse einbeziehen: Städte, Nutzende, Forschungseinrichtungen und Automobilindustrie (sowohl OEMs als auch Zulieferer).

Das Teilprojekt „Human Factors“ (TP2) thematisiert die veränderte Aufgabenteilung zwischen Mensch und Fahrzeug beim automatisierten Fahrbetrieb in der Stadt, wobei insbesondere die unterschiedlichen Kommunikationskanäle zwischen Nutzer, Fahrzeug und anderen Verkehrsteilnehmern betrachtet werden. In @City wurden HMI-Konzepte mit sehr generischen Charakter in eher einfach strukturierten Verkehrsszenarien evaluiert. Im Projekt STADT:up hingegen wird eine deutlich differenzierte und weitreichendere Betrachtung der Interaktions- und Kommunikationskonzepte stattfinden, da sowohl die situationsabhängige Adaptivität von Bedienkonzepten als auch die situations- und erfahrungsabhängige Veränderung des Nutzerverhaltens betrachtet werden. Außerdem sollen komplexe und alltagsnahe Verkehrssituationen mit vielen Agenten betrachtet werden.

Das dritte Teilprojekt „Umgebung und Kontext“ (TP3) erforscht den Einsatz von Methoden der KI/ML entlang der gesamten Signalverarbeitungskette, um auch die im Fokus stehenden komplexen urbanen Verkehrssituationen auch unter erschwerten Bedingungen, etwa Beeinflussung der Sensorik abhängig vom Wetter sicher und zuverlässig erfassen zu können. Der Wirkkette folgend, erfolgt die Gliederung in drei Aufgabenpakete: Perzeption, Fusion und Lokalisation.

Im Teilprojekt „Situationsanalyse und Planung“ (TP4) wird auf den Ergebnissen der Perzeption und Fusion in TP3 aufgebaut. TP4 analysiert die Situation, kümmert sich um Fragen der Interaktion und Kooperation zwischen Verkehrsteilnehmern sowie deren Berücksichtigung bei Prädiktion und Planung.

Das fünfte Teilprojekt „Automatisiertes Fahren“ (TP5) widmet sich der Entwicklung und der Demonstration von Fahrfunktionen für komplexe urbane Szenarien für durchgängiges, automatisiertes Fahren. Spezielle Betrachtung finden verletzte Verkehrsteilnehmer, komplexe Knotenpunkte sowie automatisiertes Einfädeln und Umfahren von Hindernissen. Im Vordergrund stehen die Erlebbarkeit, Verifikation und Validierung der automatisierten Funktionen im Closed Loop Betrieb.

## Beitrag des Lehrstuhls für Ergonomie

Als Lehrstuhl für Ergonomie an der TUM freuen wir uns, Teil des Projekts zu sein und an vielen Themen mitzuarbeiten. Dabei liegt unser Fokus auf:

- Konzepte und Perspektiven für die intermodale Mobilität der Zukunft unter Einbeziehung aller Akteure: Städte, Nutzer, Forschungseinrichtungen und die Automobilindustrie. Von zentraler Bedeutung ist die Frage, wie sich der Mischverkehr aus Fußgängern, Radfahrern, privat oder gemeinschaftlich genutzten Fahrzeugen und dem öffentlichen Verkehr in Zukunft entwickeln wird.
- HMI-Konzepte zur Interaktion und Kommunikation zwischen Nutzer, Fahrzeug und anderen Verkehrsteilnehmern, die die situationsabhängige Adaptivität von Bedienkonzepten sowie die erfahrungsabhängige Veränderung des Nutzerverhaltens aufzeigen.
- Standardisierung eines Arbeitsplatzes für die Teleoperation, wobei ein technischer Betreuer in bestimmten Situationen in die Fahrzeugführungsaufgabe eingebunden wird.



**Finanziert von der Europäischen Union**  
NextGenerationEU

Gefördert durch:



**Bundesministerium  
für Wirtschaft  
und Klimaschutz**

aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages

# Usability & Akzeptanz eines Informations- und Warnkonzepts

Burak Karakaya, Bianca Biebl



## Projektübersicht

Seit März 2023 bearbeitet der Lehrstuhl für Ergonomie im Rahmen eines Forschungsauftrags von der Bundesanstalt für Straßenwesen (BAST) ein Projekt, in dem ein Informations- und Warnkonzept hinsichtlich dessen Usability und Akzeptanz bewertet werden soll. Dieses Konzept und weitere Rahmenbedingungen werden zunächst zusammen mit dem Unterauftragnehmer proband15 GmbH entwickelt und sollen im Anschluss am Lehrstuhl für Ergonomie in einer Fahrsimulation validiert werden.

## Motivation und Ziele

Immer mehr Fahrerassistenzsysteme (FAS) halten Einzug in den Fahralltag. Allein der ADAC e.V. (2022) listet 22 verschiedene FAS, u.a. Abstandsregelautomat oder Abbiegeassistent. Hinzu kommt die fortlaufende Erweiterung des Angebots an Fahrerinformationssystemen (FIS), u.a. Navigationsanzeige oder Tankfüllung. Mit der neuen EU-Verordnung (EU 2019/2144, 2022), gültig seit 6. Juli 2022, gelten diese teilweise sogar als Voraussetzung zur Typgenehmigung. Diese wurde insbesondere in Artikel 6 um folgende hochentwickelte FAS erweitert, mit denen Neuwagen ausgestattet sein müssen: a) intelligenter Geschwindigkeitsassistent, b) Vorrichtung zum Einbau einer alkoholempfindlichen Wegfahrsperre, c) Warnsystem bei Müdigkeit und nachlassender Aufmerksamkeit des Fahrers, d) hochentwickeltes Warnsystem bei nachlassender Konzentration des Fahrers, e) Notbremslicht, f) Rückfahrassistent und g) ereignisbezogene Datenaufzeichnung.

Die stetige Weiterentwicklung der FAS führt dazu, dass diese vermehrt komplexe Informationen in Echtzeit verarbeiten und darstellen. Aktuelle Systeme basieren zunehmend auf einer Vielzahl an

Sensoren und intelligenten Algorithmen (Sensordatenfusion). Dies hat zur Konsequenz, dass Zustände häufig nur mit einer gewissen Sicherheit, bzw. Wahrscheinlichkeit angegeben werden können. Gleichzeitig bedeutet es, dass mehr und komplexere Informationen dargestellt und vom Fahrer interpretiert werden müssen, um diese Systeme erfolgreich nutzen zu können. Um eine kognitive Überforderung zu vermeiden, müssen Informationen selektiv und in Abhängigkeit der aktuellen Situation präsentiert werden.

Mit steigender Kritikalität, bzw. Gefahrenpotenzial einer Situation muss die Anzeige dynamisch salienter werden und in den Vordergrund gerückt werden. Nach Fecher und Hoffmann (2015) umfasst diese Kaskade drei Stufen: Aufmerksamkeit erregen, auf Situationen hinweisen oder auf Aktionen hinweisen.

Ziel dieses Projekts ist es, basierend auf diesem Ansatz ein kontinuierliches Anzeigekonzept zu entwickeln. Dieses soll sich nicht nur auf einzelne Assistenzsysteme beschränken, sondern mehrere Systeme vereinheitlichen, um so eine ganzheitliche Informationsdarstellung zu gewährleisten. Zur Darstellung können je nach Kritikalität einer Gefahrensituation und Konfidenz in die Datenlage unterschiedliche Modalitäten genutzt werden.

## Literatur

- ADAC e.V. (2022). *Fahrerassistenzsysteme in der Übersicht: So können sie Autofahrer unterstützen*. Retrieved 2023-06-29, from <https://www.adac.de/rund-ums-fahrzeug/ausstattung-technik-zubehoer/assistenzsysteme/fahrerassistenzsysteme/>
- EU 2019/2144 (2022). *Document 02019R2144-20220905*. Retrieved 2023-06-29, from <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A02019R2144-20220905>
- Fecher, N., Hoffmann, J. (2015). Fahrerwarnelemente. In: Winner, H., Hakuli, S., Lotz, F., Singer, C. (eds) *Handbuch Fahrerassistenzsysteme*. ATZ/MTZ-Fachbuch. Springer Vieweg, Wiesbaden. [https://doi.org/10.1007/978-3-658-05734-3\\_37](https://doi.org/10.1007/978-3-658-05734-3_37)

# Bayerische Forschungsstiftung fördert Verbundvorhaben ForNeRo im Bereich der roboter-assistierten Chirurgie

Manuel Ferle



## Hintergrund

Robotische Systeme stellen aktuell die führende und langfristig erfolgversprechende Innovation in der operativen Medizin dar. Auf dem Markt existieren inzwischen zahlreiche sehr unterschiedliche Roboterassistenzsysteme im Bereich der Chirurgie und Bildgebung, welche in den letzten Jahren in den Klinischen Arbeitsablauf implementiert wurden. Studien zeigen jedoch neben den vielen positiven Auswirkungen solcher Systeme, dass die Einführung der Robotik zu einem erheblichen Anstieg der technischen, sozialen und organisatorischen Komplexität im Operationssaal sowie in den angrenzenden Bereichen führt. Darüber hinaus existieren sowohl von Seiten der AnwenderInnen als auch von Seiten der PatientInnen Vorbehalte im Hinblick auf deren Akzeptanz, was u.a. auf eine mangelnde gefühlte Kontrolle über das System und einer fehlenden Transparenz in diesem Zusammenhang begründet ist. In zahlreichen Studien wurden die Herausforderungen mit dieser neuen Technologie identifiziert, bis heute existieren aber nur wenige Lösungsansätze zu den genannten Herausforderungen.

Mit einem Zusammenschluss aus bayerischen Unternehmen und Forschungseinrichtungen sollen daher in den nächsten drei Jahren, im Rahmen eines Forschungsverbundes neue Lösungskonzepte erarbeitet werden, die eine effiziente, nutzerzentrierte, ökonomische und klinisch relevante Integration von Roboter-assistenzsystemen in den Klinischen Arbeitsablauf ermöglicht.

## Forschungsverbund – Nahtlose und ergonomische Integration der Robotik in den klinischen Arbeitsablauf (ForNeRo)

Der Forschungsverbund wurde unter Federführung des Lehrstuhls für Ergonomie der TUM ins Leben gerufen. In diesem interdisziplinären Verbund sind dabei elf Projektpartner aus Industrie und Wissenschaft vereint, die Ihre Kompetenzen im Bereich der Medizin, Robotik, Augmented Reality und Ergonomie vereinen. Die Bayerische Forschungsstiftung unterstützt das ehrgeizige Vorhaben im Rahmen der Hightech Agenda Bayern mit rund 2 Millionen Euro.

Konkret sollen die Gelder genutzt werden um unter anderem Methoden zu entwickeln, die

- eine digitale Planung der Roboterplatzierung im Operationssaal ermöglichen, um so einen möglichst effizienten Arbeitsbereich für das OP-Personal zu ermöglichen,
- eine ergonomische, auf Augmented Reality Ansätzen basierte Umsetzung der optimalen Platzierung und Nutzung der Roboter im Operationssaal ermöglichen,
- eine Detektion kritischer kognitiver und physischer Belastungen und Beanspruchungen im OP ermöglichen,
- die Akzeptanz von Robotersystemen aus Sicht des Operators und des Patienten, durch Visualisierungen der geplanten Roboterbewegungen erhöhen.

In zwei Arbeitsgruppen und drei Clustern, werden die Teilprojekte des Vorhabens inhaltlich bearbeitet. In den beiden Arbeitsgruppen werden zum einen übergreifende Technologieansätze erforscht und zum anderen die klinische Anwendbarkeit und Umsetzbarkeit evaluiert. Die übergreifenden Arbeitsgruppen dienen damit als Bindeglieder zwischen den unterschiedlichen Clustern.



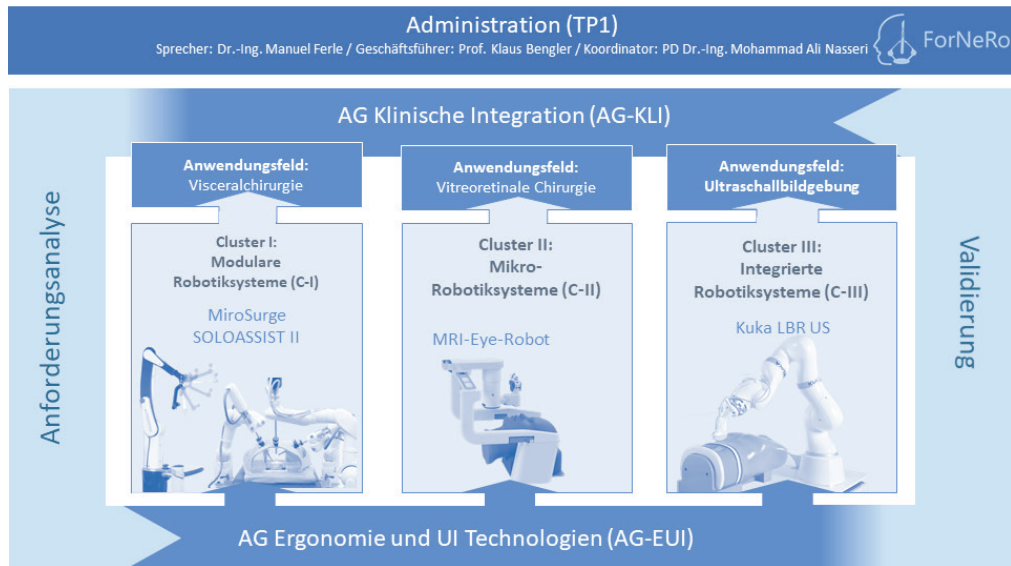


Abbildung 1: Organisationsstruktur des Forschungsverbundes ForNeRo.

In diesen werden die Fokusthemen des Vorhabens in drei konkreten Anwendungsszenarien, welche die Bandbreite der roboterassistierten Chirurgie abbilden, entwickelt und implementiert (Abbildung 1). Zur Erforschung neuer Methoden und Technologien die eine verbesserten Integration der Robotik ermöglichen, stehen dem Verbund unterschiedliche Robotersysteme im Bereich der Viszeralchirurgie, Vitreoretinalen Chirurgie und im Bereich der Ultraschallbildgebung zur Verfügung.

Neben der Koordination wird der Lehrstuhl für Ergonomie die Arbeitsgruppe ‚Ergonomie und UI Technologien‘ leiten. Darin wird der LfE in Zusammenarbeit mit den beteiligten Partnern wesentlich bei klinischen Beobachtungsstudien im Bereich der roboterassistierten Chirurgie mitwirken, an einer auf maschinellem Lernen basierten Lösung zur Erfassung bzw. Schätzung der physischen und mentalen Belastung und Beanspruchung arbeiten, sowie bei der Entwicklung nutzerfreundlicher Mensch-Roboter-Schnittstellen unterstützen.

Gefördert durch:



# Professur für Sportgeräte und -materialien

## Überblick über die neuesten Entwicklungen am Institut

Kati Nispel, Kevin Lippmann

### Aktuelles

Die Professur für Sportgeräte und -materialien hat sich zum Ziel gesetzt, die Grenzen der Sporttechnologie zu erweitern und innovative Lösungen für die Leistungssteigerung im Sportbereich zu entwickeln. Wir möchten Ihnen heute einen Überblick über einige unserer aktuellen Projekte geben, die das breite Spektrum unserer Forschungs- und Entwicklungsarbeit repräsentieren.

### Einfluss der Wirbelsäulenmechanik auf Rückenschmerzen

Gibt es einen Zusammenhang zwischen chronischen Rückenschmerzen und der Mechanik unserer Wirbelsäule? Um diese Frage zu beantworten, nutzen wir moderne Computersimulationen, um die Kinematik und Kinetik unseres Bewegungsapparats zu analysieren und sie mit den auftretenden inneren Spannungszuständen in unserem Körper in Verbindung zu bringen. Unsere Forschung ermöglicht ein besseres Verständnis der alltäglichen Lastzustände und ermöglicht die gezielte Analyse von Unfall- und Verletzungsszenarien. Durch die Berücksichtigung patientenspezifischer Bedingungen bei der Erstellung von Simulationen der Wirbelsäule und die Kombination verschiedener Simulationsmethoden streben wir eine möglichst realitätsnahe Abbildung der physischen Belastung auf den menschlichen Körper an.



iBack

### Mechatronische Skibindungen zur Reduzierung von Knieverletzungen

Knieverletzungen sind ein häufiges Problem beim alpinen Skifahren und verursachen erhebliche Kosten

für Operationen, Rehabilitation, Arbeitsausfall und Folgeerkrankungen. Unser Projekt "BFS Mechatronic Ski Binding" zielt darauf ab, die Sicherheitsausrüstung im alpinen Skifahren zu verbessern. Eine vielversprechende Lösung ist eine mechatronische Skibindung, die mithilfe von Sensoren kinetische, kinematische und physiologische Parameter des Skifahrers erfasst und den Auslösewert entsprechend anpasst. Wir haben einen Demonstrator einer mechatronischen Skibindung entwickelt, der es ermöglicht, Skibewegungen auf innovative Weise zu quantifizieren und das Potenzial hat, die Anzahl der Knieverletzungen beim alpinen Skifahren zu verringern.



Abbildung 1 Feldversuche mit der mechatronischen Skibindung in Garmisch Patenkirchen



Mechatronische Skibindung



FitFeet &amp; 3D Orthese

### Orthopädische Einlegesohlen und Knieorthesen der Zukunft

Unsere Projekte "FitFeet" und "3D Orthese" konzentrieren sich auf die Entwicklung von innovativen Lösungen für Fuß- und Kniegesundheit. Bei FitFeet arbeiten wir an einer orthopädischen Einlegesohle mit einer einzigartigen Oberflächenstruktur, die die Durchblutung und Muskulatur stimuliert, die Luftzirkulation verbessert und den Schweißabfluss fördert. Für die 3D Orthese entwickeln wir eine modulare Knieorthese mit einem innovativen 3D-Gelenk aus einer Hybridmaterialkombination. Beide Projekte nutzen modernste Technologien wie 3D-Druck und Simulationen, um die Leistungsfähigkeit und den Komfort dieser medizinischen Hilfsmittel zu verbessern.

### Neues Projekt zu Exoskeletten an der Professur

Im Projekt eXprt (Exoskeleton and Wearables Enhanced Prevention and Treatment) wird ein weiches robotisches Exoskelett zur Unterstützung von Menschen mit beeinträchtigter Handfunktion entwickelt. Durch neuroimaging-Methoden untersucht eXprt dabei die neuroplastischen Anpassungen, die mit der Verwendung des Exoskeletts einhergehen. Durch die Kombination von tragbaren Sensortechnologien, neurowissenschaftlichem Verständnis der Bewegungssteuerung und Studien im klinischen sowie privaten Umfeld sollen frühzeitige Identifikation, gezielte therapeutische Interventionen sowie die effiziente Aufrechterhaltung der Beweglichkeit ermöglicht werden. Das ehrgeizige Ziel von eXprt wird von einem multidisziplinären Team (9 Professuren und Lehrstühlen der TUM) verfolgt und im Rahmen eines TUM Innovation Networks der International Graduate School of Science and Engineering (IGSSE) gefördert.



Abbildung 2: 3D Scan eines Beins im Projekt 3D Orthese



eXprt

## Gemeinschaft und Sportveranstaltungen

Unsere Institution legt großen Wert auf die Förderung eines starken Gemeinschaftsgefühls und die Teilnahme an sportlichen Veranstaltungen. Kürzlich haben unsere talentierten Studierenden und engagierten Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter am TUM Campus Run 2023 teilgenommen, trotz widriger Wetterbedingungen. Das Event war ein voller Erfolg und bot eine großartige Gelegenheit, unsere Leidenschaft für Fitness und Spaß zu teilen. Wir sind den Organisatoren der TUM Junge Akademie für ihre Arbeit dankbar, die es uns ermöglicht hat dieses Erlebnis zu feiern und als Gemeinschaft zusammenzuwachsen.

## Abgeschlossene Projekte

Unsere Professur hat sich der Entwicklung innovativer Projekte im Bereich Sport und Fitness verschrieben. Mit unserer Expertise in den Bereichen Trainingsoptimierung, Motivation und Gesundheit arbeiten wir kontinuierlich an der Verbesserung des sportlichen Erlebnisses und der Leistungsfähigkeit von Sportlern. Abgeschlossene Projekte liefern wertvolle Ergebnisse zur Erreichung dieser Ziele.

Ein Beispiel für unsere Arbeit ist das abgeschlossene MotiTRAIN-Projekt. Das Ziel dieses Projekts bestand darin, einen interaktiven Fitnesscoach und einen digitalen Trainingsprozessbegleiter zu entwickeln, der durch innovative Ansätze und neuartige Technologien die Motivation und den Erfolg des Nutzers beim Fitnesstraining signifikant steigern kann. Durch optimales Training und angepasste Belohnungen sollte eine langfristige Kundenbindung für das Fitnessstudio erreicht werden. Dies wurde durch eine innovative Kombination aus Gamification-Ansätzen, umfangreicher und präziser Datenerfassung, intelligenter Auswertung sowie individualisiertem visuellem Feedback realisiert. Im Rahmen des Projekts wurden neuartige Ansätze entwickelt, um Abweichungen von der idealen Trainingsbewegung mithilfe der Bewegungsauswertung zu erkennen und diese durch ein dynamisches Feedbacksystem zielgerichtet zu korrigieren. Dadurch könnten Verletzungen vermieden und die

Effizienz des Trainings gesteigert werden. Für den Nutzer steht dank der Neuentwicklungen ein System zur Verfügung, das ihn von Anfang an als virtuellen Personaltrainer beim Training begleitet. Über einen Browser hat der Trainierende seinen persönlichen Trainingsprozessbegleiter immer auf seinem Smartphone oder Tablet dabei. Er erhält Erinnerungen an sein nächstes Training, Vorschläge zu den nächsten Übungen und eine vollständige Übersicht über seinen aktuellen Trainingsfortschritt.

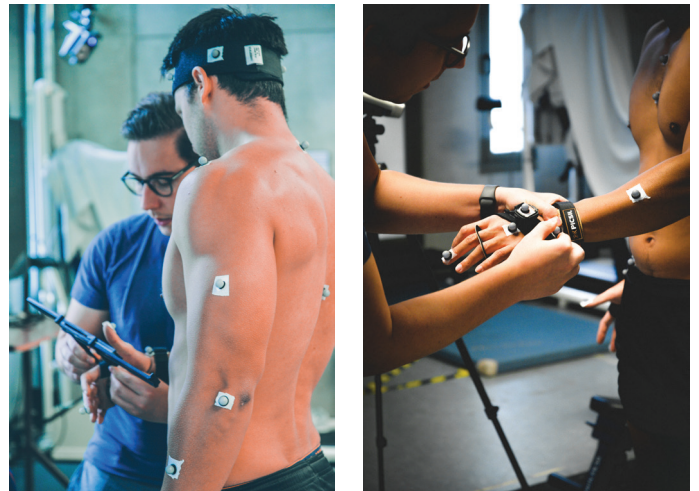


Abbildung 3: Nutzung des Vicon Systems im Rahmen des MotiTrain Projekts am Lehr- und Lernlabor der Sportwissenschaft (LLL).



MotiTrain Projekt

Ein weiteres abgeschlossenes Projekt ist das SHER-Projekt. Zahlreiche wissenschaftliche Studien legen nahe, dass ambitioniertes Rennradfahren bei Männern mit vaskulären und neurogenen Dysfunktionen in Verbindung gebracht werden kann. Bei weiblichen Athletinnen gibt es zwar weniger Studien zu solchen Zusammenhängen, aber die wenigen vorhandenen Ergebnisse deuten auf ähnliche Probleme



hin. Nervenschäden, Infektionen, Taubheit und Unbehagen im Beckenbodenbereich könnten schnell den Spaß am Sport nehmen und nicht zuletzt zu gesundheitlichen Einschränkungen und einer Verringerung der Lebensqualität führen. In Zusammenarbeit mit der italienischen Marke für Damen-Radbekleidung, SHER, haben wir die Druckverhältnisse von weiblichen Rennradsportlerinnen auf ihren Satteln untersucht. Mit einer speziellen Messvorrichtung wurden die Druckverteilungen analysiert und digitalisiert. Diese Daten dienen als Grundlage für die Modellierung und Simulation der Schnittstelle zwischen Mensch und Sportgerät. Durch den Einsatz innovativer Fertigungsmethoden wurde ein neuartiges Einlagepad für Damen-Radhosen entwickelt, das eine ergonomische Lastverteilung ermöglicht. Empfindliche Regionen können dadurch entlastet, und die gesundheitlichen Risiken beim ambitionierten Damen-Rennradsport können reduziert werden.

Besonders freuen wir uns in diesem Projekt über die Unterstützung von Selle Italia und ihr zur Verfügung gestelltes ID Match Bike Fitting System.



Abbildung 4: Messung der Druckverteilung bei einer Probandin auf dem Selle Italia idmatch system im SHER Projekt.



SHER Projekt

Diese abgeschlossenen Projekte, MotiTRAIN und SHER, repräsentieren unsere Hingabe an innovative Forschung und Entwicklung im Bereich Sport und Fitness. Sie zeigen unser Engagement, die Motivation der Nutzer, die Effektivität des Trainings und das Wohlbefinden insgesamt zu verbessern. Durch die Integration modernster Technologien und die Zusammenarbeit mit führenden Unternehmen der Branche streben wir an, einen positiven Einfluss auf die Fitness- und Sportgemeinschaft zu nehmen. Wir freuen uns auf weitere Fortschritte und die kontinuierliche Anwendung unserer Erkenntnisse in der Praxis.

# Veröffentlichungen von Sommer 2022 bis Sommer 2023

## Lehrstuhl für Ergonomie

2022

- Albers, D., Grabbe, N., Forster, Y., Naujoks, F., Keinath, A., & Bengler, K. (2022). (Don't) Talk to Me! Application of the Kano Method for Speech Outputs in Conditionally Automated Driving. In K. Plant & G. Praetorius (Chairs), *13th AHFE International Conference 2022*. Symposium conducted at the meeting of Vol. 60, NY, USA. <http://doi.org/10.54941/ahfe1002484>
- Biebl, B., Arcidiacono, E., Kacianka, S., Rieger, J. W., & Bengler, K. (2022). Opportunities and Limitations of a Gaze-Contingent Display to Simulate Visual Field Loss in Driving Simulator Studies. *Frontiers in Neuroergonomics*, 3, 537. <https://doi.org/10.3389/fnrgo.2022.916169>
- Bohrmann, D., Bruder, A., & Bengler, K. (2022). Effects of Dynamic Visual Stimuli on the Development of Carsickness in Real Driving. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 23(5), 4833–4842. <https://doi.org/10.1109/TITS.2021.3128834>
- Boos, A., Herzog, O., Reinhardt, J., Bengler, K., & Zimmermann, M. (2022). A Compliance–Reactance Framework for Evaluating Human-Robot Interaction. *Frontiers in Robotics and AI*, 9, 146. <https://doi.org/10.3389/frobt.2022.733504>
- Boos, A., Zimmermann, M., Zych, M., & Bengler, K. (2022). Polite and Unambiguous Requests Facilitate Willingness to Help an Autonomous Delivery Robot and Favourable Social Attributions. In IEEE (Ed.), *Proceedings of 31st IEEE International Conference on Robot and Human Interactive Communication (RO-MAN) 2022* (pp. 1620–1626). IEEEExplore. <https://doi.org/10.1109/RO-MAN53752.2022.9900870>
- Brunner, S., Knott, V., & Bengler, K. Lean Ergonomics—are relevant synergies of digital human models and digital twins defining a new emerging subdiscipline? In (Vol. 2, p. 51). <https://doi.org/10.1007/s41449-022-00344-4>
- Emmermann, B., Fehn, F., Scharnigg, K., Marx, C., & Bogenberger, K. (2022). Neugestaltung und Evaluierung der Ausleitbeschilderung für die Pulkausleitung von Lkw auf Bundesautobahnen. *Straßenverkehrstechnik*. (4), 278–286.
- Fehn, F., Spangler, M., Vierkötter, M., Emmerman, B., Scharnigg, K., Marx, C., & Bogenberger, K. (2022). Technische Systemevaluation des sicheren Ausleitens von Lkw auf Bundesautobahnen. *Straßenverkehrstechnik*. (3), 173–181.
- Fleischer, M. (2022). Collecting Data for Digital Human Modeling during the COVID-19 Pandemic. In S. Scataglini & S. Rajulu (Chairs), *Proceedings of the International Conference Digital Human Modeling and Applied Optimization (AHFE 2022)*. <http://doi.org/10.54941/ahfe1001904>
- Fleischer, M. (2022). Improved modeling approach for the usage of mixed linear effects models in empirical digital human models. In *The 7th International Digital Human Modeling Symposium 2022*, Iowa City, USA. <https://doi.org/10.17077/dhm.31786>
- Grabbe, N., Arifagic, A., & Bengler, K. (2022). Assessing the reliability and validity of an FRAM model: the case of driving in an overtaking scenario. *Cognition, Technology & Work*, 115(12), 285. <https://doi.org/10.1007/s10111-022-00701-7>
- Graefe, J., Engelhardt, D., Rittger, L., & Bengler, K. (2022). How Well Does the Algorithm Know Me? A Structured Application of the Levels of Adaptive Sensitive Responses (LASR) on Technical Products. In M. M. Soares, E. Rosenzweig, & A. Marcus (Eds.), *Design, User Experience, and Usability: Ux Research, Design, and Assessment: Proceedings of the 11th International Conference, DUXU 2022 Held as Part of the 24th HCI International Conference, HCII 2022* (Vol. 13323, pp. 311–336). Cham: Springer International Publishing. [https://doi.org/10.1007/978-3-031-05906-3\\_24](https://doi.org/10.1007/978-3-031-05906-3_24)

- Graefe, J., Paden, S., Engelhardt, D., & Bengler, K. (2022). Human Centered Explainability for Intelligent Vehicles – A User Study. In G. J. Yong & J. Myounghoon (Eds.), *Proceedings of the 14th International Conference on Automotive User Interfaces and Interactive Vehicular Applications (AutomotiveUI'22)* (pp. 297–306). NY, USA: ACM. <https://doi.org/10.1145/3543174.3546846>
- Hecht, T., Weng, S., Drexler, A., & Bengler, K. (2022). User-Centered Development of a Route Planning App for Fragmented Automated Drives. In H. Krömker (Ed.), *Hci in Mobility, Transport, and Automotive Systems: The International Conference on Human-Computer Interaction (HCI)* 2022 (Vol. 13335, pp. 134–150). Springer, Cham. [https://doi.org/10.1007/978-3-031-04987-3\\_9](https://doi.org/10.1007/978-3-031-04987-3_9)
- Hecht, T., Weng, S., Kick, L. F., & Bengler, K. (2022). How users of automated vehicles benefit from predictive ambient light displays. *Applied Ergonomics*, 103, 103762. <https://doi.org/10.1016/j.apergo.2022.103762>
- Hecht, T., Zhou, W., & Bengler, K. (2022). How to Keep Drivers Attentive during Level 2 Automation? Development and Evaluation of an HMI Concept Using Affective Elements and Message Framing. *Safety*, 8(3), 47. <https://doi.org/10.3390/safety8030047>
- Herzog, O., & Rogner, K. (2022). Let Me Introduce Myself – Using Self-Disclosure as a Social Cue for Health Care Robots. In IEEE (Ed.), *Proceedings of 31st IEEE International Conference on Robot and Human Interactive Communication (RO-MAN)* 2022 (pp. 1358–1364). IEEEExplore. <https://doi.org/10.1109/RO-MAN53752.2022.9900769>
- Janetzko, D., & Kacem, B. (2022, September 27-29). *Application of a Hierarchical Task Analysis in the Design Process of an Emergency eVTOL HMI* [Poster Presentation]. DLRK 2022 “Luft- und Raumfahrt – gemeinsam forschen und nachhaltig gestalten” Dresden, Germany.
- Kipp, M. (2022). Ramsis for the Digital Design of a Climate Dummy in Highly Automated Vehicle Concepts. In Human Solutions (Chair), *RAMSIS User Conference 2022*. Symposium conducted at the meeting of Human Solutions, Kaiserslautern.
- Kipp, M., Guo, C., & Bengler, K. (2022). Evaluation of the Seating Environment of an Autonomous Taxi on User Needs – An Online Survey Investigation. In K. Plant & G. Praetorius (Chairs), *13th AHFE International Conference 2022*. Symposium conducted at the meeting of Vol. 60, NY, USA.
- Kipp, M., Rolle, A., Semmler-Sinsard, S. J., & Bengler, K. (2022). Evaluation of an Active Cooling Seat Concept in terms of Vehicle Energy Consumption and Passengers’ Thermal. In *13th International Industrial Ventilation Conference for Contaminant Control 2022*, Toronto, Canada.
- Liu, Y. C., Figalová, N., & Bengler, K. (2022). Transparency Assessment on Level 2 Automated Vehicle HMIs. *Information*, 13(10), 489. <https://doi.org/10.3390/info13100489>
- Loew, A., Forster, Y., Naujoks, F., Biebl, B., Keinath, A., & Bengler, K. (2022). Does it deliver what it promises? Evaluation of cognitive distraction caused by speech-based interfaces with detection response and box task. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 91, 1–16. <https://doi.org/10.1016/j.trf.2022.09.020>
- Loew, A., Graefe, J., Heil, L., Guthardt, A., Boos, A., Dietrich, A., & Bengler, K. (2022). Go Ahead, Please!—Evaluation of External Human—Machine Interfaces in a Real-World Crossing Scenario. *Frontiers in Computer Science*, 4, 757. <https://doi.org/10.3389/fcomp.2022.863072>
- Ossig, J. [Johannides], Cramer, S., & Bengler, K. (2022). Longitudinal Acceleration during Lane Changes - A Human-Centered Investigation for Automated Driving.

- In K. Bengler, K. Dietmayer, L. Eckstein, M. Maurer, C. Stiller, & H. Winner (Eds.), 14. *Uni-DAS e.V. Workshop Fahrerassistenz und automatisiertes Fahren 2022* (pp. 175–182). Uni-DAS e. V. <https://www.uni-das.de/fas-workshop/2022.html>
- Ossig, J. [Johannes], Hinkofer, S., Cramer, S., & Bengler, K. (2022). Longitudinal Dynamics during Lane Changes: Assessment of Automated Driving Styles under Real-World Conditions. In IEEE (Ed.), *Proceedings of the IEEE 25th International Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC) 2022* (pp. 1240–1247). IEEE. <https://doi.org/10.1109/ITSC55140.2022.9922518>
- Rücker, L., Brombach, J., & Bengler, K. (2022). Experimental study of standing and walking at work — What is compatible with physiological characteristics and human needs? *Zeitschrift Für Arbeitswissenschaft*, 76(3), 333–343. <https://doi.org/10.1007/s41449-021-00288-1>
- Schlund, S., Kamusella, C., Knott, V., Löffler, T., Engel, L., Fischer, C., . . . Kögel, A. (2022). Digital ergonomics and digital work planning in university education: experiences from Germany and Austria. *Zeitschrift Für Arbeitswissenschaft*, 2021(10), 598. <https://doi.org/10.1007/s41449-022-00333-7>
- Shi, E., & Bengler, K. (2022). Non-driving related tasks' effects on takeover and manual driving behavior in a real driving setting: A differentiation approach based on task switching and modality shifting. *Accident; Analysis and Prevention*, 178, 106844. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2022.106844>
- Shi, E., & Bengler, K. (2022). Overall effects of non-driving related activities' characteristics on takeover performance in the context of SAE Level 3: A meta-analysis. In K. Plant & G. Praetorius (Chairs), *13th AHFE International Conference 2022*. Symposium conducted at the meeting of Vol. 60, NY, USA. <http://doi.org/10.54941/ahfe1002435>
- Shi, E., & Bengler, K. (2022). Using Task Switching to Explain Effects of Non-Driving Related Activities on Takeover and Manual Driving Behavior Following Level 3 Automated Driving. In G. J. Yong & J. Myounghoon (Eds.), *Proceedings of the 14th International Conference on Automotive User Interfaces and Interactive Vehicular Applications (AutomotiveUI'22)* (pp. 44–47). NY, USA: ACM. <https://doi.org/10.1145/3544999.3552314>
- Steckhan, L., Spiessl, W., Quetschlich, N., & Bengler, K. (2022). Beyond SAE J3016: New Design Spaces for Human-Centered Driving Automation. In H. Krömker (Ed.), *Hci in Mobility, Transport, and Automotive Systems: The International Conference on Human-Computer Interaction (HCI) 2022* (Vol. 13335, pp. 416–434). Springer, Cham. [https://doi.org/10.1007/978-3-031-04987-3\\_28](https://doi.org/10.1007/978-3-031-04987-3_28)
- Trende, A., Unni, A., Jablonski, M., Biebl, B., Lüdtkke, A., Fränzle, M., & Rieger, J. W. (2022). Driver's turning intent recognition model based on brain activation and contextual information. *Frontiers in Neuroergonomics*, 3, 383. <https://doi.org/10.3389/fnrgo.2022.956863>
- Tropschuh, B., Brunner, S., Dillinger, F., & Hagemann, F. (2022). An Approach to Analyze Human-caused Work Errors. *Procedia CIRP*, 106, 9–14. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2022.02.147>
- Wald, P., Henreich, N., Albert, M., Ossig, J. [Johannes], & Bengler, K. (2022). Different feedback strategies: Evaluation of active vehicle motions in a multi-level system. In K. Plant & G. Praetorius (Chairs), *13th AHFE International Conference 2022*. Symposium conducted at the meeting of Vol. 60, NY, USA. <http://doi.org/10.54941/ahfe1002468>
- Wirsching, H. J., & Fleischer, M. (2022). Ergonomic simulation in automated vehicles using RAMSIS. *Zeitschrift Für Arbeitswissenschaft*, 76(Special Issue). <https://doi.org/10.1007/s41449-022-00334-6>
- Xu, J., Emmermann, B., & Bowers, A. R. (2022). Auditory Reminder Cues to Promote Proactive Scanning on Approach to Intersections in Drivers With Homonymous Hemianopia: Driving With Hemianopia, IX. *JAMA Ophthalmology*, 140(1), 75–78. <https://doi.org/10.1001/jamaophthalmol.2021.5007>

## 2023

- Bengler, K., Harbauer, C. M., & Fleischer, M. (2023). Exoskeletons: A challenge for development. *Wearable Technologies*, 4.



Bergner, C., Schmidt-Vollus, R., & Bengler, K. (2023). Gibt es einen Weg vom manuellen Arbeitsplatz zur nutzerzentrierten Gestaltung einer Mensch-Roboter Kollaboration? In Gesellschaft für Arbeitswissenschaft e.V. Sankt Augustin (Ed.), *Frühjahrskongress 2023 - Nachhaltig Arbeiten und Lernen. Analyse und Gestaltung lernförderlicher und nachhaltiger Arbeitssysteme und Arbeits- und Lernprozesse* (pp. 1–6). Sankt Augustin: GfA-Press.

Escherle, S., Darlagiannis, E., & Sprung, A. (2023). Automated Trucks and the Future of Logistics - A Delphi-Based Scenario Study. *Logistics Research*, 16(1).

Escherle, S., Haentjes, J., Sprung, A., & Bengler, K. (2023). Automatisierbarkeit von Lkw im Hub-to-Hub-Verkehr: Eine Prozessanalyse. In Gesellschaft für Arbeitswis-

senschaft e.V. Sankt Augustin (Ed.), *Frühjahrskongress 2023 - Nachhaltig Arbeiten und Lernen. Analyse und Gestaltung lernförderlicher und nachhaltiger Arbeitssysteme und Arbeits- und Lernprozesse* (pp. 1–6). Sankt Augustin: GfA-Press.

Guo, R., Ferle, M., Nebel, D., & Hurschler, C. (2023). The development and evaluation of an in-vitro shoulder simulator with active muscle simulation. *Scientific reports*, 13(1), 1–11.

Karakaya, B., & Bengler, K. (2023). Minimal Risk Maneuvers of Automated Vehicles: Effects of a Contact Analog Head-Up Display Supporting Driver Decisions and Actions in Transition Phases. *Safety*, 9(1), 7.

## Professur für Sportgeräte und -materialien

### 2022

Hermann, A., Jung, A., Gruen, A., Brucker, P. U., & Senner, V. (2022). A lower leg surrogate study to investigate the effect of quadriceps-hamstrings activation ratio on ACL tensile force. *Journal of Science and Medicine in Sport*. Advance online publication. <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2022.05.006>

Keshvari, B., Alevras, S., Mitternacht, J. [Juergen], & Senner, V. (2022). Evaluating the Effect of Shoes with Varying Mass on Vertical Ground Reaction Force Parameters in Short-Term Running. *International Journal of Exercise Science*. (15(1)), 191–205.

Lerchl, T., El Hussein, M., Bayat, A., Sekuboyina, A., Hermann, L., Nispel, K., . . . Kirschke, J. S. (2022). Validation of a Patient-Specific Musculoskeletal Model for Lumbar Load Estimation Generated by an Automated Pipeline From Whole Body CT. *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*, 10, 862804. <https://doi.org/10.3389/fbioe.2022.862804>

Mitternacht, J. [Jürgen], Hermann, A., & Carqueville, P. (2022). Acquisition of Lower-Limb Motion Characteristics with a Single Inertial Measurement Unit—Validation for Use in Physiotherapy. *Diagnostics*, 12(7), 1640. <https://doi.org/10.3390/diagnostics12071640>

### 2023

Lerchl, T., Nispel, K., Baum, T., Bodden, J., Senner, V., & Kirschke, J. S. (2023). Multibody Models of the Thoracolumbar Spine: A Review on Applications, Limitations, and Challenges. *Bioengineering*, 10(2), 202. <https://doi.org/10.3390/bioengineering10020202>

Nispel, K., Lerchl, T., Senner, V., & Kirschke, J. S. (2023). Recent Advances in Coupled MBS and FEM Models of the Spine-A Review. *Bioengineering (Basel, Switzerland)*, 10(3). <https://doi.org/10.3390/bioengineering10030315>

# Dissertationen

## Lehrstuhl für Ergonomie

### Creativity, A Human Factors Challenge

Kreativität und ihre Rolle im modernen Arbeitskontext stellen den Kern dieser Arbeit dar. Durch Entwicklung und Evaluation eines Instruments zur Kreativitätsmessung sowie dreier Systeme zur Kreativitätsunterstützung wird aufgezeigt, welche Möglichkeiten Kreativitätsunterstützung im Hinblick auf ergonomische Optimierung der Systemleistung bieten kann, und identifiziert Hu-

man Factors/Ergonomie als prädestiniert, um Messung und Unterstützung von Kreativität auf menschenzentrierte Weise zu entwickeln. (<https://mediatum.ub.tum.de/?id=1632826>)

Lorenz Prasch, 05.07.2022

### Effects of COVID-19 on the World of Work

Das Coronavirus SARS-CoV-2 löste eine weltweite Pandemie aus und die ergriffenen Maßnahmen hatten erhebliche Auswirkungen auf die Art und Weise wie wir arbeiten und kommunizieren. Im Rahmen der Dissertation wurden qualitative und quantitative Daten dazu erhoben, wie die Pandemie unsere Arbeitswelt verändert hat und

es wurden Empfehlungen für drei verschiedene Arbeitsformen sowie für das operative (Krisen-)Management abgeleitet..

Caroline Adam, 29.11.2022

### Objektive Bewertung des thermischen Komforts im Pkw Entwicklung von Methodiken für aktuelle und zukünftige Klimakonzepte

Die vorliegende Arbeit befasst sich mit der objektiven Bewertung des thermischen Komforts im Pkw. Nach dem aktuellen Stand der Wissenschaft wird die Äquivalenttemperatur als Bewertungsgröße zur Erfassung der thermischen Umgebung verwendet. Als Bestandteil der DIN EN ISO 14505-2:2007-04 stellt das Komfortzonenmodell nach Nilsson die Ausgangsbasis dieser Arbeit

dar. Für potenzielle Verbesserungen sind in mehreren Untersuchungen Stärken und Schwächen des Komfortzonenmodells identifiziert und ein neues Komfortmodell erarbeitet worden.

Andreas Rolle, 13.12.2022

## Interaction between Automated Vehicles and Oncoming Human Drivers: Efficient and Safe Urban Driving in Bottleneck Scenarios

The dissertation investigates how automated vehicles should communicate with oncoming human drivers in bottleneck scenarios to ensure efficient and safe interaction. The main part includes four studies that analyze the potentials of explicit and implicit external communication. The thesis integrates the findings into a closed loop and formulates five principles underlying effi-

cient and safe interaction. (<https://mediatum.ub.tum.de/?id=1649480>)

Michael Rettenmaier, 13.01.2023

## Expertenbewertungen als Absicherungsmethodik zum Nutzererlebnis beim automatisierten Fahren

Bei der Einführung automatisierter Fahrfunktionen und dem damit einhergehenden Paradigmenwechsel stellt sich die Frage, wie man ein positives Nutzererlebnis entwickeln, mit der unsicheren Erwartungshaltung von Nutzern und dem Fehlen von frei verfügbaren automatisierten Fahrzeugen umgeht. Diese Dissertation untersucht die Methode der Expertenbewertung im Zusammenhang mit einem automatisierten Fahrerlebnis sowie den Ein-

satz unterschiedlicher Versuchsumgebungen, wie Wizard-of-Oz-Fahrzeugen oder Fahrsimulatoren. Zusammenfassend wird darüber hinaus auf die Relevanz des Zeitpunktes bei der Erlebnisbewertung sowie die Auswahl automatisierter Fahrmanöver eingegangen.

Kamil Omozik, 18.01.2023

## Revisiting Street Crossing Simulators: New Approaches in Virtual and Augmented Reality

Street-crossing simulators are increasingly used to explore pedestrian behavior in a safe and controllable environment. This cumulative thesis explores core aspects, such as distance perception and presentation of virtual avatars, in current street-crossing simulators. Additionally, new approaches in augmented reality and based

on smartphone technology are presented and evaluated. (<https://mediatum.ub.tum.de/?id=1653782>)

Philipp Maruhn, 14.02.2023

# Dissertationen

## Professur für Sportgeräte und -materialien

### Persönliche Schutzausrüstung im Sport und Arbeitsumfeld: Maßnahmen zur Reduktion und Überwachung der thermischen Belastung und Beanspruchung

Die Arbeit von Stefanie Paßler konzentriert sich auf die Verbesserung der Ergonomie von persönlicher Schutzausrüstung (PSA) durch die Entwicklung von Lösungen im Bereich des Thermomanagements. PSA kann den Wärmeaustausch des Körpers beeinträchtigen und zu hitzebedingten Erkrankungen führen, was die Akzeptanz beeinträchtigt. Paßler untersuchte zwei technische Lösungen: persönliche Kühlausrüstung mit Phase Change Materials und flüssigkeitsgekühlte Ausrüstung. Durch diese Lösungen wird die thermische Belastung reduziert und der Komfort über einen längeren Zeitraum verbessert. Zudem werden neue Methoden zur nichtinvasiven

Überwachung von Körperkerntemperatur, Herzfrequenz und Wasser-Elektrolyt-Haushalt analysiert. Die Kombination von Kühlausrüstung und Vitalparameterüberwachung trägt zur umfassenden Gesundheit, Komfort und Leistungsfähigkeit von Arbeitnehmern und Sportlern bei. Die Nutzung von Digitalisierung und künstlicher Intelligenz eröffnet Potenzial für eine sicherere Gestaltung von körperlichen Aktivitäten im Sport- und Arbeitsumfeld.

Stefanie Paßler, 14.10.2022

### Knee Injuries in Alpine Skiing – Why and How Mechatronic Ski Bindings Can Help

Jährlich gibt es weltweit etwa 500.000 Knieverletzungen beim alpinen Skifahren, darunter 128.000 Kreuzbandverletzungen. Bisher gibt es kein funktionierendes Präventionssystem, um diese Verletzungen zu reduzieren. Grund dafür sind das unvollständige Verständnis der Knieverletzungsmechanismen und technologische Einschränkungen bei der Überwachung von Skifahrer:innen. Neue Entwicklungen in der Mikroelektronik ermöglichen die Umsetzung einer mechatronischen Skibindung mit integrierten Sensorsystemen, die spezifisch auf die Belastungssituationen des Skifahrers reagieren kann. Das Hauptziel Aljoscha Herrmanns Arbeit war es, das Verständnis der Knieverletzungsmechanismen durch Surrogatstudien und Mehrkörpersimulationen zu erweitern. Es

wurden fünf Eingangsparameter für die mechatronische Skibindung abgeleitet. Das zweite Ziel besteht darin, die Machbarkeit einer solchen Skibindung zu demonstrieren. Dabei wurde ein Fuzzy-Logik-Algorithmus entwickelt, um das Verletzungsrisiko zu bestimmen. Die Dissertation soll die Skisportindustrie und andere Akteure dazu motivieren, gemeinsam das Skifahren sicherer zu machen und als Ausgangspunkt für die Entwicklung einer mechatronischen Skibindung dienen, die Knieverletzungen verhindern kann.

Aljoscha Hermann , 24.10.2022



## Die Vordere Kreuzband Verletzung im alpinen Skisport: Feldexperiment zum Einfluss einer verminderten Steifigkeit des Skischuhs auf die Gelenkkinematik und die muskuläre Aktivität der Kniestrecker und Kniebeuger

Mirko Barone untersuchte in seiner Dissertation die Auswirkungen eines Skischuhs mit integriertem Auslösemechanismus auf die Bewegungen und Muskelaktivität von Skifahrern, um das Verletzungsrisiko im alpinen Skisport zu reduzieren. Insbesondere wurde das vordere Kreuzband (VKB) als häufig verletzte Struktur betrachtet, wobei der Rückwärtssturz als häufige Ursache für VKB-Verletzungen identifiziert wurde. Für das Experiment wurden Sprünge über eine kleine Schanze simuliert, gefolgt von einer Landung in Rücklage. Die Bewegungen wurden mittels einer Bewegungsanalyse erfasst, und die Muskelaktivität mit einem mobilen EMG-System gemessen. Die Ergebnisse zeigen, dass

ein aktivierter Auslösemechanismus im Skischuh das Verletzungsrisiko, insbesondere bei flachen Landewinkeln, reduzieren kann. Zukünftige Studien sollten längere Eingewöhnungszeiten, langsamere Geschwindigkeiten und flachere Landewinkel berücksichtigen. Ein idealer Skischuh sollte einen intelligenten Mechanismus haben, der sich in normalen Fahrsituationen wie ein herkömmlicher Skischuh verhält, aber in kritischen Situationen wie einer Landung in Rücklage bei flachem Landewinkel eine kontrollierte und individuell einstellbare Auslösung ermöglicht.

Mirko Barone, 28.10.2022

# Abgeschlossene Masterarbeiten

## Lehrstuhl für Ergonomie

HFE - Einfluss von Fehlfunktionen bei Saugrobotern auf die menschliche Wahrnehmung

HFE - Staubsauger, Haustier oder Spielzeug - Welche Nutzerbedürfnisse erfüllen Haushaltsroboter?

MW - Analyse und Bewertung potenzieller Fahrzeugkonzepte für einen inklusiven On-Demand Personenverkehr

MW - Die Gestaltung eines ergonomischen Einstiegsbereiches eines Personenkraftwagens - Analyse der Bewegungsstrategien des Menschen

HFE - Konzeption und Evaluation eines Nutzerzentrierten Ad-hoc-Feedbacksystems für Softwareapplikationen

HFE - Trust in Human-Robot Interaction - The Influence of Self-Disclosure of a Social Care Robot on Trust, Perceived Anthropomorphism, and Likeability

HFE - Hands-On oder Hands-Off: Einfluss auf das Vertrauen in teilautomatisierte Fahrsysteme in urbanen Kreuzungssituationen

HFE - The Impact of Workstation Design, Physical Activity, and Psychological Strain on Musculoskeletal Discomfort of Employees Working from Home

HFE - Exploring the Challenges and Design Opportunities of a Catheter-HMI for a Novel Catheter Imaging Device for Atrial Fibrillation Procedures

HFE - Mood Induction through Imitation of Full-Body Movements with Different Affective Intentions

HFE - Auslegung automatisierter Fahrstreifenwechsel: Bewertung von automatisierten Fahrstilen durch eine erfahrene Stichprobe

HFE - Absolute or relative? Implications of comparative evaluations in automotive benchmark user studies

HFE - Entwicklung eines Fragebogens zur Erfassung von Zoomorphisierung in der Mensch-Roboter Interaktion

HFE - Investigation of the influence of a co-driver display on driver distraction

HFE - Visual Discomfort in 3D Monitors for Surgical Microscopes. Influencing Factors and their Acceptable Value Ranges

MW - Unternehmensdiversifikation als Lösungsansatz zu der durch Megatrends verursachten, technologiebedingten Freisetzung von Leistungsgewandelten Mitarbeitern bei KMUs

HFE - Entwicklung und Usability Testung eines Bedienkonzeptes für ein multifunktionales laparoskopisches Instrument

LMU- Medieninformatik - Entwicklung eines Bedienkonzeptes zur Optimierung der User Experience beim automatisierten Fahren

MW - Erstellung und Evaluation eines Interaktionskonzeptes für aktive Exoskelette zum Heben und Tragen

MW - Einfluss fahrfremder Tätigkeiten auf den thermischen Komfort in autonomen Fahrzeugen

MW - Foot in the door Technik in der Mensch-Roboter Kommunikation unter Berücksichtigung von self disclosure des Roboters

HFE - Einfluss von Anthropomorphismus eines Roboters auf die Compliance beim Foot-in-the-door-Effekt

HFE - Entwicklung von UX-Design-Guidelines für die agile Produktentwicklung

MW - Design, Implementation and Evaluation of a System for Hands-Off Usage in Partially Automated Driving

HFE - Das Beste aus beiden Welten - Gestaltungsempfehlungen für Workshops im hybriden Arbeitskontext

HFE - User Experience Evaluation von zwei Bedienkonzepten für das automatisierte Fahren

MW - Analysis of the similarities and contradictions between lean and ergonomics

MW - Entwicklung eines Methodenkonzepts zur subjektiven Komfortbewertung von Fahrzeugsitzen

HFE - Influence of Situational, Visual Precursors for the Adaption of Compensatory Gaze Strategies

HFE - Driving with Visual Field Loss: Mental Models of Driving Situations and of one's own Visual Abilities

HFE - Bedarf einer neuen Kabine für automatisierte Lkw im Hub2Hub-Verkehr

MW - Modelling and Development of a Mechanical Eye for the Evaluation of Robotic Systems for Surgery

MW - Aerospace & Geodesy - User-Centred Exploration on the Human Machine Interface of eVTOL aircrafts for Emergency Medical Services

HFE - Comfort Distance and Discomfort Perception of Different-Sized Robots in Augmented Reality and Reality

HFE - Virtual Reality versus Desktop-Anwendung zum Erlernen von Ergonomie am Arbeitsplatz

HFE - Systematic review of haptic feedback in surgical robotics and factors affecting outcomes

## Professur für Sportgeräte und -materialien

MW - Conception, Construction, Design and Assembly of the Functional Mechanism for a Hybrid Handbike (BikeAble)

MW - Entwicklung eines FEM-Modells zur Simulation der plantaren Druckverteilung in einem Trailrunning-Schuh

HFE - Predicting Degeneration of Lumbar Intervertebral Discs

SP - Biomechanics in Trail Running. A Pilot Study in Real-World Environment

HFE - Muskuläre Ermüdung und Quadrizeps-Hamstrings-Verhältnis beim alpinen Skifahren in Abhängigkeit des Fahrkönnens bei Frauen über 40

Uni Magdeburg - Vergleich des subjektiven und objektiven Traktionsverhaltens von Fußballschuhen mit unterschiedlichen Stollenkonfigurationen auf Rasen

MW - The potential of inverse kinematics for spinal load estimation during dynamic load cases in individualized multibody models of the torso

MW - Entwicklung eines digitalen Menschmodells zur Analyse der inneren und äußeren Kräfte beim Trail Running

MW - Erstellung und Validierung eines biomechanischen FEM-Modells der menschlichen Bandscheibe

MW - Optimierung eines biomechanischen Versuchsaufbaus zum dynamischen Testen von Osteosynthesen komplexer Beckenringfrakturen

HFE - Investigating the Effect of Different Footwear Conditions on Running Biomechanics Using Co-simulation

# Herzlich Willkommen

## Unsere neuen MitarbeiterInnen am Lehrstuhl für Ergonomie



Yuchen Liu, M.Sc. ist seit Mai 2023 als wissenschaftliche Mitarbeiterin am Lehrstuhl für Ergonomie tätig. Sie studierte im Bachelor Sicherheitstechnik in China. Anschließend absolvierte sie ihr Masterstudium in Human Factors Engineering an der Technischen Universität München. In ihrer Masterarbeit

am Lehrstuhl für Fahrzeugtechnik entwickelte sie ein nutzerzentriertes eHMI Konzept für einen autonomen Bus mit der Anwendung von virtueller Realität. Im Rahmen ihrer Forschung beschäftigt sich Frau Liu mit der Entwicklung und Evaluierung von HMI Konzepten, um die Interaktionen zwischen automatisierten Fahrzeugen und anderen Verkehrsteilnehmern im urbanen Raum zu unterstützen.



Jonas Schulze, M.Sc. ist seit August 2022 als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Lehrstuhl für Ergonomie tätig. Er studierte Maschinenwesen an der Technischen Universität München mit dem Schwerpunkt Fahrzeugtechnik und Aerodynamik. Im Rahmen der Masterarbeit entwickelte er ein

externes HMI für automatisierte Fahrzeuge und untersuchte, wie sich Distanzen und Lichtverhältnissen auf die Erkennbarkeit auswirken. Nach seinem Abschluss arbeitete er als Volatility Trader in der Finanzbranche. Sein Forschungsschwerpunkt liegt in der Mensch-Maschine-Schnittstelle der urbanen Mobilität.



Claudia Strasser ist seit April 2023 am Lehrstuhl für Ergonomie tätig. Sie bringt nicht nur eine langjährige Erfahrung im Servicebüro Finanzen der TUM mit, sondern auch aus der freien Wirtschaft als Geschäftsführungs- + Sales-Assistent insbesondere in den Bereichen IT und Forschung.

Ihr Aufgabenbereich umfasst die Drittmittelverwaltung und Finanzbuchhaltung. Dazu gehören Buchung sämtlicher Ein- und Ausgangsrechnungen inkl. der Anlagenbuchhaltung und Abschreibung, Erstellen finanzieller Verwendungs- und Abschlussnachweise entsprechend der Richtlinien der verschiedenen Geldgebern (Bund, BMBF, BMWK, DFG, EU, Stiftungen), Erstellung von Forecast und Budgetüberwachung Finanzüberwachung und Unterstützung der Budgetplanung, Projektverwaltung und -ablage entsprechend der Bestimmungen.



Tianyu Tang ist seit August 2022 als wissenschaftliche Mitarbeiterin am Lehrstuhl für Ergonomie tätig. Sie studierte Verkehrsingenieurwesen in China. Anschließend absolvierte sie ihr Masterstudium in Mobilität und Infrastruktur am Karlsruher Institut für Technologie. In ihrer Masterarbeit

beschäftigte sie sich mit qualitativen Validierung von Objekterkennungsalgorithmen im Kontext des Radverkehrs. Ihre Forschungsgebiete umfassen im Projekt i4Driving systematischer Simulation von Fahrsituationen mit unterschiedlichen Verkehrsteilnehmern in Kombination mit autonomen Fahrzeugen und vielfältigen Infrastrukturen sowie Interaktion automatisierter Fahrzeuge mit anderen Verkehrsteilnehmern.





Meine Name ist Uzunalioglu, Ömer Uzunalioglu und ich bin im Namen der IT im Sattel. Neben der IT spiele ich privat gerne Gitarre. Sollte ich also euer IT Problem nicht lösen können, spiele ich euch stattdessen gerne was vor!



Elena Malaika von Dewitz, M.Sc. ist seit Juli 2023 am Lehrstuhl für Ergonomie als wissenschaftliche Mitarbeiterin tätig. Zuvor absolvierte sie eine Ausbildung zur Mechatronikerin bei der Robert Bosch GmbH. Im Anschluss studierte sie im Bachelor Automotive Systems Engineering mit dem Schwerpunkt elektronische

Systeme an der Hochschule Heilbronn mit integriertem Auslandsaufenthalt in La Plata, Argentinien. Im Zuge ihrer Bachelorarbeit bei der Robert Bosch GmbH untersuchte sie die blickbasierte Erfassung von Ablenkung während der teilautomatisierten Fahrt. Frau von Dewitz schloss ihr Studium mit dem Master Ergonomie - Human Factors Engineering an der Technischen Universität München ab. Ihre Masterarbeit schrieb sie am Lehrstuhl für Ergonomie in Kooperation mit der Audi AG und führte dabei eine Simulatorstudie zur Ermittlung von Informationsanforderungen während der hochautomatisierten Fahrt auf Autobahnen durch. Am Lehrstuhl wird sich Frau von Dewitz mit der internen Mensch-Maschine-Kommunikation bei wiederholter Nutzung hochautomatisierter Fahrsysteme im städtischen Umfeld beschäftigen.

## Unsere neuen MitarbeiterInnen an der Professur für Sportgeräte und -materialien



Christian Fritzsche, M.Sc. ist seit April 2022 als wissenschaftlicher Mitarbeiter an der Professur für Sportgeräte und Sportmaterialien tätig. Er absolvierte seinen Bachelor an der Hochschule München im Studiengang Maschinenbau und wechselte für den Master Maschinenwesen an die TU München.

Seine Masterarbeit zum Thema „Statische und dynamische Muskeloptimierung im Vergleich am Beispiel eines Eingelenk-Wirbelsäulenmodells“ verfasste er an der Professur für Sportgeräte und

Sportmaterialien. Aktuell arbeitet er im ZIM-Projekt FitFeet an der Entwicklung einer orthopädischen Therapiesohle, welche über gezielte Stimulation die Durchblutung anregt, und die Muskulatur stimuliert. Im Rahmen seiner Promotion wird ein kontaktloses Messsystem entwickelt, um den Effekt therapeutischer Maßnahmen auf das vaskuläre System zu überwachen.



Kevin Lippmann (M.Sc.) ist Absolvent der Technischen Universität München, wo er einen Bachelor of Science in Sportwissenschaften erlangte. Anschließend absolvierte er seinen Bachelor of Engineering in Maschinenbau und seinen Master of Science in angewandter Forschung und Entwicklung

in den Ingenieurwissenschaften an der Technischen Hochschule Rosenheim. Seit Oktober arbeitet er als wissenschaftlicher Mitarbeiter an der Professur für Sportgeräte und -materialien und ist Doktorand im Bereich HMI-Designprozesse.

Kevin konnte bereits umfangreiche Berufserfahrungen sammeln, unter anderem als HiWi in verschiedenen Professuren und Laboren der TH Rosenheim und TUM. Er war auch mehrere Jahre als Werkstudent bei der BMW Group im Bereich "Interior of the Future" tätig. Zusätzlich ist er Mitbegründer einer auf den Bereich Orthesenbau spezialisierten Firma. Seine fachliche Expertise liegt vor allem in der Konstruktion und Entwicklung von Orthesen und Prothesen sowie im HMI-Design, der Biomechanik und dem Prototypenbau. In seiner Freizeit nimmt Kevin gerne an Wettbewerben wie Makeathons teil und spielt leidenschaftlich Tennis.



Anne Weinfurtner, M.Eng. ist seit Januar 2023 an der Professur für Sportgeräte und -materialien. In Zusammenarbeit mit ExploreTUM entwickelt sie im Projekt „MINT-Impulse an der Schule“ inhaltlich und didaktisch neue Projektkurse zur Aktivierung von weiblichem Nachwuchs im MINT-Bereich.

Dadurch bekommen Schülerinnen der 9. und 10. Jahrgangsstufe bereits vor der Entscheidung von Vertiefungsfächern an der Schule Einblick in anwendungsspezifische, naturwissenschaftliche Themen. Behandelt werden insbesondere Themen zur Messung und Verarbeitung von biophysikalischen Signalen sowie 3D-Scan und 3D-Druck. Anne Weinfurtner studierte an der Technischen Hochschule Deggendorf Medientechnik und spezialisierte sich im Masterstudiengang Medientechnik und -produktion ebenfalls an der Technischen Hochschule Deggendorf im Bereich Industrielles Multimedia.

---

Für mehrere bewährte Mitarbeiter endete ihre erfolgreiche Zeit am Lehrstuhl oder an der Professur und sie konnten sich in Industrie und Wirtschaft neuen Herausforderungen mit den hier erworbenen Fähigkeiten stellen:

**Deike Albers, Caroline Adam, Martin Dorynek, Nicole Fritz, Philipp Maruhn, Christina Harbauer-Rieß, Tobias Hecht, Aljoscha Hermann, Luis Kalb, Michael Rettenmeier, Andreas Rolle und Pia Wald**

Für ihre persönliche und berufliche Zukunft wünschen wir allen viel Erfolg!


# Herzlichen Glückwunsch zum 80. Geburtstag Prof. Heiner Bubb

## Projektübersicht

Seit März 2023 bearbeitet der Lehrstuhl für Ergonomie im Rahmen eines Forschungsauftrags von der Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt) ein Projekt, in dem ein Informations- und Warnkonzept hinsichtlich dessen Usability und Akzeptanz bewertet werden soll. Dieses Konzept und weitere Rahmenbedingungen werden zunächst zusammen mit dem Unterauftragnehmer proband15 GmbH entwickelt und sollen im Anschluss am Lehrstuhl für Ergonomie in einer Fahrsimulation validiert werden.



Lehrstuhl für Ergonomie  
TUM School of Engineering and Design  
Technische Universität München



## Programm

zum  
Festkolloquium für Prof. Heiner Bubb  
am  
Freitag, den 23. Juni 2023 ab 15:00 Uhr  
im Hörsaal MW 0350 | Boltzmannstr. 15 | 85748 Garching

15:00	Begrüßung Prof. Bengler im MW0350
15:10	Ansprache Prof. Bubb
15:40	Grußwort Prof. Engstler
15:50	Grußwort Prof. Remlinger
16:00	Grußwort Prof. Spanner-Ulmer
16:10	Grußwort Prof. Sträter
16:20	Grußwort Dr. Gillmeister (ECN)
16:30	Grußwort Prof. Schmauder (GfA)
16:40	Grußwort Prof. Eckstein
16:50	Schlusswort Kolloquium
17:00	Get together mit kulinarischer Begleitung im <b>MW1350</b>

Wir freuen uns auf Ihr Kommen.



