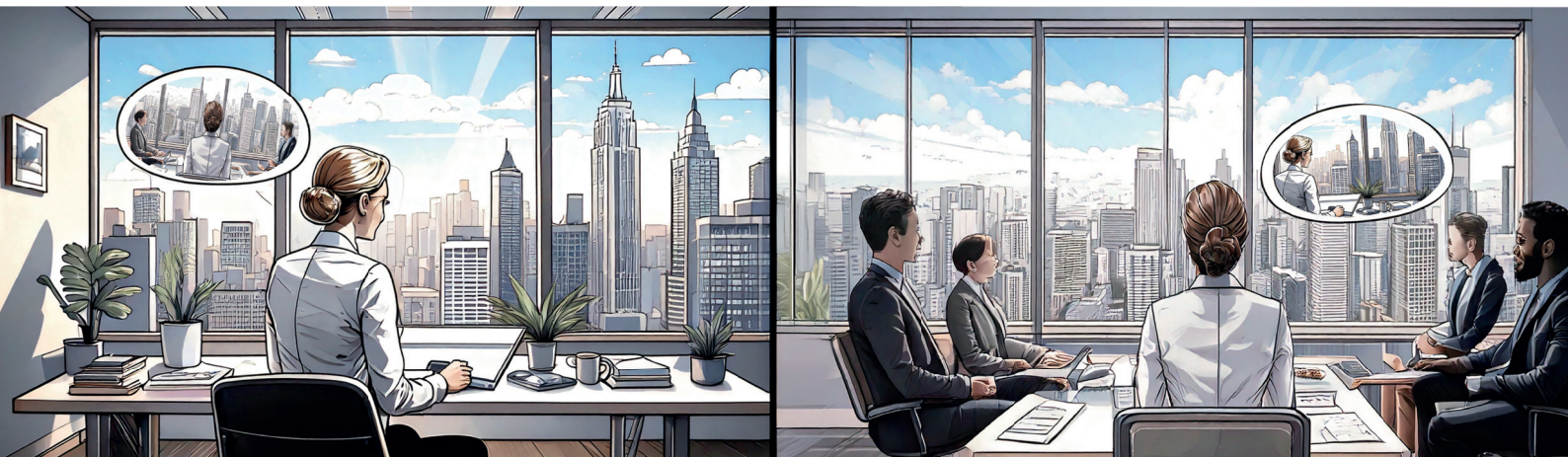


# Ergonomie

## AKTUELL



## **IMPRESSUM:**

### **Ergonomie Aktuell**

Die Fachzeitschrift des Lehrstuhls für Ergonomie erscheint im Selbstverlag einmal pro Jahr.  
Auflage 130

### **Herausgeber:**

Lehrstuhl für Ergonomie  
Technische Universität München  
Boltzmannstraße 15  
85748 Garching  
Tel: 089/ 289 15388  
<https://www.mec.ed.tum.de/lfe/startseite/>  
<https://www.mec.ed.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  
Dr.-Ing. Verena Knott

### **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 allgegenwärtigen Krisenmeldungen lassen einen den Eindruck gewinnen, es gibt Wichtigeres als sich mit Ergonomie zu beschäftigen. In der Tat sorgen die nationalen und internationalen Ereignisse auch bei uns am Lehrstuhl immer wieder für Verwunderung. Sei es, dass die wirtschaftlichen Umbrüche die Forschungsaktivitäten zum Automobil so heftig wie noch nie getroffen haben oder Tagungsreisen und Forschungsaufenthalte mit großer Sorgfalt geplant werden müssen.

Vor dem Hintergrund aller Turbulenzen gilt umso mehr, dass Unternehmen und Menschen in den verschiedensten Arbeitssituationen ergonomische Lösungen brauchen, wenn es darum geht, global erfolgreich und im Alltag handlungsfähig zu sein.

Wenn Sie durch diese Ausgabe der Ergonomie aktuell blättern, wird Ihnen auffallen, dass wir mit nahezu allen Aktivitäten Themen betrachten, die in den Zielen der UN als Herausforderungen genannt werden und eine systemische Herangehensweise erfordern.

Diese systemische Sicht einerseits und die Expertise zur ergonomischen Detaillösung andererseits geben wir auch den Human Factors Studierenden mit, die sie auf verschiedenste Domänen anwenden und Technologien Richtung geben.

Einige Projekte und MitarbeiterInnen gehen auch dieses Jahr wieder an den Start und ich wünsche allen viel Erfolg. Mit dem Living Lab Future Work wird der Lehrstuhl einen zweiten großen Standort am Flughafen eröffnen. Sie dürfen gespannt sein.

Es freut mich sehr, dass viele Forscherinnen und Forscher, die ich 2024 im Sabbatical besucht habe, uns dieses Jahr einen Gegenbesuch abstatten. Inzwischen waren die Professorinnen Linda Boyle (USA), Friedrich Shih und Rudy Ying Yin (Taiwan) zu Besuch und weitere Besucher haben sich angekündigt. Gerade in diesen volatilen Zeiten ist es wichtig, den persönlichen Austausch zu pflegen.

In diesem Jahr – genauer gesagt – im Herbst werden wir Professor Senner in den Ruhestand verabschieden. Ich danke ihm an dieser Stelle für sein außerordentliches Engagement in den Human Factors Engineering Studiengängen, denen er eine ganz eigene Prägung mitgegeben hat. Und auch dafür, dass er uns immer wieder aus der Welt der Industrie und Automobile auf die Berge und zu sportlichen Aktivitäten entführt hat.

Die Zeiten sind unruhig und werden es wohl auch bleiben. Die Ausrichtung unserer Forschung am Menschen und eine an Werten orientierte Lehre machen uns handlungsfähig.

Ihr Klaus Bengler





|   |    |
|---|----|
| TUM SPIRIT – Software Platform for Improving Relationshipbuilding, Interpersonal Skills, and Teamwork<br><i>Jonas Bender und Rutuja Joshi</i>                       | 06 |
| MiRoVA – Migration of Road Vehicle Automation<br><i>Tianyu Tang</i>   | 08 |
| OpAI4DNCS – Maschinenführerzentrierte Parametrierung von künstlicher Intelligenz für eng gekoppelte, verteilte, vernetzte Steuerungssysteme<br><i>Theresa Prinz</i> | 12 |
| SALSA – Intelligente, anpassungsfähige Anzeigekonzepte im LKW<br><i>Anna Eckl</i>   | 14 |
| STADT:up Perspektiven urbaner Mobilität<br><i>Yuchen Liu, Malaika von Dewitz, Verena Pongratz, Jonas Schulze und Niklas Grabbe</i>                                  | 16 |
| Ergonomische Roboterintegration in der Medizin: Ein Halbzeitbericht aus dem ForNeRo-Projekt<br><i>Max Bergholz</i>  | 21 |
| Modellierung des thermischen Komforts in Fahrzeuginnenräumen unter transienten Bedingungen<br><i>Yijie Sheng</i>  | 23 |
| Interaktionsräume zwischen Menschen und sich autonom bewegenden Systemen (sabeS) – Projektabschluss<br><i>Olivia Herzog und Annika Boos</i>                         | 27 |
| KI.Fabrik – Erfolgreicher Abschluss des Forschungs- und Entwicklungsprojekts<br><i>Theresa Prinz</i>  | 29 |
| LabCampus<br><i>Klaus Bengler</i>   | 32 |
| Veröffentlichungen von Sommer 2024 bis Sommer 2025  | 34 |
| Dissertationen  | 37 |
| Abgeschlossene Masterarbeiten   | 40 |
| Unsere Lehrbeauftragte am Lehrstuhl für Ergonomie   | 43 |
| Neue Mitarbeitende und Abschied   | 44 |
| Gedanken zum Abschied – Prof. Senner geht in Ruhestand  | 46 |

# TUM SPIRIT – Software Platform for Improving Relationship-building, Interpersonal Skills, and Teamwork

Jonas Bender und Rutuja Joshi

Der Ausbruch der COVID-19-Pandemie hat einen bedeutenden Wandel in der digitalen Lehrmethodik ausgelöst. Im Mittelpunkt dieses Wandels steht der Übergang von einem überwiegend frontalen Unterricht zu einer rein digitalen Ausbildung hin zu einem eher gemischten oder hybriden Lernansatz. In diesem Zusammenhang ist es wichtig, die laufenden Entwicklungen an der Technischen Universität München (TUM) zu beleuchten und zu zeigen, wie sie sich auf die aktuelle Situation eingestellt haben. Bei näherer Betrachtung zeigt sich ein kritisches Problem: Die Studierenden sind oft auf sich allein gestellt, wenn sie die Herausforderungen des hybriden Lernens ohne angemessene Unterstützung oder Anleitung meistern müssen.

Hybrides Lernen, eine Mischung aus Online- und Präsenzunterricht, in der TUM-Lehrverfassung (2018) auch als „Blended Learning“ bezeichnet, birgt ein enormes Potenzial, bringt aber auch einzigartige Herausforderungen mit sich, insbesondere für Studierende, die sich isoliert fühlen oder Schwierigkeiten haben, sich an die im Vergleich zum traditionellen Unterricht andere Dynamik anzupassen. Trotz des weit verbreiteten Glaubens, dass eine gute Bildung ausschließlich auf Vorlesungen beruht, plädieren Forschungs- und Bildungsrahmen, wie die vom Weltwirtschaftsforum vorgeschlagenen, für einen ganzheitlicheren und kollaborativen Ansatz in der Bildung.

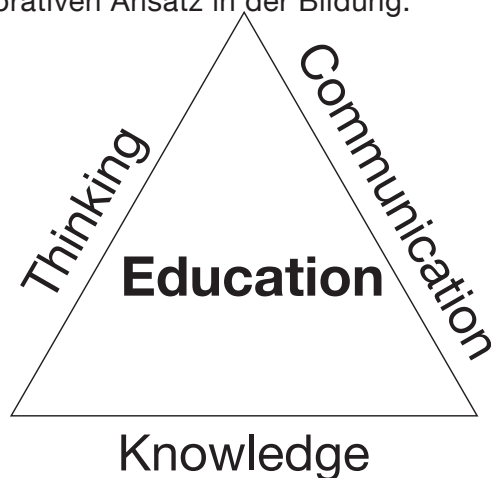


Abb.1: Kernkompetenzen der Bildung (Buchwald, 2016).

Dies wird auch durch das Bildungsdreieck von Buchwald (2016) unterstützt: Kernaspekte der Bildung können als gleichseitiges Dreieck dargestellt werden. Die drei Dimensionen fungieren als symbolische Repräsentationen von Wissen, Denken und kommunikativen Kompetenzen. Wissen bezieht sich dabei primär auf deklarative Inhalte, während das Denken die Anwendung vielfältiger kognitiver Strategien zum Wissenserwerb – etwa Problemlösen, Beschreiben, Erklären und Interpretieren – umfasst. Kommunikationsfähigkeit wird in diesem Kontext als die Fähigkeit definiert, eigene Gedanken, Ideen oder Thesen auf transparente und nachvollziehbare Weise zu vermitteln (Buchwald, 2016; Wiedner, 2014). Es ist jedoch festzustellen, dass der Aspekt der Wissenskommunikation in pädagogischen Einrichtungen oftmals nur unzureichend Beachtung findet.

Aus dieser Erkenntnis heraus wurde am Lehrstuhl für Ergonomie ein innovativer Prototyp zur Unterstützung studentischer Projektarbeit in einer hybriden Lernumgebung entwickelt. Dieses Tool, das von Blended-Learning-Konzepten inspiriert ist, integriert eine Persönlichkeitsbeurteilung auf der Grundlage des Big-Five-Modells, um die Selbstwahrnehmung der Studierenden und die Entwicklung von Teamfähigkeiten zu fördern (Costa & McCrae, 1992; Borkenau & Ostendorf, 2008). Auf diese Weise fördert es nicht nur das gemeinschaftliche Lernen, sondern unterstützt auch das umfassendere Ziel, effektiv zu einem hybriden Bildungsmodell überzugehen, das mit einer ganzheitlichen Lehrmission übereinstimmt.

Derzeit berücksichtigt diese Plattform in erster Linie die Perspektive der Studierenden als Hauptakteure. Die Rolle des wissenschaftlichen Personals und der Lehrenden ist jedoch ebenso wichtig. Zusammen mit der internen Förderlinie der TUM Ideas Competition "Academic Enrichment of the Excellence Strategy" wird in den nächsten 2 Jahren diese Kooperationsplattform unter Berücksichtigung der Bedürfnisse aller universitären Akteure weiterentwickelt und vollständig in den akademischen Alltag an der TUM integriert. Dieser umfassende Ansatz wird sicherstellen,

dass sowohl Studierende als auch Lehrende bei der Navigation durch die sich entwickelnde Landschaft des hybriden Lernens unterstützt werden.

## Literatur

- Borkenau, P. & Ostendorf, F. (2008). NEO-Fünf-Faktoren Inventar nach Costa und McCrae (NEO-FFI). Manual (2. Aufl.). Göttingen: Hogrefe, 2008.
- Buchwald, P. (2016). Einführung in die Allgemeine Didaktik und Unterrichtsforschung.
- Costa, P. T., & McCrae, R. R. (1992). Revised NEO Personality Inventory (NEO-PI-R) and NEO Five-Factor Inventory (NEO-FFI) professional manual. Psychological Assessment Resources.
- John, O. P., & Srivastava, S. (1999). The Big-Five trait taxonomy: History, measurement, and theoretical perspectives. In L. A. Pervin & O. P. John (Eds.), *Handbook of personality: Theory and research* (2nd ed., pp. 102–138). Guilford Press.
- Prasch, L. (2022). Creativity-a human factors challenge. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.31941.73440>
- Prasch, L., & Bengler, K. (2019). Ergonomics in the Age of Creative Knowledge Workers – Define, Assess, Optimize. *Advances in Intelligent Systems and Computing*, 821, 349–357. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-96080-7\\_41](https://doi.org/10.1007/978-3-319-96080-7_41)
- TUM (2018). TUM Lehrverfassung. In: [https://www.tum.de/fileadmin/user\\_upload\\_87/ga45hiy/TUM\\_Lehrverfassung\\_2018.pdf](https://www.tum.de/fileadmin/user_upload_87/ga45hiy/TUM_Lehrverfassung_2018.pdf)
- World Economic Forum. (2020). Future of Jobs Report 2020. World Economic Forum.
- Wiedner, K.-H. (2014). Ein Widerspruch? FH-BaStg MilFü. [www.stud.phzh.ch/michael.schuler/pages/gs\\_athen.html](http://www.stud.phzh.ch/michael.schuler/pages/gs_athen.html)

# MiRoVA – Migration of Road Vehicle Automation

Tianyu Tang



## Forschungsprojekt MiRoVA (DFG) – Hintergrund, Struktur und Vorgehen

Die technische Entwicklung im Bereich der Fahrerassistenz- und Automationssysteme ist inzwischen so weit fortgeschritten, dass hohe Automatisierungsgrade der Fahrzeugführung bis hin zur Hoch- und Vollautomatisierung möglich erscheinen. Stark vereinfacht dargestellt wird dabei der Mensch im Führungsprozess durch ein technisches Untersystem, einen Fahrroboter ersetzt, mit dem ein/e Nutzer\*in weiterhin kommunizieren kann. In der Öffentlichkeit entsteht manchmal der Eindruck, dass diese Entwicklung sehr schnell, sozusagen über Nacht passiert und sich auf alle Bereiche des Transports ausweiten wird. Der tatsächliche Einsatz vollautonomer Fahrsysteme „immer und überall“ ist in naher Zukunft jedoch noch nicht realisierbar. Viel wahrscheinlicher ist es, dass es eine schrittweise Entwicklung von teil- über hoch- hin zu vollautomatisierten und letztlich auch autonomen Systemen geben wird, bei der sich sowohl Konzepte, technische Untersysteme als auch die Nutzer\*innen mit der Zeit über verschiedene Stufen weiterentwickeln werden. Eine lineare, stark vereinfachte Darstellung sind sogenannte Roadmaps, wie sie z.B. der VDA (Bartels & Ruchatz, 2015) basierend auf von der Forschung unterstützten Arbeitsgruppen der BAST (z.B. Gasser et al., 2012) beschrieben haben. Dieser Übergang wird im Folgenden als Migration der Automationsstufen bezeichnet. Der Zielpunkt muss nicht notwendigerweise ein komplett automatisiertes System sein; es kann auch ein System in guter Balance zwischen Automation und menschlichen Freiheitsgraden sein, das unterschiedliche Assistenz- und Automationsgrade anbietet. Die Abteilungen, die an der Entwicklung und Forschung dieser Technologien arbeiten, konzentrieren sich in der Regel auf technische Herausforderungen und weniger auf die Bedürfnisse der Nutzer\*innen oder des gesamten Systems. Aber

zumindest jetzt lässt sich verstehen, dass in Zukunft Fahrzeuge mit unterschiedlichen Automatisierungsstufen gleichzeitig existieren könnten und dass es Übergänge zwischen diesen Stufen geben wird, die möglicherweise sicherheitskritisch sind.

Das von der DFG geförderte Projekt „MiRoVA – Migration of Road Vehicle Automation“ in diesem Zusammenhang den **Automatisierungsprozess und die Migrationspfade von Fahrzeugen** fokussiert. Dies schließt nicht nur die **mikroskopische** Migration zwischen Fahrzeugautomatisierung und Fahrern, anderen Verkehrsteilnehmer\*innen und technischen Systemen ein, sondern auch die **makroskopische** Perspektive auf den Wandel im Verkehrssystem. Dazu gehört zum Beispiel die Integration automatisierter Fahrzeuge in den bestehenden Verkehr, insbesondere wie solche Fahrzeuge in den Verkehr mit nicht automatisierten oder niedrig automatisierten Fahrzeugen sowie anderen Verkehrsteilnehmer\*innen wie Fußgänger\*innen oder Radfahrer\*innen integriert werden können, ohne Kooperationsprobleme zu verursachen.

Das übergeordnete Ziel dieses Projekts ist es, die Auswirkungen der gegenwärtigen und zukünftigen Migration von Mensch-Technologie-Interaktionen in automatisierten Verkehrssystemen auf die Sicherheit und Effizienz des Straßenverkehrs sowie auf die Benutzerfreundlichkeit und Akzeptanz (einschließlich der Nutzererfahrung) zu identifizieren. Ein Beitrag zur Forschungsfrage der Mensch-Technologie Migration ist die Frage nach den Forschungsmethoden: Wie können und sollten die Migrationseffekte wissenschaftlich untersucht werden?

Um mit dem breiten Spektrum von Fragestellungen umzugehen, ist es sinnvoll, Institute aus verschiedenen Disziplinen zusammenzubringen, um sicherzustellen, dass das Problem aus unterschiedlichen Blickwinkeln betrachtet wird. Da der Ausgangspunkt die Fahrzeugautomatisierung ist, ist es notwendig, zumindest ein spezialisiertes Institut zu haben, das die Betrachtung der technischen Machbarkeit und Systemarchitektur abdeckt. Da viele der zu erwar-

tenden Fragestellungen mit Menschen zu tun haben oder auf menschlicher Ebene auftreten, ist es wichtig, über fundierte Expertise in Ergonomie und Human Systems Integration zu verfügen. Diese Expertise ist erforderlich, um Modelle der menschlichen Interaktion mit Automatisierung und der Umwelt sowie deren Gestaltungsaspekte zu bearbeiten, wobei das reiche Wissen über menschliche Modelle, das in den letzten Jahren entstanden ist, verwendet wird. Über die menschliche Ebene und Fahrzeugtechnik hinaus beeinflusst die Automatisierung den Verkehr. Dafür entwickelt das verkehrswissenschaftliche Institut die Grundlage für die Gesamtmodellierung und kombiniert die einzelnen Aspekte in das Gesamtverkehrsmodell, das dann verwendet werden kann, um Aussagen zur Verkehrssicherheit und -effizienz zu treffen. Besonders betont werden sollte, dass alle beschriebenen wissenschaftlichen Arbeiten in den Unterprojekten so gestaltet sind, dass sie auch in ihrer eigenen Disziplin Wirkung und Reichweite haben, aber die wahre Forschungsleistung liegt in der inter-

disziplinären Kombination, bei der die Bausteine für das Gesamtmodell zusammenkommen.

Aus der Vielzahl möglicher Anwendungsfälle wurden drei beispielhafte Nutzungsszenarien mit hohem Interaktions-/Kooperationspotenzial als Ausgangspunkt ausgewählt, die a) realistisch für L2/L3/L4-Systeme sein könnten, b) besonders kritisch sein könnten, c) tatsächlich modelliert werden könnten und d) ein hohes Potenzial für fruchtbare wissenschaftliche Interaktionen innerhalb der Forschungsgruppe haben:

- Auffahrt/Einfädeln Autobahn
- Spurwechsel Autobahn
- Queren (z.B. Verkehrsinsel mit Vulnerable Road Users, VRUs)

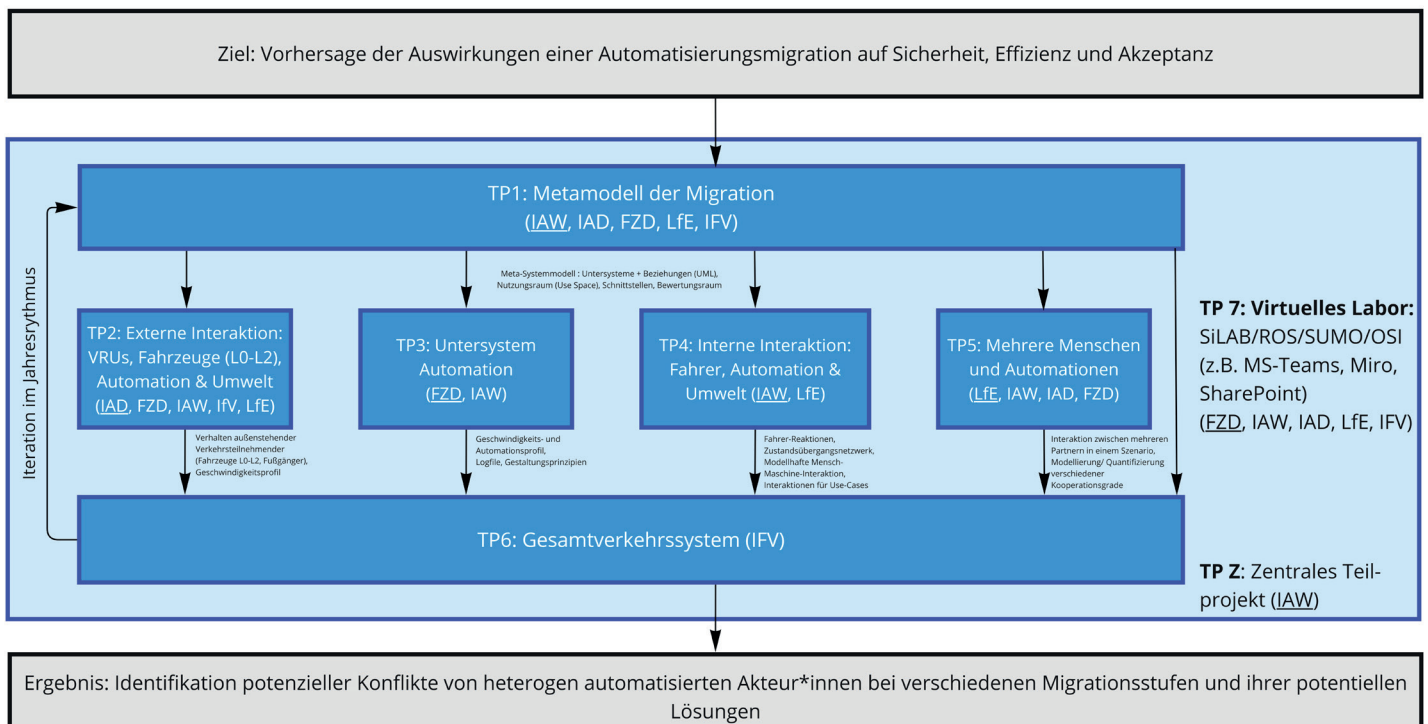


Abb. 1: Forschungsmethodik und grundsätzliche Vorgehensweise der Forschungsgruppe im Überblick

Der grundlegende Ansatz der Forschungsgruppe wird in Abbildung 1 gezeigt. Ausgehend von der grundlegenden Forschungsfrage sammelt TP1 das Wissen über Migration und Migrationseffekte in einem Metamodell. Basierend auf diesem Metamodell untersucht TP2 die Migration der externen Interaktion zwischen verletzlichen Verkehrsteilnehmer\*innen und automatisierten Fahrzeugen. TP3 untersucht die Migration der Automatisierung. TP4 untersucht die Migration der internen Interaktion und HMI, TP5 die Migration der Interaktion zwischen mehreren Fahrzeugen. TP6 integriert eine Teilmenge der Modelle aus TP1-5 in eine Verkehrssimulation und untersucht die Migrationseffekte auf den Verkehrsfluss und das taktische Verhalten. TP7 untersucht, wie die Forschung zu Migrationseffekten mit einem virtuellen Labor unterstützt werden kann.

## Beitrag des Lehrstuhls für Ergonomie

Der LfE ist primär in TP 5 „Mehrere Menschen und Automationen: Modellierung heterogen automatisierter Verkehrsteilnehmer\*innen und ihrer Kooperation“ tätig. Das Forschungsvorhaben wird in vier Jahren abschließen wobei der LfE hauptsächlich die Kooperation zwischen mehreren heterogen automatisierten Verkehrsteilnehmer\*innen untersucht und modelliert (Abbildung 2). Es wird erforscht, ob und wie die Kooperations- und Migrationsfähigkeit der Verkehrsteilnehmerinnen gezielt beeinflusst werden kann. Das Ziel ist es, ein tieferes Verständnis der Prozesse im Mischverkehr zu erlangen, mögliche Anreizsysteme zu untersuchen und diese gegebenenfalls anhand von Modellen zu evaluieren. Dabei sollen Anreize identifiziert werden, die sowohl zu positiven als auch zu negativen Ergebnissen in der Zusammenarbeit während der Migration führen könnten.

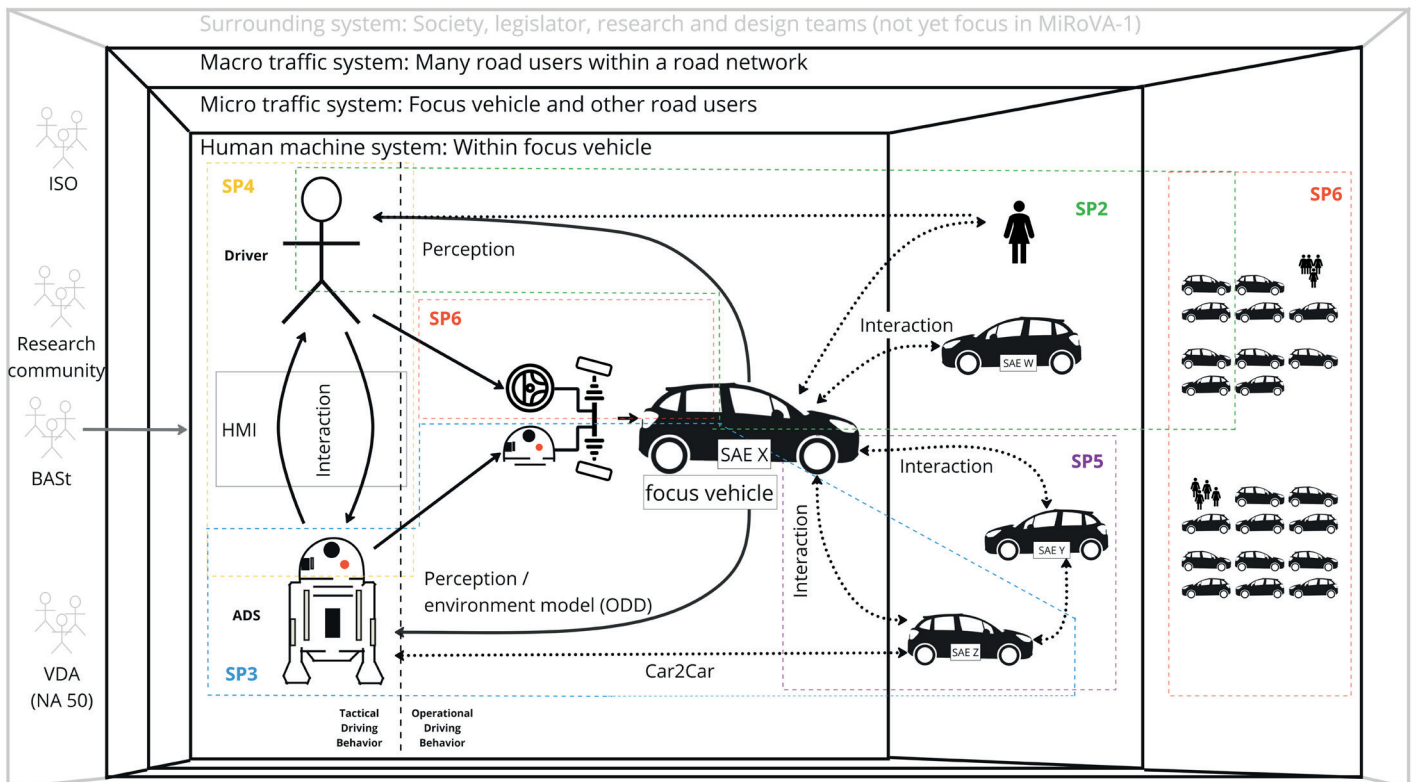


Abb. 2: Systemmodell für die Kooperation zwischen mehreren heterogenen automatisierten Verkehrsteilnehmern in TP5.

Zunächst wird auf Basis des Metamodells von TP1 eine systematisierte Ontologie entwickelt, um die Zusammenarbeit zwischen automatisierten Verkehrsteilnehmer\*innen zu untersuchen. Hierbei kommen UML2 und die Methode der funktionalen Resonanzanalyse (FRAM) zum Einsatz. Dieses qualitative Modell wird in Expertenworkshops validiert. Danach wird eine Feldbeobachtung durchgeführt, um die Ontologie und Interaktionsmuster auf das reale Verkehrsverhalten anzuwenden, einschließlich der Interaktionen mit einem sichtbar automatisierten „Wizard of Oz“-Fahrzeug.

Im Anschluss werden die qualitativen Modelle in quantitative mathematische Modelle unter Verwendung der Spieltheorie überführt, wobei der Fokus auf dem kooperativen Verhalten zwischen Verkehrsteilnehmer\*innen unterschiedlicher Automatisierungsstufen liegt. Im nächsten Schritt werden die Modelle quantifiziert und durch Fahrsimulationsstudien verfeinert, wobei das kooperative Verhalten, die Sicherheit und Effizienz über verschiedene Automatisierungsstufen und Durchdringungsraten hinweg bewertet werden. Basierend auf diesen Ergebnissen wird das Spieltheoriemodell mit Parametern der Migrationseffekte ergänzt, um Kooperation und Fahrverhalten in verschiedenen Migrationsszenarien vorherzusagen und schließlich in die Gesamtsimulation zu integrieren. Anschließend wird das Modell durch Fahrsimulationen validiert, wobei die Vorhersagen mit dem beobachteten Verhalten verglichen werden. Dabei kommen sowohl quantitative als auch qualitative Evaluationsmethoden zum Einsatz.

### **Im Projekt MiRoVA arbeiten als Forschungsgruppe zusammen:**

- Karlsruher Institut für Technologie - Institut für Verkehrswesen (IfV) RWTH Aachen University - Institut für Arbeitswissenschaft (IAW)
- Technische Universität Darmstadt - Institut für Arbeitswissenschaft (IAD)
- Technische Universität Darmstadt - Fachgebiet Fahrzeugtechnik (FZD)
- Technische Universität München - Lehrstuhl für Ergonomie (LfE)

### **Literatur**

- Bartels, A. & Ruchatz, T. (2015). Einführungsstrategie des Automatischen Fahrens. *at - Automatisierungstechnik*, 63(3), 168-179. <https://doi.org/10.1515/auto-2014-1145>
- Gasser, T.M., Arzt, C., Ayoubi, M., Bartels, A., Bürkle, L., Eier, J., Flemisch, F., Häcker, D., Hesse, T., Huber, W., Lotz, C., Maurer, M., Ruth-Schumacher, S., Schwarz, J., Vogt, W. (2012). Rechtsfolgen zunehmender Fahrzeugautomatisierung: Gemeinsamer Schlussbericht der Projektgruppe. *Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen - Fahrzeugtechnik (F)*, vol. 83. Wirtschaftsverl. NW Verl. für neue Wissenschaft, Bremerhaven.

# OpAI4DNCS – Maschinenführer-zentrierte Parametrierung von künstlicher Intelligenz für eng gekoppelte, verteilte, vernetzte Steuerungssysteme

Theresa Prinz



Das von der Bayerischen Forschungsstiftung geförderte Projekt OpAI4DNCS wurde im November 2024 erfolgreich abgeschlossen. Über die Projektlaufzeit von 3,5 Jahren wurde an der maschinenführer-zentrierten Parametrierung von künstlicher Intelligenz für eng gekoppelte, verteilte, vernetzte Steuerungssysteme am Beispiel von Spezialtiefbaumaschinen geforscht.



Abb. 1: Untersuchungsobjekt Seilgreifer der BAUER Maschinen GmbH (BAUER Maschinen GmbH)

## Projektbeschreibung

Komplexe, industrielle Steuerungssysteme sind oftmals stark abhängig von menschlichem Erfahrungswissen und Intuition. Die bestmögliche Steuerung von Maschinen ist aber von entscheidender Bedeutung für deren effiziente Nutzung. Zwar bieten Methoden der künstlichen Intelligenz (KI) das Potential menschliches Wissen nachzubilden und damit nutzbar zu machen, jedoch scheitern diese häufig aufgrund der Komplexität einerseits und der verteilten Architektur industrieller Steuerungssysteme in der praktischen Anwendung andererseits.

OpAI4DNCS erforschte den Einsatz von KI auf Steuerungsebene in mobilen hydraulisch-elektrischen Maschinen am Beispiel komplexer Bohranlagen und deren Hydrauliksubsystemen zur Beschleunigung des Einrichtens und zur Effizienzsteigerung des Betriebs insbesondere bei unerfahrenen Maschinenführern.

Dazu wurden erstens adaptive, intelligente, lernende Steuerungssysteme auf Multi-Agentenbasis erforscht und über Liefergrenzen hinweg enger gekoppelt, um Totzeiten zu reduzieren. Die systematische Erhebung und Nutzung menschlichen Erfahrungswissens stellte zweitens die Erklärbarkeit und den sicheren Maschinenbetrieb auch in Grenzsituation sicher. Eine Plattform für den praktischen, industriellen Entwurf und Einsatz von shared control-Ansätzen zwischen Maschinenführer und Multi-Agenten-System (MAS), nutzbar in komplexen Maschinen mit verteilten Steuerungssystemen, wurde entwickelt und anhand einer Bohranlage für den Baubereich erprobt und etabliert.

## Beteiligung des Lehrstuhls für Ergonomie

Der Lehrstuhl für Ergonomie untersuchte in dem Projekt intensiv die Arbeitsaufgabe des Maschinenführers, das Erfahrungswissen sowie die Mensch-Maschine Interaktion in der Steuerung bestimmter Arbeitsprozesse von Seilgreifern. Es wurde ein abstrahiertes mentales Modell der Interaktion aus der Perspektive der Maschinenführer formalisiert (Prinz et al. 2024). Aufbauend auf den verstandenen Ur-

sache-Wirkungs-Zusammenhängen wurde ein HMI-Konzept für die Interaktion mit den neuen Assistenten entwickelt und evaluiert der Roboter gliedern lassen. Daraufhin wurde eine Ontologie aus den zwölf wichtigsten Kommunikationsabsichten eines mobilen Roboters aufgestellt.



Abb. 2: Konsortium beim Abschlusstreffen im November 2024 (Beatriz Frances Baldes | TUM)

Wir bedanken uns bei allen Projektpartnern, -partnerinnen und der Bayerischen Forschungsförderung für die sehr gute Zusammenarbeit!

## Im Projekt entstandene Veröffentlichungen

Hujo-Lauer, D., Vogel-Heuser, Birgit, Krüger, Marius Prinz, Theresa, Cha, Suhyun, Waterman, Daniel, Keraus, Cornelia, Beerkircher, Sebastian, Pohl, Daniel (2025). (accepted) Integration of Human Operators in Highly

Automatable Systems: A Discussion on the Role of Automation and Human Involvement in Large-scale Civil Engineering Machinery. In: International Conference Proceedings on Human-Computer Interaction 2025 (HCI International 2025). Springer Nature Switzerland.

Krüger, M., Vogel-Heuser, B., Waterman, D., Cha, S., Hujo, D., Prinz, T., Pohl, D. & Semel, M. (2025). Inferring Cable-Suspended End-Effector Oscillations from Hydraulic Actuators' Responses in Diaphragm Wall Hydraulic Grabs. IEEE Transactions on Automation Science and Engineering, pp. 1-16. <https://doi.org/10.1109/TASE.2024.3521599>

Prinz, T., Joshi, R., Ehrle, P., Bengler, K., Hujo, D., Krüger, M., Vogel-Heuser, B., Beerkircher, S. & Keraus, C. (2024). How does it work? Collecting mental models for the user-centered design of assistance systems: a construction machinery case study. Intelligent Human Systems Integration (IHSI 2024): Integrating People and Intelligent Systems, AHFE International (Palermo / Italien). <https://doi.org/10.54941/ahfe1004505>

Krüger, M., Vogel-Heuser, B., Hujo, D., Walch, J., Prinz, T., Pohl, D., Cha, S. & Keraus, C. (2023). Synthetic Data Generation for the Enrichment of Civil Engineering Machine Data. In: Fottner, J., Nübel, K., Matt, D. (Hrsg.): Construction Logistics, Equipment, and Robotics. Lecture Notes in Civil Engineering. Springer Nature Switzerland, pp. 166-175. [https://doi.org/10.1007/978-3-031-44021-2\\_18](https://doi.org/10.1007/978-3-031-44021-2_18)

Krüger, M., Vogel-Heuser, B., Hujo, D., Prinz, T., Pohl, D., Echtler, M., Semel, M., Keraus, C., Cha, S. & Waterman, D. (2023). Shared-Control Ansatz zur Operator-KI Interaktion für die Großbaumaschinensteuerung in VDI-Kongress AUTOMATION (VDI KA), VDI Verlag, Jun. 2023, pp. 559-570. <https://doi.org/10.51202/9783181024195-559>

## Projektpartner

- Technische Universität München, Lehrstuhl für Automatisierung und Informationssysteme
- HAWE Hydraulik SE
- BAUER Maschinen GmbH
- Sensortechnik Wiedemann GmbH

## Förderung



Bayerische  
Forschungsförderung

Das Vorhaben wurde von der bayerischen Forschungsförderung (BFS) gefördert.

# SALSA – Intelligente, anpassungsfähige Anzeigekonzepte im LKW

Anna Eckl



## Das Förderprojekt SALSA

Das vom Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz geförderte Forschungsprojekt SALSA („Smarte, Adaptive und Lernbare Systeme für Alle“) hat zum Ziel, die Sicherheit und Effizienz des zukünftigen Mischverkehrs zu erhöhen. Im Mittelpunkt steht die Entwicklung von Technologien und Konzepten, die eine reibungslose Interaktion innerhalb und außerhalb des Fahrzeugs ermöglichen. Ein Kernaspekt ist hierbei die Anpassungsfähigkeit der Interaktionstechnologien an unterschiedliche Situationen und Bedürfnisse der Nutzenden. Dies ist besonders relevant für Lkw-Fahrende, denn deren Arbeitsumfeld stellt spezielle Anforderungen an Anzeige- und Bedienkonzepte.

## Herausforderungen im Lkw – Anpassungsfähigkeit als Lösung?

Lkw-Fahrende sehen sich einer steigenden Anzahl von Herausforderungen gegenüber, darunter der stressige Arbeitsalltag mit allgegenwärtigem Zeitdruck (Lemke et al., 2020; Williams et al., 2017; Winter et al., 2024) sowie komplexe Mensch-Maschine-Schnittstellen im Fahrzeug mit zahlreichen Anzeige- und Bedienelementen (Schölkopf, 2023). Der Umfang dieser Interaktionselemente soll laut Prognosen sogar weiterhin ansteigen (Hilgers, 2021). Eine mögliche Lösung, um diesen Herausforderungen zu begegnen, sind adaptive Mensch-Maschine-Schnittstellen (engl. Human Machine Interface, HMI). Solche Schnittstellen ermöglichen eine flexible Anpassung an die verschiedenen Bedürfnisse Nutzender (Rothrock et al., 2002) und an die unterschiedlichen Situationen, in denen diese sich befinden. Dadurch kann die Gebrauchstauglichkeit (engl. Usability) verbessert werden, denn eine adaptive Bereitstellung von Funktionen und Anzeigen je

nach aktueller Situation und Ziel ist oft effizienter als eine statische Anzeige (Köhler, 2019; Thompson et al., 2004). Auch lässt sich das Nutzungserlebnis (engl. User Experience, UX) steigern, da solche Systeme als empathisch wahrgenommen werden und durch ihre Neuartigkeit begeistern (Kiefer et al., 2017; Rittger et al., 2022). Nicht zuletzt konnten im Pkw bereits positive Auswirkungen sich anpassender Anzeigen auf die Sicherheit nachgewiesen werden, beispielsweise durch eine Reduktion der Ablenkung im Straßenverkehr (Köhler, 2019; Reinmüller, 2019). Somit zeigt Adaptivität einen Weg auf, wie sich die Mensch-Maschine-Interaktion auch im Lkw verbessern lassen kann.

Genau hier setzt der LfE in Kooperation mit der MAN Truck & Bus SE an. Denn bisher wurde noch nicht ausreichend an Adaptivität im Nutzfahrzeug geforscht (Schölkopf, 2023). Daher soll untersucht werden, an welchen Stellen anpassungsfähige Systeme die Fahrenden unterstützen können und wie diese gestaltet werden sollen.

## Vorgehen im Projekt SALSA

In einem iterativen Prozess wird ein adaptives Anzeige- und Bedienkonzept für den Lkw gestaltet. Ausgangspunkt war eine umfassende Analyse der Nutzenden und des Nutzungskontexts. Durch Fokusgruppen mit Lkw-Fahrenden sowie mit HMI-Expert:innen wurden Anwendungsfälle und Anforderungen identifiziert (Eckl et al., 2025). Die Ergebnisse zeigen, dass der Wunsch nach einer zum jeweiligen Einsatzzweck passenden Funktionsauswahl vorhanden ist. Auch adaptive Navigation mit Echtzeit-Routenanpassungen fand breite Zustimmung. Weitere Vorschläge beinhalteten adaptive Warnsysteme und situative Komplexitätsreduktion des HMI. Besonders hervorgehoben wurde die hohe Komplexität der Bedienung. Diese spiegelt sich in der mehrstufigen Menüstruktur, dem breiten Funktionsspektrum und dem hohen technischen Anspruch wider. Fahrer:innen berichteten, dass Funktionen schwer auffindbar seien oder aufgrund komplizierter Menüführung ungenutzt blieben. Eine mögliche Lösung sehen sie in frei belegbaren Favoritentasten sowie der Speicherung personalisierter Einstellungen, um die Bedienung effizienter

zu gestalten. Diese Ergebnisse unterstreichen das Potenzial adaptiver Systeme, um sowohl die Effizienz als auch die Zufriedenheit der Fahrer:innen zu steigern.

Die Umsetzung adaptiver HMI im Lkw bringt nach Ergebnissen der Fokusgruppen jedoch auch Herausforderungen mit sich. Diese umfassen Human Factors Fragestellungen, rechtliche und ethische Rahmenbedingungen, sowie wirtschaftliche und technische Aspekte. Besonders hervorzuheben sind die Bedenken hinsichtlich Kompetenzverlagerung, die in allen Fokusgruppen betont wurden. Fahrer:innen äußerten die Sorge, durch zu intelligente Systeme bevormundet zu werden. Expert:innen unterstrichen die Notwendigkeit, den Nutzenden stets die Kontrolle über adaptive Funktionen zu lassen. Es ist zu betonen, dass adaptive HMI mit Bedacht gestaltet werden müssen. Entscheidend wird sein, die Adaptivität so umzusetzen, dass sie unterstützend und nicht kontrollierend wahrgenommen wird.

Daher werden im nächsten Schritt auf Basis dieser Analysen erste Prototypen erstellt und in steigenden Reifegraden im Fahrsimulator hinsichtlich der beschriebenen Aspekte evaluiert. In der letzten Projektphase werden die entwickelten Konzepte in Realfahrzeugstudien über mehrere Wochen hinweg erprobt.



## Literatur

- Eckl, A., Mertens, S., Hillenmeier, E., Rittger, L. & Bengler, K. (2025). Anwendungsfälle für Adaptivität im Lkw – Ergebnisse von Fokusgruppen mit Fahrer:innen und Expert:innen. In 71. GfA-Frühjahrskongress. Symposium im Rahmen der Tagung von Gesellschaft für Arbeitswissenschaft, Aachen.
- Hilgers, M. (2021). *The Driver's Cab: Commercial Vehicle Technology* (2. Aufl.). Springer-Verlag. <https://link.springer.com/content/pdf/10.1007/978-3-662-65136-0.pdf>
- Kiefer, P., Giannopoulos, I., Athanasios Anagnostopoulos, V., Schöning, J. & Raubal, M. (2017). Controllability matters: The user experience of adaptive maps. *Geoinformatica*, 21(3), 619–641. <https://doi.org/10.1007/s10707-016-0282-x>
- Köhler, L. (2019). *Adaptives Informationskonzept für beanspruchende urbane Fahrsituationen* [Dissertation, München]. K10plus.
- Lemke, M. K., Apostolopoulos, Y. & Sönmez, S. (2020). A novel COVID-19 based truck driver syndemic? Implications for public health, safety, and vital supply chains. *American Journal of Industrial Medicine*, 63(8), 659–662. <https://doi.org/10.1002/ajim.23138>
- Reinmüller, K. (2019). *Towards the adaptation of warning driver assistance: behavioral effects and implications* [Cumulative Dissertation, Katholische Universität Eichstätt-Ingolstadt]. RIS. <https://opus4.kobv.de/opus4-kueichstaett/frontdoor/index/index/docid/524>
- Rittger, L., Engelhardt, D. & Schwartz, R. (2022). Adaptive User Experience in the Car—Levels of Adaptivity and Adaptive HMI Design. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 23(5), 4866–4876. <https://doi.org/10.1109/tits.2021.3124990>
- Rothrock, L., Koubek, R., Fuchs, F., Haas, M. & Salvendy, G. (2002). Review and reappraisal of adaptive interfaces: Toward biologically inspired paradigms. *Theoretical Issues in Ergonomics Science*, 3(1), 47–84. <https://doi.org/10.1080/14639220110110342>
- Schölkopf, L. (2023). *Entwicklung und Evaluation einer adaptiven Mensch-Maschine-Schnittstelle für Nutzfahrzeuge* [Dissertation, Technische Universität München]. [mediatum.ub.tum.de](https://mediatum.ub.tum.de/1712097). <https://mediatum.ub.tum.de/1712097>
- Thompson, C. A., Goker, M. H. & Langley, P. (2004). A Personalized System for Conversational Recommendations. *Journal of Artificial Intelligence Research*, 21, 393–428. <https://doi.org/10.1613/jair.1318>
- Williams, D. F., Thomas, S. P. & Liao-Troth, S. (2017). The Truck Driver Experience: Identifying Psychological Stressors from the Voice of the Driver. *Transportation Journal*, 56(1), 54–76. <https://doi.org/10.5325/transportationj.56.1.0054>
- Winter, J. de, Driessen, T., Dodou, D. & Cannoo, A. (2024). Exploring the challenges faced by Dutch truck drivers in the era of technological advancement. *Frontiers in Public Health*, 12(1352979). <https://doi.org/10.3389/fpubh.2024.1352979>

# STADT:up

## Perspektiven urbaner Mobilität

Yuchen Liu, Malaika Nkusi, Verena Pongratz, Jonas Schulze und Niklas Grabbe



### Das STADT:up Projekt

Das Projekt STADT:up (2023) entwickelt Konzepte und Pilotanwendungen für automatisiertes Fahren im urbanen Raum, die den Anforderungen der Nutzenden gerecht werden. Das 22-Partner-Konsortium aus Automobilindustrie, Zulieferern, Technologieanbietern und Forschung erforscht die gesamte Wirkkette – von Perzeption bis zur Manöverplanung. Das Ziel sind skalierbare Lösungen für komplexe innerstädtische Verkehrsszenarien und die Vernetzung individueller mit multimodaler Mobilität. Dabei entstehen realitätsnahe Mobilitätskonzepte unter Einbezug aller relevanten Stakeholder.

Das Projekt gliedert sich in die fünf Teilprojekte "Perspektiven urbaner Mobilität", "Human Factors", "Umgebung und Kontext", "Situationsanalyse und Planung" sowie "Automatisiertes Fahren". Der Lehrstuhl für Ergonomie beteiligt sich im Teilprojekt "Human Factors" und "Situationsanalyse und Planung", und leitet gemeinsam mit dem Lehrstuhl für Verkehrstechnik der TUM das Teilprojekt "Perspektiven urbaner Mobilität".

### Halbzeitpräsentation in Esslingen

Nach der erfolgreichen ersten Projekthälfte wurden zentrale Ergebnisse am 24. September 2024 im Neckar Forum Esslingen vor Fachpublikum sowie Vertreterinnen und Vertretern des Bundesministeriums für Wirtschaft und Klimaschutz präsentiert. Der Lehrstuhl für Ergonomie präsentierte mehrere Themen:

### Nutzeradaptive Tutoring-Konzepte für das teilautomatisierte Fahren

Studien zeigen, dass viele Autofahrer bislang unzureichend darüber informiert sind, welche Fahrerassistentensysteme (FAS) in ihrem Fahrzeug vorhanden sind, welche Funktionen diese bieten und wie sie korrekt bedient werden (Maier, 2013; Harms & Dekker, 2017). Die Komplexität teilautomatisierter Fahrzeuge führt zudem häufig zu Überforderung – ein Umstand, der nicht nur die Verkehrssicherheit gefährden kann (Parasuraman, 1997), sondern auch die erwarteten Vorteile des automatisierten Fahrens schmälert (Fagnant & Kockelmann, 2015).

sistenzsysteme (FAS) in ihrem Fahrzeug vorhanden sind, welche Funktionen diese bieten und wie sie korrekt bedient werden (Maier, 2013; Harms & Dekker, 2017). Die Komplexität teilautomatisierter Fahrzeuge führt zudem häufig zu Überforderung – ein Umstand, der nicht nur die Verkehrssicherheit gefährden kann (Parasuraman, 1997), sondern auch die erwarteten Vorteile des automatisierten Fahrens schmälert (Fagnant & Kockelmann, 2015).

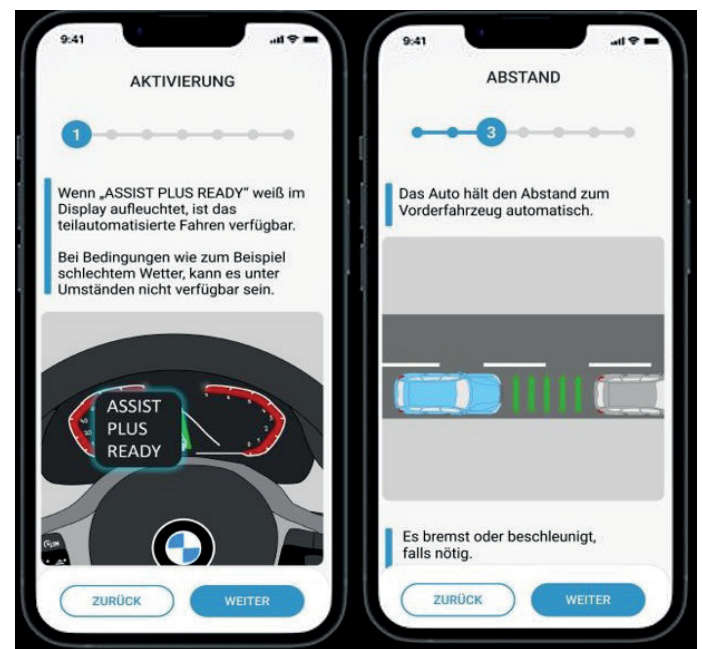


Abb. 1: Darstellung des entwickelten App-Tutorials

Um diesen Herausforderungen zu begegnen, müssen Fahrer gezielt über FAS und deren korrekte Nutzung informiert werden. Im Teilprojekt „Human Factors“ arbeitet der Lehrstuhl für Ergonomie daher an der Entwicklung nutzeradaptiver Tutoring-Konzepte, die sowohl den erstmaligen als auch den wiederholten Umgang mit teilautomatisierten Fahrsystemen unterstützen sollen. Eine durchgeführte Online-Befragung (N = 164) zur Nutzungsbereitschaft und zum Nutzungsverhalten von Autofahrern in Bezug auf teilautomatisierte Fahrzeuge und deren FAS, hat den Bedarf an individualisierten Informationskonzepten deutlich gemacht und die positive Einstellung der Befragten gegenüber adaptiven Informationskonzepten aufgezeigt (Pongratz et al., 2025).

Basierend auf diesen Erkenntnissen wurde ein erster Prototyp eines Tutoring-Konzepts in Form eines App-Tutorials entwickelt (siehe Abbildung 1) und bei der Halbzeitpräsentation vorgestellt. Dieser Prototyp bildet die Grundlage für weiterführende adaptive Tutoring-Konzepte, die personalisierte Unterstützung bieten, indem sie gezielt auf die individuellen Bedürfnisse und das Vorwissen der Autofahrer eingehen. Ziel ist es, im Rahmen des Projekts ein nutzerzentriertes Informationskonzept zu schaffen, das den Anforderungen moderner, teilautomatisierter Mobilität gerecht wird und die Fahrenden teilautomatisierter Fahrzeuge unterstützt.

### **Wiederholte Nutzung teilautomatisierter Fahrsysteme**

Neben der initialen Information und Unterstützung von Fahrenden – wie sie im Rahmen nutzeradaptiver Tutoring-Konzepte adressiert wurde – spielt auch die langfristige Entwicklung von Vertrauen und Akzeptanz eine zentrale Rolle für den erfolgreichen Einsatz teilautomatisierter Systeme. In diesem Zusammenhang stellte der Lehrstuhl für Ergonomie auf der Halbzeitpräsentation Ergebnisse einer Untersuchung zur wiederholten Nutzung von teilautomatisierten Fahrsystemen vor.

Während frühere Studien sich häufig auf die erste Interaktion mit solchen Systemen (Frison et al., 2020) konzentrieren, widmet sich der Lehrstuhl für Ergonomie im Projekt STADT:up der Frage, wie sich das Vertrauen und das Nutzungsverhalten bei wiederholter Nutzung entwickeln. Eine am Lehrstuhl durchgeführte Fahrsimulatorstudie (N = 45) zeigt, dass das Vertrauen in ein teilautomatisiertes System mit zunehmender Nutzung steigt, wobei der stärkste Vertrauenszuwachs bereits nach der ersten Systemnutzung auftritt. Gleichzeitig wird deutlich, dass Phasen der Nicht-Nutzung zu einem Vertrauensrückgang führen können. Die Ergebnisse deuten darauf hin, dass sich mit wachsendem Vertrauen auch das Fahrverhalten verändert: Fahrende wenden den Blick länger vom Verkehrsgeschehen ab

und überlassen dem System zunehmend die Steuerung. Gleichzeitig geht ein höheres Vertrauen mit einer geringeren Eingriffsbereitschaft im Systemfehlerfall einher.

Die Erkenntnisse unterstreichen die Notwendigkeit, Fahrende nicht nur beim ersten Kontakt mit einem teilautomatisierten System zu unterstützen, sondern sie auch langfristig durch adaptive Informationskonzepte und Fahrerüberwachung zu begleiten. Im weiteren Verlauf des Projekts wird der Lehrstuhl daher erforschen, wie kontinuierliche und individuell angepasste Informationen dazu beitragen können, ein ausgewogenes Vertrauen zu fördern und eine sichere Nutzung der Systeme auch über längere Zeiträume hinweg zu gewährleisten. Dabei rücken insbesondere die Auswirkungen von Systemzuverlässigkeit und -verfügbarkeit in den Fokus, um ein besseres Verständnis dafür zu entwickeln, wie sich das Vertrauen und Nutzerverhalten unter realistischen Bedingungen entwickelt und stabilisiert.

### **Teleoperation als sozio-technisches System**

Ein sehr hoher Automatisierungsgrad im Straßenverkehr geht mit der Notwendigkeit der Teleoperation einher. Wenn das fahrerlose autonome Fahrzeug nicht in der Lage ist, eine komplexe Fahrsituation zu lösen, dann sollte das Problem durch einen teleoperierten Eingriff gelöst werden, indem ein Mensch in die Schleife eingebunden wird. Ein solches System ist hochkomplex und interagiert in einem sozio-technischen System. Daher ist neben der empirischen Forschung zur nutzerzentrierten Entwicklung des teleoperierten Fahrens in erster Linie ein analytischer und systemischer Ansatz entscheidend, um die Zusammenhänge zwischen den Teilsystemen zu verstehen und ein teleoperiertes Gesamtfahrssystem zu optimieren.

Innerhalb des Projekts beschäftigte sich der LfE vorrangig mit der Fragestellung: Wie sollte die Arbeitsorganisation gestaltet sein, um eine sichere und effiziente Systemleistung zu gewährleisten? Dafür

wurde der Prozess bestehend aus Remote Operateuren, autonomen Fahrzeugen, Passagieren und anderen Verkehrsteilnehmern mittels der Funktionalen Resonanzanalyse (FRAM, Hollnagel, 2012) modelliert. Dabei wurde untersucht welche Effekte das Überwachungsverhältnis, Übernahmewahrscheinlichkeiten und verschiedene Rollen der Remote Operateure auf die Arbeitslast, Effizienz der autonomen Fahrzeuge, Verkehrsfluss und -sicherheit sowie Passagierzufriedenheit haben (Grabbe et al., 2024). Abschließend konnten einige Kernaussagen formuliert werden:

### **Allgemeines:**

Die Gestaltung autonomer Fahrsysteme basiert auf drei zentralen Faktoren: dem autonomen Fahrzeugbetrieb und der funktionalen Sicherheit, der Arbeitsorganisation sowie dem Aufgabentyp und Kontrollmodus. Diese bilden die grundlegende Struktur für das Zusammenspiel zwischen autonomen Fahrzeugen, Remote Operatoren und anderen Verkehrsteilnehmern. Obwohl diese Faktoren eine entscheidende Rolle für die Systemgestaltung spielen, werden sie in der aktuellen Forschung noch unzureichend berücksichtigt.

### **Autonomer Fahrzeugbetrieb und funktionale Sicherheit:**

Je nach Betriebsbereich und Zuverlässigkeit des autonomen Fahrzeugs sollte entweder ein sequenzielles oder ein paralleles teleoperiertes System in Betracht gezogen werden. Die Anzahl der Übernahmefragen sollte möglichst gering gehalten werden, idealerweise nicht mehr als drei pro Stunde.

### **Arbeitsorganisation:**

Die direkte Überwachung eines einzelnen Fahrzeugs durch eine Person führt zu Unterlast, die durch die Einführung fahrfremder Aufgaben ausgeglichen werden kann. Eine Beaufsichtigung mehrerer Fahrzeuge durch mehrere Operatoren ermöglicht eine handhabbare Arbeitsbelastung, insbesondere bei niedrigen Übernahmewahrscheinlichkeiten. Allerdings

kann es zu Warteschlangenproblemen kommen, weshalb eine adaptive Anpassung der Überwachungsverhältnisse, Priorisierungsstrategien sowie flexible Standby-Rollen zur Bewältigung von Lastspitzen erforderlich sind.

### **Aufgabentyp und Kontrollmodus:**

Neben der reaktiven Übernahme im Bedarfsfall sollte eine proaktive Rolle mit permanenter Überwachung erwogen werden. Dadurch könnten gezielte Eingriffe auf Basis des aktuellen Kontexts erfolgen, um Stillstandszeiten zu minimieren. Bei Übernahmefragen sollte die Remote Assistance als bevorzugter Steuerungsmodus gegenüber dem Remote Driving eingesetzt werden. Dies hilft, Warteschlangen und Stillstandszeiten zu reduzieren und stellt eine höhere Resilienz bei schwankender Übertragungsqualität sicher.

### **Dynamische Interaktion in komplexen Multiagentenszenarien**

Mit dem Aufkommen der automatisierten Fahrzeugtechnologie wird die effektive Interaktion zwischen automatisierten Fahrzeugen (AVs) und anderen Verkehrsteilnehmern entscheidend, um eine nahtlose Integration in die Gesellschaft sicherzustellen (Dey et al., 2021). In komplexen Multiagentenszenarien interagieren AVs mit manuellen Fahrzeugen (MVs) sowie vulnerablen Verkehrsteilnehmern (VRUs) wie Fußgängern und Radfahrern.

Im Projekt STADT:up untersucht der Lehrstuhl für Ergonomie die dynamische Interaktion in Shared Spaces, geprägt durch unklare Verkehrsvorgänge und mehrere potenzielle Interaktionspartner. Ziel ist es, Fahrmanöver vorhersehbarer zu gestalten und die Akzeptanz von AVs zu erhöhen. Dafür kombiniert das entwickelte Interaktionskonzept implizite Fahrmanöver wie das Rolling-Stop mit expliziten Kommunikationsmethoden wie dem externen Human-Machine-Interface (eHMI) zur klaren Übermittlung der Fahrzeugabsichten.

Zur Evaluation wurde ein VR-basierter Fußgängersimulator eingesetzt, der es ermöglicht, das Interaktionskonzept dynamisch an das Verhalten der Fußgänger anzupassen. Um realistische Interaktionen in Shared Spaces zu simulieren, wurden zwei Fußgängersimulatoren in einer virtuellen Umgebung (siehe Abbildung 2) vernetzt. Dies erlaubt die Untersuchung des Joint Crossing Behavior und trägt zur verbesserten Vorhersage des Fußgängerverhaltens bei.

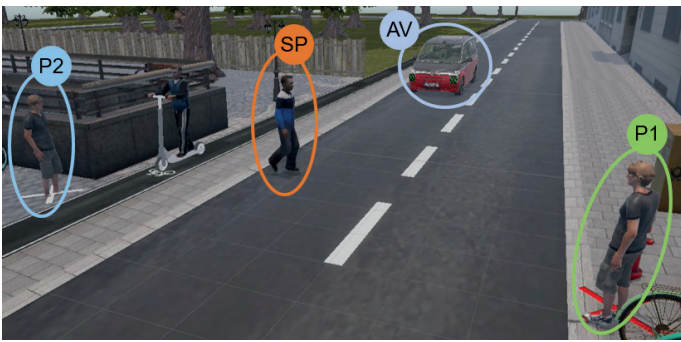


Abb. 2: Virtuelle Umgebung aus der Vogelperspektive, die die Positionen von Proband 1 (P1), Proband 2 (P2), des simulierten Fußgängers (SP) und des automatisierten Fahrzeugs (AV) zeigt.



Abb. 3: Visualisierung des eHMI-Konzepts in verschiedenen Situationen.

Bisher wurden zwei vernetzte VR-Studien durchgeführt. Die erste VR-Studie (N=30) fokussierte sich auf das visuelle eHMI (siehe Abbildung 3). Das Konzept wurde grundsätzlich als nützlich und verständlich bewertet. Allerdings wurden die impliziten Rolling-Stop Manöver teilweise als aggressiv und verwirrend wahrgenommen. Basierend auf diesen Erkenntnissen wurde das Manöver optimiert, indem die Geschwindigkeit auf Schrittgeschwindigkeit verringert wurde. In der zweiten VR-Studie (N=50) lag der Fokus auf dem überarbeiteten Rolling-Stop Manöver sowie dem Joint Crossing Behavior mehrerer Fuß-

gänger. Die Ergebnisse zeigen, dass das optimierte Rolling-Stop dazu beitragen kann, Missverständnisse zwischen AVs und Fußgängern zu reduzieren. Zudem wurde es von den Fußgängern insgesamt besser verstanden und akzeptiert.

Basierend auf diesen Erkenntnissen wird das Interaktionskonzept weiterentwickelt, um spezifische Fußgängergruppen – insbesondere Kinder und Senioren – gezielt zu berücksichtigen und die Verkehrsdynamik in Shared-Spaces weiter zu optimieren.

## Literatur

- Dey, D., van Vastenhoven, A., Cuijpers, R. H., Martens, M., & Pflöging, B. (2021). Towards Scalable eHMIs: Designing for AV-VRU Communication Beyond One Pedestrian. In 13th International Conference on Automotive User Interfaces and Interactive Vehicular Applications (pp. 274–286). New York, NY, USA: ACM.
- Fagnant, D.J. & Kockelman, K. (2015). Preparing a nation for autonomous vehicles: opportunities, barriers and policy recommendations. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*. <https://doi.org/10.1016/j.tra.2015.04.003>
- Frison, Anna-Katharina; Forster, Yannick; Wintersberger, Philipp; Geisel, Viktoria; Riener, Andreas (2020): Where We Come from and Where We Are Going: A Systematic Review of Human Factors Research in Driving Automation. In: *Applied Sciences* 10 (24), S. 8914. DOI: 10.3390/app10248914.
- Grabbe, N., Brettschneider, S. & Bengler, K. (2024). The work organization in teleoperated driving – a human reliability and socio-technical systems perspective. at - *Automatisierungstechnik*, vol. 72, no. 12, 2024, pp. 1169-1194. <https://doi.org/10.1515/auto-2024-0089>
- Harms, I. & Dekker, G. (2017). ADAS: from owner to user. Insights in the conditions for a breakthrough of Advanced Driver Assistance Systems. Connecting Mobility, Utrecht, The Netherlands. Retrieved from <https://www.verkeerskunde.nl/Uploads/2017/11/ADASfrom-owner-to-user-lowres.pdf>
- Hollnagel, E. (2012). FRAM, the Functional Resonance Analysis Method: Modelling Complex Socio\_technical Systems. Ashgate Publishing, Ltd..

- Maier, F. (2013). Wirkpotentiale moderner Fahrerassistenzsysteme und Aspekte ihrer Relevanz für die Fahrausbildung. Dissertation, Technische Universität München. Eigenverlag der Deutschen Fahrlehrer-Akademie e.V.
- Parasuraman, R., Riley, V. (1997). Humans and Automation: Use, Misuse, Disuse, Abuse. Human factors. <https://doi.org/10.1518/001872097778543886>
- Pongratz, V., Steckhan, L., Bengler, K. (2025). Analyzing Usage Behavior and Preferences of Drivers Regarding Shared Automated Vehicles: Insights from an Online Survey. In: Harris D, Li W-C, Krömker H (eds) HCI International 2024 - Late Breaking Papers, vol 15381. Springer Nature Switzerland, Cham, pp 103-121
- STADT:up. (2023). Solutions and Technologies for Automated Driving in Town: an urban mobility project. <https://www.stadtup-online.de/>

# Ergonomische Roboterintegration in der Medizin

## Ein Halbzeitbericht aus dem ForNeRo-Projekt

Max Bergholz

**ForNeRo wird gefördert durch die Bayerische Forschungsstiftung BFS**



Bayerische  
Forschungsstiftung

Der **F**orschungsverbund - **N**ahtlose und **e**rgonomische Integration der **R**obotik in den klinischen Arbeitsablauf beschäftigt sich anhand von drei Anwendungsfällen mit der Frage, wie Menschen und Roboter in einem Medizinischen Umfeld reibungsfrei zusammenarbeiten können.

Die Einführung von Roboterassistenzsystemen (RAS) erhöht die Komplexität im Operationsaal erheblich und ist bislang unzureichend in bestehende klinische Prozesse integriert (Catchpole et al., 2024). Probleme bestehen vor allem bei der Platzierung der Systeme, der Anpassung traditioneller Abläufe und der Kommunikation zwischen Mensch und Technik. Diese Defizite führen zu längeren OP-Zeiten, höheren Kosten und potenziellen Risiken für Patienten. Der Forschungsverbund will durch ergonomische Optimierung, nutzerzentrierte Simulationen, AR-Anwendungen und innovative Benutzeroberflächen die Integration von RAS verbessern. Ziel ist eine effizientere, sichere und patientenzentrierte Nutzung robotischer Systeme in der Chirurgie – gemeinsam mit klinischen Anwendern und Industriepartnern

Zu diesem Zweck hat der Forschungsverbund am Münchner Klinikum rechts der Isar (MRI) einen Experimental-OP eingerichtet, in dem sich verschiedene medizinische Eingriffe anhand von künstlichen Körpermodellen und unter Hinzunahme medizinischen Fachpersonals nachstellen lassen. Dabei werden die Mitarbeitenden von einer Reihe von Sensoren erfasst, die eine ergonomische Auswertung über Tätigkeit ermöglichen. Infrarot- und Tiefenkameras sowie Inertial-Messeinheiten (IMU) dienen der Bewegungserfassung. Über Mikrofone lassen sich der fachliche Austausch während des Eingriffs und Geräuschkulisse im OP aufzeichnen. Daneben kommen aber auch klassische Fragebogenverfahren zum Einsatz.



Abb. 1: Der Experimental-OP mit an der Traverse angebrachten Messsystemen

Anhand der erhobenen Daten sollen auch neue Messmethoden entwickelt bzw. etablierte Methoden abgewandelt werden. Im Fokus steht hierbei besonders das Rapid Upper Limb Assessment (RULA), das der Erfassung von Belastung dient, die durch ungünstige Körperhaltungen zustande kommen (McAtamney & Corlett, 1993). Ungünstige Körperhaltungen sind ein Problem, das bei der Arbeit im OP häufig auftritt und eine der Hauptursachen für arbeitsbedingte Muskel-Skelett-Erkrankungen, der häufigsten Gruppe arbeitsbezogener Erkrankungen in Deutschland (Holzgreve et al., 2023). Das RULA-Verfahren ist in der Forschung gut etabliert und liefert gute Ergebnisse für relativ statische und planbare Arbeitsabläufe, wie sie zum Beispiel in der Montage typisch sind. Bei dynamischen und nicht-planbaren Tätigkeiten stößt das Verfahren allerdings an seine Grenzen. Im Rahmen von ForNeRo soll es deshalb weiterentwickelt werden und als Basis dienen, um ein kamerabasiertes Verfahren zur Echtzeitauswertung zu gestalten.

Zu diesem Zweck sind bisher rund 8 Stunden an Videomaterial mit den verschiedenen Kamerasystemen aufgenommen worden. Die Daten der Inf-

arotkameras sollen hierbei als Grundlage dienen. Diese Daten erreichen höchste Präzision, erfordern jedoch das Anbringen reflektierender Marker an der zu untersuchenden Person. Hierdurch verursachen diese Aufnahmen und deren Nachbereitung den höchsten Aufwand. Ziel ist es, zu zeigen, dass auch gebrauchstauglichere markerlose RGB-Tiefenkamera-Systeme zufriedenstellende Präzision erreichen und diese dann in der zweiten Projekthälfte auch im realen OP anzuwenden.

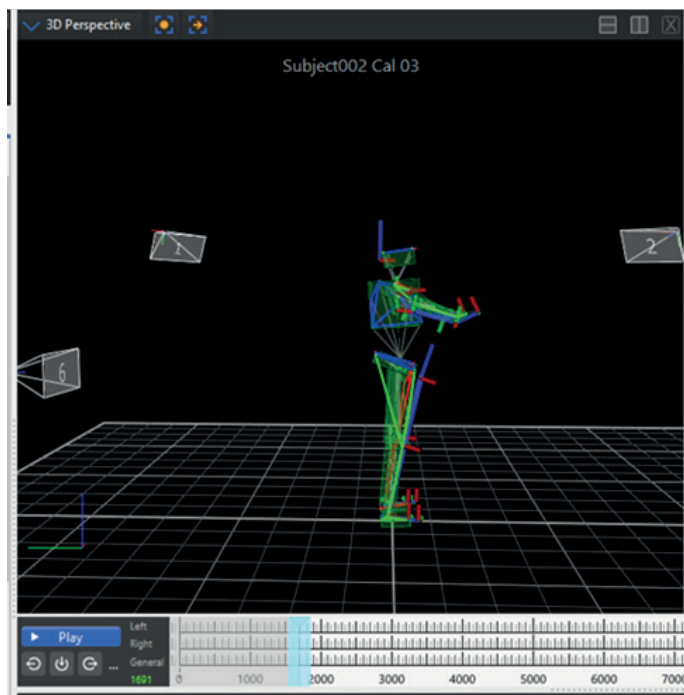


Abb. 2: Rekonstruierte OP-Szene anhand der Infrarot Daten

Eine qualitative Betrachtung der Daten ergibt eine hohe Übereinstimmung zwischen den verschiedenen Kamerasystemen. Zurzeit läuft die quantitative Datenauswertung sowie die Erhebung weiteren Videomaterials, um präzise und belastbare Aussagen über die Tauglichkeit des kamerabasierten zur Haltungsanalyse treffen zu können.

## Literatur

- Catchpole, K., Cohen, T., Alfred, M., Lawton, S., Kanji, F., Shouhed, D. Nemeth, L. & Anger, J. (2024). Human factors integration in robotic surgery. *Human factors*, 66(3), 683-700.
- Holzgreve, F., Schulte, L., Oremek, G., & Ohlendorf, D. (2023). Allgemeine und arbeitsplatzbezogene Risikofaktoren von Muskel-Skelett-Erkrankungen und deren Bestimmungsmethoden. *Zentralblatt für Arbeitsmedizin, Arbeitsschutz und Ergonomie*, 73(4), 182-189.
- McAtamney, L., & Corlett, E. N. (1993). RULA: a survey method for the investigation of work-related upper limb disorders. *Applied ergonomics*, 24(2), 91-99.



# Modellierung des thermischen Komforts in Fahrzeuginnenräumen unter transienten Bedingungen

Yijie Sheng

## Hintergrund

Ein komfortables Innenraumklima ist für Sicherheit und Zufriedenheit während der Fahrt essenziell, wobei der thermische Komfort eine zentrale Rolle spielt (Stuke & Bengler, 2014). Das Heizungs-, Lüftungs- und Klimatisierungssystem (HVAC) stellt den primären Mechanismus zur Regelung des thermischen Innenraumklimas dar, sieht sich jedoch angesichts der Verkleinerung von Fahrzeugen und der zunehmenden Verbreitung von Elektrofahrzeugen (EVs) mit steigenden Herausforderungen konfrontiert (Marshall et al., 2019), wie beispielsweise der Verringerung der Reichweite und dem Rückgang des thermischen Komforts. Daher ist die Optimierung des HVAC-Systems zur gleichzeitigen Verbesserung von thermischem Komfort und Energieeffizienz zu einer zentralen Priorität geworden. Um dies zu erreichen, bedarf es eines verlässlichen Modells, das den thermischen Komfort realitätsnah abbildet und vorhersagt.

## Einflussfaktoren auf den thermischen Komfort im Fahrzeuginnenraum

Der thermische Komfort wird primär durch zwei Faktoren beeinflusst: die Umgebungsbedingungen im Fahrzeuginnenraum sowie individuelle und soziodemografische Unterschiede. Im Gegensatz zu Gebäuden, in denen ein stabiles Raumklima herrscht, ist die thermische Umgebung in Fahrzeuginnenräumen häufig nicht gleichmäßig und instationär. Die kompakte Bauweise und die gezielte Anordnung von Heiz- und Kühlelementen führen zu einer ungleichmäßigen Wärmeverteilung (Alahmer et al., 2011). Zusätzlich begünstigen die dünnen Fahrzeugwände einen intensiven thermischen Austausch mit der Außenumgebung. Dies führt dazu, dass sich die Innenraumtemperatur schnell verändern kann – insbesondere nach dem Abschalten von Heiz- oder Lüftungssystemen (Zhang et al., 2020; Zhang, 2013). Auf individueller Ebene sind Fahrzeugfahrten meist von kurzer Dauer, etwa beim täglichen Pendeln. Da sowohl das HVAC-System eine gewisse Anlaufzeit benötigt (Zhang et al., 2016) als auch der menschliche Körper Zeit zur thermischen Anpassung braucht,

wird ein behaglicher thermischer Zustand häufig erst gegen Ende oder nach der Fahrt erreicht (Adel et al., 2017). Zudem beeinflussen soziodemografische Faktoren wie Geschlecht, kulturelle und regionale Unterschiede die thermische Wahrnehmung. So zeigen Männer im Vergleich zu Frauen bei Kühlung signifikant höhere und bei Heizung geringere mittlere Hauttemperaturen (Kwak et al., 2023).

Diese beiden Einflussfaktoren (Umgebungsfaktoren und soziodemografische Faktoren) stehen in Wechselwirkung zueinander und machen die Modellierung des thermischen Komforts in Fahrzeuginnenräumen besonders komplex und herausfordernd. Derzeit nutzt die Automobilindustrie sowohl experimentelle als auch simulationsbasierte Verfahren zur Modellierung des thermischen Komforts. Die meisten dieser Modelle basieren jedoch auf stationären und gleichmäßigen Bedingungen oder nutzen stark vereinfachte Eingangsparameter, wodurch die tatsächlichen instationären und inhomogenen Gegebenheiten im Fahrzeug kaum erfasst werden. Zudem konzentrieren sich bisherige Untersuchungen zu soziodemografischen Unterschieden in der thermischen Wahrnehmung weitgehend auf Gebäudeumgebungen (Namazkhan et al., 2019; Uddin et al., 2023), während entsprechende Studien im Fahrzeuginnenraum nach wie vor begrenzt sind.

Diese Forschungslücke verdeutlicht den Bedarf an umfassenderen Modellen, die sowohl Umweltbedingungen als auch individuelle Unterschiede berücksichtigen, um die Genauigkeit von Komfortprognosen in der Fahrzeugklimatisierung zu verbessern.

## Traditionelle Modelle des thermischen Komforts im Fahrzeuginnenraum

Das am häufigsten eingesetzte Modell zur Bewertung des thermischen Komforts in Fahrzeugen ist das Predicted Mean Vote (PMV)-Modell, das von Fanger (1972) entwickelt wurde. Es nutzt Daten zur thermischen Umgebung sowie subjektive Rückmeldungen von Personen in verschiedenen Klimaszenarien, um einen Zusammenhang zwischen Umgebungsbedin-

gungen und thermischer Empfindung herzustellen. Allerdings wurde das PMV-Modell ursprünglich für stationäre und gleichmäßige Raumklima in Gebäuden entwickelt und weist unter transienten und nicht-homogenen Bedingungen, wie sie in Fahrzeugkabinen üblich sind, große Abweichungen in der Vorhersage auf (Hodder & Parsons, 2007). Ein weiteres Modell ist das an der University of California, Berkeley (UCB) entwickelte Modell, das zusätzliche physiologische Mechanismen des menschlichen Körpers berücksichtigt (Arens et al., 2006a, 2006b). Es kann sowohl nicht-uniforme als auch instationäre Bedingungen berücksichtigen. Es basiert jedoch auf Daten aus dem Gebäudebereich und ist nicht direkt mit Umgebungsdaten aus dem Fahrzeuginnenraum gekoppelt. Unter winterlichen Bedingungen liegt die Vorhersagegenauigkeit des thermischen Komforts im Fahrzeug bei weniger als 50 % (Zhou et al., 2020).

Um den spezifischen Anforderungen des Fahrzeuginnenraums besser gerecht zu werden, wurden neuere Modelle entwickelt, die transiente und nicht-uniforme Zustände berücksichtigen. Diese Modelle fokussieren sich jedoch entweder ausschließlich auf Umweltparameter (Fiala et al., 2003; Yun et al., 2021) oder ausschließlich auf physiologische Aspekte (Qi et al., 2021; T. Wu et al., 2020; Taniguchi et al., 1992). Hinsichtlich individueller oder soziodemografischer Faktoren existiert bisher kein Modell, das diese systematisch einbezieht. Als Beispiel für systematische regionale oder kulturelle Unterschiede kann die Studie von N. Zhang et al. (2017) genannt werden, dass die winterlichen Neutraltemperaturen in Europa, Nordamerika und China bei 23,4 °C, 22,7 °C und 21,7 °C lagen. Diese Ergebnisse beziehen sich jedoch ausschließlich auf Innenräume von Gebäuden, ihre Übertragbarkeit auf Fahrzeuginnenräume ist bislang ungeklärt.

Diese Limitationen verdeutlichen ein Bedarf an fortschrittlichen Modellierungsansätzen, die sowohl umweltbezogene als auch individuelle Einflussfaktoren integrieren, um realitätsnahe und verlässliche Vorhersagemodelle für den thermischen Komfort in Fahrzeuginnenräumen unter transienten Bedingungen zu ermöglichen.

## Machine-Learning-gestützte Modellierung des thermischen Komforts

Aufgrund der transienten Eigenschaften der thermischen Umgebung im Fahrzeuginnenraum bieten Methoden des maschinellen Lernens großes Potenzial für die Modellierung des thermischen Komforts. Denn datengetriebene Machine Learning (ML) Modelle sind in der Lage, komplexe nichtlineare Zusammenhänge zwischen verschiedenen Umwelt- und physiologischen Parametern effektiv zu erfassen. Darüber hinaus können sie durch die Kombination von numerischen Simulationen und experimentellen Daten kontinuierlich dazulernen und ihre Vorhersagegenauigkeit im Zeitverlauf verbessern. Für ein effektives Training dieser Modelle sind jedoch in der Regel große Datensätze erforderlich (Alwosheel et al., 2018). In thermischen Komfortstudien liegt die Teilnehmerzahl pro Studie häufig nur bei 8–20 Personen (Chen et al., 2024), was die Generalisierbarkeit der Modelle erheblich einschränkt. Daher ist die Erforschung von ML-Methoden, die auch bei kleinen Datensätzen zuverlässig funktionieren, von besonderer Bedeutung. Ansätze wie Transfer Learning (Tekler et al., 2024), Data Augmentation (Quintana et al., 2020) und Regularization Methods (Kumar & Kurian, 2023) wurden entwickelt, um die Robustheit und Zuverlässigkeit solcher Modelle zu verbessern.

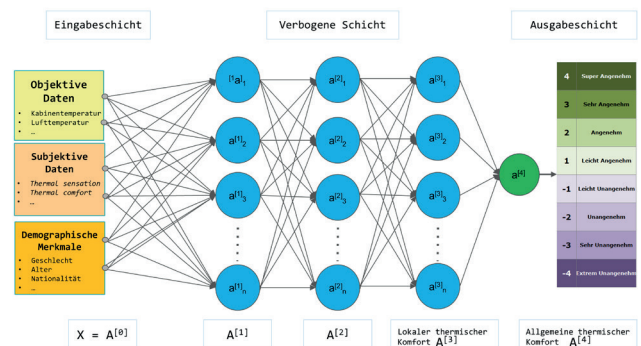


Abbildung 1: Entwurf eines neuronalen Netzes zur Modellierung des thermischen Komforts

Im Rahmen zukünftiger Forschungsprojekte der Forschungsgruppe Cabin Design am Lehrstuhl für Ergonomie wird der Fokus verstärkt auf den Einsatz verschiedener ML-Algorithmen zur Modellierung und Vorhersage des thermischen Komforts unter transienten Bedingungen gelegt. Zu diesem Zweck werden systematische Probandenstudien unter unterschiedlichen transienten Klimabedingungen im Fahrzeuginnenraum durchgeführt, um die für die Modellierung erforderlichen Daten zu sammeln. Wie in Abbildung 1 dargestellt, basiert das entworfene Modellierungskonzept auf einem mehrschichtigen neuronalen Netz, das sowohl objektive Daten (z. B. Kabinentemperatur, Lufttemperatur, Hauttemperatur) als auch subjektive Einschätzungen der Probanden (wie thermal sensation und thermal comfort) verarbeitet. Zusätzlich fließen demografische Merkmale (z. B. Geschlecht, Alter, Nationalität) in das Modell ein. In einer der verbogenen Schichten (siehe A3) werden lokale thermische Komfortmerkmale verarbeitet, die anschließend zur Ableitung des allgemeinen thermischen Komforts in der Ausgangsschicht (A4) herangezogen werden.

Auf Basis dieses Konzepts soll ein adaptives, datengetriebenes Modell entstehen, das individuelle Unterschiede – beispielsweise im Zusammenhang mit klimatischen Präferenzen unterschiedlicher Nutzergruppen – abbildet und eine personalisierte Vorhersage des thermischen Komforts ermöglicht.

## Literatur

- Adel, Z., Marca, C., & Borot, C. (2017). Development of a human thermal model To predict seat occupant thermal comfort. In <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:46485801>
- Alahmer, A., Mayyas, A., Mayyas, A. A., Omar, M. A., & Shan, D. (2011). Vehicular thermal comfort models; a comprehensive review. *Applied Thermal Engineering*, 31(6-7), 995–1002. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2010.12.004>
- Alwosheel, A., van Cranenburgh, S., & Chorus, C. G. (2018). Is your dataset big enough? Sample size requirements when using artificial neural networks for discrete choice analysis. *Journal of Choice Modelling*, 28, 167–182. <https://doi.org/10.1016/j.jocm.2018.07.002>
- Arens, E., Zhang, H [Hui], & Huizenga, C. (2006a). Partial- and whole-body thermal sensation and comfort— Part I: Uniform environmental conditions. *Journal of Thermal Biology*, 31(1-2), 53–59. <https://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2005.11.028>
- Arens, E., Zhang, H [Hui], & Huizenga, C. (2006b). Partial- and whole-body thermal sensation and comfort—Part II: Non-uniform environmental conditions. *Journal of Thermal Biology*, 31(1-2), 60–66. <https://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2005.11.027>
- Chen, B., Lian, Y., Xu, L., Deng, Z., Zhao, F., Zhang, H [Huilin], & Liu, S. (2024). State-of-the-art thermal comfort models for car cabin Environment. *Building and Environment*, 262, 111825. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2024.111825>
- Fanger, P. O. (1972). *Thermal comfort: Analysis and applications in environmental engineering*. Zugl.: Lyngby, Danmarks tekniske Højskole, Diss, 1970. McGraw-Hill.
- Fiala, D., Lomas, K. J., & Stohrer, M. (2003). First principles modeling of thermal sensation responses in steady-state and transient conditions. *ASHRAE Transactions*, 109, 179.
- Kumar, T. M. S., & Kurian, C. P. (2023). Real-time data based thermal comfort prediction leading to temperature setpoint control. *Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing*, 14(9), 12049–12060. <https://doi.org/10.1007/s12652-022-03754-8>
- Kwak, J., Chun, C., Park, J.-S., Kim, S., & Seo, S. (2023). The gender and age differences in the passengers' thermal comfort during cooling and heating conditions in vehicles. *PloS One*, 18(11), e0294027. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0294027>
- Marshall, G. J., Mahony, C. P., Rhodes, M. J., Daniewicz, S. R., Tsolas, N., & Thompson, S. M. (2019). Thermal Management of Vehicle Cabins, External Surfaces, and Onboard Electronics: An Overview. *Engineering*, 5(5), 954–969. <https://doi.org/10.1016/j.eng.2019.02.009>
- Namazkhan, M., Albers, C., & Steg, L. (2019). The role of environmental values, socio-demographics and building characteristics in setting room temperatures in winter. *Energy*, 171, 1183–1192. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2019.01.113>

- Qi, L., Liu, J., Zhang, L., & Wu, Q. (2021). Study on local thermal sensation and model applicability in vehicle cabin under different driving states. *Heat and Mass Transfer*, 57(1), 41–52. <https://doi.org/10.1007/s00231-020-02933-7>
- Quintana, M., Schiavon, S., Tham, K. W., & Miller, C. (2020). Balancing thermal comfort datasets. In *Proceedings of the 7th ACM International Conference on Systems for Energy-Efficient Buildings, Cities, and Transportation* (pp. 120–129). ACM. <https://doi.org/10.1145/3408308.3427612>
- Stuke, P., & Bengler, K. (2014). Interior air conditioning for electric vehicle EVA: New approach on vehicle interior cooling to increase comfort and reduce energy consumption. In <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:55394567>
- T. Wu, H. Luo, X. Wang, A. Asenov, & X. Miao (2020). A Predictive 3-D Source/Drain Resistance Compact Model and the Impact on 7 nm and Scaled FinFETs. *IEEE Transactions on Electron Devices*, 67(6), 2255–2262. <https://doi.org/10.1109/TED.2020.2988858>
- Taniguchi, Y., Aoki, H., Fujikake, K., Tanaka, H., & Kitada, M. (1992). Study on Car Air Conditioning System Controlled by Car Occupants' Skin Temperatures - Part 1: Research on a Method of Quantitative Evaluation of Car Occupants' Thermal Sensations by Skin Temperatures. In *SAE Technical Paper Series*, SAE Technical Paper Series. SAE International400 Commonwealth Drive, Warrendale, PA, United States. <https://doi.org/10.4271/920169>
- Tekler, Z. D., Lei, Y., & Chong, A. (2024). Data-efficient comfort modeling: Active transfer learning for predicting personal thermal comfort using limited data. *Energy and Buildings*, 319, 114507. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2024.114507>
- Uddin, M. N., Lee, M., & Ni, M. (2023). The impact of socio-demographic factors on occupants' thermal comfort and sensation: An integrated approach using statistical analysis and agent-based modeling. *Building and Environment*, 246, 110974. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2023.110974>
- Yun, S., Chun, C., Kwak, J., Park, J. S., Kwon, C., Kim, S., & Seo, S. (2021). Prediction of thermal comfort of female passengers in a vehicle based on an outdoor experiment. *Energy and Buildings*, 248, 111161. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2021.111161>
- Zhang, L., Qi, L., Liu, J., & Wu, Q. (2020). Experimental study on dynamic thermal environment of passenger compartment based on thermal evaluation indexes. *Science Progress*, 103(3), 36850420942991. <https://doi.org/10.1177/0036850420942991>
- Zhang, N., Cao, B., Wang, Z., Zhu, Y., & Lin, B. (2017). A comparison of winter indoor thermal environment and thermal comfort between regions in Europe, North America, and Asia. *Building and Environment*, 117, 208–217. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2017.03.006>
- Zhang, W. (2013). Study on the key technology of thermal environment and occupant's thermal comfort analysis in vehicle cabins. South China University of Technology Paper for Ph. D.
- Zhang, Z., Li, W., Shi, J., & Chen, J. (2016). A Study on Electric Vehicle Heat Pump Systems in Cold Climates. *Energies*, 9(11), 881. <https://doi.org/10.3390/en9110881>
- Zhou, X., Lai, D., & Chen, Q. (2020). Thermal sensation model for driver in a passenger car with changing solar radiation. *Building and Environment*, 183, 107219. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2020.107219>

# Interaktionsräume zwischen Menschen und sich autonom bewegenden Systemen (sabeS) - Projektabschluss



Olivia Herzog und Annika Boos

Mit der zunehmenden Verbreitung autonom agierender mobiler Roboter im Alltag – sei es im Lieferdienst, in Einkaufszentren, an Flughäfen oder im Gesundheitswesen – rückt die Frage in den Fokus, wie sich diese Systeme in von Menschen genutzten Räumen bewegen sollen, um als angenehm, sicher und sozial kompetent wahrgenommen zu werden. Das vom Lehrstuhl für Ergonomie (LfE) der Technischen Universität München durchgeführte Forschungsprojekt sabeS (Interaktionsräume zwischen Menschen und sich autonom bewegenden Systemen) wurde von der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) über drei Jahre hinweg gefördert (2021–2024) und beschäftigte sich mit genau dieser Herausforderung.

Ziel des Projekts war es, die räumliche Interaktion zwischen Menschen und mobilen Robotern systematisch zu analysieren und Empfehlungen für deren Bewegungsverhalten in gemeinsam genutzten Umgebungen zu entwickeln. Ein besonderer Fokus lag dabei auf der Anwendung der Proxemik-Theorie (Hall, 1966), also der Lehre von der Nutzung und Bedeutung von Raum in der menschlichen Interaktion. Die zentrale Fragestellung lautete: Ab welcher Distanz erwarten Menschen eine Reaktion des Roboters, wenn sich ihre Bewegungstrajektorien potenziell kreuzen? Und wie wirkt sich dies auf das Sicherheitsempfinden und die Akzeptanz aus?

Um diese Fragestellungen zu beantworten, wurde ein mehrstufiges Studiendesign umgesetzt. Untersucht wurden sowohl subjektive Einschätzungen als auch beobachtbares Verhalten von Menschen in Interaktion mit einem Roboter. Dabei kamen unterschiedliche experimentelle Methoden zum Einsatz: Experimente in Virtual Reality, um kontrollierte Bedingungen und systematische Varianz zu ermöglichen, Laborszenarien zur gezielten Analyse einzelner Einflussfaktoren, sowie Feldstudien zur Beobachtung natürlicherer und spontaner Interaktionen im realen Umfeld.

Den Abschluss des Projekts bildete eine umfassende Feldstudie in der Magistrale des Maschinenwesen-Gebäudes am Campus Garching, einem stark frequentierten Durchgangsbereich, der sich

hervorragend für die Untersuchung realitätsnaher Mensch-Roboter-Begegnungen eignet. Mithilfe der modularen mobilen Roboterplattform Innok Heros wurde eine Vielzahl unterschiedlicher Annäherungsszenarien realisiert – mit variierenden Geschwindigkeiten, Winkeln und Distanzen. Der Roboter bewegte sich dafür autonom zwischen zwei Zielpunkten durch die Magistrale. Das Verhalten und die Reaktionen der Passant:innen wurden sowohl durch Beobachtung als auch mittels begleitender Befragungen ausgewertet. Die Feldstudie unterlag strikten Sicherheitsvorkehrungen: Beispielsweise wurde der Roboter durchgehend unauffällig von einem Versuchsleiter mit Not-Aus Sicherheitsfernbedienung beobachtet.





Die Ergebnisse der fünf durchgeführten Experimente zeigen starke und konsistente Einflüsse der Größe und Geschwindigkeit des Roboters sowohl auf die minimale Komfortdistanz, als auch auf das ausgelöste Unbehagen. Die Ergebnisse zeigen, in welcher Entfernung ein Lieferroboter sein Verhalten anpassen sollte, abhängig von den untersuchten Faktoren, um so wenig Unbehagen wie möglich bei Menschen zu verursachen. Die bloße technische Optimierung von Bewegungsabläufen reicht daher nicht aus – soziale Lesbarkeit ist ebenso entscheidend für die gesellschaftliche Integration autonomer Systeme. Das DFG geförderte Projekt leistete damit einen wichtigen Beitrag dazu, dass Roboter sich nicht nur funktional, sondern auch sozial verträglich in unsere Alltagsräume integrieren können – ein entscheidender Schritt auf dem Weg zur Mensch-zentrierten Robotik der Zukunft.

# KI.Fabrik - Erfolgreicher Abschluss des Forschungs- und Entwicklungsprojekts

Theresa Prinz

Mit dem Start des Forschungsprojekts KI.FABRIK im Juni 2021 begann ein neues Kapitel der industriellen Fertigung in Bayern. Ziel ist es, eine neue Form der Produktion zu entwickeln, bei der Mensch, Maschine und Künstliche Intelligenz (KI) in einer hochflexiblen, lernfähigen und ressourcenschonenden Umgebung zusammenarbeiten – lokal, krisensicher und wirtschaftlich. Das Projekt, das Ende 2025 seinen Abschluss findet, ist Teil der Leuchtturinitiative KI.FABRIK BAYERN im Rahmen der Hightech Agenda des Freistaats Bayern.



Abb. 1: Struktur der KI.Fabrik

## Von der Vision zur Realität: Die KI.FABRIK als Zukunftslabor

Die KI.FABRIK steht für einen Paradigmenwechsel in der industriellen Produktion: weg von starren Fertigungsstraßen, hin zu modularen, rekonfigurierbaren Systemen mit lernfähiger KI. Ziel der Leuchtturinitiative ist es, eine vollständig vernetzte Produktionsstätte zu schaffen, in der intelligente Roboter unter direkter oder indirekter Kontrolle von Menschen hochkomplexe, individualisierte Produkte herstellen können – auch in Losgröße 1.

Die technologische Grundlage bildet ein interdisziplinäres FuE-Projekt unter Federführung der Technischen Universität München. Beteiligt sind neun Lehrstühle aus den Bereichen Automatisierung, Datenverarbeitung, Kommunikation, Robotik und Ergonomie sowie die Industriepartner BMW AG

(BMW Group), Linde Material Handling GmbH (Kion Group), Wittenstein SE, Reactive Robotics GmbH, Franka Emika GmbH (bis 2023), TQ Systems (bis 2023), Olive Robotics GmbH (ab 2025) und NEURA Robotics GmbH (ab 2025). Gemeinsam entwickeln sie das technische, ergonomische und organisatorische Fundament für die „Fabrik der Zukunft“.

## Produktion neu gedacht: Flexibel, lokal, nachhaltig

Ein zentrales Ziel des Projekts ist es, Produktionsprozesse widerstandsfähiger gegenüber globalen Krisen zu machen. Die KI.FABRIK soll es ermöglichen, wirtschaftliche Aktivitäten unabhängig von der physischen Anwesenheit von Arbeitskräften aufrechtzuerhalten. Gleichzeitig wird die lokale Produktion gestärkt: Ressourcen werden effizienter genutzt, Transportwege verkürzt, die Kreislaufwirtschaft gefördert. Das Konzept dezentraler, rekonfigurierbarer Fertigungslinien spielt dabei eine zentrale Rolle – ebenso wie das Prinzip Production-as-a-Service, das die KI.FABRIK als Dienstleistung für wechselnde Produkte und Prozesse positioniert.

## Mensch-KI-Kollaboration: Der Beitrag des Lehrstuhls für Ergonomie

Im Zentrum der Gestaltung der Arbeitsplätze und -aufgaben steht der Mensch. Der Lehrstuhl für Ergonomie beschäftigt sich intensiv mit der Frage, wie die Interaktion zwischen Mensch und KI und Mensch und Robotik in dynamischen Produktionsumgebungen gelingen kann. Dabei werden sowohl klassische ergonomische Gestaltungsprinzipien als auch neue Anforderungen analysiert, die sich durch lernende Systeme und verteilte Arbeitsumgebungen ergeben.

Ein besonderer Fokus liegt auf dem Konzept des Homeoffice für Fabrikarbeiter: Durch Teleoperation können Mitarbeitende Produktionssysteme aus der Ferne steuern – etwa über sogenannte Avatar-Stationen, die ein sensorisches Eintauchen in die Perspek-

tive des Roboters erlauben. Damit entsteht eine neue Form der Mensch-KI-Kooperation über Distanz, die durch digitale Zwillinge, 5G/6G-Kommunikation und intuitive Benutzerschnittstellen unterstützt wird.



Abb. 2: Demonstration der teleoperierte Getriebemontage bei der Eröffnung des Siemens Technology Center am TUM Campus Garching (Bild Theresa Prinz/TUM)

Diese Technologien wurden stetig weiterentwickelt unter anderem auf der automatica 2022 und 2023 in München vorgestellt: Dort präsentierte der Lehrstuhl für Ergonomie gemeinsam mit Partnern Demonstratoren zur Getriebemontage per Teleoperation – ein Beispiel für die praktische Erprobung und öffentliche Sichtbarkeit der Forschungsergebnisse.

Die Forschungsarbeiten des Lehrstuhls wurden zudem intensiv in die universitäre Lehre eingebunden: 13 Studienarbeiten wurden im Projektkontext betreut. Acht Fachveröffentlichungen dokumentieren zentrale Erkenntnisse etwa zur Mensch-Roboter-Kooperation, zu Usability-Fragen oder zur Gestaltung von teleoperativen Arbeitsplätzen. Darüber hinaus sind aus den entstandenen Kontakten bereits mehrere weiterführende Forschungsanträge hervorge-

gangen, die die langfristige Wirkung und Anschlussfähigkeit des Projekts unterstreichen.

### Sicher, transparent und ethisch reflektiert

Die KI.FABRIK versteht sich nicht nur als technologisches Innovationsprojekt, sondern auch als soziales Experimentierfeld: Die direkte Interaktion zwischen Mensch und Roboter wird bewusst gesucht – ohne Schutzzaun, aber mit durchdachten Sicherheitsmechanismen. Von Beginn an begleitet ein interdisziplinärer Ethikausschuss die Entwicklungen, um den Einsatz sensibler technischer Systeme gesellschaftlich verantwortungsvoll zu gestalten.

### Sichtbarkeit und Wissenstransfer

Die Öffentlichkeit war von Beginn an Teil des Projekts: Auftritte bei der automatica (2022, 2023, 2025), dem AI.BAY 2023 - Bavarian International Conference on AI am neuen Projektstandort im Deutschen Museum, der Langen Nacht der Museen 2024 sowie der Kinderuni machten Forschung erlebbar. Zahlreiche nationale und internationale politische und wirtschaftliche Delegationen informierten sich bei Vor-Ort-Besuchen über den Projektfortschritt. Der Austausch mit Gesellschaft, Industrie und Politik war und ist ein zentrales Anliegen.



Abb. 3: Demonstration vernetzter Use-Cases auf der automatica 2023 (Bild Theresa Prinz/TUM)

## Ausblick: Letzte Schritte auf dem Weg zur lernfähigen Produktion

Mit dem nahenden Projektabschluss im Dezember 2025 rücken die finalen Meilensteine in den Fokus. Geplant ist die Demonstration einer vollständigen KI-gestützten Produktionskette im realitätsnahen Testfeld – inklusive Mensch-Roboter-Interaktion, intelligenter Kommunikationstechnologie und reflektierter Systemgestaltung. Damit wird die KI.FABRIK nicht nur zur technologischen Blaupause, sondern auch zum gesellschaftlichen Wegweiser für eine zukunftsfähige lokale Produktion.

## Im Projekt entstandene Publikationen mit Beteiligung des LfE

Prinz, T. & Bengler, K. (2023) Exploring the Learnability of Two Teleoperation Setups for Assembly Tasks. In C. Stephanidis, M. Antona, S. Ntoa & G. Salvendy (Hrsg.), HCI International 2023 Posters (S. 658–665). Springer Nature Switzerland. [https://doi.org/10.1007/978-3-031-35989-7\\_84](https://doi.org/10.1007/978-3-031-35989-7_84)

Vogel-Heuser, B & Bengler, K. (2023) Von Industrie 4.0 zu Industrie 5.0 - Idee, Konzept und Wahrnehmung. HMD 60, 1124-1142. <https://doi.org/10.1365/s40702-023-01002-x>

Bi, F; Vogel-Heuser, B.; Burschka, D.; Bengler, K.; Kraft, A.; Kellerer, W.; Pavlic, M.; Deshpande, Y.; Prinz, T.; Krumbholz, P.; (2023): Dezentrale, rekursive, flexible Multi-Agenten Softwarearchitektur als Grundlage einer Fabrik der Zukunft für KI-gestützte Produktionstechnologien. VDI-Kongress AUTOMATION (VDI KA).

Prinz, T., & Bengler, K. (2024a). (im Druck) The Complexity of Teleoperation Systems: A Call for Ergonomic Participation on Every Level. In S. Jin, J. H. Kim, Y.-K. Kong, J. Park & M. H. Yun (Hrsg.), Proceedings of the 22nd Congress of the International Ergonomics Association: Vol 1-7 - Better Life Ergonomics for Future Humans (IEA2024). Springer Nature.

Prinz, T., & Bengler, K. (2024b). A Human-Centered Evaluation of Visualization Techniques for Teleoperated Assembly Tasks for Non-Expert Users. Companion of the 2024 ACM/IEEE International Conference on Human-Robot Interaction, 842–846. <https://doi.org/10.1145/3610978.3640552>

Vogel-Heuser, B.; Hartl, F.; Zhao, J.; Wittemer, M.; Wudya, K.; Mayr, A.; Daub, R.; Zaeh, M. F.; Fleischer, M.; Prinz, T.; Bengler, K.; Fischer, A.; Rothmeyer, F.; Fottner, J.; Trauer, J.; Schroeder, P.; Zimmermann, M.; Goldbach, A.-K.; Bletzinger, K.-U.; Borrmann, A. (2024): Langlebige Maschinen für Bau und Produktion mittels Digitaler Zwillinge – Eine ganzheitliche Betrachtung von Einsatzmöglichkeiten, Herausforderungen und Integrationsansätzen. In: Automation 2024. VDI Verlag. <https://doi.org/10.51202/9783181024379>

Vogel-Heuser, B.; Deshpande, Y.; Hartl, F.; Zhao, J.; Hou, X.; Hujo, D.; Prinz, T.; Pavlic, M.; Burschka, D.; Bengler, K.; Kellerer, W.; Kraft, A.; Vojanec, B.; Markert, T. (2024): Modellierung und Validierung von Latenzzeiten in industriellen Agentensystemen mit Digitalen Zwillingen der KI.Fabrik. at - Automatisierungstechnik 72 (10), 958-979

Prinz, T., & Li, J. (2025). (im Druck) Design and Evaluation of a Gamepad-based Control Scheme for the Teleoperation of a Stationary Robot. Springer Nature Switzerland.



Gefördert durch den Freistaat Bayern

# LabCampus

Klaus Bengler

In unmittelbarer Nähe zum Münchner Flughafen entsteht im Lab 48 ein innovativer Zukunftsort. Dieses Living Lab wird Themen zur nachhaltigen Mobilität mit neuen Arbeitswelten verknüpfen. Das TUM LfE Living Lab „Future Work“ schafft auf 300 qm flexible Arbeitsräume für unterschiedlichste Nutzergruppen.

Hier wird erprobt werden, wie ortsunabhängiges, vernetztes Arbeiten in Verbindung mit multimodaler Mobilität gelingen kann – inklusiv, digital und ressourcenschonend. Das Lab bietet im Sinn eines Third Place innovative Lösungen für zukünftige Arbeitswelten, die berufliche Produktivität, Erholung und soziale Teilhabe miteinander verbinden.

Das Projekt erschließt Potenziale bestehender Infrastrukturen neu und stärkt regionale Mobilitätsentwicklung durch die Anbindung an bestehende öffentliche Verkehrsknotenpunkte. Als Reallabor bietet es Raum für Forschung und Co-Creation zu Zukunftsfragen rund um Mobilität, Arbeit und nachhaltige Stadtentwicklung – stets mit dem Menschen im Mittelpunkt.

Einige Szenarien, wie zum Beispiel die Teleoperation und Avatare wurden bereits in der KI-Fabrik realisiert und werden als Demonstratoren im Living Lab mit weiteren Standorten der KI-Fabrik vernetzt werden.

Neben der Robotik werden weitere Technologien zum immersiven ortsflexiblen Arbeiten bis hin zu globaler Präsenz realisiert und erlebbar gemacht werden.

Die COVID-19-Pandemie hat unsere Mobilitäts- und Arbeitswelt grundlegend verändert und neue Herausforderungen für die Mobilitätsplanung geschaffen. Telearbeit und flexible Arbeitsmodelle haben das Pendlerverhalten gewandelt und den dringenden Bedarf an innovativen Lösungen zur Förderung alternativer Mobilitätsformen unterstrichen. Derzeit befinden wir uns bereits in der nächsten Entwicklung, in der Mobiles Arbeiten und Präsenz neu verhandelt werden. Vor diesem Hintergrund bietet die aktuelle Situation eine einzigartige Gelegenheit, die Arbeits- und Mobilitätslandschaft neu zu gestalten und innovative Paradigmen zu fördern, die die Mobilität der Bürger verbessern und zu einer nachhaltigen und widerstandsfähigen Zukunft beitragen.



Abb. 1: Eingangsbereich LabCampus



Abb. 2: Eingangsbereich LabCampus



Abb. 3: TUM LfE Living Lab „Future Work“ - Rohbau

# Veröffentlichungen von Sommer 2024 bis Sommer 2025

## Lehrstuhl für Ergonomie

2024

- Bergner, C., Hlatky, M., Müller, S., & Schmidt-Vollus, R. (2024). Investigating Human-Robot Interaction: A User-Centered Approach to Robotic System Setup and Programming. In 2024 33rd IEEE International Conference on Robot and Human Interactive Communication (ROMAN) (pp. 1078–1083). IEEE. <https://doi.org/10.1109/RO-MAN60168.2024.10731442>
- Bergner, C., Schmidt-Vollus, R., & Bengler, K. (2024). User-Centered Human-Robot Coworking: A Novel Approach Transforming Manual Tasks. In 2024 IEEE 20th International Conference on Automation Science and Engineering (CASE) (pp. 3799–3804). IEEE. <https://doi.org/10.1109/CASE59546.2024.10711664>
- Brunner, S., Siebenbürger, M., Kühnel, K., & Bengler, K. (2024). Promoting human-centered manufacturing through Lean Ergonomics – a structural equation model for ergonomics and management data. *Production & Manufacturing Research*, 12(1), Article 2398086. <https://doi.org/10.1080/21693277.2024.2398086>
- Brunner, S., Yuching, C. K., & Bengler, K. (2024). Streamlining operations management by classifying methods and concepts of Lean and Ergonomics within a sociotechnical framework. *Operations Management Research*. Advance online publication. <https://doi.org/10.1007/s12063-024-00488-y>
- Grabbe, N., Brettschneider, S., & Bengler, K. (2024). The work organization in teleoperated driving – a human reliability and socio-technical systems perspective. *At - Automatisierungstechnik*, 72(12), 1169–1194. <https://doi.org/10.1515/auto-2024-0089>
- Hübner, M., Baude, M., & Bengler, K. (2024). Pedestrian Groups Matter: Unraveling their Impact on Pedestrian Crossings when Interacting with an Automated Vehicle. In 2024 IEEE Intelligent Vehicles Symposium (IV) (pp. 69–76). IEEE. <https://doi.org/10.1109/IV55156.2024.10588543>
- Janetzko, D., Linner, S., Zintl, M., Fu, W.-D. H., & Bengler, K. (2024). Artificial Haptic Cues as Assistance for Simplified Vehicle Operations in Advanced Air Mobility. In 2024 IEEE Intelligent Vehicles Symposium (IV) (pp. 3318–3325). IEEE. <https://doi.org/10.1109/IV55156.2024.10588465>
- Karle, P., Betz, T., Bosk, M., Fent, F., Gehrke, N., Geisslinger, M., Gressenbuch, L., Hafemann, P., Huber, S., Hübner, M., Huch, S., Kaljavesi, G., Kerbl, T., Kulmer, D., Mascetta, T., Maierhofer, S., Pfab, F., Rezabek, F., Rivera, E., . . . Lienkamp, M. (2024). EDGAR: An Autonomous Driving Research Platform -- From Feature Development to Real-World Application. <http://arxiv.org/pdf/2309.15492v2>
- Vogel-Heuser, B., Hartl, F., Zhao, J., Wittemer, M., Wudya, K., Mayr, A., ... & Borrmann, A. (2024). Langlebige Maschinen für Bau und Produktion mittels Digitaler Zwillinge—Eine ganzheitliche Betrachtung von Einsatzmöglichkeiten, Herausforderungen und Integrationsansätzen. In *Automation 2024* (pp. 713–724). VDI Verlag. <https://doi.org/10.51202/9783181024379-713>
- Vogel-Heuser, B., Deshpande, Y., Hartl, F., Zhao, J., Hou, X., Hujo, D., ... & Markert, T. (2024). Modellierung und Validierung von Latenzzeiten in industriellen Agentensystemen mit Digitalen Zwillingen der KI. *Fabrik. at-Automatisierungstechnik*, 72(10), 958–979. <https://doi.org/10.1515/auto-2023-0221>

- Vogel-Heuser, B., Hartl, F., Wittemer, M., Zhao, J., Mayr, A., Fleischer, M., ... & Wudy, K. (2024). Long living human-machine systems in construction and production enabled by digital twins: Exploring applications, challenges, and pathways to sustainability. *at-Automatisierungstechnik*, 72(9), 789-814. <https://doi.org/10.1515/auto-2023-0227>
- Zintl, M., Liedtke, S., Janetzko, D., Kimura, S., Schmidt-Moll, C., Faber, T., Holzapfel, F., Klinker, G., & Bengler, K. (2024). An Augmented Reality Pilot Assistance Concept for Advanced Air Mobility Aircraft Employing Simplified Vehicle Operations. In *2024 AIAA DATC/IEEE 43rd Digital Avionics Systems Conference (DASC)* (pp. 1–9). IEEE. <https://doi.org/10.1109/DASC62030.2024.10749170>
- ## 2025
- Eckl, A., Mertens, S., Hillenmeier, E., Rittger, L. & Bengler, K. (2025). Anwendungsfälle für Adaptivität im Lkw – Ergebnisse von Fokusgruppen mit Fahrer:innen und Expert:innen. *Kongress der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft e.V. – Arbeit 5.0: Menschzentrierte Innovationen für die Zukunft der Arbeit, 2025 (Aachen)*.
- Grabbe, N. & Du, Y. (2025). FRAMalyse: an open tool to quantitatively analyze and evaluate the characteristics of models derived by the Functional Resonance Analysis Method. In *Proceedings of the 35th European Safety and Reliability & the 33rd Society for Risk Analysis Europe Conference, ESREL SRA-E 2025* (pp. 3486-3493). Research Publishing, Singapore. doi: 10.3850/978-981-94-3281-3\_ESREL-SRA-E2025-P5512-cd
- Hübner, M., Sarah Gruber, S., & Bengler, K. (2025). Evaluating Trust in the Automated Vehicle EDGAR and its External Communication: Comparative Results from Two Real-World Demonstrations. *71. Kongress der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft e.V. – Arbeit 5.0: Menschzentrierte Innovationen für die Zukunft der Arbeit, 2025 (Aachen)*.
- Hübner, M., Stockmann, J.-N. B., & Bengler, K. (2025). Crossing the line: Impact of pedestrian group behavior on individual crossing decisions in AV interactions. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 109, 921–937. <https://doi.org/10.1016/j.trf.2025.01.020>
- Janetzko, D., Manzke, L., & Rabl, A. (2025). The tactile signal detection task and why it could change how we measure workload. *Applied Ergonomics*, 124, 104404. <https://doi.org/10.1016/j.apergo.2024.104404>
- Krüger, M., Vogel-Heuser, B., Hujo, D., Pohl, D., Semel, M., Kerausch, C., Cha, S., & Waterman, D. (2023). Shared-Control Ansatz zur Operator-KI Interaktion für die Großbaumaschinensteuerung. In *Automation 2023* (pp. 559–570). VDI Verlag. <https://doi.org/10.51202/9783181024195-559>
- Krüger, M., Vogel-Heuser, B., Waterman, D., Cha, S., Hujo, D., Prinz, T., ... & Semel, M. (2025). Inferring Cable-Suspended End-Effector Oscillations From Hydraulic Actuators' Responses in Diaphragm Wall Hydraulic Grabs. *IEEE Transactions on Automation Science and Engineering*. <https://doi.org/10.1109/TASE.2024.3521599>
- Nkusi, E. M., Grabbe, N., & Bengler, K. (2025). Long-term is no term: A systematic review of learning effects and the understanding of “long-term” in the context of driver-vehicle interaction. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 112, 111–137. <https://doi.org/10.1016/j.trf.2025.03.027>
- Pongratz, V., Steckhan, L., & Bengler, K. (2025). Analyzing Usage Behavior and Preferences of Drivers Regarding Shared Automated Vehicles: Insights from an Online Survey. In D. Harris, W.-C. Li, & H. Krömker (Eds.), *Lecture Notes in Computer Science. HCI International 2024 – Late Breaking Papers* (Vol. 15381, pp. 103–121). Springer Nature Switzerland. [https://doi.org/10.1007/978-3-031-76824-8\\_9](https://doi.org/10.1007/978-3-031-76824-8_9)
- Tang, T., Moreno, A., Grabbe, N., Bengler, K. (2025). Designing Multi-Driver Interaction Scenarios in Connected Driving Simulators: Technical Challenges and Solutions for Naturalistic Driving Behaviors. *16. Uni-DAS e.V. Workshop Fahrerassistenz und Automatisiertes Fahren, 2025 (Irsee)*.
- Wilch, J., Vogel-Heuser, B., Grabbe, N., Bengler, K., & Posch, M. (2024). Modeling Operator Involvement in Automated Production: A Case Study of the Functional Resonance Analysis Method. In *2024 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics (SMC)* (pp. 1748–1754). IEEE. <https://doi.org/10.1109/SMC54092.2024.10831376>

# Veröffentlichungen von Sommer 2024 bis Sommer 2025

## Professur für Sportgeräte und -materialien

### 2024

Gruber, G., Nicolini, L. F., Ribeiro, M., Lerchl, T., Wilke, H. J., Jaramillo, H. E., . . . Nispel, K. (2024). Comparative FEM study on intervertebral disc modeling: Holzapfel-Gasser-Ogden vs. Structural rebars. *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*, 12. <https://doi.org/10.3389/fbioe.2024.1391957>

Lerchl, T., Nispel, K., Bodden, J., Sekuboyina, A., El Hussein, M., Fritzsche, C., . . . Kirschke, J. S. (2024). Musculoskeletal spine modeling in large patient cohorts: How morphological individualization affects lumbar load estimation. *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*, 12, 1363081. <https://doi.org/10.3389/fbioe.2024.1363081>

Nispel, K., Schubert, N., & Senner, V. (2024). Toward painless road-cycling for women: Innovative pressure distribution through lattice-based seat pads: Special Issue: Engineering for Women in Sport. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part P: Journal of Sports Engineering and Technology*, 1(9). <https://doi.org/10.1177/17543371241272828>

### 2025

Baldinger, M., Lippmann, K., Lisca, G., & Senner, V. (2025). Development of a motion capture and feedback system for Qigong. *Sports Engineering*, Vol. 28(1). <https://doi.org/10.1007/s12283-025-00507-6>

Baldinger, M., Reimer, L. M., & Senner, V. (2025). Influence of the Camera Viewing Angle on OpenPose Validity in Motion Analysis. *Sensors*, 25(3), 799. <https://doi.org/10.3390/s25030799>

Schmid, Q. T., Ruschke, S., Karampinos, D. C., & Senner, V. (2025). Development of a 3D-knee brace joint using MRI data and a genetic algorithm. *Sports Engineering*, 28(1), 1–12. <https://doi.org/10.1007/s12283-025-00486-8>

# Dissertationen

## Lehrstuhl für Ergonomie

### Modellierung der Handbewegung für die Übernahmeaufgabe im automatisierten Fahrzeug

Die Arbeit beschreibt ein Modell zur Vorhersage der Handbewegung bei der Übernahme des Lenkrads in einem automatisierten Fahrzeug. Das Ziel ist, die Gestaltung des Fahrzeuginnenraums an die Anforderungen der Übernahmeaufgabe anzupassen. Das Modell basiert auf bestehenden Ansätzen und berücksichtigt verschiedene Einflussfaktoren auf die Bewegungsdynamik. Hierzu

zählen Umgebung, Aufgabe und individuelle Eigenschaften des Menschen. Mit dem Modell können die Position und Geschwindigkeit der Hand im räumlichen und zeitlichen Verlauf vorhergesagt werden.

Martin Fleischer, 29.07.2024

Quelle: mediaTUM | <https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:bvb:91-diss-20240729-1722644-1-9>

### Non-driving related tasks in the context of Level 3 driving automation of passenger cars in traffic jams: A differentiation approach based on non-driving related tasks' characteristics

During SAE Level 3 automated driving, fallback-ready users can engage in non-driving related tasks. In this dissertation, an approach to differentiate non-driving related activities was examined. The differentiation approach is based on the psychological task switching paradigm and switch costs. Results provide empirical

evidence that non-driving related tasks with higher cognitive similarity to the driving task are followed by reduced switch costs.

Elisabeth Shi, 10.09.2024

Quelle: mediaTUM | <https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:bvb:91-diss-20240910-1717097-1-4>

### Designing Safe Transition Phases with Minimal Risk Maneuvers of Automated Vehicles

Minimal risk maneuvers are deployed by an automated vehicle to achieve a safe condition in the event of a system limit. This cumulative thesis examines conditions for reducing collision risk, considering that drivers are not entirely relieved of the driving task during the transition phase. Therefore, four empirical studies were conducted, comprising a video survey and three driving simu-

lator experiments. Eventually, the "Transition Protocol" was developed that combines the results and conditions examined and answers the research question.

Burak Karakaya, 24.10.2024

# Dissertationen

## Lehrstuhl für Ergonomie

### Transparency Assessment of Automated Vehicle Human-Machine Interface

A new method (TRASS) was developed to evaluate how well people understand information from automated vehicles (AVs) by considering both understandability and mental effort. Multiple psychophysiological measures (EEG, ECG, and EDA) were explored to gauge mental effort in the driving simulator. TRASS effectively identified differences in HMI designs and pinpointed crucial

information for optimal understanding. This paves the way for improved HMI design and objective evaluation methods for AVs.

Yuan-Cheng Liu, 21.11.2024

---

Quelle: mediaTUM | <https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:bvb:91-diss-20241121-1747783-0-4>

### Ergonomische Anforderungen aus konsequenter Nutzerorientierung an Fahrzeugkonzepte für zukünftige Mobilitätsdienstleistungen

Die Einführung neuer Mobilitätsdienste, wie digitalisierten Rufbussen bzw. Ridepooling-Angeboten, steht unter hohem Erwartungsdruck, da sie eine gerechtere und barrierefreie Mobilität ermöglichen sollen. Allerdings sind die derzeitigen Fahrzeuge nur bedingt geeignet, verschiedene Personengruppen effizient zu befördern, was eine zielgruppenspezifische Konzeption und Anpassung

der Fahrzeuge erfordert. Durch den User-Centered-Design-Prozess werden Nutzungsanforderungen und -bedürfnisse ermittelt sowie Optimierungen für ein besseres Fahrgasterlebnis erarbeitet.

Martin Dorynek, 20.12.2024

---

Quelle: mediaTUM | <https://mediatum.ub.tum.de/?id=1738178>

### Lean Ergonomics

In dieser Dissertation wird *Lean Ergonomics* (LE) wissenschaftstheoretisch und empirisch hergeleitet, gegründet, vorgestellt und entwickelt.

LE verbindet ergonomische und betriebswissenschaftliche Methoden und Kennzahlen synergistisch, um Produktivität und Mitarbeitergesundheit in sozio-techni-

schen (Produktions-)Systemen ganzheitlich zu bewerten und zu optimieren.

Stefan Brunner, 04.07.2025

# Dissertationen

## Professur für Sportgeräte und -materialien

### The Potential of Individualized Musculoskeletal Models of the Torso for Systematic Analysis of Spinal Biomechanics

This thesis deals with the use of highly individualized multi-body models of the torso for the investigation of spinal loads. The models are generated from CT data and include individual spines as well as the torso weight and its distribution. Contents are the model development and validation as well as studies on the influence of model individualization and the analysis of the influence

of morphological and functional changes of the musculoskeletal system on spinal loading based on a digital copy of a large, diverse cohort.

Tanja Lerchl, 16.01.2025

---

Quelle: mediaTUM | <https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:bvb:91-diss-20250116-1744785-0-4>

### Perception, Adaptation, Customization: An Investigation of Subjective and Objective Methods for the Evaluation of Sport Footwear

This study explores athletes' perception of shoe modifications, bridging biomechanics and perception. Changes in shoe mass, cushioning, and traction affect perception and neuromuscular response. External factors like altered mass and cushioning prompt neuromuscular adjustments to maintain movement integrity, while kinematic parameters remain consistent with the

runner's personalized pattern. Additionally, athletes' perception of traction changes, along with lab tests, aids in generating artificial neural networks to design customized outsoles for sports.

Bahador Keshvari, 11.03.2025

---

Quelle: mediaTUM | <https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:bvb:91-diss-20250311-1740468-0-4>

## Abgeschlossene Masterarbeiten Lehrstuhl für Ergonomie

A Feedforward vibrotactile directional Guidance Prototype for Mid-Air Data Interaction in XR

Shaping Ethical AI in Lifelong Learning: A Framework for Assessing User Preference and Consensus

Einflussfaktoren auf die Motivation zur Nutzung von Chatbots im Gesundheitsbereich

Mensch-Roboter-Koexistenz auf Freiflächen – Evaluation expliziter Kommunikationsmittel für mobile Industrieroboter in der Intralogistik

Analyse von Unterbrechungen des Workflows und ihrem Einfluss auf die Beanspruchung des OP-Personals

Automotive Engineering - Implementing a Pilot Study for Understanding and Evaluating Interactions Between Drivers in Rural Roads and Motorway Scenarios Using Two Connected Driving Simulators

Objektivierung des thermischen Komforts für hochautomatisierte Fahrzeuge

Evaluation der eVTOL-Steuerung mit Simplified Vehicle Operations ohne Flugerfahrung: Eine Flugsimulatorstudie

Improving the Human-Machine-Interface in stationary Teleoperation: Insights from real-world applications

Development of an EMG-Driven Musculoskeletal Model of the Elbow for Force Torque Prediction in the Joint

Nutzerstudie zum Vertrauen und zur Akzeptanz der Nutzer\_innen im Bereich Medical AI Chatbots

Evaluation of AR Assistance Systems in a Mixed Reality eVTOL Simulator

Simulatorstudie zur Ermittlung nutzerseitiger Anpassungseffekte an die teilautomatisierte Fahrt

From Human-Aware to Human-Centered Robot Navigation: The Effect of Incorporating Comfort Distances on Human and Robot Efficiency, Perceived Safety, and Discomfort

Entrepreneurial Solution to the Information Deficit Problem in Critical Emergency and Tactical Operations Using Computer Vision

Entwicklung eines integrativen Frameworks zur Implementierung von operationaler Exzellenz unter Einbeziehung von Leadership, Lean und Ergonomie in der Fertigungsindustrie

Interaction between Multiple Pedestrians and Automated Vehicles in an Urban Environment - Virtual Reality Simulation Study

Exzellente Kommunikation am EDGAR – Weiterentwicklung der LED-Kommunikation für automatisierten Straßenverkehr

Evaluating Safety and Efficiency of Human-Robot Interaction for Different Communication Tools Using Object Tracking

Interaction between Pedestrians and Vehicles in complex Multi-agent Scenarios-Video-based Traffic Analysis

Implementation and Evaluation of a Robot Control Scheme for Teleoperation

Implementing haptic proxies for VR Experiments in Human Factors Engineering

Verständlichkeit von Gesten sozialer humanoider Roboter in der Pflege: Analyse der Notwendigkeit von Einzelfingerbewegungen

Empirische Validierung und konzeptionelle Weiterentwicklung von Lean Ergonomics

Optimierung und Validierung von Meshingmethoden für die thermische Simulation eines segmentierten Dummies

Machine Learning Modell zur Vorhersage menschlicher Bewegungen für die aktive Unterstützung eines Exoskeletts

Sensorbasierte Bewegungsintentionserkennung für Exoskelette

Exzellente Kommunikation am EDGAR – Weiterentwicklung der LED-Kommunikation für automatisierten Straßenverkehr

Entwicklung und Validierung eines kontinuierlichen RULA-Bewertungssystems mit RGB-Kameras und OpenPose für die ergonomische Bewertung in chirurgischen Umgebungen

Identifizierung ergonomischer Bewertungsmethoden für die Risikobewertung von Muskel-Skelett-Erkrankungen in der Luft- und Raumfahrtproduktion

Entwicklung und Optimierung eines maschinellen Lernmodells zur Intentionserkennung in Exoskeletten

Entwicklung und Evaluation eines interaktiven App-Tutorials für den bestimmungsgemäßen Gebrauch von Fahrerassistenzsystemen automatisierter Fahrzeuge

# Abgeschlossene Masterarbeiten

## Professur für Sportgeräte und -materialien

Design einer ergonomischen Benutzeroberfläche zur Steuerung und Darstellung der Schaft-Stumpf Interaktion für einen adaptiven transtibialen Prothesenschaft

Advanced Materials for Concussion Prevention: Investigating the Potential of Viscoelasticity in Football Helmets

Enhancement and Evaluation of a Mechanical Bending Test for Athletic Footwear with a comparison to the Foot's Biomechanics during Running

Towards Predictive Musculoskeletal Simulations of Over-Actuated Human Lumbar Spine Models Using Deep Reinforcement Learning

Assessment of lower Extremity Muscle Activation and Plantar Blood Flow During Walking with Different Insole Type

Identification of Healthy Knee Kinematic Phenotypes with 6-Degree of Freedom Analysis through Clustering Data Techniques

Imitating Human Gait Using Reinforcement Learning and OpenCap

Prüfstandsvalidierung und Entwicklung: Systematische Traktionsoptimierung der Außensohlen von Trail Running Schuhen

Weiterentwicklung eines bestehenden Systems zur Atemparametermessung auf kapazitiver Basis

Optimierung eines Mehrkörpersystem-Modells zur Untersuchung von Kettenschwingungen bei Mountainbikes

# Lehrbeauftragte am Lehrstuhl für Ergonomie



Martin Gröber, Ph.D., absolvierte seinen Bachelor in Medizintechnik an der Hochschule Ulm und seinen Master im Studiengang Movement and Health an der TUM. Die Promotion im Bereich Biomechanik schloss er an der Universität Wien ab. Bei der Firma Humanetics leitete er das

Engineering-as-a-Service-Team und arbeitet aktuell im Produktmanagement mit Fokus auf ergonomische Fahrzeugauslegung mittels RAMSIS. Seit dem WS 24/25 ist er externer Lehrbeauftragter an der TUM für das Ramsis Praktikum, welches die Grundlagen der ergonomischen Produktauslegung und Interieurgestaltung umfasst.



Dr. rer. nat. Daniel Schmelting ist seit Sommersemester 2023 als Lehrbeauftragter für die Vorlesung „Ergonomische und Effiziente Klimatisierung“ am Lehrstuhl für Ergonomie tätig. Hauptberuflich arbeitet er am Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) am Institut für Aerodynamik und

Strömungstechnik in Göttingen. Dort leitet er die Gruppe Fahrzeugklimatisierung, in welcher experimentell und numerisch Flugzeugkabinen, Schienen- und Straßenfahrzeuge bzgl. thermischen Komfort, Energieeffizienz und Luftqualität untersucht und optimiert werden.

Daniel hat nach einem Physikstudium in 2014 seine Promotion an der Georg August Universität in Göttingen im Fachbereich Physik mit dem Titel „Experimental Acquisition and Characterisation of Large-Scale Flow Structures in Turbulent Mixed Convection“ abgeschlossen. Die Anfertigung seiner Promotion erfolgte bereits in Kooperation mit dem DLR in Göttingen.



Christoph Vernaleken ist als Senior Expert Flight Deck and Human Factors bei der Deutschen Aircraft GmbH federführend an der Entwicklung des Cockpits für das Regionalflugzeug D328eco beteiligt. Er befasst sich seit 2001 beruflich mit Flugzeugcockpits und war nach einer Tätigkeit als wissen-

schaftlicher Mitarbeiter an der TU Darmstadt fast 15 Jahre bei Airbus Defence and Space im Bereich Human Factors Engineering tätig. Seit 2020 hält er als Lehrbeauftragter am LfE jeweils im Sommersemester die Vorlesung „Mensch und Luftfahrt – Ergonomische Aspekte“, die sich schwerpunktmäßig mit der Rolle der Ergonomie bei der Entwicklung von Flugzeugcockpits befasst, aber auch Grenzen menschlicher Leistungsfähigkeit im Flugumfeld und die regulatorischen Vorgaben zur Behandlung von Human Error in der Luftfahrt betrachtet.



Im April 2025 dieses Sommersemesters startete die neue englische Vorlesungsreihe "Occupational Safety and Health (OSH) in a changing world of work". Den Lehrauftrag dafür hat Dr.-Ing. Sascha Wischniewski, Leiter der Fachgruppe "Human Factors, Ergonomie" bei der Bundesanstalt

für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAuA) inne. Die Vorlesungsreihe bietet Einblicke in globale, europäische und nationale OSH-Institutionen und -strukturen sowie aktuelle Chancen und Herausforderungen in den Themenfeldern Digitalisierung, Klimawandel, Kreislaufwirtschaft und Basisarbeit und vermittelt entsprechendes Gestaltungswissen.

**Der Lehrstuhl für Ergonomie freut sich auf die Zusammenarbeit und einen regen Austausch.**

# Herzlich Willkommen

## Unsere neuen Mitarbeitenden am Lehrstuhl für Ergonomie



Sarah Feigl, M.Sc. ist seit Mai 2025 als wissenschaftliche Mitarbeiterin am Lehrstuhl für Ergonomie tätig. Sie studierte im Bachelor Ingenieurwissenschaften an der Technischen Universität München und anschließend im Master Medizintechnik und Assistenzsysteme, ebenfalls an der TUM. Ihre

Semester- und Masterarbeit schrieb sie an der Professur für Sportgeräte und -materialien. Im Rahmen dieser Arbeiten beschäftigte sie sich unter anderem mit der Planung, Durchführung und Auswertung von (Probanden-)Studien. Am Lehrstuhl liegt ihr Forschungsschwerpunkt in der Mensch-Roboter-Interaktion im medizinischen Bereich.



Dr. Jakob Reinhardt ist seit Mai 2025 als Postdoc am Lehrstuhl für Ergonomie tätig. Während seiner Promotion im Bereich der Mensch-Roboter-Interaktion lag sein Fokus auf der Entwicklung verständlicher und intuitiver Bewegungsmuster für Roboter. Zuletzt war er in der Medizintechnik tätig, wo

er sich mit der Analyse von Gerätenutzungsdaten aus dem Rettungsdienst befasste. Auch dort galt seine Leidenschaft der datengestützten Entwicklung benutzerfreundlicher Produkte.

Er freut sich sehr, seine bisherigen Erfahrungen nun als Postdoc im Projekt ForNeRo in einem interdisziplinären Umfeld der medizinischen Robotik einbringen zu können. Darüber hinaus sieht er mit großer Motivation der Aufgabe entgegen, die Forschungsgruppe Robotics for Life an Healthcare weiter zu stärken und aktiv mitzugestalten.

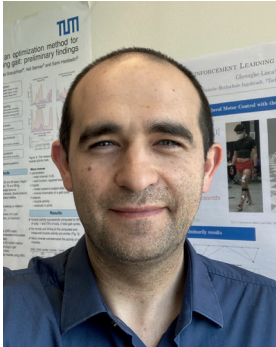


Oliver Trepping, M.Sc. ist seit März 2025 als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Lehrstuhl für Ergonomie tätig. In seiner Forschung befasst er sich mit Reparaturprozessen auf Produkt- und Nutzerebene. Der ausgebildete Kfz-Mechatroniker absolvierte einen

Forschungsmaster mit dem Schwerpunkt Fahrzeugtechnik an der Hochschule München. Im Rahmen seiner Masterarbeit führte er in Kooperation mit dem Lehrstuhl für Ergonomie eine Expertenstudie zum Nutzererlebnis im urbanen, teilautomatisierten Fahren durch. In seiner aktuellen Tätigkeit befasst sich mit der Fragestellung, welche Maßnahmen auf der Produktebene die Reparatur von Konsumgütern ermöglichen und erleichtern, und welche Maßnahmen auf der Nutzerebene zur eigenständigen Reparatur befähigen und motivieren.

# Herzlich Willkommen

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



Gheorghe Lisca, M.Sc. ist seit August 2024 als wissenschaftlicher Mitarbeiter an der Professur für Sportgeräte und Sportmaterialien tätig. Er absolvierte seinen Bachelor of Engineering im Bereich "Computer Science" und seinen Master in Bereich "Artificial Intelligence and Computer Vision"

beide an der Technischen Universität von Cluj-Napoca/Rumänien. Nach seinem Abschluss setzte er seine Forschung auf dem Gebiet der künstlichen Intelligenz von Robotern fort. An der Professur liegen seine Forschungsinteressen in der Anwendung von Reinforcement Learning Algorithmen zur Vorhersage des menschlichen Gangs unter variablen und dynamischen wechselnden Randbedingungen.

---

Für mehrere bewährte Mitarbeitende 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:

**Annika Boos, Dr. Stefan Brunner, Julia Graefe, Olivia Herzog, Dominik Janetzko, Manuel Kipp, Dr. Tanja Lerchl, Kevin Lippmann, Kati Nispel und Theresa Prinz**

Der Lehrstuhl für Ergonomie sowie die Professur für Sportgeräte und -materialien danken Ihnen für Ihre tatkräftige Unterstützung und wünschen allen für Ihre persönliche und berufliche Zukunft alles Gute und viel Erfolg.

# GEDANKEN ZUM ABSCHIED

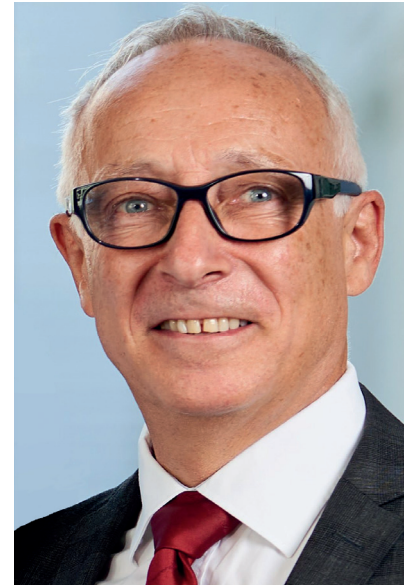
## Professor SENNER geht am 30.09.2025 in den Ruhestand

Meine beiden Diplomstudiengänge an der TUM eingerechnet, waren es 36 aktive Jahre an der TUM. Mich als TUMling zu bezeichnen, ist also völlig gerechtfertigt.

Ein zusammenfassender Blick zurück.

### WAS BLEIBT?

Für die Beantwortung dieser Frage ist es notwendig, zunächst darüber nachzudenken, was nicht bleibt. Nicht bleiben – im Sinne von dauerhaft – zum Beispiel die 111 in Scopus gelisteten Publikationen. Sie sind bereits am Verblässen im schnellen Wandel und dem explodierenden Erkenntnisgewinn der Wissenschaft. Die Zeiten ebenfalls nicht überdauern werden die zahllosen Folien vieler Vorträge. Und auch ein großer Teil der Lehrmaterialien wird schon bald nicht mehr verwendbar sein - allein schon deshalb, weil künstliche Intelligenz die Art und Weise der Wissensvermittlung und die Form der Prüfungen maßgeblich verändern wird.



Während also das wissenschaftliche Oeuvre nicht fortbestehen wird, so sind es andere Dinge, die dauerhaft in Erinnerung werden bleiben. Weil sie emotional bedeutsam waren:

- Die vielen großartigen Menschen und die Erlebnisse, der Austausch, die Zusammenarbeit mit ihnen.
- Die gemeinsame Freude mit den neu gekürten Doktoranden nach deren mündlicher Prüfung. Das „Du“ und das erste „Herr/Frau Doktor“. Bis dato insgesamt 21 als Doktorvater, weitere zehn werden demnächst noch folgen.
- Der Supervisory Award 2025 der TUM International Graduate School Science and Engineering (IGSSE)
- Die Auszeichnung der Internationalen Sports Engineering Association „ISEA FELLOW“.
- Die „sportlichen“ Teamausflüge- wie das Kajakfahren auf der oberen Isar, die Nachschlittenfahrt am Blomberg, der Windsurfingkurs am Starnberger See, das Eisstockschießen in Garmisch, die Bergwanderung am Königssee, die Skiausfahrt ins Paznauntal oder der Abstieg vom Obersalzberg - Kehlsteinhaus.
- Rückmeldungen von Studierenden, wie diese:
  - „Gerade für Sportwissenschaftler mit technischem Interesse ist dieser Master einfach ein Traum...“ Bei mir hat es wie bei vielen anderen auch mit Ihrer Bachelor-Vorlesung „Sporttechnologie“ angefangen - und jetzt geht es mit einem Ingenieursjob weiter. Daran sind Sie wesentlich beteiligt. :-“.
  - Oder Kommentare in den Evaluationen der Lehrveranstaltungen:
    - „...sehr motivierter Prof, der sehr am Lernerfolg der Studierenden interessiert ist“.
    - „...Top Dozent !!“
    - „...Sehr spannende Inhalte“
    - „Ich habe das Gefühl sehr viel gelernt zu haben, habe viel Motivation wieder gefunden und würde die Erfahrung bis dato zu den Highlights meines Studiums zählen. Vielen Dank!“
- Oder der Beifall nach Vorlesungen...

- Die Peter-Kau-Gedächtnisstouren mit lieben Kolleginnen und Kollegen. Soweit möglich, werden diese weiterhin stattfinden.
- Unser Imagefilm aus dem Jahr 2022 <https://www.mec.ed.tum.de/spgm/startseite/> .
- Unsere zahlreichen, immer begeisternden Aufenthalte mit Studierenden auf der Forschungsstation im Schneefernerhaus auf der Zugspitze.

## MEIN TEAM

Weder vor noch während meines Studiums habe ich daran gedacht, einmal den Beruf eines Hochschulprofessors einzuschlagen. Diese Berufung hat sich tatsächlich eher „ereignet“ – ich war zur richtigen Zeit mit der richtigen Ausbildung am richtigen Ort. Aber ich habe schon als Jugendlicher davon geträumt, ein Team von Experten um mich zu scharen und praktische Erfindungen technischer Art zum Wohle der Menschheit zu machen. Dieser Traum ist in Erfüllung gegangen. – zunächst noch ganz langsam. Als ich dem Ruf an die TUM gefolgt bin, handelte es sich noch um eine „one man show“. Aber SpGM ist stetig gewachsen, das Team hat sich vergrößert und – JA – alle heutigen wissenschaftlichen Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter sind Experten ihres Promotionsthemas. Wir haben „The Brain“ Patrick, der knowledge-based KI zu durchdringen versteht. Und Gheorghe, der Deep Reinforced Learning in die Biomechanik integriert. Christian setzt – inspiriert durch Schuheinlagen zur gezielten Anregung des Blutflusses an der Fußsohle – die Methode des Laser Speckle Imaging für neue Anwendungsfelder ein. Melanie ist die Expertin für automatisiertes Trainingsfeedback basierend auf Posenerkennung und Inertialsensorik. Robin ist stark im Bereich mathematischer Methoden und Finite-Elemente – angewandt auf valide Modelle des Fußes und additiv gefertigte Zwischensohlen von Sportschuhen. Deren Traktion in Wechselwirkung mit verschiedensten Bodenverhältnissen und Konfigurationen der Schuhsohlen ist die Expertise von Valentin. Das Verhalten des Kettenantriebs des vollgefederten Mountainbikes beim Landen nach Sprüngen in Modell und Experiment – das ist die Domäne von Manuel. Auch Kati interessiert sich für (verunglückte) Landungen mit dem Mountainbike, forscht und entwickelt dazu aber komplexe FE-Modelle der Wirbelkörper und der Zwischenwirbelscheiben. Quirin hat sich zu einem Spezialisten für die (präventive) Knieorthetik entwickelt, mit einem besonders breiten Methodenspektrum vom MRT bis zum Einsatz genetischer Algorithmen zur Gelenkoptimierung. Und passend dazu hat sich Kevin in die Welt der künstlichen Knochen eingearbeitet mit dem Ziel, durch additive Fertigungsverfahren deren Validität maßgeblich zu verbessern.

Aktuell (Juli 2025) bilden also noch zehn Doktorandinnen und Doktoranden das Team – jede(r) hat spezifische Stärken und tiefes Fachwissen. Und aufgrund der überschaubaren Teamgröße ist es noch möglich, dieses Wissen untereinander zu teilen. Mit einer Gruppe hochmotivierter und kluger Köpfe zusammenwirken zu können – das war mein beruflicher Traum. Er hat sich erfüllt.

Vor drei Jahren, zu unserem 20-jährigen Jubiläum haben wir eine Festschrift<sup>1</sup> verfasst. Die Fußzeile in dieser Festschrift ist als Zeitstrahl formatiert mit Bildern aller Personen und wann sie als Mitarbeitende zur Professur hinzukamen. Eine besondere Würdigung und Danksagung habe ich in dieser Festschrift jenen Personen gewidmet, welche für die Entwicklung der Professur besonders prägend waren. Dies soll hier nicht wiederholt werden. Aber eine Person, nämlich meinen Doktoranden Valentin Wohlgut, möchte ich in diese Aufzählung noch mitaufnehmen. Weil Valentin es geschafft hat, seine Begeisterung für den Sport und an vorderster Stelle für das (Ultra)Trailrunning in seiner Übung zum Modul Methoden des Sports Engineering auf die Studierenden zu übertragen. Weil er das Methodenseminar auf der Zugspitze im Schneefernerhaus zu einer Lehrveranstaltung gemacht hat, die studentische Rückmeldungen provoziert wie „Veranstaltung war die beste, die ich bisher an der TUM hatte.“ Weil er mit seiner präzisen und hochsystematischen Arbeitsweise unser Traktionsmessgerät zu

<sup>1</sup> [https://www.mec.ed.tum.de/fileadmin/w00cbp/spgm/10\\_Downloads/Festschrift\\_SPGM\\_Timeline.pdf](https://www.mec.ed.tum.de/fileadmin/w00cbp/spgm/10_Downloads/Festschrift_SPGM_Timeline.pdf)

einer weltweit einzigartigen Vorrichtung hin optimiert hat. Und weil er als Laborleiter den Laden in Hochbrück in Schuss hält. Dafür mein besonderer Dank.

Einer zweiten – für das gesamte Team unentbehrlichen und wichtigen Person - nochmals in aller Form „Danke“ zu sagen - dies ist es mir ein besonderes Anliegen:

Liebe Frau Chiritescu!

Sie dürfen auf Ihre Zeit als unsere Teamassistentin mit großem Stolz zurückblicken. Was Sie geleistet haben und wie Sie mit uns Wissenschaftlern umgegangen sind, das war großartig. Ich kann mich in all den Jahren an keinen verpassten Termin, keinen untergegangenen Anruf, keine Fehlbuchung, keinen vergessenen Eintrag auf unsere Publikationsliste, keine Unpünktlichkeit – einfach an keine einzige Nachlässigkeit erinnern. Sie hatten mich und uns alle „im Griff“ und sich unser aller Respekt verdient. Dass Sie nach Ihrer Pensionierung noch ein Jahr auf halber Stelle drangehängt haben, bis ich in den Ruhestand gehe, das war schon ein großes Entgegenkommen. Aber dass Sie sich nun auch noch bereit erklärt haben, über diesen Zeitpunkt hinaus einen Tag pro Woche die auslaufenden ZIM Förderprojekte und sonstige an der Professur anfallende Angelegenheiten administrativ zu begleiten - das ist einfach „EXTRAORDINAIRE“.

DANKE von ganzem Herzen!

## DAS ZUSAMMENSEIN MIT DEM LFE

Vor 16 Jahren (2009) begann die Tür-an-Tür-Kollegenschaft mit dem neu besetzten Lehrstuhl für Ergonomie. Wir beide, Klaus Bengler und ich, wurden als neue Mitglieder schnell und kollegial in die Fakultät Maschinenwesen integriert. Von Anbeginn war das Zusammenwirken zwischen SpGM und LfE geprägt von gegenseitiger Anerkennung, einem harmonischem Miteinander und der gemeinsamen Idee, einen Studiengang zu etablieren, der die Bezeichnung „interdisziplinär“ wirklich verdient. Mit unserer beiden akademischen Profile Psychologie, Sportwissenschaften und Maschinenbau hatten wir die Karten für die Gestaltung des Masterstudiengangs „Ergonomie – Human Factors Engineering“ in der Hand. Rückblickend lässt sich ohne Übertreibung sagen: Es waren gute Karten. Auch die schwierige Phase für den HFE Studiengang, nach dessen Auslaufen der Akkreditierung bis zu seiner Wiedereinrichtung im WS24/25, haben wir – Dank der intensiven und wie immer strukturierten Zuarbeit durch Dr. Verena Knott und Frau Dipl.-Soz. Cornelia Götze – überstanden: Manche Interessenten für den Studiengang hatten Wartezeiten auf den Neustart von bis zu einem Jahr in Kauf genommen. Der Erfolg des Studiengangs zeigt sich in persönlichen Rückmeldungen der Studierenden, war wieder einmal spürbar beim vor ein paar Tagen stattgefundenen HFE-Sommerfest und drückt sich objektiv in den Zahlen aus: Für das kommende Wintersemester 2025/26 liegen 90 Bewerbungen vor.

Als im Vergleich zum LfE kleine Einheit haben wir vom Lehrstuhl - insbesondere in Bezug auf Infrastruktur - profitiert. Küche, Kopierer, Klimakammer (um die Alliteration zu nutzen) und nur als Beispiel dafür. Freilich: Dies hatten Klaus und ich damals 2009 per Handschlag so vereinbart, aber dass dies dann auch gelebte Praxis wurde, das ist nicht selbstverständlich. Und dafür, lieber Klaus, ein ganz herzliches DANKE.

Dieses möchte ich an dieser Stelle auch unseren beiden Werkstattleitern, Michael Arzberger und Heribert Hart zukommen lassen. Und ihnen gleichzeitig Respekt zollen für ihr großes fachliches Können, ihre nie nachlassende Neugier und die Art und Weise, wie sie mit Studierenden umgehen - auch dann, wenn diese in Bezug auf die Fertigung „etwas blauäugig-naiv“ konstruiert hatten.

Danke auch Ihnen, Frau Herold: Ihren Schwung habe ich immer genossen und gerne mitgenommen. Und Ihnen, Frau Gres, ebenfalls Danke – insbesondere für Ihre Geduld, wenn ich Beiträge (wie diesen) erst mit einiger Zeitverzögerung zugeliefert habe.

Der menschliche Umgangston zwischen Allen, die im EG und im dritten Stock von Gebäude 3 zusammenarbeiteten, die vielen Lacher und schönen Geschichten, der gemeinsame Gang zur Mensa, die schönen Mitarbeiterausflüge und die Bereitschaft auszuhelfen wenn nötig – dies hat die gemeinsame Zeit geprägt.

Diese Erinnerung nehme ich gerne mit in den neuen Lebensabschnitt.

## UNSERE STUDIERENDEN

Dass die Kohorte unserer Studierenden keine repräsentative Stichprobe der jungen Erwachsenen zwischen 20 und 30 Jahren, sondern eine spezielle Auswahl darstellt, ist klar. Am Anfang stand bei ihnen die Entscheidung, an einer Universität zu studieren, von welcher bekannt ist, dass sie hohe Anforderungen stellt. Und von diesen Engagierten haben wir dann mittels Eignungsfeststellungs- bzw. Eignungsverfahren noch eine Auswahl getroffen. Wir haben es also mit besonders ambitionierten jungen Menschen zu tun. Menschen, die zur Aufnahme von sehr viel Wissen bereit sind und die Intelligenz besitzen, dieses Wissen zu Kompetenzen zu kultivieren. Und wer glaubt, dass dabei das Mit- und Füreinander auf der Strecke bleiben, der täuscht sich. In meiner Funktion als Vorstandsmitglied des Vereins Evangelische Studentenwohnheime München e.V. (ESWM) habe ich regelmäßig an den Versammlungen der Bewohner des Hochschulhauses Garching teilgenommen. Niemals gab es ein Problem, Freiwillige zu finden, die bereit waren Verantwortung zu übernehmen für die zahlreichen Aufgaben in der Selbstverwaltung des Wohnheims. Auch wenn es um die Wahl der Semestersprecher\*innen in unserem HFE<sup>2</sup> -Studiengang ging, oder um die Vertretung der studentischen Interessen in der Fachschaft, die Organisation von Sommerfesten, Weihnachtsfeiern, Exkursionen – da gab es kein betretenes In-die-Luft-schauen, sondern Handzeichen und „... ich würde das machen!“.

Der Höhepunkt an Enthusiasmus und Motivation - und für mich einer der schönsten Momente in der Betreuung der Studierenden - ist, wenn sie nach der zumeist persönlichen Beratung ihr Thema für die Abschlussarbeit gefunden haben. Und dann damit loslegen. Wir haben (bzw. korrekterweise: Frau Chiritescu hat) die Titel aller  $n=761$  (Stand 07.07.2025) an der Professur betreuten Studienarbeiten, mit entsprechenden Schlagwörtern versehen, in einer Datenbank abgespeichert sowie die auf Datenträger gesicherten Arbeiten einschließlich ihrer Kurzfassungen abgelegt. Ich habe nicht nachgezählt, aber gefühlt belegen 99% dieser Arbeiten die Aussage, dass Hervorragendes entsteht, wenn Menschen in ihrem Tun einen Sinn sehen und – wie in unserem Umfeld - mit Eifer an der Lösung einer Entwicklungsaufgabe tüfteln. Oder sich intensiv mit der Beantwortung einer Forschungsfrage beschäftigen.

Insbesondere in den Bachelorstudiengängen mit ihren hohen Fallzahlen haben es unsere Studierenden – und ganz besonders die aus dem Ausland - nicht leicht. Denn wir sind zu wenig Dozentinnen und Dozenten, als dass es möglich wäre, jede und jeden „bei der Hand zu nehmen“ und den Lernfortschritt individuell zu begleiten. Das ist anders an den renommierten Privatuniversitäten, die über mehrere Milliarden an Stiftungskapital verfügen, wie Harvard, Oxford oder das Imperial College London. Aber dieses vermeintliche Handikap unserer Studierenden wandelt sich nach meiner Erfahrung zu einem gewissen Vorteil: Wenn unsere Studierenden die TUM verlassen, dann haben sie gelernt, sich selbstorganisiert zu helfen, weil sie eben nicht bei den ersten Schwierigkeiten eine Anlaufstelle hatten für Ratschläge und Antworten. Kurz: sie haben ein hohes Maß an Resilienz und Selbstständigkeit im Problemlösen erworben. Dies ist eine Eigenschaft, die Chefs sehr gerne haben

---

<sup>2</sup> HFE = M.Sc. Human Factors Engineering

und ein Markenzeichen erfolgreicher Ingenieurinnen und Ingenieure.

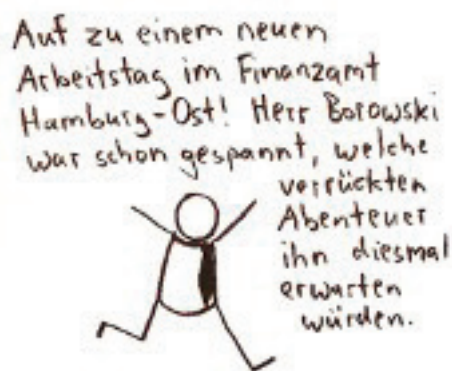
Ich habe es immer als etwas ganz Besonderes gesehen, Hochschullehrer sein und junge Menschen ausbilden zu dürfen, die genau dieses Studium ausgewählt haben und dazu – teilweise von sehr weit her - zu uns gekommen sind. Die deshalb dem angebotenen Stoff entsprechendes Interesse entgegen brachten. Nicht allem Stoff. Und nicht immer – versteht sich...

## UNSERE VERWALTUNG

Jede(r) von uns Professorinnen und Professoren hat häufigen, oft mehrmals täglichen Kontakt mit unserer Verwaltung. Hinter diesem – viel zu oft mit weniger guten Assoziationen verbundenen - Wort verbergen sich Menschen. Und um es gleich vorwegzunehmen: Bis auf ganz wenige Ausnahmen hoch engagierte, effizient arbeitende und vor allem sehr nette Menschen.

Ich glaube, dies ganz gut beurteilen zu können. Denn über die „normalen“ Verwaltungsangelegenheiten des Professors hinaus, hatte ich während meiner Zeit an der TUM drei Leitungsfunktionen inne. Sie brachten mich in unmittelbaren Kontakt mit einer Vielzahl von Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern der Verwaltung: Vier Jahre als Prodekan der Fakultät für Sportwissenschaften, davon zusätzlich 5 Monate in der kommissarischen Leitung als Dekan nach dem unerwarteten Tod des Kollegen Michna. Und schließlich an unserer School ED sechs Semester als Studiendekan (neu-deutsch: APD- Academic Program Director) für alle im Professional Profile Mechanical Engineering zusammengefassten 9 Bachelor- und Masterstudiengänge. Von den Vielen, die mich - insbesondere in der intensiven Zeit als APD – unterstützt und mir mit Rat und sehr viel Tat zur Seite gestanden haben, möchte ich stellvertretend zunächst drei Damen nennen und mich bei ihnen bedanken: Dr. Ingrid Mayershofer, Dr. Anna Reif und Dipl.-Ing. (FH) Martina Sommer. Und damit die Männer nicht vergessen werden: Dr. Till von Feilitzsch und Dieter Grimm.

## RESÜMÉE



Es war ein Privileg, an einer derart agilen, Ideen nicht nur versprühenden, sondern sie auch umsetzenden Universität wie der TUM den Großteil seines (Arbeits)Lebens verbringen zu können. In vielen Funktionen, als Hochschullehrer, Wissenschaftler, Projektmanager, Netzwerker, Mentor, Administrator, Organisator. Als Problemlöser auf vielen völlig unterschiedlichen Ebenen. JA @kriegund freitag: Jeder Tag ein gewisses Abenteuer. Auch verrückt? JA, auch das gelegentlich.

**Würde ich alles wieder so machen?** Einfache Antwort: DAS WÜRDEN GAR NICHT GELINGEN.

Denn mit dem Wissen von heute würde die ein oder andere Entscheidung anders ausfallen. Nicht unbedingt weil man so viel klüger und erfahrener ist. Sondern weil man sie damals unbefangenen treffen konnte. Ohne den Ballast des heutigen Wissens und nichtsahnend, was man an wertvollen Erfahrungen und Erlebnissen auf dem gewählten Weg verpassen würde. Vor lauter Angst davor, wären manche Entscheidungen wohl nie zustande

gekommen.

Also anders gefragt: **Würde ich mir wünschen, dass es genauso abläuft?**

JA - bis auf drei Dinge, von denen ich mir gewünscht hätte, dass sie anders laufen.

Da gab es einen gemeinsamen Forschungsantrag an die DFG, zusammen mit zwei besonders renommierten und gleichermaßen sympathischen Wissenschaftlern, der Kollegin Koerte von der LMU und dem Kollegen Wall aus unserem Haus. Es ging um Kopfbälle im Fußball und die damit einhergehenden unmittelbaren Veränderungen der Gehirnstruktur sowie die sich daraus ergebenden Folgen für kognitive Fähigkeiten. Da gab es Gutachterkommentare wie diese:

*„Auch wenn es ohne Zweifel eine besondere Herausforderung sein wird [...], ist der hier vorgeschlagene Ansatz äußerst vielversprechend.“*

*“I reviewed the prior submission and was enthusiastic about the science and potential impact of the project. The revised version has addressed prior suggestions and further strengthened this already excellent proposal.”*

*„Der Antrag zeichnet sich insgesamt durch hohe Originalität sowie einen herausragenden zu erwartenden Erkenntnisgewinn aus.“*

Und

*„Als besondere Stärke ist die wohldurchdachte Kombination höchst anspruchsvoller experimenteller, theoretischer sowie numerischer Arbeiten hervorzuheben“.*

Auch wir als Antragsteller wurden von den Gutachtern gelobt:

*„Spannende Kombination der Expertisen der drei Antragsteller“*

*„Die Antragstellenden sind in ihrem jeweiligen Fachgebiet hervorragend ausgewiesen. Alle drei Antragstellenden können Publikationen aufweisen, die zeigen, dass sie für die geplanten Arbeiten methodisch sehr gut aufgestellt sind.“*

*The 3 applicants and resources were previously deemed outstanding and extremely well-suited to execute the project, with highly complementary expertise and evidence of a strong working relationship.*

So waren die Vota der beiden Gutachter eindeutig:

*„Eine Förderung des beantragten Projekts wird mit Nachdruck empfohlen. Die beantragten Mittel scheinen gerechtfertigt.“*

und

*“Impact of the proposed project is expected to be high, and funding is recommended to address this highly significant public health challenge.”*

Umso demotivierender war es für uns als Antragsteller - und die Gutachter müssen es als eine Missachtung ihrer Expertise und ihrer investierten Zeit betrachtet haben - ein Schreiben der DFG zu erhalten, mit dem abschließenden Satz in der Stellungnahme des Fachkollegiums:

*„In der Kompetition der Anträge kann das Projekt leider nicht zur Bewilligung empfohlen werden.“*

Dass die DFG nur einen Teil der beantragten Projekt fördern kann, das wissen wir alle. Aber warum können die eindeutig positiv begutachteten Anträge nicht einfach in einen Topf wandern, aus dem dann - notariell begleitet, die „Glücklichen“ gezogen werden? Abgesehen von der besonderen Publikumswirksamkeit einer solchen Lotterie und der damit verbundenen Möglichkeit, Wissenschaft zu vermarkten: Mit einem Losentscheid hätte ich weit besser leben können, als mit den absurden, fast schon verzweifelt wirkenden Kritikpunkten des Fachkollegiums.

Eine zweite Sache, die nicht so weit gekommen ist, wie ich mir dies gewünscht hätte, ist unser Projekt „Weniger Knieverletzungen im Alpinen Skisport durch eine intelligente Skibindung“.

Zur meiner Beruhigung: Sowohl die Sinnhaftigkeit als auch die technische Machbarkeit haben wir zeigen können – auch Dank einer Unterstützung der Bayerischen Forschungsstiftung (Förderkennzeichen: AZ-1375-19). Vielleicht hat irgendwann ein Skibindungshersteller den notwendigen Pioniergeist und transferiert Mittel aus dem zumeist gut ausgestatteten Marketingetat in den Topf der Entwicklungsabteilung? Nochmal drei Jahre zusammen mit der TUM - und das Produkt wäre marktreif.

Als Drittes ist da das Thema Wiederbesetzung bzw. Weiterführung der Professur. Da ist von dem ursprünglich geäußerten Plan, einer gewissen zeitlichen Überlappung der Stelleninhaber nichts übrig geblieben. Ganz im Gegenteil, wie der nachfolgende Abschnitt zeigt.

## WIE GEHT ES MIT DER PROFESSUR WEITER?

Und plötzlich ist er im Ruhestand.

Bei einer Infoveranstaltung im Januar 2020 hat der damalige Dekan, Professor Klaus Adams, im Beisein des TUM Präsidenten unter der Überschrift „Auslaufende Professuren“ die Professur Senner rot markiert. Mit dem Gedanken, dass noch fünf Jahre Zeit bis dahin ist und der Zuversicht, dass (die niemals in Frage gestellte) Wiederbesetzung rechtzeitig erfolgen wird, habe ich den Dekan kurz danach gefragt: „Gas geben oder auslaufen lassen?“

Seine Antwort: „Vollgas geben!“

Über die Nachfolge diskutiert wurde des Öfteren, Ende 2022 wurde eine HTA Professur Robotics and Biomechanics ausgeschrieben, das Berufungsverfahren scheiterte. Am 15.01.2025 wurde im School Meeting eine Professur Sports- and Biomechanical Engineering als „...currently in preparation“ erwähnt. Im Mai 2025 wurde dann beim Hochschulpräsidium eine Professur Applied Biomechanical Engineering eingereicht – im Vergleich zu meiner Wunschdenomination „Sports- and Biomechanical Engineering“ fehlt nun der „Sport“. Dies ist meines Erachtens nach eine verpasste Chance, den Bedarf für die Professur u.a. mit der Olympiabewerbung Münchens zu begründen. Nach neuesten Informationen (Juli 2025) ist der Ausschreibungstext jetzt nochmals bei der Ausrichtungskommission – die Begründung für die Professur sei zu überarbeiten.

Insgesamt bedeutet dies, dass es eine fließende Übergabe mit möglichst geringem Wissens- und Informationsverlust vor meinem Ausscheiden aus dem aktiven Dienst leider nicht geben wird. Ich habe dafür gesorgt, dass im Bereich der Lehre die Pflicht- und Wahlpflichtmodule für das kommende Winter- und Sommersemester weitgehend gesichert sind. Auch unser Labor kann bestehen bleiben und wird - zumindest bis 30.09.2026 - unter der Leitung von Herrn Wohlgut stehen. Professor Bengler wird – und dies ist gedanklich eine große Erleichterung für mich - die kommissarische Leitung der Professur SpGM übernehmen. Und ich übernehme – selbstverständlich - die Fernbetreuung meiner Doktoranden bis zum glanzvollen Abschluss des Promotionsverfahrens.

Sollte die Wiederbesetzung der Professur zum Wintersemester 2026/27 gelingen, dann wären noch Mitarbeiter\*innen vom SpGM-Team vorhanden, um den ein oder anderen Tipp an den / die zukünftige Kollegen\*in weiterzugeben. Und nachdem meine TUM E-Mail-Adresse senner@tum.de bis auf Weiteres Bestand haben wird, kann ich als Emeritus möglicherweise aus der Ferne mithelfen. Unter der Voraussetzung, dass meine Frau und ich nicht gerade irgendwo mit unserem zweiten Zuhause auf vier Rädern (siehe Bild) unterwegs sind, wo es keinen Kontakt in die Zivilisation gibt...



DANKE



Meine gut gepflegte Outlook Adressdatei enthält derzeit über 3000 Kontakte. Sehr vielen Personen davon gebührt Dank dafür, dass meine Zeit an der TUM eine insgesamt so schwerelose und - aus meiner Sicht – erfolgreiche geworden ist.

ALLES GUTE IHNEN / EUCH ALLEN!!





