

Ergonomie

AKTUELL



IMPRESSUM:

Ergonomie Aktuell

Die Fachzeitschrift des Lehrstuhls für Ergonomie erscheint im Selbstverlag einmal pro Jahr.
Auflage 100

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,

in einer Zeit, in der sich die Technologielandschaft rasant weiterentwickelt, ist es aufregend, einen Blick in die Zukunft zu werfen und diese in Forschungsprojekten zu erkunden und zu gestalten.

Wir werden in dieser Ausgabe faszinierende Erkenntnisse aus unseren Forschungsprojekten teilen, die Innovationen und Technologien enthalten, die zukünftig allgegenwärtig sein können und vor allem auf die Herausforderungen der Arbeitswelt eingehen. In allen Bereichen fehlt es an Fachkräften und häufig ist eine Automation noch nicht möglich. Daher sind mehr denn je Interaktionsdesigns gefragt, die innovative Technologien für Experten effizient nutzbar machen und zugleich nachhaltig eingesetzt werden können.

Das Projekt ForNeRo, mit der offiziellen Übergabe des Förderbescheides Anfang 2024 durch den bayerischen Staatsminister Markus Blume, eröffnet beispielsweise Möglichkeiten zur nahtlosen und ergonomischen Integration der Robotik in den klinischen Arbeitsablauf.



Zukünftige Tätigkeiten mit elektrischen Handwerkzeugen untersucht das neu gestartete und von der DFG geförderte Projekt CoSiMMI, um diese biomechanisch bestmöglich auf den Menschen anzupassen. Körperliche Entlastung bei der Lastenhandhabung ist auch das Ziel des EXIST Forschungstransfers HF.exo, wobei ein Exoskelett zur Unterstützung eingesetzt wird.

Im Projekt STADT:up ist die Halbzeit erfolgreich erreicht und durchgängige und skalierbare Lösungen für die zukünftige urbane Mobilität werden konkreter, wobei realitätsnahe, intermodale Mobilitätszenarien und deren Evaluation fokussiert werden.

Im Wintersemester wird der Masterstudiengang Human Factors Engineering starten, der sich durch eine deutliche Vernetzung von Ergonomie, Biomechanik und Design auszeichnet. Wir freuen uns auf unsere Studierenden.

Zudem ist das Sommersemester 2024 geprägt durch das Forschungsfreisemester der Lehrstuhlleitung. In einer Welt, die oft von Hektik, ständiger Erreichbarkeit und Bürokratie geprägt ist, bietet dieses Semester als Forschungsfreisemester die fokussierte Konzentration auf Forschung und Experimente sowie auf Austausch fernab des heimatlichen Verwaltungsstresses. Forschungsaufenthalte in USA und Asien sowie Einblicke in die Forschungsaktivitäten anderer renommierter Universitäten der Welt eröffnen die Möglichkeit, mit frischem Blick auf die eigenen Forschungsaktivitäten zu sehen und neue Perspektiven zu gewinnen.

Ein neues Forschungsprojekt oder auch neue Prozesse sind eine Reise ins Unbekannte. Es erfordert Mut, Hartnäckigkeit und Kreativität, um Antworten auf komplexe Fragen zu finden und Lösungen für drängende Probleme zu entwickeln. In diesem Sinne danke ich allen Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern des Lehrstuhls für die tatkräftige Unterstützung während des vergangenen Jahres und insbesondere im laufenden Sommersemester.

Vor allen danke ich meiner Oberingenieurin Dr. Knott und den Forschungsgruppenleitungen für Ihre Präsenz und Entscheidungen während meines Freisemesters.

Kommen Sie mit uns auf eine Reise der Entdeckung und lassen Sie sich von den neuesten Entwicklungen in der Forschung an unserem Lehrstuhl begeistern.

Ihr Klaus Bengler

Co-Simulation zur Vorhersage und biomechanischen Optimierung der Mensch-Maschine-Interaktion <i>Rebecca Rack</i>	06
Explorative bibliometrische Netzwerkanalysen als Indikator für Forschungspotentiale am Beispiel Lean Ergonomics und Industrie 4.0 <i>Stefan Brunner, Sven Hawer</i>	08
RoboLingo: Ein Baukasten für Interaktionen von AMRs mit Menschen <i>Nicolas Niessen, Florian Rothmeyer, Katherina Terefenko</i>	13
ARA-SVO Ergonomische Aspekte bei der Steuerung von eVTOLs <i>Dominik Janetzko</i>	17
IAA Mobility 2023 - Umfrage und VR-Studie vor dem Münchner Rathaus zum Thema automatisiertes Fahren <i>Maximilian Hübner, Sarah Gruber, Christoph Feichtgruber</i>	19
Navel Johanni – Ein sozialer Roboter im Pflegeheim <i>Olivia Herzog</i>	23
RUMBA: Automatisierte Lkw im Hub-to-Hub-Verkehr <i>Svenja Escherle</i>	26
Ein Lieferroboter für den Campus Garching — Update aus dem DFG-Projekt "sabeS" <i>Olivia Herzog</i>	29
STADT:up Perspektiven urbaner Mobilität <i>Jonas Schulze</i>	31
User Experience beim automatisierten Fahren <i>Lorenz Steckhan</i>	34
HF.exo - Exoskelette für die Arbeitswelt der Zukunft <i>Christina Harbauer, Martin Fleischer, Noah Lars Gerullis, Felix Peter Schaefer</i>	37
Intelligente Fahrzeugklimatisierung: Maschinelles Lernen zur Optimierung von thermischem Komfort und Energieeffizienz <i>Manuel Kipp</i>	40
Masterstudiengang Human Factors Engineering der School of Engineering and Design (ED)	46
Professur für Sportgeräte und -materialien: Überblick über die neuesten Entwicklungen am Institut <i>Kati Nispel, Quirin Schmid, Patrick Carqueville</i>	48
Veröffentlichungen von Sommer 2023 bis Sommer 2024	52
Dissertationen	56
Abgeschlossene Masterarbeiten	58
Neue Mitarbeitende und Abschied	61

Co-Simulation zur Vorhersage und biomechanischen Optimierung der Mensch-Maschine-Interaktion

Rebecca Rack

Forschungsprojekt CoSiMMI (DFG)

Die nutzerzentrierte Entwicklung der Mensch-Maschine-Schnittstelle bei technischen Systemen nimmt im Produktentstehungsprozess eine immer wichtigere Rolle ein (Wallhoff et al., 2023). Je besser hierbei die Anforderungen und Bedürfnisse der Nutzer im Detail verstanden werden, desto besser können sie gezielt in die Gestaltung nutzerzentrierter Produkte eingebracht werden (Looze et al., 2001). Zu den Anforderungen und Bedürfnissen gehören vor allem die Reduzierung von Belastungen, welche die Gesundheit der Anwender beeinflussen (wie der Vermeidung von schädlichen Körperhaltungen (Karhu et al., 1977), Vibrationsemissionen (Zimmermann et al., 2017), aber auch Parameter, welche die subjektive Beanspruchungswahrnehmung beeinflussen). Aktuell stellt die nutzerzentrierte Entwicklung noch einen erheblichen zeitlichen und kostenintensiven Aufwand dar. Virtualisierungen können dieser Problematik Abhilfe schaffen und aufwendige Feldstudien zur Verifikation neuer Designanpassungen ersetzen (Bullinger-Hoffmann et al., 2016). Digitale Menschmodelle bieten hierbei vielseitige Möglichkeiten zur Bewertung der Mensch-Maschine-Interaktion und ermöglichen eine frühzeitige und kostengünstige Evaluierung ergonomischer Prinzipien.

Designanpassungen in der Power-Tool-Entwicklung finden häufig durch die Anpassung der Prototypen nach durchgeführten Feldstudien mit Anwendern statt. Solche Anwendungsstudien sind aufwendig und teuer, zudem stehen in den frühen Stadien der Produktentwicklung meist keine funktionsfähigen Prototypen zur Verfügung. Gerade zu Beginn der Produktentwicklung besteht aber eine große Möglichkeit die ergonomische Gestaltung zu beeinflussen (Bubb et al., 2016). Die meist nur mit kleinen Stichproben und subjektiv erhobenen Daten durchgeführten Studien schränken die Erkenntnisgewinnung stark ein. In anderen Bereichen, wie beispielsweise der Automobilbranche, werden für ähnliche Fragestellungen bereits digitale Menschmodelle eingesetzt, anhand de-

rer eine frühzeitige ergonomische Bewertung der Prototypen möglich wird. Im Bereich der Power-Tool-Entwicklung stehen aktuell noch keine anwendungsspezifischen digitalen Menschmodelle zur Verfügung, mithilfe derer frühzeitige disruptive Designänderungen ergonomisch bewertet werden können.

Im Rahmen des Projektes sollen digitale Menschmodelle für den Anwendungsbereich elektrischer Handwerkzeuge entwickelt werden und in einer Co-Simulation miteinander verknüpft werden. Damit soll eine Vorhersage von Haltungen im Arbeitsprozess mit Power-Tools und zudem die biomechanische Optimierung der Mensch-Maschine-Interaktion innerhalb muskuloskelettaler Simulationen ermöglicht werden (CoSiMMI).

Digitale Menschmodelle basieren auf empirischen Datensätzen und lassen sich auf Grundlage der Anthropometrie der Menschen anhand erhobener Körpermaße skalieren. Mittels digitaler Haltungsmodelle können Vorhersagen zu Körperhaltungen getroffen werden, anhand derer Produkte und Arbeitsplätze ausgelegt werden können. Biomechanische Muskel-Skelett-Modelle ermöglichen die Abbildung von Kräften und Körperhaltungen und werden zur Vorhersage und Analyse von Beanspruchungen auf das Muskel-Skelett-System verwendet. Aufgebrachte Bewegungsabläufe und modellierte externe Krafteinflüsse ermöglichen eine biomechanische Beanspruchungsanalyse verschiedener Anwendungsszenarien. Die biomechanischen Erkenntnisse können in der Produktentwicklung vielseitig eingebracht werden und zur Optimierung der Produktergonomie genutzt werden.

Das Vorhaben des Projektes zielt auf die Entwicklung eines methodischen Vorgehens zur Co-Simulation ab, mit dessen Hilfe die Interaktion der Nutzer mit dem Power-Tool in der Anwendung frühzeitig simuliert und hinsichtlich der resultierenden biomechanischen Beanspruchung optimiert werden können.

Literatur

- Bubb, Heiner; Popova-Dlugosch, Severina; Breuninger, Jurek (2016): Ergonomische Produktgestaltung. In: Udo Lindemann (Hg.): Handbuch Produktentwicklung. München: Hanser (Hanser eLibrary), S. 837-866.
- Bullinger-Hoffmann, Angelika C.; Mühlstedt, Jens (2016): Homo Sapiens Digitalis - Virtuelle Ergonomie und digitale Menschmodelle. Wiesbaden, Heidelberg: Springer Vieweg.
- Looze, M. P. de; Urlings, I. J.; Vink, P.; van Rhijn, J. W.; Miedema, M. C.; Bronkhorst, R. E.; van der Grinten, M. P. (2001): Towards successful physical stress reducing products: an evaluation of seven cases. In: Applied Ergonomics 32 (5), S. 525-534. DOI: 10.1016/S0003-6870(01)00018-7.
- Karhu, O.; Kansi, P.; Kuorinka, I. (1977): Correcting working postures in industry: A practical method for analysis. In: Applied Ergonomics 8 (4), S. 199-201. DOI: 10.1016/0003-6870(77)90164-8.
- Wallhoff, F., Neiß-Theuerkauff, T. (2023). Die Schnittstelle von Mensch und Maschine. In: Groß, M., Hennig, B., Kappel, S., Wallhoff, F. (eds) Assistive Technologien, technische Rehabilitation und Unterstützte Kommunikation. Springer, Berlin, Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-662-64118-7_3
- Zimmermann, Jordan; Bain, James; Persson, Magnus; Riley, Danny (2017): Effects of power tool vibration on peripheral nerve endings. In: International Journal of Industrial Ergonomics 62, S. 42-47. DOI: 10.1016/j.ergon.2016.08.012.

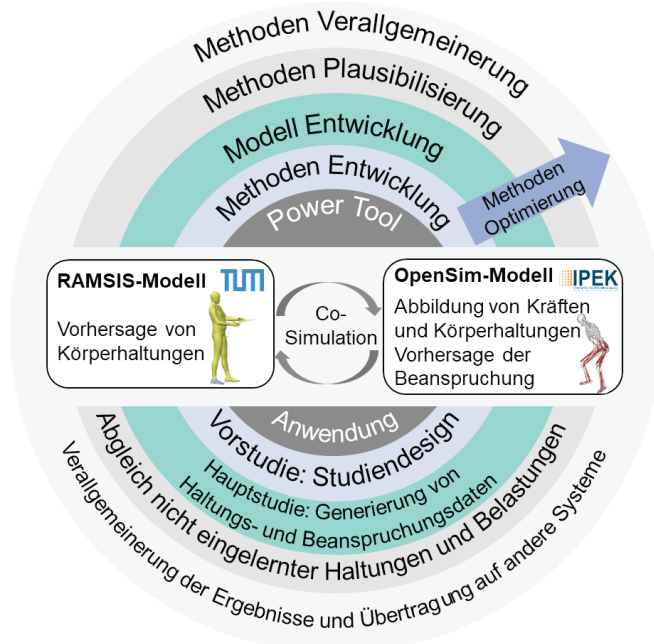


Abbildung 1: Methodisches Vorgehen zur Modellentwicklung zur Haltungsvorhersage bei Power-Tool-Anwendungen

Innerhalb des Projektes sollen zunächst biomechanische Messungen definierter Anwendungen durchgeführt werden, auf deren Grundlage ein anwendungsspezifisches Simulationsmodell zur realistischen Haltungsvorhersage entwickelt wird. Im weiteren Vorhaben wird eine Co-Simulationsumgebung entwickelt, in der ein effizienter Datenaustausch zwischen dem Haltungsmodell und dem biomechanischen Modell ermöglicht wird. In einer größer angelegten Hauptstudie sollen mittels biomechanischer Messtechnik weitere Datensätze zur Verallgemeinerung des Haltungsmodells erhoben werden. Zudem dienen die Messdaten der umfangreichen Validierung der entwickelten Modelle.

Das Forschungsvorhaben wird in Zusammenarbeit mit dem Institut für Produktentwicklung (IPEK) des Karlsruher Instituts für Technologie (KIT) durchgeführt. Hier stehen eine Validierungsumgebung für handgehaltene Geräte und eine Versuchsumgebung für manuelle Tests zur Verfügung. Gefördert wird das Projekt durch die Deutsche Forschungsgesellschaft (DFG).

Explorative bibliometrische Netzwerkanalysen als Indikator für Forschungspotentiale am Beispiel *Lean Ergonomics* und Industrie 4.0

Stefan Brunner, Sven Hawer

Einleitung

Erhöhte Komplexität führt nicht nur in den direkt produktiven Bereichen eines Unternehmens zu neuartigen Herausforderungen, sondern auch in den indirekten Bereichen (Feldhütter, 2018). Treibende Kräfte für erhöhte Komplexität sind verschärfte Wettbewerbsbedingungen, volatile Märkte und die Industrie 4.0 (Schenk, 2015). Unternehmen, sowie Forschungseinrichtungen versuchen die Komplexität abschätzen zu können, um passende Kompetenzen in der Belegschaft aufbauen zu können und diese adäquat zu schulen (Rossoni et al., 2023). Aktuell werden nach wie vor bestehende Jobbeschreibungen in die Zukunft projiziert und als Datenbasis neuer Jobbeschreibungen weiterentwickelt (Gilli et al., 2023). In diesem Beitrag soll eine Alternative diskutiert werden, um zukünftig benötigte Kompetenzen datenbasiert abschätzen zu können. So schlagen zum Beispiel Sapper et al. vor, neueste wissenschaftliche Veröffentlichungen nach Trends zu durchsuchen (Sapper et al., 2022).

Methode

Bibliometrische Software kann anhand exportierter Daten von zum Beispiel Scopus oder Web of Science Netzwerke erkennen. Diese werden grafisch dargestellt und speisen sich aus vorher definierten Schlüsselwörtern. Für vorliegenden Beitrag wurde in Scopus nach "Lean", "Ergonomics" und "Industry 4.0" gesucht - in Titel, Keywords und Abstract. Dieser Auszug kann exportiert werden. Übliche Programme sind Cytoscape, NVivo, Citespace, SciMAT, HistCite, VOSviewer, und Gephi. Die Programme wurden anhand vorgegebener Kriterien mit Bezug zu den für diesen Beitrag relevanten Funktionen verglichen (siehe Abb. 1).

Evaluation key	Application						
● completely fulfilled							
● mostly fulfilled							
● partly fulfilled							
● hardly fulfilled							
not fulfilled							
n.a. not assessible							
Requirement	CYTOSCAPE	NVIVO	CITESPACE	SciMAT	HISTCITE	VOSVIEWER	GEPHI
fields of application	●	●	●	●	●	●	●
Network visualization	●	●	●	●	●	●	●
Prioritization	●	●	●	●	●	●	●
Transparency	●			●	●	●	●
Automatic text processing	●	●	●	●	●	●	
Extraction of subnetworks	●	n.a.	n.a.	●		●	
Readability	●	●	●	●	●	●	●
Open source / no fees	●			●	●	●	
Overall rating	●	●	●	●	●	●	●

Abbildung 1: Evaluation potentieller Programme (completely fulfilled = 100%, mostly fulfilled = 75%, partially fulfilled = 50%, hardly fulfilled = 25%, and not fulfilled = 0%)

Der Gesamtvergleich zeigt, dass der VOSviewer nach den ausgewählten Kriterien am besten geeignet ist. Die hohe Bewertung resultiert aus konsistent hohen Einzelbewertungen, dem Open-Source Zugang und hoher Transparenz in der Softwarebedienung.

Der VOSviewer zeigt einen Überblick an Forschungsinteressen und Zusammenhängen, indem er die Schlüsselwörter verwandter Bereiche gleich einfärbt und die Intensität der Verbindung über die Dicke der Verbindungslinien darstellt (van Eck & Waltman, 2011).

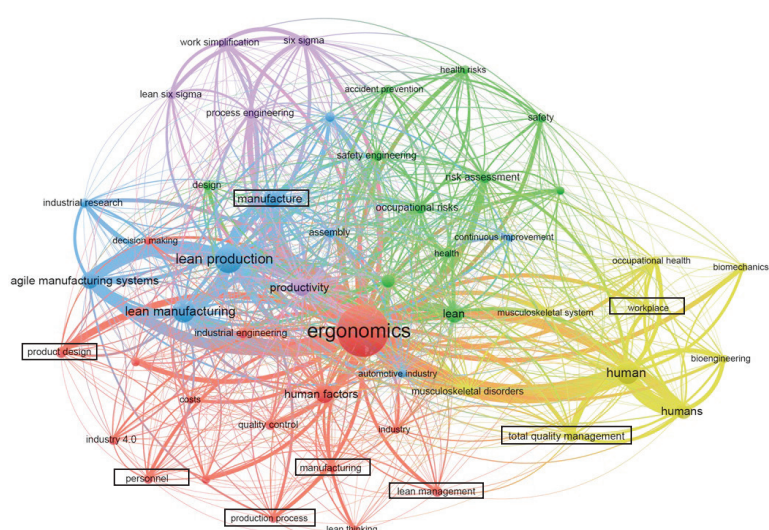


Abbildung 2: "Lean" AND "Ergonomics" OR "Human Factors"

Ergebnisse

Als erste Darstellung wird "Lean" AND "Ergonomics" OR "Human Factors" gewählt (siehe Abb. 2).

Zwischen "Ergonomie" und "Agile Montagesysteme" besteht ein enger Zusammenhang, da der Faktor Mensch in der Montage von größter Relevanz ist. Die Knoten "Ergonomie" und "Lean Manufacturing" sind über "Produktivität" miteinander verbunden. Dies steht im Einklang mit mehreren spezifischen Studien, die Produktivität als Ergebnis von Ergonomie und Produktionsmanagement beschreiben (Chintada & Umasankar, 2022; Heidarimoghadam et al., 2022; Resnick & Zanotti, 1997).

Als neue grafische Ausgabe wird "Industrie 4.0" AND "Ergonomics" OR "Human Factors" angegeben (siehe Abb. 3).

"Lean" oder seine Derivate können nicht identifiziert werden, obwohl das "Produktionssystem" ein zentraler Knoten ist. Wie in Abbildung 3 dar-

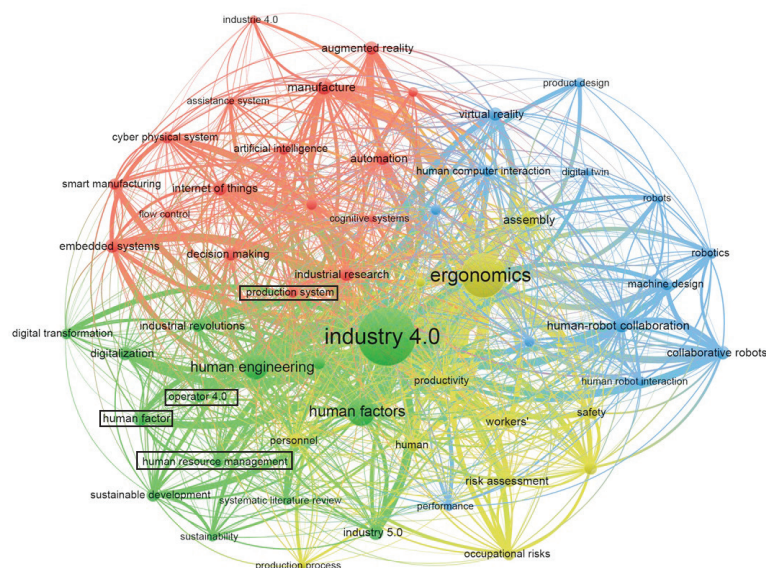


Abbildung 3: "Industrie 4.0" AND "Ergonomics" OR "Human Factors"

gestellt, verbindet der Knoten "Produktionssystem" den grünen Bereich (primär durch menschliche Komponenten geprägt) mit dem roten Bereich (technische bzw. technologische Artefakte und Methoden). Im Kontext der Ergonomie zeigt diese Suche im Zusammenhang mit Industrie 4.0 den "Operator 4.0", der sich im Spannungsfeld von Industrie 4.0 weg von körperlichen Tätigkeiten hin zu Überwachungs- und Steuerungsaufgaben bewegt und gleichzeitig besser ausgebildet ist als Mitarbeiter im klassischen 3.0-Setting (Ciccarelli et al., 2022; Longo et al., 2017). Interessanterweise finden sich unter diesen Suchparametern auch "Human Factor" und "Human Resource Management", die in Abbildung 2 nur anteilig unter "Personal" vermutet werden.

Nach Brunner et al. (2022) kann Lean Ergonomics die Lücke zwischen makroskopischen und mikroskopischen Elementen in einem sozio-technischen System schließen. Industrie 4.0 ist ein makroskopisches System, in dem sich Subsysteme finden lassen, die sich weitergehend in Subsysteme, Elemente und Akteure gliedern (Brunner et al., 2023).

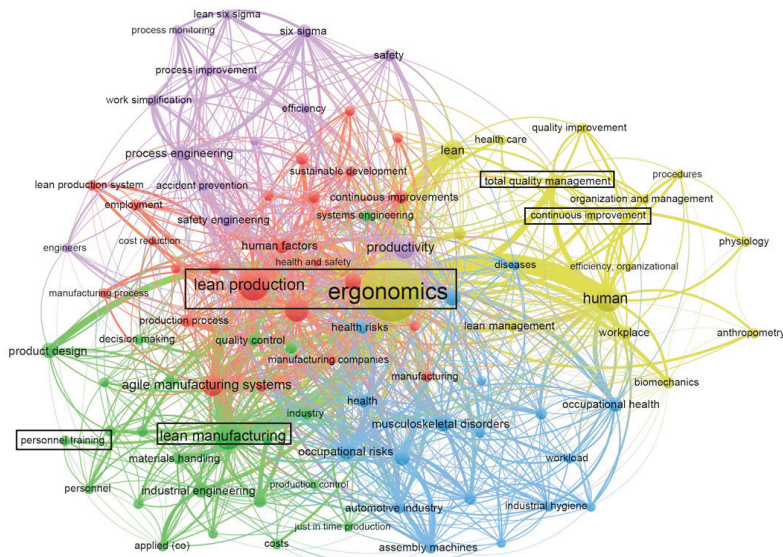


Abbildung 4: „Lean“ AND „Ergonomics“

Als letzte Variante wird nach "Lean" AND "Ergonomics" gesucht (siehe Abb. 4).

In der letzten Iteration wurden "Ergonomie", "Lean Production" und "Lean Manufacturing" als die wichtigsten Schnittpunkte identifiziert. "Ergonomie" wird nicht nur mit Elementen der Humanwissenschaften oder des Product Engineering in Verbindung gebracht, sondern auch mit Aspekten wie "Continuous Improvement" und "Total Quality Management". Auch die Montage in Form von "Assembly Machines" erscheint hier als gemeinsames Element von Ergonomie und Lean Manufacturing, nicht aber von Lean Production, was die eingangs beschriebene Unterscheidung der Begriffe unterstreicht. "Leadership" oder ähnliches taucht nicht auf, dafür erstmals "Personnel Training", was auch Managementtraining beinhalten kann.

Limitationen

Für die Literaturrecherche wurde ausschließlich Scopus verwendet. Relevante, begutachtete Artikel, die bei einer Suche in Google Scholar oder Web of Science erscheinen würden, wurden nicht berücksichtigt. Darüber hinaus können die Schlüsselwörter der Artikel von den Autoren verzerrt worden sein.

Die maximale Anzahl der darzustellenden Schlagwörter wurde von den Autoren nach dem Gesichtspunkt der visuellen Übersichtlichkeit festgelegt. Die Voreinstellungen der Software wurden nicht verändert. Neben den Inhalten der eingegebenen Begriffe soll der Artikel auch als einfache Möglichkeit für Unternehmen dienen, Trends in der Wissenschaft und in den Kompetenzfeldern zukünftiger Führungskräfte frühzeitig für eigene Zwecke sichtbar und nachvollziehbar zu machen.

Diskussion und Fazit

Kontext von Industrie 4.0 und Lean Manufacturing/Production werden derzeit digitale Methoden und Nachhaltigkeit in Lieferketten erforscht. Es wird ersichtlich, dass Führungskräfte, sowie Mitarbeiter in Entscheiderrollen grundlegende methodische Kenntnisse in diesen Bereichen erwerben. Ergonomie/HFE (Human Factors and Ergonomics) steht in engem Zusammenhang mit größeren Trends im Produktionsumfeld, wie z.B. Agilität. Sie bewegt sich weiterhin in der Schnittstelle "Technik-Mensch", wobei die technische Komponente zunehmend zu einem System oder einer Methode wird (Abbildung 2). Interessanterweise ist ein wichtiges Bindeglied zwischen "Mensch" und "Ergonomie" das Thema "Muskel-Skelett-Erkrankungen" (Abbildung 2), das auf dieser Grundlage noch immer die Folgen von Industrie 3.0 abzudecken scheint, während sich Teile der Arbeitswelt bereits in der Industrie 4.0 befinden. Ausgehend von diesen Trends sollte Ergonomie in der Produktion verstehbar und anwendbar sein, um die Verbindung zu den wesentlichen Trends aufrechtzuerhalten. Einer dieser Trends ist in Abbildung 8 als kollaborative Robotik dargestellt, die sich hauptsächlich aus "Ergonomie" und "Industrie 4.0" speist. Lean Ergonomics (Abbildung 3) umfasst verschiedene Konzepte von Industrie 4.0 aus einer anthropozentrischen und einer technozentrischen Perspektive. Die wichtigsten konkreten Knotenpunkte sind "Human", "Lean", "Productivity" und "Agile Manufacturing Systems". Insbesondere der letzte Punkt, "Agile Manufacturing Systems", wird in Brunner et al. (2022) nicht beschrieben, ist aber aus bibliometrischer Sicht ein relevanter Trend (Abbildung 3).

"Industrie 4.0" als vierte industrielle Revolution, "Lean Manufacturing" als Produktionsmethode bzw. -philosophie und "Leadership" als Unternehmensleitlinie wurden als entscheidende Merkmale eines nachhaltigen und ergonomischen Produktionszeitalters identifiziert. Bisher wurden sie in der Literatur nicht gemeinsam betrachtet. HFE ist nach wie vor relevanter Teil von Produktion und Industrie 4.0, was durch andere Forschung bereits aufgezeigt wurde (Dul & Neumann, 2009; Neumann et al., 2006; Zare et al., 2016), aber es zeichnet sich ein klarer Trend zur intensiveren Verflechtung anthropo- und technozentrischer Elemente ab. "Leadership" oder Aspekte von Leadership konnten in den Suchbegriffskombinationen "Lean", "HFE" und "Industrie 4.0" nicht identifiziert werden. Da "Führung" als Enabler von Produktionsfaktoren gesehen wird, sollte diesem Aspekt in der Forschung mehr Aufmerksamkeit geschenkt werden (Chakraborty et al., 2023; Jermisittiparsert, 2020). Die Forschung zeigt, dass eine schlanke und nachhaltige Produktion mit den innovativen Konzepten von Industrie 4.0 in Zukunft kontinuierlich optimiert werden kann (Jarebrant et al., 2016). Die Implementierung von ökonomischer Nachhaltigkeit als fester Prozess im laufenden Betrieb durch die konsequente Anwendung des geschlossenen Kreislaufs von Transparenz und Ausrichtung an den aktuellen Unternehmenszielen führt zu einer impliziten Verbesserung der Profitabilität bei gleichzeitiger Optimierung der Nachhaltigkeit, wie z.B. der Reduzierung des Energieverbrauchs (Andrei et al., 2022; Nicholson & Kurucz, 2019).

Aufgrund der hohen Geschwindigkeit der digitalen Transformation und der Veränderungen im gesellschaftlichen Kommunikations- und Mobilitätsverhalten werden sich in den kommenden Jahren verstärkt transdisziplinäre Wissenschaftstrends herausbilden, die sich in transdisziplinären Methoden und Konzepten niederschlagen (Egor, 2020). Begriffe wie "Kognition", "Paradigmenwechsel" oder "wissenschaftliche Revolution" sind nicht auf eine Disziplin beschränkt, sondern stellen die übergreifende Brücke zu einem ganzheitlichen und nachhaltigen Weltbild dar, das über die Wissenschaft hinausgeht. Die Übertragung auf die Produktion bedeutet, dass unerwartete neue Fähigkeiten antizipiert und schnell aufgebaut wer-

den können. Diese rechtzeitig zu erkennen, wird zum Wettbewerbsvorteil und ist die Aufgabe von "Leadership". Industrie 4.0 wird die methodischen Ansätze aus "Lean" und "Ergonomie" und den damit verbundenen Führungsstil, der unabhängig von Budget, Art und Größe des Unternehmens einen wirtschaftlichen Vorteil entwickeln kann, nutzen, um die Zukunftsfähigkeit eines produzierenden Unternehmens aus ökologischer und ökonomischer Sicht zu sichern (Bauer et al., 2018; Brunner et al., 2022). Aufgabe des Top-Managements ist es, trotz aller technologischen Neuerungen auf HFE zu achten und die Führungskräfte hinsichtlich der vielfältigen Einflussfaktoren innerhalb von Industrie 4.0 zu schulen. In diesem Beitrag wurden die notwendigen Disziplinen mit Hilfe bestehender bibliometrischer Analysewerkzeuge und Text Mining in Beziehung gesetzt. Die angewandte Methodik kann als Grundlage für die inhaltliche Gestaltung zukünftiger Schulungen und für die Erarbeitung notwendiger Kompetenzprofile zukünftiger Mitarbeiter eines Unternehmens genutzt werden.

Literatur

- Andrei, M., Thollander, P. & Sannö, A. (2022). Knowledge demands for energy management in manufacturing industry - A systematic literature review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 159, 112168. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2022.112168>
- Bauer, W., Schlund, S. & Vocke, C. (2018). Working life within a hybrid world - How digital transformation and agile structures affect human functions and increase quality of work and business performance. <https://publica.fraunhofer.de/entities/publication/011b0666-eb7b-403a-8d21-a488014913bd/details>
- Brunner, S., Knott, V. & Bengler, K. (2022). Lean Ergonomics—are relevant synergies of digital human models and digital twins defining a new emerging subdiscipline? *Zeitschrift für Arbeitswissenschaft*, 76(4), 401–415. <https://doi.org/10.1007/s41449-022-00344-4>
- Brunner, S., Kühnel, K. & Bengler, K. (2023). Lean Ergonomics—an empirical combination of Management Science and Ergonomics. *Zeitschrift für Arbeitswissenschaft*, 1–12. <https://doi.org/10.1007/s41449-023-00394-2>
- Chakraborty, T., Awan, T. M., Natarajan, A. & Kamran, M.

- (2023). *Agile Leadership for Industry 4.0*. Apple Academic Press. <https://doi.org/10.1201/9781003314615>
- Chintada, A. & Umasankar, V. (2022). Improvement of productivity by implementing occupational ergonomics. *Journal of Industrial and Production Engineering*, 39(1), 59–72. <https://doi.org/10.1080/21681015.2021.1958936>
- Ciccarelli, M., Papetti, A., Cappelletti, F., Brunzini, A. & Germani, M. (2022). Combining World Class Manufacturing system and Industry 4.0 technologies to design ergonomic manufacturing equipment. *International Journal on Interactive Design and Manufacturing (IJIDeM)*, 16(1), 263–279. <https://doi.org/10.1007/s12008-021-00832-7>
- Dul, J. & Neumann, W. P [W. Patrick] (2009). Ergonomics contributions to company strategies. *Applied ergonomics*, 40(4), 745–752. <https://doi.org/10.1016/j.apergo.2008.07.001>
- Egor, P. (2020). Digital Transformation of Industrial Companies: What is Management 4.0? In 2020 The 11th International Conference on E-business, Management and Economics. ACM. <https://doi.org/10.1145/3414752.3414779>
- Feldhütter, V. (2018). Beitrag zur modellbasierten Bewertung der Komplexität in der Montagelogistik der Automobilindustrie. <https://doi.org/10.17877/DE290R-19088>
- Gilli, K., Nippa, M. & Knapstein, M. (2023). Leadership competencies for digital transformation: An exploratory content analysis of job advertisements. *German Journal of Human Resource Management: Zeitschrift für Personalforschung*, 37(1), 50–75. <https://doi.org/10.1177/23970022221087252>
- Heidarimoghadam, R., Mohammadfam, I., Babamiri, M., Soltanian, A. R., Khotanlou, H. & Sohrabi, M. S. (2022). What do the different ergonomic interventions accomplish in the workplace? A systematic review. *International journal of occupational safety and ergonomics : JOSE*, 28(1), 600–624. <https://doi.org/10.1080/10803548.2020.1811521>
- Jarebrant, C., Winkel, J [Jörgen], Johansson Hanse, J., Mathiassen, S. E [Svend Erik] & Öjmertz, B. (2016). ErgoVSM: A Tool for Integrating Value Stream Mapping and Ergonomics in Manufacturing. *Human Factors and Ergonomics in Manufacturing & Service Industries*, 26(2), 191–204. <https://doi.org/10.1002/hfm.20622>
- Jermisittiparsert, K. (2020). Leadership and Industry 4.0 As A Tool to Enhance Organization Performance: Direct and Indirect Role of Job Satisfaction, Competitive Advantage and Business Sustainability. <https://www.semanticscholar.org/paper/Leadership-and-Industry-4.0-As-A-Tool-to-Enhance-of-Jermisittiparsert/ed-da371dc951fb3f015514bc38439f333c6f0bb8>
- Longo, F., Nicoletti, L. & Padovano, A. (2017). Smart operators in industry 4.0: A human-centered approach to enhance operators' capabilities and competencies within the new smart factory context. *Computers & Industrial Engineering*, 113, 144–159. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2017.09.016>
- Neumann, W. P [W. P.], Winkel, J [J.], Medbo, L., Magneberg, R. & Mathiassen, S. E [S. E.] (2006). Production system design elements influencing productivity and ergonomics. *International Journal of Operations & Production Management*, 26(8), 904–923. <https://doi.org/10.1108/01443570610678666>
- Nicholson, J. & Kurucz, E. (2019). Relational Leadership for Sustainability: Building an Ethical Framework from the Moral Theory of 'Ethics of Care'. *Journal of Business Ethics*, 156(1), 25–43. <https://doi.org/10.1007/s10551-017-3593-4>
- Resnick, M. L. & Zanotti, A. (1997). Using ergonomics to target productivity improvements. *Computers & Industrial Engineering*, 33(1-2), 185–188. [https://doi.org/10.1016/S0360-8352\(97\)00070-3](https://doi.org/10.1016/S0360-8352(97)00070-3)
- Rossoni, A. L., Vasconcellos, E. P. G. de & Castilho Rossoni, R. L. de (2023). Barriers and facilitators of university-industry collaboration for research, development and innovation: a systematic review. *Management Review Quarterly*, 1–37. <https://doi.org/10.1007/s11301-023-00349-1>
- Sapper, S., Kohl, M. & Fottner, J. (2022). Future Competency Requirements in Logistics Due to Industry 4.0: A Systematic Literature Review. In 2021 10th International Conference 2022 (S. 94–105). <https://doi.org/10.1109/ICITM52822.2021.00025> (Erstveröffentlichung 2022)
- Schenk, M. (2015). *Produktion und Logistik Mit Zukunft: Digital Engineering and Operation*. VDI-Buch Ser. Springer Berlin / Heidelberg. <https://ebookcentral.proquest.com/lib/kxp/detail.action?docID=4216862>
- van Eck, N. J. & Waltman, L. (2011). VOSviewer manual. Manual for VOSviewer version, 1(0).
- Zare, M., Croq, M., Hossein-Arabi, F., Brunet, R. & Roquelaure, Y. (2016). Does Ergonomics Improve Product Quality and Reduce Costs? A Review Article. *Human Factors and Ergonomics in Manufacturing & Service Industries*, 26(2), 205–223. <https://doi.org/10.1002/hfm.20623>

RoboLingo: Ein Baukasten für Interaktionen von AMRs mit Menschen

Nicolas Niessen, Florian Rothmeyer, Katherina Terefenko



Fahrerlose Transportsysteme, also Automated Guided Vehicles (AGVs) und Autonomous Mobile Robots (AMRs) haben über die letzten Jahre und Jahrzehnte zunehmend ihren Weg in die Produktions- und Logistikhallen der Industrie gefunden. Auch heute noch wächst dieser Markt. Ihre Effizienz, Verlässlichkeit und gerade bei AMRs Flexibilität machen sie zu einem wichtigen Teil der Logistik in vielen (mittel-)großen Betrieben. Der Einfachheit schreiben wir hier nur von mobilen Robotern bzw. AMRs. Die meisten Erkenntnisse lassen sich jedoch genauso gut auf AGVs anwenden.

Meist teilen sich diese mobilen Roboter nach wie vor mit menschlichen Kollegen ihre Arbeitsbereiche. Hard- und Softwarefeatures ermöglichen die sichere Zusammenarbeit. Diese "hybriden" Umgebungen führen zwangsläufig zu verschiedenen Interaktionen der Roboter mit Menschen, teils notwendig, teils zufällig. Diese sollten jeweils nicht nur sicher, sondern auch effizient ablaufen und für Akzeptanz der mobilen Roboter sorgen.

An dieser Stelle setzte das Forschungsprojekt RoboLingo an. Ziel war es, ein Baukastensystem für die Mensch-Roboter Interaktion in der Intralogistik aufzubauen. Dabei wurde untersucht, in welchen Situationen Roboter mit Menschen in ihrer Umgebung kommunizieren sollten und wie in diesen Situationen am besten kommuniziert wird.

Das Projekt lief seit April 2022 für zwei Jahre und wurde vom Lehrstuhl für Fördertechnik, Materialfluss, Logistik und dem Lehrstuhl für Ergonomie der Technischen Universität München bearbeitet. Es wurde vom Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz durch die industrielle Gemeinschaftsforschung (IGF, Förderkennzeichen 22234 N) gefördert und von einem Ausschuss interessierter Firmen begleitet.

Mensch-Roboter-Kommunikation bisher nicht standardisiert und intuitiv

Zur Kommunikation mobiler Roboter mit Menschen in ihrer Umgebung gibt es verschiedene Ansätze. Einige dieser Lösungen sind eher Insellösungen, wie der von Staplern bekannte "blue spot" beziehungsweise "floor spot" oder die Verwendung von weißen und roten Vorder-/Rückleuchten zur Fahrtrichtungsanzeige. Einige Hersteller wie beispielsweise Agilox und Otto Motors haben eigene, umfassende Konzepte für verschiedene Signale entwickelt, wobei Otto Motors primär auf ein umlaufendes LED-Band setzt. Hier werden viele verschiedene und teils nicht intuitive Signale eingesetzt.

Neben diesen individuellen Ansätzen hat der VDMA Ende 2023 in einer Broschüre eine Empfehlung zur Vereinheitlichung der Signalgebung mobiler Roboter veröffentlicht, die in einer Probanden- und Feldstudie in Bezug auf die Akzeptanz evaluiert wurde (VDMA e.V., 2023). Darin sind innovative Kommunikationsmittel wie Trajektorienprojektionen oder akustische Signale mit gezielten Assoziationen zu nicht-technischen Produkten ebenso wie gegenseitige Beeinflussungen der Kommunikationsmittel noch nicht berücksichtigt. Es besteht also weiterhin Bedarf an einem ganzheitlichen Ansatz, der die verschiedenen Interaktionsszenarien umfassend abdeckt und dabei Sicherheit, Effizienz und Akzeptanz der Kommunikation gleichermaßen berücksichtigt.

Praxisnähe und Usability durch Interviews und Experimente

Um ein umfassendes Verständnis der Prozesse zu erhalten, in denen mobile Roboter mit Menschen interagieren, wurden Expertenworkshops und -interviews durchgeführt, sowie Partnerfirmen besucht. Die Analyse der Situation ergab, dass sich diese gut nach den Kommunikationsabsichten („Intentionen“) der Roboter gliedern lassen. Daraufhin wurde eine Ontologie aus den zwölf wichtigsten Kommunikationsabsichten eines mobilen Roboters aufgestellt

(Niessen et al., 2024), welche sich anhand der fünf Tags „stehend“, „fahrend“, „Bezug zum Schutzfeld“, „besonderer Status“ sowie „sicherheitskritisch“ untergliedern lassen.

Weiterhin wurden existierende technische Kommunikationslösungen gesammelt und bewertet. Aus der Kombination dieser bewerteten Liste sowie der Ontologie ergab sich eine Reihe vielversprechender Szenarien. Diese wurden in Probandenstudien mit funktionstüchtigen Roboterprototypen untersucht.



Abbildung 1: Projektion der zukünftigen Trajektorie

In einer Studie zur Kommunikation der zukünftigen Trajektorie des Roboters wurden zwei technische Lösungen verglichen: die Projektion auf den Boden mittels eines Kurzdistanz-Beamers (Abbildung 1) sowie die implizite Vermittlung des zukünftigen Fahrtweges über das Bewegungsverhalten (Niessen et al., 2023). Letztere Methode ist angelehnt an

Bewegungen von Menschen oder Fahrzeugen, die bei der Fortbewegung unterbewusst auftreten und in Begegnungssituationen anderen Menschen ermöglichen, intuitiv das Ziel des Gegenübers zu erkennen. Hier setzte sich die Projektion in Bezug auf Akzeptanz und Verständlichkeit durch.



Abbildung 2: Visuelle Kommunikation von Schutzfeldverletzungen mittels Kurzdistanzbeamer und Linienlasern

Eine weitere Studie beschäftigte sich mit der akustischen sowie optischen Signalisierung von Schutzfeldverletzungen mittels Signaltönen bzw. einem auf den Boden projizierten, je nach Distanz unterschiedlich schnell blinkenden Schutzfeldbereich (Abbildung 2). Untersucht wurde dabei die Wahrnehmung der einzelnen Konzepte und auf die Kombination der beiden.

Schließlich wurden die Kommunikationsmittel „Lautsprecher“ und „LED-Band“ in verschiedenen Interaktionssituationen und mit stark variierenden Schall- bzw. Blinkmustern auf ihre Gebrauchstauglichkeit hin getestet.

Aus den qualitativen und quantitativen Einzelergebnissen konnte schließlich ein Baukasten kombiniert

werden. Eine weitere Evaluationsstufe mit Expertengesprächen gab finale Änderungsvorschläge und validierte den finalen Baukasten.

Kommunikationsabsichten und technische Umsetzungen in einer Übersicht

Der aus den Probandenstudien und Interviews entstandene Baukasten beinhaltet für jede der zwölf Interaktionssituationen eine oder mehrere Kommunikationsmittel, welche sich als intuitiv und effektiv herausgestellt haben (Abbildung 3).

Wer mobile Roboter herstellt oder anwenden möchte, kann den Baukasten folgendermaßen verwenden:

1. Prozesse analysieren, in denen die Roboter mit Menschen zusammenarbeiten (sollen) und identifizieren: Welche der 12 Interaktionssituationen sind für meine Anwendung relevant?
2. Aus dem Baukasten für jede der auftretenden Interaktionssituationen das/die empfohlenen Kommunikationsmittel nachschlagen.
3. Sofern sich in Summe mehrere Kommunikationsmittel ergeben, nach Häufigkeit und Relevanz der Interaktion sortieren und je nach Know-How, finanziellen und technischen Rahmenbedingungen die obersten 1–x Arten auswählen und umsetzen. Im besten Fall alle zwölf.

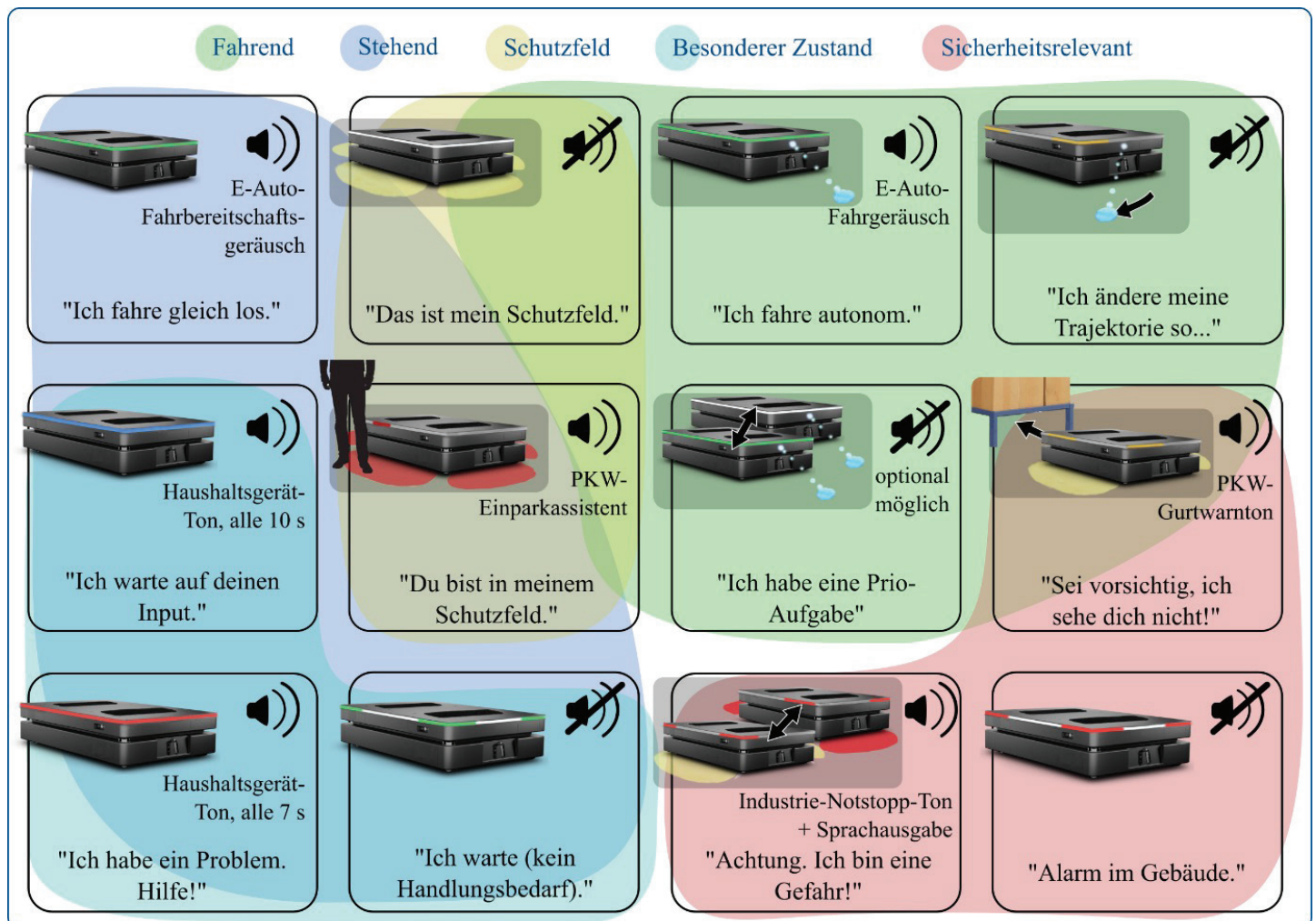


Abbildung 3: Visualisierung des RoboLingo-Interaktionsbaukastens

Eine Kombination mehrerer ähnlicher Kommunikationsmittel ist nicht immer sinnvoll, da die Menschen auch überfordert werden können und die Verständlichkeit aller Signale leidet. Daher muss in manchen Fällen eine Abwägung getroffen werden zwischen der Möglichkeit, viele verschiedene Informationen zu übertragen und der Präzision der Übertragung zum Menschen.

Eine digitale Version mit Videos und zusätzlichen Informationen zur Umsetzung findet sich auf der Projektwebsite des Lehrstuhls für Ergonomie und unter folgendem QR-code:



Literatur

- Niessen, N., Micheli, G., & Bengler, K. (2023). Explicit vs. Implicit - Communicating the Navigational Intent of Industrial Autonomous Mobile Robots. In C. Stephanidis, M. Antona, S. Ntoa, & G. Salvendy (Eds.), *Communications in computer and information science: Vol. 1958, HCI International 2023 – late breaking posters: 25th International Conference on Human-Computer Interaction, HCII 2023, Copenhagen, Denmark, July 23-28, 2023, proceedings* (pp. 148–156). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-031-49215-0_18
- Niessen, N., Rothmeyer, F., Rücker, A., Fottner, J., & Bengler, K. (2024). Unpacking the Complexity of Autonomous Mobile Robot (AMR) Communication Intentions Through Ontology. In C. Piazza, P. Capsi-Morales, L. Figueredo, M. Keppler, & H. Schütze (Eds.), *Springer Proceedings in Advanced Robotics. HUMAN-FRIENDLY ROBOTICS 2023: Hfr* (Vol. 29, pp. 229–239). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-031-55000-3_16
- VDMA e.V. (2023, November 22). Mobile Roboter richtig verstehen [Press release]. <https://vdma.org/viewer/-/v2article/render/85848152>

ARA-SVO Ergonomische Aspekte bei der Steuerung von eVTOLs

Dominik Janetzko

Beschäftigt man sich etwas näher mit aktuellen Trends im Bereich der Luftfahrt, stößt man schnell auf den Begriff der Urban Air Mobility (UAM). Meist wird damit der Einsatz von kleinen, vertikal startenden und landenden Fluggeräten (eVTOLs) als Flugtaxen verbunden. Technisch gesehen können viele davon bereits heutzutage sicher fliegen – gesteuert von professionellen Testpiloten. Doch wie kommuniziert das Fluggerät mit den Piloten? Welche Anzeigen werden benötigt? Könnten aktive Sidesticks genutzt werden um den Piloten zu unterstützen? Diese klassischen ergonomischen Fragestellungen sind noch weitgehend unbeantwortet. Im Folgenden werden die Forschungsaktivitäten im Rahmen des geförderten Konsortialprojekts ARA-SVO am Lehrstuhl für Ergonomie zu diesen Fragestellungen vorgestellt.

Stand der Forschung

Für den Passagierbetrieb im Rahmen der UAM entwickeln verschiedene Hersteller wie Volocopter, Airbus oder Lilium neue eVTOLs. Vergleichbar zu klassischen Helikoptern, besitzen diese die Fähigkeit, senkrecht zu starten und zu landen. Im Gegensatz zu Helikoptern kommen bei eVTOLs jedoch meist verteilte Auftriebssysteme (z.B. mehrere Rotoren) zum Einsatz. Neben dem Einsatz als klassisches Personentransportmittel, wird auch die Einsatzfähigkeit von eVTOLs als fliegende Notarztzubringer geprüft (Bruder et al., 2020).

Für die kurz- und mittelfristige Einführung von eVTOLs sind Piloten an Bord der Fluggeräte vorgesehen, die das System „in-the-loop“ kontrollieren (Vempati et al., 2021). Um dabei zum einen den vorhergesagten Personalengpässen in der Luftfahrt zu begegnen und zum anderen die Trainings- und Kontrollanforderungen an die Operateure zu senken, wird das Konzept der Simplified Vehicle Operations (SVO) für UAM diskutiert (Lombaerts et al., 2020). Hierbei werden verschiedene Automationssysteme dazu eingesetzt, das Fluggerät mit möglichst wenig Bedienelementen und mit größtmöglicher Stabilisierung zu kontrollieren.

Entwicklungen für den Bereich der SVO sind zum aktuellen Zeitpunkt vor allem technologiegetrieben. So gibt es bereits fortgeschrittene simulative Ansätze zu Reglerkonzepten im Bereich SVO (z.B. Dollinger et al., 2021). Tiefergehende Analysen zu den (kognitions-) ergonomischen Anforderungen bei eVTOLs und SVO sind allerdings noch so gut wie gar nicht vorhanden.

Forschung am LfE: ARA-SVO

Um diese Forschungslücke zu schließen, ist der Lehrstuhl für Ergonomie seit Anfang 2022 am Projekt Augmented Reality Assistance – Simplified Vehicle Operations (ARA-SVO) beteiligt. Das Projekt wird durch die Förderlinie Holistische Air Mobility Initiative des Bayerischen Staatsministerium für Wirtschaft, Landesentwicklung und Energie gefördert. In dem Projekt kooperiert der Lehrstuhl für Ergonomie mit dem Lehrstuhl für Flugsystemdynamik (FSD) und der Forschungsgruppe Augmented Reality (FAR) der TUM. Ziel ist die Erarbeitung eines Human Machine Interface (HMI), das die Operateure bei der Steuerung des eVTOLs optimal unterstützt. Hierzu ist insbesondere der Einsatz von Augmented Reality geplant. Aber auch Force Feedback in Form aktiver Sidesticks wird dafür untersucht.

Dem Projekt liegt das angesprochene Szenario eines eVTOLs als Notarztzubringer zugrunde. Es ist anzunehmen, dass in einem solchen Kontext, im Vergleich zum standardisierten Passagierbetrieb als Flugtaxi, der Einsatz von Hochautomatisierung schwieriger ist und somit der Mensch eine aktive, dauerhafte Steuerungstätigkeit übernehmen muss.

Task Analyse und Konzeptentwicklungen

Um dem Prinzip des User Centered Designs (UCD) für dieses Szenario Rechnung zu tragen, wurde zu Beginn des Projekts auf der Seite des Lehrstuhls für Ergonomie eine hierarchische Aufgabenanalyse (HTA) für einen Einsatzflug als Notarztzubringer durchgeführt. Daneben wurden Experteninterviews mit Piloten und einem Bergretter aus dem Helicopter Emergency Medical Service (HEMS) Sektor geführt. Die Ergebnisse dieser Analysen wurden in Janetzko und Kacem (2024) veröffentlicht.



Abbildung 1: Mixed-Reality-Simulator zur Verwendung im Projekt ARA-SVO. Mit freundlicher Genehmigung des Lehrstuhls für Flugsystemdynamik, Technische Universität München.

Im letzten Jahr wurde mit der Entwicklung von Assistenzkonzepten für diesen Anwendungsfall begonnen. Für diesen Entwicklungsprozess kommen insbesondere zwei Mixed-Reality-Simulatoren am FSD zum Einsatz, mit denen ein generisches eVTOL in einer virtuellen Szenerie geflogen werden kann. Einer der Simulatoren ist auch mit einer Hexapod-Bewegungsplattform ausgestattet, um einen dynamischen Flugverlauf nachzubilden. Dieser ist in Abbildung 1 dargestellt.

Ein erstes Ergebnis dieser Konzeptentwicklungen ist ein Force Feedback Konzept, das die Piloten bei der sicheren und präzisen Ausführung verschiedener Flugmanöver unterstützt. Die generelle Eignung für diesen Einsatzzweck wurde im Rahmen einer weiteren Expertenstudie im letzten Jahr beurteilt und in Janetzko et al. (2024, in press) veröffentlicht.

Im weiteren Verlauf des Jahres bis zum Abschluss des Projekts finden weitere Entwicklungen und Evaluationen sowohl zur Augmented Reality - als auch für die haptische Assistenz statt.

Literatur

- Bruder, F., Erd, A., Benk, D., Brütsch, L., Zöllinger, F., Schwierz, M., Houzenga, E., Himmelreich, P., Maximilian, K.-H., Blume, H., Hagen, Fritz, Dr., Werner, Daniel, Dr., Neuburger, B. & Sigl, C. (2020). Multikopter im Rettungsdienst - Machbarkeitsstudie zum Einsatzpotenzial von Multikoptern als Notarztzubringer. <https://zenodo.org/record/4068110> <https://doi.org/10.5281/ZENODO.4068110>
- Dollinger, D., Reiss, P., Angelov, J., Löbl, D. & Holzapfel, F. (2021). Control Inceptor Design for Onboard Piloted Transition VTOL Aircraft Considering Simplified Vehicle Operation. In American Institute of Aeronautics and Astronautics (Hrsg.), AIAA Scitech 2021 Forum. American Institute of Aeronautics and Astronautics. <https://doi.org/10.2514/6.2021-1896>
- Janetzko, D. & Kacem, B. (2024). What Do You Need? Information Requirements and Task Analysis of (Future) Advanced Air Mobility Pilots in the Emergency Medical Service. *Aerospace*, 11(3), 197. <https://doi.org/10.3390/aerospace11030197>
- Janetzko, D., Linner, S., Zintl, M., Hwang Fu, W.-D. & Bengler, K. (2024, in press). Artificial Haptic Cues as Assistance for Simplified Vehicle Operations in Advanced Air Mobility. In IEEE ITSC, IEEE IV 2024 Symposium Proceedings.
- Lombaerts, T., Kaneshige, J. & Feary, M. (2020, 15. Juni). Control Concepts for Simplified Vehicle Operations of a Quadrotor eVTOL Vehicle. In AIAA AVIATION Forum, Virtual Event.
- Vempati, L., Geffard, M. & Anderegg, A. (2021). Assessing Human-Automation Role Challenges for Urban Air Mobility (UAM) Operations. In 2021 IEEE/AIAA 40th Digital Avionics Systems Conference (DASC) (S. 1–6). IEEE. <https://doi.org/10.1109/DASC52595.2021.9594358>

Gefördert durch



Bayerisches Staatsministerium für
Wirtschaft, Landesentwicklung und Energie

IAA Mobility 2023 - Umfrage und VR-Studie vor dem Münchner Rathaus zum Thema automatisiertes Fahren

Maximilian Hübner, Sarah Gruber, Christoph Feichtgruber



GEFÖRDERT VOM



Bundesministerium
für Bildung
und Forschung

Motivation

Angesichts der fortschreitenden Entwicklung und Forschung im Bereich der automatisierten Fahrzeuge (engl.: automated vehicles – AVs) ist absehbar, dass diese in Kürze eine wesentliche Rolle im täglichen Verkehr spielen werden. Gründe für die Automatisierung sind unter anderem die Erhöhung der Verkehrssicherheit, Steigerung der individuellen Mobilität sowie Optimierung des Verkehrsflusses (Maurer et al., 2015). Der Anteil an Mischverkehr im aktuellen Stadtverkehr wird sich dadurch in den nächsten Jahren zunehmend vergrößern. Solch ein Verkehr besteht aus menschlichen Fahrern, ungeschützten Verkehrsteilnehmern und AVs. Dies konfrontiert uns jedoch auch mit neuen Herausforderungen. Akademische Institutionen, Automobilhersteller und Softwareentwickler widmen sich einer Vielzahl von Forschungsfragen, um die Vision eines effizienteren, sichereren und komfortableren Verkehrs der Zukunft zu realisieren (Pfab et al., 2023; Reschke et al., 2019). Durch das Fehlen des menschlichen Fahrers geht eine wichtige Kommunikationsschnittstelle zwischen dem Fahrzeug und anderen Verkehrsteilnehmern, wie Fußgängern, verloren. Ein flüssiger Straßenverkehr ist nur möglich, wenn eine gute Kommunikation zwischen den einzelnen Verkehrsteilnehmern vorhanden ist. Durch verschiedene Konzepte in Form von externen Human-Machine Interfaces (eHMIs) an AVs soll die menschliche Mimik und Gestik des Fahrers ersetzt werden (Bengler et al., 2020). eHMIs können das Verhalten und/oder den Status des Fahrzeugs über dessen Außenseite kommunizieren. Um Fußgängern weiterhin ein Gefühl von Sicherheit im Straßenverkehr zu geben ist die Frage nach einem guten Konzept, welches diese Interaktion ersetzt, ein wichtiger Schritt zur erfolgreichen Einführung von AVs in den Verkehr der Zukunft.

Projekt MCube Wies'n Shuttle

Im Rahmen des MCube Projekts Wies'n Shuttle (Wies'n Shuttle, 2023) wird ein vollautomatisiertes Forschungsfahrzeug, welches ein eHMI in Form eines LED-Streifens besitzt und wie in der Studie von Loew et al. (2022) beschrieben wurde, entwickelt und gebaut.

Das Großprojekt Münchner Cluster für die Zukunft der Mobilität in Metropolregionen (MCube) „nutzt die einmalige Konzentration von Innovationsakteuren im Mobilitätssektor, um die Metropolregion München zur echten Vorreiterin für nachhaltige und transformative Mobilitätsinnovationen zu machen“ (MCube, 2023). Insgesamt umfasst MCube 14 Teilprojekte mit Fokus auf Mobilität, die sich das Ziel gesetzt haben, durch das Testen und Entwickeln von modellhaften Lösungen die Luftqualität sowie Zeit- und Raumgestaltung in Wissenschaft, Wirtschaft und Gesellschaft zu verbessern (MCube, 2023).

Eines dieser Projekte ist das Wies'n Shuttle, welches das Ziel hat, ein vollautomatisiertes Fahrzeug zu entwickeln, welches automatisiert im Bereich des Oktoberfestes als Shuttle agieren soll (Wies'n Shuttle, 2023). Hierbei handelt es sich um eine Kooperation, bei der die TUM einen bedeutenden Beitrag leistet. Laut einem Konsortium ist der Stand des heutigen Wissens und der Technik im Bereich des automatisierten Fahrens bereits so weit, dass ein solches Projekt durchführbar ist. Das Team des Wies'n Shuttle stellt sich einer großen Herausforderung, da das Fahrzeug – auch EDGAR (Excellent Driving GARching) genannt (Abbildung 1) – unter extremen Randbedingungen agieren soll (Pfab et al., 2023).

Besonders während des Oktoberfests herrscht viel Verkehr, und zahlreiche Fußgänger sowie Radfahrer müssen vom Fahrzeug erkannt werden. Trotz der unvorhersehbaren und chaotischen Situationen soll das Fahrzeug dank fortschrittlicher Bilderkennungssysteme und Algorithmen sicher navigie-

ren können. Eine Kombination aus verschiedenen Sensoren machen eine Objekterkennung mit einer 360° Abdeckung der Umgebung um das Fahrzeug möglich. Dabei wurden Kameras, LiDARs, RADARs und Mikrophone für eine lokale Umgebungswahrnehmung am EDGAR angebracht.



Abbildung 1: EDGAR am Präsentationsstand vor dem Münchner Rathaus bei der IAA Mobility 2023.

Interviewstudie

Im Rahmen des Projekts wurde auf der IAA Mobility 2023 eine Umfrage unter den Besucher durchgeführt (Abbildung 2). Das Hauptziel dieser Umfrage war es, die Akzeptanz, das Sicherheitsgefühl und die Wahrnehmung von eHMLs und AVs zu untersuchen. Im Fokus der Untersuchung standen insbesondere eHMLs in Form von LED-Streifen. Dabei wurde 34 Besuchern (10 weiblich; Durchschnittsalter 36,9 Jahre) exemplarisch an dem Forschungsfahrzeug EDGAR eine mögliche Form der Kommunikation zwischen AV und Fußgängern über einen LED-Streifen am AV demonstriert. Die Umfrageergebnisse sollen

dazu beitragen, ein tieferes Verständnis für die öffentliche Meinung und das Vertrauen in dieses Themengebiet zu entwickeln.



Abbildung 2: Interviewstudie zu EDGAR und eHMLs.

Allgemeine Wahrnehmung und Akzeptanz von Fußgängern gegenüber AVs

Zusammenfassend geht aus den Umfrageergebnissen hervor, dass die allgemeine Wahrnehmung und Akzeptanz von Fußgängern gegenüber AVs mehrschichtig ist und zeigt sowohl positive Aspekte als auch Bereiche der Skepsis. Ein signifikanter Teil der Probanden zeigt eine Bereitschaft zur Interaktion mit AVs. Auch ein Maß an Vertrauen gegenüber den AVs unter den Probanden wird, trotz einiger Bedenken hinsichtlich der technischen Zuverlässigkeit sowie ethischen und rechtlichen Fragen, durchaus deutlich. Insgesamt zeigt sich eine generelle Offenheit und Akzeptanz gegenüber AVs unter Fußgängern, gepaart mit bestimmten Bedenken und Skepsis, die durch weitere Forschung, Aufklärung und Entwicklung adressiert werden könnten.

Wahrnehmung und Akzeptanz von eHMLs als Kommunikationsmittel zwischen AVs und Fußgänger

Die Effizienz von eHMLs, besonders in Bezug auf den entwickelten LED-Streifen, als Mittel zur klaren Kommunikation zwischen AVs und Fußgängern wird in

den Ergebnissen der Umfrage hervorgehoben, auch wenn Unsicherheiten in der Signalinterpretation auf die Notwendigkeit einer verbesserten Gestaltung hinweisen. Insgesamt reflektieren die Ergebnisse eine positive Haltung zu AVs und eHMIs, wobei bestimmte Bedenken durch weiterführende Forschung und Entwicklung adressiert werden sollten, um die Akzeptanz und Sicherheit zu erhöhen.

Einfluss von eHMIs auf die Entscheidungen und das Handeln von Fußgängern im Straßenverkehr

Anhand von Szenarien in der Umfrage ging hervor, dass eHMIs meist einen bedeutenden Einfluss auf die Entscheidungen und Handlungen von Fußgängern im Straßenverkehr ausüben. eHMIs, insbesondere in Form von LED-Streifen, verbessern das Verständnis und das Sicherheitsgefühl von Fußgängern, indem sie klare und direkte Kommunikationssignale über die Absichten der AVs bereitstellen. Dies führt dazu, dass Fußgänger sich sicherer fühlen und weniger zögern, Straßen zu überqueren, insbesondere an Zebrastreifen. Die Präsenz von eHMIs reduziert Unsicherheiten und unterstützt Fußgänger bei der Entscheidungsfindung im Umgang mit AVs. Trotz dieser positiven Aspekte gibt es Herausforderungen, insbesondere bei der korrekten Interpretation der Signale, die auf die Notwendigkeit einer einheitlichen und intuitiven Gestaltung von eHMI-Kommunikationssignalen hinweisen.

VR-Studie

Neben der Umfrage wurde am Präsentationsstand auf der IAA Mobility 2023 eine VR-Studie durchgeführt. Dafür wurde ein VR-Demonstrator aufgebaut, um Besuchern eine virtuelle Straßenüberquerung vor automatisierten Fahrzeugen zu ermöglichen (Abbildung 3).

Vor allem im urbanen Umfeld ist Verkehr komplex und unstrukturiert (Belz et al., 2017). Damit eHMIs optimal gestaltet werden können, ist eine Untersuchung in einem derartigen Kontext nötig. In dieser VR-Studie wurde untersucht, ob zusätzliche Ablen-

kung das Verhalten von Fußgängern beeinflusst. Als mögliche Formen der Ablenkung wurden Elemente aus der Gamification verwendet, da diese mit wenig Aufwand in einer VR-Welt umgesetzt werden können. Zudem ordnet sich Gamification in die Ansätze der Verhaltensbeeinflussung ein (Stieglitz, 2015). Grundlegend ist Gamification der Einsatz von Spielelementen in einem spielfremden Kontext (Deterding et al., 2011).



Abbildung 3: VR-Studie zur virtuellen Straßenüberquerung vor automatisierten Fahrzeugen.

In der virtuellen Umgebung gaben den 17 Probanden (8 weiblich; Durchschnittsalter 31,6 Jahre) Münzen den Weg über die innerstädtischen Straßen vor, welche die Probanden einsammeln mussten. Bei den auftretenden Straßenquerungen kamen AVs auf die Probanden zu, welche dann entscheiden mussten, ob sie die Straße vor oder nach den AVs queren. Zusätzlich bekamen sie die Anweisung, den VR-Versuch so schnell wie möglich und sicher, d.h. beispielsweise ohne Unfälle, zu absolvieren. Dabei bewegten sich die Probanden mittels sogenannter Cybershoes frei durch die virtuelle Welt fort, während sie auf einem Drehstuhl saßen (Abbildung 3). Cybershoes sind Controller in Form von Sandalen, die über die eigenen Schuhe getragen werden. Durch die Bewegung ihrer Füße vor und zurück, angelehnt an eine normale Gehbewegung, konnten sich die Probanden in der VR-Umgebung fortbewegen, während sie auf dem Stuhl sitzen blieben.

Die Mehrheit der Probanden gab an, dass die Anwesenheit der Spielelemente (Münzen, Zeitdruck, Wettkampf) Auswirkungen auf die Entscheidungen zur Querung der Straßen hatte. 60% der durch Gamification beeinflussten Probanden gaben negative Auswirkungen durch Gamification an, wie z.B. Zeit (haben schneller als üblich gehandelt), Münzen (verringerte Aufmerksamkeit auf AV und Straße) sowie Drang auf die Straße zu gehen, ohne auf AV zu achten.

Demzufolge konnte festgestellt werden, dass es häufiger zu Fehlentscheidungen und riskanten Kreuzungsszenarien gekommen ist als in vorangegangenen Studien (Stockmann, 2023) ohne Spielelemente erkannt wurde.

Deskriptiv konnte eine Tendenz zu effizienteren Querungen im Vergleich zu anderen Studien (Stockmann, 2023) ohne Spielelemente erkannt werden. Umso höher die angegebene wöchentliche Spielzeit sowie das Vertrauthheitslevel zu elektronischen Spielen, desto effizienter waren ebenfalls die Straßenquerungen. Es kann also abgeleitet werden, dass Erfahrung mit elektronischen Spielen eine schnellere Straßenquerung in der virtuellen Welt begünstigt.

Fazit

Insgesamt deuten die Ergebnisse darauf hin, dass AVs und eHMI das Potenzial haben, die urbane Mobilität erheblich zu verbessern, vorausgesetzt, die Herausforderungen in Bezug auf Sicherheit, Akzeptanz und Integration werden effektiv angegangen. Die Forschung sollte sich auf die Weiterentwicklung von eHMIs konzentrieren, um eine klarere und intuitivere Kommunikation zwischen AVs und anderen Verkehrsteilnehmern, wie Fußgängern, zu ermöglichen. Dies umfasst die Standardisierung von Signalen und die Verbesserung der Benutzerfreundlichkeit, um Unsicherheiten in der Signalinterpretation zu reduzieren. Dafür sind insbesondere Projekte, wie das MCube Wies'n Shuttle, von hoher Bedeutung, denn es ist wichtig, das Bewusstsein und das Verständnis für AVs und eHMIs in der Öffentlichkeit zu erhöhen. Informationskampagnen und Bildungsinitiativen sol-

len dazu beitragen, Bedenken auszuräumen und die Akzeptanz dieser Technologien zu fördern.

Literatur

- Belz, J., Burmeister, A., Kaschwich, C., Löper, C., Temme, G., Thomaidis, G., Hesse, T. (2017). Kooperative Automation zur Längsführung im urbanen Straßenverkehr. 13. Magdeburger Maschinenbau-Tage, Magdeburg.
- Bengler, K., Rettenmaier, M., Fritz, N. & Feierle, A. (2020). From HMI to HMIs: Towards an HMI Framework for Automated Driving. *Information*, 11(2), 61. <https://doi.org/10.3390/info11020061>
- Deterding, S., Dixon, D., Khaled, R. & Nacke, L. (2011). From game design elements to gamefulness. In A. Lugmayr, H. Franssila, C. Safran & I. Hammouda (Hrsg.), *ACM Other conferences, Proceedings of the 15th International Academic MindTrek Conference*
- Loew, A., Graefe, J., Heil, L., Guthardt, A., Boos, A., Dietrich, A. & Bengler, K. (2022). Go Ahead, Please!—Evaluation of External Human—Machine Interfaces in a Real-World Crossing Scenario. *Frontiers in Computer Science*, 4, Artikel 863072. <https://doi.org/10.3389/fcomp.2022.863072>
- MCube [Münchner Cluster für die Zukunft der Mobilität in Metropolregionen]. (2023). <https://www.mcube-cluster.de>
- Maurer, M., Gerdes, J. C., Lenz, B. & Winner, H. (Hrsg.). (2015). *Springer Open. Autonomes Fahren: Technische, rechtliche und gesellschaftliche Aspekte*. Springer Vieweg. <https://doi.org/10.1007/978-3-662-45854-9>
- Pfab, F., Karle, P. & Lehrstuhl für Fahrzeugtechnik. (2023). EDGAR - Excellent Driving Garching
- Reschke, J., Auburger, M.-T., Marichalar, R. & Neumann, C. (2019). Kommunikation zwischen automatisierten Fahrzeugen und Fußgängern. *ATZ - Automobiltechnische Zeitschrift*, 121(9), 16–23. <https://doi.org/10.1007/s35148-019-0096-x>
- Stieglitz, S. (2015). Gamification - Vorgehen und Anwendung. *HMD Praxis der Wirtschaftsinformatik*, 52(6), 816–825. <https://doi.org/10.1365/s40702-015-0185-6>
- Stockmann, J. (2023). Fußgängerverhalten in der Interaktion mit automatisierten Fahrzeugen: Erkenntnisse einer VR-Studie [Masterarbeit]. Technische Universität München, Garching.
- Wies'n Shuttle. (2023). <https://www.mcube-cluster.de/projects/wiesnshuttle/>

Navel Johanni – Ein sozialer Roboter im Pflegeheim

Olivia Herzog

Hintergrund

Der Pflegesektor steht vor zahlreichen Herausforderungen wie Personalmangel, demografischem Wandel und Zeitknappheit. Als vielversprechende Lösung rückt der Einsatz sozialer Roboter im Gesundheits- und Pflegebereich verstärkt in den Fokus der Forschung. Diese Roboter können einerseits das Personal entlasten und Prozesse vereinfachen. Andererseits bieten sie das Potenzial, die tägliche Begleitung zu verbessern und der Vereinsamung entgegenzuwirken. Die Anzahl der Studien zur Entwicklung von Pflegerobotern sowie zur Interaktion zwischen Menschen und Robotern in Pflegeeinrichtungen nimmt kontinuierlich zu. Aktuelle Studien, wie beispielsweise zu den Robotern PARO (Hung et al., 2019) oder Lio (Arnold & Paldán, 2022), zeigen, dass Pflegeeinrichtungen dieser Technologie überwiegend aufgeschlossen gegenüberstehen. Darüber hinaus bekunden viele Bewohnende Interesse an der Interaktion mit sozialen Robotern (Arnold & Paldán, 2022).

Diese Studien verdeutlichen bereits erste Vorteile sozialer Roboter im Pflegealltag. Dazu gehören Stressabbau, Unterstützung bei Angststörungen, kognitive Anregung und Unterhaltung für die Bewohnenden. Zudem wird angenommen, dass die Interaktion mit sozialen Robotern positive Auswirkungen auf die emotionale Verfassung und das Sozialverhalten der Bewohnenden haben kann.

Pilotstudie des LfE

Die Forschungsgruppe Robotics for Life & Healthcare startete Ende 2023 eine Pilotstudie in enger Zusammenarbeit mit der Firma „navel robotics“ und dem Johanniter Haus in Herrsching, um mehr Erkenntnisse zu diesem Thema zu generieren und zu explorieren, ob der soziale Roboter im realen Einsatz wirklich einen relevanten Nutzen entfalten kann.



Abbildung 1: Navel "Johanni" in den Gemeinschaftsräumen des Johanniter Hauses.

Der Roboter Navel (Abbildung 1 bis 4) wird seit dem 28. November 2023 im **Johanniter Haus in Herrsching am Ammersee** eingesetzt. Navel, von den Bewohnenden in Herrsching „**Johanni**“ getauft, hat neun Motoren, ist 72 Zentimeter groß, acht Kilo schwer und trägt eine blaue Wollmütze.

Der Roboter wird ein bis zwei Mal wöchentlich von einer Betreuerin zu den Bewohnenden gebracht. Masterstudentin Sofia Kieffa aus der Forschungsgruppe ist immer dabei, beobachtet und dokumentiert. Fragebögen und ein Gruppengespräch runden die Pilotstudie ab.

Am Anfang waren die Bewohnenden etwas skeptisch und zurückhaltend. Mittlerweile freuen sie sich, wenn sie wissen, dass der Roboter zum Einsatz kommt. Sie fragen den Roboter am Ende einer Interaktion, wann er wieder zu Besuch kommen würde.

Zu den Aufgaben des Roboters gehört die emotionale und kognitive Aktivierung der Bewohnenden. Zu seinen Anwendungsfällen gehören Begrüßen, Kennenlernen, Small Talk (z.B. über ein Tages-Thema), das Erzählen von Witzen sowie die Durchführung eines Quiz.



Abbildung 2: Navel "Johanni" im Gruppengespräch.

Gesprächsinhalte sind in der Regel: Freizeit, Alltag, Familie, und manchmal auch persönliche Ängste der Bewohnenden. Ein Gespräch wird begonnen mit dem Prompt „Hallo Navel“.

Die Bewohnenden behandeln „Johanni“ ähnlich wie ein Kind. Sie nehmen sein Gesicht in die Hand, nennen ihn „Schätzelein“, oder freuen sich, wenn er Gedichte aufsagt. Unter den Bewohnenden sind einige stark dement. Das Personal berichtet, dass diese Bewohnenden wenig verbal kommunizieren. Mit dem Roboter unterhalten sie sich aber gerne, sobald sie etwas aufgetaut sind.

Es gibt auch einzelne Bewohnende, die dem Roboter immer noch skeptisch gegenüberstehen. Die größten Ängste der Bewohnenden sind:

- Datenschutz
- Sich vom Roboter abhängig machen
- eine Entmenschlichung der Interaktion im Heim



Abbildung 3: Navel "Johanni" im Einzelgespräch.



Abbildung 4: Gruppeninteraktion mit Navel "Johanni".

Die Hauszeitung (für Bewohnende und Angehörige) des Johanniter Hauses, der Münchner Merkur, sowie die Süddeutsche Zeitung berichteten bereits über das bayernweit einzigartige Projekt. Die Artikel sind online abrufbar unter www.merkur.de/ und www.sueddeutsche.de/ oder den untenstehenden QR-Codes.

Merkur:



SZ plus:



Literatur

- Arnold, L., Ritter, W., & Paldán, K. (2022). Experiences With a Multi-functional Assistive Robot in Residential Care.
- Hung, L., Liu, C., Woldum, E., Au-Yeung, A., Berndt, A., Wallsworth, C., ... & Chaudhury, H. (2019). The benefits of and barriers to using a social robot PARO in care settings: a scoping review. *BMC geriatrics*, 19, 1-10.

RUMBA: Automatisierte Lkw im Hub-to-Hub-Verkehr

Svenja Escherle



Gefördert durch:



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Klimaschutz

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Hintergrund

Automatisiertes Fahren bietet der Nutzfahrzeugbranche die Möglichkeit, den aktuellen wirtschaftlichen und demografischen Herausforderungen, wie beispielsweise dem Mangel an Lkw-Fahrer:innen, effektiv zu begegnen (Müller & Voigtländer, 2019). Insbesondere rücken hierbei automatisierte Lkw ab SAE-Level 4 in den Fokus, bei denen das automatisierte Fahrsystem innerhalb bestimmter Grenzen, der sogenannten Operational Design Domain (ODD; (Czarnecki, 2018; SAE International, 2021), die Fahraufgabe vollständig übernehmen und sich bei Überschreiten dieser Grenzen selbstständig in einen sicheren Zustand zurückführen kann. Dies bedeutet, dass keine ständige Überwachung des Systems erforderlich ist und sich nicht zwangsläufig eine Person im Fahrzeug befinden muss.

Der Transport von Gütern im sogenannten Hub-to-Hub-Verkehr wird als einer der ersten Anwendungsfälle für automatisierte Lkw genannt (Escherle, Darlagiannis & Sprung, 2023; Gräter et al., 2022; Hörl et al., 2016). Ein Hub kann dabei beispielsweise ein Logistikzentrum, ein Betriebshof oder ein Produktionswerk sein. Im Hub-to-Hub-Verkehr umfasst die ODD die Strecke zwischen zwei oder mehr solcher Hubs. Die erfolgreiche Automatisierung dieses Transports erfordert jedoch mehr als nur die Entwicklung automatisierter Fahrfunktionen für die ODD.

Derzeit übernehmen Lkw-Fahrer:innen viele Aufgaben jenseits des reinen Fahrens, wie beispielsweise die Anmeldung an einem Hub, die Dokumentation oder das Entladen des Lkw (Escherle, Haentjes et al., 2023; Flämig, 2016; Inninger et al., 2018). Wie die Prozesse zukünftig ohne die Hilfe von Fahrer:innen ablaufen können, ist dabei noch unklar. Weiterhin stellt sich die Frage, ob

und, wenn ja, wie die Lkw-Kabine bei automatisierten Lkw sinnvoll genutzt werden kann und welche neuen Anforderungen sich daraus an die Gestaltung der Kabinen ergeben.

Vorgehen

Um diese Fragen zu beantworten, wurde im Projekt RUMBA in Kooperation mit MAN Truck & Bus SE zunächst untersucht, wie genau die Abläufe auf unterschiedlichen Hubs heutzutage gestaltet sind und welche Rollen dabei für welche Tätigkeiten zuständig sind. Auch die jeweiligen Rahmenbedingungen der Hubs wurden dabei betrachtet (Escherle, Haentjes et al., 2023).

Weiterhin ist zu beachten, dass automatisiertes Fahren zwar ein wichtiger Trend in der Logistik ist, jedoch nicht der einzige. Da es noch einige Zeit dauern wird, bis automatisierte Lkw im Hub-to-Hub-Verkehr zum Einsatz kommen, wurde in RUMBA im Rahmen einer Delphi-basierten Szenariostudie untersucht, wie sich das zukünftige Logistikumfeld bis dahin verändern wird (Escherle, Darlagiannis & Sprung, 2023).

Auf Basis dieser Informationen konnten unterschiedliche Szenarien für den Einsatz automatisierter Lkw im Hub-to-Hub-Verkehr erarbeitet werden. Die Szenarien stellen jeweils unterschiedliche Anforderungen an die Lkw-Kabine. Darauf basierend wurden insgesamt drei Kabinenkonzepte nutzerzentriert entwickelt und evaluiert.

Szenario 1: Automatisiertes Fahren ist auf dem Hub-Gelände nicht möglich

Es ist zu erwarten, dass automatisiertes Fahren auf einigen Hubs aufgrund der vorherrschenden Rahmenbedingungen und Komplexität auf dem Hub-Gelände zunächst nicht ohne weiteres möglich ist (Escherle, Sprung & Bengler, 2023).

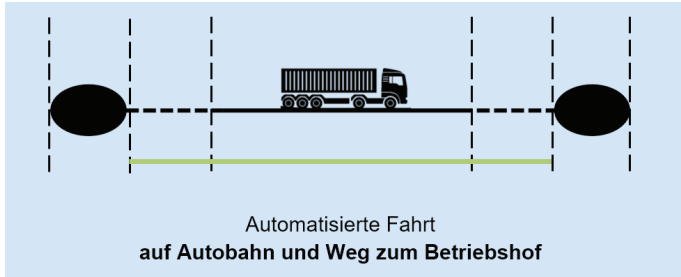


Abbildung 1: Darstellung Szenario 1.

In diesem Fall muss der automatisiert ankommende Lkw auf dem Hub von einer Person manuell gesteuert werden. Diese sogenannten Werks-Fahrer:innen begleiten den Ent- und Beladeprozess auf dem Hub und fertigen so einen Lkw nach dem anderen ab. Ihre Arbeit ist daher u.a. durch die Fahraufgabe, häufiges Ein- und Aussteigen und häufigen Fahrzeugwechsel geprägt (Escherle, Sprung & Bengler, 2023). Für diesen Nutzungskontext wurde in RUMBA ein neues Kabinenkonzept erarbeitet. Hierfür wurde das Konzept schrittweise als Papier-Prototyp, in VR und in einem physischen Mock-Up mit Nutzer:innen und Expert:innen evaluiert und weiterentwickelt.

Das Konzept ist auf die Fahraufgabe reduziert und zeichnet sich u.a. durch einen niedrigen Einstieg, einen Sitz in der Mitte und weitreichende Verglasung aus.



Abbildung 2: Kabinenkonzept für Szenario 1 in VR (außen).



Abbildung 3: Kabinenkonzept für Szenario 1 in VR (innen).

Szenario 2: Automatisiertes Fahren ist auch auf dem Hub-Gelände möglich

Auf weniger komplexen Hubs oder durch Anpassungen in der Infrastruktur kann in diesem Szenario auch automatisiertes Fahren auf dem Hub-Gelände ermöglicht werden.

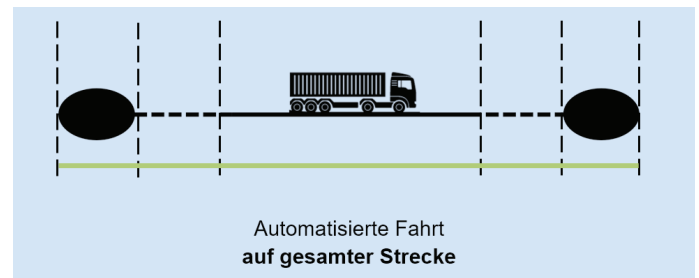


Abbildung 4: Darstellung Szenario 2.

In diesem Fall muss sich somit zu keiner Zeit eine steuernde Person im Lkw befinden. Der Lkw fährt automatisiert von Hub zu Hub. Im Projekt RUMBA wurde für dieses Szenario die Möglichkeit betrachtet, die Lkw-Kabine auf der automatisiert gefahrenen Strecke zwischen den Hubs für den Personentransport zu nutzen. Hierfür wurde ein Konzept zur Beförderung einer Person („Hotel“) und ein Konzept zur Beförderung einer Gruppe von Personen („Bus“) entwickelt. Die Konzepte wurden zunächst als Papier-Prototypen und anschließend in VR mit zukünftigen Nutzer:innen evaluiert und weiterentwickelt.



Abbildung 5: Kabinenkonzept "Hotel" in VR.



Abbildung 6: Kabinenkonzept "Bus" in VR.

Nicht zu vergessen ist dabei, dass der Hauptzweck des Lkw weiterhin der Gütertransport bleibt. Somit sollte der Transport nicht willkürlich unterbrochen werden. Aus diesem Grund sind beispielsweise sanitäre Anlagen und Verpflegungsmöglichkeiten für die Mitreisenden in den Konzepten integriert.

Auch das Nutzungsszenario des Personentransports an sich wurde im Rahmen von RUMBA sowohl mit Expert:innen, als auch Nutzer:innen evaluiert. Vor allem im Sinne der Nachhaltigkeit wird die Lkw-Kabine als attraktive und gewünschte Alternative zu herkömmlichen Transportmitteln bewertet, da der Lkw ohnehin von Hub zu Hub fährt.

Literatur

- Czarnecki, K. (2018). Operational Design Domain for Automated Driving Systems. Waterloo Intelligent Systems Engineering (WISE) Lab, University of Waterloo.
- Escherle, S., Darlagiannis, E. & Sprung, A. (2023). Automated Trucks and the Future of Logistics - A Delphi-Based Scenario Study. *Logistics Research*, 16(1), 1-21.
- Escherle, S., Haentjes, J. Sprung, A. & Bengler, K. (2023). Automatisierbarkeit von Lkw im Hub-to-Hub-Verkehr: Eine Prozessanalyse. In Gesellschaft für Arbeitswissenschaft (Hrsg.), *Nachhaltig Arbeiten und Lernen - Analyse und Gestaltung lernförderlicher und nachhaltiger Arbeitssysteme und Arbeits- und Lernprozesse: Dokumentation des 69. Arbeitswissenschaftlichen Kongresses*. GfA Press.
- Escherle, S., Sprung, A. & Bengler, K. (2023). How Will Automated Trucks Change the Processes and Roles in Hub-to-Hub Transport? In H. Krömker (Hrsg.), *Lecture Notes in Computer Science. HCI in Mobility, Transport, and Automotive Systems* (Bd. 14048, S. 51–69). Springer Nature Switzerland.
- Flämig, H. (2016). Autonomous Vehicles and Autonomous Driving in Freight Transport. In M. Maurer, J. C. Gerdes, B. Lenz & H. Winner (Hrsg.), *Autonomous Driving* (S. 365–385). Springer.
- Gräter, A., Harrer, M., Rosenquist, M. & Steiger, E. (2022). *Connected, Cooperative and Automated Mobility Roadmap* (10. Aufl.). ERTRAC.
- Hörl, S., Ciari, F. & Axhausen, K. W. (2016). Recent perspectives on the impact of autonomous vehicles. *Institute for Transport Planning and Systems*.
- Inninger, W., Schellert, M. & Schulz, H. (2018). Analyse der Randbedingungen und Voraussetzungen für einen automatisierten Betrieb von Nutzfahrzeugen im innerbetrieblichen Verkehr. *FAT-Schriftenreihe*, 312.
- Müller, S. & Voigtländer, F. (2019). Automated trucks in road freight logistics: the user perspective. In *Interdisciplinary Conference on Production Logistics and Traffic* (S. 102–115). Springer.
- SAE International. (2021). *Taxonomy and Definitions for Terms Related to Driving Automation Systems for On-Road Motor Vehicles* (J3016).

Ein Lieferroboter für den Campus Garching

Update aus dem DFG-Projekt "sabeS"

Olivia Herzog



Gefördert durch



Im DFG-Projekt "Interaktionsräume zwischen Mensch und sich autonom bewegenden Systemen – sabeS" werden am LfE Interaktionsräume, Proxemik und Diskomfort in der Interaktion mit Robotern im (teil-)öffentlichen Raum erforscht.

Das Forschungsgebiet der Proxemik beschreibt die menschliche Wahrnehmung und räumliche Ausnutzung zwischenmenschlicher Distanzen. Diese werden beeinflusst von Kultur, Beziehung, Aktivität und Emotionen in alltäglichen Situationen, aber auch von äußeren und Verhaltensmerkmalen des Roboters, sowie des Menschen. Für die Interaktion zwischen Menschen definierten Hall et al. im Jahr 1968 relevante Bereiche über vier konzentrische Kreise (Abb. 1): intim (bis 46 cm), persönlich (bis 1,22 m), sozial (bis 3,7 m) und öffentlich (darüber hinaus).

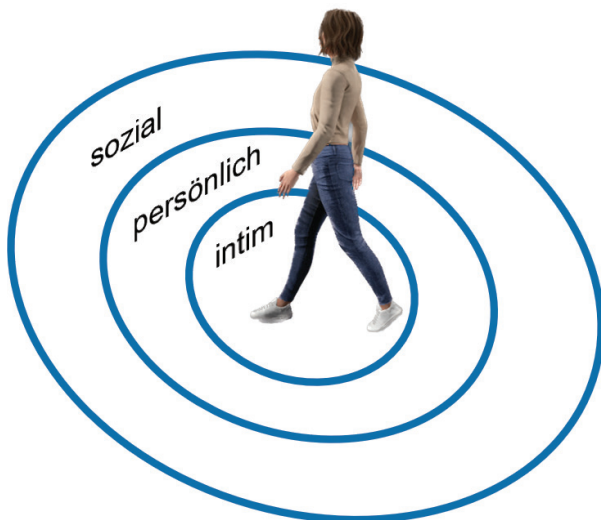


Abbildung 1: Proxemik-Zonen nach Hall et al. (1968). Eigene Darstellung.

Im Projekt werden proxemische Zonen für die Mensch-Roboter Interaktion (HRI) exploriert. In den ersten Herstellungsversuchen des Projekts betätig-

ten Probandinnen und Probanden einen Knopf, wenn der ihnen gerade noch angenehme Abstand erreicht war – abhängig von Roboterhaltensstrategie (Stop, Back-Off oder Ausweichen), Größe, Anfahrtswinkel und Geschwindigkeit des Roboters. Alle Versuche wurden mit der modularen Forschungs-Roboterplattform Innok Heros durchgeführt (Abbildung 2 und 3), für die ein spezielles, modulares Holz-Cover gefertigt wurde, um die Höhe manipulieren zu können. Für die Versuche in virtueller Realität wurde eine maßstabsgetreue, digitale Nachbildung des Roboters und des Versuchsraums (Magistrale des Maschinenwesen Gebäudes) verwendet.



Abbildung 2: Lieferroboter-Plattform Innok in der Magistrale des Maschinenwesen Gebäudes, seitlich.

Die Ergebnisse der letzten Laborstudie ($n = 61$) deuten darauf hin, dass Anhalten und Zurückweichen (Back-Off Strategie; Reinhardt, Prash & Bengler, 2021) als kurzfristige Bewegungsmuster zu kürzeren Komfortdistanzen führen, während ein Ausweichverhalten langfristig initiiert werden sollte. Die Komfortdistanz liegt hier im Schnitt bei 1,89 m, während sie bei den kurzfristigeren Manövern Stoppen und dem Back-Off bei 1,23 m beziehungsweise 1,29 m liegt.

Die Ergebnisse aus dem systematischen Methodenvergleich zwischen virtueller Fußgängersimulation und Laborstudie mit echtem Roboter zeigen außerdem, dass Distanzen in der virtuellen Realität deutlich unterschätzt werden, sich relativ gesehen jedoch vergleichbar verteilen.

Aktuell werden die experimentell erarbeiteten Abstände in einem zweiten Laborversuch validiert. Mittlerweile erkennt der Roboter Personen selbstständig über die verbauten Tiefenkameras. Er kann nun abhängig von der Versuchsbedingung und dem gemessenen Abstand zum Menschen reagieren. Anschließend beurteilen die Personen die Situation und wie angenehm, sicher und effizient sie sie empfunden haben. Zusätzlich wird auch der Einfluss menschlicher Einflussfaktoren, wie Alter und Geschlecht, die Einstellung gegenüber Robotern sowie visuelle und kognitive Ablenkung einbezogen, um ein umfassenderes Bild erlangen zu können.



Abbildung 3: Lieferroboter-Plattform Innok in der Magistrale des Maschinenwesen Gebäudes, frontal.

Im Juni 2024 startet schließlich der Feldversuch: Der Roboter wird selbstständig – unter ständiger Beobachtung der Versuchsleitung – für sechs Wochen mit einer maximalen Geschwindigkeit von 1,4 m/s durch die Magistrale des Maschinenwesen-Gebäudes auf dem Campus Garching fahren und mit detektierten Fußgängerinnen und Fußgängern interagieren (Abbildung 1 und 2). Anschließend werden die interagierenden Personen, nach Möglichkeit, zu ihrem Empfinden der Situation und des Verhaltens des Roboters nachbefragt.

Diese Studie rundet und schließt das DFG-Projekt ab. Die Ausblicksfrage wird in einem Folgeprojekt detaillierter untersucht.

Literatur

- Hall, E. T., Birdwhistell, R. L., Bock, B., Bohannon, P., Diebold Jr, A. R., Durbin, M., ... & Vayda, A. P. (1968). Proxemics [and comments and replies]. *Current anthropology*, 9(2/3), 83-108.
- Reinhardt, J., Prasch, L., & Bengler, K. (2021). Back-off: Evaluation of robot motion strategies to facilitate human-robot spatial interaction. *ACM Transactions on Human-Robot Interaction (THRI)*, 10(3), 1-25.

STADT:up

Perspektiven urbaner Mobilität

Jonas Schulze



Das STADT:up Projekt

Das Projekt STADT:up (2023) widmet sich der Entwicklung von Konzepten und Pilotapplikationen des durchgängigen automatisierten Fahrens im urbanen Raum, die den Anforderungen der Nutzenden gerecht werden. Das Konsortium mit 22 Partnern, das sich zusammensetzt aus Automobilunternehmen, Zulieferern, Technologieanbietern und Forschungseinrichtungen, forscht und entwickelt entlang der gesamten Wirkkette: Perzeption, Fusion, Lokalisation, Umfeldmodell, Prädiktion, Interaktion und Kooperation bis hin zur Verhaltens- und Manöverplanung. Das Ziel sind durchgängige und skalierbare Lösungen für die zukünftige urbane Mobilität. Die Fahrzeuge müssen komplexe innerstädtische Verkehrsszenarien sicher beherrschen und die Lösungen gehen dabei von individuellen Mobilitätsfällen aus und zeigen die Vernetzung zur multimodalen Mobilität. Im Zuge dessen werden realitätsnahe Mobilitätskonzepte und Perspektiven intermodaler Mobilität erarbeitet, wobei sämtliche Stakeholder einbezogen werden: Städte, Nutzende, Forschungseinrichtungen und die Automobilindustrie.

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 leitet gemeinsam mit dem Lehrstuhl für Verkehrstechnik der TUM das Teilprojekt "Perspektiven urbaner Mobilität".

Hintergrund

Die urbane Mobilität, sowohl in Deutschland als auch global, erlebt gegenwärtig einen fundamentalen Umbruch. Der Wandel wird maßgeblich durch die

Automatisierung, Digitalisierung und Vernetzung vorangetrieben und beeinflusst nicht nur den öffentlichen Personennahverkehr (ÖPNV) und motorisierten Individualverkehr (MIV), sondern auch grundlegend die Wertschöpfungsketten der Automobilbranche, die Verkehrspolitik und das Mobilitätserlebnis der Gesellschaft (BMVI, 2015; BMVI, 2018; Nationale Plattform Zukunft der Mobilität, 2019). Das Teilprojekt „Perspektiven urbaner Mobilität“ trägt diesen Veränderungen urbaner Mobilität Rechnung und setzt sich die Erarbeitung realitätsnaher, intermodaler Mobilitätsszenarien und deren Evaluation zum Ziel.



Abbildung 1: Synthese-Workshop mit kommunalen Vertretern und Technologiepartnern aus der Automobilindustrie am Institute for Advanced Study (IAS) der Technischen Universität München.

Das Dialogforum „intermodale urbane Mobilität“

Viele Städte beschäftigen sich mit zukunftsgerichteter urbaner Mobilität. Die derzeit beobachteten Entwicklungen unterscheiden sich stark von Stadt zu Stadt. Die Entwicklungspfade und verfolgten Philosophien des automatisierten und vernetzten Fahrens (AVF) und deren Integration in die Verkehrsentwicklung können sich erheblich unterscheiden (Perret et al., 2018), sowohl was die Komplexität als auch die Realisierbarkeit (hinsichtlich Machbarkeit und Kosten) angeht. Neu entstehende AVF-Konzepte und zunehmend intermodale Mobilitätskonzepte greifen tiefer in das Mobilitätssystem ein und erfordern eine konzentrierte Zusammenarbeit aller Stakeholder.

Das Dialogforum "intermodale urbane Mobilität" stellt sich dieser Aufgabe und etabliert einen Dialog in drei Formaten.

Neben dem übergeordneten Ziel einen konstruktiven Dialog zwischen Städten, Nutzenden, Forschungseinrichtungen und Automobilindustrie einzurichten, werden entlang des Prozesses realistische Zukunftsszenarien erarbeitet und stetig verdichtet. Für alle Formate schloss sich eine enge Zusammenarbeit des Organisationsteams bestehend aus DLR, Technische Universität Darmstadt und Technische Universität München (Lehrstuhl für Verkehrstechnik und Lehrstuhl für Ergonomie) zusammen.

Expertenworkshop mit Technologiepartnern (Format 1)

Im Expertenworkshop in Darmstadt stellten sich 18 Teilnehmer:innen der Technologiepartner die Frage, welche Vision urbaner Mobilität die Entwicklung von automatisierten Fahrzeugen antreibt. Darüber hinaus ging es darum, Informations- und Austauschbedarfe gegenüber den Städten zu identifizieren.

Die Reduzierung der Verkehrsbelastung in den Städten, die mehr urbanen Raum für die Menschen und eine Verbesserung der Lebensqualität verspricht, spielte in der Diskussion eine zentrale Rolle. Eine weit entwickelte Vorstellung zur Einbettung von AVF in die intermodale Wegekette besteht bei den Industriepartnern noch nicht, jedoch wurden Mobilitätskonzepte wie On-Demand Services und Mobilitätshubs genannt. Auch unterschiedliche Anforderungen an die Fahrzeugkonzepte hinsichtlich der Betriebsart wurden diskutiert.

Neben dem Dialog mit den Städten wurde auch Interesse an einem Austausch mit Vertretern verschiedener Interessengruppen wie z.B. mobilitätseingeschränkten Menschen, Studierenden und Familien gezeigt.

Weitere Themen waren die Rolle der Infrastruktur, die Regulatorik und der Umgang mit Daten.

Experteninterviews mit Städten und Kommunen (Format 2)

Auf den Austausch mit der Automobilindustrie folgten Experteninterviews mit Vertretern von Kommunen und Städten, die für die Mobilität zuständig sind. Ziel war es die Bedarfe, Planung und Erwartung der öffentlichen Seite bezüglich des AVF zu identifizieren. Die 13 semistrukturierten Interviews erfolgten mit kleinen, ländlich gelegenen Gemeinden wie Barleben, bis hin zu Großstädten wie Hamburg und München. Der Erfahrungsgrad mit AVF im öffentlichen Nahverkehr (ÖPNV) reichte von keiner Erfahrung bis hin zum Einsatz von autonomen Shuttles im Pilotbetrieb.

Für die Kommunen und Städte sind insbesondere Mobilitätsszenarien mit Fahrzeugen ab SAE-Level 4 relevant. AVF wird zum Teil als Lösung für aktuellen Herausforderungen gesehen. Dazu zählen: Entgegenwirken des Personalmangels an Fahrer:innen ($n = 8$), Attraktivitätssteigerung dezentraler Gebiete ($n = 7$), Emissionsreduzierung ($n = 6$), Reduktion des innerstädtischen Verkehrsaufkommens bzw. Optimierung des Verkehrsflusses ($n = 4$) sowie die Stärkung des Wirtschaftsstandortes ($n = 4$). Um die Einführung des AVFs in geeigneten Mobilitätsszenarien voranzutreiben, wünschen sich die Städte und Kommunen mit großer Mehrheit ($n = 11$) einen intensivierten Austausch und Vernetzung, wie z.B. zu infrastrukturellen Anforderungen, technischer Verfügbarkeit und erwarteten Trends. Auch die regulatorische Unterstützung, mindestens auf Bundesebene – besser auf europäischer Ebene, wurde thematisiert.

Synthese-Workshop (Format 3)

Der Synthese-Workshop zielte darauf ab, nach der vorausgehenden getrennten Datenerhebung (Format 1 und 2), die Vertreter:innen der Kommunen und Städte und die Expert:innen der Automobilindustrie zusammenzubringen, den Austausch zu fördern und die Ergebnisse in gemeinsame Mobilitätsszenarien zu verdichten.

Es fanden sich 8 kommunale Vertreter:innen und 17 Expert:innen der Technologieunternehmen in Garching ein. Im Mittelpunkt standen die Themen „Szenarien verträglicher Verkehrsabwicklung“, „Technologieverortung“ und „Datenverfügbarkeit“.

Der Einsatz von Platooning bei Stadtbussen wurde genannt, um Flexibilität im ÖPNV bei stark schwankenden Fahrgastzahlen zu bieten. Autonome On-Demand Shuttles sollen als Erweiterung des ÖPNV im urbanen Raum und für die Flächenerschließung auf dem Land dienen. Als weitere Use Cases wurden das Automated Valet Parking und Mobilitätskonzepte für die erste und letzte Meile genannt. Die Diskussionen zeigten, dass die anwesenden Technologiepartner stark auf die Fahrfunktionsentwicklung der Private-Ownership Fahrzeuge konzentriert sind und sich der Business Case für kollektive Mobilitätskonzepte der SAE-Level 4 und 5 schwierig gestaltet.



Abbildung 2: Prof. Bengler in der Plenumsdiskussion mit Expert:innen der Technologiepartner und Vertreter:innen von Städten und Kommunen.

Die Teilnehmenden waren sich einig, dass Kommunen und Technologiepartner die Zusammenarbeit in Zukunft intensivieren müssen, um die urbane, automatisierte Mobilität erfolgreich voranzutreiben. Entscheidend sei es auch, Akzeptanz in der Gesellschaft zu schaffen und Barrieren abzubauen. Im Zuge dessen wird es als wichtig erachtet, Fehler zuzulassen und die Fehlerrate der Automation im Vergleich zum Menschen zu thematisieren. Es wurde aber auch deutlich, dass robuste Lösungen, die für den Einsatz

im ÖPNV notwendig sind, im Teilnehmerkreis noch nicht zur Verfügung stehen.

Fazit

Die Formate des Dialogforums lieferten gute und konstruktive Diskussionen zwischen Technologiepartnern und Städten und wurden mit großem Interesse aufgenommen. Auch die Fortsetzung des gemeinsamen Dialogs wurde angeregt und bietet die Chance, angesichts neuer Mobilitätskonzepte im internationalen Wettbewerb zu bestehen. Die noch oberflächliche Betrachtung der Mobilitätsszenarien soll im weiteren Projektverlauf vertieft werden und dient als Grundlage für die Erhebung von Nutzerakzeptanz und individuellen Nutzerentscheidungen.

Literatur

- BMVI Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (Hrsg.). (2015). Strategie automatisiertes und vernetztes Fahren: Leitanbieter bleiben, Leitmarkt werden, Regelbetrieb einleiten. https://bmdv.bund.de/SharedDocs/DE/Publikationen/DG/broschuere-strategie-automatisiertes-ernetztes-fahren.pdf?__blob=publicationFile
- BMVI Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (Hrsg.). (2018). Digitalisierung und Künstliche Intelligenz in der Mobilität: Aktionsplan. https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Anlage/DG/aktionsplan-ki.pdf?__blob=publicationFile
- Nationale Plattform Zukunft der Mobilität. (2019). Zweiter Zwischenbericht: Handlungsempfehlungen zum autonomen fahren. <https://www.plattform-zukunft-mobilitaet.de/wp-content/uploads/2020/03/NPM-AG-3-Handlungsempfehlungen-zum-autonomen-Fahren.pdf>
- Perret, F., Fischer, R., & Frantz, H. (2018). Automated driving as a challenge to cities and regions: An interdisciplinary analysis of potential applications and effects. *TATuP - Zeitschrift für Technikfolgenabschätzung in Theorie Und Praxis*, 27(2), 31–37. <https://doi.org/10.14512/tatup.27.2.31>
- STADT:up. (2023). Solutions and Technologies for Automated Driving in Town: an urban mobility project. <https://www.stadtup-online.de/>

User Experience beim automatisierten Fahren

Lorenz Steckhan

Hintergrund

Automatisiertes Fahren wird mit zahlreichen Vorteilen verbunden, darunter Verbesserungen in Sicherheit, Effizienz und der User Experience (Chan, 2017; Szimba & Hartmann, 2020; Hecht, Feldhütter, Draeger & Bengler, 2019). Jedoch gibt es auch erwartete Nachteile, wie eine verringerte Kontrolle, die zu reduziertem Fahrspaß, unerwünschtem Fahrverhalten oder Sicherheitsproblemen führen kann (Bieretal., 2019; Simonetal., 2015; Rossner & Bullinger, 2019; Chan, 2017). Angesichts ihrer Kritikalität bilden Sicherheitsprobleme seit dem Beginn der Automatisierung im Individualverkehr einen wesentlichen Forschungsschwerpunkt. Die User Experience wurde allerdings in den letzten Jahren eher vernachlässigt, wobei sie teilweise nur in der Ermöglichung fahrfremder Tätigkeiten oder im Komfortgewinn gesehen wird. Solche Ansichten übersehen das Potenzial, das die Mitwirkung bei der Fahraufgabe für die Steigerung der User Experience bietet. Zur Lösung dieser Probleme können kooperative Ansätze gefördert werden, die eine intensivere Zusammenarbeit zwischen Automation und Nutzern vorsehen. Aktuelle Systeme neigen zu einem binären Automationsansatz, bei dem entweder die Automation oder der Mensch die vollständige Kontrolle übernimmt. Solche Ansätze des Automationsdesigns sind durch die SAE J3016 (SAE International, 2021), den Branchenstandard für die Definition von Automationsdesigns im Fahrzeugkontext, nicht abgedeckt.

Gestaltungsräume für neue Interaktionskonzepte

In einem Kooperationsprojekt mit der BMW Group wurden am Lehrstuhl für Ergonomie die Lücken des SAE J3016 umfangreich analysiert und strukturiert beschrieben (Steckhan, Spiessl, Quetschlich & Bengler, 2022). Dabei lag ein besonderer Fokus auf der User Experience, weshalb sogenannte optionale Eingriffe als essenzieller Bestandteil dieser Betrachtung galten. Bei optionalen Eingriffen interveniert der Fahrer bei der automatisierten Bewältigung der

Fahraufgabe, um Anpassungen vorzunehmen, die nicht primär die Sicherheit oder das Erreichen des Zielorts betreffen, sondern meist durch persönliches Empfinden motiviert sind. Steckhan et al. (2022) definieren in diesem Zusammenhang die ganzheitliche Zielfunktion aus Sicht des Fahrers, die optionale und notwendige Bestandteile umfasst und durch das (automatisierte) Fahren möglichst vollständig zu erfüllen ist. In einer Befragung im Rahmen des Kooperationsprojekts bewerteten die Nutzer Eingriffe in viele Fahrmanöver (z.B. Spurwechsel) und Fahrparameter (z.B. Geschwindigkeit) als Basisfeatures eines automatisierten Fahrzeugs (Steckhan, Spiessl & Bengler, 2023a). Eingriffe in andere Manöver und Fahrparameter wurden dagegen eher als unerwartete, jedoch positive Zusatzfeatures bewertet (Steckhan et al., 2023a).

Interaktionsdesign für die kooperative Optimierung der User Experience

Auf den Erkenntnissen aus dem vorherigen Abschnitt und dem aktuellen Forschungsstand aufbauend, lassen sich vielfältige Interaktionsmöglichkeiten zwischen Fahrer und Automation in praxisnahe Interaktionsschnittstellen überführen. In einer engen Zusammenarbeit mit der BMW Group hat der Lehrstuhl für Ergonomie zwei innovative Bedienkonzepte entwickelt, die in einer Reihe von Studien einer umfangreichen Evaluation unterzogen wurden (Steckhan, Spiessl & Bengler, 2023b). Das erste Konzept beruht auf der Nutzung eines Joysticks mit aktiver Kraftrückmeldung (siehe Abbildung 1), während das zweite Konzept einen Bildschirm mit Touchfunktionalität verwendet, der eine intuitive Steuerung ermöglicht (siehe Abbildung 2), um eine haptische Rückmeldung während der Bedienung zu bieten. Beide Ansätze zielen darauf ab, den Nutzern eine maßgeschneiderte Anpassung des Fahrverhaltens während der automatisierten Fahrt zu ermöglichen. Dies geschieht durch die Möglichkeit, spezifische Fahrmanöver zu initiieren oder abubrechen und Fahrparameter individuell zu justieren. Die Ergebnisse der Evaluation mit Testpersonen deuten darauf hin, dass

diese Konzepte ein signifikantes Potenzial besitzen, die User Experience nachhaltig zu verbessern, indem sie eine höhere Kontrolle und Personalisierung der Fahrt ermöglichen (Steckhan et al., 2023b).



Abbildung 1: Integration der beiden entwickelten Interaktionschnittstellen zur Zusammenarbeit zwischen Mensch und Automation in einem Fahrsimulator.

Evaluation der User Experience im Entwicklungsprozess

Eine hinreichende Abschätzung der User Experience von neuartigen Interaktionskonzepten und Fahrerassistenzsystemen, die sich noch in der Entwicklung befinden, ist aktuell methodisch nicht ausreichend gelöst. Problematisch hierbei ist vor allem die starke Variation der erlebten Experience zwischen den Probanden, die auf unterschiedlichen subjektiven Erlebnisfaktoren basiert. Basierend auf den Erkenntnissen aus den zuvor beschriebenen Projekten wird in Kooperation mit der BMW Group in anstehenden Projekten diese Problematik angegangen. Ziel ist es, eine möglichst effiziente, aber genaue Abschätzung der Auswirkungen von Designentscheidungen auf die User Experience der späteren Nutzer bereits vor Fertigstellung der finalen Produkte zu ermöglichen.



Abbildung 2: Beispielhafte Ansicht der touchbasierten Interaktionschnittstelle.

Fazit

Automatisiertes Fahren wird oft als durchweg positive Innovation dargestellt. Dabei wird jedoch übersehen, dass auch diverse negative Auswirkungen entstehen können. Neben potenziellen Sicherheitsrisiken ist für manche Nutzer der Verlust der Kontrolle über die Fahraufgabe und die fremdbestimmte Ausführung dieser Aufgabe mit Einbußen in der User Experience verbunden. Diese Einbußen können sich

negativ auf die Nutzungsintention und Akzeptanz auswirken. Die SAE J3016 als Standardtaxonomie für das Automationsdesign sieht ein binäres Automationsdesign vor, was die genannte Problematik unterstützt. Wie in den hier zitierten Projekten mit der BMW Group herausgefunden wurde, kann eine intensivere Zusammenarbeit zwischen Nutzer und Automation eine mögliche Lösung des Konflikts sein. Insbesondere durch optionale Eingriffe in die automatisierte Fahraufgabe können Nutzer ein verbessertes Fahrerlebnis bei der automatisierten Fahrt erzielen. Ziel zukünftiger Automationsdesigns sollte daher weniger eine einseitige Sicherheitsbetrachtung als eine ganzheitliche Erlebnisoptimierung für die Nutzer sein.

Literatur

- Bier, L., Joisten, P., Abendroth, B.: Warum nutzt der Mensch bevorzugt das Auto als Verkehrsmittel? Eine Analyse zum erlebten Fahrspaß unterschiedlicher Verkehrsmittelnutzer. *Z. Arb. Wiss.* (2019). <https://doi.org/10.1007/s41449-018-00144-9>
- Chan, C.-Y.: Advancements, prospects, and impacts of automated driving systems. *International Journal of Transportation Science and Technology* (2017). <https://doi.org/10.1016/j.ijtst.2017.07.008>
- Hecht, T., Feldhütter, A., Draeger, K., Bengler, K.: What Do You Do? An Analysis of Non-driving Related Activities During a 60 Minutes Conditionally Automated Highway Drive. In: Ahram, T., Taiar, R., Colson, S., Choplin, A. (eds.) *Human Interaction and Emerging Technologies. Proceedings of the 1st International Conference on Human Interaction and Emerging Technologies (IHiet 2019)*, pp. 28–34. Springer International Publishing, Cham (2019). https://doi.org/10.1007/978-3-030-25629-6_5
- Rossner, P., Bullinger, A.C.: Do You Shift or Not? Influence of Trajectory Behaviour on Perceived Safety During Automated Driving on Rural Roads. In: Krömker, H. (ed.) *HCI in Mobility, Transport, and Automotive Systems. HCI International Conference, Orlando, USA, 26-31.07.2019*, pp. 245–254. Springer International Publishing, Cham (2019). https://doi.org/10.1007/978-3-030-22666-4_18
- SAE International: Taxonomy and Definitions for Terms Related to On-Road Motor Vehicle Automated Driving Systems. J3016. SAE International, USA (2021)
- Simon, K., Jentsch, M., Bullinger, A.C., Schamber, G., Meincke, E.: Sicher aber langweilig? Auswirkungen vollautomatisierten Fahrens auf den erlebten Fahrspaß. *Z. Arb. Wiss.* (2015). <https://doi.org/10.1007/BF03373944>
- Steckhan, L., Spiessl, W., Quetschlich, N., Bengler, K.: Beyond SAE J3016: New Design Spaces for Human-Centered Driving Automation. In: Krömker, H. (ed.) *HCI in mobility, transport, and automotive systems. 4th International Conference, MobiTAS 2022*, pp. 416–434. Springer, Cham (2022)
- Steckhan, L., Spiessl, W., Bengler, K.: Maneuver and Parameter Interventions in Automated Driving to Enhance User Satisfaction: A Kano Method Application. In: Duffy, V.G., Krömker, H., A. Streitz, N., Konomi, S.'i. (eds.) *HCI International 2023 – Late Breaking Papers. Lecture Notes in Computer Science*, vol. 14057, 1st edn., pp. 390–404. Springer Nature Switzerland; Imprint Springer, Cham (2023)
- Steckhan, L., Spiessl, W., Bengler, K.: Evaluation of User Interfaces for Cooperation Between Driver and Automated Driving System (2023b). In: 2023 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics (SMC), pp. 2913–2920. IEEE. <https://doi.org/10.1109/SMC53992.2023.10394584>
- Szimba, E., Hartmann, M.: Assessing travel time savings and user benefits of automated driving – A case study for a commuting relation. *Transport Policy* (2020). <https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2020.03.007>

Arbeitsplätze im Wandel

Jeder Mensch verdient es, gesund zu arbeiten. Trotz steigender Automatisierung gibt es noch eine Vielzahl an Arbeitsplätzen, in welchen manuell gearbeitet werden muss. Sowohl die physische Belastung als auch der steigende Druck aufgrund erhöhter Taktzeiten und Produktvielfalt beansprucht die Menschen an industriellen Arbeitsplätzen. Statistiken von Krankenkassen zeigen, dass muskuloskelettale Erkrankungen noch immer mit 23% der Arbeitsunfähigkeitstage eine der häufigsten Gründe für Fehltag sind (Grobe & Bessel, 2022). Unternehmen aus Produktion und Logistik berichten von bis zu 35% Krankenstand an Arbeitsplätzen mit besonders hohen Belastungen. Dies stellt ein großes Problem für die Gesellschaft und das Gesundheitssystem dar. Auch im Zuge des Fachkräftemangels und des demographischen Wandels suchen Unternehmen verstärkt nach Lösungen, um Arbeitsplätze nachhaltig, alters- und altersgerecht zu gestalten.

Hierbei sind nicht nur Arbeitsplätze in Produktion und Logistik von Relevanz. Tätigkeitsfelder in Handwerk, Forst- und Agrarwirtschaft haben auch einen hohen Bedarf an Lösungen zur Entlastung und Unterstützung der Arbeiterinnen und Arbeiter.

Exoskelette - eine mögliche Lösung?

Analysen der "roten" Arbeitsplätze zeigen, dass dort zu einem großen Teil Lasten gehoben, getragen und manipuliert werden müssen. Winter et al. (2019) berichten, dass an Logistik-Arbeitsplätzen in nur weniger als 10% der Zeit der Rücken tief gebeugt wird, entsprechend wird hauptsächlich in aufrechter Körperhaltung gearbeitet. Dies ist ergonomischen Verbesserungen der letzten Jahre wie Scherenhubwägen und höhenverstellbaren Arbeitstischen zu verdanken.

Die Lasten, die gehandhabt werden müssen, variieren sehr stark in Stückzahl, Beschaffenheit, und Gewicht. Auch sind die Arbeitsplätze oft nicht stationär, sind unstrukturiert und weisen Engstellen auf. Das macht

die Flexibilität und schnelle Anpassungsfähigkeit des Menschen in diesen Tätigkeiten unersetzlich und bringt technische Lösungen an ihre Grenzen.

In den vergangenen Jahren wurden an diesen Arbeitsplätzen Exoskelette als mögliche Lösung getestet. Durch ihre mobile Einsetzbarkeit und die lokale Entlastung von Körperregionen, haben Exoskelette das Potenzial, Ermüdung zu reduzieren und langfristig Erkrankungen aufgrund von andauernder Überbeanspruchung einzelner Körperregionen zu reduzieren. Doch es konnte sich noch kein System in den Feldern der Lastenhandhabung in aufrechter Körperhaltung etablieren. Dies lässt den Schluss zu, dass das richtige Exoskelett für die Unterstützung an diesen speziellen Arbeitsplätzen noch nicht auf dem Markt ist.



Abbildung 1: Laborprototyp des Lift&Carry.1 von HF.exo

Menschzentrierte Entwicklung von körpergetragenen Assistenzsystemen

Ein Wichtiger Faktor im User-Centered-Design ist neben der richtigen Erfassung der Bedürfnisse des

Menschen die Berücksichtigung des Nutzungskontexts. Entsprechend ist eine ausführliche Erfassung der Arbeitsprozesse, der Werkzeuge und der Umgebungsbedingungen essenziell, um ein passendes Unterstützungssystem für die betrachteten Arbeitsplätze zu entwickeln.

Das Exoskelett von HF.exo wurde basierend auf Anforderungen von ausgewählten Arbeitsplätzen aus Produktion und Logistik entwickelt. Die wichtigsten Faktoren sind hierbei die volle Bewegungsfreiheit der nutzenden Person und Manövrierfähigkeit in beengten Räumen. Zudem wird eine einfache Handhabung und Einstellbarkeit benötigt, die nicht von der Arbeit ablenkt und Rüstzeiten vor und nach Pausen möglichst kurzhält.

Das neuartige Exoskelett von HF.exo – Lift&Carry.1

Die genannten spezifischen Anforderungen wurden mittels einer textilen, weichen Grundstruktur umgesetzt, in der motorisch angetriebene Seilzüge laufen, die die Arme aktiv beim Heben und Tragen von Lasten unterstützen. Die Motoren und alle elektronischen Komponenten sind in einem kompakten Rucksack untergebracht. Mit einem Gewicht von unter 5 kg ist das Exoskelett trotz der aktiven Unterstützung im Verhältnis zu anderen Exoskeletten leicht und wird bei der Arbeit kaum bemerkt. Neben der aktiven Unterstützung der Arme wird der untere Lendenwirbelbereich gestützt, was eine Entlastung des Rückens bewirkt.

Mit einem ausgereiften Sensorkonzept kann das Exoskelett Bewegungsintentionen erkennen und automatisch die Unterstützung auf die Last und den Bedarf der Person anpassen.

Die einzigartige Kombination aus leichter Bauweise, Unterstützung von Armen und Rücken, sowie der Intentionserkennung resultiert in einem Exoskelett, welches bisher noch nicht am Markt existiert, aber dringend benötigt wird.



Abbildung 2: Das Team von HF.exo von links nach rechts: Martin Fleischer, Christina Harbauer, Peter Schaefer, und Noah Gerullis.

Vom Forschungsprojekt zur Gründung

Das Projekt startete als Forschungsprojekt und wurde ausschließlich aus universitären Mitteln des Lehrstuhls für Ergonomie finanziert. Zudem gewann das Konzept den Ideenwettbewerb „bioinspired Ideas“ des Instituts für Zoologie des TUM Munich Institute of Biomedical Engineering.

Aktuell wird das Projekt im Rahmen eines EXIST Forschungstransfers finanziert, gefördert durch das BMWK aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages und durch die Europäische Union - konkret durch den Europäischen Sozialfonds Plus (ESF Plus).

Innerhalb des kommenden und nächsten Jahres wird die Gründung erfolgen und HF.exo als eigenständiges Unternehmen agieren. Für diese Zukunft suchen wir Mentoren, Investoren, Partner und Kunden, die mit uns zusammen die Zukunft der Arbeitswelt gestalten wollen.

Danksagung

Das Projekt HF.exo wird im Rahmen des EXIST-Programms durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz und den Europäischen Sozialfonds gefördert.

Die Europäische Union fördert zusammen mit dem Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz über den Europäischen Sozialfonds Plus (ESF Plus) das Programm „Existenzgründungen aus der Wissenschaft (EXIST)“ in Deutschland.

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Klimaschutz



Kofinanziert von der
Europäischen Union

EXIST
Existenzgründungen
aus der Wissenschaft

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Insbesondere danken wir der Unterstützung durch den Projektträger Jülich.



Literatur

- Grobe, T. G., & Bessel, S. (2022). Gesundheitsreport 2022: Zwei Jahre Coronapandemie: Wie geht es Deutschlands Beschäftigten? Teil 2. Techniker Krankenkasse. <https://www.tk.de/resource/blob/2130932/3432a2d-7c9f827e38b1dee99779bb826/gesundheitsreport-2022-data.pdf>
- Winter, G., Glitsch, U., Bäuerle, I., Felten, C., & Hedtmann, J. (2019). Erproben von Exoskeletten im Rahmen der Logistik – Anwendung und Grenzen des Einsatzes. In Gesellschaft für Arbeitswissenschaft e.V. (Ed.), Bericht zum 65. Arbeitswissenschaftlichen Kongress vom 27. Februar – 1. März 2019.

Intelligente Fahrzeugklimatisierung: Maschinelles Lernen zur Optimierung von thermischem Komfort und Energieeffizienz

Manuel Kipp

Fahrzeugklimatisierung

Die Automobilindustrie steht vor großen Veränderungen. Besonders Autonomes Fahren und die zunehmende Elektrifizierung prägen die Entwicklungsprozesse. Das Thermomanagement, also die effiziente Steuerung aller Energieflüsse im Fahrzeug sowie die Klimatisierung des Fahrgastraums, beeinflusst sowohl die maximale Reichweite als auch den Energieverbrauch erheblich. Eine der Herausforderungen bei Elektrofahrzeugen ist den Energieverbrauch zu minimieren und gleichzeitig einen optimalen thermischen Komfort zu gewährleisten. Bei Elektrofahrzeugen wird die elektrische Energie für die Klimatisierung aufgrund der geringen Abwärme von Elektromotoren ausschließlich aus der Batterie bezogen und kann die Reichweite in extremen Wetterbedingungen erheblich reduzieren (bis zu 60% in der Kälte und etwa 33% unter heißen Bedingungen). Im Folgenden wird eine kurze Einführung gegeben, wie mit künstlicher Intelligenz eine Regelung für ein neues Klimatisierungskonzept zur Optimierung von thermischem Komfort und Energieverbrauch im Fahrzeugprüfstand am Lehrstuhl für Ergonomie implementiert wurde. In Abbildung 1 ist das angewendete Ausströmkonzept dargestellt.



Abbildung 1: Innovatives Ausströmkonzept für hochautomatisiertes Fahren.

Überblick

Die Vorhersage und Bewertung des thermischen Komforts von Passagieren spielt eine entscheidende Rolle bei der Entwicklung effizienter Klimatisierungskonzepte für automatisierte Elektrofahrzeuge. Aufgrund des hohen Energieverbrauchs der Klimatisierungssysteme steht deren Energieeffizienz besonders im Fokus. Im letzten Jahr wurde ein maschinelles Lernmodell (ML-Modell) entwickelt, um die thermische Behaglichkeit und Energieeffizienz eines innovativen Fahrzeugklimatisierungssystems zu bewerten. Die Daten hierfür wurden unter simulierten Bedingungen in einer Klimakammer bei Umgebungstemperaturen von -10°C , $+16^{\circ}\text{C}$ und $+28^{\circ}\text{C}$ gesammelt. Mithilfe von Klassifikations- und Regressionsalgorithmen wurden optimale Klimaeinstellungen ermittelt, die dann in Validierungsexperimenten überprüft wurden. Die Ergebnisse zeigen, dass die vom ML-Modell ermittelten HVAC-Einstellungen einen neutralen thermischen Komfort im stationären Zustand gewährleisten können. Zusätzlich können auch Energieeinsparungen durch verschiedene Kombinationen aus Konvektions- und Strahlungsklimatisierung erzielt werden.

Einführung AI-Modell

ML wird zunehmend in der Forschung zum thermischen Komfort eingesetzt, insbesondere aufgrund der Eigenschaft, komplexe und nichtlineare Probleme zu lösen. Um die lokale thermische Behaglichkeit zu quantifizieren, wurden die äquivalenten Temperaturen an 16 verschiedenen Stellen eines Dummys mithilfe von installierten Sensoren gemessen (siehe Abbildung 2). Die Voranalyse der Datensätze, der Aufbau des Modells und die Visualisierung der Ergebnisse wurden alle Open Source mit Python durchgeführt. Die Entwicklung des Modells konzentrierte sich auf den Einsatz von ML-Modellen zur Lösung des Problems der Mehrklassenklassifikation (Multi-Class Classification, MCC). MCC bezeichnet Klassifikationsaufgaben im ML, die mehr als zwei Klassen umfassen (Grandini et al., 2020). Während einige Techniken für binäre Klassifikationsprobleme entwickelt wurden,

können einige dieser Techniken erweitert werden, um auch das MCC-Problem zu lösen (Aly, 2005). Zu den relevanten Algorithmen gehören:

- Logistic Regression
- Tree
- Support Vector Machine

Um neutralen thermischen Komfort zu erreichen, wurde ein Modell entwickelt, das die optimalen Einstellungen der Klimaanlage sowie die idealen Werte der Einflussfaktoren vorhersagt. Dabei handelt es sich um eine Mehrziel-Regression (Multi-Target Regression, MTR), bei der mehrere kontinuierliche Zielvariablen vorhergesagt werden müssen. Nach Bardos et al. (2023) gibt es zwei Hauptansätze zur Lösung von MTR-Problemen: Problemtransformation und Algorithmenanpassung. Bei der Problemtransformation wird ein MTR-Problem in mehrere unabhängige Einzelziel-Probleme umgewandelt. Die Algorithmenanpassung modifiziert hingegen spezifische Algorithmen, um sie für die Verarbeitung der MTR-Daten geeignet zu machen. In unserem Modell werden beide Ansätze kombiniert, um die geeignetsten Algorithmen abhängig von der Größe des Datensatzes und der Komplexität der Datenbeziehungen auszuwählen und anzuwenden. Im Folgenden werden einige Ansätze vorgestellt.

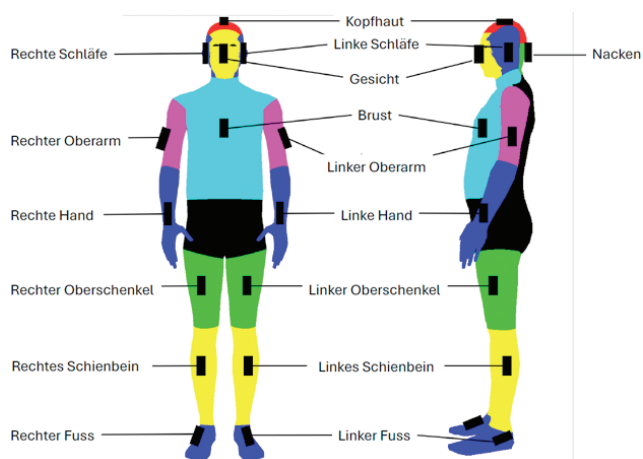


Abbildung 2: Schematische Darstellung des Klimadummys mit den Positionen der 16 Sensoren.

Random Forest (RF)

Der grundlegende RF-Algorithmus, entwickelt von Breiman (2001), generiert eine Vielzahl von Regressionsbäumen. Die Grundlage dieser Regressionsbäume entspricht den Entscheidungsbäumen, die bei Klassifikationsproblemen verwendet werden. Durch Mittelung der Vorhersageergebnisse dieser Bäume wird eine Regressionsvorhersage für die Zielvariablen durchgeführt (Rigatti, 2017).

Für unser Modell wird ein Paket in der aktuellen Version 1.3.0 von Scikit-learn in Python verwendet. Eine der größten Stärken dieses RF-Modells ist seine Fähigkeit, signifikante Interaktionen und nichtlineare Effekte der Prädiktoren zu erkennen.

XGBoost

XGBoost steht für eXtreme Gradient Boosting Algorithmus und repräsentiert eine effiziente und skalierbare Implementierung des Gradient-Boosting-Frameworks, das von Friedman (2001) entwickelt wurde. Diese Methode verwendet eine Gruppe von einfachen Regressionsbäumen, die durch Gradient Boosting zusammengeführt werden, um die Zielvariable genauer vorherzusagen. Unser Modell nutzt das XGBoost Programmierungspaket, das von Chen et al. (2015) entwickelt wurde. Zur Lösung des MTR-Problems wird ein Multioutput-Regressor (MOR) eingesetzt. Der MOR integriert mehrere Einzel-Target-Regressionsmodelle, jedes für eine spezifische Zielvariable. Innerhalb des MOR wird der XGBoost-Algorithmus angewendet.

Bewertungsmetriken der Regression

Bewertungsmetriken sind essentiell, um verschiedene Regressionsalgorithmen zu vergleichen und die Leistung eines Algorithmus bei unterschiedlichen Hyperparametereinstellungen zu bewerten. Die Auswahl der besten Metrik für ein MTR-Problem hängt vom spezifischen Kontext und den Zielen der Untersuchung ab. In der Forschung zum thermischen Komfort werden häufig der Root Mean Square Error (RMSE), der Mean

Absolute Error (MAE) und das Bestimmtheitsmaß R^2 als aussagekräftige Metriken verwendet (Warey et al., 2020; Dyvia & Arif, 2021; Laftchiev & Nikovski, 2016).

Die Zielsetzung, eine neutrale äquivalente Temperatur zu erreichen, entspricht den Mittelwerten, die auf der gestrichelten Linie im Winter- bzw. Sommer-Behaglichkeitsdiagramm nach DIN EN ISO 14505 (2006) visualisiert sind.

Die drei verwendeten Ausblaswinkelkonzepte sind von diskreter Natur, während die Hauptkomponenten – die Heizfolientemperaturen an bestimmten Positionen, die Ausblastemperatur und die Drehzahl / Massenstrom – kontinuierliche Werte darstellen. Deshalb wird das gesamte Modell in zwei Untermodelle unterteilt: eines zur Lösung des Klassifikationsproblems der Ausblaswinkelkonzepte und ein weiteres zur Bearbeitung des Regressionsproblems der übrigen Einstellungen. Die Modellstruktur basiert auf den Forschungen von Chou & Tsai (2012) und

Spyromitros-Xioufis et al. (2016) und kombiniert hierarchisch Klassifikations- und Regressionstechniken. (siehe Abbildung 3).

Zur Entwicklung des Gesamtmodells wird zunächst die Leistung aller Klassifikations- oder Regressionsalgorithmen im Hypothesenraum durch Hyperparameter-Tuning optimiert. Anschließend wird basierend auf den Bewertungsmetriken ein optimaler Algorithmus ausgewählt.

Eine typische Methode zur Bewertung der Leistung eines Algorithmus ist die k-Fold-Cross-Validation (Warey et al., 2020). Die Ergebnisse aus den k Iterationen werden dann gemittelt, um eine Gesamtbewertung der Leistung des Algorithmus zu erhalten. Das Mitteln der Ergebnisse mehrerer Wiederholungen des Prozesses liefert zuverlässigere Ergebnisse, da die Varianz der Bewertung reduziert wird (Seibold et al., 2018).

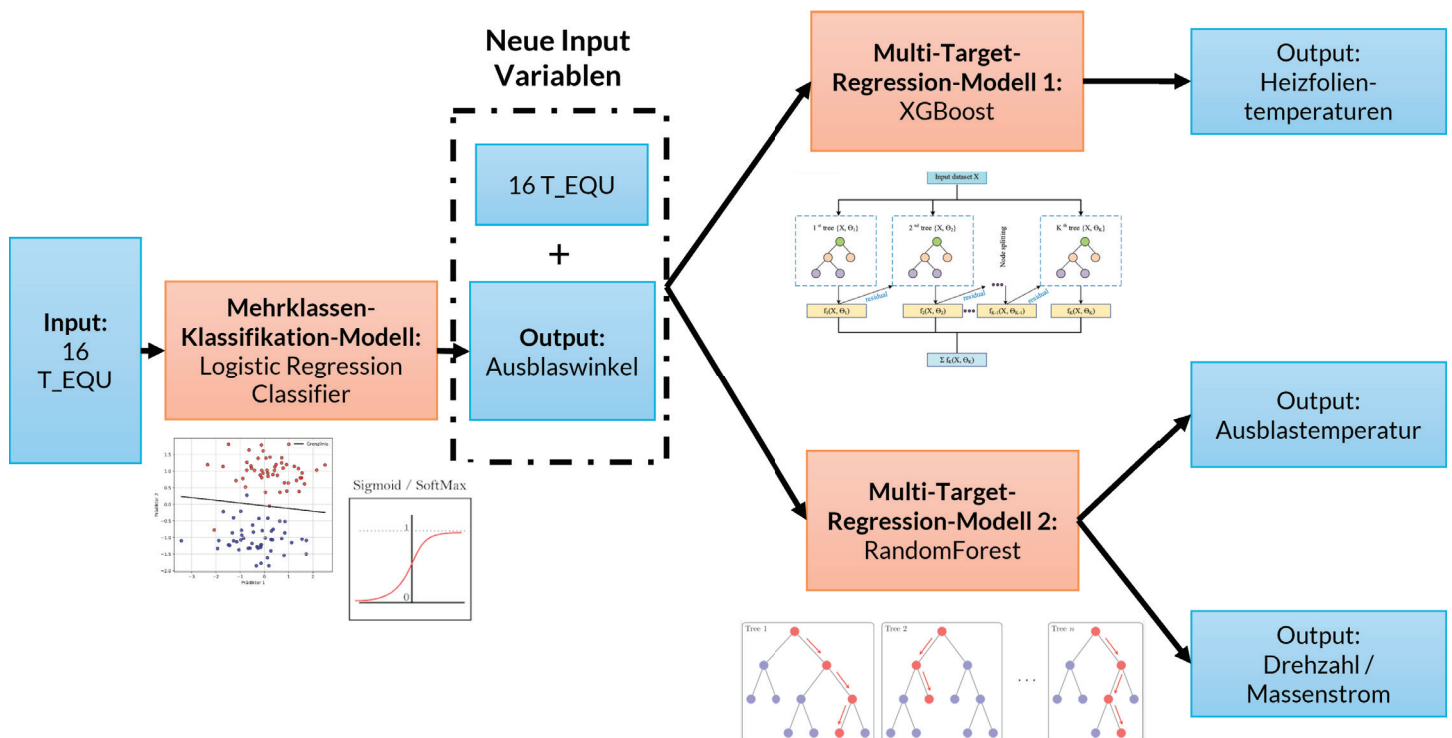


Abbildung 3: Schematischer Aufbau des ML-Modells zur Bewertung von thermischem Komfort und Energieverbrauch.

Das entwickelte ML-Modell ist hierarchisch aufgebaut, wobei der erste Teil Klassifikationsaufgaben übernimmt, um optimale Ausblaswinkelkonzepte zu bestimmen, und der zweite Teil Regressionsanalysen durchführt, um wesentliche Klimaeinstellungen vorherzusagen. Die Auswahl der Inputs und Outputs für die Regressionsalgorithmen basiert auf den Prinzipien der Wärmeübertragung:

- Konvektionseffekte, die die thermische Behaglichkeit des gesamten Körpers homogen beeinflussen, wobei die 16 äquivalenten Temperaturen als Inputs für die Vorhersage der Ausblastemperatur und der Drehzahl / Massenstrom dienen.
- Strahlungseffekte, die gezielt lokale Körperbereiche erwärmen, wobei ein Teil von Äquivalenttemperaturen als Inputs verwendet werden, um die hauptsächlich diese Körperbereiche beeinflussende Heizfolientemperatur vorherzusagen.

Die Auswahl der Klassifikations-/ Regressionsalgorithmen basiert auf einem Vergleich der drei wahrscheinlichsten Algorithmen, wobei derjenige mit den besten Bewertungsmetriken ausgewählt wurde. Die Modellleistung wird nicht nur durch Bewertungsmetriken bewertet, sondern auch durch Validierungsexperimente, um die Genauigkeit der vorhergesagten Ergebnisse zu überprüfen. Das Regressionsmodell wird weiterhin verwendet, um diese wesentlichen Einflussbeziehungen zwischen Ausblastemperatur, die Drehzahl sowie die Heizfolientemperaturen und dem thermischen Komfort zu lernen und die optimalen Klimaeinstellungen vorherzusagen.

Ergebnisse

Die Validierungsergebnisse bei einer Umgebungstemperatur von +28 °C zeigt Abbildung 4. Die optimalen Einstellungen wurden mittels des Modells vorhergesagt, um die Äquivalenttemperaturen um die rote

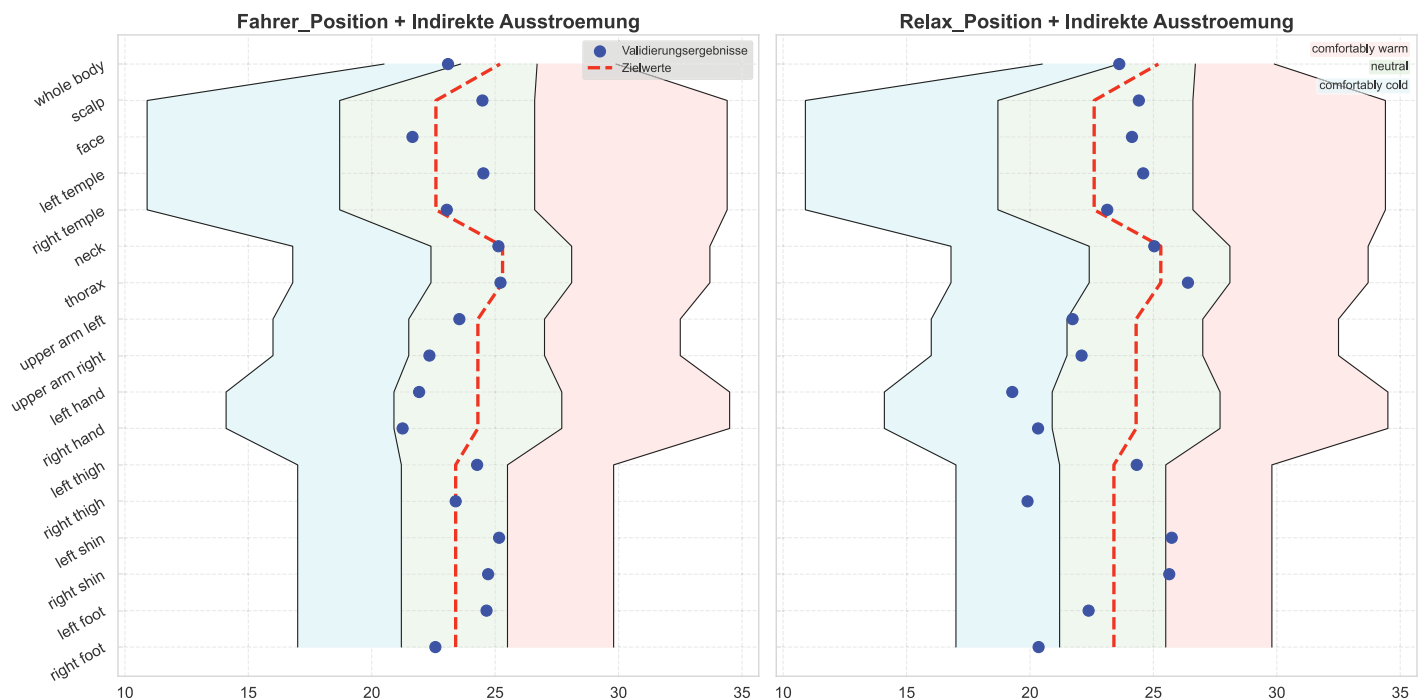


Abbildung 4: Ergebnisse der vorhergesagten Komfortwerte mittels des ML-Modells anhand der Komfortzonen nach DIN 14505- für Fahrer- und Relaxposition.

Mittellinie des neutralen Komfortbereichs zu positionieren. Im Sommer-Komfortdiagramm ist der grüne neutrale Komfortbereich für Kopf und Oberkörper breiter, was größere Abweichungen zulässt, während der zulässige Toleranzbereich für die untere Körperhälfte etwa bei $\pm 2\text{ °C}$ liegt.

In der Fahrerposition erreichen alle 16 Körperbereiche die neutrale Komfort Zone. Insbesondere an der rechten Schläfe, am Hals, an der Brust und am rechten Oberschenkel wurden die Äquivalenttemperaturen um die Mittellinie erreicht. Die Abweichungen zwischen der gemessenen und vorhergesagten Äquivalenttemperaturwerten für die anderen Körperbereiche liegen ebenfalls innerhalb eines Bereichs von $\pm 2\text{ °C}$. Im Vergleich dazu befinden sich in der Relax-Position nur 12 Äquivalenttemperaturwerte innerhalb des neutralen Komfortbereichs. Die Temperaturen der Hände, des rechten Oberschenkels und des rechten Fußes liegen jedoch im angenehm kühlen Bereich. Unter Berücksichtigung des Kriteriums, symmetrische Körperzonen als eine Einheit zu sehen, sind die Hände als „etwas kalt“ einzustufen.

Anwendung in Praxis

Optimale Klimaeinstellungen, insbesondere unter variierenden Umgebungstemperaturen, sind von entscheidender Bedeutung für das Wohlbefinden der Fahrzeuginsassen. Maschinelles Lernen stellt eine Möglichkeit dar, um diese Strategie in der Fahrzeugklimatisierung einzusetzen. Kernergebnisse für die Gestaltung von Klimatisierungskonzepten zur Erreichung von neutralen thermischen Bedingungen werden im Folgenden kompakt zusammengestellt:

- Bei einer Umgebungstemperatur von -10 °C ist das optimale Ausblaswinkelkonzept die indirekte Anströmung, die hauptsächlich auf den unteren Körperbereich wirkt. Durch die Einstellung der Hauptkomponenten kann in der Fahrer-Sitzposition ein neutraler Komfort für 15 Körperzonen und in der Relax-Sitzposition für 14 Zonen erreicht werden.
- Bei einer Umgebungstemperatur von $+28\text{ °C}$ ist das optimale Ausblaswinkelkonzept auch die indirekte Anströmung, die hauptsächlich auf den oberen Körperbereich wirkt. Durch die Kühlung über die Ausblastemperatur und Drehzahl kann in der Fahrer-Sitzposition ein neutraler Komfort im ganzen Körper erreicht werden, während die Ergebnisse in der Relax-Sitzposition nicht zufriedenstellend sind, da nur 12 Körperzonen einen neutralen Komfort erreichen.
- Bei einer Umgebungstemperatur von $+16\text{ °C}$ wurden die reine Konvektionsklimatisierung und die kombinierte Konvektions- und Strahlungsklimatisierung verglichen. In der Fahrer-Sitzposition wirkt die zusätzliche Strahlungsheizung besser auf den Komfort und alle 16 Äquivalenttemperaturen liegen im Bereich des neutralen Komforts. In der Relax-Sitzposition sind die Effekte der beiden Klimatisierungsmodi jedoch ähnlich.

Vergleich des Energieverbrauchs zwischen reiner Konvektion und kombinierter Konvektions-Strahlungs-Klimatisierung. Zusätzlich wurde der Energieverbrauch und die Reichweite bei den verschiedenen Umgebungstemperaturen berechnet. Der Energieverbrauch setzt sich aus dem Verbrauch der konvektiven Klimaanlage und der strahlenden Heizfolien zusammen. Die Reichweite wurde für leichte Elektrofahrzeuge mit geringer Batteriekapazität über den WLTC ermittelt. Im Folgenden die Hauptergebnisse:

- Bei den kalten Umgebungsbedingungen ist der Gesamtenergieverbrauch der kombinierten Konvektions-Strahlungs-Klima-Modi sechs Mal so hoch wie der Energieverbrauch der reinen Konvektion bei $+28\text{ °C}$ im Sommer. Die Reichweite im Winter beträgt nur etwa 70 % der sommerlichen Reichweite.
- Unter moderaten Bedingungen von $+16\text{ °C}$ erhöht die zusätzliche Strahlungsheizung den Energieverbrauch signifikant, ohne die thermische Behaglichkeit wesentlich zu verbessern, was die Effizienz in Frage stellt. Die Reichweite beträgt

in diesem Fall nur 85 % der Reichweite des rein konvektiven Systems.

Die steigende Systemkomplexität und die Notwendigkeit, den thermischen Komfort für verschiedene Sitzpositionen und Tätigkeiten sicherzustellen, erfordern innovative Ansätze zur Verbesserung der Klimaregelung. Hierbei kann die Integration von künstlicher Intelligenz (KI) und sensorbasierter Technologie entscheidend sein.

Basierend auf diesen Erkenntnissen bietet KI zusätzlich die Möglichkeit, einer vollständig automatisierten Klimaregelung. Diese würde den Komfort auf verschiedenen Sitzplätzen objektiv bewerten und optimieren. Entscheidend ist aber ein Zusammenspiel aus Modellvorhersage, Validierung und Expertenmeinung. Durch die Verwendung von innovativen Klima-Dummy Systemen können in der Applikation Schwachstellen der Klimatisierung identifiziert und verschiedene Regelungsstrategien für unterschiedliche Sitzkonfigurationen getestet werden. Die Integration von KI-Technologien kann somit einen Weg zu einer dynamischen Klimaregelung eröffnen, die sich kontinuierlich an die Präferenzen und Bedürfnisse der Insassen anpasst, und stellt einen bedeutenden Schritt hin zu einer personalisierten Fahrzeugumgebung dar.

Acknowledgement

Großer Dank geht an die Studentin Ruya Wang, die in ihrer Semester- und Masterarbeit das Modell mitentwickelt und erfolgreich am Klimaprüfstand validiert hat.

Literatur

- Aly, M. (2005). Survey on multiclass classification methods. *Neural Netw*, 19(1–9), 2.
- Bardos, A., Mylonas, N., Mollas, I., & Tsoumakas, G. (2023). Local Interpretability of Random Forests for Multi-Target Regression. *arXiv preprint arXiv:2303.16506*.
- Boutahri, Y., & Tilioua, A. (2024). Machine learning-based predictive model for thermal comfort and energy optimization in smart buildings. *Results in Engineering*, 22, 102148. <https://doi.org/10.1016/j.rineng.2024.102148>
- Breiman, L. (2001). Random forests. *Machine learning*, 45, 5–32.
- Chen, T., He, T., Benesty, M., Khotilovich, V., Tang, Y., Cho, H., Chen, K., Mitchell, R., Cano, I., & Zhou, T. (2015). Xgboost: Extreme gradient boosting. *R package version 0.4-2*, 1(4), 1–4.
- Chou, J.-S., & Tsai, C.-F. (2012). Concrete compressive strength analysis using a combined classification and regression technique. *Automation in Construction*, 24, 52–60. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2012.02.001>
- DIN EN ISO 14505-2. (2006). DIN EN ISO 14505-2: 2006: Ergonomie der thermischen Umgebung–Beurteilung der thermischen Umgebung in Fahrzeugen–Teil 2: Bestimmung der Äquivalenttemperatur (ISO 14505-2: 2006). Deutsche Fassung EN ISO, 14505(2).
- Dyvia, H., & Arif, C. (2021). Analysis of thermal comfort with predicted mean vote (PMV) index using artificial neural network. 622(1), 012019.
- Friedman, J. H. (2001). Greedy function approximation: A gradient boosting machine. *Annals of statistics*, 1189–1232.
- Grandini, M., Bagli, E., & Visani, G. (2020). Metrics for multi-class classification: An overview. *arXiv preprint arXiv:2008.05756*.
- Laftchiev & Nikovski. (2016). An IoT system to estimate personal thermal comfort. 2016 IEEE 3rd World Forum on Internet of Things (WF-IoT), 672–677. <https://doi.org/10.1109/WF-IoT.2016.7845401>
- Rigatti, S. J. (2017). Random forest. *Journal of Insurance Medicine*, 47(1), 31–39.
- Seibold, H., Bernau, C., Boulesteix, A.-L., & De Bin, R. (2018). On the choice and influence of the number of boosting steps for high-dimensional linear Cox-models. *Computational Statistics*, 33(3), 1195–1215.
- Spyromitros-Xioufis, E., Tsoumakas, G., Groves, W., & Vlahavas, I. (2016). Multi-target regression via input space expansion: Treating targets as inputs. *Machine Learning*, 104, 55–98.
- Warey, A., Kaushik, S., Khalighi, B., Cruse, M., & Venkatesan, G. (2020). Data-driven prediction of vehicle cabin thermal comfort: Using machine learning and high-fidelity simulation results. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 148, 119083. <https://doi.org/10.1016/j.ijheat-masstransfer.2019.119083>

Masterstudiengang Human Factors Engineering der School of Engineering and Design (ED)

Zum Wintersemester 2024/2025 startet der neue Masterstudiengang Human Factors Engineering (HFE) und bildet gezielt Expertinnen und Experten aus, welche über die methodischen, technischen und interdisziplinär geprägten kommunikativen Kompetenzen verfügen, um die entsprechenden Entwicklungsprozesse der in der Zukunft notwendigen technischen Systeme erfolgreich begleiten zu können. Technische Systeme können hier analoge Hardwaresysteme, digitale Anwendungen oder mechatronische Produkte sein.

Ziel des Studiengangs HFE ist es, den Studierenden eine entsprechende interdisziplinäre Ausbildung zu vermitteln, die sie befähigt, sich der Komplexität zu stellen und innovative, systemisch orientierte Lösungen menschenzentriert zu gestalten und zu bewerten. Die Rolle von Human-Factors-Expertinnen und -Experten ist es, bei der Gestaltung von Mensch-Technik-Schnittstellen die Bedarfe unterschiedlichster Nutzergruppen zu berücksichtigen, ihre Akzeptanz und Motivation während der Anwendung sicherzustellen und dabei den technologischen Funktionsumfang möglichst effektiv auszuschöpfen. Sie führen teilweise konkurrierende Anforderungen und Beiträge aus den Ingenieurwissenschaften, der Informatik, der Psychologie, der Medizin, dem Design, den Bewegungs-, Gesundheits- und nicht zuletzt den Sozialwissenschaften zusammen und bringen diese, orientiert an ethischen Fragestellungen, methodisch konsequent in Einklang.

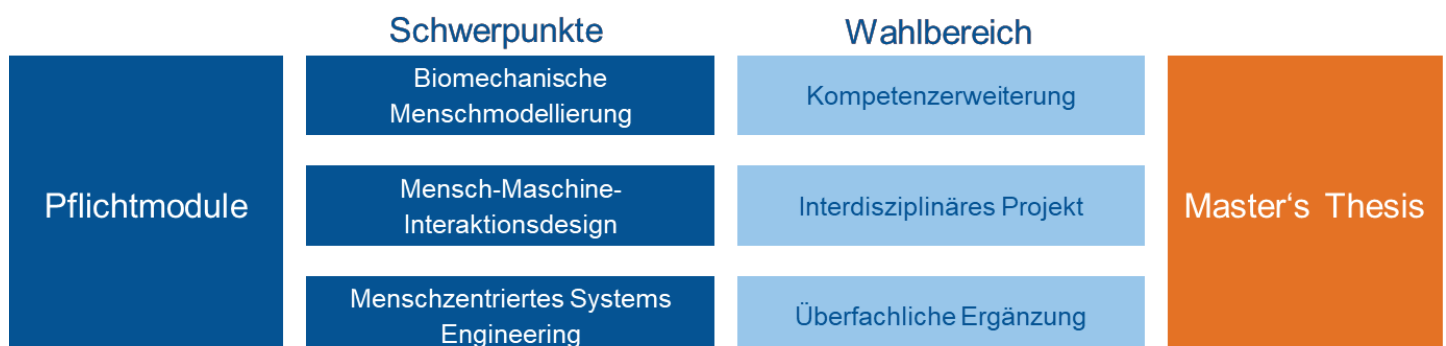
Der Bedarf an interdisziplinär ausgebildeten Expertinnen und Experten mit einem breiten Methodenspektrum ist branchenübergreifend stetig steigend und wird durch die notwendigen Änderungspro-

zesse in den soziotechnischen Systemen Mobilität, Energie, Gesundheit und Pflege noch mal zusätzlich verstärkt.

Der Studiengang HFE ist für die Lehrstrategie der ED von zentraler Bedeutung, da er bei der Vernetzung innerhalb der ED als verbindendes Element für Ingenieurs- und Designdisziplinen fungiert und jahrelange Erfahrung aus diesem interdisziplinären Arbeitsfeld einbringt.

Pflichtbereich, Schwerpunktbereich, Wahlbereich mit Interdisziplinärem Projekt und Master's Thesis stellen die Hauptelemente des Studiengangs dar. Die Veranstaltungen im Pflichtbereich werden durch LehrstuhlinhaberInnen verschiedener ED Departments erbracht und decken breit und interdisziplinär die Methoden der Produktentwicklung (Prof. Dr. Markus Zimmermann), die Biomechanik (Prof. Dr.-Ing. Veit Senner), die Foundations of Design Practice (Prof. Annette Diefenthaler) und die Ergonomie (Prof. Dr. Klaus Bengler) ab. Diese Zusammenstellung stellt im Pflichtbereich sicher, dass neben den grundsätzlichen ergonomischen und statistischen Kompetenzen auch die Grundlagen der Disziplin Design und klassische Ansätze des Engineerings und der Biomechanik vermittelt werden. Zudem qualifizieren sich die Studierenden über drei Vertiefungsrichtungen:

- Biomechanische Menschmodellierung
- Mensch-Maschine-Interaktionsdesign und
- Menschzentriertes Systems Engineering



Bewerbungsphasen:	für WiSe 01.04.-31.05. // für SoSe 01.11.-15.01.
Abschluss:	Master of Science (M. Sc.)
Regelstudienzeit (CP):	4 Semester (120 Credits)
Studienform:	Vollzeit
Zulassung:	Eignungsverfahren
Starttermin:	WiSe 2024-25
Sprache:	Deutsch/Englisch
Beteiligte Schools:	TUM School of Engineering and Design (ED) TUM School of Social Sciences and Technology (SOT) TUM School of Management (MGT) TUM School of Computation, Information and Technology (CIT) TUM School of Medicine and Health (MH)

Weitere Informationen finden sich unter folgendem Link:

<https://www.tum.de/studium/studienangebot/detail/ergonomie-human-factors-engineering-master-of-science-msc>



Professur für Sportgeräte und -materialien

Überblick über die neuesten Entwicklungen am Institut

Kati Nispel, Quirin Schmid, Patrick Carqueville

Neue Projekte

BRONCO

Im Mai 2024 ist das ZIM-Projekt BRONCO offiziell gestartet. Ziel des Projekts ist die Entwicklung eines innovativen digitalen Trainingsassistenten, der Athleten dabei unterstützt, Verletzungen vorzubeugen, muskuläre Dysbalancen auszugleichen und Rehabilitationsprozesse zu optimieren.

Kernstück des Projekts ist das N1.System von Neurotrim, das auf einer beweglichen Sensorplatte mit Hochpräzisionssensoren basiert. Die Sensorplatte ermöglicht es, die Freiheitsgrade zu- und abzuschalten sowie jede Bewegungsrichtung mit Widerständen fein zu justieren. Dadurch sind vielfältige motorische Übungen realisierbar.

Im Rahmen des Projekts wird ein System zur Bewegungserfassung der Athleten entwickelt, das in Kombination mit den Hochpräzisionssensoren des N1.Systems und durch den Einsatz von Deep Learning (DL)- und Reinforcement Learning (RL)-Algorithmen einen personalisierten digitalen Zwilling des Athleten erstellt. Dieser digitale Zwilling erfasst die Muskelaktivierung und Körperdynamik des Athleten.

Auf dieser Grundlage erhält der Athlet personalisiertes Feedback zu motorischen oder muskulären Schwächen. Fehlstellungen und inkorrekte Übungsausführungen werden erkannt und durch visuelles und haptisches Feedback korrigiert. Durch die kontinuierliche Lernfähigkeit des Systems wird die Qualität des Feedbacks mit jeder neuen Übungssession verbessert.

Über eine Smartphone-App erhält der Athlet einen individuell an seinen aktuellen Trainingsstand ange-

passten Trainingsplan sowie einen Überblick über den Trainingsfortschritt. Der digitale Trainingsassistent ist insbesondere für den Einsatz im Profisport konzipiert, wobei zukünftige Versionen auch für den Breitensport und andere Gesundheitsbereiche geplant sind.



Abbildung 1: N1.System von Neurotrim, das im BRONCO Projekt als Trainingsgerät weiterentwickelt wird.

eXprt

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

Die Professur ist unter anderem für die Erfassung und Auswertung von Bewegungsdaten unterschiedlicher Patientengruppen zuständig. Dafür wurde eigens ein „LivingLab“ am Campus im Olympiapark aufgebaut (Abbildung 2).

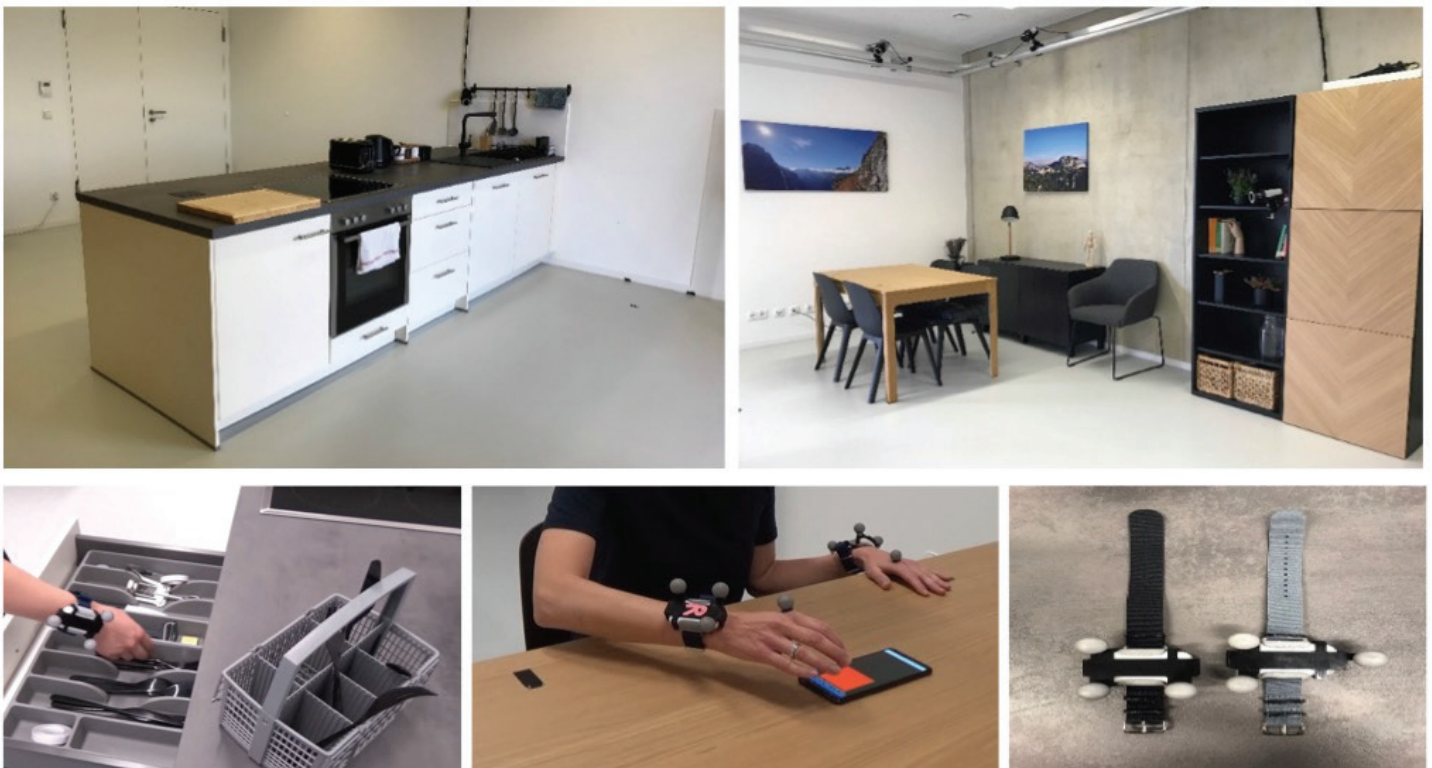


Abbildung 2: Living Lab am Campus Olympiapark inkl. Sensorik zur Erfassung der Bewegungsdaten.

Winterschool zu den Herausforderungen der Sicherheit im Schneesport: von der Theorie hin zu Feldmessungen

Dieses Wintersemester nahm die Professur für Sportgeräte und Sportmaterialien der TUM an einer besonderen Veranstaltung teil: einer 10-tägigen Winterschool im slowenischen Wintersportort Kranjska Gora, vom 6. bis 16. März, zusammen mit 12 TUM-Studierenden.

Eine Winterschool ist ein akademisches Bildungsangebot in der Vorlesungspause. Die diesjährige Winterschool konzentrierte sich auf Sicherheitsfragen im Schneesport und ermöglichte den Studierenden, ihr Wissen über die Sicherheit von Skiern, Snowboards, Langlaufskiern und anderen Wintersportarten zu vertiefen. Der Schwerpunkt lag dabei auf den Auswirkungen verschiedener Konstruktionslösungen und Schutzausrüstungen auf die Sicherheit.

Die Veranstaltung hatte einen starken internationalen Charakter, mit Teilnehmern aus Verona, Padua, Köln und Ljubljana. Zu den Höhepunkten gehörten der angrenzende ISSS-Kongress (International Society of Snowsports Safety), bei dem die slowenische Präsidentin auftrat, und die Möglichkeit für die Studierenden, Konferenzluft zu schnuppern. Herr Professor Senner hielt eine Keynote zum Thema „The Ski Binding Between Anachronism and Artificial Intelligence – Never Change a Running System?“, während Patrick Carqueville einen Vortrag zum Thema „Investigation of Lateral Ski Boot Toe Lip Displacement and Twisting Moment in Skiing“ präsentierte.



Paper of the Year Award der ISEA für Bahador Keshvari

In einer kürzlich veröffentlichten Studie im Journal "Sports Engineering" haben Bahador Keshvari, zusammen mit Long Lehoang und Prof. Dr.-Ing. Veit Senner, den Einfluss verschiedener Sohlenkonfigurationen auf die Rotation und Translation unter Einsatz eines mechanischen Prothesenfußes untersucht. Diese Forschungsarbeit mit dem Titel "Investigating the effect of outsole configuration on rotational and translational traction using a mechanical prosthetic foot" wurde von der International Sports Engineering Association (ISEA) mit dem Paper of the Year Award, herausgegeben vom Springer Verlag, ausgezeichnet.

Die Auszeichnung, die im Februar 2024 überreicht wurde, würdigt die Bedeutung der Studie für das Verständnis der Wechselwirkungen zwischen Fußballschuhen und Spielflächen. Durch den Einsatz eines innovativen Ansatzes konnten Keshvari

und seine Kollegen detailliert analysieren, wie unterschiedliche Sohlenkonfigurationen die Kräfte beeinflussen, die während fußballspezifischer Bewegungen auf den Spieler wirken. Diese Erkenntnisse sind besonders relevant für die Entwicklung von Fußballschuhen, die sowohl die Leistung optimieren als auch das Verletzungsrisiko minimieren können.

Die Anerkennung durch die ISEA unterstreicht die wissenschaftliche Relevanz und praktische Bedeutung der Forschungsergebnisse. Die Arbeit von Keshvari leistet einen wichtigen Beitrag zur Weiterentwicklung von Sportgeräten und zur Sicherheit im Sport.



Veröffentlichungen von Sommer 2023 bis Sommer 2024

Lehrstuhl für Ergonomie

2023

- Bengler, K., Damm, W., Luedtke, A., Rieger, J., Austel, B., Biebl, B., . . . Veith, E. (2023). A References Architecture for Human Cyber Physical Systems - PART II: Fundamental Design Principles for Human-CPS Interaction. *ACM Transactions on Cyber-Physical Systems*. Advance online publication. <https://doi.org/10.1145/3622880>
- Bergholz, M., Ferle, M., & Weber, B. M. (2023). The benefits of haptic feedback in robot assisted surgery and their moderators: A meta-analysis. *Scientific Reports*, 13(1), 19215. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-46641-8>
- Biebl, B., & Bengler, K. (2023). The Real Sorting Hat – Identifying Driving and Scanning Strategies in Urban Intersections with Cluster Analysis. In C. Stephanidis, M. Antona, S. Ntoa, & G. Salvendy (Eds.), *Proceedings of the HCII 223: Communications in Computer and Information Science HCI International 2023 Posters* (Vol. 1958, pp. 397–404). Springer Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-49215-0_47
- Brunner, S., Kühnel, K., & Bengler, K. (2023). Lean Ergonomics—an empirical combination of Management Science and Ergonomics. *Zeitschrift Für Arbeitswissenschaft*. Advance online publication. <https://doi.org/10.1007/s41449-023-00394-2>
- Damm, W., Fränzle, M., Kerscher, A. J., Forrest, L. [Laine], Bengler, K., Biebl, B., . . . Veith, E. (2023). A REFERENCE ARCHITECTURE OF HUMAN CYBER-PHYSICAL SYSTEMS – PART III: Semantic FOUNDATIONS. *ACM Transactions on Cyber-Physical Systems*. Advance online publication. <https://doi.org/10.1145/3622881>
- Damm, W., Hess, D., Schweda, M., Sztipanovits, J., Bengler, K., Biebl, B., . . . Veith, E. (2023). A Reference Architecture of Human Cyber-Physical Systems – PART I: Fundamental Concepts. *ACM Transactions on Cyber-Physical Systems*. Advance online publication. <https://doi.org/10.1145/3622879>
- Danner, S., Feierle, A., Gary, S., & Bengler, K. (2023). The effects of displaying availability sections of an automated driving function. *Frontiers in Future Transportation*, 4, 11. <https://doi.org/10.3389/ffut.2023.1153599>
- Escherle, S., Sprung, A., & Bengler, K. (2023). How Will Automated Trucks Change the Processes and Roles in Hub-to-Hub Transport? In H. Krömker (Ed.), *Lecture Notes in Computer Science Jahr: 2023, Proceedings of the HCII 2023: 5th International Conference, MobiTAS 2023, Held as Part of the 25th HCI International Conference, Part I* (pp. 51–69). Springer Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-35678-0_4
- Graefe, J., Paden, S., Engelhardt, D., & Bengler, K. (2023). Human-Centered Explainability for Intelligent Vehicles—A User Study. *International Journal of Human-Computer Interaction*, 39(16), 3237–3253. <https://doi.org/10.1080/10447318.2023.2215098>
- Graefe, J., Rittger, L., Carollo, G., Engelhardt, D., & Bengler, K. (2023). Evaluating the Potential of Interactivity in Explanations for User-Adaptive In-Vehicle Systems – Insights from a Real-World Driving Study. In V. G. Duffy, H. A. Krömker, N. Streitz, & S. Konomi (Eds.), *Proceedings of the 25th International HCI 2023: Late Breaking Papers. Hcii 2023 Lecture Notes in Computer Science* (Vol. 14057, pp. 294–312). Springer Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-48047-8_19
- Herzog, O., Boos, A., Stockmann, J. N. B., & Bengler, K. (2023). Perception of a Mobile Service Robot's Proxemic Behavior and Appearance in Virtual Reality. In M. Kurosu & A. Hashizume (Eds.), *Proceedings of the HCII 2023: 25th HCI International Conference on Human Computer Interaction. Lecture Notes in Computer Science* (Vol. 14013, pp. 61–78). Springer Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-35602-5_5

- Herzog, O., Nertinger, S., Wenzel, K. V., Naceri, A., Haddadin, S., & Bengler, K. (2023). Assessing Perceived Discomfort and Proxemic Behavior towards Robots: A Comparative Study between Real and Augmented Reality Presentations. In Proceedings of the 32nd IEEE International Conference on Robot and Human Interactive Communication (RO-MAN) 2023 (pp. 959–965). IEEE Xplore. <https://doi.org/10.1109/RO-MAN57019.2023>
- Hübner, M., Mühlbauer, M., Rettenmaier, M., Feierle, A., & Bengler, K. (2023). Comparison of Communication Modalities: Safe and Efficient Interaction between an Automated Vehicle and a Pedestrian. In International Conference on Systems, Man, and Cybernetics (SMC) 2023, Honolulu, Oahu, Hawaii, USA.
- Josten, J., Seewald, P., ..., Grabbe, N., Feierle, A., Albers, D., . . . Bengler, K. (2023, April 27). Level 2 hands-off-Recommendations and guidance: Report 216300 (Schriftenreihe Forschungsvereinigung Automobiltechnik e.V. (FAT) No. 369). Aachen.
- Kipp, M., Hoffmann, F., Koch, P., Glockner, M., & Bengler, K. (2023). Thermal Perception and Response to Overwarmed Contact and Surface Heating on Heat-Sensitive-Impaired Individuals in a BMW Vehicle Environment. In International Conference on Systems, Man, and Cybernetics (SMC) 2023, Honolulu, Oahu, Hawaii, USA.
- Krüger, M., Vogel-Heuser, B., Hujo, D., Walch, J., Prinz, T., Pohl, D., . . . Kerausch, C. (2023). Synthetic Data Generation for the Enrichment of Civil Engineering Machine Data. In J. Fottner, K. Nübel, & D. Matt (Eds.), Proceedings of the CLEaR Conference 2023 (Vol. 390, pp. 166–175). Springer Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-44021-2_18
- Niessen, N., Micheli, G., & Bengler, K. (2023). Explicit vs. Implicit - Communicating the Navigational Intent of Industrial Autonomous Mobile Robots. In C. Stephanidis, M. Antona, S. Ntoa, & G. Salvendy (Eds.), Proceedings of the HCII 223: Communications in Computer and Information Science HCI International 2023 Posters (Vol. 1958, pp. 148–156). Springer Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-49215-0_18
- Prinz, T., & Bengler, K. (2023). Exploring the Learnability of Two Teleoperation Setups for Assembly Tasks. In C. Stephanidis, M. Antona, S. Ntoa, & G. Salvendy (Eds.), Proceedings of the HCII 223: Communications in Computer and Information Science HCI International 2023 Posters (Vol. 1832, pp. 658–665). Springer Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-35989-7_84
- Russwinkel, N., Spitzhirn, M., Remlinger, W., & Fleischer, M. (2023). Towards an Approach for a Holistic Ergonomic Work Design Using Physical and Cognitive Digital Human Models. In S. Scataglini, G. Harih, W. Saeys, & S. Truijen (Eds.), Advances in Digital Human Modeling (Vol. 744, pp. 229–237). Cham: Springer Nature Switzerland. https://doi.org/10.1007/978-3-031-37848-5_26
- Steckhan, L., Spiessl, W., & Bengler, K. (2023). Maneuver and Parameter Interventions in Automated Driving to Enhance User Satisfaction: A Kano Method Application. In V. G. Duffy, H. A. Krömker, N. Streitz, & S. Konomi (Eds.), Proceedings of the 25th International HCI 2023: Late Breaking Papers. Hcii 2023 Lecture Notes in Computer Science (Vol. 14057, pp. 390–404). Springer Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-48047-8_26
- Wilbrink, M., Cieler, S., Weiß, S. L., Beggiato, M., Joisten, P., Feierle, A., & Oehl, M. (2023). Principles for External Human–Machine Interfaces. Information, 14(8), 463. <https://doi.org/10.3390/info14080463>

2024

- Biebl, B., Kuhn, M., Stolle, F., Xu, J., Bengler, K., & Bowers, A. R. (2024). Knowing me, knowing you-A study on top-down requirements for compensatory scanning in drivers with homonymous visual field loss. *PloS One*, 19(3), e0299129. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0299129>
- Boos, A., Schauer, T., Arndt, E., & Bengler, K. (2024). (Un-)persuasive robots: Exploring the effect of anthropomorphic cues on the foot-in-the-door effect across three experimental studies. *Computers in Human Behavior: Artificial Humans*, 2(1), 100061. <https://doi.org/10.1016/j.chbah.2024.100061>
- Herzog, O., & Mina, E. (2024). Collaborative Robots Can Support Young Adults with Disabilities in Vocational Education and Training. In *HRI 2024*, Boulder, Colorado/USA. Retrieved from <https://doi.org/10.1145/3610978.3640586>
- Janetzko, D., & Kacem, B. (2024). What Do You Need? Information Requirements and Task Analysis of (Future) Advanced Air Mobility Pilots in the Emergency Medical Service. *Aerospace*, 11(3), 197. <https://doi.org/10.3390/aerospace11030197>
- Kipp, M. (2024). Unicaragil-User-Oriented Design of an Autonomous Shuttle Using Digital. In *ecn-Ergonomie Kompetenz Netzwerk (Chair)*, 11. Tage der Ergonomie - ecn e.V., Friedrichshafen.
- Niessen, N., & Bengler, K. (2024). Cohexist - Introducing a New Test Setup for Coexistent Interactions with Mobile Robots in Open Space Encounters. In S. Y. Yurish (Ed.), *Proceedings of the 4th IFSA Winter Conference on Automation, Robotics and Communications for Industry 4.0/5.0 (ARCI 2024)* (pp. 279–282). Unpublished. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.20923.18722>
- Niessen, N., Rothmeyer, F., Rücker, A., Fottner, J., & Bengler, K. (2024). Unpacking the Complexity of Autonomous Mobile Robot (AMR) Communication Intentions Through Ontology. In C. Piazza, P. Capsi-Morales, L. Figueredo, M. Keppler, & H. Schütze (Eds.), *Springer Proceedings in Advanced Robotics: Vol. 29. Human-Friendly Robotics 2023: HFR: 16th International Workshop on Human-Friendly Robotics* (1st ed., Vol. 29, pp. 229–239). Cham: Springer Nature Switzerland; Imprint Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-031-55000-3_16
- Prinz, T., & Bengler, K. (2024). A Human-Centered Evaluation of Visualization Techniques for Teleoperated Assembly Tasks for Non-Expert Users. In *HRI 2024*, Boulder, Colorado/USA. Retrieved from <https://doi.org/10.1145/3610978.3640552>
- Prinz, T., Joshi, R., Ehrle, P., Bengler, K., Hujo, D., Krüger, M., . . . Kerausch, C. (2024). How does it work? Collecting mental models for the user-centered design of assistance systems: A construction machinery case study. In *AHFE International, Proceedings of the 7th International Conference on Intelligent Human Systems Integration (IHSI 2024): Integrating People and Intelligent Systems*. AHFE International. <https://doi.org/10.54941/ahfe1004505>
- von Dewitz, E. M., Grabbe, N., & Bengler, K. (2024). Requirements for safe and satisfactory use of partially automated driving systems in urban environments: An expert field study. 70. Kongress der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft e.V.: Arbeitswissenschaft in-the-loop: Mensch-Technologie-Integration und ihre Auswirkung auf Mensch, Arbeit und Arbeitsgestaltung“. Stuttgart: GfA-Press, Sankt Augustin.

Professur für Sportgeräte und -materialien

2023

Hermann, A., Christl, V., Hastreiter, V., Carqueville, P., Ellenberger, L., & Senner, V. (2023). Muscular Fatigue and Quadriceps-to-Hamstring Ratio in Alpine Skiing in Women over 40 Years. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 20(8). <https://doi.org/10.3390/ijerph20085486>

Keshvari, B., Alevras, S., & Senner, V. (2023). Sensory Perception of Varied Shoe Masses in Running. *Journal of the American Podiatric Medical Association (JAPMA)*, 113(1). <https://doi.org/10.7547/21-229>

Keshvari, B., Lehoang, L., & Senner, V. (2023). Investigating the effect of outsole configurations on rotational and translational traction using a mechanical prosthetic foot. *Sports Engineering*, 26(1). <https://doi.org/10.1007/s12283-023-00436-2>

2024

Lippmann, K., Senner, V., & Baldinger, M. (2024). Aspects and Approaches for the Development of Digital Training Assistants. In D. Memmert (Ed.), *Sports Technology: Technologies, Fields of Application, Sports Equipment and Materials for Sport* (pp. 85–98); Springer Berlin, Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-662-68703-1_10

Senner, V., Hermann, A., & Carqueville, P. (2024). Mechatronic Ski Binding. In D. Memmert (Ed.), *Sports Technology: Technologies, Fields of Application, Sports Equipment and Materials for Sport* (pp. 71–83); Springer Berlin Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-662-68703-1_9

Dissertationen

Lehrstuhl für Ergonomie

Expanding Haptic Shared Control with Tactile Stimuli

This work deals with the development and evaluation of the tactile device "Tactile Wave Generator" (TWG), which can press dynamic patterns of pressure points into the hand of a driver with 48 solenoids built into the steering wheel rim. TWG as an information system is evaluated as a supplement to the "Haptic Shared Control" (HSC) interaction concept, whereby HSC only supports drivers

with steering torque. The results show that torque is the primary factor in steering assistance, but that tactile stimuli alone can direct drivers to different trajectories. (<https://mediatum.ub.tum.de/?id=1687349>)

Luis Kalb, 06.07.2023

Amtliche Verkehrsüberwachung und ihre Abhängigkeit von der Mensch-Maschine-Interaktion

Überhöhte Geschwindigkeit ist eine der Hauptunfallursachen für Verkehrsunfälle. Deshalb wird diese durch Kontrollen überwacht. Damit die technischen Messapparaturen die von Fahrzeugen gefahrenen Geschwindigkeiten richtig messen, müssen sie standardisiert aufgestellt und betrieben werden. In dieser Arbeit wird das Anwenderverhalten durch Ableitung potenzieller Handhabungsfehler untersucht, ein Katalog beobachteter Fehler erarbeitet, die Auftretenshäufigkeit der Hand-

habungsfehler bestimmt, die Auswirkungen auf das Ergebnis der Messung quantifiziert und Arbeitsanweisungen sowie Verbesserungsvorschläge zur Erhöhung der Messbeständigkeit erarbeitet.

Sebastian Smykowski, 04.10.2023

User-Centered Development of Interaction Concepts for a Comfortable and Safe Use of Travel Time in the Context of Fragmented Automated Drives

Following the user-centered design process, several interaction concepts were created and evaluated to improve comfort and safety for users of future automated driving systems. In-vehicle human machine interface concepts to improve the interaction between driver and vehicle during automated and assisted driving were developed. Moreover, a mobile phone application was de-

signed to increase user control over the route planning process with regard to automation availability. (<https://mediatum.ub.tum.de/?id=1703670>)

Tobias Hecht, 16.02.2024

The Contribution of Automated Driving to Road Traffic Safety – A Resilience Engineering Approach

Diese Arbeit untersucht den potenziellen Nutzen eines Resilience-Engineering-Ansatzes und dessen Schlussfolgerungen für die Erhöhung der Verkehrssicherheit im Zusammenhang mit der Einführung automatisierter Fahrzeuge unter Verwendung der funktionalen Resonanzanalyse (FRAM). Die Arbeit ist publikationsbasiert und umfasst gemischte Forschungsmethoden. Die

Ergebnisse werden in Bezug auf Systemdesign und -validierung, Methodenbewertung und industrielle Anwendung integriert.

Niklas Grabbe, 07.05.2024

Usability Assessments in User Studies on Human-Machine Interfaces for Conditionally Automated Driving: Effects of the Context of Use

This work explores the effects of the context of use on usability assessments in user studies on human-machine interfaces (HMIs) for conditionally automated driving (CAD). Three studies are conducted examining the impact of testing environments and cultural backgrounds. Findings show the relative validity of driving simulators and cross-cultural usability assessments. The research culminates in 12 recommendations for conducting user

studies on the usability of HMIs for CAD, contributing to the development of valid research methods in this field

Deike Albers, 22.05.2024

Multimodal Feedback for Passengers of Automated Driving Vehicles

Im Rahmen dieser Arbeit wurde mittels eines teil- und vollautomatisiert fahrenden Realfahrzeugs untersucht, wie unterschiedliche Modalitäten die verschiedenen Verantwortlichkeiten und Aufgaben der Fahrenden unterstützen. Das Feedbackkonzept bestand neben visuellen und auditiven Informationen außerdem aus aktiven Nick- und Wankbewegungen, die die Intentionen des Fahrzeugs mitteilten. Die Ergebnisse zeigen, dass die-

ses zusätzliche vestibuläre Feedback während der vollautomatisierten Fahrt eher ablenkend wirkt, aber in der teilautomatisierten Fahrt einen Vorteil hinsichtlich Vorhersagbarkeit und Systemverständnis bringt.

Pia Wald, 03.06.2024

Design and Development of Ergonomic Exoskeletons for Lifting and Carrying

Exoskeletons need to be developed specifically for individual contexts of use and their users. This requires an agile, user-centered design process, which can be easily customized to different use cases. A development process is designed, incorporating methods for requirements synthesis and methods to evaluate those fre-

quently during development. This development process is applied in two case studies of exoskeletons for lifting and carrying.

Christina Harbauer, 25.06.2024

Abgeschlossene Masterarbeiten

Lehrstuhl für Ergonomie

HFE - Auswirkungen wahrgenommener Fatigue auf den Arbeitsplatz im Cockpit und deren Implikationen für Single Pilot Operations

MW - Kollaborative Roboter als Unterstützung für Menschen mit geistiger Behinderung im Berufsbildungsbereich

MW - Externe HMIs von automatisierten Fahrzeugen: Umsetzung und Vergleich in VR

HFE - Ergonomic Evaluation of a HOTAS (Hand-on-Throttle-and-Stick) Control Device

HFE - Nutzerzentrierte Entwicklung eines optimierten Prüfstands für Orthesen und Exoskelette der unteren Extremitäten

HFE - Ergonomics Evaluation of Visual Interfaces for Teleoperation in Gear Assembly

HFE - Einfluss der negativen Beschleunigung auf die wahrgenommene Sicherheit in der Mensch-Roboter Interaktion

HFE - Simulatorstudie zur Ermittlung nutzerseitiger Informationsanforderungen während der hochautomatisierten Fahrt auf Autobahnen

HFE - Entwicklung von mentalen Modellen für Automatisierung am Beispiel von komplexen Baggersystemen

HFE - Einfluss der Größe und des Bewegungsverhaltens eines mobilen Roboters auf den Komfortabstand und den empfundenen Diskomfort von Personen

HFE - Untersuchung eines externen Kommunikationskonzepts an einem automatisierten Fahrzeug im Mischverkehr

HFE - Der Einfluss zusätzlicher Fußgänger auf die Wahrnehmung des Kommunikationskonzepts eines Automatisierten Fahrezugs: eine VR-Studie

HFE - Menschzentrierte Interaktionsgestaltung einer Automatisierung für Greifersysteme

HFE - Der Effekt von kooperativen Interaktionskonzepten beim automatisierten Fahren auf die User Experience

HFE - Steigerung der System-Effizienz Mensch-Maschine durch Gamification am Use Case Grabungsassistenten Hydraulikbagger

HFE - Continuous Onboarding. Using Onboarding Methods to Introduce Users to a Software Function

HFE - The Effect of Mental Models and Distraction on the Comfort Distance in Human-Robot-Interactions

MW - Untersuchung verschiedener Kommunikationsmittel für ein Roboterschutzfeld im Rahmen der Mensch-Roboter-Interaktion

HFE - Analyse von Strategien zum Umgang mit optionalen Fahrhandlungen für das automatisierte Fahren

HFE - Human-Centered Approach to Communicating Trajectories of Autonomous Mobile Robots

HFE - Die Auswirkungen von Beleuchtung am Montagearbeitsplatz auf den Leistungsgrad und die Zufriedenheit von Produktionsarbeitern in der Automobilindustrie

HFE - Development and implementation of a muscle fatigue model into a biomechanical multibody representation of the shoulder

MW - Investigations on Teleoperation in Robot-Assisted Microsurgery

MW - Modeling of the Muscletendon Kinematics of the Shoulder for Implementation in EMG-driven Exoskeleton Control

HFE - Interne Darstellung externer Kommunikation in nach SAE-Level 3 automatisierten Fahrzeugen

- HFE - Evaluation of a Peripheral Computer Input Device with Two Operational Layers and Multiple Control Types
- HFE - Haptic Feedback Concept for Control Sidesticks in eVTOL
- MW - Modeling of the interaction between pedestrians and manual vehicles in complex multiagent scenarios - Implications for automated vehicles
- MW - Fußgängerverhalten in der Interaktion mit automatisierten Fahrzeugen: Erkenntnisse einer VR-Studie
- HFE - Explainable AI: Influence of Explainability Approaches on the End-User's Acceptance and Trust of a Chatbot
- HFE - Driving with Homonymous Hemianopia - Efficacy of Forward-Collision Warnings in Mitigating Negative Effects of Distractions
- MW - Remote Magnetic Resonance Scanning
- MW - Design and analysis of a future workflow and its impact on jobroles in healthcare systems
- MW - Entwurf und Umsetzung einer ergonomischen Web-Applikation zur digitalen Anwendung von Lean Ergonomics
- TUM BWL Lean Ergonomics als eigenes System im produzierenden Unternehmen: Eine systemtheoretische Analyse nach Luhmann
- HFE - Bewertung eines neu entwickelten Fahrerhauskonzepts für teilautomatisierte Nutzfahrzeuge
- HFE - Interference of driver warnings & usability: How do we test in the face of monitoring systems?
- HFE - The Impact of Human Centered Explainability on Imperfect Outputs in AI Systems
- HFE - Developing software to improve learning experience by digital teaching
- MW - Entwicklung und Bereitstellung eines digitalen Zwillings zur Bewertung des Thermokomforts in einem Fahrzeug mittels STAR-CCM+
- HFE - Teleoperation in Assembly: Effects of Different Visualization Methods on Performance and Workload of Expert and Non-Expert Operators
- HFE - Optimierung und Anwendung der Methodik Lean Management und Ergonomie für die Fabrikplanung bei der BMW Group
- HFE - Evaluation of Explainable AI Concepts for Adaptive In-Vehicle Systems with Regard to Repeated Usage
- Management & Technology - Improvement of Learner Engagement on Learning Management Systems
- MW - Effiziente Navigation für Intralogistik-Roboter: Vergleich von Prinzipien für die kollisionsfreie Navigation in geteilten Arbeitsumgebungen
- Management & Technology - Data Science und Datenvisualisierung in Lean Ergonomics
- MW - Musculoskeletal Model-Based Evaluation of Occupational Shoulder Exoskeletons for Industrial Overhead Work Tasks
- HFE - Sichere Mobilität in geteilt genutzten Fahrzeugen: User Experience Design und Evaluation eines Tutorials für die Nutzung von Fahrerassistenzsystemen
- HFE - Interacting With Autonomous Mobility Concepts-Design and Evaluation of a Human-Centered HMI (App) for Shared Automated Mobility On-Demand
- MW - Nutzerzentrierte Entwicklung ergonomischer Innenraumkonzepte autonomer eVTOLs

Abgeschlossene Masterarbeiten

Professur für Sportgeräte und -materialien

MW - Auswirkungen neurologischer Erkrankungen auf die Biomechanik des Gangs - Entwicklung des Gait Index for Neurological Disorders (GIND)

Fak. Informatik - Development of a Ski Boot Sensor System Including Software for Detecting Forward and Backward Moments in Alpine Skiing

MW - Automated Mesh Smoothing in Patient-specific STL Vertebrae Data

HFE - Portable and Affordable Golf Swing Analysis System Utilizing Club mounted Inertial Measurement Units

HFE - Evaluation of a Cost-effective Digital Process Chain for Digital Twin Creation, Quantification and Localisation of Residual Limb Changes for Application in Transtibial Prosthetic Socket Design

MW - Simulation of the Influence of Different Trail Running Shoes on the Leg's Vulnerable Structures

MW - Towards Learning Gait's Kinematics with Reinforcement Learning Algorithms

MW - Development & Testing of Adapted Outsole Designs for Trail Running Shoes Using 3D Printing

HFE - Der Einfluss des intra-abdominellen Drucks auf spinale Belastungen in einem individualisierten Mehrkörpermodell des Torsos

MW - Modeling of the Iliopsoas Tendon for Evaluation of Psoas Syndrome Risk Assessment in Total Hip Arthroplasty

MW - Konzepterstellung und Umsetzung einer Methode zur Erfassung typischer Temperaturbereiche und -verläufe im Schaft einer transtibialen Prothese

Herzlich Willkommen

Unsere neuen Mitarbeitenden am Lehrstuhl für Ergonomie



Max Bergholz, M.Sc. ist seit Juli 2023 als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Lehrstuhl für Ergonomie tätig. Er studierte im Bachelor Psychologie an der Universität Trier und im Master Human Factors Engineering an der Technischen Universität München. In einem Forschungspraktikum am

Deutschen Luft- und Raumfahrtzentrum in Braunschweig erprobte Herr Bergholz Konzepte für interne Human-Maschine-Interfaces zur Mitigation von Reisekrankheit in autonomen Fahrzeugen. Seine Masterarbeit, die er beim Deutschen Luft- und Raumfahrtzentrum in Oberpfaffenhofen anfertigte, beschäftigt sich mit den Vorteilen haptischen Feedbacks in der medizinischen Robotik. Am Lehrstuhl für Ergonomie forscht er im Rahmen des ForNeRo-Projekts an der verbesserten Integration medizinischer Roboter in klinische Arbeitsabläufe.



Anna Eckl, M.Sc. ist seit Juli 2024 als wissenschaftliche Mitarbeiterin am Lehrstuhl für Ergonomie tätig. Sie studierte im Bachelor User Experience Design an der Technischen Hochschule Ingolstadt. Frau Eckl absolvierte ihre Bachelorarbeit sowie ein Praktikum im Bereich der nutzerzentrierten Auslegung automatisierter Fahrzeuge. Im

Anschluss studierte sie den Masterstudiengang Human Factors Engineering an der TUM. In ihrer Masterarbeit befasste sie sich mit der Erklärbarkeit KI-basierter, adaptiver Systeme im Fahrzeug. Im Rahmen ihrer Forschung am Lehrstuhl beschäftigt sie sich nun mit dem sinnvollen Einsatz solcher Systeme in zukünftigen Nutzfahrzeugen.



Verena Pongratz, M.Sc. ist seit Januar 2024 als wissenschaftliche Mitarbeiterin am Lehrstuhl für Ergonomie tätig. Zuvor absolvierte sie ihr Bachelorstudium in Sportwissenschaften sowie ihr Masterstudium in Ergonomie – Human Factors Engineering an der Technischen Universität München.

Im Rahmen ihrer Masterarbeit untersuchte sie verschiedene Strategien zum Umgang mit optionalen Fahrhandlungen beim automatisierten Fahren und deren Einfluss auf User Experience, Vertrauen und Akzeptanz des menschlichen Fahrers in einer Fahrsimulatorstudie. In ihrer Arbeit am Lehrstuhl beschäftigt sich Frau Pongratz mit der Gestaltung nutzeradaptiver Mensch-Maschine-Schnittstellen in automatisierten Fahrzeugen.



Rebecca Rack, M.Sc. ist seit März 2024 als wissenschaftliche Mitarbeiterin am Lehrstuhl für Ergonomie tätig. Sie absolvierte ihren Bachelor im Bereich der Biomechanik an der Hochschule Offenburg und wechselte für den Master in der Medizintechnik an die Universität Stuttgart. Im

Rahmen ihrer Masterarbeit beschäftigte sie sich mit der biomechanischen Beurteilung von körpergetragenen Assistenzsystemen mittels digitaler Menschmodelle und deren Wirkung auf die Ergonomie. Am Lehrstuhl liegen ihre Forschungsinteressen im Bereich der digitalen Menschmodellierung zur Vorhersage und biomechanischen Optimierung der Mensch-Maschine-Interaktion.



Yijie Sheng, M.Sc. ist seit Juni 2024 als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Lehrstuhl für Ergonomie tätig. Er studierte Luft- und Raumfahrttechnik (B.Eng.) in Nanjing, China, wobei er sich auf die Modellierung und Simulation von UAVs spezialisierte. Anschließend absolvierte er sein Masterstudium in Technologiemanagement an der Universität Stuttgart.

In seiner Masterarbeit am Lehrstuhl für Interior Design Engineering untersuchte er die User Experience und Akzeptanz nachhaltiger Materialien in Fahrzeuginnenräumen. Im Rahmen seiner Forschung beschäftigt er sich nun mit der Entwicklung energieeffizienter und nutzerzentrierter Klimatisierungskonzepte sowie der Bewertung des thermischen Komforts in autonomen Fahrzeugen.

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:

Yuan-Cheng Liu, Bianca Biebl, Birte Emmermann, Alexander Feierle, Naomi Mbelekani, Svenja Escherle, Dr. Manuel Ferle, Burak Karakaya und Leonid Shkolnikov

Der Lehrstuhl für Ergonomie dankt ihnen für ihren tatkräftigen Unterstützung und wünscht allen für Ihre persönliche und berufliche Zukunft alles Gute und viel Erfolg.

