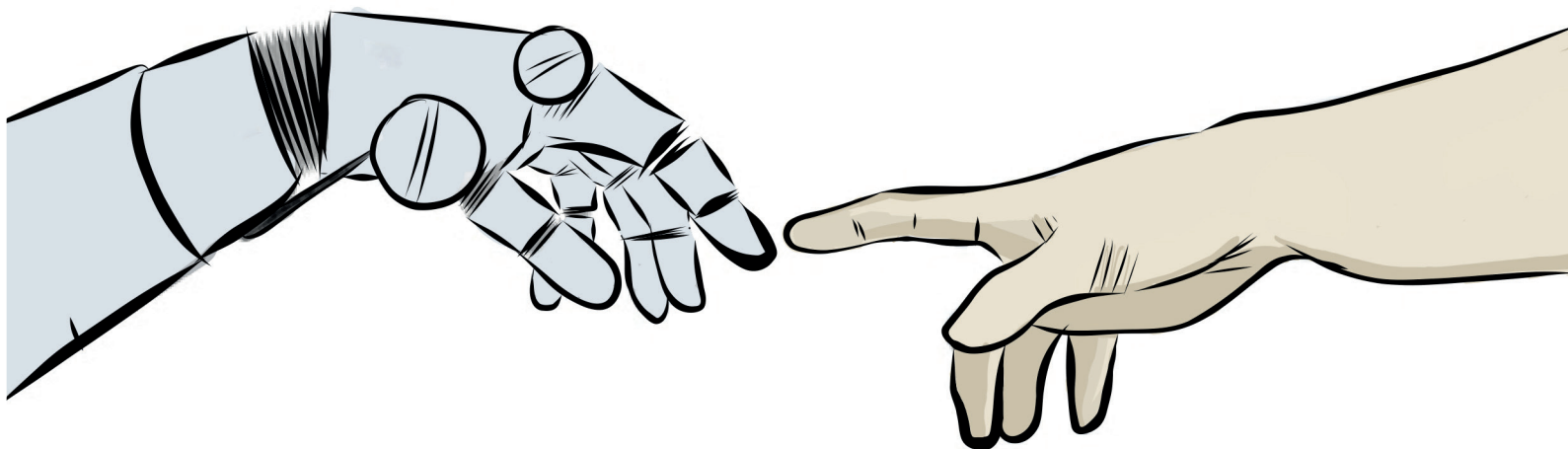


# Ergonomie

## AKTUELL



## **IMPRESSUM:**

### **Ergonomie Aktuell**

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

### **Herausgeber:**

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

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

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

### **Redaktion:**

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

### **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,  
Freunde und Förderer der Ergonomie,

Mit den Lockerungen der COVID Einschränkungen hat sich in vielen Bereichen von Forschung und Lehre nun ein interessanter Hybridbetrieb eingestellt. Es ist sehr erfreulich, dass die persönlichen Kontakte zwischen Forschenden und der persönliche Austausch mit den Studierenden in der Präsenzlehre deutlich zugenommen haben. Von vielen Festivitäten ganz zu schweigen, die lange aufgeschoben werden mussten und nun ausgiebig begangen werden.

Es ist äußerst bedauerlich, dass alle diese Entwicklungen von weiteren Krisen und vor allem Kriegsereignissen überschattet werden.

Mittlerweile sind wir in der School of Engineering und Design und dort im Department Mechanical Engineering fest verankert. Es ist sehr erfreulich, dass gerade in dieser School das Human Centered Engineering eine zentrale Rolle einnimmt.

Für uns ist es von großem Interesse, welches New Normal sich nun einspielen wird, in dem wir die Vorteile der Digitalisierung mit den wichtigen Aspekten der Präsenz verbinden. So wird die Ergonomie Aktuell auch nach wie vor als Printausgabe und pdf erscheinen. Zusätzlich haben wir einen LinkedIn Kanal eingerichtet und werden weitere digitale Formate ausbauen. Die diesjährigen Beiträge zeigen aber eindrucksvoll, welche Forschungsthemen im zurückliegenden Jahr bearbeitet wurden.

Der Beitrag zu Lean Ergonomics zeigt auf, wie verschiedenste Aspekte für die Gestaltung industrieller Arbeit gesamthaft betrachtet werden können. In diesem Kontext tauchen Exoskelette und kooperative Roboter als zentrale Innovationsfelder auf. Zum einen findet sich in dieser Ausgabe eine Handreichung zur strukturierten Bewertung des Potentials von Exoskeletten vor allem für den Mittelstand. Zum anderen wurde auf der diesjährigen automatica präsentiert, wie die Kooperation zwischen Mensch und Roboter konkret realisiert sein könnte.



In den Projekten INSAA und Delfin wurde RAMSIS und die zugehörige Toolkette umfangreich ergänzt, um auf Gestaltung und Bewertung zukünftiger Fahrerplätze und vor allem das Thema Bewegung vorbereitet zu sein.

Nach wie vor nimmt die automatisierte Fahrzeugführung breiten Raum ein und die Abschlusspräsentation des Projekts @City in Aldenhoven war ein wahres Fahrerlebnis in Präsenz und VR.

Der Umbau unserer Räume nimmt Gestalt an. Wir haben uns aber entschlossen, die Baustellenbilder im Archiv abzulegen und zu warten, bis wir die neuen Räume und Labors in vollem Glanz in der Ergonomie Aktuell und live präsentieren können.

Ich danke allen, die durch ihr Engagement und ihr umsichtiges Handeln wieder dazu beigetragen haben, dass wir mit neuen Arbeitsweisen sehr viel geleistet haben und alle gesund sind.

Ihr

Klaus Bengler



Impressum	02
Editorial	03
Lean Ergonomics <i>Stefan Brunner</i>	06
Erfassung, Modellierung und Optimierung von Einstiegsbewegungen <i>Martin Doryneck, Michael Groher</i>	10
INSAA - Insassensimulation in automatisierten Automobilen <i>Martin Fleischer</i>	14
Guidelines für den Einsatz von Exoskeletten an gewerblichen Arbeitsplätzen <i>Christina Harbauer</i>	16
Projektabschluss COVID19LL: Gute Lösungen für die Zukunft nutzen – COVID-19 Lessons Learned <i>Birte Emmermann, Jovina Kinner, Caroline Adam</i>	22
@CITY - Automated Cars and Intelligent Traffic in the City Abschluss <i>Alexander Feierle, Niklas Grabbe, Tobias Hecht</i>	24
Veröffentlichungen und Dissertationen	30
Abgeschlossene Diplom- und Masterarbeiten	38
Neue Mitarbeiter	41
Abschied	43
Neuigkeiten	44
Unsere neuen Forschungsgruppen	47

# Lean Ergonomics – Produktivität und Ergonomie in neuer Harmonie?

Stefan Brunner

Der Begriff Lean Ergonomics (LE) prägte sich erst in den letzten zwei bis drei Jahren derart heraus, dass er den Anspruch eines neuen Forschungsfeldes annehmen kann (s. Wan und Amin 2018; Tortorella et al. 2015). Die reine namentliche Nennung fand jedoch erstaunlicherweise noch vor der Jahrtausendwende statt: In einem SAE Technical Paper wurden 12 Regeln vorgeschlagen, die sich an den Laien richten und ihm einen Leitfaden bieten sollten, wie Arbeitsplätze an den Menschen angepasst werden könnten (Love 1999). Auf fünf Seiten werden diese vorgestellt und an Planer der Automobilindustrie herausgegeben. Der wertvolle Ansatz des heutigen Forschungsfeldes LE, nämlich Synergien von Lean und Ergonomie zu erkennen und zu nutzen ist dort nicht inbegriffen. Erst fünf Jahre später kommt es zu einer erneuten Nennung von LE in einer Studie, die dann dem heutigen Verständnis etwas näherkommt.

Dort befasste man sich mit Kaizen, also der kontinuierlichen Verbesserung, und der Ergonomie (Scheel et al. 2005). Auch hier fehlte aber der Gedanke der Synergie und potentieller Emergenz, doch der eindimensionale Zusammenhang von Ergonomie und Produktionsmanagement ist da. Die Häufigkeit an Veröffentlichungen zu LE steigerte sich anschließend bis vor wenigen Jahren kaum und spiegelt somit womöglich nach wie vor was in den Köpfen der Managern, Planern und Produktionsingenieuren in den 80ern und 90ern geprägt wurde wider – nämlich eine vermeintliche Unvereinbarkeit von Ergonomie und Lean Management (Melton 2005; Da Vieira et al. 2015). Dies bezieht sich freilich nicht auf den bloßen Wunsch Ergonomie in der Produktion standardmäßig zu implementieren, der durchaus existent gewesen sein konnte, sondern schlichtweg auf die Tatsache, dass es nicht, oder nur stiefmütterlich praktiziert wurde. Die Ursachen hierfür sind vielfältig.

Das Standardwerk des Lean Managements von Womack, Jones und Roos *The Machine That Changed the World* von 1991 thematisiert den bis dato unerklärlichen Aufstieg japanischer Großkonzerne aufgrund eines neuartigen Produktionskonzeptes, das clean und lean ist, wenig Ressourcen benötigt, verschwundungsarm und zudem wesentlich flexib-

ler ist, als die westlichen, vollgepackten, großen Maschinerien der Automobilbranche nach Ford'scher Manier. Der Erfolg und die hierfür relevante Historie, die unser heutiges Verständnis von Produktion maßgeblich prägten würden den Rahmen dieses Artikels sprengen, jedoch soll auf den entscheidenden Aspekt dieses Klassikers hingewiesen werden – die Ergonomie fehlt. Das MIT investierte damals 5 Mio. US-Dollar (entspräche heute ca. 8,5 Mio. \$) für die fünf Jahre dauernde Untersuchung und den Besuch dutzender Fabriken in den USA, in Japan und in Europa. Letzteres galt damals zum Untersuchungszeitraum nicht einmal als Standort von klassischer Massenproduktion, sondern war insbesondere aus amerikanischer Sicht Wiege des automobilen Handwerkes exzellenter Qualität. Vereinzelt dennoch als Massenproduzent genannt wurde aufgrund der Größe Volkswagen, alle anderen wurden eher einem handwerklicheren Ansatz untergeordnet, der von den Amerikanern auch weder als Bedrohung, noch als Alternative verstanden wurde. Die Studie profitierte damit insofern von dem Einschluss Europas, dass dadurch auch KPIs und Methoden alternativer Formen der Massenproduktion inkludiert waren und somit mit dem japanischen Produktionssystem verglichen werden konnten. Da Womack's Buch lange genug das einzige zu Lean war, war es die grundlegende Informationsquelle für weitere Gedanken und Veröffentlichungen zu Lean. Hieraus ist leicht ersichtlich, dass die Ergonomie nicht wie durch Zauberhand Einzug finden konnte.

Dies ändert sich mit der Einführung und mit der sich anschließenden Intensivierung von Lean-Konzepten im Westen und damit einhergehenden arbeitsphysiologischen und arbeitswissenschaftlichen Problemen. Die Prävalenzzeit von Muskelskeletterkrankungen (MSE) kann sich auf Jahrzehnte belaufen. Wenn nun nach eindrucksvollen Erkenntnissen von Womack und Kollegen aus den frühen 90ern entschieden wurde eine explizite Lean-Methode einzuführen, war die ergonomische Auswirkung nicht relevant, da nicht bekannt. Die prophezeiten schwarzen Zahlen sprachen erst einmal für sich. 20 Jahre später kommt es dann zu auffallend hohen Inzidenzen von MSE an Arbeitsplätzen, die alle mit dieser Maßnah-

me „optimiert“ wurden. Lean zeigt sich nicht mehr als Allzweckwaffe - nicht, wenn allein eingesetzt. Dies wirft die Frage auf: Is Lean mean? Sie wird bis heute kontrovers und mit unterschiedlichsten Ergebnissen diskutiert (Anderson-Connolly et al. 2002; Conti et al. 2006). Diese Frage allein lässt noch keinen Schluss auf eine ergonomische Lösung zu, jedoch zeigt die vorhandene Uneinigkeit, dass Lean Schattenseiten hat.

Allgemeiner formuliert und von einer simplen Ja-oder-Nein Frage entkoppelt lässt sich über Literatur und longitudinal Studien festhalten, dass die Ergonomie als System eines Unternehmens dem System Lean aufgrund vermeintlich mangelnder Rationalisierung und quantitativer Erfassung fälschlicherweise unterlegen war (Westgaard und Winkel 2011). Damit zusammenhängend zeigten Nunes und Kollegen (2015), dass erst nach Unfällen, signifikanten und nicht weiter erklärbaren, oder gehäuften AU-Tagen und gesundheitlichen Beschwerden ergonomisch interveniert wurde, da aus Sicht des Topmanagements zuvor kein Anlass erkennbar war. Maßnahmen der Lean Production adressierten zumeist ausschließlich eine Produktivitätssteigerung über prozessuale Analysen und Interventionen, in denen es gar nicht das Ziel war, den Mitarbeiter als Individuum an sich mit einzubeziehen (Melton 2005). Als Ergebnis der Evaluation solcher Projekte erschien die Ergonomie, bzw. der nichteinbezogene Mitarbeiter, fälschlicherweise als limitierender Engpass, weil sie Vieira et al. (2015) zufolge genau aus dem Grund der Nichtadressierung negativ auffiel, wodurch das Bewusstsein einer Gegensätzlichkeit beider Systeme geprägt wurde.

Dieser letzte Stand - etwa in Mitte der 2010er Jahre - motivierte dann Wirtschaft und Wissenschaft sich vielfältiger und nachhaltiger mit Lean und Ergonomie zu befassen. Ironischerweise schrieb Womack tatsächlich, dass dem Mitarbeiter eine zentrale Rolle in Lean zu käme. Man könnte sich darauf berufen und argumentieren, dass diese Aussage missverstanden wurde und bereits Ergonomie in Lean legitimieren hätte können. Dazu kam es jedoch schlicht nicht. Sie wurde nach betriebswirtschaftlicher Perspektive

verargumentiert, was auch ohne Frage richtig sein konnte. Damals galt Lean Management als Gefahr, unterstrichen dadurch, dass japanische Konzerne, allen voran Toyota, auf heimischen, massigen und mit Öl und Stahl getränkten Boden der USA die eigene Wirtschaft in den Schatten stellte. Heute wissen wir, dass die Ergonomie alles andere als ein Kostenfaktor ist und die Intensivierung von Lean zu einer Intensivierung von jeglichen Prozessen eines produzierenden Systems führt und folglich unmittelbar den Menschen betrifft (Jayamaha et al. 2014, Walder et al. 2021) – womit Womack's ursprüngliche Aussage nun exakt gegenteilig interpretiert wieder als richtig gilt; der Mitarbeiter hat eine zentrale Rolle. Diese gehört ebenso ergonomisch wie betriebswirtschaftlich berücksichtigt.

Denn ein passives Betrachten dieser intensivierten Lean-Prozessen birgt die Gefahr höhere Krankheitslasten, menschenverursachter Arbeitsfehler, Unzufriedenheit der Belegschaft und psychophysiologische Erschöpfung inklusive derer Konsequenz hinzunehmen (Nunes 2015).

Auch die Lean-Szene hat sich verändert und beschreibt nun Lean als sozio-technisches System (Soliman et al. 2018). Vor dem Hintergrund all dieser, nur sehr kurz skizzierten Entwicklungen findet die Verbindung von Lean und Ergonomie genug Motivation und Legitimation als Forschungsfeld betrachtet zu werden. Zentrale Verbindungen der jeweiligen Kernkonzepte und Betrachtungseinheiten sind in Abbildung 1 dargestellt.



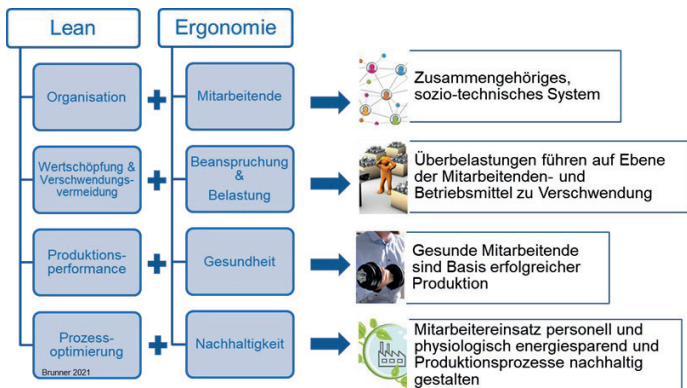


Abbildung 1: Lean und Ergonomie

Was will aber nun Lean Ergonomics? Da es bis dato (April 2022) keine Definition von LE gibt, wird folgende vorgeschlagen:

Lean Ergonomics ist die vereinte Betrachtung und Verfolgung ergonomischer und betriebswissenschaftlicher Synergien und Ziele zur ganzheitlichen und nachhaltigen Produktivitätssteigerung bei gleichzeitiger Erhaltung der Gesundheit und Leistungsfähigkeit der Mitarbeiter.

Durch makroskopische systemische Analysen sollen in Zukunft unmittelbar Hypothesen abgeleitet werden, die es in der Praxis zu prüfen gilt. Hier könnte eine legitime Zwischenfrage lauten: Warum ist für ein, sich mit Praxisfokus rühmendes Feld, wie Lean Ergonomics eine trockene systemische Betrachtung nötig? Die kurze Antwort könne man in der Form beschreiben, dass selbst in diesem kurzen Artikel oft von einem System irgendeiner Art gesprochen wird. Falls sich Lean Ergonomics als reales, eigenständiges Feld etablieren soll, ist zuerst einmal nüchtern zu betrachten, wie dessen Inhalt aussehen kann und wo eine relevante Abgrenzung zu anderen Disziplinen, also Systemen, stattfindet. Was dann ein mögliches Systemmodell beschreibt existiert in der Realität (z.B. Menschen in Fabriken mit Betriebsmitteln), aber es enthält nicht die ganze Realität (Kaffeemaschine des Schichtleiters), sondern nur die Dinge, die dem Konstrukteur des Systems und den nachgehenden Nutzern als relevant erscheinen (Synergien, unbekannte Zusammenhänge, Basis strategischer Entscheidungen, Input, Output). Der Begriff des Systems erleichtert uns zu allererst einmal die

Kommunikation und das beschränken eines thematisch verwandten Sachverhaltes (Ropohl 2009).

In diesem Fall beschränkt man seine Betrachtung auf den Menschen (Ergonomie) und die Fabrik (Lean). Und folglich ermöglicht uns diese Beschränkung eine Abgrenzung von dem was für Lean Ergonomics relevant ist und was nicht – namentlich der Umwelt. Diese kann für den Menschen das Privatleben sein, oder für die Fabrik der Koalitionsvertrag einer neuen Regierung. Durch diese Beschreibung allein wird schon klar, dass eine Beschränkung nötig ist. Des Weiteren versuchen systemtheoretische Betrachtungen einen gemeinsamen Nenner zu finden und das ist für die ehemals ausgeprägte Dialektik unserer beiden Akteure von großem Nutzen. Aber auch die Praxis profitiert von dieser Abstraktionsfähigkeit, da somit zum Beispiel unterschiedliche Industrien mit unterschiedlichen Managementkonzepten Lean Ergonomics adaptieren können. Am meisten Nutzen sollte dabei aber dennoch für den Menschen abfallen und dieser befindet sich im System Lean und im System Ergonomie mit unterschiedlicher Rollenzuteilung, wie der Mensch im System der Gesellschaft, zwischen den Fronten (Baecker und Luhmann 2009). Erst, wenn diese Rollenzuteilung klar ist, kann begonnen werden salutogenetische und produktive Ansprüche von LE wirtschaftsrelevant durch die Emergenz von Lean und Ergonomie zu verteilen. Hierzu wird versucht die formale Systemtheorie mit materiellen Theorien zu unterfüttern (Belastungs-Belastungs-Konzept, Kaizen, Wertstromdesign etc.). Dadurch können gehaltvolle Hypothesen über die individuelle Beschaffenheit des Realitätsausschnittes gewonnen werden, den wir anhand des Systemmodells beschreiben wollen.

Um konkrete Ansätze von LE zu nennen, können methodisch zum Beispiel KPIs des Produktionsmanagements wie die First-Run-Quote an einem Fließband, oder der Wertschöpfungsanteil und Ähnliches in eine Betrachtung miteingehen. Auf Seiten der Ergonomie gibt es Methoden, subjektive und objektive Verfahren wie EAWS und NASA-TLX, oder Softwaretools wie den emaWorkDesigner und viele Weitere.



Als exploratives Beispiel soll im folgenden Absatz eine Untersuchung bei einem bayerischen Produktionsunternehmen umrissen werden.

An einem Ausschnitt der manuellen Montage mit unterschiedlichen Arbeitsplätzen, die aber alle primär körperlicher Natur waren, zeigten sich viele Unterbrechungen und Arbeitsfehler. Nach aussagelosen betriebswirtschaftlichen Analysen wurde entschieden, die Ergonomie detailliert zu analysieren. Es ergab sich eine literatur- und anwendungsbasierte Auswahl von EAWS als objektives ergonomisches Tool, von NASA-TLX und Borg als subjektive Verfahren körperlicher und psychischer Natur und von Arbeitsfehlern, die SAP entnommen wurde. Erhoben wurde an sechs Arbeitsplätzen bzw. Stationen, an denen je drei bis acht Mitarbeiter bei ähnlicher Arbeitsaufgabe tätig waren. Es ergaben sich 29 vollständige Paare an NASA-TLX- und Borg-Bewertungen. EAWS wurde in einer Expertengruppe erst in Papier und final in TiCon (MTM) angewandt. Nach Auswertungen wurde ersichtlich, dass die objektive Arbeitsplatzergonomie (EAWS) und das körperliche (Borg) und psychomentele (NASA-TLX) Beanspruchungsempfinden der Mitarbeiter in analysiertem Abschnitt fast 80% der Arbeitsfehler mittels multipler linearer Regression aufklären konnten. Ein derartiger Zusammenhang war nicht bekannt und hat durch Miteinbezug der Lean Komponente (Arbeitsfehler = Verschwendung) auch das Gehör höhere Ebenen gefunden und weitere Analysen ermöglicht. Und das lediglich mit der eindimensionalen Aussage: „Ergonomie würde Kosten sparen“. Ergänzend dazu zeigte sich EAWS als Frühwarnindikator physischer Beanspruchung und korrelierte mit der Anzahl an Arbeitsfehlern an betrachtetem Takt. Vor einem vorschnellen Kausalitätsschluss sei hier ausdrücklich gewarnt und dies soll in diesem Artikel auch nicht näher diskutiert werden, doch motivierten diese Erkenntnisse eine Ablösung der Leitmerkmal-methode durch das EAWS. Und allein damit kommt die Ergonomie an dieser Stelle ein gutes Stück voran und konnte sich im Produktionsmanagement als ebenbürtig beweisen.

Die kurz angerissene Frage „Is Lean mean“ kann weder durch diese noch weitaus umfangreicheren Untersuchungen und systematischen Literaturre-

views beantwortet werden. Es soll lediglich angemerkt werden, dass Lean, oder dessen Derivate, der Goldstandard der Produktion im 21. Jahrhundert sein wird und dem auch mit genügend kritischem Sachverstand nichts entgegen spricht. Somit ist es nur folgerichtig, wenn wir uns mit Auswirkungen der Lean Production auf den Menschen befassen.

Interessanterweise hat auch die MTM-Vereinigung als neutraler Akteur zwischen Wirtschaft und Wissenschaft, aber dennoch mit gerechtfertigtem Eigeninteresse, das Potential von LE erkannt, auch wenn die namentliche Grundsteinlegung erst später kommen sollte. 2016 entwickelte MTM das neue MTM-Human Work Design (MTM-HWD), das explizit in der Schnittstelle von Lean und Ergonomie anzusiedeln ist (Finsterbusch et al. 2016). Neben MTM-typischen Zeitstudien, wie man sie aus MTM-1 kennt ist in der Software das EAWS standardmäßig implementiert. Das bedeutet nun für Planer, dass die Ergonomie unmittelbar mitgenommen wird und unterstreicht den Wunsch von Wissenschaft und Wirtschaft zum Aufbruch in ein ganzheitlicheres und nachhaltigeres Gesamtsystem Fabrik.

## Literatur

- Anderson-Connolly, Richard; Grunberg, Leon; Greenberg, Edward S.; Moore, Sarah (2002): Is Lean Mean? In: *Work, Employment and Society* 16 (3), S. 389–413. DOI: 10.1177/095001702762217407.
- Baecker, Dirk; Luhmann, Niklas (Hg.) (2009): *Einführung in die Theorie der Gesellschaft*. 2. Aufl. Heidelberg: Auer (Sozialwissenschaften).
- Conti, Robert; Angelis, Jannis; Cooper, Cary; Faragher, Brian; Gill, Colin (2006): The effects of lean production on worker job stress. In: *Int Jnl of Op & Prod Mngemnt* 26 (9), S. 1013–1038. DOI: 10.1108/01443570610682616.
- Da Vieira, Sonia Silva; Badke-Schaub, Petra; Fernandes, António (2015): Framework of Awareness: For the Analysis of Ergonomics in Design. In: *Procedia Manufacturing* 3, S. 5955–5962. DOI: 10.1016/j.promfg.2015.07.688.
- Finsterbusch, Thomas; Petz, Andreas; Faber, Marco; Härtel, Jörg; Kuhlang, Peter; Schlick, Christopher M. (2016):

- A Comparative Empirical Evaluation of the Accuracy of the Novel Process Language MTM-Human Work Design. In: *Advances in Ergonomics of Manufacturing: Managing the Enterprise of the Future*: Springer, Cham, S. 147–155. Online verfügbar unter [https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-41697-7\\_14](https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-41697-7_14).
- Jayamaha, Nihal P.; Wagner, Jürgen P.; Grigg, Nigel P.; Campbell-Allen, Nicky M.; Harvie, Warwick (2014): Testing a theoretical model underlying the ‘Toyota Way’ – an empirical study involving a large global sample of Toyota facilities. In: *International Journal of Production Research* 52 (14), S. 4332–4350. DOI: 10.1080/00207543.2014.883467.
- Scheel, C., & Zimmermann, C. L. (2005): Lean ergonomics—Successful implementation within a kaizen event
- Love, Arnold C. (1999): Lean Ergonomics: Twelve Simple Rules to Fit Jobs to People. In: *SAE Technical Paper Series*. International Automotive Manufacturing Conference & Exposition, MAY. 10, 1999: SAE International 400 Commonwealth Drive, Warrendale, PA, United States (SAE Technical Paper Series).
- Melton, T., The Benefits of Lean Manufacturing What Lean Thinking has to Offer the Process Industries, Chemical Engineering Research and Design, 83 (A6): 662–673, 2005 (2021). Online verfügbar unter <http://www.sciencedirect.com/reference/19987>, zuletzt aktualisiert am 21.10.2021, zuletzt geprüft am 21.10.2021.
- Nunes, Isabel L. (2015): Integration of Ergonomics and Lean Six Sigma. A Model Proposal. In: *Procedia Manufacturing* 3, S. 890–897. DOI: 10.1016/j.promfg.2015.07.124.
- Ropohl, Günter (2009): *Allgemeine Technologie : eine Systemtheorie der Technik*. s.l.: KIT Scientific Publishing. Online verfügbar unter <http://www.doabooks.org/doab?func=fulltext&uiLanguage=en&rid=15084>.
- Soliman, Marlon; Saurin, Tarcisio Abreu; Anzanello, Michel Jose (2018): The impacts of lean production on the complexity of socio-technical systems. In: *International Journal of Production Economics* 197, S. 342–357. DOI: 10.1016/J.IJPE.2018.01.024.
- Tortorella, Gustavo; Carlos Ernani Fries; C. Trindade; M. A. D. Silva; F. G. Amaral; F. S. Fogliatto (2015): Gaps between psychophysical demands and perceived workload - a framework for lean production system. In: undefined. Online verfügbar unter <https://www.semanticscholar.org/paper/Gaps-between-psychophysical-demands-and-perceived-a-Tortorella-Fries/6e-5487f4569a132cf1774181ea303a7ac13d37dc>.
- Walder, J.; Karlin, J.; Kerk, C. (2021): Integrated Lean Thinking & Ergonomics. Utilizing Material Handling Assist Device Solutions for a Productive Workplace. Online verfügbar unter [https://www.mhi.org/downloads/industrygroups/lmps/whitepapers/Integrating\\_Lean\\_Thinking.pdf](https://www.mhi.org/downloads/industrygroups/lmps/whitepapers/Integrating_Lean_Thinking.pdf), zuletzt aktualisiert am 21.10.2021.
- Wan, Mahmood; Mohd Amin, Ahmad Nawawi (2018): Conceptual Framework of Lean Ergonomics for Assembly Process: PDCA Approach. In: *JESR* 2 (1), S. 51–62. DOI: 10.26666/rmp.jesr.2018.1.9.
- Westgaard, R. H.; Winkel, J. (2011): Occupational musculoskeletal and mental health: Significance of rationalization and opportunities to create sustainable production systems – A systematic review. In: *Applied Ergonomics* 42 (2), S. 261–296. DOI: 10.1016/j.apergo.2010.07.002.

# Erfassung, Modellierung und Optimierung von Einstiegsbewegungen

Martin Dorynek, Michael Groher

Seit vielen Jahrzehnten hat das Auto in Deutschland einen sehr hohen Stellenwert. In Deutschland sind fast 50 Millionen Personenkraftwagen (PKW) zugelassen. Sie dienen als Fortbewegungs- oder Transportmittel und bedeuten für die Eigentümer häufig Unabhängigkeit und Spontanität.

Steht der Kauf eines neuen Autos an, sind oft Testberichte und Fahrzeugbewertungen entscheidend. Neben der Fahrzeugoptik und der Motorisierung spielen beim Fahrzeugkauf ferner der Ein- und Ausstieg aus dem Fahrzeug für die Nutzer eine große Rolle. Hier sind ein angenehmer und einfacher Ein- und Ausstieg entscheidend für einen positiven ersten Eindruck und die Kundenzufriedenheit bezüglich des Kraftwagens. Umfragen zeigen jedoch, dass es zahlreiche ältere und auch jüngere Menschen gibt, die Probleme bei dem Einsteigen in oder dem Aussteigen aus einem Fahrzeug haben. (Lawson et al., 2015)

Betrachtet man beispielsweise eine Umfrage des Robert-Koch-Instituts aus dem Jahr 2017, dann wird deutlich, dass 63 % der Frauen und 55 % der Männer an chronischen Schmerzen im unteren Rücken leiden sowie ein Großteil der Befragten dauerhafte Knie- und Hüftschmerzen beklagt. Dies ist insofern relevant, da auch für das Einsteigen oder Aussteigen aus einem Fahrzeug komplexe Bewegungen, die hohe biomechanische Belastungen durch Drehen, Biegen, Strecken und Neigen des Körpers erfordern, aufzubringen sind. Dass die Zugänglichkeit zu einem Fahrzeug neben dem Sitzkomfort einen wesentlichen Einfluss auf die Gesundheit der Menschen hat, zeigt die Situation bei den Berufskraftfahrern. Mindestens 55 % dieser haben Probleme mit dem Rücken oder den Kniegelenken. (Cherednichenko, 2008) Bei der Entwicklung und Konstruktion eines Fahrzeuges spielen jedoch neben der Gestaltung von Ein- und Ausstieg zahlreiche weitere Punkte, wie Design, Sicherheit, Package sowie viele andere technische Aspekte eine große Rolle. Das Fahrzeugdesign ist ein Kompromiss aus mehreren Fahrzeugmerkmalen. Der Ein- und Ausstieg hat daher bei der Abwägung zwischen anderen Faktoren nicht immer Vorrang.

Eine genauere Betrachtung des Einstiegs/Ausstiegs in einen PKW unter ergonomischen Gesichtspunkten ist daher dringend von Nöten. Ferner sollte der Zugänglichkeit von Fahrzeugen bei der Entwicklung und Konstruktion dieser eine größere Bedeutung zugebracht werden. Für PKW wurde das Ein- und Ausstiegsverhalten bisher relativ oberflächlich untersucht. Es ist jedoch bekannt, dass der Ein- und Ausstieg bei einem PKW von drei Faktoren beeinflusst wird. Die Anthropometrie des Menschen, die Fahrzeuggeometrie und die Bewegungsstrategie des Nutzers sind hier die entscheidenden Faktoren. (Schindler, 2019)

Aus diesem Grund wird im Rahmen des Forschungsprojekts DELFIN („Dynamische Evaluierung von Fahrzeuginsassen“) unter Berücksichtigung verschiedener Fahrzeugkonfigurationen der Einstieg und Ausstieg aus ergonomischer Sicht unter Zuhilfenahme des modularen Ergonomieprüfstandes (MEPS) genauer untersucht. Unter dem MEPS ist ein Modell zu verstehen, dass aus einem vereinfacht dargestellten Fahrerplatz mit den wesentlichen Komponenten, wie Lenkrad, Sitz, A-Säule und Dachhimmel, besteht. Der genaue Versuchsaufbau ist in Abbildung 1 zu sehen.

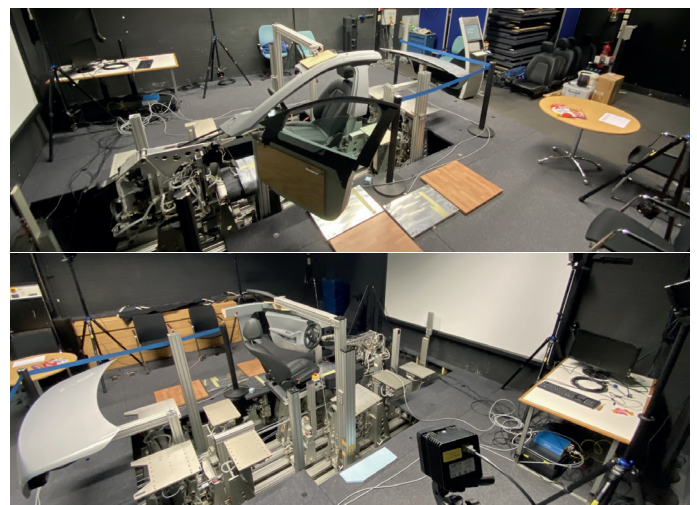


Abbildung 1: Auf der linken Seite ist der Einstieg oben in einen LkW und im unteren Teil in PKW zu sehen. Beide werden rechts modelliert und sollen zukünftig vorausgesagt werden können.

Unter Zuhilfenahme dieses Modells werden Daten zum Einstieg bzw. Ausstieg aus einem Fahrzeug gesammelt. Hierzu werden die Bewegungen der Probanden mit mehreren Kameras aufgezeichnet, während sie in den PKW ein- oder aussteigen. Dieses Prinzip der Bewegungsaufzeichnung wird unter „Motion Capture“ zusammengefasst. Bewegungsstrategien bei einem Einstieg wurden bereits genauer betrachtet. So verglichen Rigel und Cherednichenko das Einsteigen mehrerer Versuchspersonen in einen PKW und stellten dabei im jeweiligen Bewegungsablauf deutliche Abweichungen fest. Es konnten dadurch vier verschiedene Einstiegsstrategien klassifiziert werden: Schlüpf-Strategie, Fädel-Strategie, Plumps-Strategie und Hürden-Strategie. Am häufigsten wurde hier die Schlüpf-Strategie festgestellt. Bei genauerer Betrachtung dieser vier Einstiegsstrategien, können diese grundsätzlich in fünf Phasen unterteilt werden:

- Annäherung an den Einstiegsbereich
- Einnehmen einer stabilen Stützposition
- Einnehmen der Sitzposition
- Überführung in die frontale Sitzposition
- Einnehmen der Fahrerhaltung

Nachdem die Bewegungsaufzeichnungen nachbearbeitet wurden, lassen sie sich anschließend anhand von Grafiken veranschaulichen und weiter auswerten. Die ermittelten Kurvenverläufe für die gemittelten Gelenkwinkel des rechten Kniegelenks eines Probanden sind in Abbildung 3 aufgezeigt.

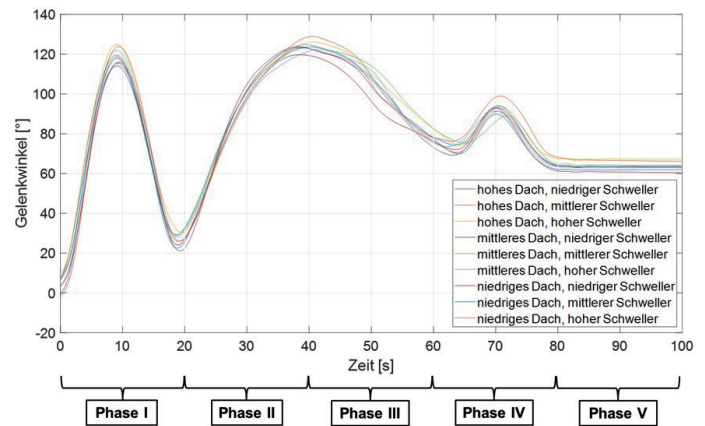


Abbildung 3: Der Kurvenverlauf des gemittelten Gelenkwinkels des rechten Kniegelenks eines Probanden für die neun verschiedenen Fahrzeugkonfigurationen; die einzelnen Zeiten sind den Bewegungsphasen I bis V (Annäherung an den Einstiegsbereich, Einnehmen einer stabilen Stützposition, Einnehmen der Sitzposition, Überführung in die frontale Sitzposition, Einnehmen der Fahrerhaltung) zugeordnet.

Auf diese Art und Weise können für diverse Fahrzeugkonfigurationen, bei welchen die Höhe des Daches und des Schwellers variiert werden, unter Zuhilfenahme eines Fragebogens, Aussagen über den Komfort der einzelnen Zustiegsöffnungen getroffen werden. Des Weiteren können die für den Menschen am angenehmsten Gelenkwinkel und -momente ermittelt werden. Die komfortabelste Zustiegsöffnung, die durch einen eher niedrigen Schweller und ein hohes Dach charakterisiert ist, kann hieraus ferner abgeleitet werden. Bei der Neuentwicklung eines Fahrzeugkonzepts wird in der Regel von der Fahrerplatzposition aus gestartet. Entscheidende Maße für die Anordnung des Sitzes sind neben dem F- und R-Punkt das H5- und das H30-Maß. Für einen komfortablen Einstieg spielt das H30-Maß des Weiteren eine entscheidende Rolle. So weist beispielsweise ein SUV mit einem höheren H30-Wert aus ergonomischer Sicht einen luxuriöseren Einstiegsbereich als ein Sportwagen mit einem niedrigen H30-Maß auf. (Macey et al, 2009)

Bewegungsbeurteilungen werden insbesondere in Zukunft immer öfters von Interesse sein, um Menschmodelle für die unterschiedlichsten Anwendungsfälle nutzen zu können und nicht auf Daten-



banken zurückgreifen zu müssen. Schließlich sind objektive Methoden deutlich zuverlässiger als subjektive Bewertungen.

## Literatur

Alexander Cherednichenko. (2008). Funktionales Modell der Einstiegsbewegung in einen PKW. ISBN: 978-3-8316-0766-2.

Glyn Lawson, Paul Herriotts, Louise Malcolm, Katharina Gabrecht, Setia Hermawati. (2015). The use of virtual reality and physical tools in the development and validation of ease of entry and exit in passenger vehicles. In Dr. G. Dempsey (Ed.), *Applied Ergonomics* (pp. 240-251). doi: 10.1016/j.apergo.2014.12.007.

Stefan Rigel. (2005). Entwicklung und Validierung einer Methode zur quantitativen Untersuchung der Ein- und Ausstiegsbewegung in einen Pkw.

S. Macey, R. Gilles, G. Wardle. (2009). H-Point: The Fundamentals of Car Design & Packaging. ISBN: 978-1-9334-9237-7.

Schindler Maik. (2019). Konstruktion von auf die Anthropometrie des Menschen parametrisierten Einstiegs-konfigurationen am MEPS.

# INSAA - Insassensimulation in automatisierten Automobilen

Martin Fleischer

Mit steigender Automation der Fahraufgabe werden die Fahrer\*innen zunehmend zu Passagieren im eigenen Fahrzeug. Damit müssen auch die digitalen Werkzeuge der Innenraumgestaltung weiterentwickelt werden. Im Rahmen des Projekts INSAA „lern-te“ ein Menschmodell das Fahren ohne Fahraufgabe und die Fahrzeugübernahme aus fahrfremden Tätigkeiten heraus.

## Projektziele

Das Konsortium, bestehend aus der Human Solutions GmbH, der Simi Reality Motion Systems GmbH, dem Lehrstuhl für Ergonomie der Technischen Universität München und zahlreichen assoziierten Partnern, verfolgte zwei Kernziele:

### 1. Ersatz für PC-Man

Das Messverfahren PC-Man wurde zusammen mit RAMSIS entwickelt, um Haltungen von Personen zu messen und in das digitale Menschmodell zu übertragen. Da das Verfahren sehr zeitaufwändig ist, sollte ein zeitgemäßer Ersatz mit dem Partner Simi geschaffen werden.

### 2. RAMSIS kann fahrfremde Haltungen simulieren

RAMSIS kann in seiner ursprünglichen Form vor allem die Fahrerhaltung und gewisse Nebentätigkeiten abbilden. Im Rahmen von INSAA sollten zusätzlich fahrfremde Haltungen in RAMSIS implementiert werden.

## Hintergrund

Die Automatisierung der Fahraufgabe in PKW und LKW ist schon seit längerer Zeit Gegenstand von Forschung und Entwicklung. In den SAE-Automationsleveln 3 und höher ist es der/dem Fahrer\*in erlaubt sogenannten fahrfremden Tätigkeiten (z.B. Lesen) nachzugehen. Diese Veränderung erzeugt neue Implikationen für die Gestaltung des Fahrzeuginnenraums rund um den Fahrerarbeitsplatz. Das verändert wiederum die Anforderungen an das digitale Menschmodell RAMSIS. Das existierende RAM-

SIS-Haltungsmodell ist für die primäre Tätigkeit des Fahrens entwickelt worden (Seidl, 1994) und eignet sich nur bedingt für andere Tätigkeiten.

## Versuche

Im Rahmen des Projektes INSAA wurden drei Versuche durchgeführt:

1. Fleischer und Chen (2020): Fahrfremde Tätigkeiten und deren Haltungen
2. Fleischer und Wendel (2021): Fahrfremde Tätigkeiten und deren Lehnenneigungswinkel
3. Wirsching und Fleischer (2022): Vermessung fahrfremder Haltungen

## Fahrfremde Tätigkeiten und deren Haltungen

In der ersten Studie wurde an 25 Proband\*innen die Korrelation zwischen der ausgeführten Tätigkeit und der dazu eingenommenen Haltung untersucht (Fleischer & Chen, 2020). Den teilnehmenden Personen wurden zwei verschiedene Fahrzeugaufbauten zur Verfügung gestellt, die einmal ein reguläres Fahrzeug und ein Fahrzeug mit wegklappbaren Pedalen und Lenkrad darstellen.

## Die Ergebnisse zeigten folgende Kernerkenntnisse:

1. Fahrfremde Tätigkeiten werden in konventionellen Haltungen durchgeführt. Ausladende Haltungen sind selten.
2. Vorhandener Platz wird genutzt. Vor allem ausladende Haltungen kommen nur bei deutlich erhöhtem Platz vor.
3. Die Haltung der Hände korreliert am stärksten mit den ausgeführten Tätigkeiten. Da die meisten Tätigkeiten einen Gegenstand involvieren, sollte für eine Fahrerzustandsüberwachung primär auf die Hände geachtet werden.

## Fahrfremde Tätigkeiten und deren Lehnenneigungswinkel

Um zu definieren, welche Lehnenneigung für die Ausführung fahrfremder Tätigkeiten präferiert wird, wurde eine Studie mit 30 Proband\*innen durchgeführt (Fleischer & Wendel, 2021). Dazu wurden die Personen gebeten bestimmte fahrfremde Tätigkeiten auszuführen und sich die Lehnenneigung einzustellen.

Alle Tätigkeiten, die einen Gegenstand benötigen, wurden in aufrechter Lehnenneigung zwischen 25° und 30° zur Vertikalen durchgeführt. Lediglich die entspannte Haltung wird primär um 40° Lehnenneigung durchgeführt. Allerdings treten Winkel zwischen 60° und 70° gehäuft auf.

## Vermessung fahrfremder Haltungen

Um Daten für die Modellierung der fahrfremden Haltungen zu sammeln, wurden 150 Proband\*innen eingeladen (Wirsching & Fleischer, 2022). Sie wurden angewiesen die häufigsten Haltungen aus der ersten Vorstudie durchzuführen. Diese Haltungen wurden mit dem System von Simi vermessen. Anschließend wurden die Aufnahmen und Daten von Simi und Human Solutions weiterverarbeitet. Es wurde eine Schnittstelle zwischen dem Motion Capturing System von Simi und dem Menschmodell RAMSIS geschaffen.

So konnten insgesamt 191 neue Haltungsmodelle generiert werden, die die relevantesten Tätigkeiten repräsentieren und in naher Zukunft von Human Solutions den Nutzer\*innen zur Verfügung gestellt werden. Gleichzeitig konnte ein automatisierter Workflow zur Generierung neuer Modelle für die Zukunft geschaffen werden. Dies ermöglicht eine Erweiterung der Funktionsumfänge des RAMSIS mit stark reduziertem Aufwand.

## Danksagung

Das Konsortium dankt dem BMBF, dem DLR und den assoziierten Partnern Audi AG, BMW Group AG, Ford Motor Company, MAN Truck & Bus SE, Dr. Ing. h.c. F. Porsche AG, RECARO Aircraft Seating GmbH & Co. KG, Volkswagen AG und ZF Friedrichshafen AG für Förderung, Unterstützung und Mitarbeit über die gesamte Projektlaufzeit.

## Literatur

Fleischer, M. & Chen, S. (2020). How Do We Sit When Our Car Drives for Us? In V. G. Duffy (Hrsg.), Digital Human Modeling and Applications in Health, Safety, Ergonomics and Risk Management. Posture, Motion and Health (Lecture Notes in Computer Science, Bd. 12198, S. 33–49). Cham: Springer International Publishing. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-49904-4\\_3](https://doi.org/10.1007/978-3-030-49904-4_3)

Fleischer, M. & Wendel, N. (2021). Desirable Backrest Angles in Automated Cars. In C. Stephanidis, M. Antona & S. Ntoa (Eds.), HCI International 2021 - Late Breaking Posters. 23rd HCI International Conference, HCII 2021, Virtual Event, July 24–29, 2021, Proceedings, Part I (Springer eBook Collection, vol. 1498, 1st ed., vol. 1498, S. 521–526). Cham: Springer International Publishing; Imprint Springer. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-90176-9\\_67](https://doi.org/10.1007/978-3-030-90176-9_67)

Seidl, A. (1994). Das Menschmodell RAMSIS: Analyse, Synthese und Simulation dreidimensionaler Körperhaltungen des Menschen. Dissertation. Technische Universität München, München.

Wirsching, H.-J. & Fleischer, M. (2022). Tool Development for Ergonomic Design of Automated Vehicles. In N. L. Black, W. P. Neumann & I. Noy (Eds.), Proceedings of the 21st Congress of the International Ergonomics Association (IEA 2021). Volume V: Methods & Approaches (Springer eBook Collection, vol. 223, 1st ed., vol. 223, S. 439–446). Cham: Springer International Publishing; Imprint Springer. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-74614-8\\_56](https://doi.org/10.1007/978-3-030-74614-8_56)



# Guidelines für den Einsatz von Exoskeletten an gewerblichen Arbeitsplätzen

Christina Harbauer

Exoskelette können als körpergetragene Assistenzsysteme definiert werden, die die menschliche Bewegung mechanisch unterstützen. Es existieren bereits einige Labor- und Feldstudien zu den besten Einsatzszenarien dieser Systeme, sowie zu deren Akzeptanz, z. B. Schmauder, Gröllich, und Kamusella (2019), Looze, Vries, Krause, und Baltrusch (2021), Ralfs, Hoffmann, und Weidner (2022).

Die Erkenntnisse aus diesen Studien sind für Unternehmen, die Exoskelette neu in ihre Arbeitsprozesse integrieren wollen, häufig schwer in die Praxis umzusetzen aufgrund eines hohen Abstraktionsgrades. Zudem erschwert der äußerst dynamische internationale Exoskelett-Markt den Überblick und die Übertragbarkeit der Erkenntnisse auf neue Modelle. Dies führte in der Vergangenheit zu wiederholten Fehleinsätzen von Exoskeletten an Arbeitsplätzen, sowie zu einer geringen Akzeptanz der Systeme in der Belegschaft.

Aus diesem Grund wurde der Lehrstuhl für Ergonomie 2019 von der KME (Kompetenzzentrum Mittelstand GmbH) für ein Projekt zur Erstellung von Guidelines für den Einsatz von Exoskeletten an gewerblichen Arbeitsplätzen – zur Vermeidung von Fehleinsatz und für langfristige Akzeptanz – beauftragt.

Diese Guidelines wurden in enger Zusammenarbeit mit Anwendungsunternehmen und Experten aus der Wirtschaft erstellt. Sie umfassen einen Prozess, welcher bei der Potentialanalyse der Arbeitsplätze im Betrieb beginnt und bis hin zur technischorganisatorischen Einführung der Systeme in den Arbeitsprozess reicht, inklusive einer mehrwöchigen Testphase. Zentrale Aspekte sind hierbei der frühzeitige Einbezug von Belegschaft und zentralen Ansprechpersonen. Die zentralen Punkte des Prozesses sind im Folgenden aufgeführt:

## 1. „Exoskeleton Task Force“:

Bilden eines Teams aus zentralen Abteilungen im Unternehmen bestehend aus Ergonomie, Arbeitssicherheit, Betriebsrat, Betriebsarzt/-ärztin und gegebenenfalls Datenschutz.

**2. Informieren zum Thema Exoskelette – allgemein und zu konkreten Modellen:**  
Schaffen eines Überblicks über den Markt und wichtiger Eigenschaften unterschiedlicher Systeme. Einbezug von Informationen der Berufsgenossenschaften oder der Deutschen gesetzlichen Unfallversicherung.

**3. Arbeitsplatzanalyse zur Definition von Anforderungen an ein geeignetes Exoskelett:**  
Untersuchung der Arbeitsplätze nach den am meisten belasteten Körperteilen und den Zeiteinheiten der entsprechenden Teiltätigkeiten.

4. Auswahl eines Exoskeletts mithilfe einer Entscheidungsmatrix

**5. Optional: Hinzuziehen externer Expertise**  
Unterstützung durch Erfahrungswissen von öffentlichen Institutionen, Verbänden oder neutralen Dienstleistern.

6. Präsentation der Rechercheergebnisse vor dem Betriebsrat

**7. Informationsveranstaltung:**  
Präsentation der ausgewählten Systeme vor der gesamten Belegschaft, zur Motivation und Klärung von Fragen, sowie zur Vermeidung zu hoher bzw. falscher Erwartungen

8. Abfrage des Stimmungsbildes und Genehmigung der Testphase

**9. Testphase:**  
Testen des Exoskeletts mit 3 motivierten Personen, welche ein gutes Ansehen in der Belegschaft haben, über 4 Wochen an 1 Arbeitsplatz mit möglichst geringem Aufwand für die Testpersonen

10. Persönliches Feedbackgespräch oder offene Diskussionsrunde

11. Dokumentation und weitere Schritte

Dieser Prozess wurde in drei mittelständischen Unternehmen mit drei Exoskeletten auf Praxistauglichkeit überprüft. Die wichtigsten Erkenntnisse dieser Praxistests in Bezug auf die Einführung von Exoskeletten in gewerbliche Arbeitsplätze sind:

Bei einem falschen Umgang mit den Exoskeletten, Fehlkommunikation innerhalb des Betriebs oder Missgeschicken bei der Organisation einer Testphase kann das Thema „Exoskelett“ in der Belegschaft dauerhaft negativ geprägt sein, sodass weitere Versuche nicht angenommen werden. Es gibt daher gegebenenfalls nur einen Versuch, ein solches System erfolgreich einzuführen. Entsprechend sollte dieser genau geplant, die Auswahl an Arbeitsplätzen und Exoskeletten gut durchdacht und mögliche technische bzw. organisatorische Anpassungen der Arbeitsplätze durchgehend geprüft sein.

Gegenüber den Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern sollte das Unternehmen abteilungsübergreifend positiv dem Einsatz von Exoskeletten eingestellt sein und die Motivation dahinter klar kommuniziert werden: Gesunderhaltung bis ins Alter und nicht Überwachung der Leistung oder Produktivitätssteigerung.

Organisatorische Faktoren sind für eine hohe Nutzungsmotivation und Akzeptanz entscheidend. Viele Arbeitsplätze zeigen ein relativ breites Spektrum an Bewegungen auf, entsprechend eignen sich die derzeit am Markt erhältlichen Systeme eher für einen blockweisen Einsatz. Problematisch dabei ist, dass Exoskelette nur akzeptiert werden, wenn sie bei einem Großteil der Arbeit nützlich sind – mit der Ausnahme, dass eine direkte Verminderung körperlicher Beschwerden wahrgenommen werden kann. Zudem sind kurze Wege und ein geringer Aufwand bei der Nutzung der Systeme, sowie ausreichend Zeit und intensive Betreuung beim Einlernen und in den ersten Tagen von großer Bedeutung. Genauso spielt ein gutes Betriebsklima sowie eine Offenheit für neue Technologien am Arbeitsplatz eine entscheidende Rolle für eine bessere Akzeptanz.

Aufgrund der Komplexität des Themas und dem sehr dynamischen Markt benötigen Unternehmen, welche sich neu mit Exoskeletten befassen Unterstützung durch Verbände, öffentliche Institutionen und Beratungsstellen.

Zusammenfassend erwiesen sich die entwickelten Guidelines als praxistauglich und für mittelständische Unternehmen umsetzbar, wodurch sie zukünftig maßgeblich zu einem verbesserten Einsatz von Exoskeletten in der Praxis führen können. Sie unterstützen Unternehmen dabei, Fehler bei der Einführung von Exoskeletten zu vermeiden und ihre langfristige Akzeptanz bei der Belegschaft zu fördern.

## Literatur

Looze, M. de, Vries, A. de, Krause, F. & Baltrusch, S. Three-Stage Evaluation for Defining the Potential of an Industrial Exoskeleton in a Specific Job. Vortrag anlässlich Congress of the International Ergonomics Association. Retrieved from [https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-030-74614-8\\_28](https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-030-74614-8_28)

Ralfs, L., Hoffmann, N. & Weidner, R. (2022). Approach of a Decision Support Matrix for the Implementation of Exoskeletons in Industrial Workplaces. In T. Schüppstuhl, K. Tracht & A. Raatz (Hrsg.), *Annals of Scientific Society for Assembly, Handling and Industrial Robotics 2021* (S. 165–176). Cham: Springer International Publishing. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-74032-0\\_14](https://doi.org/10.1007/978-3-030-74032-0_14)

Schmauder, M., Gröllich, D. & Kamusella, C. (2019). Einsatzmöglichkeiten und Grenzen von Exoskeletten. In Gesellschaft für Arbeitswissenschaft e.V. (GfA) (Hrsg.), *Dokumentation der Herbstkonferenz der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft e.V. ERKENNEN. LERNEN. VERÄNDERN Die Arbeit des Menschen in der digital vernetzten Welt*. Dortmund: GfA-Press.

# Projektabschluss COVID19LL: Gute Lösungen für die Zukunft nutzen – COVID-19 Lessons Learned

Birte Emmermann, Jovina Kinner und Caroline Adam



Die pandemische Ausbreitung des Coronavirus SARS-CoV-2 und die damit einhergehenden Maßnahmen übten in kurzer Zeit tiefgreifenden Einfluss auf das gesamte gesellschaftliche Leben aus, der auch in unserer Arbeitswelt deutlich spürbar war. Viele Unternehmen waren dazu gezwungen weitreichende Anpassungen vorzunehmen.

Das Ziel des Forschungsvorhabens COVID-19 Lessons Learned war es, den Erkenntnisgewinn hinsichtlich innovativer Arbeitsformen, die sich aus den Maßnahmen zur Eindämmung der COVID-19 Pandemie ergeben haben, überregional und in unterschiedlichen Branchen für eine langfristige Optimierung von Arbeitssystemen auch nach Ende der Pandemie nutzbar zu machen.

Das Projekt wurde im Zeitraum vom 01.06.2020 bis zum 31.12.2021 in einer Kooperation des Lehrstuhls für Ergonomie, des Friedrich Schiedel-Lehrstuhls für Wirtschaftssoziologie und des Lehrstuhls für European and Global Governance der TUM sowie dem Institut für Arbeitswissenschaft der RWTH Aachen und der Professur für Arbeitswissenschaft der TU Dresden durchgeführt. Betreut wurde das Forschungsprojekt vom Projekträger Karlsruhe (PTKA).

Die Bearbeitung erfolgte in zwei Phasen. Phase I diente dazu, Einblicke in den Umgang mit der COVID-19-Pandemie in Unternehmen zu sammeln. In Phase II wurden die in Phase I gewonnenen Best Practices hinsichtlich ihrer Sinnhaftigkeit bewertet.

Phase I startete mit insgesamt 52 Interviews in 34 Unternehmen in allen drei Wirtschaftssektoren (Primär-, Sekundär- und Tertiärsektor) und drei Regionen (Bayern, NRW und Sachsen), um möglichst umfangreiche repräsentative Daten zu sammeln. Dabei wurden anhand des Mensch-Technik-Organisations-Konzepts Erkenntnisse und Erfolgsfaktoren zu Best Practices der Pandemiebewältigung ermittelt und aufbereitet. Diese beschreiben Maßnahmen, die sich in der Krisensituation der CO-

VID-19-Pandemie in den Unternehmen bewährt haben. Zusammengefasst konzentrieren sich die

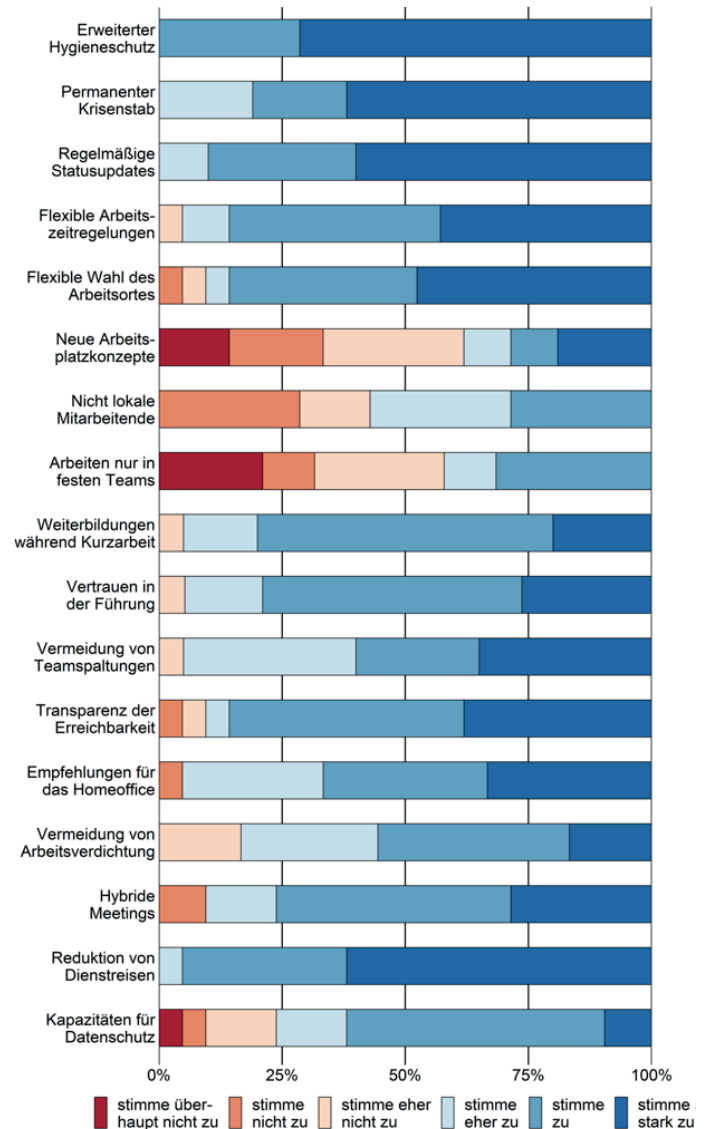


Abbildung 1: Einschätzungen zur Sinnhaftigkeit der Maßnahmen im Kontext der Pandemiebewältigung

Best Practices überwiegend auf Anpassungen von **Arbeitsort** und **Arbeitszeit**, flankiert von Hygienemaßnahmen. Eine vollständige Darstellung der Best Practices finden Sie im Open Science Framework (siehe QR-Code).

Die identifizierten und umgesetzten Best Practices unterscheiden sich hauptsächlich in Abhängigkeit

der Notwendigkeit der physischen Präsenz am Arbeitsplatz. So konnten vier konkrete Szenarien herausgearbeitet werden: Das ortsgebundene Arbeiten, das ortsungebundene Arbeiten, das teilweise ortsgebundene Arbeiten sowie die operative Krisenbewältigung.

In Phase II des Forschungsvorhabens wurden die erarbeiteten Best Practices hinsichtlich ihrer Sinnhaftigkeit sowohl in der Pandemiebewältigung als auch für eine Arbeitswelt außerhalb krisenbedingter Herausforderung (siehe Abbildung) evaluiert.

In diesem Zuge nahmen 21 ExpertInnen aus Unternehmen, Arbeitgeber- und Arbeitnehmerverbänden und der Wissenschaft an einer zweistufigen, online-gestützten Delphi-Studie teil. Zunächst bewerteten sie 17 Projektionen hinsichtlich ihrer Sinnhaftigkeit und der Umsetzung im eigenen Unternehmen – einerseits in Bezug auf die Corona-Pandemie, andererseits auf eine Arbeitswelt außerhalb einer Krisensituation. Anschließend (in der zweiten Runde) konnten die eigenen Urteile nach Bekanntgabe der Einstufung und den Kommentaren der anderen Teilnehmenden modifiziert werden.

Die Abbildung zeigt die ExpertInnen-Bewertungen der Projektionen hinsichtlich ihres Beitrags zur Bewältigung der COVID-19 Pandemie. Einige der als stark positiv bewerteten Maßnahmen wurden ebenfalls für die Zeit nach der Krise als sinnvoll eingeschätzt. Dazu gehören zum Beispiel die Flexibilisierung der Arbeitszeit und des Arbeitsorts sowie die damit einhergehenden Veränderungen in der digitalen Führungsweise, den hybriden Arbeitsformen und der Reduktion von Dienstreisen.

Maßnahmen wie ein erweiterter Hygieneschutz oder ein Krisenstab wurden insbesondere für die Bewältigung der Corona-Pandemie als hilfreich empfunden, für die Zeit nach der Pandemie allerdings eher abgelehnt. So sollten zudem das Arbeiten in festen, kleinen Teams, mit dem Ziel der Kontaktreduzierung, auf die Zeit der Pandemie begrenzt werden. Basierend auf diesen Ergebnissen zeigt sich jedoch, dass die COVID-19 Pandemie einen weitreichenden Einfluss auf die Entwicklung

unserer Arbeitswelt hatte und auch zukünftig zumindest teilweise haben wird.

Im Rahmen dieses Forschungsvorhabens stellte sich zudem heraus, dass das Thema Resilienz ausgesprochen wichtig für die Wettbewerbsfähigkeit von Unternehmen in Krisenzeiten ist. Faktoren wie die strategische Ausrichtung, Flexibilität und Anpassungsfähigkeit sowie Digitalkompetenz und Selbstorganisationsfähigkeit erwiesen sich als besonders bedeutsam im Umgang mit der Pandemie. Die erarbeiteten Beiträge sollen Unternehmen dazu befähigen, ihre Resilienz erhöhen zu können und somit auch ihre Wettbewerbsfähigkeit zu steigern.

In diesem Sinne sollen die Ergebnisse über verschiedene Kanäle verbreitet werden, wie beispielsweise über Newsletterbeiträge oder Verbandszeitschriften sowie in Lehrveranstaltungen der beteiligten Universitäten.



# @CITY–Automated Cars and Intelligent Traffic in the City Abschluss

Alexander Feierle, Niklas Grabbe, Tobias Hecht



## Motivation

Im urbanen Verkehr kommt es immer wieder zu herausfordernden Situationen, etwa bei in zweiter Reihe parkenden Fahrzeugen und durch die Vielzahl an unterschiedlichen Verkehrsteilnehmern (Fußgänger, Radfahrern, Straßenbahn und Bus) und ihr individuelles Verhalten in komplexen Situation. Automatisiertes Fahren wird erfolgreich die Stadt erobern, wenn gezeigt werden kann, dass neben Knotenpunkten mit Kreuzungen und Kreisverkehr auch solche herausfordernden Verkehrssituationen beherrscht werden. Bei der Entwicklung eines sicheren Systems zur Fahrzeugführung auf urbanen Straßen sind die topographischen und baulichen Randbedingungen sowie die auftretende Interaktion mit anderen Verkehrsteilnehmern zu berücksichtigen. Ausgehend von einem evolutionären Ansatz stehen wie beim Fahren über Knotenpunkte auch hier weiterhin der Fahrer und die benutzergerechte Mensch-Fahrzeug-Schnittstelle im Zentrum.

## Zielsetzung und Projektstruktur

Automatisiertes Fahren wird als eine zentrale Säule des zukünftigen Stadtverkehrs betrachtet. Dafür schaffen die Projekte @CITY und @CITY-AF Grundlagen für sicheres, effizientes und komfortables automatisiertes Fahren für den gegenüber Autobahnen deutlich komplexeren urbanen Stadtverkehr. In @CITY wurden in den Teilprojekt 1 (TP1) „Umfelderfassung und Situationsverstehen“, TP2 „Digitale Karte und Lokalisation“ Algorithmen entwickeln, welche das Situationsverstehen und die Eigenlokalisierung anhand hochgenauer digitaler Karten ermöglichen. In TP3 „Konzepte und Pilotanwendungen“ wurde eine Spezifikationsmethodik entwickelt, welche ein partnerübergreifendes Verständnis automatisiertes Fahrscenarien ermöglicht sowie erste Fahrfunktionen und Systemausprägungen prototypisch umgesetzt. Aufbauend auf diesen Ergebnissen wurde in @CITY-AF an der Umsetzung automatisierter Fahrfunktionen für urbane Knotenpunkte (TP5 „Automatisiertes Fahren über urbane Knotenpunkte“) und Verbindungsstraßen (TP6 „Automatisiertes Fahren auf urbanen Straßen“) als auch



Abbildung 1: Versuchsträger auf der Teststrecke mit Demonstration der Identifikation und Prädiktion von Fußgängern und Radfahrern in Interaktionssituationen an einem Zebrastreifen bzw. auf einer Verbindungsstraße

die „Mensch-Fahrzeug-Interaktion“ (TP4) und die „Interaktion mit schwächeren Verkehrsteilnehmern“ (TP7) geforscht.

Die Beteiligung des Lehrstuhls für Ergonomie lag dabei in TP 3 „Konzepte und Pilotanwendungen“, TP 4 „Mensch-Fahrzeug Interaktion“ und TP 7 „Interaktion mit schwächeren Verkehrsteilnehmern“.

Insgesamt bestand das Projektkonsortium aus 15 Partnern, bestehend aus Automobilherstellern, Automobilzulieferern, einem Forschungsinstitut und verschiedenen Universitäten. Von Seiten der TU München wirkten der Lehrstuhl für Ergonomie und der Lehrstuhl für Verkehrstechnik in den beiden Projekten mit.

### Forschungsaktivitäten

Der Schwerpunkt des Lehrstuhls für Ergonomie lag auf der Erhebung und Analyse empirischer Daten. Dabei wurden die folgenden Forschungsfragen adressiert:

- Welche internen und externen HMI-Konzepte und Elemente unterstützen effizientes, komfortables und sicheres automatisiertes Fahren?
- Wie sollte die externe Kommunikation automatisierter Fahrzeuge mit Fußgängern gestaltet sein, um effizientes, komfortables und sicheres automatisiertes Fahren zu unterstützen?

Um diese Fragestellungen zu beantworten wurden während der Projektlaufzeit 18 Fahrsimulatorstudien (N = 714), eine Online-Umfrage (N = 200), zwei vernetzte Simulatorstudien (N = 66), vier Fußgängerstudien (N = 124) sowie drei Verkehrsbeobachtungen durch den Lehrstuhl für Ergonomie durchgeführt. Um die Ergebnisse über das Projektkonsortium hinaus zugänglich zu machen, wurden diese in 7 Konferenzartikeln und 12 Journalartikeln publiziert, wobei ein Artikel mit einem Best Paper Award ausgezeichnet wurde.

### Abschluss

Im Juni 2022 fand die Abschlusspräsentation der beiden durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz geförderten Verbundprojekte @CITY und @CITY-AF auf dem Testing Center in Aldenhoven statt. Auf dem Testgelände wurden in Fahrdemos mit zehn Versuchsfahrzeugen vielfältige Szenarien des automatisierten Stadtverkehrs demonstriert. So wurden beispielsweise verschiedene Interaktionssituationen mit Fußgängern und Radfahrern gezeigt (s. Abbildung 1). Dabei sind die entwickelten Systeme etwa in der Lage, das Verhalten dieser Verkehrsteilnehmer unter Berücksichtigung von Kopf- und Körperhaltung, Gesten sowie aufgrund ihrer Bewegungsrichtung zu prädictieren und ihr eigenes Fahrverhalten entsprechend anzupassen. Fahrzeugsensorik fusioniert mit der hochaufgelösten, digitalen Karte ermöglicht den Fahrzeugen eine robuste Eigenlokalisierung. An den Ampel- und Verkehrszeichengeregelten Kreuzungen, im Kreisverkehr, beim Passieren einer Engstelle und an der Bushaltestelle erlebten die Gäste automatisierte Fahrfunktionen unter Berücksichtigung anderer Verkehrsteilnehmer. Auf rund 1.200 Quadratmetern Ausstellungsfläche erwarteten den Besuchern neben statischen Fahrzeugdemos sowie Video-, Poster- und Bildschirmpräsentationen insbesondere auch interaktive Virtual Reality-Demonstrationen und Simulationen mit dem Fokus auf der Mensch-Fahrzeug-Interaktion sowohl intern als Passagier als auch extern als Verkehrsteilnehmer. Der Lehrstuhl für Ergonomie präsentierte hier seine Forschungen der letzten vier Jahre und definierte Schlüsselbotschaften bezüglich der Gestaltung der internen und externen Mensch-Fahrzeug-Interaktion im zukünftigen Stadtverkehr. Als Höhepunkt konnten die Gäste ein entwickeltes externes und dynamisches Human-Machine Interface (HMI) zur Unterstützung der Kommunikation in Interaktionen zwischen einem automatisierten Fahrzeug, manuell gesteuertem Fahrzeug sowie einem Fußgänger aus der Perspektive des Fußgängers in einer Virtual Reality-Simulation erleben (s. Abbildung 2).

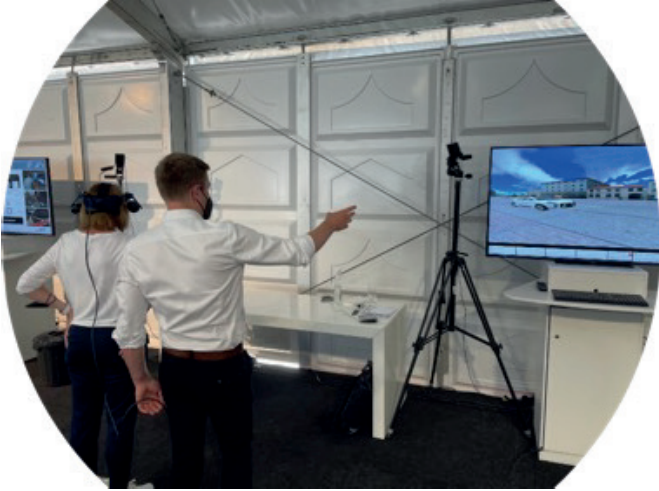


Abbildung 2: Virtual Reality-Simulation des externen und dynamischen HMIs zur Unterstützung der Kommunikation in Interaktionen zwischen einem automatisierten Fahrzeug, manuell gesteuerten Fahrzeug und einem Fußgänger

## HMI Framework

Bisherige Forschungen konzentrierten sich vorwiegend auf einen HMI-Aspekt und boten kein ganzheitliches Verständnis von intern und extern kommunizierenden HMI-Lösungen. Um eine ganzheitliche HMI-Lösung für die Projekte @CITY und @CITY-AF zu entwickeln, ist es für eine erfolgreiche Kommunikation und Interaktion entscheidend, die Synchronisierung und Konsistenz verschiedener HMIs untereinander zu berücksichtigen.

Darüber hinaus müssen HMI-Konzepte kontext- und zeitbasiert kommunizieren, um Informationen erfolgreich an den Adressaten zu kommunizieren. Dazu wurde ein HMI-Framework entwickelt, welches sowohl die unterschiedlichen HMI-Einflussfaktoren als auch die Zusammenhänge zwischen den einzelnen HMI-Typen berücksichtigt. Bengler, Rettenmaier, Fritz & Feierle (2020) zielen auf die Einführung eines HMI-Frameworks ab, das für die Koordinierung verschiedener Forschungsarbeiten und Entwicklungsaktivitäten genutzt werden kann. Es berücksichtigt sowohl die unterschiedlichen HMI-Einflussfaktoren als auch die Zusammenhänge zwischen den einzelnen HMI-Typen.

Abbildung 3 zeigt den Aufbau des HMI-Frameworks. Es beschreibt die Wechselwirkung zwischen Einflussfaktoren (statische Infrastruktur, dynamische Elemente, Automation, Adressaten) und den HMI-Typen des automatisierten Fahrzeugs (AV) in einer bestimmten Situation. Im unteren Teil des HMI-Frameworks finden sich die fünf verschiedenen HMI-Typen, welche bei der Kommunikation eines AV mit seinen Interaktionspartnern verwendet werden.

Das dynamic HMI (dHMI) ist sowohl Teil der externen als auch der internen Kommunikation. Es kommuniziert mit dem Fahrgast des AV und mit umgebenden Verkehrsteilnehmern über die konventionelle Fahrdynamik oder über speziell entworfene Fahrtrajektorien. Die Gruppe der intern kommunizierenden HMIs wird neben dem dHMI durch das vehicle HMI (vHMI), das infotainment HMI (iHMI) und das automation HMI (aHMI) ergänzt. Das vHMI gibt Informationen über den Fahrzeugzustand wieder, während das iHMI zusätzliche Schnittstellen für fahrfremde Tätigkeiten bietet. Das aHMI umfasst die Übermittlung aller relevanten Informationen über den Systemstatus der Automation sowie über die aktuellen und zukünftigen Aktivitäten des Automationssystems. Das external HMI (eHMI) ist Teil der externen Kommunikation und kommuniziert mit umgebenden Verkehrsteilnehmer unter anderem über Anzeigen auf der Fahrzeugaußenhaut.



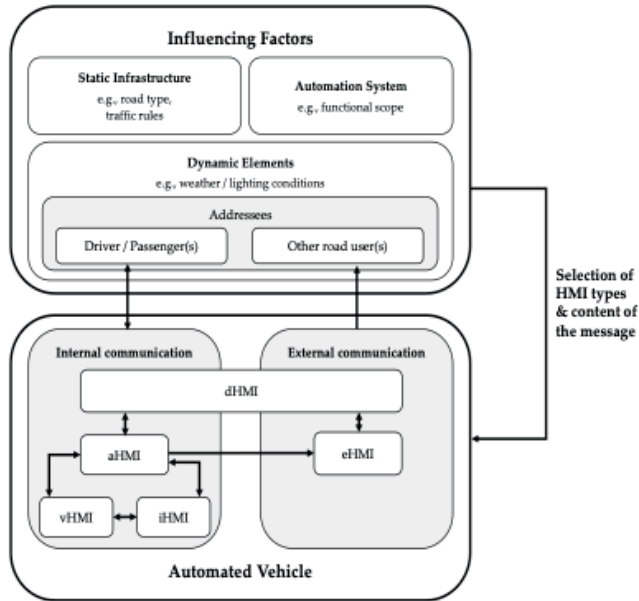


Abbildung 3: HMI-Framework bestehend aus Faktoren, die die Ausprägung und die Auswahl der HMI Elemente beeinflussen (oberer Teil des Modells) und aus den verschiedenen HMI Typen selbst (unterer Teil des Modells)

### Interne Kommunikation – aHMI

Im Gegensatz zu teilautomatisierten Systemen ermöglicht SAE Level 3 oder höher dem Fahrer erstmals, sich komplett von der Fahraufgabe zu lösen. Dies versetzt Nutzer in die Lage, sich mit fahrfremden Tätigkeiten (FFT) zu beschäftigen, wenn die Automatisierung aktiv ist. Mit Hilfe einer Onlineumfrage (N = 200) konnte gezeigt werden, dass die gewählte FFT vom Reisezweck, der Reisedauer, Arbeitsmöglichkeiten im Fahrzeug, sowie der Anzahl und Alter der Reisenden die Auswahl beeinflusst wird. Zudem führt die Zuwendung zu einer visuellen FFT zu einer geringeren Bedeutung von Informationen zu Geschwindigkeit, Manövern und erkannte Umgebungsobjekte. Besonders die verfügbare Zeit im Automationsmodus und der Systemstatus bleibt jedoch von großer Bedeutung (Hecht, Darlagiannis & Bengler, 2020).

Um zu ermitteln, welcher Informationsbedarf während der urbanen SAE Level 4 automatisierten Fahrt

besteht und wie dieser bei Ausführung einer visuellen FFT kommuniziert werden sollte, wurden zwei Fahrsimulatorstudien (N = 40, N = 30) durchgeführt. Dabei zeigte sich, dass sich Insassen Informationen zu Systemstatus, Navigationsinformationen, die aktuelle Geschwindigkeit, das Geschwindigkeitslimit, das Manöver sowie den Grund für das Manöver wünschen. Hinsichtlich des Informationsbedarfs resultierten keine Unterschiede in Abhängigkeit der Erfahrung der Probanden mit automatisiertem Fahren oder ob sie einer FFT während der automatisierten Fahrt nachgingen. (Feierle, Danner, Steininger & Bengler, 2020)

In der darauf aufbauenden Fahrsimulatorstudie wurde untersucht, wie diese Informationen an den Insassen kommuniziert werden sollten. Dazu wurde ein Baselinekonzept bestehend aus einem Kombi-display und einer LED-Leiste umgesetzt. Diese Baseline wurde mit zwei Konzepten verglichen, welche das Baselinekonzept um Sprachausgaben oder einer Notificationanzeige auf dem mobilen Endgerät für die Nutzung der FFT erweitert wurden. Dabei zeigte sich eine klare Präferenz für das Konzept mit Sprachausgaben bei einer visuellen FFT. Allerdings zeigten sich hierbei auch individuelle Unterschiede, welche den zukünftigen Bedarf nach nutzeradaptiven HMI-Lösungen aufzeigten.

Beim SAE Level 4 automatisierten Fahren sind Übernahmen durch den Fahrer nach SAE J 3016 nicht zwangsläufig notwendig, da sich das Fahrzeug im Falle einer Systemgrenze über ein Minimal Risk Maneuver selbstständig in einen sicheren Zustand überführen kann. Dennoch können Übernahme-situationen auftreten, bei denen Insassen mit ausreichendem zeitlichen Vorlauf zu Übernahme aufgefordert werden. Hierbei könnte LED-Anzeigen ein großes Potenzial zukommen, um den Systemstatus und die Fahreraufgabe zu kommunizieren, da diese sich auch bei visueller fahrfremder Betätigung gut peripher wahrnehmen lassen (Bengler, Rettenmaier, Fritz & Feierle, 2020). Hierzu wurden zwei LED-Konzepte, welche entweder in der Scheibenwurzel der Windschutzscheibe oder am Lenkradkranz angebracht waren, in einer Fahrsimulatorstudie (N = 40)

untersucht. Beide LED-Anzeigen führten zur korrekten Reaktion des Insassen und gewährleisteten die notwendige Sicherheit sowohl im Falle einer Übernahme-situation als auch bei der Ausführung eines Minimal Risk Manuevers. Zwischen den beiden LED-Positionen zeigten sich im Hinblick auf die Fahrerreaktion, das Übernahme- oder Blickverhalten keine Unterschiede. (Feierle, Holderied & Bengler, 2020)

Um den Informationsbedarf hinsichtlich Systemstatus und verbleibender automatisierter Fahrzeit geräteunabhängig und unterbrechungsfrei zu adressieren, wurden iterativ in zwei Fahrsimulatorstudien (N = 21 und N = 32) Konzepte entwickelt und evaluiert. Diese basieren auf ambienter Beleuchtung mittels einer in der Scheibenwurzel der Windschutzscheibe angebrachten LED-Leiste (s. Abbildung 4). Es konnte gezeigt werden, dass durch die Hinzunahme des ambienten Konzepts der subjektive Workload sinkt und die Usability signifikant erhöht wird.



Abbildung 4: Farbcodierte LED-Leiste zur Anzeige der verbleibenden automatisierten Fahrzeit.

Da die Angabe einer verbleibenden automatisierten Fahrtzeit durch sich verändernde Verkehrs- und Wetterbedingungen einer gewissen Unschärfe unterliegt, wurde in einer weiteren Studie ein Konzept entwickelt, diese Unsicherheit an Nutzer zu kommunizieren. Es wurde ein Konzept erstellt, welches die Konfidenz dieser Restzeitangabe in Form des bekannten vierstufigen Handy-Empfangssymbol anzeigt. Dieses wurde in das Kombiinstrument integriert und mit einem Basis-HMI ohne Konfidenzanzeige verglichen.

Nach Auswertung dieser Fahrsimulatorstudie mit 32 Probanden lässt sich schlussfolgern, dass das Konzept keinen Effekt auf die erfassten Metriken Usability, Frustration, Vertrauen und Akzeptanz zeigt. Im direkten Vergleich wurden das Konfidenzsymbol von lediglich etwa 1/3 der Probanden gegenüber dem Baseline-HMI bevorzugt. Als Gründe hierfür wurde der geringe Mehrwert des Symbols bspw. für die Planung der fahrfremden Tätigkeit und dessen schwierige Interpretation genannt (Hecht, Danner, Feierle & Bengler, 2020).

Beim SAE Level 2 automatisierten Fahren muss der Fahrer das Fahrzeugverhalten und die Fahrumgebung überwachen. Im Falle eines stillen Systemfehlers, der durch den Fahrer selbstständig erkannt werden muss oder im Falle einer Übernahmeaufforderung an Systemgrenzen muss der Fahrer unmittelbar die Fahraufgabe übernehmen können. Im Gegensatz zu Autobahnen, wo derartige Systeme bereits zugelassen sind, sind Fahrer im urbanen Raum mit einer deutlich höheren Komplexität konfrontiert. Hierfür könnte ein Augmented Reality Head-Up Display (ARHUD) den Fahrer unterstützen, welches Informationen direkt in der Fahrumgebung durch eine kontaktanaloge Anzeige darstellt (s. Abbildung 5). In einer Fahrsimulatorstudie (N = 37) zeigte sich ein höheres Systemvertrauen, geringere subjektive Beanspruchung sowie einen erhöhten Blickanteil auf die Fahrumgebung. Diese positive Auswirkung eines ARHUDs konnten auch beim Auftreten von stillen Systemfehlern in einer weiterführenden Fahrsimulatorstudie (N = 52) bestätigt werden. So führte die Verwendung eines ARHUDs zu kürzeren Übernahmezeiten, was wiederum in einer geringeren Unfallrate resultierte.



Abbildung 5: HMI-Konzept bestehend aus ARHUD, LED-Leiste in der Scheibenwurzel und freiprogrammierbaren Kombidisplay.

Aus bisherigen Studien ist bekannt, dass es bei Fahrten mit SAE Level 2 immer wieder zur Vernachlässigung der eigentlich notwendigen Monitoring-Aufgabe kommt und sich Nutzer stattdessen fahrfremden Tätigkeiten zuwenden. Bei einer guten HMI-Gestaltung sind die Gründe hierfür selten Mode Confusion, sondern Langeweile, hoher Unterbrechungsaufwand für die in Level 3 oder 4 ausgeübte fahrfremden Tätigkeit, oder Müdigkeit. Um das Monitoring-Verhalten zu verbessern und somit eine zuverlässige Reaktion auf (stille) Systemfehler zu ermöglichen, wurde ein HMI-Konzept entwickelt, welches Nutzer durch eine Kombination aus kurzen Textnachrichten und Emoticons (angezeigt im HUD) zur fortgesetzten Überwachung motivieren soll. In einer Fahrsimulatorstudie mit 32 Probanden zeigte sich, dass Probanden mit dem entwickelten Informationskonzept eine gleichbleibend hohe Blickzuwendung zur Straße zeigen, wohingegen diese bei Probanden der Baseline-Bedingung aufgrund der Zuwendung zu fahrfremden Tätigkeit abfällt. Im Gegensatz zum positiven Effekt auf die Blickverteilung konnte keine verbesserte Reaktion auf einen stillen Systemfehler beobachtet werden. Probanden bewerteten die im HUD dargestellten Nachrichten in Kombination mit Emoticons bei der anhaltenden Überwachung des Systems insgesamt als positiv und hilfreich (Hecht, Zhou & Bengler, under review).

## Fußgänger und statische Infrastruktur

Im Rahmen der Verkehrsbeobachtungen wurden primär die Kommunikationsmittel, Ablenkung von Fußgängern und das Fußgängerverhalten in Gruppen im heutigen Straßenverkehr untersucht. Es konnte festgestellt werden, dass überwiegend implizit (93%) und wenig explizit (7%) über Gesten kommuniziert wird, Fußgänger häufig durch andere Personen (30%) oder elektronische Medien (13%) abgelenkt sind, und Fußgängergruppen gegenüber einzelnen Fußgängern in der Regel unaufmerksamer und risikobereiter sind, sowie langsamer agieren bzw. reagieren, da sich Fußgänger jeweils auf die anderen in der Gruppe verlassen. Aus diesen Erkenntnissen leitet sich ab, dass ein AV überwiegend implizit statt explizit kommunizieren sollte, externe Kommunikationsmittel eher in seltenen besonderen Fällen nutzen sollte, ein vorsichtigeres und defensiveres Fahrverhalten bei Fußgängergruppen zeigen sollte und die Vorhersage des Fußgängerverhaltens sich maßgeblich an impliziten Faktoren orientieren muss. Zudem sind Konzepte zur Adressierung abgelenkter Fußgänger erforderlich.

Weiterhin fand eine Simulatorstudie zur Untersuchung des Einflusses der Straßenbreite, Fahrzeuggröße und Lückengröße auf die Querungsentscheidung und Querungsgeschwindigkeit in Interaktionen zwischen einem Fußgänger und einem manuellen Fahrzeug statt. Es zeigte sich, dass die Straßenbreite und Lückengröße jeweils einen Effekt hat und somit für das Verhalten des AVs relevant sind. Zudem querte bei einer Time-to-Collision (TTC) von unter 3 Sekunden kein Fußgänger die Fahrbahn.

## Externe Kommunikation – eHMI und dHMI

Zunächst wurde eine Visibility-Studie im Feld durchgeführt um die erforderliche Größe, Inhaltsfarbe und Inhaltsart von externen Displays zu definieren (Rettenmaier, Schulze & Bengler, 2020). Es lässt sich festhalten, dass Displays als eHMI verwendet werden können, da die benötigten Anzeigegrößen die vorhandenen Flächen am Fahrzeug nicht überschreiten. Zudem werden Symbole in größerer Ent-

fernung bzw. besser erkannt als Text. Die Farbwahl hingegen hatte keinen Einfluss auf die menschliche Erfassungsreichweite.

Daran anschließend folgten mehrere Simulatorstudien zur Konzeptentwicklung von eHMI und dHMI in der Interaktion zwischen AV und jeweils menschlichem Fahrzeugführer und Fußgänger. Dabei wurde der Einfluss auf die Verkehrssicherheit sowie Verkehrseffizienz bewertet. Bei der Kommunikation zwischen manuellem Fahrzeugführer und AV sollte sowohl implizit als auch explizit kommuniziert werden. Nach der Kommunikation des Manövers durch das AV sollte dieses nicht mehr geändert werden und der Kommunikationszeitpunkt sollte sich an der Entscheidungsreaktionszeit des menschlichen Fahrers orientieren. (Rettenmaier, Albers & Bengler, 2020; Rettenmaier & Bengler, 2021; Rettenmaier, Dinkel & Bengler, 2021)

Bei der Interaktion zwischen Fußgänger und AV zeigten sich ähnliche Ergebnisse. Das eHMI (s. Abbildung 6) steigert die Effizienz der Interaktion, wohingegen das dHMI (Beschleunigungs- und Bremsvorgänge) primär für die Gewährleistung der Verkehrssicherheit ausreichend ist. Ein lateraler Offset zur Straßenmitte bzw. Straßenrand zeigte allerdings keinen Mehrwert. Insgesamt fühlten sich 93,75% der Probanden durch das eHMI bei der Querungsentscheidung am besten unterstützt

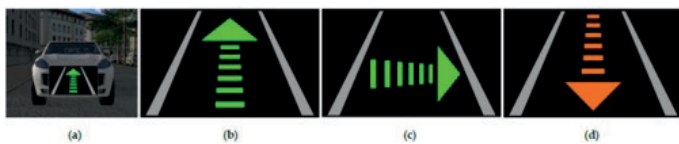


Abbildung 6: eHMI: (a) AV mit aktivem eHMI in der Simulation; (b) manueller Fahrer hat Vorrang; (c) Fußgänger hat Vorrang; (d) AV hat Vorrang

Zusätzlich wurde basierend auf einem Interaktionsmodell zwischen Fußgänger und AV berechnet, dass zur sicheren und effizienten Interaktion bei 30 km/h, die Kommunikation des AVs ab spätestens 26 m Distanz zum Fußgänger beginnen sollte (Rettenmaier & Bengler, 2020). Sollte diese Anforderung aufgrund von technischen Gründen nicht erfüllbar sein, würde

das System destabilisiert und hätte eine Reduktion der Verkehrssicherheit und des Verkehrsflusses zur Folge.

Final wurde der Einfluss mehrerer Interaktionspartner auf die Kommunikation, Sicherheit und Effizienz der Querungssituation untersucht, um die Eignung der entwickelten Kommunikationsstrategien in komplexeren und realitätsnahen Multi-Agentenszenarien zu bewerten. Hierbei zeigte sich, dass die Kommunikation und Sicherheit reduziert ist, da sich 55% der Probanden falsch adressiert fühlten, 11% wiederum tatsächlich fälschlicherweise die Straße betraten jedoch nicht querten, und die kritische TTC von 1.5 Sekunden teils unterschritten wurde, jedoch kein Unfall passierte. Die Effizienz blieb unverändert. Somit ist eine Anpassung der Kommunikationsstrategien in 1:1 Interaktionen beim Aufeinandertreffen von mehreren Interaktionspartnern notwendig. (Hübner, Feierle, Rettenmaier & Bengler, 2022)

In Zukunft ist jedoch genauer zu klären, wann ein eHMI im urbanen automatisierten Verkehr eingesetzt werden sollte und wie es gestaltet sein muss. Hier bedarf es zusätzlich geregelter Standardisierungen sowie kontextabhängiger Lösungen um eine einheitliche und klare Kommunikation gewährleisten und die Komplexität möglicher Interaktionsszenarien abdecken zu können.

Abschließend wurde noch das Potenzial eines Smartphone-basierten Interaktionskonzepts bei Ablenkung von Fußgängern und deren Interaktion mit manuellen Fahrzeugführern im Feld untersucht. Dabei wurden abgelenkte Fußgänger mittels Smartphone abgelenkt und gleichzeitig auf diesem mittels einer Applikation gewarnt, jedoch nicht explizit über das Verhalten des AVs informiert. Das Konzept führte zu einem leichten Sicherheitsgewinn und einem deutlichen Effizienz- und Akzeptanzgewinn. Es lässt sich schlussfolgern, dass ein Smartphone nur nützlich zur gezielten Ansprache abgelenkter Fußgänger ist. Es sollte jedoch nur warnen und die Aufmerksamkeit des Fußgängers wieder zum Verkehr lenken, aber nicht informieren.



Die Kommunikation selbst sollte ausschließlich vom automatisierten Fahrzeug ausgehen.

## Fazit und Ausblick

Im Rahmen von @CITY und @CITY-AF wurden vom LfE und den Partnern im Projekt eine Vielzahl an Studien durchgeführt und so Aspekte der internen und externen Interaktion zukünftiger automatisierter Fahrzeug wissenschaftlich fundiert betrachtet und entsprechende Interaktionskonzepte menschenzentriert erarbeitet. Darüber hinaus bleiben jedoch noch Fragen offen, bis automatisierte Fahrzeuge zum Alltag gehören und sicher und komfortabel mit ihren Insassen und dem umgebenden Verkehr interagieren. Um diesem Ziel näher zu kommen, stellt sich etwa die Frage nach Langzeiteffekten, der Interaktion in komplexen Multiagentenszenarien, sowie der Einbindung automatisierter Fahrzeuge in ein Gesamtmobilitätskonzept, das über Fahrzeuge im Privatbesitz hinausgeht.

## Literatur

- Bengler, K., Rettenmaier, M., Fritz, N. & Feierle, A. (2020). From HMI to HMIs: Towards an HMI Framework for Automated Driving. *Information*, 11 (2).
- Feierle, A., Beller, D. & Bengler, K. (2019). Head-Up Displays in Urban Partially Automated Driving: Effects of Using Augmented Reality \*. In 2019 IEEE Intelligent Transportation Systems Conference (ITSC) (S. 1877-1882). IEEE.
- Feierle, A., Bücherl, F., Hecht, T. & Bengler, K. (2020). Evaluation of Display Concepts for the Instrument Cluster in Urban Automated Driving. In T. Ahram, W. Karwowski, S. Pickl & R. Taiar (Hrsg.), *Human Systems Engineering and Design II. IHSED 2019 (Advances in Intelligent Systems and Computing, Bd. 1026, Bd. 1026, S. 209-215)*. Cham: Springer International Publishing.
- Feierle, A., Danner, S., Steininger, S. & Bengler, K. (2020). Information Needs and Visual Attention during Urban, Highly Automated Driving—An Investigation of Potential Influencing Factors. *Information*, 11 (2).
- Feierle, A., Holderied, M. & Bengler, K. (2020, September - 2020, September). Evaluation of Ambient Light Displays for Requests to Intervene and Minimal Risk Maneuvers in Highly Automated Urban Driving. In 2020 IEEE 23rd International Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC). IEEE.
- Feierle, A., Rettenmaier, M., Zeitlmeir, F. & Bengler, K. (2020). Multi-Vehicle Simulation in Urban Automated Driving: Technical Implementation and Added Benefit. *Information*, 11 (5).
- Feierle, A., Schlichtherle, F. & Bengler, K. (2021). Augmented Reality Head-Up Display: A Visual Support During Malfunctions in Partially Automated Driving? *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 1-13.
- Hecht, T., Danner, S., Feierle, A. & Bengler, K. (2020). Does a Confidence Level for Automated Driving Time Estimations Improve the Subjective Evaluation of an Automation HMI? *Multimodal Technologies and Interaction*, 4 (3).
- Hecht, T., Darlagiannis, E. & Bengler, K. (2020). Non-driving Related Activities in Automated Driving – An Online Survey Investigating User Needs. In T. Ahram, W. Karwowski, S. Pickl & R. Taiar (Hrsg.), *Human Systems Engineering and Design II. IHSED 2019 (Advances in Intelligent Systems and Computing, Bd. 1026, Bd. 1026, S. 182-188)*. Cham: Springer International Publishing.
- Hecht, T., Kratzert, S. & Bengler, K. (2020). The Effects of a Predictive HMI and Different Transition Frequencies on Acceptance, Workload, Usability, and Gaze Behavior During Urban Automated Driving. *Information*, 11 (2).
- Hecht, T., Weng, S., Kick, L.-F. & Bengler, K. (2022). How users of automated vehicles benefit from predictive ambient light displays. *Applied Ergonomics*, 103, 103762.

Hübner, M., Feierle, A., Rettenmaier, M. & Bengler, K. (2022). External communication of automated vehicles in mixed traffic: Addressing the right human interaction partner in multi-agent simulation. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 87, 365-378.

Rettenmaier, M., Albers, D. & Bengler, K. (2020). After you?! – Use of external human-machine interfaces in road bottleneck scenarios. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 70, 175-190.

Rettenmaier, M. & Bengler, K. (2020). Modeling the Interaction with Automated Vehicles in Road Bottleneck Scenarios. *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*, 64 (1), 1615-1619.

Rettenmaier, M. & Bengler, K. (2021). The Matter of How and When: Comparing Explicit and Implicit Communication Strategies of Automated Vehicles in Bottleneck Scenarios. *IEEE Open Journal of Intelligent Transportation Systems*, 2, 282-293.

Rettenmaier, M., Dinkel, S. & Bengler, K. (2021). Communication via motion - Suitability of automated vehicle movements to negotiate the right of way in road bottleneck scenarios. *Applied Ergonomics*, 95, 103438.

Rettenmaier, M., Pietsch, M., Schmidtler, J. & Bengler, K. (2019). Passing through the Bottleneck - The Potential of External Human-Machine Interfaces. *IEEE Intelligent Vehicles Symposium (IV)*, 1687-1692.

Rettenmaier, M., Requena Witzig, C. & Bengler, K. (2020). Interaction at the Bottleneck – A Traffic Observation. In T. Ahram, W. Karwowski, S. Pickl & R. Taiar (Hrsg.), *Human Systems Engineering and Design II. IHSED 2019 (Advances in Intelligent Systems and Computing, Bd. 1026, Bd. 1026, S. 243-249)*. Cham: Springer International Publishing.

Rettenmaier, M., Schulze, J. & Bengler, K. (2020). How Much Space Is Required? Effect of Distance,

Content, and Color on External Human–Machine Interface Size. *Information*, 11 (7).

**Gefördert durch:**



**Bundesministerium  
für Wirtschaft  
und Klimaschutz**

**aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages**





# Veröffentlichungen von Sommer 2021 bis Sommer 2022

## Lehrstuhl für Ergonomie

2021

- Adam, C., Bengler, K., Brandl, C., Nitsch, V., Ott, G., Pütz, S., & Schmauder, M. (2021). Maßnahmen und Lösungen zur Arbeitsgestaltung für den Umgang mit der COVID-19 Pandemie: Eine systematische Analyse der Arbeit im Primär-, Sekundär- und Tertiärsektor in Deutschland [Work design measures and solutions for dealing with the COVID-19 pandemic: A systematic analysis of work in the primary, secondary, and tertiary sectors in Germany]. *Zeitschrift für Arbeitswissenschaft*, 1–15.
- Biebl, B., Kacianka, S., Unni, A., Trende, A., Rieger, J. W., Lüdtke, A., et al. (2021). A Causal Model of Intersection-Related Collisions for Drivers With and Without Visual Field Loss. In C. e. a. Stephanidis (Ed.), *Proceedings of the 23rd HCI International Conference, HCII 2021. HCI International 2021 - Late Breaking Papers: HCI Applications in Health, Transport, and Industry* (Vol. 13097, pp. 219–234).
- Boos, A., Emmermann, B., Biebl, B., Feldhütter, A., Fröhlich, M., & Bengler, K. (2021). Information Depth in a Video Tutorial on the Intended Use of Automated Driving. In N. L. Black, W. P. Neumann, & I. Noy (Eds.), *Proceedings of the 21st Triennial Congress of the International Ergonomics Association IEA 2021* (Vol. 221, pp. 575–582). Springer Nature Switzerland AG.
- Danner, S., Hecht, T., Steidl, B., & Bengler, K. (2021). Why is the Automation Not Available and When Can I Use It? In N. L. Black, W. P. Neumann, & I. Noy (Eds.), *Proceedings of the 21st Triennial Congress of the International Ergonomics Association IEA 2021* (Vol. 221, pp. 623–632). Springer Nature Switzerland AG.
- Dorynek, M., Winkler, J., Brettschneider, S., Weinmann, P., & Bengler, K. (2021). How Long Do We Have to Wait for Ergonomic Autonomous On-Demand Mobility? A Benchmark and Expert Study about Shuttles in Europe. In *Proceedings of the 27th ITS World Congress 2021. Experience Future Mobility Now* (pp. 2397–2411).
- Dorynek, M., Zhang, H., Hofmann, N., & Bengler, K. (2021). New Approaches to Movement Evaluation Using Accurate Truck Ingress Data. In V. G. Duffy (Ed.), *Digital Human Modeling and Applications in Health, Safety, Ergonomics and Risk Management. Human Body, Motion and Behavior. HCII 2021. The 23rd Conference on Human-Computer Interaction* (Vol. 12777, pp. 110–121). Springer Cham.
- Feierle, A., Schlichtherle, F., & Bengler, K. (2021). Augmented Reality Head-Up Display: A Visual Support During Malfunctions in Partially Automated Driving? *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 1–13.
- Fleischer, M., Elbauer, J., & Bengler, K. (2021). Modeling the Orientation of Take-Over Trajectories Using Mixed Linear Effects Models. In N. L. Black, W. P. Neumann, & I. Noy (Eds.), *Proceedings of the 21st Triennial Congress of the International Ergonomics Association IEA 2021* (Vol. 221, pp. 633–638). Springer Nature Switzerland AG.
- Fleischer, M., & Li, R. (2021). Spatial Needs for Non-driving Related Activities. In J. L. Wright, D. Barber, S. Scataglini, & S. L. Rajulu (Eds.), *Proceedings of the 12th International Conference on Applied Human Factors and Ergonomics (AHFE) 2021. Advances in Simulation and Digital Human Modeling* (Vol. 264, pp. 282–287). Springer Cham.
- Fleischer, M., & Wendel, N. (2021). Desirable Backrest Angles in Automated Cars. In C. e. a. Stephanidis (Ed.), *Proceedings of the 23rd HCI International Conference, HCII 2021. HCI International 2021 - Late Breaking Papers: HCI Applications in Health, Transport, and Industry* (Vol. 1498, pp. 521–526).
- Graefe, J., Engelhardt, D., & Bengler, K. (2021). What does Well-Designed Adaptivity Mean for Drivers? A Research Approach to Develop Recommendations for Adaptive In-Vehicle User Interfaces that are Understandable, Transparent and Controllable. In *Proceedings of*

- the AutomotiveUI '21 Adjunct: 13th International Conference on Automotive User Interfaces and Interactive Vehicular Applications (pp. 43–46). ACM DL.
- Harbauer, C. M., Fleischer, M., Bandmann, C. E. M., & Bengler, K. (2021). Optimizing Force Transfer in a Soft Exoskeleton Using Biomechanical Modeling. In N. L. Black, W. P. Neumann, & I. Noy (Eds.), *Proceedings of the 21st Triennial Congress of the International Ergonomics Association IEA 2021* (Vol. 223, pp. 274–281). Springer Nature Switzerland AG.
- Hess, D. J., Lee, D., Biebl, B., Fränzle, M., Lehnhoff, S., Neema, H., et al. (2021). A Comparative, Sociotechnical Design Perspective on Responsible Innovation: Multidisciplinary Research and Education on Digitized Energy and Automated Vehicles. *Journal of Responsible Innovation*, 19(Volume 8, Issue 1), 1–24.
- Kalb, L., & Bengler, K. (2021). The Importance of the Approach Towards the Curb Before Pedestrians Cross Streets. In N. L. Black, W. P. Neumann, & I. Noy (Eds.), *Proceedings of the 21st Triennial Congress of the International Ergonomics Association IEA 2021* (Vol. 221, pp. 674–681). Springer Nature Switzerland AG.
- Karakaya, B., & Bengler, K. (2021). Investigation of Driver Behavior During Minimal Risk Maneuvers of Automated Vehicles. In N. L. Black, W. P. Neumann, & I. Noy (Eds.), *Proceedings of the 21st Triennial Congress of the International Ergonomics Association IEA 2021* (Vol. 221, pp. 691–700). Springer Nature Switzerland AG.
- Maruhn, P. (2021). VR Pedestrian Simulator Studies at Home: Comparing Google Cardboards to Simulators in the Lab and Reality. *Frontiers in Virtual Reality*, 2, 1, from <https://doi.org/10.3389/frvir.2021.746971>.
- Maruhn, P., & Hurst, S. (2021). Effects of Avatars on Street Crossing Tasks in Virtual Reality. In N. L. Black, W. P. Neumann, & I. Noy (Eds.), *Proceedings of the 21st Triennial Congress of the International Ergonomics Association IEA 2021* (Vol. 223, pp. 215–223). Springer Nature Switzerland AG.
- Mueller, A., Kemper, A., Bubb, I., Sakr, N., Kopp, G., & Hahn, R. (2021). Systematic Development and Evaluation of a User-Oriented System for Public Transport Vehicles Identification. In N. L. Black, W. P. Neumann, & I. Noy (Eds.), *Proceedings of the 21st Triennial Congress of the International Ergonomics Association IEA 2021* (Vol. 221, pp. 757–765). Springer Nature Switzerland AG.
- Prasch, L., Bruch, L. a. d., & Bengler, K. (2021). User Needs for Digital Creativity Support Systems in an Occupational Context. In N. L. Black, W. P. Neumann, & I. Noy (Eds.), *Proceedings of the 21st Triennial Congress of the International Ergonomics Association IEA 2021* (Vol. 223, pp. 667–674). Springer Nature Switzerland AG.
- 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*, 10(3), 1–25.
- Rettenmaier, M., & Bengler, K. (2021). The Matter of How and When: Comparing Explicit and Implicit Communication Strategies of Automated Vehicles in Bottleneck Scenarios. *IEEE Open Journal of Intelligent Transportation Systems*, 2, 282–293.
- Rolle, A., Schmandt, B., Guinet, C., & Bengler, K. (2021). Assessment of Thermal Comfort in Different Vehicle-Classes – The Suitability of ISO 14505-2:2006-12. In N. L. Black, W. P. Neumann, & I. Noy (Eds.), *Proceedings of the 21st Triennial Congress of the International Ergonomics Association IEA 2021* (Vol. 221, pp. 806–813). Springer Nature Switzerland AG.

- Schneider, S., Salloum, M., Gundel, K., & Boos, A. (2021). Estimating Time to Contact in Virtual Reality: Does Contrast Matter? In N. L. Black, W. P. Neumann, & I. Noy (Eds.), *Proceedings of the 21st Triennial Congress of the International Ergonomics Association IEA 2021* (Vol. 223, pp. 224–231). Springer Nature Switzerland AG.
- Uhl, M., Germann, R., Sängler, J., Fleischer, M., Harbauer, C., Bengler, K., & Matthiesen, S. (2021). Research Approach for Predicting Body Postures and Musculoskeletal Stress Due to Disruptive Design Changes on Power Tools. In T. Ahram & R. Taiar (Eds.), *Proceedings of the 5th International Conference on Human Interaction and Emerging Technologies (IHET 2021)* (Vol. 319, pp. 462–467). virtuell: Springer Cham.
- Wald, P., Haentjes, J., Albert, M., Cramer, S., & Bengler, K. (2021). Active Vehicle Motion as Feedback during Different Levels of Automation. In *Proceedings of the 2021 IEEE International Intelligent Transportation Systems Conference (ITSC)* (pp. 1713–1720). IEEEExplore.
- Winkle, T. (2021). *Product Development within Artificial Intelligence, Ethics and Legal Risk: Exemplary for Safe Autonomous Vehicles*: Springer Vieweg.
- Wirsching, H.-J., & Fleischer, M. (2021). Tool Development for Ergonomic Design of Automated Vehicles. In N. L. Black, W. P. Neumann, & I. Noy (Eds.), *Proceedings of the 21st Triennial Congress of the International Ergonomics Association IEA 2021* (Vol. 223, pp. 439–446). Springer Nature Switzerland AG.
- ## 2022
- Bengler, K., Dorynek, M., & Deschner, N. (2022). Was darf mit? Was muss draußen bleiben? Untersuchung der Gepäck- und Güteraufbewahrungsmöglichkeiten bei On-Demand-Mobilität-Angeboten. *Der Nahverkehr-die technisch-betriebliche ÖPNV-Zeitschrift*. (4), 77–80.
- Diederichs, F., Muthumani, A., Feierle, A., Galle, M., Mathis, L.-A., Bopp-Bertenbreiter, V., . . . Bengler, K. (2022). Improving Driver Performance and Experience in Assisted and Automated Driving With Visual Cues in the Steering Wheel. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 1–10.
- Dorynek, M., Aumüller, A., Ma, J., Rathsack, B., Weidmann, J., & Bengler, K. (2022). Mobility on Demand for Everybody—Investigation of the Current Challenges in Establishing Ride-Pooling Services for Persons with Mobility Impairments in Germany. *Disabilities*, 2(2), 247–263.
- Grabbe, N., Gales, A., Höcher, M., & Bengler, K. (2022). Functional Resonance Analysis in an Overtaking Situation in Road Traffic: Comparing the Performance Variability Mechanisms between Human and Automation. *Safety*, 8(1), 3.
- Herzog, O., Forchhammer, N., Kong, P., Maruhn, P., Cornet, H., & Frenkler, F. (2022). The Influence of Robot Designs on Human Compliance and Emotion: A Virtual Reality Study in the Context of Future Public Transport. *ACM Transactions on Human-Robot Interaction*, 11(2), 1–17.
- Hübner, M., Feierle, A., Rettenmaier, M. & Bengler, K. (2022). External communication of automated vehicles in mixed traffic: Addressing the right human interaction partner in multi-agent simulation. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 87, 365–378.
- Kipp, M., & Semmler-Sainsard, S. J. (2022). Evaluation of an Active Cooling Seat Concept in Terms of Vehicle Energy Consumption and Passengers Thermal Comfort. In B. Hömberg (Chair), *hdt Fachtagung Fahrzeugklimatisierung – Kühlen, Heizen und Komfort – Zukunftsorientierte Konzepte*, Essen.
- Unni, A., Trende, A., Pauley, C., Weber, L., Biebl, B., Kacianka, S., . . . Rieger, J. W. (2022). Investigating Differences in Behavior and Brain in Human-Human and Human-Autonomous Vehicle Interactions in Time-Critical Situations. *Frontiers in Neuroergonomics*, 3, 552.
- Winkle, T. (2022). *Product Development within Artificial Intelligence, Ethics and Legal Risk*. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden.

## Professur für Sportgeräte und -materialien

Hermann, A., Carqueville, P., Baldinger, M., & Senner, V. (2021). Measuring Pressure in Different Layers of the Ski Boot to Estimate Skiing Movements. In P. Pezarat, J. Vilas-Boas, & J. Cabri (Eds.), *Proceedings of the 9th International Conference on Sport Sciences Research and Technology Support - icSPORTS 2022* (pp. 28–35). Scitepress Digital Library. <https://doi.org/10.5220/0010650700003059>

Senner, Veit (2022): History, philosophy, and value of mechanical models in sports science and engineering. In: *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part P: Journal of Sports Engineering and Technology* 8 (2), DOI: 10.1177/17543371211062799.

# Dissertationen

## Lehrstuhl für Ergonomie

### Design and Evaluation of an Automated Lane Change in Dense Traffic from Interacting Human Drivers' Perspective

Zur systematischen Analyse des gewünschten Fahrstils von automatisierte Fahrzeugen aus der Perspektive interagierender menschlicher Fahrer müssen fünf Schritte zur Gestaltung des Fahrstils in dichten gemischten Verkehr untersucht werden: 1. Analysieren, 2. Kommunizieren 3. Interpretieren, 4. Starten, 5. Ausführen. In dieser Arbeit werden Implikationen zur Gestaltung des automatisierten Fahrstils basierend auf Realfahrzeugstudien

auf dem Testgelände für die Phasen zwei, vier und fünf vorgeschlagen.

Johannes Potzy, 06.08.2021

### Comparison of Methods to Evaluate Automated Vehicles's Driving Behavior for Communicating Intentions to Pedestrians by Using Wizard of Oz, Virtual Reality, and Video Setups

Verschiedene Studiensetups, z. B. Videos, virtuelle Realität oder Wizard of Oz, werden zur Evaluierung von Fahrprofile von automatisierten Fahrzeugen verwendet. Die Methode scheint das Studienergebnis zu beeinflussen. Das Ausmaß der Übertragbarkeit von den Ergebnissen ist bisher unbekannt. Das Ziel der Dissertation ist es abzuleiten, mit welcher Methode das Fahrverhalten eines automatisierten Fahrzeugs evaluiert werden sollte,

um einem Fußgänger zu kommunizieren, ob dieser vorge lassen wird.

Tanja Fuest, 26.11.2021

### Effect of Fatigue on Take-Over Performance in Conditionally Automated Driving

In dieser Dissertation wurde Müdigkeit während längerem hochautomatisierten Fahren (HAF) mithilfe von vier Fahrsimulatorversuchen untersucht. Ergebnisse zeigten, dass die Müdigkeitsentwicklung in Bezug auf ob und wann Müdigkeit einsetzt, äußerst individuell ist. Motivierende Tätigkeiten konnten hohe Müdigkeitslevels vermeiden. Während der Übernahme vom HAF zum ma-

nuellen Fahren rief Müdigkeit Schreckreaktionen hervor. Für einen sicheren Betrieb von HAF wird empfohlen starke Müdigkeit zu vermeiden .

Anna Feldhütter, 19.10.2021

### Driver's Non-Driving Postures in Automated Driving: Modeling, Assessment, and Countermeasure Modeling, Assessment, and Countermeasure

Durch den Faktor Fahrerkörperhaltung ergänzt die Arbeit die aktuelle Forschung zur Level-3-Übernahmeleistung und verbessert das Verständnis für die relevanten Risiken und Herausforderungen der zurückgelehnten bzw. nach hinten verschobenen Fahrerhaltungen. Der Übernahmebewegungsdatensatz liefert eine empirische Basis für das digitale menschliche Modell und das Innen-

raumkonzept des automatisierten Fahrens nach Level 3. Der Active Seat Assist zeigt ein Beispiel der adaptiven Innenraumkomponenten zur Verbesserung der Übernahmeleistung und der Systemnutzbarkeit.

Yucheng Yang, 02.12.2021

## Behavioral Validity in Virtual Reality Pedestrian Simulators

Virtual Reality (VR) wird zunehmend zur Untersuchung des Fußgängerverhaltens eingesetzt. Bislang ist jedoch unklar, inwiefern die Ergebnisse aus Simulatorstudien auf den Realverkehr übertragbar sind. Basierend auf einer umfassenden Analyse bestehender Validierungsansätze und Anwendungsfelder wurde in drei Nutzerstudien untersucht, welche Faktoren die Verhaltensvalidität beeinträchtigen. Die Ergebnisse weisen darauf hin, dass

sowohl die Nutzung von VR Technologie als auch der Versuchskontext einen Einfluss haben können.

Sonja Schneider, 07.12.2021

## Motion Comfort. Physical-Geometric Optimization of the Vehicle Interior to Enable Non-Driving-Related Tasks in Automated Driving Scenarios with the Focus on Motion Sickness Mitigation

Das Automatisierte Fahren besitzt das Potential die zukünftige Mobilität zu verändern und verspricht dabei die Lebensqualität durch fahrfremde Tätigkeiten zu steigern. Diese Situationen können jedoch mit Symptomen von Reisekrankheit einhergehen. Die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit zeigen, dass Sitzkonfigurationen, Maßkonzept sowie Ambientebeleuchtung nicht nur die Möglichkeit bieten Reisekrankheit zu vermeiden, sondern

darüber hinaus auch den allgemeinen Bewegungskomfort steigern können.

Dominique Bohrmann, 09.03.2022

## Entwicklung und Evaluation eines vernetzten HMI-Konzeptes für die urbane Verkehrssicherheit von Fahrradfahrenden

Im Rahmen dieser Arbeit wurde ein HMI-Konzept zur Steigerung der urbanen Verkehrssicherheit von Fahrradfahrenden entwickelt. Insbesondere wurde dabei die Akzeptanz der Nutzenden gegenüber einem vernetzten System zur Kollisionsverhütung untersucht. Das HMI-Konzept besteht aus einer Smartphone-Applikation zur Kollisionsverhütung zwischen Fahrrad- und Autofahrenden. Die Ergebnisse zeigen, dass bei dem entwi-

ckeltem HMI die relevanten Informationen innerhalb von einer Sekunde abgelesen werden können.

Oliver Winzer, 01.04.2022

## Parametrization and Evaluation of Legible Motion for Human-Robot Interaction

Um die Mensch-Roboter-Interaktion zu verbessern, kann der Roboter lesbare Bewegungsmuster verwenden, so dass der Beobachter schnell und sicher eine Absicht des Roboters interpretieren kann. Darüber hinaus sollte ein bewährtes Bewegungsmuster an verschiedene Roboter und Szenarien anpassbar sein. Eine Rückzugsbewegung „Back-Off“ dient als exemplarisches Bewegungsmuster im Gestaltungsprozess. Die Analyse des menschlichen Bewegungsverhaltens gibt Aufschluss über die Lesbarkeit des Roboters. Durch

statistische Modellierung können Empfehlungen für die Gestaltung der Parameter Geschwindigkeit, Rückfahrweg und Ausführungszeit der Bewegung entworfen werden.

Jakob Reinhardt, 29.04.2022

# Dissertationen

## Professur für Sportgeräte und -materialien

### Methode zur kosteneffizienten Konfiguration eines Springerpools in der taktgebundenen Montage

Der Einsatz von Springern für den Standort Deutschland ist zwar relevant, jedoch sind die mit ihnen verbundenen Kosten für einen wirtschaftlichen Einsatz zu hoch. Zum aktuellen Stand der Technik liegen Untersuchungen vor, die diese Problematik erkannt und Lösungen dazu entwickelt haben. Diese Arbeit ordnet sich der angewandten Forschung zu mit dem Ziel, einen neuen und in der Praxis anwendbaren Lösungsansatz zu entwickeln.

Das Ergebnis der Forschungsarbeit soll eine Problembeschreibung, eine allgemeingültige Methode, eine beispielhafte Anwendung in der Praxis sowie eine Nutzerbewertung enthalten.

Christiane Dollinger, 01.07.2021

### Failure Detection and Isolation of Event-driven Binary Sensors in Ambient Assisted Living

Diese Arbeit entwickelt ein System zur Erkennung und Isolierung von Sensorausfällen in AAL-Umgebungen, das mit ereignisgesteuerten, umgebungsabhängigen, binären Sensoren ausgestattet ist. Zuerst wird ein detaillierter Überblick über die Literatur durchgeführt. Anschließend wird die Machbarkeit der Extraktion von Sensorkorrelationen mit Hilfe der Assoziationsregeln-Technik untersucht. Schließlich wird auf Basis der extrahierten

Korrelationen ein System zur Erkennung und Isolierung von Sensorausfällen entwickelt. Es werden auch Richtlinien für die Auswahl der Parameterwerte des Systems vorgestellt. Der vorgeschlagene Ansatz wird an zwei öffentlich zugänglichen Datensätzen evaluiert.

Nancy ElHady, 21.12.2021

### Rechnergestützte Schnittmusterkonstruktion von maßangepasster Kleidung

Für die rechnergestützte Berechnung von Schnittmustern ist eine mathematisch formalisierte Beschreibung der Kontur eines solchen erforderlich. Im Rahmen dieser Arbeit werden alle notwendigen Schritte von der Beschreibung gekrümmter oder gefalteter Schnittmusterabschnitte über die Parametrisierung auf Grundlage von Körpermaßen bis hin zur Berechnung von Zugaben

für Passform und Produktion am Beispiel eines Oberteilgrundschnittes entwickelt und vorgestellt.

Christina Hein, 20.04.2022





# Abgeschlossene Masterarbeiten

## Lehrstuhl für Ergonomie

MW - Objektive Analyse innovativer Pkw-Klimatisierungskonzepte. Behaglichkeits- und Energieeffizienzbewertungen konvektiver und strahlungsbasierter Systeme

MW - Entwicklung eines Fahrzeugkonzepts für ein barrierefreies Ridepooling-Fahrzeug

MSE - Human-Centered Design - Theorie und Praxis

MW - Analyse von trainingsbasierten Piloten-Ratings zur Ableitung von individualisierbarem Trainingsbedarf

MSE - Maßnahmen zur Gestaltung digitaler Kommunikation bei der Arbeit in Zeiten von COVID-19 - Evaluation zur Ableitung von Gestaltungsempfehlungen

MW - Entwicklung eines Anschlusskonzepts zur Verifikation von Messadaptern und Bau eines universell einsetzbaren, multi-modularen Prototyps

MW - Entwicklung und Evaluierung einer HMI-Strategie für das urbane automatisierte Fahren

MSE - Robot Design - What Influence Does the Look of a Robot Have on People's Perception of the Robot and its Abilities?

MSE - Benutzergesteuerte Geschäftsmodellinnovation für das Ride-Pooling in Deutschland

MSE - Psychometrische Analyse der System Usability Scale (SUS) auf Systemebene

MSE - Der Einfluss eines digitalen Kreativitätsassistenten auf Fixation und Kreativität in der Disziplin Human Factors/Ergonomie

MW - Untersuchung des Einflusses von Automationsstufe auf Kooperationsbereitschaft und Akzeptanz eines gamifizierten kooperativen Assistenzsystems

MMW - Entwicklung und Konstruktion eines thermoelektrischen Systems für die lokale Innenraumklimatisierung zukünftiger autonomer Fahrzeuge

MW - Methoden zur Entwicklung isolationsabhängiger Komfortzonendiagramme

MW - External Communication of Automated Vehicles in Mixed Traffic: Addressing the Right Human Interaction Partner in Multi-Agent Simulation

MW - Der Effekt von Framing auf die Wahrnehmung sozialer Charakteristika humanoider Roboter

MSE - Planung, Umsetzung und Testung von Designprototypen einer Smartphone-Applikation zur Aufzeichnung des Verkehrsverhaltens von E-Scooter-, Pedelec- und Fahrradfahrenden

MW - Definition of Seat Guidelines and Realization of a Seating Concept for the Public Highspeed Transport System Hyperloop

MSE - Wie sieht mein Rufbus aus? Matching von gewünschtem Use Case und notwendigen Fahrzeug(-konzept)

MW - Verkehrsbeobachtungsstudie zur Feststellung des Risikoverhaltens vulnerabler Verkehrsteilnehmer im urbanen Straßenverkehr

MSE - Benchmark Analyse und Nutzerbefragung zu relevanten Energieanzeigen in Elektrofahrzeugen

MSE - Investigation of an Efficient and Novel Method for the Evaluation of Cognitive Driver Distraction with an Advanced Application of the Box Task

MW - Konzeptentwicklung & Konzeptevaluierung einer innovativen Kopfstütze für Langstreckenfahrten im Fond von Oberklasse - PKWs in Relaxposition

MSE - Veränderung der Kommunikation im universitären Kontext während der COVID-19-Pandemie  
- einer qualitativen Studie an der Fakultät für Maschinenwesen

LMU Informatik - Analyse der Mobilitätsjourneys in Deutschland und Vergleich der kritischen Punkte im Ridepooling-Kontext

MW - Potenzial von Smartphones bei der Interaktion zwischen abgelenkten Fußgängern und automatisierten Fahrzeugen

MW - Entwicklung eines parametrisierbaren Untersuchungsmodells zur Einordnung und Auslegung von künftigen Ridepoolingfahrzeugen

MSE - Automatisierte Lkw und die Zukunft der Logistik - eine Delphi-basierte Szenario-Studie

MSE - Entwicklung eines Prototypen einer mitarbeiterorientierten Applikation für ein Smart Device in der Produktion zur Erhebung realer Beanspruchungszustände sowie als Kommunikationsschnittstelle zwischen Werker und Personalplanung

MW - Untersuchung der Beherrschbarkeit von Minimal Risk Maneuver aus Sicht des umgebenden Straßenverkehrs anhand einer Fahrsimulatorstudie

MW - Influence of Exoskeleton Modeling of an Elbow Exosuit on Simulated Joint Reaction Forces

MW - Entwicklung und Konstruktion von Gelenkstrukturen für die Entwicklung eines Klima-Dummys mittels Rapid Prototyping

MW - Entwicklung einer Analysemethode für Lkw-Einstiegbewegungen mit Data-Mining-Ansatz zur Optimierung des ergonomischen Designs

MSE - Interviewstudie zu Nutzermotiven der manuellen Übersteuerung automatisierter Fahrfunktionen

LMU - Inst. f. Informatik - Entwicklung und Evaluierung eines Human Machine Interfaces für Minimal Risk Maneuver beim automatisierten Fahren

MSE - Kreativität, Stress und Wohlbefinden: Der Einsatz progressiver Muskelrelaxation im Homeoffice

## Professur für Sportgeräte und -materialien

MSE - Erforschung relevanter Persönlichkeitsparameter zur nutzerspezifischen Motivationsbewertung auf Basis der Impliziten (unbewussten) Motive im Sportkontext

MSE - Effects of a multi-hour Road Bike Tour on the Ulnar Nerve

MW - Integration eines Akkus für eine Wintersportanwendung und Entwicklung von Konzepten zur Gewährleistung der Funktion unter extremen Umgebungsbedingungen

MW - Development of an IMU-based Pants System for Real-time Determination of Knee angles

MW - Statische und dynamische Muskeloptimierung im Vergleich am Beispiel eines Eingelenk-Wirbelsäulenmodells

MW - Experimentelle Erforschung der Druckverhältnisse auf Satteln im Ambitionierten Damen Rennradsport

MW - Kalibrierung und Validierung einer Messbindung im alpinen Skisport zur Bestimmung des Tibiamoments

MW - Entwicklung eines physikalischen Fußmodells zur Traktionsmessung von Sportschuhen





# Herzlich Willkommen

## Unsere neuen MitarbeiterInnen am Lehrstuhl für Ergonomie



Nicolas Niessen, M.Sc. ist seit März 2022 als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Lehrstuhl für Ergonomie tätig. Der Fokus seiner Arbeit liegt in der intuitiven Mensch-Roboter-Interaktion. Herr Niessen studierte Maschinenwesen an der Technischen Universität München mit dem Schwerpunkt Rapid Prototyping und Medizintechnik und

Auslandsaufenthalten in Lausanne und Stockholm. Nach Industriepraktika in der Forschung und Entwicklung von Inspektionsdrohnen und OP-Robotern konstruierte er in seiner Semesterarbeit eine Maschine zur additiven Fertigung im Hochvakuum. Mit seiner Masterarbeit zur biomechanischen Simulation der Gelenkreaktionskräfte eines Exosuits rückte die Ergonomie weiter in den Fokus. Im Rahmen seiner Forschung am Lehrstuhl entwickelt Herr Niessen einen Interaktionsbaukasten für die Kommunikation mit Logistik-Robotern in Kooperation mit dem Lehrstuhl für Fördertechnik Materialfluss Logistik (TUM fml).



Herr Dr.-Ing. Manuel Ferle agiert seit April 2022 als PostDoc am Lehrstuhl für Ergonomie (LfE) der TUM. Nach dem Masterstudium der Biomedizintechnik an der Gottfried Wilhelm-Leibniz-Universität Hannover widmete er sich als Wissenschaftlicher Mitarbeiter der orthopädischen Biomechanik. Von 2012 – 2019 sammelte

Dr.-Ing. Manuel Ferle wissenschaftliche Erfahrungen in der Entwicklung und Erforschung neuartiger Implantatsysteme und -materialien. Darüber hinaus beschäftigte er sich schwerpunktmäßig mit der biomechanischen Analyse des Schultergelenkes. Im Jahr 2020 promovierte er an der Leibniz Universität Hannover zum Dr.-Ing. Von 2019 bis 2022 leitete Dr.-Ing. Manuel Ferle die Forschungs- und Entwicklungsabteilung der EndoLab GmbH. Dort koordinierte er die nationalen und internationalen Forschungsaktivitäten des Unternehmens und leitete federführend die Entwicklung von Prüfanlagen für die zulassungsrelevante Untersuchung von Implantat Systemen.



Maximilian Hübner, M.Sc. ist seit November 2021 als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Lehrstuhl für Ergonomie tätig. Er studierte Maschinenwesen an der Technischen Universität München mit dem Schwerpunkt Fahrzeugtechnik. In seiner Semesterarbeit am Lehrstuhl für Fahrzeugtechnik entwickelte Herr

Hübner eine Wizard-Of-Oz Vorstudie zur Evaluation von Anthropomorphismus in der Fahrer-Fahrzeug Interaktion. Am Lehrstuhl für Ergonomie schrieb er seine Masterarbeit über eine vernetzte Studie zur Bewertung expliziter und impliziter Kommunikationskonzepte eines automatisierten Fahrzeugs. Im Rahmen seiner Forschung am Lehrstuhl entwickelt Herr Hübner ein externes Kommunikationskonzept von automatisierten Fahrzeugen für städtische, fußgängerreiche Szenarios.



Rutuja Joshi, M.Sc. ist seit Juli 2022 als wissenschaftliche Mitarbeiterin am Lehrstuhl für Ergonomie tätig. Sie studierte Maschinenbau (B. Eng.) an der Universität von Pune, Indien. Danach arbeitete sie bei Mercedes-Benz R&D als Entwicklungsingenieurin mit dem Schwerpunkt Konzeptentwicklung und Integration von technischen Zubehör.

Anschließend absolvierte sie ihr Masterstudium in Maschinenbau und Management an der Technischen Universität München. In ihrer Masterarbeit untersuchte sie, welche Eigenschaften den größten Einfluss auf die Wahrnehmung eines adaptiven Interfaces in Nutzfahrzeuge durch den Fahrer haben. Ihre Forschungsinteressen umfassen die Gestaltung von Mensch-Maschine-Schnittstellen, sowie die Methoden zur Bewertung der User Experience.



Alexandra Löw, M.Sc. ist seit April 2022 als externe Doktorandin am Lehrstuhl für Ergonomie tätig. Sie studierte im Bachelor Sensorik und kognitive Psychologie an der Technischen Universität Chemnitz und anschließend den Masterstudiengang Ergonomie – Human Factors Engineering

an der Technischen Universität München. Im Rahmen ihrer Masterarbeit untersuchte sie die Methode „Box Task in Kombination mit einer Detection Response Task“ zur Messung von Fahrerablenkung. In Kooperation mit der BMW AG forscht sie zum Thema „Individualisierte Maßnahmen zur Risikominimierung nach erkannter Müdigkeit im (teil-) automatisiertem Fahren“.

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



© Uli Benz / TU München

Melanie Baldinger, M.Sc. ist seit Mai 2021 als wissenschaftliche Mitarbeiterin an der Professur für Sportgeräte und -materialien tätig. Sie absolvierte ihre beiden Bachelorstudien Sportwissenschaft und TUM-BWL, sowie den Masterstudiengang Ergonomie – Human Factors Engineering an der Technischen

Universität München. In ihrer Masterarbeit befasste sie sich mit der Konzeption und Entwicklung eines Druckmesssystems im Skischuh um die auftretenden Lasten beim Skifahren zu quantifizieren. Nach einer zweijährigen Tätigkeit in der industriellen Forschung und Entwicklung im Bereich der Wearables arbeitet Frau Baldinger nun im ZIM-Projekt MotiTrain an der Entwicklung eines interaktiven Fitnesscoachs und digitalen Trainingsprozessbegleiters. Sie beschäftigt sich mit innovativen Ansätzen und Technologien zur präzisen Bewegungserfassung und -korrektur, sowie Feedbacksystemen, um die Motivation und den Erfolg des Nutzers beim Fitnesstraining signifikant zu steigern.



Herr Robin Compeyron M.Sc. ist seit März 2021 wissenschaftlicher Mitarbeiter an der Professur für Sportgeräte und -materialien. In der École Centrale de Lyon studierte er den Ingenieur Diplom sowie den Bachelor in Mathematik. Er absolvierte dann den Masterstudiengang Luft- und Raumfahrt an der Techni-

schen Universität München. Während seiner Studienzeit verfasste Herr Compeyron seine Semester- und Masterarbeit an der Professur für Sportgeräte und -materialien. Hier befasste er sich mit der Entwicklung einer Methode zur Beobachtung der Stollenverformung beim Trailrunning. Schwerpunkt seiner Forschung wird die Simulation der Laufbewegung und deren Verbesserung durch eine Zwischensohle sein. Im Rahmen eines Kooperationsprojekts, finanziert durch die Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen, befasst er sich mit der Entwicklung einer individualisierten 3D gedruckten Zwischensohlen für Trailrunningschuhe.

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

**Johannes Potzy, Tanja Fuest, Anna Feldhütter, Yucheng Yang, Jakob Reinhardt, Sonja Schneider, Dominique Bohrmann, Oliver Winzer und Lorenz Prasch**

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

## Neuigkeiten:

# RoboLingo: Ein Interaktionsbaukasten für Roboter in der Intralogistik

Nicolas Niessen

### Ausgangssituation

Die Intralogistik in Lager- und Fabrikhallen der Gegenwart und insbesondere der Zukunft beschäftigt sowohl menschliche als auch robotische „Mitarbeiter:innen“, die in verschiedenen Situationen aufeinandertreffen. So zum Beispiel beim Fahren, Rangieren oder Ein- und Ausladen. In diesem Umfeld müssen Wege gefunden werden, die ein effizientes, reibungsarmes und harmonisches gemeinsames Arbeiten ermöglichen. Eine Schlüsselrolle spielt die Kommunikation der Logistik-Roboter mit den Menschen in ihrer Umgebung. Ein verbreiteter Typ solcher Roboter sind autonome mobile Roboter, es sollen jedoch auch andere Typen wie stationäre Roboter mit Logistik-Funktionen betrachtet werden.

Beispiele für Kommunikationswege bzw. -modalitäten der Roboter mit Menschen sind der sogenannte „blue“ bzw. „floor spot“ und der robotische Kleinladungsträger EMILI. Der „floor spot“ ist ein Lichtpunkt vor einem Fahrzeug, mit dem ein sich näherndes Fahrzeug von Weitem auf sich aufmerksam macht, bevor es beispielsweise hinter einem Hindernis herausfährt (siehe Abb. 1). Beim robotischen Kleinladungsträger EMILI werden stilisierte Gesichtszüge in Kombination mit Text und Symbolen auf einem Bildschirm eingesetzt (siehe Abb. 1). Eine Übersicht zu geeigneten Modalitäten für die verschiedenen Logistik-Situationen und Kommunikationsabsichten (Intentionen) gibt es zum aktuellen Zeitpunkt nicht. Zudem unterscheiden diese Roboter in ihrer Kommunikation bisher meist nicht, ob sie einen Gegenstand oder einen Menschen vor sich haben.



Abbildung 1: „blue“ oder „floor spot“ (linde-mh.de, 2022) und der robotische Kleinladungsträger EMILI (iml.fraunhofer.de, 2022)

### Projektziel

Ziel des RoboLingo Projekts ist es, einen Interaktionsbaukasten aufzubauen und zu evaluieren, der die verschiedenen Situationen der Mensch-Roboter-Interaktion (MRI) aufzeigt und für die verschiedenen Intentionen des Roboters Empfehlungen für jeweils geeignete(-n) Modalität(-en) der Kommunikation gibt (Anschauungsbeispiel siehe Abb. 2). Das Projekt wird in enger Zusammenarbeit mit dem Lehrstuhl für Fördertechnik Materialfluss Logistik (fml) bearbeitet.

Zunächst werden gegenwärtige und zukünftige Situationen, in welchen Mensch und Roboter in der Logistik interagieren (und interagieren werden) im Kontakt mit Expert:innen sowie in Beobachtungen analysiert, geordnet und kategorisiert. Parallel werden Modalitäten recherchiert und auf ihre Eignung im Logistik-Kontext hin überprüft. Die zusammengetragenen Situationen und Modalitäten werden schließlich sinnvoll kombiniert. Dabei wird unter anderem nach der Dringlichkeit und Relevanz der Intention unterschieden. Die Zuordnung der Modalitäten zu den Aufgaben erfolgt dahingehend, wie verständlich, vorhersehbar, effizient und sicher kommuniziert wird. Eine Schwierigkeit liegt dabei in der Vielfältigkeit sowohl der möglichen Roboter als auch der möglichen Situationen und Intentionen. Der Fokus liegt daher auf den wichtigsten und häufigsten Interaktionen.

Zur Evaluierung der Interaktionsmodalitäten soll eine Reihe von Studien mit Proband:innen durchgeführt werden. Auf deren Basis werden Handlungsempfehlungen abgeleitet und Leitlinien für die Industrie verfasst: der RoboLingo Interaktionsbaukasten.

Mit diesem Baukasten sollen Hersteller von Logistik-Robotern in Zukunft Roboter entwickeln, die dank ihrer Interaktionsfähigkeiten das gewünschte harmonische und effiziente Arbeitsumfeld von Menschen und Robotern ermöglichen. Dadurch können Betreiber effizientere Prozesse mit Robotern gestalten und gleichzeitig eine höhere Akzeptanz von Robotern im Betrieb erzielen. Somit profitieren Hersteller, Betreiber und natürlich alle, die mit einem Logistik-Roboter interagieren.








Intention	Fahren			Handhaben			..
	vorwärts	anhalten	rangieren	aufladen	abladen	picken	
<b>Situation</b>							
FTS fährt auf eine Kreuzung zu	 Keine Interaktion	 Rotes Licht + Ton	 Blinkend + Ton	X	X	X	
Stationäres Handhaben und Sequenzieren	X	X	 Augen in Bewegungsrichtung oder Lichtpunkt blau	 Blinkend + Ton	 Back-off oder Ton	 Augen auf Werkstück oder Lichtpunkt grün	
...							

Abbildung 2: Exemplarische Darstellung eines möglichen Interaktionsbaukastens mit Situationen, Intentionen und zugehörigen Modalitäten

## Funding

**BVL<sup>7</sup>**

**AiF** ALLIANZ  
INDUSTRIE  
FORSCHUNG

Gefördert durch:



Bundesministerium  
für Wirtschaft  
und Klimaschutz

aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages

Das IGF-Vorhaben 22234 N der Forschungsvereinigung Bundesvereinigung Logistik (BVL) e.V. wird über die AiF im Rahmen des Programms zur Förderung der industriellen Gemeinschaftsforschung (IGF) vom Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert



# automatica 2022 – Teleoperation und digitaler Zwilling im Dauertest

Christian Lehsing, Theresa Prinz

Die Leuchtturminitiative KI.Fabrik Bayern 2030 vereint aktuell zwei Projekte unter sich. Das Projekt KI.Fabrik Infrastruktur beschäftigt sich mit der grundlegenden Hardwareausstattung der geplanten Fabrik. Einziehen soll ein Teil der Fabrik in Räume des Deutschen Museums in München noch dieses Jahr, wo es zudem ein Fenster in die Gesellschaft geben soll, um die Vision und Forschungsansätze für die breite Öffentlichkeit zugänglich zu machen – interaktiv, transparent, verständlich. Das zweite Projekt, KI.Fabrik Forschung und Entwicklung, wird geleitet von Prof. Dr. Klaus Bengler und beschäftigt sich mit den wissenschaftlichen Fragestellungen zukünftiger KI gestützter Produktionsstätten. Dazu gehören beispielsweise Fragen zur Gestaltung von robotischen Systemen, die an sie gestellte Aufgaben selbstständig lösen aber auch neuartige Aufgaben, z.B. bei einer Produkthanpassung, erlernen können. Über eine zentrale KI soll das komplette Produktionsnetzwerk mittels intelligenter Algorithmen global wie lokal dynamisch geplant und optimiert werden können. Die hier gezeichnete Fabrik der Zukunft ist nicht menschenleer, ganz im Gegenteil. Die MitarbeiterInnen kooperieren eng mit den neuen Systemen, bringen ihnen, wo nötig, neue Aufgaben bei oder übernehmen in problematischen Situationen – ganz im Sinne des Ansatzes „Man are better at – Machines are better at“ (MABA – MABA-Listen nach Fitts, 1951). Dies kann im direkten Kontakt oder über weite Entfernung – teleoperiert – erfolgen. Auf die Erforschung und Entwicklung der teleoperativen Technologie konzentrieren sich die Arbeiten am Lehrstuhl für Ergonomie. Mittels sogenannter Avatar-Stationen sollen MitarbeiterInnen buchstäblich in die Roboter schlüpfen und sie aus der Ferne steuern können, sehen was diese sehen und sogar fühlen, was deren Endeffektoren (Greifer) fühlen. Zusammengefügt werden die einzelnen Forschungs- und Entwicklungstätigkeiten dann im Production-as-a-Service Ansatz des Forschungsvorhabens. Um die herausfordernden Aktivitäten zu meistern arbeiten insgesamt acht Lehrstühle der TUM sowie sechs Industriepartner bis 2024 und darüber hinaus eng und wegweisend zusammen, denn die Leuchtturminitiative ist in mehreren Phasen auf einen Zeithorizont bis 2030 angelegt.

Um den aktuellen Stand der Forschungsaktivitäten zu präsentieren zeigten sich die Projektpartner mit 8 Demonstratoren 4 Tage lang auf der diesjährigen automatica, der Leitmesse für Robotik und Automatisierung. Neben der genannten Teleoperation wurden Themen wie KI-gestützte Kabelbaummontage, digitaler Zwilling, Qualitätssicherung in der Automobilproduktion, Bewegungserkennung sowie Roboterdesign zur Bewegungsplanung, berührungslose Robotersteuerung, kollektives Lernen und impedancebasierte Steuerung von Roboterkräften dem nationalen und internationalen Fachpublikum sehr erfolgreich vorgestellt.



Abbildung 1: Theresa Prinz (Doktorandin am LfE) und ihr Kollege Diego Fernandez Prado (Doktorand am Lehrstuhl für Medientechnik) an der Teleoperationsdemo auf der diesjährigen automatica in München, mit dem Use Case einer teilweisen Getriebemontage und Inspektionsaufgabe mittels zweier feinfühligter Roboterarme der Firma Franka Emika GmbH.

## Literatur

Fitts, P.M. (1951). Human Engineering for an Effective Air-navigation and Traffic-control System. National Research Council, Committee on Aviation Psychology, Washington, D.C.



# Der Lehrstuhl stellt sich neu auf: Unsere neuen Forschungsgruppen

## Forschungsgruppe: Automatisiertes Fahren

Tobias Hecht, Alexander Feierle

Automatisiertes Fahren hat das Potenzial, Verkehrssicherheit und Fahrkomfort zu erhöhen und zudem die Verkehrseffizienz zu verbessern. Um diese Ziele zu erreichen, ist ein menschenzentrierter Ansatz bei der Entwicklung solcher Systeme essentiell, da nur so die Bedürfnisse der Nutzer adäquat erfüllt werden und somit eine hohe Akzeptanz sowie eine sichere und komfortable Nutzung gewährleistet werden kann. Das Hauptaugenmerk der Forschungsgruppe liegt daher auf der Interaktion und Kommunikation zwischen Mensch und Fahrzeug und umfasst sowohl die interne als auch die externe Interaktion. Dabei kommen neben klassischen Fahrsimulator-, Virtual-Reality- und On-Road-Studien auch agile Methoden und Methoden zur Entwicklung von Zukunftsszenarien zum Einsatz. Die Ergebnisse dieser Forschungsgruppe sollen zudem in die Standardisierungsbemühungen zum automatisierten Fahren einfließen.

Die veränderte Rolle des Fahrers zum (temporären) Passagier beim hoch- und vollautomatisierten Fahren verändert die Anforderungen an die internen Human-Machine Interfaces (HMIs) und eröffnet völlig neue Möglichkeiten für die Gestaltung der Bedienelemente und des Innenraumdesigns. Sichere und komfortable Transitionen zwischen manuellem und automatisiertem Fahren (und umgekehrt) müssen auch über reine Übernahmestudien auf der Autobahn hinaus wissenschaftlich untersucht werden. Um von der Beschäftigung mit fahrfremden Tätigkeiten (FFT) zu profitieren, wird zudem analysiert, wie diese sinnvoll geplant werden können und welche Einschränkungen die Nutzer bereit sind zu akzeptieren (z.B. Fahrzeitverlängerung). Darüber hinaus stellt sich mit zunehmender Marktdurchdringung von automatisierten Fahrzeugen die Frage nach langfristigen Auswirkungen, sowohl auf das Nutzungsverhalten der Insassen, als auch auf das Verhalten der umgebenden Verkehrsteilnehmer. Da der Insasse temporär nicht an der Fahrzeugführung beteiligt ist, ist zudem eine effektive Interaktion über sogenannte externe oder dynamische HMIs von großer Bedeutung, insbesondere in Verkehrsszenarien ohne Verkehrsregelung. Bei der Betrachtung automatisierter Fahrzeuge als Teil des Gesamtverkehrssystems

untersucht die Forschungsgruppe "Automatisiertes Fahren" darüber hinaus, inwieweit automatisierte Fahrzeuge zur Verkehrssicherheit beitragen können.

Die Forschungsgruppe "Automatisiertes Fahren" beschäftigt sich nicht nur mit der Gestaltung der Interaktion und Kommunikation zukünftiger automatisierter Fahrzeuge, sondern auch mit der Eignung und den Anforderungen bestimmter Bewertungs- und Evaluierungsmethoden, z.B. Wizard-of-Oz-Fahrzeugen oder Augmented Reality.

# Forschungsgruppe: Future Work

Dominik Janetzko, Lorenz Prasch, Caroline Adam

Die Forschungsgruppe "Future Work" fokussiert eine der Kerndisziplinen der Ergonomie: Sie befasst sich mit der Erforschung, Gestaltung und Umsetzung von zukunftsfähiger Arbeit für und mit Menschen. Chancen und Herausforderungen, die durch Trends wie die Individualisierung, den demografischen Wandel, die Digitalisierung, die Automatisierung oder die Wissenskultur hervorgerufen werden, verändern unsere Arbeitswelt. Einige dieser Trends werden durch globale Veränderungen wie die COVID-19 Pandemie oder den Klimawandel und damit einhergehenden Folgen vorangetrieben.

Begleitet werden diese Veränderungen von einem Umfeld, das als zunehmend volatil, unsicher, komplex und mehrdeutig beschrieben wird, einer Entwicklung, die unter dem Akronym VUCA subsumiert wird.

Dazu gehört auch die allmähliche Verlagerung weg von traditionellen Festanstellungen an einem festen Arbeitsort hin zu dynamischeren Szenarien wie Homeoffice oder räumlich getrennter Teamarbeit.

Um in diesem zukünftigen Arbeitsumfeld zurechtzukommen und mit dem extrem schnellen technologischen Wandel Schritt halten zu können, werden neue Qualifikationsprofile benötigt, wobei informationstechnologische Fähigkeiten sowie die Fähigkeit, kreativ und agil in Teams zu arbeiten, immer wichtiger werden. Neue Technologien, wie physische und kognitive Assistenten oder vernetzte und selbstlernende Systeme, erobern Produktionshallen ebenso wie Büros, den Dienstleistungssektor und den öffentlichen Raum.

Für eine zukunftsfähige Arbeitswelt müssen neue Kompetenzanforderungen identifiziert und (arbeitsintegriert) gefördert werden. Neue Technologien müssen menschenzentriert gestaltet und in den Arbeitsprozess integriert werden. Neue Arbeitsweisen und Arbeitsumgebungen müssen gestaltet und ihre Auswirkungen auf Produktivität, Wohlbefinden und Kreativität der MitarbeiterInnen quantifiziert werden. MitarbeiterInnen und Führungskräfte müssen im Umgang mit diesen Technologien und Prozessen geschult werden. Daraus ergibt sich das Ziel der For-

schungsgruppe Future Work, Arbeit ganzheitlich in den Dimensionen Mensch, Technik und Organisation zu betrachten und zukunftsfähige Arbeit zu gestalten.

Um dieses Ziel zu erreichen, fokussieren die Mitglieder der Forschungsgruppe ihre Bemühungen auf das Verständnis der verschiedenen Aspekte von Arbeit sowohl auf der Mikro- als auch auf der Makroebene der Ergonomie. Dazu gehören (unter anderem) Themen wie die Unterstützung von WerkerInnen mit Exoskeletten und VR- oder AR-Systemen, das Verständnis von (Kreativ- und Wissens-)Arbeit im Büro oder ein algorithmusgestütztes Trainingsmanagementsystem.

Durch den aktiven Austausch zwischen den verschiedenen Disziplinen und Themen, die in dieser Forschungsgruppe vereint werden, können neuartige Problemansätze formuliert und verfolgt werden, um ganzheitliche Lösungen zu erzielen.

Dies ermöglicht es dem Lehrstuhl für Ergonomie, seine hohe Kompetenz auf dem Gebiet der "klassischen" wie auch "innovativen" Planung, Gestaltung und Bewertung von Arbeitsprozessen weiter unter Beweis zu stellen.

# Forschungsgruppe: Robotics for Life & Healthcare

Manuel Ferle, Olivia Herzog

Das interdisziplinäre Portfolio der Forschungsgruppe Robotics for Life & Healthcare fokussiert sich auf die Erforschung, Gestaltung und Realisierung moderner Konzepte der Mensch-Roboter-Interaktion (MRI) für das Alltagsleben und den Gesundheitssektor.

Im Zuge der voranschreitenden Digitalisierung und Automatisierung halten immer mehr Roboter Einzug in das Alltagsleben, aber auch in hochsensible Bereiche wie den Gesundheitssektor. Dabei treten Menschen in intensiven und vielschichtigen Austausch mit diesen Systemen. Die Interaktionen reichen dabei von sozio-psychologischen Wechselwirkungen, die sich beispielsweise im Rahmen von räumlichen Begegnungen der Akteure ergeben bis hin zu dem physisch-technischen Zusammenspiel zwischen Mensch und Roboter wie beispielsweise bei körpergetragenen Assistenzsystemen für die motorische Rehabilitation in der Medizin. Das sich daraus ergebende Spannungsfeld beschreibt den Wirkungsraum der Forschungsgruppe. Die nachfolgende Abbildung 1 stellt die Fokusbereiche der Forschungsgruppe dar:

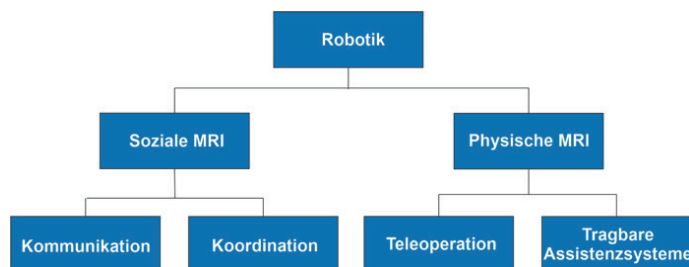


Abbildung 1: Fokusbereiche der Forschungsgruppe Robotics for Life & Healthcare.

In der sozialen MRI sind für uns ergonomische Fragestellungen zu Kommunikation und Koordination aller Akteure im Raum zentral. Dabei beschäftigen wir uns insbesondere mit sozial- und wahrnehmungspsychologischen Phänomenen und Strategien und ihrem Transfer auf die Interaktion mit robotischen Systemen. Aber auch die Wahrnehmung und Akzeptanz unterschiedlicher Roboter und ihrer Verhaltensweisen liegen im Fokus unserer Forschung. Im Forschungsprojekt „sich autonom bewegende

Systeme - sabeS“ (DFG) erforschen wir beispielsweise die räumliche Interaktion und Koordination zwischen Menschen und mobilen Servicerobotern – sowohl in virtueller Realität als auch im direkten Vergleich mit echten, physischen Systemen. Diese Fragestellungen sind sowohl für unser zukünftiges, alltägliches Leben als auch im Gesundheitskontext, z.B. in Krankenhäusern, von Bedeutung.

Im Hinblick auf das Fokusthema der physischen Mensch-Roboter-Interaktion steht die Gesundheit des Menschen im Zentrum. Wir erforschen Schnittstellen an roboterbasierten Systemen in der Medizintechnik zur Verbesserung der Behandlung, Versorgung, Therapie und Rehabilitation von PatientInnen. Zu den Schwerpunkten zählen dabei beispielsweise Fragestellungen zur intuitiven und ergonomischen Gestaltung der Teleoperation in der Chirurgie oder die biomechanische Betrachtung, menschenzentrierte Gestaltung und Entwicklung von körpergetragenen exoskelettalen Systemen für die Unterstützung und Rehabilitation von Menschen mit motorischen Einschränkungen.

## Das Team



# Forschungsgruppe: Energieeffizienz und Klimakomfort

Andreas Rolle, Manuel Kipp

## Nachhaltigkeit und Reduktion von CO<sub>2</sub>

Die Forschungsgruppe Energieeffizienz und Klimakomfort beschäftigt sich mit energieeffizienten Konzepten zur Klimatisierung. Für die Konditionierung von Räumen wird heutzutage viel Energie aufgewendet. Schätzungsweise werden jährlich in den USA 26 Mrd. Liter, in Europa 6,9 Mrd. Liter und in Japan werden 1,7 Mrd. Liter Kraftstoff verbraucht nur zum Kühlen der Fahrzeugkabine (Rugh, 2004). Während beim Verbrennungsmotor ausreichend Abwärme genutzt werden kann, stellt der Antriebsstrang eines Elektrofahrzeugs nicht mehr ausreichend Energie zum Heizen des Innenraums zu Verfügung. Die Energie zum Klimatisieren wird der Batterie entnommen und verringert somit die Reichweite. Auch im Gebäudesektor steigt der jährliche Energiebedarf für Klimaanlage in Wohn- und Bürogebäuden. Mit 2.021 TWh ist der Verbrauch von 2016 gegenüber 1990 um 232% gestiegen und entspricht schätzungsweise 10% des weltweiten Energiebedarfs (Janson, 2021).

Innovationen wie autonomes Fahren und Klimatisierungstechnologien erfordern neue Denkweisen und Ansätze der Klimatisierung um Anforderungen an Nachhaltigkeit und der Innenraumgestaltung gerecht zu werden.

Der thermische Komfort ist dabei eine wesentliche Auslegungsgröße, die über Akzeptanz und Zufriedenheit neuer Konzepte entscheidet. Komfortbeurteilungen stellen zudem die Grundlage für Energiebetrachtungen dar. Neue Klimatisierungskonzepte für Fahrzeuge in Räume müssen im Vergleich zu etablierten Ansätzen thermischen Komfort gewährleisten und zugleich den Energieverbrauch für Heizen und Kühlen deutlich reduzieren. Neben dem Komfortaspekt ist die thermische Behaglichkeit des Menschen eng mit seiner Leistungsfähigkeit verknüpft. Ungünstige thermische Bedingungen haben starken Einfluss auf Konzentration und Reaktionszeit (Temming, 2003). Für eine ganzheitliche Betrachtung von Entwicklung, Analyse und Bewertung neuer Konzepte stellt die Modellierung von Klimakomfort einen großen Aufgabenbereich der Forschungsgruppe

Energieeffizienz und Klimakomfort dar. Das Ziel ist ergonomische Klimatisierung und Verringerung des Energiebedarfs für Heizen und Kühlen.

## Methoden

Die Studien finden in der Klimakammer am Lehrstuhl für Ergonomie statt, in der ein Temperaturbereich von -30°C bis +60°C eingestellt werden kann. In der Klimakammer befindet sich eine generische Fahrzeugkabine zur variablen und automatisierten Versuchsdurchführung, mit der verschiedene Konzepte hinsichtlich des thermischen Komforts und der Energieeffizienz bewertet werden können.

Zur objektive Messung des thermischen Komforts anhand der Äquivalenttemperatur wird ein Klimadummy mit 16 Wärmestromsensoren verwendet.

Ein weiteres Themengebiet ist die CFD-Simulation, mit der die Möglichkeit besteht, verschiedene Klimatisierungskonzepte und den thermischen Komfort im Vorfeld der experimentellen Analyse zu untersuchen.

## Literatur

Rugh, J.; Hovland V. & Andresen, S. (2004). "Significant Fuel Savings and Emission Reductions by Improving Vehicle Air Conditioning,".

Janson, M. (2021) Kühle Luft. [Online]. Available: <https://de.statista.com/infografik/18722/energieverbrauch-von-klimaanlagen/> (accessed: Feb. 24 2021).

Temming, J. (2003) "Fahrzeugklimatisierung und Fahr-sicherheit: Auswirkungen sommerlichen Klimas in Kfz auf die Leistungsfähigkeit der Fahrer," Forschungsvereinigung Automobiltechnik, no. 177, pp. 1–319, 2003. [Online]. Available: <https://www.vda.de/de/services/Publikationen/fat-schriftenreihe-177.html>

# Forschungsgruppe: New Mobility

Johannes Schwiebacher, Christian Lehsing, Martin Dorynek

## New Mobility am LfE

Das Ziel der Forschungsgruppe "New Mobility" des Lehrstuhls für Ergonomie ist die Untersuchung und Optimierung neuer Mobilitätsangebote. Es gibt eine Vielzahl von Visionen für die Zukunft der Mobilität. Sie beeinflusst, wo wir leben und arbeiten, wie wir zusammenleben und inwieweit gesellschaftliche Teilhabe ermöglicht wird. Die Forschungsgruppe "New Mobility" des Lehrstuhls für Ergonomie erforscht neue Formen der Mobilität detailliert unter verschiedensten Gesichtspunkten, aber ebenso systematisch als soziotechnisches Phänomen. Megatrends wie Urbanisierung, Ressourcenknappheit und Klimawandel führen zu neuen Nutzeranforderungen und damit zu großen Veränderungen auf dem Mobilitätsmarkt und in der Produktion.

In der Literatur wird ein Wandel unseres Mobilitätsverhaltens hin zur multimodalen Mobilität prognostiziert (ADAC e. V., 2017). Individuelle Mobilitätsangebote, wie z. B. Ridepooling-Dienste, werden in Zukunft eine zentrale Rolle spielen (König & Grippenkov, 2020). Zudem ermöglicht die fortschreitende Digitalisierung eine zunehmende Verflechtung verschiedenster Mobilitätsangebote zu einem multimodalen und nahtlosen Mobilitätsmix im Sinne von Mobility-as-a-Service (MaaS) (Shaheen & Cohen, 2018). Neben dem Wandel hin zu den dargestellten Mobilitätsangeboten ist bereits heute eine Verschiebung hin zur individuellen Mobilität mit alternativen Verkehrsmitteln wie dem Fahrrad, Pedelec oder auch E-Scooter zu beobachten (Sinus GmbH 2019). Diese Veränderungen erfordern auch die Anpassung bestehender Verkehrsinfrastruktursysteme, die die Forschungsgruppe "New Mobility" vor allem menschenzentriert betrachten und zukunftsorientiert mitgestalten möchte.

Aus Sicht der Forschungsgruppe erscheint es für die Einführung nachhaltiger urbaner Mobilitätsangebote zentral, die vielfältigen individuellen Nutzerbedürfnisse zu verstehen, um Angebote diesbezüglich optimieren zu können. Dabei sind nicht nur die digitalen Konzepte wie beispielsweise die Gestaltung von Smartphone Applikationen wichtig, sondern in gleichem Maße die anthropometrische Gestaltung von

Innenräumen autonomer Fahrzeugkonzepte oder die Gestaltung der Verkehrsinfrastruktur. Methodisch stützt sich die Forschungsgruppe primär auf Nutzerbefragungen (Interviews, Fragebögen, etc.) und Nutzerstudien (z.B. Evaluation von Fahrzeuginnenräumen mittels Virtual Reality).

Derzeit ist der Lehrstuhl für Ergonomie an drei Projekten zum Thema Neue Mobilität beteiligt. Neben UNICARagil, in dem autonome Fahrzeugkonzepte entwickelt werden, ist der Lehrstuhl am DELFIN-Projekt zur dynamischen Bewertung von Fahrzeuginsassen beteiligt. Darüber hinaus befasst sich das Projekt MobiRe mit der Mobilität von Mitarbeitern der Stadt Regensburg.

## Literatur

- ADAC e. V. (Hrsg.). (2017). Die Evolution der Mobilität: Eine Studie des Zukunftsinstituts im Auftrag des ADAC.
- König, A. & Grippenkov, J. (2020). Modelling travelers' appraisal of ridepooling service characteristics with a discrete choice experiment. *European Transport Research Review*, 12 (1). doi: 10.1186/s12544-019-0391-3
- Shaheen, S. & Cohen, A. (2018). Shared ride services in North America: definitions, impacts, and the future of pooling. *Transport Reviews*. doi: 10.1080/01441647.2018.1497728
- Sinus GmbH (2019): Fahrrad-Monitor 2019. Ergebnisse einer repräsentativen Online-Befragung. Hg. v. Sinus GmbH. Heidelberg.



