

# Ergonomie

## AKTUELL



# Impressum

---

## **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,

wir blicken zurück auf ein sehr turbulentes Jahr, in dem Forschung und Lehre nach wie vor unter den Bedingungen der COVID Pandemie stattgefunden haben. Nahezu alle Tagungen, Konferenzen und Workshops haben online stattgefunden. Davon hat durchaus ihre Reichweite profitiert - die persönlichen Kontakte aber gelitten.

Die Autorinnen und Autoren der diesjährigen Beiträge zeigen aber eindrucksvoll, wie wir das zurückliegende Jahr sehr produktiv genutzt haben. Die Laborversuche konnten unter Beachtung strenger Hygieneregeln nach einer Unterbrechung fortgesetzt werden und auch in unserer Arbeitswelt haben Webmeetings die Präsenz zunächst einmal abgelöst. Wir betrachten diese Veränderungsprozesse sehr aufmerksam und im Projekt COVID-19 werden die Auswirkungen der Pandemie auf die Arbeitswelt systematisch untersucht und Best Practice Beispiele aufbereitet. Dieses Verständnis ist umso wichtiger, da im Bereich der KI und Robotik wichtige Technologien entstehen, die in diesen neuen Arbeitswelten nutzergerecht eingesetzt werden sollen. Hier ist der Lehrstuhl zentral am Projekt KI Fabrik der Munich School for Robotics and Machine Intelligence beteiligt.

Neben den Aktivitäten zu automatisierten Fahrzeugführung beschäftigen wir uns immer stärker mit Fragen der nutzergerechten Mobilität, entsprechenden Fahrzeugkonzepten und dem Potenzial automatisierter Fahrzeuge für FahrerInnen mit sensorischen Einschränkungen.

Wir haben die Umbruchszeit der Pandemie genutzt, um uns als Lehrstuhlteam in fünf Forschungsgruppen neu aufzustellen, die sich ebenfalls in dieser Ausgabe präsentieren. Diese Forschungsgruppen intensivieren den wissenschaftlichen Austausch zwischen den Doktoranden und orientieren sich an den gesellschaftlichen Herausforderungen, zu



deren Lösung wir mit ergonomischen Lösungen beitragen wollen.

Diese Ergonomie Aktuell erreicht Sie noch aus der Fakultät für Maschinenwesen und ist damit ein besonderes Exemplar. Der Lehrstuhl für Ergonomie wurde ja vor vielen Jahren aus der Fakultät für Wirtschaftswissenschaften in das Maschinenwesen verlagert. Nun wird diese Fakultät mit mehreren anderen am 1.10.2021 in die School of Engineering and Design überführt. Auch in der SoED stehen wir in Forschung und Lehre für Technikentwicklung orientiert am Menschen.

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

Wir wünschen Ihnen viel Freude bei der Lektüre.

Ihr

A handwritten signature in black ink, appearing to read "Klaus Bengler".

Klaus Bengler



Impressum	02
Editorial	03
UNICARagil – Ein Kurzbericht <i>Johannes Schwiebacher, Manuel Kipp</i>	06
Projektabschluss PedSiVal Plattformübergreifende Validierung von Fußgängersimulatoren <i>Philipp Maruhn, Sonja Schneider</i>	10
Vom Menschen lernen – Für Menschen gestalten <i>Bianca Biebl</i>	16
Bewegungsverhalten von Robotern <i>Jakob Reinhardt, Olivia Herzog</i>	20
COVID-19: Eine Zäsur für die Arbeitswelt <i>Caroline Adam</i>	22
SHAPE-IT: Supporting the Interaction of Humans and Automated Vehicles: Preparing for the Environment of Tomorrow <i>Naomi Y. Mbelekan, Yuan-Cheng Liu</i>	24
Technische Gestaltung von Exoskeletten für den industriellen Einsatz und deren Einführung in den Arbeitsprozess <i>Christina M. Harbauer</i>	26
Die Wizard of Oz (WoOz) Methode: Was muss bei der Durchführung von Studien im Kontext des automatisierten Fahrens beachtet werden? <i>Andrea Scheiter</i>	29
Sportgeräte: Triebfeder und Spielwiese für Human Centered Engineering <i>Quirin Schmid, Prof. Dr.-Ing. Veit Senner</i>	34
Veröffentlichungen von Sommer 2020 bis Sommer 2021	38
Dissertationen	42
Abgeschlossene Diplom- und Masterarbeiten	44
Neue Mitarbeiter	47
Abschied	49
Neuigkeiten	50
Unsere neuen Forschungsgruppen	55

# UNICARagil – Ein Kurzbericht

Johannes Schwiebacher, Manuel Kipp

GEFÖRDERT VOM



## Das Projekt

Das Ziel des Projektes UNICARagil ist eine hochautomatisierte modulare, skalierbare Fahrzeugplattform, die über unterschiedliche Absicherungsmöglichkeiten (Sensoren, Cloud, Drohnen, Leitwarte, aber auch neuartige Softwarearchitekturen) das Verkehrsgeschehen erfasst und in diesem automatisiert agieren kann. Über unterschiedliche Karosserien können individuelle Anwendungsfälle dargestellt werden. In UNICARagil werden vier Fahrzeugkonzepte erarbeitet: ein auf Abruf bestellbares autoTAXI, die autoELF für den privaten Gebrauch, das autoSHUTTLE als Omnibus und das autoCARGO als Lieferfahrzeug. (Woopen et al. 2018)

Der Lehrstuhl für Ergonomie beteiligt sich im Rahmen des Projektes an der Gestaltung eines ergonomischen Innenraums für das autoTAXI sowie an der Kommunikation mit Passagieren und anderen Verkehrsteilnehmern. Der folgende Bericht beleuchtet die bisherige Entwicklung im Projekt.

## Nutzerzentrierte Gestaltung des iHMI und einer Bestellapplikation

Die allgemeinen Anforderungen an die Gestaltung von Applikationen und iHMIs wurden bereits 2019 in einem Styleguide festgehalten. Hierbei sind aktuelle Normen, Richtlinien und Best Practices berücksichtigt worden. Dieser wurde im Jahr 2020 nochmals überarbeitet und insbesondere für die Nutzung auf Geräten mit größeren Bildschirmen (z.B. Tablets) angepasst.

Die Entwicklung der Tabletanwendung für das autoTAXI basiert auf einem im Styleguide näher dargelegten Prozess. Anhand mehrerer Nutzerstudien- und Befragungen wurde eine eindeutig präferierte Funktionsstruktur mit entsprechender Informationsdarstellung in Form eines High Fidelity-Prototypen (siehe Abbildung 1) umgesetzt.

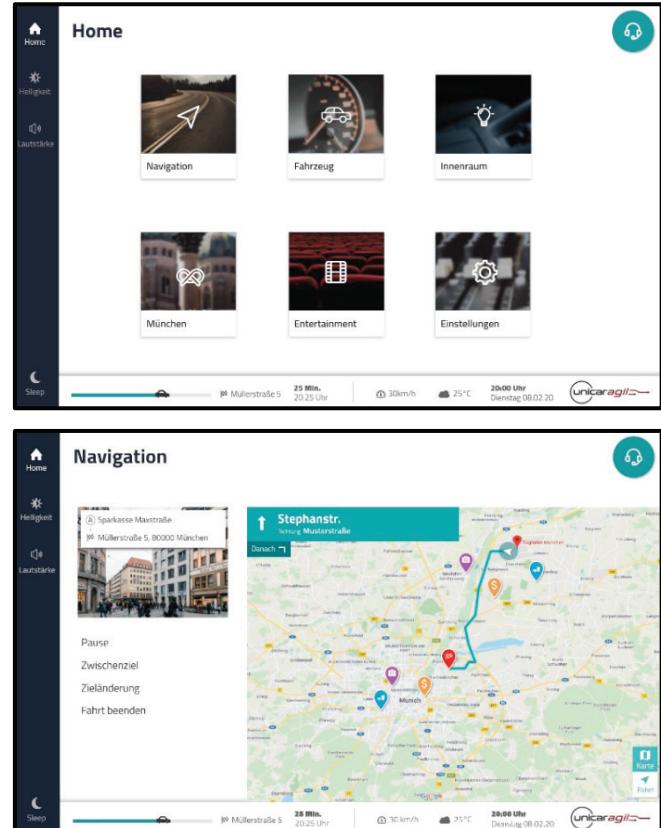


Abbildung 1: High Fidelity Prototyp iHMI autoTAXI.

Analog zur Entwicklung des High Fidelity Prototypen der Tablet-Applikation wurde für die Entwicklung der Smartphone-Applikation für das autoTAXI vorgegangen. Auf Basis der Ergebnisse einer im Jahr 2019 durchgeföhrten Umfrage wurde ein erster Prototyp entwickelt, welcher die Funktionsstruktur genauer untersuchte. Die Ergebnisse dieses Low Fidelity-Prototypen bedingten die Entwicklung von drei verschiedenen Prototypen der Applikation (siehe Abbildung 2). Im Rahmen eines Experteninterviews mit sechs Personen wurden die bevorzugten Funktions- und Designpunkte der drei Prototypen extrahiert und die präferierten Elemente in einem Prototyp vereint. Dieses wird derzeit plattformübergreifend umgesetzt.

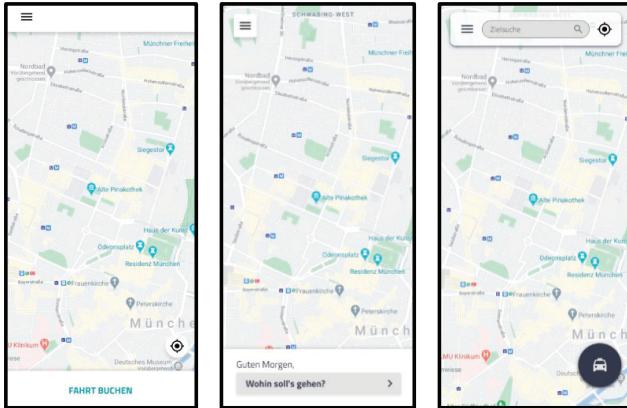


Abbildung 2: Prototypen der Applikation zur Bestellung eines autoTAXI.

## Untersuchung von ungewöhnlichem Fahrverhalten Trajektorien

Eine Untersuchung zur Wirkung von unerwarteten Stillständen wurde im Rahmen einer Onlinestudie durchgeführt. Dabei wurden den ProbandInnen Videos des UNICARagil-Fahrzeugs gezeigt, welches sich durch eine urbane Umgebung bewegt. Es wurde die emotionale Reaktion der ProbandInnen auf einen unerwarteten Stillstand des Fahrzeugs beispielsweise an einer Baustelle untersucht. Folgenden Forschungsfragen wurden formuliert: Sind ProbandInnen gegebenenfalls gewillt das Fahrzeug zu überholen, obwohl die Umgebung dies nicht zulässt? Ist eine Anzeige auf dem eHMI weiterhin hilfreich, um die Reaktion der ProbandInnen abzumildern?

Die Studie kam zu dem Ergebnis, dass ein Stillstand von 45 Sekunden sowohl zu einem deutlich erhöhten Empfinden von Ärger als auch zu einer erhöhten Überholbereitschaft im Vergleich zu einem kürzeren Stillstand von nur 15 Sekunden führt. Die Zunahme der Überholbereitschaft im Verhältnis zur Dauer des Stillstands wurde durch die Anzeige eines Warndreiecks auf dem eHMI im Heck negiert. Die Ergebnisse wiesen auf Grund der relativ kleinen Stichprobe keine statistische Signifikanz auf. Der empfundene Ärger unterschied sich hingegen signifikant in Bezug auf die Dauer des Stillstandes. Die Anzeige auf dem eHMI zeigte keinen signifikanten Einfluss auf den empfundenen Ärger. Zusammenfassend wird empfohlen,

mithilfe des eHMIs über längere Standzeiten zu informieren, um die Überholbereitschaft ggf. zu verringern. Um bei dennoch vorgenommenen Überholmanövern eine möglichst hohe Sicherheit zu ermöglichen, wird weiterhin empfohlen, die Fahrbahn weitestmöglich frei und Stillstände kurz zu halten.

In einer Virtual Reality (VR) Studie wurde untersucht inwieweit sich drei verschiedene Wendetrajektorien hinsichtlich ihrer Eignung für den öffentlichen Straßenverkehr unterscheiden. Dabei wurde ein konventionelles Wendemanöver („Wenden in 3 Zügen“), ein sehr enger Wendekreis in einem Zug (2,8m) sowie ein Wenden auf der Stelle („Rotation“) gewählt. Diese wurden auf Basis der Möglichkeiten der individuell lenkbaren Räder der Fahrzeuge entwickelt und an deren kinematischen Bedingungen geknüpft. Neben einer Überprüfung der Verständlichkeit und Vorhersehbarkeit der Trajektorie wurden weitere subjektive Daten zur Bewertung der Trajektorien herangezogen. Die Studie wurde in einer VR Umgebung im Fußgängersimulator des LfE durchgeführt. An der Studie nahmen 45 Personen teil.

Es zeigte sich, dass das konventionelle Wendemanöver in drei Zügen die höchsten Werte in der Verständlichkeit und Vorhersagbarkeit des Manövers aufweist. Das Wendemanöver über eine Rotation auf der Stelle zeigte sich ebenfalls geeignet, um ein Wendemanöver durchzuführen. Lediglich von einem Wendemanöver ohne Stillstand mit einem engen Wendekreis ist bei Anwesenheit anderer VerkehrsteilnehmerInnen nicht zu empfehlen. Die Ergebnisse zeigten weiterhin, dass das eHMI keinen signifikanten Mehrwert hinsichtlich der subjektiven Bewertung des Wendemanövers liefert. In einer teilstandardisierten Befragung der ProbandInnen konnte der zu geringe Informationsgehalt des Textes "Fahrzeug wendet" als entscheidender Punkt für den geringen Mehrwert ermittelt werden. Des Weiteren wurde die zu späte Erkennbarkeit der Botschaft bemängelt. Dies ist z.T. durch die geringe Auflösung der VR begründet. Daher wurde die Botschaft für die Realisierung am Fahrzeug entsprechend angepasst und die Lesbarkeit durch die Anwendung einer Symbolik verbessert. Auf Basis der Ergebnisse konnte dem Konsortium empfohlen werden, wenn

möglich ein konventionelles Wendemanöver durchzuführen. Sollte auf Grund von beengten Räumen lediglich ein Wendemanöver über Rotation möglich sein, stellt dies eine effiziente und verständliche Möglichkeit dar. Ein Wendemanöver mit engem Wendekreis sollte nicht verwendet werden.

## Innenraum autoTAXI

Im zurückliegenden Jahr hat sich der Lehrstuhl für Ergonomie zusammen mit dem Lehrstuhl für Fahrzeugtechnik der TUM mit der Finalisierung der Konzeptentwicklung des autoTAXIs und der Fertigungsplanung des Innenraums beschäftigt. Dazu wurden zur besseren Bewertung und als Machbarkeitsstudie erste prototypische Aufbauten getätigt.

Die grundsätzliche Topologie des Innenraums ist ein 2+2 Sitzer mit vis-à-vis-Anordnung. Zwei Hauptsitze sind in die Vorzugsrichtung und zwei Klappsitze entgegen der Vorzugsrichtung vorgesehen. Es wurde ein Sitzschalenkonzept zur flexiblen Anordnung von Haupt- und Klappsitzen verfolgt, um eine individuelle Anordnung der Sitze zu ermöglichen.



Abbildung 3: Innenraumdesign autoTAXI.

Das Innenraumdesign wird von Designstudenten der Fachhochschule Salzburg in gestrakten Flächen ausgearbeitet. Anhand eines Anforderungskatalogs an das Design wird Fertigbarkeit, Zugänglichkeiten und Anwendbarkeit sichergestellt. Es werden vier Baugruppen definiert, die vorerst unabhängig voneinander auskonstruiert werden können. Diese sind in Sitzumgebung von Haupt- und Klappsitzen, die ge-

samte Unterkonstruktion und alle Innenraumverkleidungsteile mit integrierten Komponenten gegliedert.

Abbildung 3 zeigt das Design der Sitzschale, die aus Malve, einem neuartigen Holzwerkstoff, gefertigt werden soll. Um die Gesamtprojektvision von zukünftigen Fahrzeugkonzepten zu unterstützen, soll die Sitzschale aus nachhaltigen und biogenen Materialien bestehen.

Alternativ zu den Konstruktionen werden mit Hilfe des digitalen Menschmodells RAMSIS Simulationen zur Absicherung des Greifraums und der Erreichbarkeit sowie eine Sichtbarkeitsanalyse der konstruierten Elemente unter Berücksichtigung möglicher eingenommener Sitzpositionen durchgeführt. So kann während der Konstruktion eine ergonomische Auslegung für das Auslegespektrum von 5. Perzentil Frau bis zum 95. Perzentil Mann garantiert werden. Die Sitzumgebung wurde analysiert und die Erreichbarkeit der integrierten technischen Funktionen in Armlehne und Mittelkonsole überprüft. Abbildung 4 zeigt die Greifräume beider Manikins bei einer aufrechten Sitzposition. Sowohl die induktive Ladestation als auch der Getränkehälter in der Armlehne der Mittelkonsole liegen innerhalb der primären Greifräume.

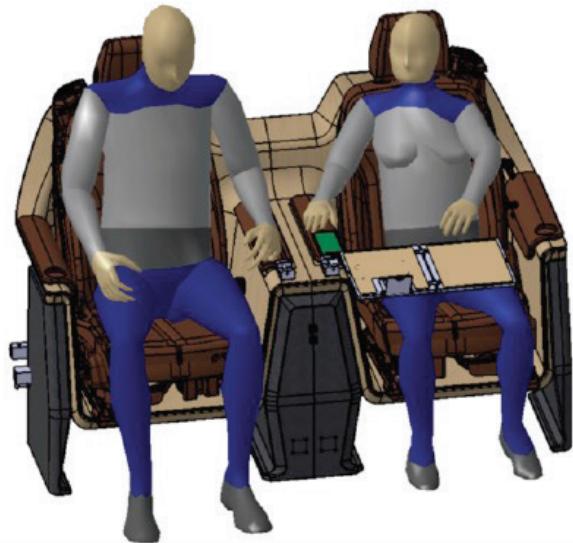


Abbildung 4: Ergonomische Überprüfung der Sitzumgebung mit RAMSIS.

Das im Projekt UNICARagil konzipierte Taxi weist aufgrund seines Automatisierungsgrades keinen

Fahrerarbeitsplatz mehr auf und kann somit frei von herkömmlichen Designs im Innenraum gestaltet werden. Dadurch wird ermöglicht, dass Fahrgäste sich gegenübersetzen und während der Fahrt anderen Tätigkeiten nachgehen können. Aus diesem Grund wurde ein neuartiges Tischsystem entwickelt, das den Anforderungen eines Arbeitsplatzes erfüllen soll. Das Ziel war es, ein innovatives Tischsystem für die vordefinierte Sitzumgebung im Taxi zu konstruieren und zu fertigen. Dazu gehörte neben dem Arbeitstisch selbst auch die Kinematik und eine Strategie, den Tisch innerhalb der Mittelkonsole zu verstauen. Die Geometrien der Sitzumgebung und der Mittelkonsole sind dabei bereits größtenteils festgelegt.

Hierfür wurden zuerst Anforderungen an ein solches Klapptischsystem gesammelt, wobei zusätzlich als Ausschlusskriterium der geometrisch zur Verfügung stehende Raum gesehen werden kann. Diese Anforderungen wurden gewichtet, sodass als die vier wichtigsten Parameter die einfache Umsetzbarkeit, ein barrierefreier Ein- und Ausstieg, eine hohe Robustheit und ein akzeptabler Integrationsaufwand identifiziert wurden.

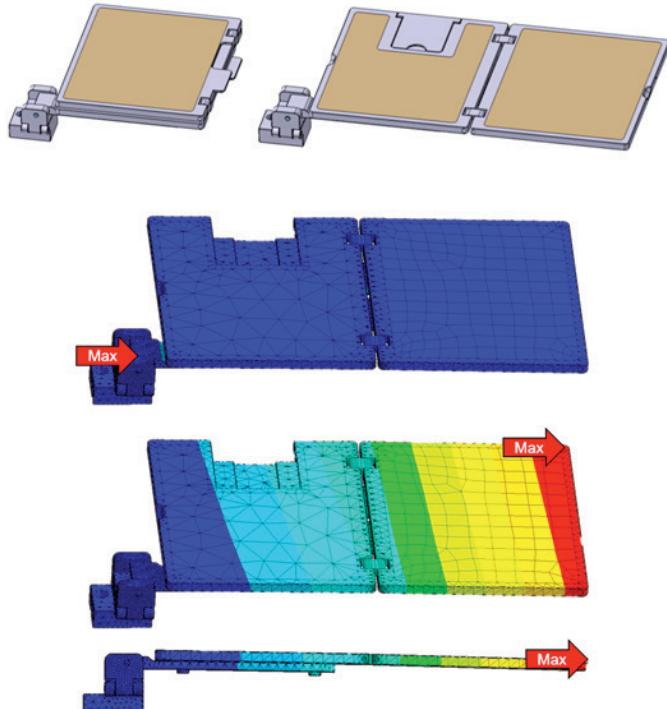


Abbildung 5: CAD-Modell des Klapptischsystems und Ergebnisse aus der FEM Simulation.

Bei der Konstruktion des Systems war sowohl die funktionale als auch ergonomische Gestaltung wichtig, die mittels der digitalen Menschmodellierungs-Software RAMSIS überprüft werden kann. Anschließend musste das System einer computergestützten Festigkeitsüberprüfung mittels FEM in Ansys (Abbildung 5) unterzogen werden. Der in Abbildung 5 dargestellte Klapptisch lässt sich über ein Zwei-Achsen-Drehgelenk aus einem Gestell in der Sitzschale herausheben und aufklappen. Des Weiteren kann die Fläche des Klapptisches über das mittlere Drehgelenk verdoppelt werden und hat als Zusatzfunktion eine ausklappbare Tablethalterung. Die Auflagefläche ist durch eine Linearführung in Längsrichtung flexibel verstellbar. Beim Klapptisch erfolgte durchgehend iterativ zur Konstruktion eine Festigkeitssimulation und eine Kinematiksimulation der Hüllkurve, um allen Anforderungen zu genügen.

Eine finale Evaluation des Klapptischsystems fand in der Sitzkiste vom Innenraum des autoTAXIs statt. Mithilfe des prototypischen Versuchsaufbaus in Abbildung 6 wurden letzte Verbesserungsmöglichkeiten identifiziert und konstruktiv umgesetzt.



Abbildung 6: Versuchsaufbau des Klapptischsystems in der Sitzkiste.

## Literatur

Woopen, Timo; Eckstein, Lutz; Kowalewski, Stefan; Moormann, Dieter; Maurer, Markus; Ernst, Rolf et al. (2018): UNICARagil - Disruptive modulare Architektur für agile, automatisierte Fahrzeugkonzepte. Unter Mitarbeit von Timo Woopen, Bastian Lampe, Torben Böddeker, Alexandru Kampmann, Bassam Alrifae, Torben Stolte et al.

# Projektabschluss PedSiVal

## Plattformübergreifende Validierung von Fußgängersimulatoren

Philipp Maruhn, Sonja Schneider

### Projektübersicht

Virtuelle Umgebungen sind eine häufig verwendete Methode, um Fußgängerverhalten in einer sicheren und kontrollierten Umgebung zu untersuchen. Im Gegensatz zu Fahrsimulatoren jedoch stehen die Entwicklung, der Einsatz und die Validierung von Fußgängersimulatoren noch am Anfang. Ziel des Deutsch-Französischen Kooperationsprojekts PedSiVal (Pedestrian Simulator Validation, DFG, Projekt-nummer: 317326196) in Zusammenarbeit mit der Universität Gustave Eiffel war es, unterschiedliche Typen von Fußgängersimulatoren zu vergleichen und hinsichtlich ihrer Verhaltensvalidität, d.h. der Übereinstimmung des Verhaltens mit realen Umgebungen, zu überprüfen.

Zu Beginn des Projekts entstanden zwei Literatur Reviews: In einem ersten Schritt wurde die relevante Terminologie zusammengefasst und Ansätze zur Ermittlung der Verhaltensvalidität einander gegenübergestellt. Überraschenderweise gibt es, obwohl frühe Validierungsstudien bereits ein halbes Jahrhundert zurückreichen (Leonard und Wierwille, 1975), kaum explizite Validierungsstandards. So fehlen beispielsweise Richtlinien bzgl. der Maße und Schwellenwerte, die eine ausreichende Übereinstimmung kennzeichnen. Stattdessen lässt sich feststellen, dass der Begriff Validität mit einer Reihe recht unterschiedlicher Eigenschaften assoziiert wird. Die daraus resultierende Übersicht über Validierungsansätze wurde zusammen mit Empfehlungen und Best Practices veröffentlicht (Schneider und Bengler, 2020a). Eine zweite Literaturrecherche diente der Ermittlung relevanter und repräsentativer Anwendungsfälle von Fußgängersimulatoren. Siebenundachtzig Studien, die in der letzten Dekade veröffentlicht wurden, wurden nach der Forschungsfrage, den experimentellen Aufgaben und den technologischen Setups kategorisiert (Schneider und Bengler, 2020b). Trotz des breiten Spektrums an verwandten Zielen wurde die Straßenquerung als die häufigste experimentelle Aufgabe identifiziert, was die Gestaltung der nachfolgenden Experimente beeinflusste.

### Die Simulatoren

In Folge des kommerziellen Interesses an virtueller Realität (VR) wird die Hardware kontinuierlich weiterentwickelt, um das Benutzererlebnis zu verbessern und die Bandbreite der möglichen Anwendungen zu erweitern. Während früher teure CAVEs (Cave Automatic Virtual Environments) die Highfidelity Fußgängersimulatoren dominierten, bieten heute Head-Mounted-Displays (HMDs) eine flexible und kosteneffiziente Alternative. Die beiden Simulatorkonzepte unterscheiden sich grundlegend in ihrem Aufbau (Abbildung 1): in einer CAVE spannen Projektionsflächen einen Raum auf. Der Teilnehmer befindet sich in diesem Raum in einem virtuellen Verkehrszenario, welches mittels Rückwandprojektion auf den Leinwänden dargestellt wird. Im Gegensatz dazu wird die virtuelle Umgebung bei einem HMD unmittelbar vor den Augen des Probanden dargestellt. Dadurch ergeben sich Unterschiede der beiden Simulatoren. Beispielsweise kann in einem HMD der eigene Körper zunächst nicht wahrgenommen werden. Durch zusätzliche Sensoren kann die Lage und Position der Extremitäten erfasst werden und in Form eines Avatars in der virtuellen Welt dargestellt werden.

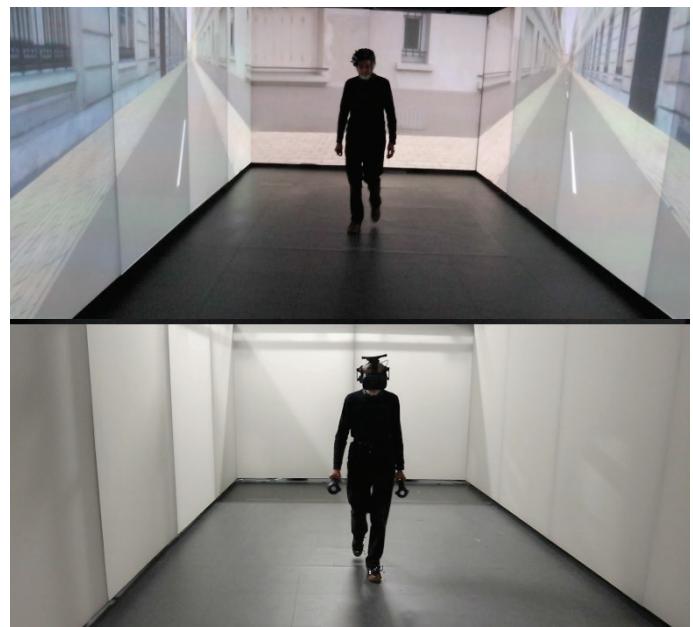


Abbildung 1: Oben CAVE der Universität Gustave Eiffel. Unten Proband mit HMD.

## Experiment 1 – Simulator Vergleich

In einem ersten Experiment wurden Unterschiede hinsichtlich des Querungsverhaltens in Bezug auf diese beiden Aufbauten untersucht. Da verschiedene Altersgruppen unterschiedlich auf technische Charakteristika der jeweiligen Simulatoren reagieren können, umfasste diese Studie drei Altersgruppen (12 Jahre, 25 bis 42 Jahre und 64 bis 81 Jahre) mit jeweils 30 Teilnehmern. Mit Kindern und Senioren wurden gezielt zwei Gruppen angesprochen, die als besonders gefährdet im Straßenverkehr gelten. In beiden Simulatoren wurden den Teilnehmern identische Versuchsszenarien präsentiert, in denen sich Fahrzeugkolonnen mit 40 oder 60 km/h näherten. Die Teilnehmer wurden angewiesen, die Straße zu überqueren, wenn die Lücke zwischen zwei Autos dies ihrer Einschätzung nach gefahrlos erlaubte. Über die drei Altersgruppen hinweg überquerten die Teilnehmer die Straße signifikant häufiger im HMD (61,7% vs. 43,1% im CAVE). Obwohl Kollisionen im Allgemeinen selten waren (2,3 % in der HMD und 1,1 % in der CAVE), traten sie bei Kindern im HMD häufiger auf. Die Teilnehmer mit HMD begannen die Überquerung früher, gingen aber langsamer. Für die drei Altersgruppen ergaben sich ebenfalls unterschiedliche Muster, wobei Kinder mehr Überquerungen akzeptierten als beide Erwachsenengruppen (63,3 % im Vergleich zu 50,3 % bei Erwachsenen und 43,7 % bei Senioren). Die Größe der Unterschiede zwischen den beiden Simulatoren nahm mit dem Alter ab. Die frühere Einleitung der Überquerung im HMD war dagegen bei der ältesten Gruppe am stärksten ausgeprägt. Simulatorkrankheit, posturale Instabilität und Überanstrengung der Augen waren im Allgemeinen selten. Die meisten Teilnehmer berichteten von einem höheren Präsenzgefühl und einer persönlichen Präferenz für das HMD. Detaillierte Ergebnisse wurden auf der Road Safety and Simulation Conference (Cavallo, Dang, et al., 2019) und der Driving Simulation and Virtual Reality Conference Europe (Pala et al., 2020) vorgestellt. Der Vergleich zwischen älteren und jüngeren Erwachsenen wurde außerdem in Pala et al. (2021) veröffentlicht.

## Experiment 2 – Test Track Vergleich

In einem zweiten Experiment (Schneider, Maruhn, Dang, et al., in press) wurden sowohl der CAVE- als auch der HMD-Simulator mit dem Verhalten auf einer Teststrecke mit realen Fahrzeugen verglichen. Ein identisches experimentelles Szenario wurde jeweils einer Gruppe von 30 Teilnehmern in einer der drei Umgebungen präsentiert. In jedem Versuch näherten sich zwei Autos von rechts, und die Teilnehmer wurden angewiesen, einen Schritt nach vorne zu machen, wenn die Lücke zwischen den Fahrzeugen ausreichend groß erschien, um die Straße sicher überqueren zu können. Aus Sicherheitsgründen wurde die Intention die Straße zu queren nur mittels dieses Schritts erhoben und dabei nicht tatsächlich die Straße gequert. Die Autos fuhren entweder mit einer Geschwindigkeit von 30 oder 50 km/h und hielten Lücken von 1, 2, 3, 4 oder 5 Sekunden.

Die Ergebnisse zeigten unterschiedliche Beobachtungen für die drei Umgebungen (Abbildung 2). Über alle Geschwindigkeiten und Lückengrößen hinweg waren die Akzeptanzraten in der CAVE (45,0%) relativ ähnlich zu denen auf der Teststrecke (47,5%). Die Teilnehmer im HMD waren generell zurückhalender und signalisierten nur in 36% der Versuche eine Querungsabsicht. Im Gegensatz zur Teststrecke schienen die Querungsentscheidungen in der CAVE weniger an die Lückengröße angepasst zu sein, was dazu führte, dass ein größerer Anteil kleiner Lücken akzeptiert wurde. Basierend auf Messungen der individuellen Gehgeschwindigkeit vor dem Experiment hätte dies bei 11,5 % der akzeptierten Lücken in der CAVE zu einer Kollision geführt, aber nur bei 2,8 % im HMD und 3,8 % auf der Teststrecke. Im Vergleich zur Teststrecke waren die Überquerungen in beiden Simulatoren verzögert: Während die Teilnehmer auf der Teststrecke häufig die Überquerung einleiteten, bevor das erste Fahrzeug sie passiert hatte, warteten sie in den Simulatoren meist ab (Abbildung 3). In der CAVE wurde das Überqueren bei größeren Lücken zusätzlich verzögert. Schließlich beeinflusste die Fahrzeuggeschwindigkeit signifikant die Akzeptanzraten und Sicherheitsabstände in beiden Simulatoren, aber nicht auf der Teststrecke.

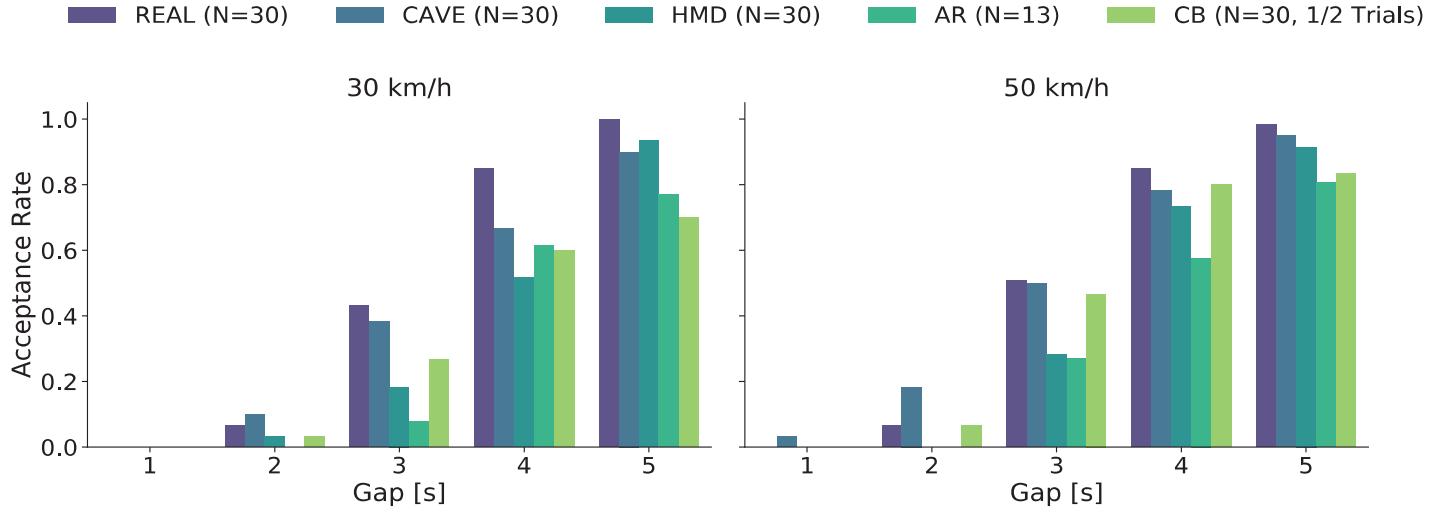


Abbildung 2: Anteil akzeptierter Lücken auf dem Testtrack (REAL) und den verschiedenen Simulator Setups.

Fragebögen nach dem Experiment zeigten, dass sich die Teilnehmer in der HMD-Gruppe ihrer Zurückhaltung und der damit verbundenen Verzögerung bewusst waren. Auf der Teststrecke hingegen schätzten die Teilnehmer ihre Entscheidungen als sicherer und eine Kollision als weniger wahrscheinlich ein als in den Simulatoren. Da keiner der beiden Simulatoren die Ergebnisse des Teststreckenexperiments genau reproduzierte, gelten Einschränkungen bei der Vorhersage des Verhaltens in der realen Welt auf der Grundlage von VR-Studien. Insbesondere die höhere Anfälligkeit für Geschwindigkeitseffekte verlangt nach weiteren Untersuchungen, da sie darauf hindeutet, dass Unterschiede in der Wahrnehmung die experimentellen Ergebnisse beeinflussen können.

## Experiment 2.2 – Weitere Simulator Konzepte

Neben den CAVE- und HMD-Simulatoren wurden auch andere technologische Setups evaluiert. VR-Ansätze erfordern die Erstellung einer virtuellen Umgebung. Das Ziel ist oft, ein möglichst hohes Maß an Immersion zu erreichen, was mit hohen Anforderungen an die grafische Qualität, den Detailgrad und den Realismus verbunden ist. Die eigentliche Analyse beschränkt sich jedoch meist auf wenige virtuelle Objekte, wie z. B. die beiden sich näherrnden Fahrzeuge im zweiten Experiment. Davon motiviert wurde ein Augmented-Reality (AR) Ansatz entwickelt. Dazu wurden die Sensordaten einer am HMD

montierten Front-Stereokamera (ZED mini) live in die VR-Brille gestreamt (Video-Pass-Through). Während der Proband auf der Teststrecke steht, kann er so die reale Umgebung sehen. Dieser Live-Stream der Umgebung wird mit den beiden virtuellen Fahrzeugen überlagert. AR hat somit das Potenzial, die risikofreien und kontrollierten Bedingungen von VR mit dem Detailgrad der realen Umgebung zu kombinieren. Die Ergebnisse zeigten, dass die Probanden, ähnlich wie bei der VR-HMD-Bedingung, weniger Lücken akzeptierten als auf der Teststrecke (Abbildung 2). Mit einer Gesamtkzeptanzrate von nur 31,15 % war dieser Effekt in AR noch ausgeprägter. Wie in den beiden anderen Simulatoren wurden Überquerungen in AR mit einer ähnlichen Verzögerung initiiert. (Maruhn et al., 2020).

Unsere Literaturrecherche ergab eine weitere häufige Einschränkung bei Fußgängersimulator Studien: Sofern ein Vergleich spezifischer Altersgruppen kein Bestandteil der Forschungsfrage ist, werden die Teilnehmer häufig aus dem unmittelbaren (meist akademischen) Umfeld rekrutiert. Dies führt zu einer Überrepräsentation von Studenten. Aufgrund der Ortsabhängigkeit sind kostengünstige Google Cardboards (CB) eine Option einem breiteren Personenkreis den Zugang zu VR-Experimenten zu ermöglichen. Um diesen Ansatz zu evaluieren, wurde das Szenario der Teststrecke in eine Android App übertragen. Die Anzahl der akzeptierten Lücken im Cardboard (37,7%) war vergleichbar mit dem HMD

(36%, Abbildung 2). Wie in allen anderen Simulatoren zeigte sich auch hier wieder eine verzögerte Querungsentscheidung im Vergleich zur Teststrecke (Abbildung 3). Sowohl AR als auch Cardboards zeigten sich somit als vielversprechende Alternativen zu traditionellen virtuellen Umgebungen für die Untersuchung von Fußgängerverhalten.

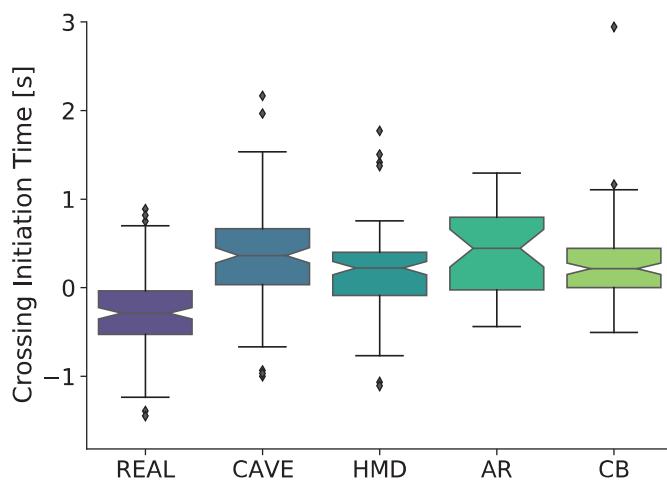


Abbildung 3: Crossing Initiation Time (Zeitdifferenz des Passierens des ersten Fahrzeugs bis zum Initiiieren einer Querung des Probanden) für die unterschiedlichen Simulator Konzepte im Vergleich zum Testtrack (REAL).

## Weitere Arbeiten

Neben den beiden Simulatorvergleichen wurden innerhalb des Projekts noch weitere Fragestellungen bezüglich der Gestaltung von VR Fußgänger Experimenten behandelt.

Da die akkurate Darstellung und Wahrnehmung von egozentrischen Entfernungseinschätzungen entscheidend für die Lückenakzeptanz sind, wurde diese für das HTC Vive HMD im TUM Simulator evaluiert. In einer ersten Studie (Schneider, Maruhn und Bengler, 2018) gaben 29 Teilnehmer verbale Schätzungen von Distanzen zwischen drei und vier Metern ab. In der Hälfte der Versuche wurden sie angewiesen, vor ihrer Schätzung zum Ziel und zurück zu laufen. Das Verhältnis zwischen der visuell angezeigten und der gelaufenen Distanz (Translation Gain) wurde so ma-

nipuliert, dass es zwischen 90 % und 130 % lag. Die Schätzungen waren höher (und damit genauer), wenn die Probanden die Strecke liefen, bevor sie die Distanz schätzten.

In einer zweiten Studie (Maruhn, Schneider und Bengler, 2019) verglichen wir verschiedene Methoden, die üblicherweise zur Quantifizierung der Distanzwahrnehmung verwendet werden. Im Gegensatz zu unseren ursprünglichen Hypothesen übertrafen dabei verbale Schätzungen visuell gerichtete Handlungen in ihrer Genauigkeit. In Übereinstimmung mit der ersten Studie führten geringere Translation Gains zu höheren Schätzungen für die meisten Messmethoden. Eine durchschnittliche Unterschätzung von 7,9 % deutet außerdem darauf hin, dass aktuelle HMDs der Distanz-kompression entgegenwirken, wohingegen zuvor berichtet wurde, dass Distanzen um etwa 25 % unterschätzt werden (Renner, Velichkovsky und Helmert, 2013).

Während des Projekts wurde deutlich, dass die in Fußgängersimulatoren dargestellten Szenarien oft nicht die Komplexität des realen Verkehrs aufweisen. Aufgrund der begrenzten Anzahl von Verkehrsteilnehmern und möglichen Ereignissen ist es fraglich, ob sie die damit verbundenen kognitiven Anforderungen korrekt darstellen. Da insbesondere fehlgeleitete Aufmerksamkeit als eine wesentliche Ursache für Fußgängerverletzungen identifiziert wurde, wurden zwei weitere Studien im TUM-Simulator durchgeführt, um zu evaluieren, ob szenariobedingte Veränderungen die allgemeinen experimentellen Ergebnisse beeinflussen. In einem ersten Artikel wurden Unterschiede zwischen experimentellen Studien und realem Verkehr in Bezug auf die menschliche Informationsverarbeitung aufgezeigt (Schneider und Li, 2020c). Auf diese Zusammenfassung folgte eine Diskussion von Techniken, die eingesetzt werden können, um die Künstlichkeit von experimentellen Szenarien zu verringern. Einige davon, wie z. B. dynamische Distraktoren in der virtuellen Umgebung und temporäre Änderungen der Trajektorie von herannahenden Fahrzeugen, wurden anschließend in einem Experiment mit 40 Teilnehmern eingesetzt. Neben dem Einfluss des Verkehrsszenarios wurden in einer zweiten Studie (Schneider, Ratter und Beng-

ler, 2019) die internen Faktoren von Motivation und kognitiver Belastung untersucht. In einem gemischten Design wurden motivationale Anreize mittels Gamification in einer von zwei Gruppen induziert. In der Hälfte der experimentellen Versuche erfuhr jeder der 36 Teilnehmer eine moderate kognitive Belastung durch eine auditive 1-Back-Aufgabe. Während die Hinzunahme von Spielelementen zur Akzeptanz kleinerer Lücken und einer höheren Laufgeschwindigkeit führte, reduzierte die kognitive Belastung das subjektive Präsenzgefühl und das Spielerlebnis, hatte aber keinen Einfluss auf das beobachtbare Überquerungsverhalten.

## Zusammenfassung

Im Rahmen dieses Projekts wurde ein breites Spektrum möglicher Einflüsse auf die Validität der Fußgängerbeforschung untersucht. Zentrale Fragestellungen zielten auf den Vergleich verschiedener Untersuchungsumgebungen. Dabei wurden mehrere Unterschiede zwischen realen und virtuellen Umgebungen festgestellt, darunter niedrigere Akzeptanzraten, verzögerte Überquerungen und eine erhöhte Anfälligkeit für Geschwindigkeitseffekte in VR. Aufgrund des offensichtlichen Einflusses der experimentellen Aufgabe untersuchten wir szenarioabhängige Techniken, um Wahrnehmungsfehlern entgegenzuwirken und um kognitive Zustände zu verändern. Obwohl unsere Ergebnisse nur vorläufige Daten zu den Effekten des Szenariodesigns liefern, kennzeichnen sie einen wichtigen Schritt in Richtung eines breiteren Verständnisses von Verhaltensvalidität. Insgesamt verdeutlichen unsere Ergebnisse die Bedeutung einer genauen Definition des relevanten Anwendungsfalls und die begrenzte Übertragbarkeit zwischen verschiedenen Aufgaben. Neben Wahrnehmungsfehlern wie Distanzkompression und einer erhöhten Anfälligkeit für Geschwindigkeitseffekte müssen insbesondere die Handlungen, die ein Individuum in VR ausführt, berücksichtigt werden.

## Mitwirkende

### TUM

Prof. Dr. phil. Klaus Bengler | Karin Brüch | Hajo Bucsenez | Nadir Can Cötelioğlu | Dr. phil. Antonia Conti-Kufner | André Dietrich | Martin Fleischer | Guojin Li | Fabian Lübbert | Philipp Maruhn | Lorenz Prasch | Madeleine Ratter | Sonja Schneider | Jingtao Tao | Ekin Uhri

### IFSTTAR / Université Gustave Eiffel

Dr. Viola Cavallo | Ph.D. Nguyen-Thong Dang | Ph.D. Marie-Axelle Granié | Ph.D. Prashant Pala

## Literatur

- Cavallo, V., Dang, N.-T., et al. (2019). "Comparison of HMD and CAVE pedestrian simulators". In: Proceedings of the Road Safety and Simulation Conference. (Iowa City, Iowa).
- Leonard, J. and Wierwille, W. (1975). "Human Performance Validation of Simulators: Theory and Experimental Verification". In: Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting 19.4, pp. 446–456.
- Maruhn, P., Schneider, S., and Bengler, K. (2019). "Measuring egocentric distance perception in virtual reality: Influence of methodologies, locomotion and translation gains". eng. In: PloS one 14.10.
- Maruhn, P., Dietrich, A., et al. (2020). "Analyzing Pedestrian Behavior in Augmented Reality— Proof of Concept". In: 2020 IEEE Conference on Virtual Reality and 3D User Interfaces (VR), pp. 313–321.
- Pala, P. et al. (2020). "HMD and CAVE simulators to study pedestrian street-crossing decisions". In: Driving Simulation & Virtual Reality Conference 2020 Europe. (Antibes, France)

Pala, P. et al. (in press). "Analysis of Street Crossing Behaviour: Comparing a CAVE Simulator and a Head-Mounted Display among Younger and Older Adults". In: Accident Analysis & Prevention.

Renner, R., Velichkovsky, B., and Helmert, J. (2013). "The perception of egocentric distances in virtual environments - A review". In: ACM Computing Surveys46.2, pp. 1–40.

Schneider, S., Maruhn, P., and Bengler, K. (2018). "Locomotion, Non-Isometric Mapping and Distance Perception in Virtual Reality". In: Proceedings of the 2018 10th International Conference on Computer and Automation Engineering - ICCAE 2018. (Brisbane, Australia). ACM Press, pp. 22–26.

Schneider, S., Ratter, M., and Bengler, K. (2019). "Pedestrian Behavior in Virtual Reality: Effects of Gamification and Distraction". In: Proceedings of the Road Safety and Simulation Conference. (Iowa City, Iowa).

Schneider, S. and Bengler, K. (2020a). "Evaluating behavioral validity in traffic simulators". In: Proceedings of TRA2020, the 8th Transport Research Arena: Rethinking transport –towards clean and inclusive mobility. (Helsinki, Finland). Ed. by F. Transport and C. A. Traficom. Traficom Research Reports, p. 130.

Schneider, S. and Bengler, K. (2020b). "Virtually the same? Analysing pedestrian behaviour by means of virtual reality". In: Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour 68, pp. 231–256.

Schneider, S. and Li, G. (2020c). "Virtual Scenarios for Pedestrian Research: A Matter of Complexity?" In: Lecture Notes in Computer Science 12190. HCII 2020. Ed. by J. Y. C. Chenand G. Fragomeni, pp. 171–190.

Schneider, S., Maruhn, P., Dang, N.-T., et al. (in press). "Pedestrian Crossing Decisions in Virtual Environments: Behavioral Validity in CAVEs and Head-Mounted Displays". In: Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society.

# Vom Menschen lernen – Für Menschen gestalten

Bianca Biebl



## Projektübersicht

Assistenz- und Automationssysteme haben durch die gezielte Unterstützung und Übernahme einzelner Fahraufgaben das Potential zur Erhöhung der Verkehrssicherheit und Reduktion des Stressniveaus von Fahrern (Litman, 2019). Vor dem Hintergrund der alternden Gesellschaft ist die Inklusion aktueller Nicht-Fahrer mithilfe technischer Systeme in der Zukunft dabei von besonderem sozialen Interesse. Da etwa 90% der fahrrelevanten Informationen visuell präsentiert werden (Sivak, 1996), führen visuelle Beeinträchtigungen bis hin zu Gesichtsfeldausfällen in vielen Rechtssystemen aktuell zu einem Entzug der Fahrerlaubnis. Studien im Fahrsimulator und im Straßenverkehr konnten jedoch zeigen, dass manche Fahrer trotz des Ausfalls einer Gesichtsfeldhälfte in beiden Augen (sog. homonyme Hemianopsie, s. Abb. 1) mithilfe geeigneter Kompensationsstrategien eine hohe Fahrsicherheit aufweisen können (Elgin et al., 2020; Tant et al., 2002). Im Rahmen des DFG-geförderten Projekts „Vom Menschen lernen – Für Menschen gestalten“ soll identifiziert werden, in wie weit solche Kompensationsstrategien adaptiv an die situativen Anforderungen angepasst werden können. Dies erlaubt die Identifikation der Mechanismen hinter der Entwicklung kompensatorischer Scan-Bewegungen und stellt zugleich die Basis für den zweiten Teil des Projekts dar. Hier soll ein kooperatives technisches System gestaltet und evaluiert werden, das Fahrer mit visuellen Einschränkungen durch die Anpassung an persönliche Herausforderungen und situative Anforderungen in der sicheren Bewältigung von Kreuzungssituationen unterstützt. Für eine erfolgreiche Implementierung sollte ein solches human-cyber physical system (HCPS) in einem holistischen Ansatz die verschiedenen Stärken und Schwächen des Menschen, des technischen Systems und der Interaktion zwischen beiden Agenten berücksichtigen. Im Rahmen dieses Projekts soll ein weiterer Fokus daher auf den Grundlagen des Entscheidungsverhaltens beim Einbiegen in Kreuzungen liegen. Es kann dabei davon ausgegangen werden, dass eine zu hohe Beanspruchung der limitierten kognitiven Ressourcen (sog. cognitive workload) das Entscheidungsverhalten beeinflusst.

Schließlich sollen die Erkenntnisse zu perzeptuellen Einschränkungen und cognitive load der Erstellung eines Modells von Vertrauen bei der Verwendung eines HCPS dienen, da das Potential von HCPS nur bei einem angebrachten Vertrauensniveau der Nutzer voll ausgeschöpft werden kann.

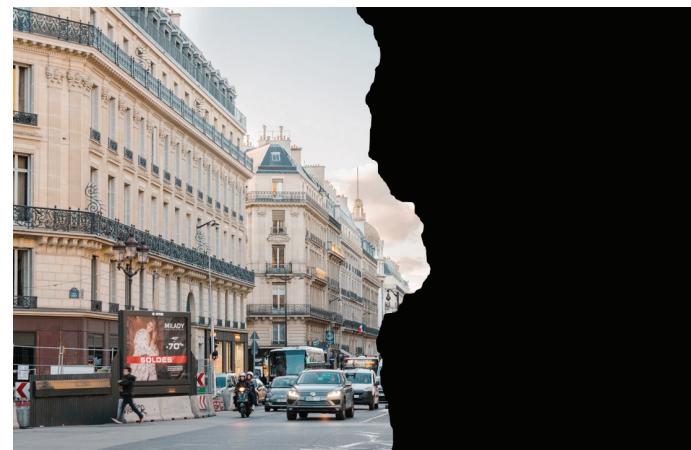


Abbildung 1: Schematische Darstellung eines rechtsseitigen Gesichtsfeldausfalls.

## Kompensationsstrategien visuell beeinträchtigter Fahrer

Neben Problemen in der Spurhaltung und der Anpassung der Geschwindigkeit zeigen manche Fahrer mit homonymen Gesichtsfeldausfällen eine reduzierte Detektion von potentiellen Gefahren wie kreuzenden Fußgängern. Besonders die Gefahrenerkennung kann dabei auf ein nicht ausreichendes Scanning der blinden Areale zurückgeführt werden (Wood et al., 2011; Bahnemann et al., 2015). In einer theoretischen Analyse wurde untersucht, welche Informationen für eine Anpassung des Scannings nötig sind. Die Anwendung des Saliency-Effort-Expectancy-Value Models (Wickens, 2015; s. Abb. 2) zeigte, dass bei peripheren Gesichtsfeldausfällen zum Einen der Wegfall einer stimulusgetriebenen und feedbackbasierten Führung von Blickbewegungen (z.B. die Bewegung eines herannahenden Fahrzeugs im Augenwinkel) eine Herausforderung darstellt.

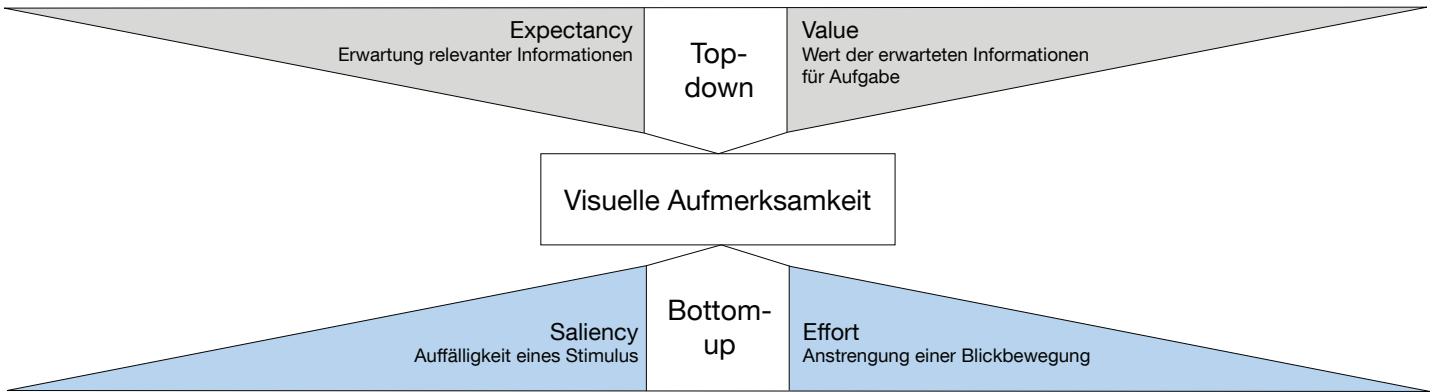


Abbildung 2: Gemäß dem SEEV-Modell von Wickens (2015) ist die Wahrscheinlichkeit für das Ausrichten der visuellen Aufmerksamkeit auf ein bestimmtes Areal oder einen Stimulus abhängig von der Erwartung neuer Informationen in diesem Bereich und deren Relevanz für die Aufgabe (top-down) sowie der Salienz bzw. Auffälligkeit eines Stimulus und der Anstrengung der Augen-, Kopf- und Torsobewegung zur Neuorientierung der Aufmerksamkeit.

Zum Anderen ist das Ausführen ausreichender Blickbewegungen erschwert, da Informationen bei Vorliegen eines Gesichtsfeldausfalls nicht peripher wahrgenommen und daher mithilfe besonders großer Blickbewegungen zentral erfasst werden müssen. Zur Überwindung dieser Schwierigkeiten und der Ausführung ausreichender Blickbewegungen in das blinde Feld wurden zwei Voraussetzungen identifiziert (s. Abb. 3):

1. eine extensive kognitive Repräsentation (sog. mentales Modell) der aktuellen und zu erwartenden Verkehrssituation zur Berechnung des Zeitpunkts und Orts von potentiell relevanten Informationen;
2. ein vollständiges und korrektes Verständnis der eigenen Seheinschränkung zur Berechnung der Blickbewegung, die zum Erfassen der Information nötig ist

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

## Design des ersten Experiments

Seit dem Start des Projekts im August 2020 lag der Fokus der institutsübergreifenden Projektarbeit auf der Erstellung eines gemeinsamen experimentellen Frameworks. Dies soll in der zweiten Projektphase die Kombination von Studienergebnissen zur Modellierung von Vertrauen bei der Verwendung eines HCPS ermöglichen. Daraus abgeleitet befinden sich nun erste Studien zu allen drei thematischen Schwerpunkten in der Vorbereitung. Am Lehrstuhl für Ergonomie soll im Frühjahr bis Sommer 2021 eine Studie zur Untersuchung der Adaptivität von Kompensationsstrategien an die Komplexität von Kreuzungsszenarien im manuellen und assistierten Fahren durchgeführt werden. Dafür sollen normal sehende Probanden, Patienten mit einem halbseitigen Gesichtsfeldausfall und normal sehende Personen mit einem simulierten Gesichtsfeldausfall mehrere Kreuzungsszenarien durchfahren. In Anlehnung an die oben beschriebenen Herausforderungen soll die Komplexität der Kreuzungen durch die Anzahl und Fülle visueller Ablenker und die Dynamik der peripher auftretenden Informationen (mithilfe der Verkehrsdichte) variiert werden.

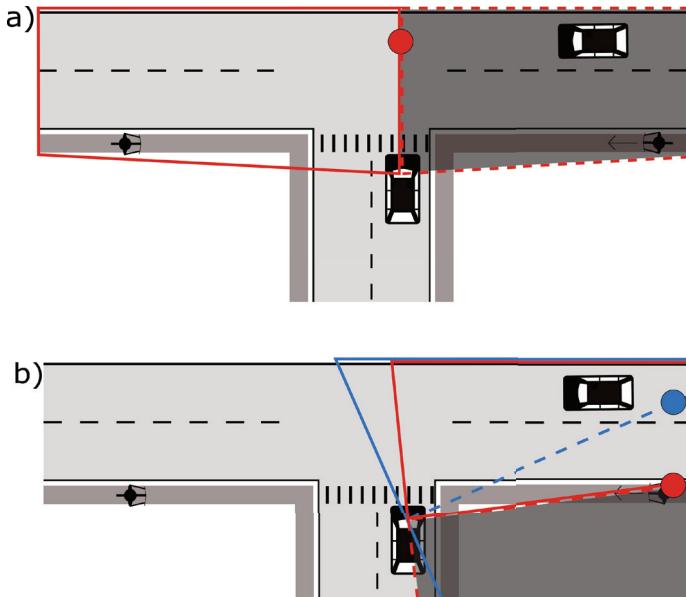


Abbildung 3: Darstellung der besonderen Herausforderungen von Fahrern mit einem homonymen Ausfall des rechten Gesichtsfelds (grau). Personen empfangen keine peripheren Informationen wie herannahende Fahrradfahrer aus der blinden Hälfte (a) und müssen verglichen mit normal sehenden Fahrsens (b, blau) zur Erkennung des Fahrradfahrers eine größere Blickbewegung (Punkt = Fixation) vollziehen (b, rot). Entnommen aus Biebl und Bengler (2021).

Neben der Anpassungsfähigkeit des Blickverhaltens an diese situativen Gegebenheiten bei normal sehenden und beeinträchtigten Fahrsens soll dabei evaluiert werden, inwiefern die Effektivität eines Scanning-Assistenten von den persönlichen Fähigkeiten und situativen Anforderungen abhängt.

## Internationale Kooperationen

Die Frage nach der Gestaltung von HCPS für Fahrsens mit visuellen Beeinträchtigungen ist von interdisziplinärer Natur. Daneben ist die Problematik einer alternden Gesellschaft und damit einer wachsenden Population von Fahrsens und Nicht-Fahrsens mit Einschränkungen weltweit wiederzufinden. Zur Akkumulation der Expertise verschiedener Disziplinen

und Nationalitäten mit variierenden Rechtssystemen wurde zwischen November 2020 und Januar 2021 ein Webinar veranstaltet. Darin beleuchteten renommierte Forscher aus Australien, Japan, USA und Deutschland das Thema Fahren mit visuellen Einschränkungen aus Perspektive der Psychologie, Ophthalmologie, Computer-Wissenschaften und Soziologie. Weitere Informationen zu den beteiligten Referenten und den abgehandelten Themengebieten sind durch Einstellen des folgenden QR-Codes verfügbar:



## Zukünftige Arbeiten

In Abhängigkeit der Ergebnisse des ersten Experiments soll in folgenden Probandenstudien die Ausprägung eines Scan-Assistenten weiterentwickelt und um verkehrsdynamische Eingriffe sowie in-vehicle Entscheidungshilfen erweitert werden. Dabei soll auf die besonderen Bedürfnisse von Fahrsens mit visuellen Einschränkungen hinsichtlich der Darstellungsmodalität von HMIs, der kognitiven Ressourcen zur visuellen Informationsaufnahme und des Vertrauens in ein System mit einer potentiell unreliablen Perzeption der Umwelt berücksichtigt werden.

## Mitwirkende

### TUM

Prof. Dr. phil. Klaus Bengler | Bianca Biebl

### Universität Oldenburg

Prof. Dr. Jochem Rieger | Dr. Anirudh Unni | Moritz Held | Erdal Karaca

### OFFIS

Dr. Andreas Lüdtke | Alexander Trende | Dr. Lars Weber

## Literatur

Bahnemann, M., Hamel, J., de Beukelaer, S., Ohl, S., Kehrer, S., Audebert, H., et al. (2015). Compensatory eye and head movements of patients with homonymous hemianopia in the naturalistic setting of a driving simulation. *Journal of Neurology*, 262, 316–25. doi:10.1007/s00415-014-7554-x.

Biebl B. & Bengler K. (2021). Analyzing Compensatory Scanning in Drivers with Homonymous Visual Field Loss. Proceedings of the 21st Congress of the International Ergonomics Association (IEA) 2021 (Vancouver, Canada).

Elgin, J., McGwin, G., Wood, J.M., Vaphiades, M.S., Braswell, R.A., DeCarlo, D.K., Kline, L.B., & Owsley, C. (2010). Evaluation of on-road driving in people with hemianopia and quadrantanopia. *American Journal of Occupational Therapy*, 64(2), 268-278. <https://doi.org/10.5014/ajot.64.2.268>

Litman, T. (2020). Autonomous vehicle implementation predictions [Paper presentation]. Victoria Transport Policy Institute. <https://www.vtpi.org/avip.pdf>.

Sivak, M. (1996). The information that drivers use: Is it indeed 90 percent visual? *Perception*, 25, 1081–1089.

Tant, M.L.M., Brouwer, W.H., Cornelissen, F.W., Kooijman, A.C. (2002). Driving and visuospatial performance in people with hemianopia. *Neuropsychological Rehabilitation*, 12, 419–37. doi:10.1080/09602010244000183.;

Wickens, C.D. (2015). Noticing events in the visual workplace: The SEEV and NSEEV models. In Cambridge handbooks in psychology. The Cambridge handbook of applied perception research, Vol. II (S. 749–768). Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511973017.046>.

Wood, J.M., McGwin, G., Elgin, J., Vaphiades, M.S., Braswell, R.A., DeCarlo, D.K., et al. (2011). Hemianopic and quadrantanopic field loss, eye and head movements, and driving. *Investigative Ophthalmology & Visual Science*, 52, 1220–5. doi:10.1167/iovs.10-6296.

# Bewegungsverhalten von Robotern

Jakob Reinhardt, Olivia Herzog

## Forschung zur Bewegung von Robotern am LfE

Die Forschung zu lesbarem Bewegungsverhalten von Robotern am LfE beschäftigt sich mit der Möglichkeit, durch gezielte Variation von Bewegungsparametern, effektiv und effizient Intentionen an interagierende Fußgänger zu kommunizieren (Dragan et al., 2013). Dies ist insbesondere in der Forschung zu Human-robot spatial interaction von Bedeutung. Sie befasst sich mit der Untersuchung von Modellen der Art und Weise, wie Menschen und Roboter ihre Bewegungen in räumlicher Nähe zueinander koordinieren (Dondrup et al., 2015).

Von technischer Seite erlauben herkömmliche human-aware-navigation Algorithmen dem Roboter bei Interaktionen mit Menschen eher leichte Anpassungen einer vorwärts gerichteten Trajektorie (Krusse et al., 2013). Im Gegensatz dazu sollen Motion Cues gezielte und auffällige Abweichungen von diesen Trajektorien darstellen, welche eine bewusste Anpassungsstrategie des Roboters deutlicher machen (Reinhardt et al., 2018). Im Prozess, Motion Cues für autonome Roboter anwendbar zu machen, spielen soziale Räume (Rios-Martinez et al., 2015), menschliche Wahrnehmungsprozesse (Blake & Shiffra, 2007), deren Design unter Berücksichtigung der robotischen Gestalt (Schulz et al., 2019), und die Evaluation der Lesbarkeit eine entscheidende Rolle (Lichtenthaler & Kirsch, 2016).

## Funktioniert Back-Off?

Das Bewegungsmuster Back-Off (Abb.1) zeigte in einer Studie Potenzial, die Intention „Vortritt lassen“ besser zu kommunizieren als ein einfacher Stopp-Vorgang (Reinhardt et al., in press). Dabei fährt der Roboter bei unausweichlicher Notwendigkeit der Einigung darüber, wer von beiden Interaktionspartnern zuerst eine Engstelle passieren soll, entlang seiner ursprünglichen Fahrtrichtung zurück. Solch ein Bewegungsverhalten ist durch das bei Menschen beobachtbare Verhalten inspiriert (Moon et al. 2011).

Gegenstand der Untersuchung waren zwei Versionen dieses Rückfahrvorgangs, wobei die kürzere Variante zu höherer Effizienz der Menschen führte.

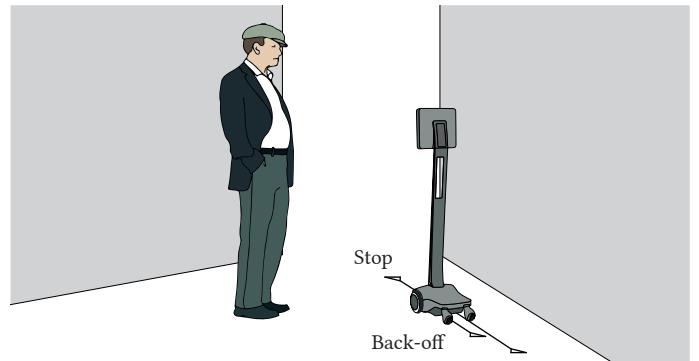


Abbildung 1: Back-off zeigte Potential Menschen den Vortritt an Engstellen zuverlässig zu kommunizieren.

Unter der Berücksichtigung des Information Process Space (Kitazawa & Fujiyama, 2010), konnte die menschseitige Wahrnehmung des Bewegungsmusters den Aktionen des Roboters zugeordnet werden. Abbildung 2 zeigt die Trajektorien von Mensch und Roboter in einer Interaktion entlang markanter Positionen in Abständen von je einer Sekunde. Zum Zeitpunkt des Stopps und darauffolgendem Beginn des Back-Off Motion Cues, befindet sich der Roboter im Information Process Space des Fußgängers, was bedeutet, dass der Fußgänger den Roboter wahrnehmen konnte und auf das Bewegungsmuster geachtet hat.

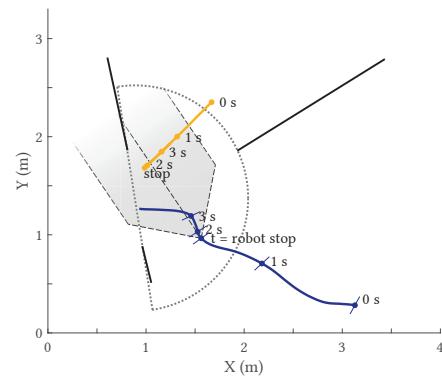


Abbildung 2: Aufeinandertreffen von Mensch (blau) und Roboter (gelb) an einer Engstellsituation. Der Roboter befindet sich zum Zeitpunkt des Back-Off im Information Process Space des Fußgängers.

In Folge dieser Untersuchung zeigte eine Probandenstudie mit N = 78 Teilnehmern, dass Menschen bei ihrer zweiten Begegnung mit einem Roboter, der einen kurzen Back-Off ausführt, effizienteres Gehverhalten zeigten, im Vergleich zu einem Roboter der einen einfachen Stopp ausführte.

## Ausblick

Gegenstand weiterer Untersuchung sind die detaillierte Auslegung der Bewegungsparameter Rückfahrweg, Rückfahrgeschwindigkeit und Ausführungszeit einer Bewegung bei unterschiedlichen Blickwinkeln des Beobachters sowie in Abhängigkeit der Größe und Gestalt eines Roboters (Reinhardt & Bengler, 2021).

Im Rahmen des Forschungsprojektes „SabeS“ unter Förderung der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) wird die Proxemik zu sich autonom bewegenden Systemen untersucht. Es werden dabei in einer Reihe von Studien die Wahrnehmung, Interpretation und Bewertung des Bewegungsverhaltens in gemeinsam genutzten Bewegungsräumen in Abhängigkeit der Distanz zum Menschen betrachtet. Spezifisch soll untersucht werden, ab welcher Distanz Menschen bei Begegnungen mit einem solchen System aufgrund zuwiderlaufender Bewegungstrajektorien eine erkennbare Reaktion des Systems erwarten würden, damit sie die Interaktion als sicher und zufriedenstellend erleben. Ziel des Projektes ist es, den Raum in short-term Interaktionsraum und long-term Interaktionsraum aufzuteilen. In einem long-term Interaktionsraum könnte die herkömmliche Trajektorienplanung der human-aware-navigation bevorzugt werden. Im short-term Interaktionsraum könnten sich Movement Cues als effektiverer Kommunikationsmechanismus erweisen.

## Literatur

- Blake, R. & Shiffrar, M. (2007). Perception of human motion. Annual review of psychology, 58.
- Dondrup, C., Bellotto, N., Jovan, F., & Hanheide, M. (2015). Real-time multisensor people tracking for human-robot spatial interaction. In Proceedings of the 2015 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA). IEEE.
- Dragan, A. D., Lee, K. C., & Srinivasa, S. S. (2013). Legibility and predictability of robot motion. In 2013 8th ACM/IEEE international conference on human-robot interaction (HRI) (pp. 301–308). IEEE.
- Kitazawa, K. & Fujiyama, T. (2010). Pedestrian vision and collision avoidance behavior: Investigation of the information process space of pedestrians using an eye tracker. In Pedestrian and evacuation dynamics 2008 (pp. 95–108). Springer.
- Kruse, T., Pandey, A. K., Alami, R., & Kirsch, A. (2013). Human-aware robot navigation: A survey. Robotics and Autonomous Systems, 61(12), 1726–1743.
- Lichtenthaler, C. & Kirsch, A. (2016). Legibility of robot behavior: A literature review. hal-01306977
- Moon, A., Parker, C. A., Croft, E. A., & Van der Loos, H. M. (2011). Did you see it hesitate? empirically grounded design of hesitation trajectories for collaborative robots. In 2011 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (pp. 1994–1999). IEEE.
- Reinhardt, J. & Bengler, K. (2021). Design of a hesitant movement gesture for mobile robots. PLOS ONE, 16(3).
- Reinhardt, J., Prasch, L., & Bengler, K. (in press). Back off: Evaluation of robot motion strategies to facilitate human-robot spatial interaction. In: ACM Transactions on human-robot interaction. ACM.
- Reinhardt, J., Schmidtler, J., & Bengler, K. (2018). Corporate robot motion identity. In Congress of the International Ergonomics Association (pp. 152–164). Florence, Italy: Springer.
- Rios-Martinez, J., Spalanzani, A., & Laugier, C. (2015). From proxemics theory to socially-aware navigation: A survey. International Journal of Social Robotics, 7(2), 137–153.
- Schulz, T., Torresen, J., & Herstad, J. (2019). Animation techniques in human-robot interaction user studies: A systematic literature review. ACM Transactions on Human-Robot Interaction (THRI), 8(2), 1–22.

# COVID-19: Eine Zäsur für die Arbeitswelt

Caroline Adam

## Wie verändert sich die Arbeit durch die COVID-19 Pandemie?

Zentrale Trends, wie die Globalisierung, die Digitalisierung oder der Strukturwandel verändern unsere Arbeitswelt ständig. Diese Trends sind nicht neu. Sie beschäftigen Unternehmen und Organisationen bereits seit vielen Jahren und führen dazu, dass die Umwelt – und damit auch das Arbeitsumfeld – als zunehmend volatil, unsicher, komplex und mehrdeutig wahrgenommen wird, eine Entwicklung, die unter dem Akronym VUCA bekannt ist (Sauter, Sauter & Wolfig, 2018). Im Lichte dieser Umbrüche geraten etablierte Geschäftsmodelle ins Wanken und sowohl die Anforderungen an die Arbeitsgestaltung als auch an die arbeitenden Personen selbst, verändern sich (Sauter, Sauter & Wolfig, 2018). Die Antwort zahlreicher Unternehmen auf diese Herausforderungen lautet seitdem Flexibilität und Agilität: „sich kontinuierlich an seine komplexe, turbulente und unsichere Zukunft anzupassen“ (Häusling & Fischer, 2016, S. 30). Diese Fähigkeiten werden nun auf die Probe gestellt und die Trends, die sich seit geraumer Zeit fortsetzen, werden massiv beschleunigt. Bedingt wird dieser rasante Umbruch durch das Coronavirus SARS-CoV-2, das eine weltweite Pandemie auslöste. Im ersten Quartal des Jahres 2020 begann damit eine Phase des rapiden Wandels. Die schnelle Ausbreitung von COVID-19 und die damit weltweit einhergehenden Maßnahmen zur Eindämmung der Pandemie haben einen starken Einfluss auf das gesellschaftliche und soziale Leben.

Die Arbeitswelt sieht sich mit strengen und sich dynamisch entwickelnden Vorschriften und Maßgaben konfrontiert. Es müssen Hygienekonzepte entwickelt werden, die unter anderem Abstandsregeln, die Pflicht zur Bedeckung von Mund und Nase oder die möglichst kontaktlose Durchführung von Geschäftsprozessen beinhalten. Der neue Arbeitsalltag verlangt damit eine Anpassung in Arbeitsstrukturen und -abläufen. Während vor der Pandemie Homeoffice und virtuelle Meetings in vielen Unternehmen die Ausnahme bildeten, stellten diese mit der Verbreitung des Virus innerhalb kürzester Zeit die einzige

Möglichkeit dar, arbeitsfähig zu bleiben. Beschäftigte mussten den Umgang mit neuen Technologien erlernen und Unternehmen ihre Belegschaft für die Arbeit im Homeoffice ausstatten. Durch gestoppte oder verzögerte Produktionen kam es zu Verzögerungen in Lieferketten und gleichzeitig zu einer veränderten Nachfrage auf dem Markt (Statistisches Bundesamt, 2020). Zahlreiche Unternehmen machten die Not zur Tugend und passten ihre Produktpalette an, indem sie beispielsweise Desinfektionsmittel statt Parfum produzierten (Lenhardt, 2020) oder Masken statt Kleidung (Laufen, 2020). Jene kurzfristigen Veränderungsprozesse betreffen alle Wirtschaftssektoren und Branchen, in allen Regionen Deutschlands. Um diese Phase des erzwungenen Lernprozesses auch nach Abflachen der COVID-19-Pandemie für den Erkenntnisgewinn nutzen zu können, ist eine detaillierte Analyse der ausgelösten Umstellungs- und Veränderungsprozesse notwendig.

Da sich die Situation um COVID-19 auch im Verlauf des Jahres 2020 nur lokal und phasenweise entspannte, blieb die Arbeitswelt in einem Schwebezustand zwischen teilweise post-pandemischen Arbeitsprozessen und neu etablierten Arbeitsweisen. Die erneute Verschärfung der Pandemie gegen Ende des Jahres 2020 sowie der lange Zeitraum, in dem die Pandemie das Arbeiten und Leben beeinflusst, führt dazu, dass die Ausnahmesituation zu einer neuen Normalität wird und sich neue Prozesse und Strukturen nach und nach etablieren und festigen.

Der Start in das neue Jahr 2021 war ebenfalls massiv durch die Einschränkungen und Maßnahmen zur Eindämmung der Pandemie geprägt. Insbesondere die Verbreitung veränderter und hochansteckender Virusvarianten führt dazu, dass trotz des sinkenden Inzidenzgeschehens im Februar 2021 die strikten Maßnahmen des zweiten Lockdowns bis mindestens Anfang März 2021 durchgesetzt werden. Somit blieben auch weiterhin insbesondere im Dienstleistungsbereich zahlreiche Betriebe geschlossen und physical distancing sowie strikte Hygienemaßnahmen beeinflussen das Private und die Arbeitswelt.

## Ermittlung neu entstandener Arbeitsweisen

Um neue Arbeitsweisen, die im Rahmen der Pandemie entstanden sind und sogenannte Lessons Learned aus der Pandemie für die Zukunft festhalten zu können, werden im durch das BMBF geförderte Projekt COVID19LL Interviews in unterschiedlichen Regionen Deutschlands (Bayern, NRW und Sachsen) und den drei Wirtschaftssektoren (Primär-, Sekundär- und Tertiärsektor) geführt. Die Durchführung der Interviews orientiert sich an dem Vorgehensmodell, welches in Abb. 1 dargestellt ist. Das Vorgehensmodell basiert auf dem MTO-Konzept (Strohm, 1997).

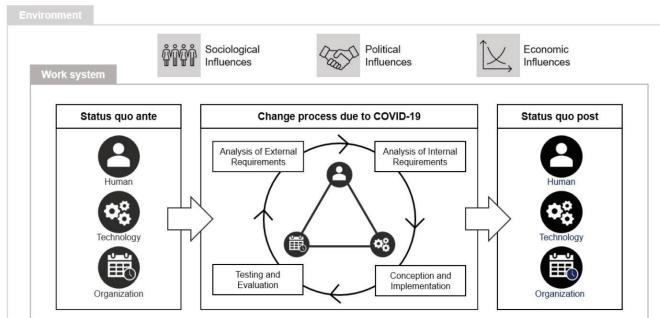


Abbildung 1: Prozessmodell, modifiziert nach Strohm (1997).

Aus den in den Interviews ermittelten Ergebnissen wurden Themen-Clustern für die Ermittlung von Best Practice Beispielen sowie Lessons Learned identifiziert. Nach der vollständigen Codierung der Interviews und der darauf aufbauenden Analyse der Daten werden für einzelne Maßnahmen-Cluster normative Zukunfts-szenarios entwickelt (Kosow & Gaßner, 2008). Dabei sollen die Erkenntnisse, welche über die verschiedenen Unternehmen hinweg im Rahmen des Projektes gesammelt wurden, anhand eines fiktiven Fallbeispiels veranschaulicht werden. Die Methode der Szenario-bildung ermöglicht es, die Maßnahmen anhand konkreter Voraussetzungen und Anforderungen eines Unternehmensgefüges praxisnah zu beschreiben und gleichzeitig die Erfahrungen verschiedener interviewter Unternehmen miteinander zu verknüpfen. Die konkrete Beschreibung der Anforderungen für die erfolgreiche Umsetzung der Maßnahme ermöglicht es den unterschiedlichen Voraussetzungen in unterschiedlichen Wirtschaftszweigen und Tätigkeitsfeldern sowie dem Einfluss der Marktposition des Unternehmens Rech-

nung zu tragen. Gleichzeitig kann auf diese Weise auch das Transferpotential der Maßnahmen zwischen Wirtschaftszweigen und Tätigkeitsfeldern an Stellen von Anforderungsüberschneidungen aufgezeigt werden.

## Literatur

- Häusling, A., & Fischer, S. (2016). Mythos Agilität – oder Realität. *Personalmagazin*, 4, 30-33.
- Kosow & Gaßner (2008). Methods of Future and Scenario Analysis: Overview, Assessment, and Selection Criteria. Deutsches Institut für Entwicklungspolitik GmbH.
- Laufen, K. (2020, 25 März). Welche Masken bieten welchen Schutz? Norddeutscher Rundfunk. Abgerufen von <https://www.tagesschau.de/investigativ/swr/atemschutzmasken-103.html>
- Lenhardt, S. (2020, 27 März). Eine saubere Sache. Norddeutscher Rundfunk. Abgerufen von <https://www.tagesschau.de/inland/desinfektionsmittel-corona-101.html>
- Sauter, R., Sauter, W., & Wolfig, R. (2018). Agile Arbeitswelt. In Agile Werte- und Kompetenzentwicklung, 1-66. Springer Gabler, Berlin, Heidelberg.
- Statistisches Bundesamt. (2020). Wirtschaftliche Auswirkungen. Statistiken mit Bezug zu COVID-19. Zugriff am 12.08.2020. Abgerufen von <https://www.destatis.de/DE/Themen/Querschnitt/Corona/Wirtschaft/kontextinformationen-wirtschaft.html#arbeitsmarkt>
- Strohm, O. (1997). Analyse und Bewertung von Arbeitssystemen. Unternehmen arbeitspsychologisch bewerten, 135-166.

## Anmerkung

- Die Inhalte dieses Beitrags wurden aus den Quartalsberichten des Projektes COVID19LL übernommen:
- Adam, C., Pütz, S., Jochum, G., Ott, G., Bengler, K., Nitsch, V. & Schmauder, M. (August, 2020). Gute Lösungen für die Zukunft nutzen – COVID-19 Lessons Learned. Erster Quartalsbericht. München.
- Adam, C., Pütz, S., Jochum, G., Ott, G., Arcidiacono, E., Bengler, K., Nitsch, V. & Schmauder, M. (November, 2020). Gute Lösungen für die Zukunft nutzen – COVID-19 Lessons Learned. Zweiter Quartalsbericht. München.
- Adam, C., Pütz, S., Jochum, G., Ott, G., Arcidiacono, E., Bengler, K., Nitsch, V. & Schmauder, M. (März, 2021). Gute Lösungen für die Zukunft nutzen – COVID-19 Lessons Learned. Dritter Quartalsbericht. München.

# SHAPE-IT: Supporting the Interaction of Humans and Automated Vehicles: Preparing for the Environment of Tomorrow

Naomi Y. Mbelekani, Yuan-Cheng Liu

## Background

In the past years, the transport world welcomed an emerging domain of practices captured under the umbrella concept ‘automated driving systems’ (ADS), which consist of automated vehicles to autonomous vehicles (AV) and connected automated vehicles (CAV) equipped with various intelligent software design features. Vehicle automation has thus been identified as a game-changer in transport, promising substantial reductions in road-traffic fatalities while improving mobility. From this broad concept, the term AV is surrounded with positive rhetoric and promises about the ability to provide support (in the form of safe, efficient, trustworthy, comfortable, transparent and pleasant user experiences, etc.) for real-world urban transport issues quickly and comprehensively, and thus provide assistance through desired transportation methods. These AVs are intelligent embodied mobile agents that appear to behave logically and intuitively through their interactive interfaces. They are envisioned to lead to a paradigm shift in transportation systems in terms of user experience, mode choices, and business models. However, as these automated mobile systems are in the route to becoming the new normal, quite a few questions and concerns still need to be addressed before these automated vehicles are regarded as functionally members on societies’ roads and complex urban traffic. With another set of questions on the processes to integrate automation in transport, which have been primarily technology-focussed, with insufficient consideration given to how users both inside and outside of the AVs will interact with AVs. Other examples include, how and to what degree do we need to properly study the interaction between humans and automation in order to prepare for future cities and the environment of tomorrow? As well as addressing concerns on collaborative interaction atmospheres between humans and automation in urban cities, thus leading a better functioning society.

By applying better research and design methods with the human user in the loop, we could holistically evaluate road user behaviour with automation (the internal interaction between AV driver and automation and the external interaction between AV and the

general public – pedestrians and cyclists), develop AV interface design strategies, and assess safety in mixed traffic. This could help us understand the human factors and ergonomic mechanism that influence how humans experience the interaction process with automated systems. We aim to evaluate the quality of interaction of HMIs based on different user types, as users navigate through road stressors of urban traffic density and atmospheres, as the vehicle attempts to interact/communicate with the driver, other vehicles on the road, and VRUs in order to achieve safety assurance. This also includes understanding and being aware of the specific surrounding or environment features, for example, rail crossing, new constructed buildings, road constructions, new road signs, animals, plants and nature, among others. Thus, we introduce SHAPE-IT. SHAPE-IT is short for **S**upporting the interaction of **H**umans and **A**utomated vehicles: **P**reparing for the **E**nvironment of **T**omorrow. It is a Marie Skłodowska-Curie Action (MSCA) Innovative Training Network (ITN) project that has received funding from the European Union’s Horizon 2020 research and innovation programme under the Marie Skłodowska-Curie grant agreement 860410 (<https://www.shape-it.eu/>).

The project has a duration of four (4) years starting October 1st 2019, and aims to facilitate safe, acceptable and desirable integration of user-centred and transparent automated vehicles into the mixed urban traffic environments of tomorrow. There are 15 PhD-students performing research in collaboration with their academic and industrial partners. Overall, on the centre of the project is to facilitate rapid and reliable development of safe and user-centred automated vehicles (AVs) for urban environments. Thus, we aim to analyse the human factor claims that accompany vehicle automation technology in the technical and behavioural domain. Through a holistic and cross-cultural approach, the aim is that of capturing, illuminating and harnessing human-automated vehicle interaction, as a result lead to valid and useful knowledge discoveries, so that the field can be scientifically and practically relevant to industry and society. The following is an overview of the research projects in SHAPE-IT.

## Overview of the research programme

The main objective of SHAPE-IT is to facilitate the safe, acceptable (and, ideally, desirable) integration of user-centred and transparent AVs into tomorrow's mixed urban traffic environments, using both existing and new research methods, designing advanced interfaces and control strategies. To realize the objective, the research in this project spans three complementary facets of AV/human factors research:

- **Understand road-user behaviour in AV interaction:** Understanding the behaviour of different road-users (inside and outside AVs) when interacting with AVs, investigating cognitive processes, predictability, trust, acceptance and safe interaction in initial and long-term AV exposure.
- **Develop AV interface design strategies:** Researching the best design strategies for interfaces used for communication and interaction between AVs and humans (inside and outside AVs).
- **Assess safety in mixed traffic:** Integrating knowledge on human/AV interactions into models to perform prospective mixed traffic AV.

Despite independent ESRs researches, collaboration among researchers in the same facet will be carried out during Research Work Packages, where leading beneficiaries will share resources, ensuring complementary skills in terms of research expertise.

ESRs at TUM LfE (ESR2 and ESR7) belong to Working Package 1, focusing their research on human AV interaction inside AV. ESR2 would explore the topic Long-Term Effects of Automation on User Behaviour, investigating how user characteristic, experiences, trust, acceptance etc. change with long-term/repeated use of automation; while ESR7 is with the project title Assessing AV Transparency, and develop/validate a toolbox of methods to achieve transparent in-vehicle interface strategy.

## Funding



This project has received funding from the European Union's Horizon 2020 research and innovation programme under the Marie Skłodowska-Curie grant agreement 860410

# Technische Gestaltung von Exoskeletten für den industriellen Einsatz und deren Einführung in den Arbeitsprozess

Christina M. Harbauer

## Ergonomische Aspekte für den Einsatz von Exoskeletten am Arbeitsplatz

Im Zuge steigender Automatisierung steigt die Belastung auf den Menschen in der Produktionslinie. Auch zukünftig wird die menschliche Arbeitskraft unverzichtbar sein insbesondere bei einer hohen Variantenvielfalt, geringen Losgrößen und flexibler Einsatzplanung. Exoskelette sollen die Beanspruchung aufgrund von kleiner Taktzeiten und stark repetitiver Tätigkeiten reduzieren und durch physische Assistenz ermüdungsfreies Arbeiten ermöglichen. Langfristig sollen diese Assistenzsysteme vor muskuloskelettalen Erkrankungen durch die Arbeitsbelastung schützen und somit gesunden Arbeiterinnen und Arbeitern ein alter(n)sgerechtes Arbeiten in der Produktion ermöglichen.

Trotz einer hohen Anzahl an Systemen in Forschung und Entwicklung (Voilqué, Masood, Fauroux, Sabourin & Guezet, 2019) ist bisher noch kein flächendeckender Erfolg dieser Technologie zu verzeichnen. In verschiedenen Erfahrungsberichten und Studien (Edwards et al., 2021; Hensel & Keil, 2018) wird von schlechter Akzeptanz der Systeme durch die Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter berichtet, welche sich aus ergonomischer Sicht auf drei Hauptfaktoren zurückführen lässt.

## Faktor 1: Technische Gestaltung der Systeme

Viele aktuell auf dem Markt befindliche Systeme besitzen noch immer einen Prototypenstatus und erfahren im Rahmen der Produktpflege teilweise gravierende Veränderungen zwischen einzelnen Produktversionen. Durch vielzählige Tests im Labor und Feld werden Ursachen für Diskomfort, schlechte Usability und daraus resultierende geringe Akzeptanz identifiziert und die Systeme beständig verbessert (Hensel & Keil, 2018).

Da Mensch und Maschine über mehrere Modalitäten in direkter Interaktion stehen, ist die Gestaltung der gesamten Mensch-Maschine Interaktion eine besondere Herausforderung. Technische und wissen-

schaftliche Interdisziplinarität ist bei der Entwicklung eines Exoskeletts unabdingbar.

Die systemrelevanten Ausprägungen dieser Interaktion sind in Abbildung 1 dargestellt. Um eine gute Systemgestaltung zu erreichen muss zunächst eine genaue Schnittstellenbetrachtung durchgeführt werden und entsprechende Anforderungen an das System abgeleitet werden.

Hierbei sind jedoch eine kombinierte menschzentrierte- und tätigkeitszentrierte Betrachtung notwendig, um die Systemkomplexität in einem angemessenen Rahmen zu halten. Dies erfolgt über eine intensive Anforderungsanalyse am Arbeitsplatz und eine Bewegungsanalyse der Tätigkeit, um eine passende Kinematik zu entwickeln. Durch gut gestaltete, komfortable physische Anbindung des Exoskeletts an den Menschen können die unterstützenden Kräfte optimal in den Körper eingeleitet, beziehungsweise Belastungsspitzen von stark beanspruchten Körperteilen weggeleitet werden. Ein dem Anwendungsfall angepasstes Design erleichtert die Integration in den Arbeitsplatz und ein gut platziertes und schlankes Bedienkonzept erleichtert das Rüsten und die Nutzung während des Betriebs. Hier ist eine ausgereifte Intentionserkennung von Vorteil, da im Betrieb durch das Exoskelett keine Ablenkung oder kognitive Überbeanspruchung erfolgen darf.

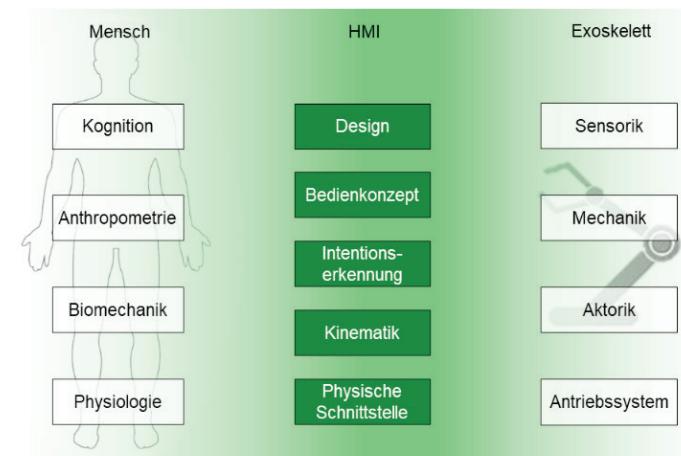


Abbildung 1: Ausprägungen der Mensch-Maschine Interaktion zwischen Mensch und Exoskelett.

Um schon in frühen Entwicklungsstadien die Wirksamkeit und vor allem die Schädigungsfreiheit eines neuen Exoskeletts überprüfen zu können, sollten biomechanische Simulationen herangezogen werden. In Harbauer, Fleischer, Sugiarto und Bengler (2021) konnte so schon früh eine Reduktion von Gelenkreaktionskräften durch die Nutzung eines Exoskeletts nachgewiesen werden, welche in Harbauer, Fleischer, Bandmann und Bengler (2021) durch die Optimierung des Kraftangriffspunktes noch deutlich weiter reduziert werden konnte.

## Faktor 2: Identifizierung geeigneter Systeme

Derzeit am Markt befindliche Exoskelette spezialisieren sich auf die Unterstützung einer einzelnen Bewegung, wie die Rumpfbeugung (Bosch, van Eck, Knitel & Looze, 2016).

Aktuelle Arbeitsplätze im Produktionsumfeld, insbesondere in mittelständischen Unternehmen, zeichnen sich jedoch durch eine Vielzahl an unterschiedlichen Tätigkeiten aus. Wenn für so einen Arbeitsplatz ein Exoskelett herausgesucht werden soll, muss somit zunächst der Arbeitsplatz auf folgende Faktoren betrachtet werden

- Statische Körperhaltungen in denen Belastung stattfindet
- Dynamische Bewegungen die unter Belastung durchgeführt werden
- Nebentätigkeiten mit gegensätzlichen Haltungen oder Bewegungen
- Zeitanteile der Haupt- und Nebentätigkeiten

Aufgrund dieser variierenden Bewegungsabläufe innerhalb eines Arbeitsplatzes ist es in der Regel notwendig organisatorische Gestaltungsmaßnahmen zu ergreifen, um ein Exoskelett an einem bestehenden Arbeitsplatz einsetzen zu können. Beispiele hierfür sind die blockweise Abfertigung gleichförmiger Tätigkeiten oder die Umorganisation ähnlicher Tätig-

keiten zwischen verschiedenen Arbeitsplätzen. Dies birgt jedoch die Gefahr von verstärkter einseitiger Belastung und Unterforderung der betroffenen Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter, weshalb diese organisatorischen Gestaltungsmaßnahmen mit Bedacht durchgeführt werden sollten.

## Faktor 3: Einführung eines Systems in einen bestehenden Arbeitsprozess

Die deutsche gesetzliche Unfallversicherung (DGUV) und Deutsche Gesellschaft für Arbeitsmedizin und Umweltmedizin e.V. (DGAUM) hat Checklisten, Gefährdungsbeurteilungen und Leitlinien erarbeitet, die Arbeitgeber bei der sicheren Einführung neuer Exoskelette unterstützen sollen (DGAUM, 2020; DGUV, 2020a, 2020b). Für eine gute Akzeptanz ist es jedoch wichtig, nicht nur Betriebsrat und das betriebsärztliche Fachpersonal frühzeitig einzubinden, sondern auch die Mitarbeiterinnen und Arbeiter an den betroffenen Arbeitsplätzen früh mit in den Entscheidungsprozess mit einzubinden. Dies ist unter anderem für die frühzeitige Kommunikation realistischer Erwartungen an diese Systeme von Bedeutung. Erfahrungsberichten zufolge haben auch übersteigerte Erwartungen an ein Exoskelett negative Folgen auf die Akzeptanz der Systeme, da diese keine „Superkräfte“ verleihen, sondern nur die Arbeit etwas erleichtern sollen.

Des Weiteren hängt mit der Einführung solcher Systeme ein Lernprozess zusammen. Hierfür muss den Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern Zeit und eine engmaschige Betreuung eingeräumt werden, damit sie sich im Arbeitsalltag mit den Systemen sicher fühlen.

Im Kontext des Projektes „LEXO-FA“, gefördert durch KME (Kompetenzzentrum Mittelstand GmbH), werden derzeit Guidelines erarbeitet, die insbesondere mittelständischen Unternehmen die Durchführung von Faktor 2 und Faktor 3 erleichtern sollen.

Trotz der beschriebenen Herausforderungen erhoffen sich auch zukünftig nicht nur das Management von Unternehmen, die mit solchen schlechten ergo-

nomischen Bedingungen an einzelnen Arbeitsplätzen zu kämpfen haben eine Lösung durch Exoskelette. Laut Edwards et al. (2021) wollen auch trotz bisheriger nicht sehr erfolgreicher Tests die Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter weiterhin Exoskelette an den Arbeitsplätzen testen.

## Literatur

- Bosch, T., van Eck, J., Knitel, K. & Looze, M. de. (2016). The effects of a passive exoskeleton on muscle activity, discomfort and endurance time in forward bending work. *Applied ergonomics*, 54, 212-217.
- Deutsche Gesellschaft für Arbeitsmedizin und Umweltmedizin e.V. (DGAUM). (2020). S2k-Leitlinie: Einsatz von Exoskeletten im beruflichen Kontext zur Primär-, Sekundär-, und Tertiärprävention von arbeitsassoziierten muskuloskelettalen Beschwerden (1. Auflage) (Deutsche Gesellschaft für Arbeitsmedizin und Umweltmedizin e.V., Hrsg.). Verfügbar unter <https://www.awmf.org/leitlinien/detail/II/002-046.html>.
- DGUV. (2020a). Checkliste für den betrieblichen Einsatz von Exoskeletten. FBHL-020 (DGUV, Hrsg.).
- DGUV. (2020b). Einsatz von Exoskeletten an gewerblichen Arbeitsplätzen: Sachgebiet Physische Belastungen; FBHL-006 (FBHL-006).
- Edwards, V., Kitzmann, D., Müller, G., Schubert, T., Stehn, F. & Weidner, R. (2021). Akzeptanz und Usability von Exoskeletten zur Rücken- und Schulterunterstützung in der Logistik: Standortübergreifende Studie mit Akzeptanz- und Belastungsstudie an ausgewählten Arbeitsplätzen. In Gesellschaft für Arbeitswissenschaft (Hrsg.), GfA Frühjahrskongress 2021. Arbeit HUMAINE gestalten
- Harbauer, C. M., Fleischer, M., Bandmann, C. & Bengler, K. (2021). Optimizing force transfer in a soft exoskeleton using biomechanical modeling. In IEA (Hrsg.), Congress of the International Ergonomics Association. . Cham: Springer.
- Harbauer, C. M., Fleischer, M., Sugiarto, W. K. & Bengler, K. (2021). Analyse der auftretenden Gelenkreaktionskräfte durch Nutzung eines weichen Exoskeletts mittels biomechanischer Simulation: Beitrag B.12.4. In Gesellschaft für Arbeitswissenschaft (Hrsg.), GfA Frühjahrskongress 2021. Arbeit HUMAINE gestalten
- Hensel, R. & Keil, M. (2018). Subjektive Evaluation industrieller Exoskelette im Rahmen von Feldstudien an ausgewählten Arbeitsplätzen. *Z. Arb. Wiss.*, 72 (4), 252-263.
- Voilqué, A., Masood, J., Fauroux, J., Sabourin, L. & Guézet, O. (2019). Industrial Exoskeleton Technology: Classification, Structural Analysis, and Structural Complexity Indicator, In 2019 Wearable Robotics Association Conference (WearRAcon), 2019 Wearable Robotics Association Conference (WearRAcon).

# Die Wizard of Oz (WoOz) Methode: Was muss bei der Durchführung von Studien im Kontext des automatisierten Fahrens beachtet werden?

Andrea Scheiter

## Die Geschichte der WoOz-Methode

Man bezeichnet Versuche als Wizard of Oz Versuche, bei denen ein Mensch (genannt der Wizard) ein noch nicht existentes technisches System verdeckt für den Probanden simuliert (Bernsen, Dybkjær & Dybkjær, 1994). Dabei wird der Proband häufig in dem Glauben gelassen, er interagiere mit dem realen technischen System (Bernsen et al., 1994). Die Bezeichnung Wizard of Oz des Versuchsparadigmas stammt hierbei aus dem Kindermärchen „Der Zauberer von Oz“ von L. Frank Baum (1900): Der große Zauberer von Oz entpuppt sich schlussendlich als ein gewöhnlicher Mann, der mittels verdeckter Kontrolleinheiten hinter einem Vorhang die Illusion des Zauberers lediglich simuliert (Baltodano, Sibi, Martelaro, Gowda & Ju, 2015; Green & Wei-Haas, 1985).

Die WoOz-Methodik hat bereits eine lange Tradition in der Ergonomie. Als ihre Erfinder gelten Michael Kelly und John F. Kelly, die das Versuchsparadigma beide während ihrer Zeit als Doktoranden an der Johns Hopkins University (1975 bzw. 1983) nutzten und in der Forschung etablierten (Green & Wei-Haas, 1985). Zu Beginn wurde die WoOz-Methodik dabei vor allem eingesetzt, um natürliche Spracherkennungssysteme zu simulieren (Green & Wei-Haas, 1985). Gould, Conti & Hovanyecz (1983) nutzen das Versuchsparadigma beispielsweise zur Simulation einer „zuhörenden Schreibmaschine“ („listening typewriter“), die gesprochene Inhalte direkt in Text umsetzt, während Kelley (1983) einen Computer-Assistenten simulierte, der Computer-Novizen bei der Bedienung eines digitalen Kalenders unterstützt. Später wurde die WoOz-Methodik zusätzlich genutzt, um multi-modale Erkennungssysteme zu simulieren. Hauptmann (1989) beispielsweise simulierte ein Grafikprogramm, das mittels Sprach- und Gestensteuerung zur Bildbearbeitung genutzt werden konnte, während in der Studie von Robbe, Carbonell und Dauchy (1997) ein Programm zur Raumplanung untersucht wurde, dass ebenfalls mittels Sprach- und Gestensteuerung bedient werden konnte. Auch im Automobilbereich wurde die WoOz-Methodik zur Simulation von multi-modalen Erkennungssystemen verwendet, z. B. zur Erforschung einer Radiosteuerung (Alpern & Minardo, 2003) oder der Steuerung weiterer fahrfremder Fahrzeugfunktionen (Stecher & Zimmermann, 2018) mittels Gestik.

## WoOz zur Simulation eines automatisierten Fahrzeugs

Bezogen auf den Automobilsektor wird die WoOz-Methodik zudem verstärkt verwendet werden, um die Illusion eines automatisiert fahrenden Fahrzeugs zu erzeugen. Heutzutage wird die veränderte Beziehung zwischen Fahrzeug und Insassen meistens noch mithilfe von Studien im Fahrsimulator untersucht (Gold, Meyer, & Fischer, 2017). Allerdings sollten Ergebnisse, die in einer virtuellen Testumgebung gewonnen wurden, immer durch Experimente in einer realen Versuchsumgebung ergänzt werden (Joisten, Müller, Walter, Abendroth, & Bruder, 2019). Hierzu bieten WoOz-Fahrzeuge die Möglichkeit, automatisiertes Fahren im realen Straßenverkehr zu simulieren. Dies geschieht, indem ein sogenannter Wizard-Fahrer verdeckt für den Probanden das Fahrzeug steuert (Coelingh & Nilsson, 2018).

Im Jahr 2006 entwickelten Kiss, Schmidt und Babbel (2006) erstmals ein WoOz-Fahrzeug, mithilfe dessen Fahrerassistenzfunktionen im realen Straßenverkehr simuliert werden konnten. Belebt durch die Entwicklung der RRADS- (Baltodano et al., 2015) und Ghost-Driver-Konzepte (Rothenbücher, Mok, Li, Ju & Sirkin, 2015) im Jahr 2015 werden WoOz-Versuche verstärkt in der Forschungsgemeinschaft genutzt, um z. B. veränderte Nutzerbedürfnisse an ein automatisiertes Fahrzeug frühzeitig zu erkennen. Insbesondere im Rahmen des Forschungsprojektes Ko-HAF (kooperatives hochautomatisiertes Fahren) kam die WoOz-Methodik verstärkt im Realfahrzeug zum Einsatz (Berghöfer, Purucker, Naujoks, Wiedemann & Marberger, 2018; Gold et al., 2017; Jarosch, Paradies, Feiner & Bengler, 2019; Manstetten, Marberger & Beruscha, 2019; Naujoks, Purucker, Wiedemann & Marberger, 2019; Weinbeer et al., 2017; Weinbeer, Muhr & Bengler, 2018; Weinbeer, Bill, Baur & Bengler, 2018).

## Variabilität in der Studiendurchführung

Das WoOz-Versuchsparadigma ist, wie allein durch die verschiedenen Einsatzgebiete deutlich wird, sehr vielseitig in seiner Anwendung. Diese Vielseitigkeit, vor allem auch innerhalb desselben Einsatzgebiets, ist jedoch Vorteil und Nachteil zugleich. Während sich mithilfe dieser Variabilität nahezu alle Ausprägungsmöglichkeiten des automatisierten Fahrens in einer realen Versuchsumgebung simulieren lassen, können große Unterschiede in der Versuchsdurchführung allerdings einen negativen Effekt auf die wissenschaftliche Güte und Vergleichbarkeit der Ergebnisse haben.



Abbildung 1: Beispielhafte Abbildung eines Rechtslenker-WoOz-Fahrzeugs (Scheiter, Linnemann, Herbst & Bengler, 2020)

Es konnte beispielsweise ermittelt werden, dass verschiedene WoOz-Fahrzeugaufbauten genutzt werden (Bengler, Omozik. & Müller, 2020): Linkslenker (Baltodano et al., 2015), Rechtslenker (Weinbeer et al., 2017; Scheiter et al., 2020) (siehe Abbildung 1), Joystick-Steuerungen (Naujoks et al., 2019), Rückbanksteuerungen (Osz, Rydström, Fors, Pink & Broström, 2018) und Probanden im Fond des Fahrzeugs (Karjanto, Yusof, Terken, Delbressine, Rauterberg, & Hassan, 2018). Eine detaillierte Beschreibung der Fahrzeugaufbauten sowie der geeigneten Ein satzzwecke (insbesondere der unterschiedlichen

zu simulierenden Automationsstufen) der jeweiligen Konstruktion finden sich in Bengler et al. (2020). Neben der Eignung für unterschiedliche Automationsstufen wird zudem vermutet, dass sich Unterschiede im Aufbau der WoOz-Fahrzeuge auch auf die Glaubwürdigkeit der Täuschung auswirken.

Die Wirkung der Täuschung wird wahrscheinlich zusätzlich durch die Instruktion der Probanden vor dem Versuch beeinflusst. Hier lassen sich ebenfalls Unterschiede in der Literatur finden: Manchmal wird bereits im Vorfeld des Versuchs über die Funktionsweise eines Wizard-Fahrzeugs aufgeklärt (Berghöfer et al., 2018), in anderen Studien wird die Probandeninstruktion möglichst kurzgehalten (ohne auf die WoOz-Methode einzugehen) (Aremyr, Jönsson & Strömberg, 2018) und eine weitere mögliche Vorgehensweise ist das Ausdenken einer Cover-Story für den zusätzlichen Fahrzeuginsassen (Sportillo, Paljic & Ojeda, 2019).

Zusätzlich zu den Aspekten des WoOz-Fahrzeugaufbaus sowie der Instruktion der Probanden vor dem Versuch hat vermutlich auch die simulierte automatisierte Fahrweise einen Einfluss auf die Glaubwürdigkeit der Täuschung. Der simulierte automatisierte Fahrstil wird jedoch oftmals nicht genauer in Veröffentlichungen erläutert. In manchen Studien wird allerdings angegeben, dass ein defensiver Fahrstil angestrebt wurde (Sportillo et al., 2019) oder es wird eine Maximalgeschwindigkeit vorgegeben (Omozik, Yang, Kuntermann, Hergeth & Bengler, 2019). Selten wird der Fahrstil durch Vorgabe von Maximalwerten für Quer- und Längsbeschleunigungen definiert (Ekman, Johansson, Bligård, Karlsson & Strömberg, 2019). Eine genauere Erläuterung der vorkommenden Instruktionsvarianten findet sich ebenfalls in Bengler et al. (2020).

Die Auswirkung dieser Unterschiede in der Versuchsdurchführung auf Studienergebnisse ist bisher unklar. In jedem Fall lässt sich daraus jedoch ein Standardisierungsbedarf für WoOz-Studien zur Simulation einer automatisierten Fahrt im Realverkehr ableiten, sodass damit verlässliche und reproduzierbare Ergebnisse erzielt werden können.

## Standardisierungsbedarfe und -wege

Zur Ableitung der Standardisierungsbedarfe wurde auf die Testgütekriterien zurückgegriffen (siehe Müller, Weinbeer, & Bengler (2019) für die genaue Herleitung). Hierdurch konnte die folgende methodische Schwierigkeit hinsichtlich der Illusion bei der Durchführung einer WoOz-Studie im Kontext des automatisierten Fahrens ermittelt werden (Müller et al., 2019):

- Der Proband sollte glauben, er fahre automatisiert.

Diese Voraussetzung der WoOz-Methode wird in Studien heutzutage meistens nicht überprüft. Falls dies doch geschieht, werden die Probanden nach dem Versuch befragt. Jedoch wird in den wenigen Veröffentlichungen berichtet, welches Werkzeug zur Überprüfung der Illusion verwendet wurde. Vermutlich werden die Probanden nach der Aufklärung über die Täuschung gebeten, die Glaubwürdigkeit der Täuschung mithilfe einer Skala zu bewerten. Dies birgt allerdings das Risiko, dass Probanden nicht ehrlich antworten, weil sie entweder die Versuchsleiter nicht enttäuschen wollen oder ungern zugeben, dass sie der Täuschung erlegen sind. Darauf schlagen Baltodano et al. (2015) vor, Probanden stattdessen zu fragen, ob sie dem Fahrzeug vertraut haben und auszuwerten, ob die Antworten der Probanden Hinweise auf eine mögliche Aufdeckung des WoOz-Prinzips enthalten. Zudem ist bisher unklar, ob (in Abhängigkeit der gewählten Fragestellung) auf eine Prüfung der Täuschung verzichtet werden kann und stattdessen das bloße Gefühl der Kontrollabgabe – auch an eine andere Person – als ausreichend gewertet werden kann.

Drei weitere methodische Schwierigkeiten konnten hinsichtlich der simulierten Fahrweise des WoOz-Fahrzeugs hergeleitet werden (Müller et al., 2019):

1. Das Fahrzeug sollte sich so verhalten, wie es ein automatisiertes Fahrzeug auch tun würde.

2. Der Wizard-Fahrer muss zu unterschiedlichen Zeitpunkten in der Lage sein, exakt denselben Fahrstil zu reproduzieren.
3. Mehrere Wizard-Fahrer müssen in der Lage sein, denselben Fahrstil zu reproduzieren.

Bezüglich dieser Schwierigkeiten lassen sich ebenfalls nur wenige Lösungsmöglichkeiten in der WoOz-Literatur finden. Allerdings ähnelt dieses Problem einem Problem, dass bereits aus der Forschung zum umweltfreundlichen Fahren bekannt ist: Der bisherige Fahrstil eines Fahrers soll in einen anderen (automatisierten bzw. spritsparenden) Fahrstil gewandelt werden. Aus der Literatur zum umweltfreundlichen Fahren lässt sich entnehmen, dass sich Verhaltensanweisungen (Arend, Franke, & Stanton, 2019), Training der Fahrer (Allison & Stanton, 2019), Aufbau von Hintergrundwissen bezüglich der technischen Gegebenheiten (Arend et al., 2019) und zusätzliche unterstützende Systeme (Allison & Stanton, 2019) dazu eignen. Bezogen auf die WoOz-Methode bedeutet das, dass Wizard-Fahrer vor ihrem ersten Einsatz die ungewohnte Fahrweise (und bestenfalls auch die Versuchsstrecke) einüben sollten. Eine möglichst genaue (qualitativ-quantitative) Instruktion der Wizard-Fahrer scheint zu einem einheitlicheren mentalen Modell der Fahraufgabe zwischen unterschiedlichen Wizard-Fahrern, aber auch demselben Wizard-Fahrer zu unterschiedlichen Zeitpunkten zu führen (Scheiter et al., 2020). Allerdings sollten die Instruktionen nicht so detailliert sein, dass sie zu einer Überbeanspruchung der Wizard-Fahrer führen. Zusätzlich zu Instruktionen ist es sinnvoll, den Wizard-Fahrern Hintergrundwissen zur Funktionsweise eines automatisierten Fahrzeugs mitzugeben, damit sie auch in Fahrsituationen, die nicht durch die Instruktionen abgedeckt sind, einen möglichst automatisierten Fahrstil simulieren können. Abschließend ist es ratsam, ein HMI-Konzept speziell für Wizard-Fahrer zu entwickeln (Müller et al., 2019). In einem Versuchsfahrzeug mit Standard-Anzeigen können in der Regel nur die Fahrzeuggeschwindigkeit sowie die Motordrehzahl abgelesen werden. Sollen sich Wizard-Fahrer allerdings an einen gewissen Beschleunigungsbereich halten oder einen vordefinier-

ten Abstand zum Vorderfahrzeug einhalten, müssen diese Parameter für Wizard-Fahrer gesondert dargestellt werden. Zudem lohnt sich auch eine Anzeige der lateralen Position des Fahrzeugs im Fahrstreifen, da die meist ungewohnte Sitzposition der Wizard-Fahrer im Fahrzeug das mittige Spurhalten des Fahrzeugs erschwert.

## Literatur

- Allison, C. K. & Stanton, N. A. (2019). Eco-driving: the role of feedback in reducing emissions from everyday driving behaviours. *Theoretical Issues in Ergonomics Science*, 20(2), 85–104.
- Alpern, M. & Minardo, K. (2003). Developing a Car Gesture Interface For Use as a Secondary Task. In G. Cockton & P. Korhonen (Hrsg.), *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems* (S. 932–933).
- Aremyr, E., Jönsson, M. & Strömberg, H. (2018). Anthropomorphism. An Investigation of Its Effect on Trust in Human-Machine Interfaces for Highly Automated Vehicles. In *Proceedings of the 20th Congress of the International Ergonomics Association (IEA 2018)*. Volume VI: Transport Ergonomics and Human Factors (TEHF), Aerospace Human Factors and Ergonomics (S. 343–352).
- Arend, M. G., Franke, T. & Stanton, N. A. (2019). Know-how or know-why? The role of hybrid electric vehicle drivers' acquisition of eco-driving knowledge for eco-driving success. *Applied Ergonomics*, 75, 221–229.
- Baltodano, S., Sibi, S., Martelaro, N., Gowda, N. & Ju, W. (2015). The RRADS Platform. A Real Road Autonomous Driving Simulator. In *7th International Conference on Automotive User Interfaces and Interactive Vehicular Applications* (S. 281–288). New York: ACM.
- Baum, L. F. (1900). *The Wonderful Wizard of Oz*. Chicago, USA: George M. Hill Company.
- Bengler, K., Omozik, K. & Müller, A. I. (2020). The Renaissance of Wizard of Oz (WoOz). Using the WoOz methodology to prototype automated vehicles. In D. de Waard, A. Toffetti, L. Pietrantoni, T. Franke, J.-F. Petitot, C. Dumas et al. (Hrsg.), *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Europe Chapter 2019 Annual Conference* (S. 63–72).
- Berghöfer, F. L., Purucker, C., Naujoks, F., Wiedemann, K. & Marberger, C. (2018). Prediction of take-over time demand in conditionally automated driving - results of a real world driving study. In D. de Waard, K. Brookhuis, D. Coelho, S. Fairclough, D. Manzey, A. Naumann et al. (Hrsg.), *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society 2018 Annual Meeting* (S. 69–81).
- Bernsen, N. O., Dybkjær, H. & Dybkjær, L. (1994). Wizard of Oz Prototyping: When and How? In *CCI Working Papers in Cognitive Science and HCI*.
- Coelingh, E. & Nilsson, J. (2018). Driving tests for self-driving cars. *IEEE Spectrum*, 55(3), 40–45.
- Ekman, F., Johansson, M., Bligård, L.-O., Karlsson, M. & Strömberg, H. (2019). Exploring automated vehicle driving styles as a source of trust information. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 65, 268–279.
- Gold, C., Meyer, M.-L. & Fischer, F. (2017). Übernahmeleistung in einem Wizard of Oz Versuchsträger beim hochautomatisierten Fahren. In K. Kompaß (Hrsg.), *Aktiver Sicherheit und Automatisiertes Fahren. 3. Interdisziplinärer Expertendialog Aktive Sicherheit und Automatisiertes Fahren*.
- Green, P. & Wei-Haas, L. (1985). The Wizard of Oz: A Tool for Rapid development of User Interfaces. Report No. UMTRI-85-27. University of Michigan, Transportation Research Institute, Ann Arbor, USA.
- Gould, J. D., Conti, J. & Hovanyecz, T. (1983). Composing letters with a simulated listening typewriter. *Communications of the ACM*, 26(4), 295–308.
- Hauptmann, A. G. (1989). Speech and Gesture for Graphic Image Manipulation. In *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems* (S. 241–245).
- Jarosch, O., Paradies, S., Feiner, D. & Bengler, K. (2019). Effects of non-driving related tasks in prolonged conditional automated driving – A Wizard of Oz on-road approach in real traffic environment. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 65, 292–305.
- Joisten, P., Müller, A., Walter, J., Abendroth, B. & Bruder, R. (2019). Neue Ansätze der Human Factors Forschung im Zeitalter des hochautomatisierten Fahrens. In R. Bruder & H. Winner (Hrsg.), *Hands off, Human Factors off? Welche Rolle spielen Human Factors in der Fahrzeugautomation?* 9. Darmstädter Kolloquium „mensch + fahrzeug“ (69–89).

- Karjanto, J., Yusof, N. M., Terken, J., Delbressine, F., Rauterberg, M. & Hassan, M. Z. (2018). Development of On-Road Automated Vehicle Simulator for Motion Sickness Studies. *International Journal of Driving Science*, 1, 1-12.
- Kelley, J. F. (1983). An empirical methodology for Writing User-Friendly Natural Language computer applications. In Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems (S. 193–196).
- Kiss, M., Schmidt, G. & Babbet, E. (2006). Das Wizard of Oz Fahrzeug: Rapid Prototyping und Usability Testing von zukünftigen Fahrerassistenzsystemen. VW Konzern-forschung.
- Manstetten, D., Marberger, C. & Beruscha, F. (2019). Wizard-of-Oz Experiments in Real Traffic - Can They Restart Human Factors? In R. Bruder & H. Winner (Hrsg.), Hands off, Human Factors off? Welche Rolle spielen Human Factors in der Fahrzeugautomation? 9. Darmstädter Kolloquium „mensch + fahrzeug“ (S. 21–31).
- Müller, A. I., Weinbeer, V. & Bengler, K. (2019). Using the Wizard of Oz Paradigm to Prototype Automated Vehicles. Methodological Challenges. In Adjunct Proceedings of the 11th International Conference on Automotive User Interfaces and Interactive Vehicular Applications (S. 181–186).
- Naujoks, F., Purucker, C., Wiedemann, K. & Marberger, C. (2019). Noncritical State Transitions During Conditionally Automated Driving on German Freeways: Effects of Non-Driving Related Tasks on Takeover Time and Takeover Quality. *Human Factors*, 61(4), 596–613.
- Omozik, K., Yang, Y., Kuntermann, I., Hergeth, S. & Bengler, K. (2019). How long does it take to relax? Observation of driver behaviour during real-world conditionally automated driving. In Proceedings of the Tenth International Driving Symposium on Human Factors in Driver Assessment, Training and Vehicle Design (S. 245–251).
- Osz, K., Rydström, A., Fors, V., Pink, S. & Broström, R. (2018). Building Collaborative Test Practices: Design Ethnography and WOz in Autonomous Driving Research. *Interaction Design and Architecture(s) Journal - IxD&A*, (37), 12-20.
- Robbe, S., Carbonell, N. & Dauchy, P. (1997). Constrained vs spontaneous speech and gestures for interacting with computers: A comparative empirical study. In S. Howard, J. Hammond & G. Lindgaard (Hrsg.), Human-Computer Interaction. IFIP — The International Federation for Information Processing (S. 445–452). Boston: Springer.
- Rothenbücher, D., Mok, B., Li, J., Ju, W. & Sirkin, D. (2015). Ghost Driver. A Platform for Investigating Interactions Between Pedestrians and Driverless Vehicles. In 7th International Conference on Automotive User Interfaces and Interactive Vehicular Applications. New York: ACM.
- Sportillo, D., Paljic, A. & Ojeda, L. (2019). On-Road Evaluation of Autonomous Driving Training. In 14th ACM/IEEE International Conference on Human Robot Interaction.
- Stecher, M. & Zimmermann, A. (2018). The Benefit of Touchless Gesture Control: An Empirical Evaluation of Commercial Vehicle-Related Use Cases. In N. A. Stanton (Hrsg.), Advances in Human Aspects of Transportation. AHFE 2017. Advances in Intelligent Systems and Computing (S. 383–394). Cham: Springer.
- Weinbeer, V., Baur, C., Radlmayr, J., Bill, J.-S., Muhr, T. & Bengler, K. (2017). Highly automated driving: How to get the driver drowsy and how does drowsiness influence various take-over aspects? In M. Lienkamp (Hrsg.), 8. Tagung Fahrerassistenz, Einführung hochautomatisiertes Fahren. München, Deutschland.
- Weinbeer, V., Bill, J.-S., Baur, C. & Bengler, K. (2018). Automated driving: subjective assessment of different strategies to manage drowsiness. In D. de Waard, F. Di Nocera, D. Coelho, J. Edworthy, K. Brookhuis, F. Ferlazzo et al. (Hrsg.), Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Europe Chapter 2017 Annual Conference (S. 5-17).
- Weinbeer, V., Muhr, T. & Bengler, K. (2018). Automated Driving. The Potential of Non-driving Related Tasks to Manage Driver Drowsiness. In Proceedings of the 20th Congress of the International Ergonomics Association (IEA 2018). Volume VI: Transport Ergonomics and Human Factors (TEHF), Aerospace Human Factors and Ergonomics (S. 179–188).

# Sportgeräte: Triebfeder und Spielwiese für Human Centered Engineering

Quirin Schmid, Prof. Dr.-Ing. Veit Senner

## Human-Centered Engineering

Trotz der Herausforderungen durch Corona war das vergangene Jahr ein erfolgreiches für die Professur Sportgeräte und Sportmaterialien. Die Krise hat gezeigt, wie wichtig Sport für die Menschen als Ausgleich wäre. Die Ansätze und Entwicklungen der Professur können und konnten für unterschiedlichste Bereiche unserer Gesellschaft einen wichtigen Beitrag leisten und einige Menschen zum Teil sogar erst eine Teilhabe am Sport ermöglichen. Sports Engineering richtet seinen Focus immer auch auf den Menschen. Durch „Human Centered Engineering“ können Produkte entstehen, die dem Athleten Leistungssteigerung ermöglichen, dem Breiten- und Freizeitsportler verbesserte Sicherheit und sogar erhöhte Lebensfreude geben können.

Drei Beispiele aus dem letzten Jahr mögen das verdeutlichen:

### „BikAble“- Rollstuhl und Liegerad



Abbildung 1 Ehemaliger HFE-Student Emil Wörgötter mit seinem BikAble-Konzept. Bild von Stephan Rumpf

Manchmal muss man erstaunt feststellen, dass es ein Produkt, von dem man annimmt, dass es schon längst auf dem Markt wäre, noch gar nicht gibt. So z.B. BikAble, eine Entwicklung von Emil Wörgötter. BikAble ist ein Hybrid aus Rollstuhl und Handbike. Zwar gibt es schon Handbikes, sogenannte Vor-

spann-Bikes, die an einem normalen Rollstuhl befestigt werden. Für längere sportliche Aktivitäten und insbesondere auf unebenem Untergrund sind sie jedoch nicht geeignet. BikAble hingegen ist „so viel Handbike wie möglich und so viel Alltagstauglichkeit wie nötig“, sagt Emil. Es ist sportlich und geländegängig und kann ohne fremde Hilfe mit wenigen Handgriffen in einen alltagstauglichen Rollstuhl umgebaut werden. Bei seinem Projekt erhielt Emil prominente Unterstützung von Anna Schaffelhuber, einer Ausnahmesportlerin und siebenfachen Paralympic-Siegerin im Monoskibobfahren, die in Ihrer Freizeit häufig Handbike-Touren unternimmt.



Abbildung 2: BikAble in der Konfiguration als Handbike (oben) und in Rollstuhlkonfiguration (unten)

Entscheidend für das Design waren ergonomische Überlegungen. Emils Konzept erlaubt die Anpassung an die unterschiedliche Anthropometrie der Nutzer. Fußrasten, Lehnen, der Abstand zu Kurbel, sowie Sitz- und Liegeposition sind individuell einstellbar. Beim Transfer zwischen Sport- oder Alltagsposition unterstützen Gasdruckfedern den Nutzer. BikAble ermöglicht Querschnittsgelähmten, oder Menschen mit Gehbehinderung auf Radtouren selbstständig

beispielsweise in ein Gasthaus einzukehren, ohne fremde Hilfe zur Toilette zu gehen oder einen Einkauf zu tätigen.

Die ersten Evaluationen mit gehbehinderten Menschen fielen durchweg positiv aus. Ohne den regelmäßigen Kontakt und das Feedback betroffener Personen hätte Emil Wörgötter nach eigener Aussage sein Projekt nicht in dieser Weise angehen können. Für die Umsetzung des Konzeptes ist mit dem bayerischen Unternehmen R&R Fahrzeugtechnik (Fürstenfeldbruck-Maisach) inzwischen auch schon ein Projektpartner gefunden, um das Konzept auf die Straße zu bringen.

## Mit gläsernem Untergrund an die Spitze

In seiner im September 2020 eingereichten Masterarbeit im Maschinenwesen „Deformation of Rubber Stud Under Realistic Load in Experiment and Model“ will Robin Compeyron die Interaktion zwischen Trailrunningschuh und Untergrund verstehen und damit eine Entwicklung besserer und sicherer Schuhe ermöglichen.

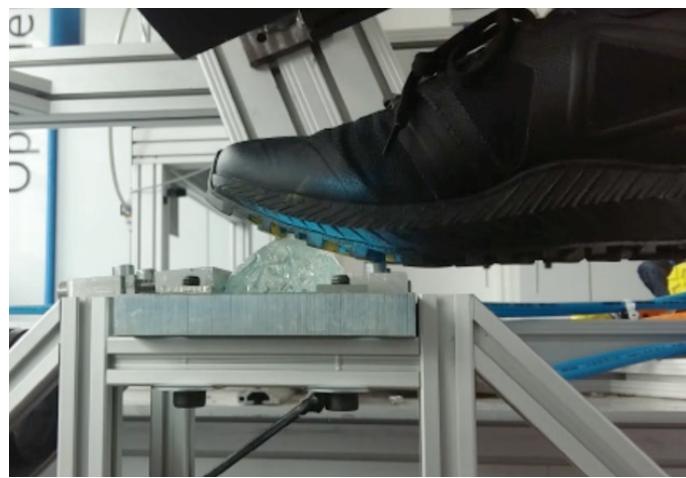


Abbildung 3: Ein Trailrunningschuh wird mit Hilfe des TUM-Trak-Testers über den Glasstein bewegt

Trailrunning ist eine Sportart, die sich in ständiger Entwicklung befindet, mit einer wachsenden Anzahl von Athleten in Europa und der Welt. In 195 Ländern

finden 25.700 Wettkämpfe mit insgesamt über 1,7 Millionen Teilnehmern statt. Dabei tragen die Sportler spezielle Schuhe, die im gebirgigen Terrain mehr Trittsicherheit bieten als herkömmliche Laufschuhe. Gummistollen bieten dem Läufer Sicherheit und Kontrolle und ermöglichen Haftung auf unterschiedlichstem Untergrund. Einige Faktoren, die Einfluss auf die Bodenhaftung haben sollen, bedürfen der Überprüfung. So sind die Verformung der Gummistollen und die relative Haftung zwischen steinigem Untergrund und Stollen unbekannt, da die Beobachtung der Schuhunterseite während des Laufens nicht möglich ist.

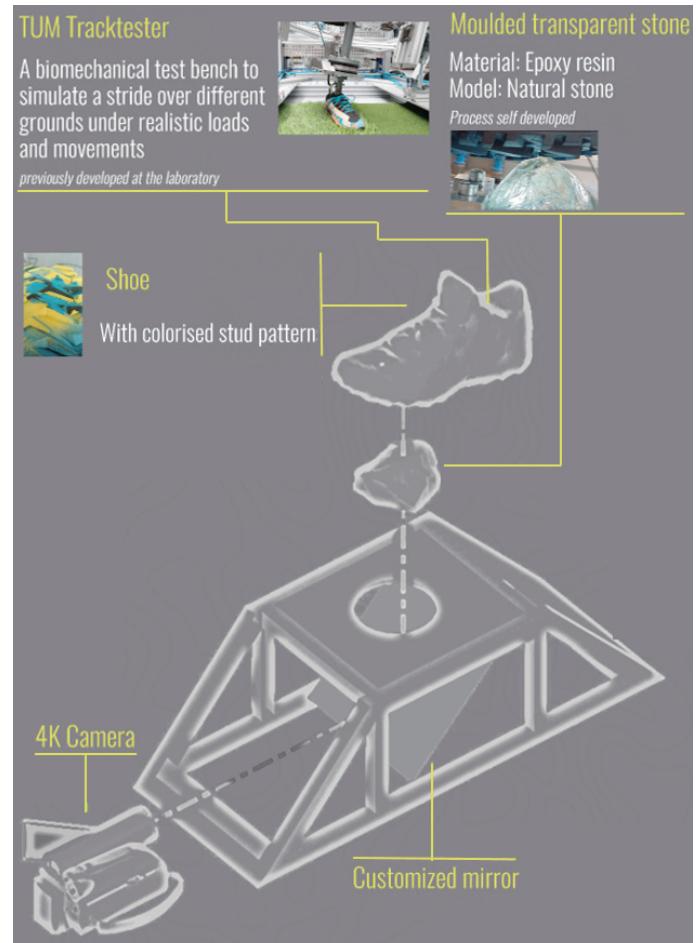


Abbildung 4: Beschreibung des Glasstein-Ansatzes

Robins genialer Ansatz: Der Untergrund muss durchsichtig werden, um die Verformung der Stollen und deren Haftungseigenschaften besser analysieren zu

können. Die Idee des gläsernen Steines war geboren. Auf diesen Glasstein nun wird der zu untersuchende Trailrunningschuh mit einer definierten Last aufgebracht und bewegt. Währenddessen wird der Vorgang von unten durch das Glas gefilmt. Die Lichtbrechung wird berechnet und das Bild korrigiert. Nun können die Position der Stollen, die Kontaktfläche zwischen Schuh und Boden, sowie die Kräfte beim Auftreten des Fußes gemessen und aufgezeichnet werden. Der „Glasstein“ überzeugte die Jury der International Sports Engineering Association (ISEA) derart, dass er mit dem Poster und einem Video zu seiner Masterarbeit den ersten Platz der Student Project Competition 2020 gewann. Unter der folgenden Adresse kann das Video angesehen werden. <https://www.mw.tum.de/spgm/aktuelles/news-single-view/article/isea-student-project-competition-2020/>

## Das Potenzial elastischer Sensoren

Die Publikation „Hermann, Ostarhild, Mirabito, Bauer & Senner (2020). *Stretchable piezoresistive vs. capacitive silicon sensors integrated into ski base layer pants for measuring the knee flexion angle.* SPORTS ENGINEERING, 23(1), 1-10“ wurde vom Editorial Komitee dieses Springer Journals und der International Society of Sports Engineering (ISEA) als Finalist des Best Paper Award 2020 mit dem zweiten Platz gekürt.



Abbildung 5: Resistives (links) und kapazitives Messsystem (rechts)

Die Studie konzentriert sich auf die Entwicklung zweier Kompressionshosen, die eine Kniebeugung entweder mit einem siliziumbasierten piezoresistiven, oder mit einem siliziumbasierten kapazitiven Sensor messen. Die Belastung verschiedener Strukturen des Knies wird maßgeblich durch Beugewinkel des Kniegelenks beeinflusst, welche wiederum diverse Verletzungsrisiken nach sich ziehen können. Um diese minimieren zu können, wurden diese beiden Sensorsysteme, integriert in Kompressionsunterwäsche auf ihre Fähigkeit verglichen, Kniegelenkwinkel während dynamischer Bewegung zu vermessen. Die flexiblen Sensoren können uns nun wertvolle Daten über die Kniewinkel nicht nur für Sicherheits- sondern auch Rehabilitations- bzw. Trainingssysteme liefern. Konkreter Anwendungsfall in unserem Bereich: Kontinuierliche Information über Gelenkwinkel des Knies an eine mechatronische Skibindung könnte deren Auslöseinstellungen anpassen, um immer angemessen auf Gefahrensituationen zu reagieren. Die Studie wurde als Open Access Paper publiziert und kann deshalb kostenlos unter <https://link.springer.com/article/10.1007/s12283-020-00336-9> eingesehen werden.

## Festschrift zum Jubiläum im Jahr 2022

Aus Anlass ihres 20-jährigen Bestehens wird die Professur für Sportgeräte und Sportmaterialien im kommenden Jahr Ende Juli eine Festschrift herausgeben. Freuen Sie sich auf viele weitere spannende Themen aus dem Bereich des Sports Engineering, der Biomechanik, der Motivationspsychologie in Verbindung mit intelligenten Feedback-Systemen und neuen Sportgeräten und –materialien aus dem 3D-Drucker.



# Veröffentlichungen von Sommer 2020 bis Sommer 2021

## Lehrstuhl für Ergonomie

2020

- Albers, D., Grabbe, N., Janetzko, D., & Bengler, K. (2020). Saluton! How do you evaluate usability? – Virtual Workshop on Usability Assessments of Automated Driving Systems. In Proceedings of the 12th ACM International Conference on Automotive User Interfaces and Interactive Vehicular Applications, AutomotiveUI 2020 (pp. 109–112). New York, USA: ACM.
- Bohrmann, D., Koch, T., Maier, C., Just, W., & Bengler, K. (2020). Motion Comfort - Human Factors of Automated Driving. In Proceedings of the 29th Aachen Colloquium of Sustainable Mobility 2020 (pp. 1697–1708). Aachen: RWTH.
- Bohrmann, D., Maier, C., Just, W., & Bengler, K. (2020). Ergonomie 2.0 - Das Fahrzeug als neuer Lebensraum. In VDI Wissensforum GmbH (Ed.), 8. VDI Fachtagung Humanschwingungstagung 2020: Vibrations- und Schwingungsauswirkungen auf den Menschen (Vol. 2370, pp. 53–62). Düsseldorf: VDI Verlag GmbH.
- Boos, A., Feldhütter, A., Schwiebacher, J., & Bengler, K. (2020). Mode Errors and Intentional Violations in Visual Monitoring of Level 2 Driving Automation. In Proceedings of the 23rd International Conference on Intelligent Transportations Systems (ITSC), IEEE, 2020 (pp. 1–7). IEEE.
- Boos, A., Sax, M., & Reinhardt, J. (2020). Investigating Perceived Task Urgency as Justification for Dominant Robot Behaviour. In C. Stephanidis & M. Antona (Eds.), Proceedings of the 22nd International Conference, HCII 2020: HCI International 2020 (Vol. 1224, pp. 117–124). Springer.
- Feierle, A., Holderied, M., & Bengler, K. (2020). Evaluation of Ambient Light Displays for Requests to Intervene and Minimal Risk Maneuvers in Highly Automated Urban Driving. In Proceedings of the 23rd International Conference on Intelligent Transportations Systems (ITSC), IEEE, 2020 (pp. 1–8). IEEE.
- Flad, M., Karg, P., Roitberg, A., Martin, M., Mazewitsch, M., Lange, C., . . . Hohmann, S. (2020). Personalisation and Control Transition Between Automation and Driver in Highly Automated Cars. In G. Meixner (Ed.), Smart Automotive Mobility (Vol. 58, pp. 1–70). Cham: Springer International Publishing.
- Fleischer, M., Hetzenecker, A., & Bengler, K. (2020). Modelling Take-Over Hand Trajectories Using Linear Mixed Effects Models. In L. Hanson, D. Höglberg, & E. Brolin (Eds.), Proceedings of the 6th International Digital Human Modeling Symposium, 2020 (Vol. 11, pp. 178–186). IOS Press.
- Fleischer, M., & Chen, S. (2020). How Do We Sit When Our Car Drives for Us? In V. Duffy (Ed.), Digital Human Modeling and Applications in Health, Safety, Ergonomics and Risk Management. Posture, Motion and Health. Lecture Notes in Computer Science (Vol. 12198, pp. 33–49). Springer.
- Harbauer, C. M., Fleischer, M., Nguyen, T., Bos, F., & Bengler, K. (2020). Too Close to Comfort? A New Approach of Designing a Soft Cable-Driven Exoskeleton for Lifting Tasks under Ergonomic Aspects. In Proceedings of the 3rd International Conference on Intelligent Robotic and Control Engineering (IRCE) 2020 (pp. 105–109). XPlore Digital Library.
- 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), 36.
- Hecht, T., Sievers, M., & Bengler, K. (2020). Investigating User Needs for Trip Planning with Limited Availability of Automated Driving Functions. In C. Stephanidis & M. Antona (Eds.), Proceedings of the 22nd International Conference, HCII 2020: HCI International 2020 (Vol. 1226, pp. 359–366). Springer.

- Keler, A., Malcolm, P., Grigoropoulos, G., & Grabbe, N. (2020). Extraction and analysis of massive skeletal information from video data of crowded urban locations for understanding implicit gestures of road users. In 2020 IEEE Intelligent Vehicles Symposium (IV) (pp. 101–106). IEEE.
- Kipp, M., Bubb, I., Schwiebacher, J., Schockenhoff, F., Koenig, A., & Bengler, K. (2020). Requirements for an Autonomous Taxi and a Resulting Interior Concept. In C. Stephanidis & M. Antona (Eds.), Proceedings of the 22nd International Conference, HCII 2020: HCI International 2020 (Vol. 1226, pp. 374–381). Springer.
- Muthuman, A., Diederichs, F., Galle, M., Schmid-Lorch, S., Forsberg, C., Widlroither, H., . . . Bengler, K. (2020). How Visual Cues on Steering Wheel Improve Users' Trust, Experience, and Acceptance in Automated Vehicles. In N. Stanton (Ed.), Proceedings of the Virtual Conference on Human Aspects of Transportation (AHFE) 2020: Advances in Intelligent Systems and Computing Advances in Human Aspects of Transportation (Vol. 1212, pp. 186–192). Springer, International Publishing.
- Ossig, J., & Cramer, S. (2020). Tactical Decisions for Lane Changes or Lane Following? Development of a Study Design for Automated Driving. In Proceedings of the 12th ACM International Conference on Automotive User Interfaces and Interactive Vehicular Applications, AutomotiveUI 2020 (pp. 23–26). New York, USA: ACM.
- Prasch, L., Maruhn, P., Brünn, M., & Bengler, K. (2020). Creativity Assessment Via Novelty and Usefulness (CANU) – Approach to an Easy to Use Objective Test Tool. In J.-F. Boujut, G. Cascini, S. Ahmed-Kristensen, G. V. Georgiev, & N. Iivari (Chairs), The Sixth International Conference on Design Creativity (ICDC2020), Oulu, Finland.
- 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).
- Rolle, A., Schmandt, B., Guinet, C., & Bengler, K. (2020). Die Äquivalenttemperatur als Werkzeug zur Analyse und Bewertung von Klimakonzepten. In R. Schöll (Chair), 4. Fachtagung Fahrzeugklimatisierung, Stuttgart online Fachtagung.
- Rolle, A., Schmandt, B., Guinet, C., & Bengler, K. (2020). How can the Thermal Sensation be Objectively Determined in Order to Analyse Different Vehicle Air Conditioning Concepts? In S. Roaf, F. Nicol, & W. Finlayson (Chairs), The 11th Windsor Conference 2020, Cumberland Lodge, London, UK.
- Scheiter, A. I., Linnemann, J. A., Herbst, U., & Bengler, K. (2020). Mental Model of Driving Wizards When Simulating an Automated Drive. In Proceedings of the NordiCHI'20 (pp. 1–10). New York, USA: ACM.
- Schneider, S., & Bengler, K. (2020). Evaluating behavioral validity in traffic simulators. In T. Lusikka (Chair), 8th Transport Research Arena TRA 2020, Helsinki, Finland.
- Schneider, S., & Li, G. (2020). Virtual Scenarios for Pedestrian Research: A Matter of Complexity? In J. Y. C. Chen & G. Fragomeni (Eds.), Proceedings of the 22nd International Conference, HCII 2020: HCI International 2020. Virtual, Augmented and Mixed Reality, Design and Interaction (Vol. 12190, pp. 171–190). Springer.
- ## 2021
- Adam, C., & Bengler, K. (2021). It Takes Two to Tango: Communication at Work During the COVID-19 Pandemic. In N. L. Black, W. P. Neumann, & I. Noy (Eds.), Proceedings of the 21st Triennial Congress of the International Ergonomics Association IEA 2021 (Vol. 222, pp. 495–503). Springer Nature Switzerland AG.

- Albers, D., Radlmayr, J., Grabbe, N., Hergeth, S., Naujoks, F., Forster, Y., . . . Bengler, K. (2021). Human-Machine Interfaces for Automated Driving: Development of an Experimental Design for Evaluating Usability. 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. 541–551). Springer Nature Switzerland AG.
- Bengler, K., Nitsch, V., Schmauder, M., Adam, C., Pütz, S., Brandl, C., . . . Jochum, G. (2021). Covid-19LL: A Systematic Approach to Identify Best Practices and Lessons Learned in German Economic Sectors. In N. L. Black, W. P. Neumann, & I. Noy (Eds.), *Proceedings of the 21st Triennial Congress of the International Ergonomics Association IEA 2021* (Vol. 222, pp. 515–522). Springer Nature Switzerland AG.
- Biebl, B., & Bengler, K. (2021). I Spy with My Mental Eye – Analyzing Compensatory Scanning in Drivers with Homonymous Visual Field Loss. 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. 552–559). Springer Nature Switzerland AG.
- Danner, S., Feierle, A., Manger, C., & Bengler, K. (2021). Context-Adaptive Availability Notifications for an SAE Level 3 Automation. *Multimodal Technologies and Interaction*, 5(4), 16.
- Dorynek, M., Guthardt, A., & Bengler, K. (2021). Developing a Standard One-Fits-All Boarding Assistance System as a Universal Accessibility Solution. In N. L. Black, W. P. Neumann, & I. Noy (Eds.), *Proceedings of the 21st Triennial Congress of the International Ergonomics Association IEA 2021* (Vol. 220, pp. 229–238). Springer Nature Switzerland AG.
- Dorynek, M., Weinmann, P., & Bengler, K. (2021). Warum die Veränderung der Mobilität noch länger dauern könnte, als viele gehofft hatten. Bewertung der eingesetzten Fahrzeuge auf dem deutschen Ridepooling-Markt. In Gesellschaft für Arbeitswissenschaft e.V. Dortmund 2021 (Ed.), *GfA 67. Frühjahrkongress. Arbeitswissenschaftlichen Kongress* (Beitrag B.12.2). GfA-Press.
- Grabbe, N., Höcher, M., Thanos, A., & Bengler, K. (2020). Safety Enhancement by Automated Driving: What are the Relevant Scenarios? In *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting (HFES) 2020* (Vol. 64, Issue 1, pp. 1686–1690). SAGE Publishing.
- Harbauer, C. M., Fleischer, M., Nguyen, T., Kopfinger, S., Bos, F., & Bengler, K. (2021). Too Close to Comfort? A New Approach of Designing a Soft Cable-driven Exoskeleton for Lifting Tasks under Ergonomic Aspects. *International Journal of Mechanical Engineering and Robotics Research*. (Vol. 10 No. 3), pp. 99–106.
- Harbauer, C. M., Fleischer, M., Sugiarto, W. K., & Bengler, K. (2021). Analyse der auftretenden Gelenkreaktionskräfte durch Nutzung eines weichen Exoskeletts mittels biomechanischer Simulation. In *Gesellschaft für Arbeitswissenschaft e.V. Dortmund 2021* (Ed.), *GfA 67. Frühjahrkongress. Arbeitswissenschaftlichen Kongress* (Beitrag B.12.4). GfA-Press.
- Hölzl, R., Steckhan, L., Lehsing, C., Savage, S. W., & Bowers, A. R. (2021). Driving with Hemianopia VIII: Effects of a Vibro-Tactile Assistance System on Safety and Gaze Behavior in Pedestrian Crossing Situations. *Safety*, 7(1), 18.
- Karakaya, B., Kalb, L., & Bengler, K. (2020). A Video Survey on Minimal Risk Maneuvers and Conditions. In *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting (HFES) 2020* (Vol. 64, pp. 1708–1712). SAGE Publishing.
- Kipp, M., Rolle, A., & Bengler, K. (2021). An Innovative Seat Ventilation Concept: Does the Seat Provide Overall Thermal Comfort in Autonomous 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. 701–709). Springer Nature Switzerland AG.
- Ossig, J., Cramer, S., & Bengler, K. (2021). Concept of an Ontology for Automated Vehicle Behavior in the Context of Human-Centered Research on Automated Driving Styles. *Information /Special Issue Human-Machine Systems and Automated Driving-Involving the Human in the Journey*, 12(1), 21.

- Pala, P., Cavallo, V., Dang, N. T., Granié, M.-A., Schneider, S., Maruhn, P., & Bengler, K. (2021). Analysis of Street-Crossing Behavior: Comparing a CAVE Simulator and a Head-Mounted Display among Younger and Older Adults. *Accident Analysis and Prevention*, 152, 106004.
- Reinhardt, J., & Bengler, K. (2021). Design of a hesitant movement gesture for mobile robots. *PLoS One*, 16(3).
- Rettenmaier, M., & Bengler, K. (2020). Modeling the Interaction with Automated Vehicles in Road Bottleneck Scenarios. In Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting (HFES) 2020 (Vol. 64, pp. 1615–1619). SAGE Publishing.
- 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.
- Schneider, S., Maruhn, P., Dang, N.-T., Pala, P., Cavallo, V., & Bengler, K. (2021). Pedestrian Crossing Decisions in Virtual Environments: Behavioral Validity in CAVEs and Head-Mounted Displays. *Human Factors*.

## Professur für Sportgeräte und -materialien

- ElHady, N. E., Jonas, S., Provost, J. & Senner, V. (2020). Sensor Failure Detection in Ambient Assisted Living Using Association Rule Mining: Special Issue Sensors Technology for Smart Homes. *Sensors* (Basel, Switzerland), 20(23). <https://doi.org/10.3390/s20236760>
- Hermann, A., Ostarhild, J., Mirabito, Y., Bauer, N. & Senner, V. (2020). Stretchable piezoresistive vs. capacitive silicon sensors integrated into ski base layer pants for measuring the knee flexion angle. *Sports Engineering*, 23(1), 75. <https://doi.org/10.1007/s12283-020-00336-9>
- Hermann, A. & Senner, V. (2020). EMG-pants in Sports: Concept Validation of Textile-integrated EMG Measurements. In The 8th iCSports 2020, Budapest, Hungary virtuell.
- Hermann, A. & Senner, V. (2020). Knee injury prevention in alpine skiing. A technological paradigm shift towards a mechatronic ski binding. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2020.06.009>
- Keshvari, B., Schubert, N., Senner, V. & Mitternacht, J. (2020). Perception of Running Shoe Cushioning: Objective and Subjective Measurements in Short-Distance Running. In M. Nakashima, T. Maruyama & Y. Miyazaki (Vorsitz), ISEA 2020, virtuell.
- Kopp, P. M., Senner, V. & Gröpel, P. (2020). Regular exercise participation and volitional competencies. *Sport, Exercise, and Performance Psychology*, 9(2), 232–243. <https://doi.org/10.1037/spy0000197>
- Kopp, P. M., Senner, V., Kehr, H. M. & Gröpel, P. (2020). Achievement motive, autonomous motivation, and attendance at fitness center: A longitudinal prospective study. *Psychology of Sport and Exercise*, 51, Artikel 101758. <https://doi.org/10.1016/j.psychsport.2020.101758>
- Schönbrodt, F. D., Hagemeyer, B., Brandstätter, V., Czikmantori, T., Gröpel, P., Hennecke, M., Israel, L. S. F., Janson, K., Kemper, N., Köllner, M., Kopp, P. M., Mojzisch, A., Müller-Hotop, R., Prüfer, J., Quirin, M., Scheidemann, B., Schiestel, L., Schulz-Hardt, S., Sust, L., . Schultheiss, O. C. (2020). Measuring Implicit Motives With the Picture Story Exercise (PSE): Databases of Expert-Coded German Stories, Pictures, and Updated Picture Norms. *Journal of Personality Assessment*. Vorab-Onlinepublikation. <https://doi.org/10.1080/00223891.2020.1726936>
- Senner, V. & HÜPER, L. (2021). Limitations of current alpine touring ski bindings. *Journal of Science and Medicine in Sport*. Vorab-Onlinepublikation. <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2021.05.014>

# Dissertationen

## Lehrstuhl für Ergonomie

### Suitability of Touch Gestures and Virtual Physics in Touch Screen User Interfaces for Critical Tasks

Das Ziel dieser Forschungsarbeit war es zu untersuchen, ob moderne Touchscreen-Interaktionskonzepte, die auf Consumer-Electronic-Geräten wie Smartphones etabliert sind, für zeit- und sicherheitskritische Anwendungsfälle wie Maschinensteuerung und Medizingeräte geeignet sind. Mehrere gebräuchliche Interaktionskonzepte mit und ohne Touch-Gesten und virtueller Physik wurden in häufigen Anwendungsfällen experimentell auf

ihre Effizienz, Fehlerrate und Nutzerzufriedenheit bei der Aufgabenlösung untersucht. Basierend auf den Resultaten werden Empfehlungen für das Scrollen in Listen und dem horizontalen Navigieren in mehrseitigen Software-Dialogen ausgesprochen.

Jurek Breuninger, 09.06.2020

### Nutzerzentrierte Entwicklung von Ein- und Ausstiegskonzepten im Nutzfahrzeugbereich unter der Betrachtung von Bewegungsstrategien

Das Betreten und Verlassen von Nutzfahrzeugen ist ein Unfallschwerpunkt für Berufskraftfahrer. Durch eine Gesetzesänderung (EU-Richtlinie 2015/719) öffnen sich neue Gestaltungsmöglichkeiten für die Fahrerkabine. Um diesen neuen Gestaltungsspielraum für ein sicheres und komfortables Ein- und Aussteigen bei Frontlenkerfahrzeugen zu nutzen, werden Bewegungsstrategien an aktuellen Frontlenkerkabinen analysiert und untersucht,

wie die Zugangsgeometrie entsprechend dem Inneren Modell der Fahrer angepasst werden kann, um eine Bewegungsführung und damit einen sicheren und komfortablen Zugang für die Berufskraftfahrer zu erreichen.

Jennifer Latka, 26.06.2020

### Anforderungen an die Entwicklung sicherer automatisierter Fahrzeuge im Spannungsfeld von Innovation und Verbraucherschutz

Als erste ihrer Art analysiert diese Dissertation alle polizeilich gemeldeten Verkehrsunfälle landesweit in Sachsen (1,28 Millionen) über einen Zeitraum von 10 Jahren. Relevante Beispiele zeigen technische, ethische und rechtliche Anforderungen an automatisierte Fahrzeuge auf. Die Einbeziehung hochsensibler internationaler Gerichtsurteile und wachsender Verbrauchererwartungen machen die Dissertation zu einem hilfreichen Leitfaden für die Produktentwicklung von der ersten Idee bis zur Markteinführung. Als Unterstützung dient abschließend eine Checkliste für Entwickler, die die Grenzen der Bil-

derkennung mit Künstlicher Intelligenz berücksichtigt. Thomas Winkle stützt sich dabei auf über 20 Jahre eigener Forschung und Praxiserfahrung aus der Volkswagen Unfallforschung, dem Audi Rechtsservice, der Audi Entwicklung, der Daimler Forschung sowie der Daimler und Benz Stiftung zusammen mit dem Lehrstuhl für Ergonomie.

Thomas Winkle, 01.10.2020

### Non-Driving-Related Tasks in Conditional Driving Automation

Beim hochautomatisierten Fahren kann der Fahrer fahrfremde Tätigkeiten bearbeiten und muss nur eingreifen, wenn ihn das System dazu auffordert. In der vorliegenden Arbeit wurde untersucht, wie sich fahrfremde Tätigkeiten auf die Ermüdung der Fahrer und die Übernahmefähigkeit auswirken. Dazu wurden drei Studien im Fahrsimulatoren und eine im Realverkehr durchgeführt.

Die Ergebnisse zeigen, dass automatisiertes Fahren zu Müdigkeit führen kann, die sich negativ auf die Übernahmefähigkeit auswirkt.

Oliver Jarosch, 09.10.2020

## Take-over Performance in Conditionally Automated Driving: Effects of the Driver State and the Human-Machine-Interface

Die Übernahme beim hochautomatisierten Fahren der Stufe 3 nach SAE wird in dieser Arbeit in vier Fahrsimulationsversuchen untersucht. Die Ergebnisse zeigen einen starken Einfluss der Situation auf die Übernahmefähigkeit, wobei der Fahrerzustand eine untergeordnete Rolle spielt. Die Modellierung zeigt, dass Fahrer ein individuell stark unterschiedliches Übernahmeverhalten hinsichtlich ihrer Reaktionszeit und ihres Bremsverhal-

tens zeigen. Die Anzeige von Informationen im Head-Up Display verbessert die Bewertung der Übernahme durch die Fahrer entscheidend.

Jonas Radlmayr, 09.12.2020

## Professur für Sportgeräte und -materialien

### Nicht invasive Echtzeitüberwachung menschlicher Vitalparameter zur Belastungskontrolle und Rückmeldung kritischer Körperzustände

Diese Dissertation zeigt die Entwicklung und Validierung tragbarer Systeme zur nicht-invasiven Ermittlung wichtiger Vitalparameter für Sport und Gesundheit, um Sportler vor gesundheitsschädlichen Situationen zu schützen. Die Körperkerntemperatur und der Wasseraushalt spielen in warmen Bedingungen eine übergeordnete, hitzebestimmte und leistungsbestimmende Rolle. In der Arbeit werden Zusammenhänge zwischen invasiven und nicht-invasiven Messungen dieser Pa-

rameter untersucht, anschließend ein Prototyp aufgebaut und validiert. Zusätzlich werden Faktoren der Mensch-Maschine-Umwelt Interaktion betrachtet und Ansätze für die Anwendbarkeit von Wearables in Sport und Gesundheit geliefert.

Marius Janta, 24.03.2021

Quelle: <http://nbn-resolving.de/urn/resolver.pl?urn=nbn:de:bvb:91-diss-20210324-1523337-1-9>

## Motivation, Volition, and Gym Attendance - A Longitudinal Prospective Study

This dissertation is comprised of two quartile 1 (Q1) journal publications. Given that participants in exercise programs tend to discontinue their programs during the first six months, the goals of the present work were: 1) to capture the predictive validity and role of motivational variables in the evolution of exercise participation (publication 1), and 2) to analyse the bidirectional association between volitional competencies and exercise participation (publication 2). Both articles resulted from a 30-week longitudinal prospective study (N=229) con-

ducted under real-life conditions in a large network of German gyms (N=16) aimed to understand the psychological factors that may affect, or be affected by, the routine of long-term exercise engagement. Therefore, this funded research contributes meaningful knowledge about predicting objective behavior.

Philipp M. Kopp, 27.04.2021

# Abgeschlossene Masterarbeiten

## Lehrstuhl für Ergonomie

MW - Fahren mit Cetral Vision Loss: Simulatorstudie zur Untersuchung eines vibrotaktilem Fahrerassistenzsystems

MW - User Experience bei digitalen Assistenzsystemen - Evaluation und Vergleich von zwei User Interfaces

MW - Robot Companions in Public Transport: Testing the Influence of Robot Designs on Human Compliance and Emotion in Virtual Reality

MSE - Natural or Hybrid - Exploring Interaction with Augmented Reality Content in Automated Vehicles

MSE - Methodisches Vorgehen zur Erstellung von Fahrzeuginnenraumkonzepten im Kontext autonomes Fahren

MSE - Development and Evaluation of Mixed Reality Tools for the Presentation of Public Space Information Concepts

MSE - Evaluierung zweier Fahrradnavigationssysteme - Eine Suitability- und Usability-Untersuchung unter Laborbedingungen

MSE - Digitale Assistenzsysteme als Lernmedium - Optimierung eines digitalen Assistenzsystems für den Fertigkeitserwerb in der manuellen Montage

MSE - User Centered Graphical Interface Design for Property Valuation

MW - Modellierung und Simulation von Interaktionen zwischen Fußgängern und automatisierten Fahrzeugen mit externen Anzeigekonzepten

MW - Automatisierung eines varialben Klimaprüfstandes

MSE - Verwendung von Begründungen für dominantes Roboterverhalten bei Engstellen in der Mensch-Roboter-Interaktion

MW - Fahren mit Hemianopsie: Simulatorstudie zur Untersuchung eines vibrotaktilem Fahrerassistenzsystems

MW - Mechanische Strukturoptimierung eines Exoskeletts nach bionischem Vorbild zur Unterstützung der oberen Extremitäten

MW - Untersuchung der Wirkung von Stillständen autonomer Fahrzeuge auf den umgebenden nicht-autonomen Verkehr

MW - Erstellung eines Modells zum strukturierten und nutzerzentrierten Vorgehen des technischen Entwicklungsprozesses von "purposebuilt vehicle" Konzepten für geteilte Mobilität

MSE - Entwicklung eines nutzerzentrierten Einstiegsprozesses für den barrierefreien Zugang zu Verkehrsmitteln - Analyse nutzergruppenspezifischer Herausforderungen und Ableitung von Designempfehlungen

MSE - Kreativitätsunterstützende Systeme im beruflichen Kontext

MSE - Erstellung und Vergleich virtueller Produktionsarbeitsplätze mithilfe des Editors menschlicher Arbeit (ema) zur ergonomischen Auslegung von Arbeitsprozessen

MW - Probandenstudie zur Usability-Bewertung von zwei unterschiedlich kompatiblen SAE L3 Human-Machine-Interfaces

MSE - Verwendung der virtuellen Simulationsumgebung ema Work-Designer (Editor menschlicher Arbeit) zur Identifizierung und Reduktion von physiologischen Arbeitsbelastungen anhand eines Beispiels aus dem Bereich der manuellen Latenhandhabung und Kommission

MSE - Change of Plans - Vergleich graphischer und dialogorientierter Benutzerschnittstellen in Autonomous Mobility-on-Demand-Systemen bei Anforderungsänderungen durch Nutzer

MSE - Implementation of human-aware robot navigation with motion cues

MW - A Driving Simulator Study to Investigate Driver Behavior during a Minimal Risk Maneuver

MW - Fahrerreaktionen auf automatische Notfall Lenkeingriffe während manuellen und automatischen Fahrens

MW - Bewegungsanalyse als Grundlage zur Konzeptionierung von Exoskeletten

MW - Produzieren mit dem Smartphone beim Baye- rischen Rundfunk

MW - Entwicklung eines Messinstruments zur Analyse von Kreativität

MW - Ergonomische Einstiegskonzepte von zweckmäßig gebauten Fahrzeuge zur Personenbeförderung für die zukünftige Fahrzeugentwicklung

MW - Weiterentwicklung und Implementierung eines HMI-Konzepts zur Planung von fahrfremden Tätigkeiten vor einer zum Teil automatisierten Fahrt

MSE - Konstruktion und Evaluation eines Krafteinleitungssystems für ein bionisches Exoskelett zur Aufnahme einer parallel am Unterarm wirkenden Zugkraft

MSE - Untersuchung und Vergleich von bild- und textbasierten Assoziationskarten als methodische Ergänzung bei der Evaluation von Fahrzeug-Benutzerschnittstellen

MSE - Realfahrzeugstudie zur Evaluation zweier Bedienkonzepte für das automatisierte Fahren

MW - Untersuchung impliziter und expliziter Kommunikationsansätze für eine sichere und effiziente Interaktion zwischen automatisierten Fahrzeugen und Fußgängern

Fak. Informatik Development of a Methodology for the Evaluation of Vehicle Entrance Movements

MSE - Analysis and Design Optimisation Approach for a Wearable Cable-Driven Elbow Exoskeleton Usin Biomechanical Simulation

MSE - Entwicklung und Evaluation kontextadaptiver Nutzungshinweise zum hochautomatisierten Fahren

Fak. Informatik - Multimodal Automotive Integrated Owner's Manual

MSE - Improving Drivers' Self-Regulation through affective HMI Design in the Context of Partially Automated Driving in Urban Areas

MSE - Development and evaluation of Digital Creativity Assistants as Supplemental Tools for Brain-storming

MW - Informatik Analysis of Driving Patterns from Wizard of Oz Driving Data

MW - Einfluss von Reibung und Trägheit auf die Positionierbarkeit eines Operationsmikroskops in Abhängigkeit von Visualisierungsmodalität, Vergrößerung und Arbeitsabstand

## Professur für Sportgeräte und -materialien

MSE - Ermittlung der Belastungen des ACL (vorderes Kreuzband) und MCL (Innenband / mediales Kollateralband) des Kniegelenks beim alpinen Skisport mithilfe des Kniesimulators

MW - Aufbau einer dynamischen 2er-Bob Mehrkörpersimulation

SP - Effects of Autonomous and Controlled Workouts on Flow-Experience Under Certain Training Conditions

MSE - Motivthematische Anpassungen Mobiler Fitness-Applikationen (MFA). Ein signifikanter Mehrwert gegenüber den originären Applikationen?

SP- Estimation of Human Core Body Temperature under Different Exercise Conditions

MW - Deformation of Rubber Stud Under Realistic Load in Experiment and Model

MW - Ein kombiniertes FEM/MKS-Modell eines Bewegungssegments der menschlichen Wirbelsäule

MW - Development of a Studded Outsole with the Help of Artificial Neural Networks

MW - UX and UI Design of a Navigation concept for Backcountry Ski Tours

MSE - Entstehung von Kreuzbandverletzungen im alpinen Skilauf

# Herzlich Willkommen

## Unsere neuen MitarbeiterInnen am Lehrstuhl für Ergonomie



Jonas Bender, M. Sc. ist seit Juni 2021 als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Lehrstuhl für Ergonomie. Er absolvierte ein duales Studium zusammen mit dem SAP Partner ECENTA AG an der DHBW Mannheim. Im Anschluss arbeitete er für die ECENTA AG als Software Consultant mit dem

Schwerpunkt HTML, JavaScript und UX Design. Im Rahmen seines darauffolgenden Masterstudiums setzte er seinen Schwerpunkt im Bereich Softwareergonomie und Design. Innerhalb seiner Masterarbeit beschäftigte er sich mit der Entwicklung eines Messinstruments zur Analyse von Kreativität. Zusammen mit Lorenz Prasch betreut er die Vorlesung Interaction Prototyping und den MOOC Make Your Own App (MYOA).



Svenja Escherle, M.Sc. ist seit Januar 2021 als wissenschaftliche Mitarbeiterin am Lehrstuhl für Ergonomie tätig. Sie studierte Psychologie an der Universität Ulm mit dem Schwerpunkt Mensch-Technik-Interaktion und befasste sich im Rahmen ihrer Masterarbeit bei MAN Truck & Bus mit der Thematik Müdigkeit beim automatisierten Fahren im Kontext des Güterverkehrs. Im Anschluss an ihr Studium war Frau Escherle zwei Jahre als Usability Consultant und Teilprojektleiterin für MAN Truck & Bus tätig. Im Rahmen ihrer aktuellen Forschung in Kooperation mit MAN Truck & Bus beschäftigt sie sich mit einem disruptionsrobusten Entwicklungsprozess und der Lkw-Fahrerkabine der Zukunft.



Stefan Brunner, M.Sc. ist seit Mai 2021 als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Lehrstuhl für Ergonomie tätig. Er absolvierte an der TU München seinen B.Sc. im Studiengang Gesundheitswissenschaft mit Schwerpunkten auf Arbeitsphysiologie, Biomechanik und Leistungswandlung im Alterungsprozess. Die Bachelorarbeit thematisierte die Optimierung manueller Schraubprozesse bei der Wacker Chemie AG. Im Master studierte er Human-Factors-Engineering mit Vertiefungen in den Bereichen der Produktionsergonomie, der Lean Production und der Industrie 4.0. Diese Bereiche griff er ebenso als studentische Hilfskraft am LfE auf. In seiner Masterarbeit bei MAN Truck & Bus untersuchte er die wirtschaftliche Verschwendungen in Form menschverursachter Arbeitsfehler aufgrund fehlgesteuerter Mitarbeiterbelastung. Sein Forschungsschwerpunkt richtet sich auf die Produktionsergonomie und den Menschen in der Industrie 4.0.



Julia Graefe ist seit März 2021 als wissenschaftliche Mitarbeiterin am Lehrstuhl für Ergonomie tätig. Sie studierte den Bachelorstudien-gang Computervisualistik und Design an der Hochschule Hamm-Lippstadt. Ihren Masterabschluss erlangte sie an der Technischen Universität München im Studiengang Ergonomie – Human Factors Engineering. In ihrer Masterarbeit untersuchte sie in einer Realfahrzeugstudie zwei HMI-Konzepte für das automatisierte Fahren. Im Rahmen einer Forschungskooperation mit der AUDI AG (INI.TUM) untersucht Frau Graefe den Einsatz von Adaptivität und künstlicher Intelligenz in der Mensch-Maschine Interaktion in Fahrzeugen. Ziel ist es, Empfehlungen für die gebrauchstaugliche Gestaltung von Benutzerschnittstellen für nutzer- und kontextadaptive Komfort- und Infotainmentfunktionen zu entwickeln.



Olivia Herzog, M.Sc. ist seit November 2020 als wissenschaftliche Mitarbeiterin am Lehrstuhl für Ergonomie tätig. Der Fokus ihrer Arbeit liegt auf der Mensch-Roboter-Interaktion in verschiedenen Kontexten (z.B. Haushalt, Pflege, Industrie), sowie dem Einsatz von virtueller Realität in der Forschung. Frau Herzog studierte Psychologie B.Sc. an der Universität Regensburg. Anschließend absolvierte sie den interdisziplinären Studiengang Ergonomie – Human Factors Engineering, M.Sc. an der TU München, währenddessen sie einen Forschungsaufenthalt am Schepens Eye Research Institute in Boston verbrachte. In ihrer Masterarbeit untersuchte sie die Einflüsse des Designs von mobilen Servicerobotern an einer Haltestelle für autonome Bus-Shuttles unter Verwendung von virtueller Realität bei der Forschungsplattform TUMCREATE in Singapur.



Dominik Janetzko, M.Sc., M.Sc. arbeitet seit August 2020 als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Lehrstuhl für Ergonomie. In seinen Projekten beschäftigt er sich insbesondere mit den Themen Human Factors in der Luft- und Raumfahrt und der Anwendung quantitativer Methoden in der Human Factors-Forschung. In der Lehre ist er unter anderem am Seminar „Ergonomische Aspekte der Luftfahrt und Flugführung“ beteiligt. Er studierte im B.Sc. Psychologie an der Universität Mannheim und der NUS, Singapur, im M.Sc. Ergonomie – Human Factors Engineering an der TUM und im M.Sc. Psychologie an der Universität Ulm. Seine Masterarbeiten schrieb er beim Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) und bei Airbus Defence and Space. In diesen beschäftigte er sich mit der Auslegung von Force Feedback Joysticks für die Mikrogravitation und der Messung von Workload mithilfe von performance-basierten Messmethoden.



Melanie Uzunalioglu-Jakob ist seit Januar 2021 als System Administratorin am Lehrstuhl für Ergonomie tätig. Nach dem Abitur absolvierte sie eine Berufsausbildung zur Informatikkauffrau bei der Wacker Chemie AG und arbeitete dort anschließend bis zum Beginn ihres Studiums als Assistant Software Engineer. Sie studierte Informatik mit Nebenfach Psychologie an der TU München und schloss erfolgreich mit dem Bachelor ab, um danach als System- und Software-Entwicklerin im Bereich Network Services für die MicroNova AG, Vierkirchen, zu arbeiten.



Herr Yuan-Cheng Liu, M.Sc. ist seit Oktober 2020 als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Lehrstuhl für Ergonomie tätig. Er studierte den Bachelor und Masterstudiengang Designoptimierung an der Fakultät Maschinenwesen der National Taiwan University. In seiner Masterarbeit untersuchte er das Modell des Fahrerverhaltens und entwickelte sein Interesse an der Mensch-Maschine-Interaktion. In dem Projekt SHAPE-IT untersucht Herr Liu die wahrgenommene Transparenz des Fahrers von der internen Mensch-Maschine-Schnittstelle beim automatisierten Fahren. Seine Forschung zielt darauf ab, eine Methode zur Bewertung der Transparenz zu entwickeln.



Theresa Prinz, M.Sc. ist seit April 2021 als wissenschaftliche Mitarbeiterin am Lehrstuhl für Ergonomie tätig. Nach ihrem Studium der Volkswirtschaftslehre an der Ludwig-Maximilians-Universität München studierte sie Maschinenwesen mit den Schwerpunkten Logistik

und Automatisierung an der Technischen Universität München. In ihrer Bachelorarbeit am Lehrstuhl für Fördertechnik Materialfluss Logistik erarbeitete sie ein Modell zur Simulation von intralogistischen Prozessen am Beispiel von Routenzügen. Anschließend untersuchte sie in ihrer Masterarbeit Einflussgrößen für die Modernisierung von Intralogistiklanlagen in der Industrie. In ihrer Forschung befasst sie sich mit der Gestaltung von Mensch-KI Interaktionsformen und Entscheidungsszenarien im industriellen Kontext.

## 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 Technischen 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 Simulierung 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:

**Dr. phil. Carmen Aringer-Walch, Nergis Birlikseven, André Dietrich, Alexander Eichler, Dr. phil. Philipp Kopp, Stefanie Passler, Kilian Rauner, Jakob Reinhardt, Sonja Schneider, Sarah Weiler und Oliver Winzer**

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

# Neuigkeiten:

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

Annika Boos, Olivia Herzog

### Forschungsprojekt sabeS (DFG)

Es ist anzunehmen, dass die Häufigkeit des Aufeinandertreffens zwischen sich autonom bewegenden Systemen (sabeS) und Menschen im Laufe der kommenden Jahre stark zunehmen wird (International Federation of Robotics, 2018). Während Roboter bisher vorwiegend im industriellen Kontext anzutreffen waren, wo ein Zusammentreffen mit geschultem Personal vorhersehbar und gegebenenfalls durch physische Barrieren regulierbar war, finden sich inzwischen verschiedenste Typen von sabeS im öffentlichen wie auch im privaten Bereich. Dies bedeutet, dass sabeS dieselben Wege wie menschliche Fahrer und Fußgänger nutzen, um Pakete zu überbringen (z.B. Starship Technologies, DHL), persönliche Gegenstände zu transportieren (GITA), bei der Einkaufsplanung zu helfen (TOOMAS), Kunden zu begrüßen (Pepper) und zu führen (Reinhardt, Schmidler, Körber, Bengler, 2016), mit Menschen zusammen zu arbeiten (Reinhardt, Pereira, Beckert & Bengler, 2017) oder Menschen mit körperlichen Beeinträchtigungen zu unterstützen (Care-O-bot) (International Federation of Robotics, 2018). Der Lehrstuhl für Ergonomie betrachtet hierzu ganzheitliche Prinzipien für diese kooperativen Systeme (Bengler, Zimmermann, Bortot, Kienle & Damböck, 2012). Eine wesentliche Herausforderung besteht dabei in der Gestaltung von Navigationsmustern, welche nicht nur vom eigentlichen Nutzer, sondern auch von an sich unbeteiligten Personen akzeptiert werden und das Fortbewegungsverhalten anderer Akteure so wenig wie möglich beeinträchtigen. Mit dieser Fragestellung beschäftigt sich der Forschungsbereich Human-Robot Spatial Interaction (HRSI) (Lauckner, 2016). Im Rahmen des im Juli 2021 neu startenden Forschungsprojektes „sabeS“ (Laufzeit 3 Jahre) wird am LfE unter Förderung der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) die Proxemik (Hall, 1966) von Personen in der Interaktion mit sabeS untersucht werden (Abbildung 1). Es werden hierbei in einer Reihe von Studien die Wahrnehmung, Interpretation und Bewertung des Bewegungsverhaltens in gemeinsam genutzten Bewegungsräumen in Abhängigkeit der Distanz zum Menschen betrachtet. Spezifisch soll untersucht werden, ab welcher Dis-

tanz Menschen bei Begegnungen mit einem solchen System aufgrund zuwiderlaufender Bewegungstrajektorien eine erkennbare Reaktion des Systems erwarten würden, damit sie die Interaktion als sicher und zufriedenstellend erleben sowie die Situation effizient für beide Akteure gelöst werden kann.

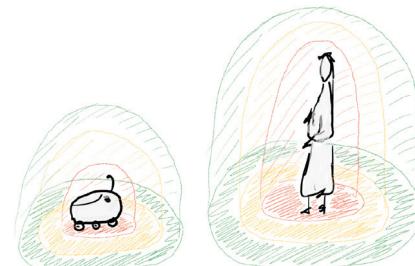


Abbildung 1: Schematische Darstellung der Interaktionsräume zwischen Mensch und einem mobilen Roboter.

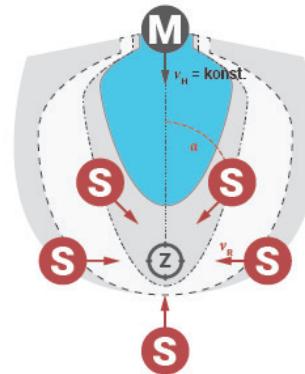


Abbildung 2: Schematische Darstellung der Mensch-sabeS Begegnungen. Dabei beschreibt den Winkel in welchem sabeS und Mensch aufeinandertreffen,  $v_R$  die Geschwindigkeit des sabeS sowie  $v_H$  die als konstant kontrollierte Geschwindigkeit des Menschen.

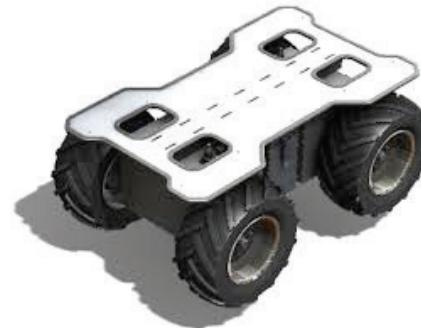


Abbildung 3: Grundaufbau der Roboterplattform Innok Heros (Innok Robotics, 2021)

Dazu werden Studien in virtueller Realität, im Labor, als auch im Feld mit einer modularen Roboterplattform durchgeführt. Diese wird beispielsweise von der Firma Innok Robotics (Abbildung 3) zugekauft. Es werden die geometrischen sowie kontextabhängigen Ausprägungen der den Menschen umgebenden Long-Term und Short-Term Interaktionsräume bestimmt, um Interaktionen mit sich autonom bewegenden Systemen möglichst sicher, effizient und zufriedenstellend gestalten zu können.

## Literatur

Bengler, K., Zimmermann, M., Bortot, D., Kienle, M., and Damböck, D. (2012). Interaction principles for cooperative human-machine systems. *it-Information Technology Methoden und innovative Anwendungen der Informatik und Informationstechnik*, 54(4):157–164.

Hall, E. T. (1966). *The Hidden Dimension*. Anchor Books.

International Federation of Robotics, I. (2018). Executive Summary World Robotics 2018 Service Robots.

Lauckner, M. (2016). Human-Robot Spatial Interaction in a Hallway. Dissertation, TU Berlin.

Reinhardt, J. & Bengler, K. (2021). Design of a hesitant movement gesture for mobile robots. *PLOS ONE*, 16(3).

Reinhardt, J., Schmidtler, J., Körber, M., and Bengler, K. (2016). Follow Me! Wie Roboter Menschen führen sollen. *Zeitschrift für Arbeitswissenschaft*, 70(4):203–210.

Reinhardt, J., Pereira, A., Beckert, D., and Bengler, K. (2017). Dominance and movement cues of robot motion: A user study on trust and predictability. In *Systems, Man, and Cybernetics (SMC), 2017 IEEE International Conference on*, pages 1493–1498. IEEE.

# KI.FABRIK – Gestaltung der Fabrik der Zukunft für KI-gestützte Produktionstechnologien

Theresa Prinz

## Leuchtturminitiativ KI.FABRIK

Am 23. Juni 2021 fiel mit der Grundsteinlegung der KI.FABRIK im Rahmen der automatica im Deutschen Museum der offizielle Startschuss für die Leuchtturminitiativ KI.FABRIK Bayern. Das Ziel der auf der zehn Jahre angelegten Initiative ist die Entwicklung und Inbetriebnahme der ersten KI.FABRIK in Bayern bis zum Jahr 2030 und ist Teil der Hightech Agenda des Freistaats Bayern.



Abbildung 1: Prof. Sami Haddadin (links), Direktor der Munich School of Robotics and Machine Intelligence, und Hubert Aiawanger (rechts), Wirtschaftsminister Bayern, bei der Grundsteinlegung der KI.FABRIK (Bild: Fabian Vogl/TUM)

Das Deutsche Museum bleibt auch über die Grundsteinlegung hinaus ein Schaufenster für das Projekt: bereits innerhalb der ersten zwei Jahre soll hier ein Prototyp bzw. Demonstrator schrittweise eröffnet und die Fabrik der Zukunft durch „KI zum Anfassen“ der Gesellschaft nähergebracht werden.

## Zielsetzung

Das auf vier Jahre angelegte Forschungs- und Entwicklungsprojekt KI.FABRIK FuE ist neben einem Infrastrukturprojekt Teil der ersten Phase der Leuchtturminitiativ und liefert das technologische Framework für den ersten Prototypen für KI-gestützte Produktion.

Die KI.FABRIK soll befähigt werden, mittels völlig modularer, rekonfigurierbarer, hochautomatisierter und integrierter KI-Technologien verschiedene mechatronische Produkte herzustellen. Dies ermöglicht lang-

fristig eine konkurrenzfähige automatisierte Fertigung hochkomplexer und individueller Produkte in Bayern ab Losgröße 1. Gleichzeitig bietet die KI.FABRIK für lokal ansässige Unternehmen und Forschungseinrichtungen einzigartige Forschungs-, Weiterentwicklungs-, Anwendungs- und Kooperationsmöglichkeiten für in Bayern entwickelte Technologien und Anwendungsszenarien im Bereich Fabrik der Zukunft.

## Forschungsaufgaben des Lehrstuhls für Ergonomie

Heutige Robotertechnologie hat einen Punkt erreicht, an dem selbstständiges Ausführen von unterschiedlichsten Aufgaben der Fertigung, Logistik und Wartung prinzipiell möglich sind. Dennoch mangelt es oft an der Navigation in unbekannter Umgebung oder an der angemessenen Reaktion auf dynamische Ereignisse. Dies wird umso auffälliger, je mehr Roboter bzw. je mehr vernetzte Gruppen aus Robotern im Zusammenhang mit dem Menschen zu koordinieren sind. Es stellen sich daher folgende grundsätzliche Fragen:

- Welche Voraussetzungen müssen erfüllt sein, damit ein Mensch einer Maschine vertraut?
- Wie kann ein Automat vom Menschen lernen?
- Wie muss die Kommunikation zwischen einem Roboter und einem Menschen gestaltet sein?
- Wie muss diese Kommunikation gestaltet werden, wenn ein „intelligenter“ Roboter sein Verhalten durch Neuerlerntes verändert?

## Mensch-KI-Interaktion

Neben sich verändernden menschlichen Eigenschaften und Bedürfnissen, Arbeitssituationen, -umfelder und -aufgaben, wird dem Mensch-Maschine-System durch das Hinzufügen einer KI eine weitere dynamische Komponente hinzugefügt. Die Forschung zu der Mensch-KI-Interaktion steht noch am Anfang. Da eine künstliche Intelligenz zur Interaktion mit dem Menschen stets eines Mediums (Maschine, Roboter)

bedarf, kann jedoch auf zahlreichen Arbeiten aus dem Feld der Mensch-Maschine/Roboter-Interaktion aufgebaut werden:

Eine zentrale Frage ist, wie eine Aufgabe von Mensch und KI bearbeitet werden kann und sollte. Hierfür stehen unterschiedliche Konzepte der Koexistenz, Kooperation und Kollaboration zu Verfügung (Schmidtler et al., 2015), wobei es Ziel sein sollte, dass die Schwächen des einen durch die Stärken des anderen kompensiert werden (Bortot, 2014). Hier gilt es zu erforschen, wie sich eine Funktionsteilung bei einer hinzulernenden KI anpassen kann und wie sich diese Anpassung auf das Mensch-KI-System auswirkt.

Interaktionsprinzipien für erfolgreiche kooperative Mensch-Maschine-Systeme mit geteilter Autorität wurden von Bengler et.al. (2012) am Beispiel der Mensch-Roboter-Interaktion formuliert und die Möglichkeit der domänenübergreifenden Generalisierung aufgezeigt.

Die angemessene Gestaltung der Mensch-Maschine-Interaktion war und ist Gegenstand zahlreicher Forschungsarbeiten. Hier kann auf einschlägige ergonomische Richtlinien wie zur Gebrauchstauglichkeit (Effektivität, Effizienz und Zufriedenheit; engl. Usability; DIN EN ISO 9241-11, 2016), und auf Arbeiten zu Akzeptanz und Wohlempfinden (Dul et. Al., 2012) aufgebaut werden.

## Ausblick

Eine erstes Ziel ist es, essentielle Prinzipien zu erarbeiten, die es bei der Gestaltung des Mensch-KI-Systems, der Arbeitsaufgaben, der Funktionsteilung sowie der Mensch-KI-Kommunikation im Sinn einer effektiven und menschzentrierten Gestaltung zu beachten gilt.

## Projektkerndaten

Das Projekt ist Teil der Hightech Agenda des Freistaates Bayern und wird als solches vom Freistaat Bayern gefördert.

Mitglieder des Konsortiums von Seiten der TU München sind:

Lehrstuhl für Automatisierung und Informationssysteme, Lehrstuhl für Datenverarbeitung, Lehrstuhl für Ergonomie, Lehrstuhl für Kommunikationsnetze, Lehrstuhl für Medientechnik, Lehrstuhl für Robotik, Künstliche Intelligenz und Echtzeitsysteme, Lehrstuhl für Robotik und Systemintelligenz, Lehrstuhl für Telerobotik und Sensordatenfusion,

sowie die folgenden Industriepartner:

BMW AG (BMW Group), Franka Emika GmbH, Linde Material Handling GmbH (Kion Group), Reactive Robotics GmbH, TQ-Systems GmbH (TQ Group), Wittenstein SE

## Literatur

Bengler, K., Zimmermann, M., Bortot, D., Kienle, M., Damböck, D. (2012). Interaction Principles for Cooperative Human-Machine Systems. *it* 4/2012.

Bortot, D. (2014). Economic Human-Robot Coexistence in the Branch of Production. Technische Universität München.

DIN EN ISO 9241-11 - Ergonomics of human-system interaction - Part 11: Usability: Definitions and concepts (2016). Berlin.

Dul, J., Bruder, R., Buckle, P., Carayon, P., Falzon, P., Marras, W. S., ... van der Doelen, B. (2012). A strategy for human factors/ergonomics: developing the discipline and profession. *Ergonomics*, 55(4), 377–395. <http://doi.org/10.1080/00140139.2012.661087>

Schmidtler, J., Bengler, K. (2015). Fast or Accurate? – Performance Measurements for Physical Human-Robot Collaborations. *Procedia Manufacturing*, 3, 1387–1394. <http://doi.org/10.1016/j.promfg.2015.07.298>



Gefördert durch den Freistaat Bayern

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

Theresa Prinz

## Projektbeschreibung

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

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

Dazu sind erstens adaptive, intelligente, lernende Steuerungssysteme auf Multi-Agentenbasis zu erforschen und über Liebergrenzen hinweg enger zu koppeln, um Totzeiten zu reduzieren. Die systematische Erhebung und Nutzung menschlichen Erfahrungswissens stellt zweitens die Erklärbarkeit und den sicheren Maschinenbetrieb auch in Grenzsituation sicher. Eine Plattform für den praktischen, industriellen Entwurf und Einsatz von shared control-Ansätzen zwischen Maschinenführer und Multi-Agenten-System (MAS), nutzbar in komplexen Maschinen mit verteilten Steuerungssystemen, ist zu entwickeln und anhand einer Bohranlage für den Baubereich zu erproben und zu etablieren.

## Beteiligung des Lehrstuhls für Ergonomie

Der Lehrstuhl für Ergonomie beteiligt sich im Rahmen des Projekts an der Wissenserhebung, der adaptiven Gestaltung der KI-gestützten Unterstützung von unerfahrenen Anwendern sowie der Gestaltung des HMI.



## Projektpartner

Lehrstuhl für Automatisierung und Informationssysteme, TUM  
HAWE Hydraulik SE  
BAUER Maschinen GmbH  
Sensortechnik Wiedemann GmbH

## Förderung

Das Vorhaben wird von der bayerischen Forschungsstiftung (BFS) gefördert.



Abb.1: Seilgreifer der Firma BAUER Maschinen GmbH  
(Quelle: BAUER Maschinen GmbH)

# 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 menschzentrierter 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 (FFTs) 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: Future Life, Health & Care

Christian Lehsing, Olivia Herzog

## Ziele der Forschungsgruppe

Im Zentrum der Forschungsgruppe steht die wissenschaftliche Auseinandersetzung mit Technologien, um in Anbetracht kommender und bestehender gesellschaftlicher Herausforderungen wie dem demografischen Wandel, der Digitalisierung und der Globalisierung die zukünftige Lebensqualität zu erhalten und stetig zu verbessern. Unser Leben wird sich durch strukturelle und äußere Einflüsse nachhaltig verändern. Daraus ergibt sich die Notwendigkeit der verantwortungsvollen und zukunftsorientierten Entwicklung neuer Technologien wie digitalen Assistenzsystemen, Robotik und künstlicher Intelligenz, um das Leben der Zukunft zu gestalten.

## Anwendungsbereiche

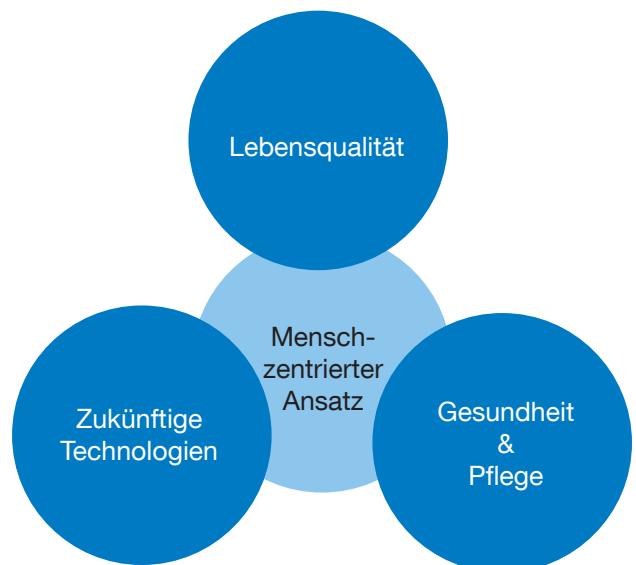
Nahezu alle persönlichen und öffentlichen Bereiche können von einer solchen Gestaltung profitieren. Strukturelle Änderungen und der Wandel von Lebensweisen, beispielsweise durch den Trend zur Berufstätigkeit beider Elternteile bergen im privaten Bereich Potential für den Einsatz intelligenter Technologien. So werden Smart Home, Robotik und Automatisierung im Haushalt vermehrt nachgefragt, damit einhergehend rücken aber auch verstärkt die Aspekte Sicherheit, Datenschutz und Akzeptanz in den Vordergrund. Darüber hinaus kann das öffentliche Leben maßgeblich durch neue Technologien geformt werden. Die Covid-19-Pandemie beschreibt beispielsweise einen gesellschaftlichen Umbruch, in dem eine größere Distanz zu Mitmenschen erlernt wird. Intelligente Technologien können dazu eingesetzt werden, diese Distanz regelkonform zu überbrücken und das alltägliche Leben bspw. in Bildungseinrichtungen, Supermärkten und in Großraumbüros wiederherzustellen. Im Mittelpunkt dieser digitalisierten und vernetzten Zukunft sollte stets der Mensch mit seinen Bedürfnissen, Eigenschaften und individuellen Lebensbedingungen stehen.

Insbesondere auch der Gesundheits- und Pflesektor steht in Deutschland und weltweit vor großen und fordernden Aufgaben. Fehlende Pflegekräfte bei

gleichzeitig steigenden Zahlen an Pflegebedürftigen bestimmen den Blick in die Zukunft. Vor dem Hintergrund personeller, finanzieller und zeitlicher Belastung bieten technische Innovationen großes Potential für den Einsatz in der Pflege, der personalisierten Prävention, der Diagnostik sowie der generellen Gesundheitsversorgung. Hierbei kann es sich sowohl um die assistierende Beteiligung an nicht-direkten Pflegeaktivitäten, als auch um die Unterstützung von Pflegebedürftigen selbst bzw. von informell Pflegenden zuhause handeln. Assistenzsysteme tragen dazu bei, Pflegenden mehr Zeit für die menschenzentrierte Patientenversorgung zu bieten bzw. Pflegebedürftigen einen längeren, gesunden, selbstständigen und autonomen Verbleib in den eigenen vier Wänden zu ermöglichen. Dabei steht die Unterstützung des Menschen auch unter Beachtung relevanter Wertschöpfungsketten im Mittelpunkt.

## Schwerpunkte

Die Schwerpunkte der Forschungsgruppe liegen zusammenfassend auf folgenden Aspekten:



# 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 Elektronfahrzeugs 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 Klimaanlagen 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 objektiven 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 verschiedenen 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 & Grippenkoven, 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. & Grippenkoven, 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.

