

Ergonomic and functional analysis of an autonomous urban vehicle for individual use

Ergonomie- und Funktionsanalyse eines autonomen Stadtfahrzeugs für den individuellen Gebrauch

Devina Manoeva*, Tom Assmann†, Stephan Schmidt‡

* Doktorandenschule der FDIBA, Technical University of Sofia
Sofia, Bulgaria, devina@tu-sofia.bg

† Institute of Logistics and Material Handling Systems, Otto-von-Guericke-University Magdeburg
Magdeburg, Germany, tom.assmann@ovgu.de

‡ Institute of Mobile Systems, Otto-von-Guericke-University Magdeburg
Magdeburg, Germany, stephan.schmidt@ovgu.de

Abstract — Today's common problems of the cities include urbanization, which leads to high population densities and more frightening statistics on the victims of urban traffic and air pollution. Autonomous vehicles are being developed at a rapid pace and are undoubtedly a transportable solution for the future. While they would be more efficient and easier to operate on freeways, urban applications face the greatest challenges of their integration. Scientific projects such as the autonomous cargo bike of the OVGU Magdeburg are trying to offer cities an intelligent and more efficient mobility solution. Through an ergonomic and functional analysis of the concept, this article attempts to identify the new requirements for designing an urban autonomous vehicle for individual use. The results are a solid foundation for the further development of this new mobility solution.

Zusammenfassung — Zu den heutigen Problemen der Stadt zählen sowohl die Urbanisierung, die zu einer hohen Bevölkerungsdichte führen als auch erschreckendere Statistiken über die Opfer des Stadtverkehrs und die Luftverschmutzung. Autonomen Fahrzeuge werden in rasantem Tempo entwickelt und sind zweifellos eine für die Zukunft mögliche Transportlösung. Während sie bei Autobahn-Fahrten effizienter und einfacher funktionieren würden, liegen bei Anwendungen in städtischer Umgebung die größten Herausforderungen ihrer Integration. Wissenschaftliche Entwürfe wie das autonome Lastenfahrzeug der OVGU Magdeburg versuchen Städten eine intelligente und effizientere Mobilitätslösung anzubieten. Durch eine Ergonomie- und Funktionsanalyse des Konzepts wird in diesem Artikel versucht zu identifizieren, welche neuen Anforderungen an die Gestaltung eines autonomen Stadtfahrzeugs für den individuellen Gebrauch entstehen. Die Ergebnisse sind eine fundierte Grundlage für die weitere Entwicklung dieser neuen Mobilitätslösung.

I. EINLEITUNG

In Angesicht der globalen Urbanisierung und des Klimawandels ist es die Stadt, welche als transformative Kraft [1] neue Wege zu einer nachhaltigen Gesellschaft eben kann. Die Einhaltung des 1,5°C-Ziels erfordert eine Halbierung der CO₂-Emissionen pro Jahrzehnt, inklusiv einem treibhausgasneutralen urbanen Verkehr [2].

Die Vision Zero, strebt nach nahezu null Verkehrstoten bis 2050 [3]. Mit der Etablierung der E-Mobilität sollen die Luftverschmutzungswerte in Städten deutlich gesenkt werden. Weltweit entwickeln deswegen Fahrzeughersteller autonome Fahrzeugsysteme, welche durch intelligente Vernetzung, umfangliche Sicherheitsstandards und E-Antriebe den Verkehr in Städten verbessern sollen.

Das Versprechen einer technologischen Optimierung wird jedoch nur schwer zu halten sein. Aktuelle Studien [4], [5] zeigen deutlich, dass autonome, individuell genutzte Fahrzeuge, als privat oder geteilte Flotte, den Verkehr in Städten, und damit den Stau wesentlich erhöhen werden. In Anbetracht der Energiewende kann zudem ein CO₂-neutraler Verkehr nur mit weniger Kraftfahrzeugen erfolgen [6].

Gleichzeitig besteht in der Transformation der Städte ein zunehmender Drang zur Singularisierung von Lebensweisen [7], einer Innovation von Mobilitätsangeboten durch

Digitalisierung und damit einhergehenden individuellen, jedoch auf Sharing und Service ausgelegten Mobilitätsweisen [8].

II. DAS AUTONOME FAHRRADE ALS EINE ALTERNATIVE FÜR STADTMOBILITÄT

Der Lösungsraum für den urbanen Verkehr liegt damit im Bereich von kleinen, leichten, energieeffizienten Fahrzeugen, die als geteiltes und autonomes Angebot operieren.

Die Techniken des autonomen Fahrens ermöglichen neben der Anwendung auf Kraftfahrzeuge auch völlig neue Mobilitätsszenarien für Fahrräder [9]. Ein derartiges System auf Basis autonomer Lastenräder wird aktuell an der Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg (OVGU) entwickelt und soll hier exemplarisch analysiert werden. Im Fokus stehen die Anforderungen an Ergonomie und Design aus Nutzer*innenperspektive.

Dem System liegen zwei grundsätzliche Eigenschaften autonomer Systeme zu Grunde, die einen Mehrwert für die Stadt erzeugen.

A. Sicher

Es gibt Regierungs- und Nichtregierungsorganisationen weltweit, die versuchen, die Zahl der Verkehrsunfälle zu verringern. Verkehrssicherheitsforscher und Experten betonen

die potenziellen Verkehrssicherheitsvorteile von automatisierten (autonomen) Fahrzeugen, die als sicher gelten, weil sie disziplinierter sind, von subjektiven menschlichen Emotionen, Alkohol oder andere psychoaktive Substanzen unabhängig sind, und daher zu einer signifikanten Reduzierung von Verkehrsunfällen beitragen würden [10].

B. Flexibe

Das Thema über den Besitz ist bei den meisten neuen Mobilitätskonzepten nicht mehr aktuell. Dies hängt mit den bereits erwähnten städtischen Überlastungsproblemen sowie der wesentlich effizienteren Mitbenutzung zusammen, die dafür sorgt, dass ein Fahrzeug permanent genutzt wird, anstatt auf Parkplätzen zu stehen und Platz zu beanspruchen.

Im hektischen Alltag der Städte muss man so nicht mehr zum Fahrzeug laufen oder stets nach einem Parkplatz suchen, sondern es könnte zum Nutzer kommen und entlassen werden. Dies gibt den Nutzern Flexibilität und Zeit, was im Stadtleben von Vorteil ist.

III. ERGONOMIE- UND FUNKTIONSANALYSE DES MOBILITÄTSKONZEPTS FÜR AUTONOME LASTENFAHRRÄDER DER OVGU MAGDEBURG

Produktfunktionen werden in der Ideenphase des Projekts bestimmt und das ergonomische System entsteht parallel, indem Nutzer*innen und der Anwendungsort definiert sind. Nur wenn der Faktor Mensch von vornherein berücksichtigt wird, entstehen sichere Produkte. Aus diesem Grunde ist die Ergonomie ein Schwerpunkt der Konzeptentwicklung. Das Ziel ist es, Nutzer*innen eine bequeme Verwendung zu ermöglichen und die Nutzungsanforderungen maximal zu erfüllen, um eine harmonische Gesamtform mit hohen ästhetischen Qualitäten zu schaffen. Diese Form von verschiedenen Faktoren, den Gestaltungsfaktoren, beeinflusst [11].

Um die Gestaltungsfaktoren des autonomen Lastenfahrrades zu definieren, wird eine methodische Ergonomieanalyse während des Designprozesses [12] angewandt. Die Analyse wird anhand einer Inhaltsanalyse mit sequentiellem Plan und einer Reihe von Indikatoren durchgeführt, die darauf abzielen, ein möglichst detailliertes Profil der Funktionen, der Nutzer*innen und des Anwendungsbereichs zu extrahieren und zu erstellen. Ziel der Analyse ist es festzustellen, welche Faktoren und Anforderungen zu Komfort, Sicherheit und Funktionalität des autonomen Lastenfahrrads beitragen.

A. Funktionsszenarium

Für den Zweck der Analyse sind Vorkenntnisse über den Verwendungszweck des Produkts und den gesamten Prozess seiner Anwendung erforderlich.

In Abb.1 ist das Systemkonzept schematisch dargestellt.

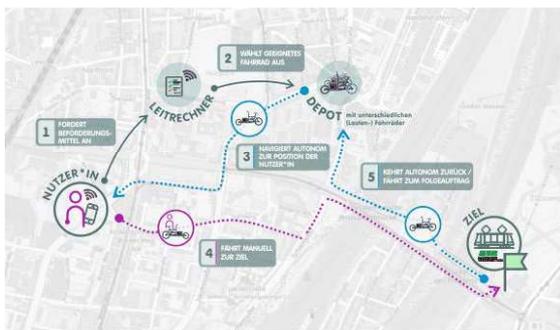


Abb.1. Systemkonzept von dem Forschungs- und Entwicklungsprojekt „AuRa“; [13]

Im Projekt „AuRa“ [14] der OVGU Magdeburg wird eine prototypische Lösung für ein Gesamtsystem für dreirädrige Lastenräder erarbeitet, die autonom bereitgestellt werden. Ziel ist, Bürger*innen den Alltag in der Stadt zu erleichtern. Vorgesehen ist, dass das selbstfahrende Lastenrad per App an einen beliebigen Ort bestellt wird. Nach der Nutzung im manuellen Betrieb soll es autonom in ein Depot zurückkehren.

B. Gestaltungsfaktoren

Durch Befolgen der Analysemethodik und unter Berücksichtigung des Systemkonzepts werden in diesem Unterpunkt drei Hauptfaktoren identifiziert und vorgestellt. Diese sind für die gute Ergonomie des Produkts von strategischer Bedeutung.

1) *Shared*: Mit dem Bike-Sharing-System wollen die Entwickler den Nahverkehr ökonomisch und ökologisch sinnvoll ergänzen und eine neue Mobilitätsalternative schaffen. Darauf muss das Fahrrad angepasst werden.

- *Nutzer*innenprofil*

Das Sharing-System hat große Auswirkungen auf die Ergonomie, denn sie ist direkt mit den Eigenschaften der Nutzergruppe verbunden. Der Prototyp wird zunächst auf dem Campus getestet. Aber die Vision des Projekts ist ein Bike-Sharing in Magdeburg und weiteren Städten. Davon ausgehend wird das Produkt von den Bewohnenden einer Stadt, Pendlern und Touristen genutzt. Die Bevölkerungsstruktur von Magdeburg zu Ende 2017 ist in Tab.I zu sehen.

TABELLE I.

BEVÖLKERUNG	STAND 31.2017
EINWOHNER	241 769
DAVON MÄNNLICH	119 728
WEIBLICH	122 041
DEUTSCHE	221 029
AUSLÄNDER	20 740
AUSLÄNDERANTEIL IN PROZENT	8.6

Tab.I. Bevölkerungsstruktur von Magdeburg zu Ende 2017; [15]

Die Bevölkerungsverteilung weist auf eine Diversität der Nutzer*innen hin. Deshalb sollte bei der Gestaltung des Produktes darauf geachtet werden, dass das Fahrrad möglichst anpassungsfähiger ist. – von den Sitz-Lenker Position bis zu mehrsprachigen Ruf-App und Infodisplay.

- *Sitzposition*

Die Sitzposition bei üblichen Fahrradtypen wird durch Lenkerform, Vorbaumaße Sattelleinstellung und Rahmengenometrie bestimmt [16]. Was für einen Menschen entspannt ist, empfindet ein anderer als sportlich und umgekehrt. Unabhängig von Lenkerform, Fahrradtyp und Trainingszustand sollte die Sitzposition folgendes ermöglichen:

- Ein sicheres Fahrgefühl und das leichte Erreichen aller Bedienelemente;
- Eine möglichst natürliche Rückenhaltung (S-Form, kein Rundrücken);
- Angenehme, möglichst entspannte Körperhaltung, so dass die Arme leicht abgewinkelt werden können und die Schultern entspannt sind.

Die Unterschiede zwischen Lenker und Sattel ergeben unterschiedliche Sitzpositionen, die beispielsweise in Abb.2

dargestellt sind. Die liegen einerseits in der Lenkerhöhe und andererseits in der Reichweite (Streckung).

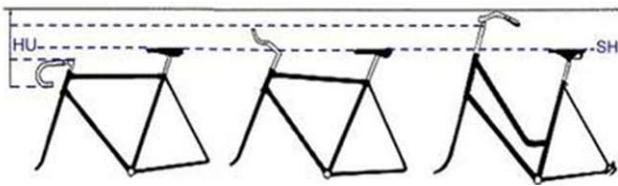


Abb.2. Höhenunterschied zwischen Lenker und Sattel bei verschiedenen Sitzpositionen; [16]

HU bezeichnet den Höhenunterschied zwischen den möglichen Griffpositionen an den Lenkerenden. Er beträgt hier ca. 40 cm im Vergleich Rennrad (Unterlenker), links, zum Hollandrad, rechts. SH ist die Sattelhöhe/-Ebene, sie ist bei allen drei Abbildungen identisch.

Häufig wird eine bestimmte Sitzposition unabdingbar mit einem bestimmten Lenkertyp in Verbindung gebracht. Dies muss aber nicht zwangsläufig so sein. Wenn es der Rahmen zulässt und ein entsprechender Vorbau verwendet wird, kann der Höhenunterschied zwischen Lenker und Sattel verändert werden.

Für das ergonomiegerechte Design muss hier weiter untersucht werden, welche Positionen von Nutzer*innen bevorzugt werden und wie das Fahrrad durch technische Gestaltung individuell an diese angepasst werden kann.

2) *“On-board“ Transport:* Laut Konzept wurde ein dreirädiges Lastenfahrrad als Grundlage ausgewählt (Modell X-Loader). Der Prototyp ist darauf aufbauend in Abb.3 zu sehen.



Abb. 3. Der Prototyp von AuRa ist auf Basis eines Lastenfahrradmodel Typ X-Loader aufgebaut. Foto: Jana Dünnhaupt/OVGU

Dreiräder können durch ihre zwei nebeneinander angeordneten Räder stabil stehen und sind daher beim Ein- und Aussteigen nur schwer umzukippen. Außer besserer Stabilität vor allem für die autonome Fahrten und mehr Bauraum, sollen damit Nutzer*innen leichtere Gegenstände oder auch zusätzliche Personen wie Kinder mitnehmen können.

- *Ladebox – variabel konfigurierbar*

Ähnlich wie bei der Nutzungsgruppe, ist die Diversität bei den Transportwünschen vorhanden. Das bedeutet, dass die Ladebox anpassungsfähig sein soll, aber auch sicher. Aufgrund der allgemeinen Verkehrssicherungspflichten ist es empfehlenswert Kinder im Lastenrad immer anzuschlachten. Die Ladebox für Kinder muss folglich mit 3- oder 5-Punkt-Gurten ausgestattet sein [17].

Unterschiedliche Transportgegenstände wie Gepäck, Einkaufstüten oder ähnliches haben verschiedene Transportanforderungen. Diese sollten in die Box passen oder fixiert werden können.

Zu untersuchen ist, wie die Fahrräder mit jeweils verschiedenen Ladeboxen für den Transport von Kindern oder Gegenständen ausgestattet, diese in sich anpassbar oder wechselfähig ausgeführt, werden können.

3) *Autonom:* Das Fahren heute ist ein Prozess komplexer, mehrstufiger Interaktion, in der der Fahrer in allen Phasen involviert ist. Um insbesondere die Folgen des Entfallens des menschlichen Faktors bei autonomen Fahrzeugen zu definieren und dementsprechend die neuen Bedürfnisse genauer zu identifizieren, muss zunächst analysiert werden, was für Hauptfunktionen der Fahrer erfüllt (Tab.II).

TABELLE II.

FUNKTION	DETAILS UND MITTEL
INFORMATIONSPROZESSOR INFORMATIONSVERRARBEITUNG	Sensoren / Sinne, Verstand, Gehirn, Wissen, Vorhersage
MANUELLE NAVIGATION	Körper; Mensch-Maschine Interaktion
VERMITTLER / INFORMATIONSAUSTAUSCH	Reaktion, Interaktion, Licht- und Tonsignalanlage, Körper /nonverbale Kommunikation/

Tab.II. Hauptfunktionen des Fahrers eines Fahrzeugs

- *Vereinbarung von Technik und Optik*

Bei autonomen Fahrzeugen wird der Fahrer /Mensch/ und alle seine Funktionen (Tab.II) durch technische Ausrüstung nachgebildet. Sie müssen am Exterieur des Fahrzeugs angebracht werden, ohne ihre Funktionalität oder den Nutzer selbst während des manuellen Fahrens zu gefährden. Bei dem AuRa-Fahrrad ist dies mit einem erhöhten Schwierigkeitsgrad versehen. Grund ist, dass das Fahrrad sowohl manuell als auch autonom navigiert wird. An dem Fahrradrahmen müssen somit noch weitere Technikkomponenten und größere Batterien vorgesehen werden.

Die Herausforderung liegt hier in der Entwicklung von einem formal stimmigen Produktdesign des Fahrrads, bei dem sich die technisch-praktische Funktionsfähigkeit mit ästhetischen Aspekten vereinbaren lässt. Hierbei werden neben ästhetischen Funktionen auch solche informativer, kommunikativer und formaler Natur mit einbezogen [18]. Sie sprechen also auch die Psyche und/oder den Verstand des Menschen an. Es ist von entscheidender Wichtigkeit, dass das Erscheinungsbild des Fahrrads den Nutzern und der Gesellschaft auch optisch, haptisch und sinnlich zusagt.

- *Sichtbarkeit*

Ein Fahrrad ohne Fahrer hat nur eine geringe Höhe und kann deswegen leicht von den anderen Verkehrsteilnehmern übersehen werden. So ist es wichtig, die Sichtbarkeit des Fahrrads zu steigern. Dabei können tagsüber zusätzliche Signalquellen wie Wimpel helfen, nachts geeignete Reflektoren und Lichtquellen.

Für das Design bedeutet dies, dass ein Signalwirkungskonzept zu entwerfen und zu erproben ist, welches zum Exterieur des Fahrrads passt. Das heißt, dass Fahrverhalten und die technische Funktionsfähigkeit der Sensorik nicht eingeschränkt werden.

- *Interaktion mit der Umwelt*

In der gegenwärtigen Straßenumgebung sind Verhaltenssignale wie Augenkontakt, Nicken und Handgesten

besonders relevant und oft anwendbar für die Interaktion zwischen Fußgängern und Radfahrern, da sie für beide Seiten bequem funktionieren [19]. Durch das Entfallen des "Human Factor" bei der autonomen Fahrt, ist die nonverbale Kommunikation mit den anderen Verkehrsteilnehmenden beim Fahren nicht mehr möglich. Es muss nach Möglichkeiten gesucht werden, wie autonome Fahrzeuge auf eine gemischte Verkehrssituation zusammen mit manuell gesteuerten Kraftfahrzeugen, Fußgängern und Radfahrern ausgelegt werden können. Ein Exterieur-Display an Front und Heck kann Abhilfe schaffen. Der bisher vornehmlich textbasierte Ansatz sollte aber in Richtung einer Symboldarstellung weiterentwickelt werden [20]. Abb.4 zeigt eine Kommunikationsstrategie, die Licht und Symbole als Kommunikationsmittel benutzt.



Abb. 4. Beispiel einer Kommunikationsstrategie angewendet bei Konzept für autonome Fahrzeuge; [21]

Konkret für Aura ist eine ähnliche Lösung wünschenswert, wobei der Bildschirm proportionell groß und auch bei veränderlichen Witterungsbedingungen funktionsfähig sein muss. Optische Eigenschaften und symbolische Funktionen der gezeigten Kommunikationsmittel, wie Zeichen, Schrift, Form, Farbe und vieles mehr sind noch zu definieren.

IV. SCHLUSSFOLGERUNG

Die Durchführung einer Ergonomie und Design Analyse unter Berücksichtigung der geplanten Funktionalitäten und des Anwendungsbereichs, liefert eine genaue Definition produktspezifischer Voraussetzungen für gute Ergonomie, Komfort und Sicherheit. Dieses Wissen soll die zukünftige Entwicklung und erfolgreiche Umsetzung des Projekts gewährleisten, damit die AuRa-Lastenfahräder in naher Zukunft zum Stadtbild gehören und das Konzept des Bike-Sharings neu definieren.

Aufbauend auf den Anforderungen sind spezifische Lösungen in dem weiteren Entwicklungsprozess zu entwerfen und auszuarbeiten.

DANKAUSSAGE

Die Ergonomie- und Funktionsanalyse in dieser Arbeit wurde auf Basis des Fachs „Methodisches Produktentwerfen“ 2012-2016 unter der Leitung von Prof. S. Draganov, Ingenieurdesign, Technische Universität Sofia, erstellt. Besonderer Dank gilt dem gesamten Team, das am AuRa Projekt arbeitet, für die Gelegenheit zur Zusammenarbeit und für alle Informationen, die für die Erstellung dieser Arbeit bereitgestellt wurden, insbesondere dem Institut für Mobile

Systeme, Institut für Logistik und Materialflusstechnik und Institut für Psychologie an der Otto von Guericke Universität Magdeburg, sowie dem Zentrum für Produkt-, Verfahrens und Prozessinnovation.

Der Beitrag ist im Rahmen der Forschungstätigkeiten des Vorhabens „AuRa Autonome Fahrräder“ entstanden. Dieses wird durch den Europäischen Fonds für Regionale Entwicklung (EFRE) gefördert.

LITERATURVERZEICHNIS

- [1] WBGU, „Der Umzug der Menschheit: Die transformative Kraft der Städte“, WBGU Wissenschaftlicher Beirat der Bundesregierung Globale Umwelt, Berlin, 2016.
- [2] B. J. Rockström, O. Gaffney, J. Rogelj, M. Meinshausen, N. Nakicenovic, and H. Joachim, „A roadmap for rapid decarbonization,” *Science* (80-), vol. 355, no. 6331, pp. 1269–1271, 2017.
- [3] EU, „White paper on transport”, Publications Office of the European Union, Luxembourg, 2011.
- [4] S. Hörll, F. Becker, T. Dubemet, and K. W. Axhausen, „Induzierter Verkehr durch autonome Fahrzeuge: Eine Abschätzung“, 2019.
- [5] E. Fraedrich et al., „Automatisiertes Fahren im Personen- und Güterverkehr“, Stuttgart: e-mobil BW GmbH, Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. Institut für Verkehrsforschung, Ministerium für Verkehr Baden-Württemberg, 2017.
- [6] F. Rudolph, T. Koska, and C. Schneider, „Verkehrswende in Deutschland“, Hamburg: Wuppertal Institut, Greenpeace e.V., 2017.
- [7] A. Reckwitz, „Die Gesellschaft der Singularitäten“, 6. Auflage, Berlin: Suhrkamp, 2018.
- [8] W. Canzler and A. Knie, „Die Zukunft urbaner Mobilität - Ansätze für eine ökologische Verkehrswende im digitalen Zeitalter“, in *böll.brief Grüne Ordnungspolitik #6*, Berlin: Heinrich Böll Stiftung, 2018.
- [9] S. Zug, S. Schmidt, T. Assmann, K. Krause, S. Salzer, and M. Seidel, "BikeSharing der 5. Generation. Szenarien und Herausforderungen für den Einsatz autonom agierender Fahrräder", Jorge Max Gomez (Hg.): BUIS-Tage 2018, Oldenburg, 2018.
- [10] S. Trubia, A. Canale, T. Giuffrè and A. Severino, „Automated vehicle: a review of road safety implications as driver of change“, 27th CARSP Conference, Toronto, June 18-21, 2017.
- [11] R. Bruder, „Einführung in die Ergonomie für Industrial Design“, Verlag: Ergonomia, 2004.
- [12] S. Draganov, „Lehrpläne für methodisches Produktentwerfen“, Grundstudium Ingenieurdesign, Technische Universität Sofia, 2012-2016.
- [13] Otto-von-Guericke Universität Magdeburg, Forschungs- und Entwicklungsprojekt "AuRa", Systemkonzept, Visualisierung: D. Manoeva, Magdeburg, 2019.
- [14] Otto-von-Guericke Universität Magdeburg, Forschungs- und Entwicklungsprojekt "AuRa", Projektsteckbrief, Magdeburg, 2019.
- [15] „Bevölkerungsstruktur von Magdeburg zum 31.12.2017“, Publisher: Statistisches Landesamt Sachsen-Anhalt, n.d. Web. 8 Oct. 2019.
- [16] „Fahrrad-Sitzpositionen“, Deutschland, Publisher: <https://www.rad-reise-service.de>, n.d. Web. 9 Oct. 2019.
- [17] „Lastenrad - Sicherheit“, Publisher: <https://www.e-lastenrad.de>, n.d. Web. 8 Oct. 2019.
- [18] „Design, die ästhetische Schönheit - Geschichte, Funktion und Disziplinen“, Web Artikel, Deutschland, Publisher: <http://www.paradisi.de>, n.d. Web. 10 Oct. 2019.
- [19] A. Rakonitornay, F. Feller, and N. Haworth, "Using in-vehicle avatars to prevent road violence", CARRS - Centre for Accident, Research and Road Safety, Sydney, 2008.
- [20] K. Blankenbach und M. Haller, „Exterieur-Display für autonome Fahrzeuge“, Web Artikel, Deutschland, Publisher: <https://www.elektroniknet.de>, n.d. Web. 10 Oct. 2019.
- [21] I. Othersen, A. Conti-Kufner, A. Dietrich, P. Maruhn, and K. Bengler, "Designing for automated vehicle and pedestrian communication: perspectives on eHMIs from older and younger persons", Europe Chapter Human Factors and Ergonomics Society, Annual Meeting 2018, October 8-10, Berlin, 2018.