

Ergonomische Gestaltung und Bewertung berührungsfreier Gestensteuerungen für Nutzfahrzeuge

Michael Walter Stecher

Vollständiger Abdruck der von der Fakultät für Maschinenwesen
der Technischen Universität München
zur Erlangung des akademischen Grades eines
Doktor-Ingenieurs (Dr.-Ing.) genehmigten Dissertation.

Vorsitzender:

Prof. Dr.-Ing. Thomas Sattelmayer

Prüfer der Dissertation:

1. Prof. Dr. phil. Klaus Bengler

2. Prof. Dr.-Ing. Thomas Maier

Die Dissertation wurde am 13.05.2019 bei der Technischen Universität München eingereicht und durch die Fakultät für Maschinenwesen am 08.08.2019 angenommen.

Vorwort

Die vorliegende Arbeit entstand während meiner Tätigkeit als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Lehrstuhl für Ergonomie der Technischen Universität München. All denjenigen, die mich in dieser Zeit unterstützt und auf diese Weise zum Erfolg dieser Arbeit beigetragen haben, möchte ich meinen Dank aussprechen.

An erster Stelle gilt der Dank meinem Doktorvater Herrn Prof. Klaus Bengler, ohne dessen Betreuung diese Arbeit nicht möglich gewesen wäre. Die konstruktiven Diskussionen und richtungsweisenden Ratschläge waren stets eine Inspiration.

Ein wesentlicher Teil der Dissertation ist im Rahmen des Forschungsprojekts „Gestensteuerung im Nutzfahrzeug“ in Kooperation mit der MAN Truck & Bus AG entstanden. Ganz herzlich bedanken möchte ich mich beim gesamten Team des Forschungszentrums Fahrerarbeitsplatz, das mich in allen Belangen tatkräftig unterstützt hat. Bedanken möchte ich mich vor allem auch bei Herrn Andreas Zimmermann, der mir projektseitig genügend Freiraum zur Entfaltung meiner Forschungsinteressen gab.

Ein außerordentliches Dankeschön richtet sich an meine Mentorin Dr. Britta Michel. Sie hat diese Arbeit in allen Phasen mit großem Interesse begleitet und stand stets mit praktischen Ratschlägen und hilfreichen Anregungen zur Seite.

Ebenfalls danken möchte ich den vielen fleißigen Studentinnen und Studenten, die im Rahmen ihrer Studien- und Abschlussarbeiten bei der Durchführung von Versuchen sowie beim Aufbau diverser Prototypen unterstützt haben.

Nicht zuletzt möchte ich meiner Familie danken, die immer an mich geglaubt und mir vieles ermöglicht hat. Ein ganz besonderer Dank geht dabei an meine Lebensgefährtin Tina für ihre Geduld, Zuversicht und vielfache Unterstützung in all den Jahren.

Kurzfassung

Die berührungsfreie Gestensteuerung stellt eine neue Form der Mensch-Maschine-Interaktion dar, die ergonomische Verbesserungen in verschiedenen Bereichen des alltäglichen Lebens verspricht. Dabei stellt sich die Frage, ob die Gestensteuerung auch im Nutzfahrzeug eingesetzt werden kann, um dort die Effizienz von Arbeitsabläufen zu steigern und den Fahrerarbeitsplatz sicherer, komfortabler und attraktiver zu gestalten.

Zur Beantwortung dieser Frage wird im Rahmen der vorliegenden Arbeit ein Prozess für die Entwicklung berührungsfreier Gestensteuerungen definiert, welcher die Schritte der Analyse, Gestaltung und Evaluation umfasst. Dieser Prozess wird auf den Nutzfahrzeugkontext angewendet. Dabei wird durch einen Methodenmix der Nutzfahrzeugkontext analysiert, um potenzielle Anwendungsfälle für eine Gestensteuerung zu identifizieren. Mithilfe von Gestaltungskriterien erfolgt die gebrauchstaugliche Gestaltung der Gestensteuerung. In einem Wizard-of-Oz-Versuch im Fahrsimulator sowie einer Befragung anhand von Prototypen wird die Gestensteuerung in Bezug auf Mehrwert und Usability evaluiert.

Die Ergebnisse der Evaluation zeigen, dass die Gestensteuerung in Abhängigkeit vom Anwendungsfall zu kürzeren Bedienzeiten, zu einer verringerten Ablenkung während der Fahrt, zur physischen Entlastung sowie zu einer positiven User Experience beitragen kann. Zudem wurden verschiedene Möglichkeiten der gebrauchstauglichen Gestaltung aufgezeigt. Eine Akzeptanz bei den Nutzern hat sich bestätigt. Der vorgeschlagene Prozess zur Entwicklung berührungsfreier Gestensteuerungen erweist sich somit als zielführend und kann zukünftig als Orientierung bei der Entwicklung berührungsfreier Gestensteuerungen dienen.

Abstract

Touchless gesture control is a new way of human-machine interaction and promises ergonomic improvements in different areas of daily life. This raises the question of whether gesture control could also be used in commercial vehicles in order to increase workflow efficiency and to make the driver's workplace safer, more comfortable, and more attractive.

To answer that question, this thesis defines a process for the development of touchless gesture control. The process is applied to the commercial vehicle domain and is based on the following three steps: analysis, design, and evaluation. In order to identify potential use cases for gesture control, the commercial vehicle domain is analyzed by applying a combination of different methods. Design criteria help to ensure high usability of the gesture control. The evaluation focuses on added value and usability and includes a Wizard-of-Oz-based study in the driving simulator as well as an interview-based assessment of prototypes.

The results of the evaluation show that for certain use cases gesture control can reduce interaction times, driver distraction, and physical workload, and lead to a positive user experience. Furthermore, different aspects for an ergonomic design were pointed out. A high user acceptance could be confirmed. The proposed process for the development of touchless gesture control proves to be expedient and can therefore serve as guidance for future development projects focusing on touchless gesture control.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung.....	3
1.1	Ausgangssituation.....	4
1.2	Motivation und Zielsetzung.....	5
1.3	Aufbau der Arbeit und Vorgehensweise.....	9
2	Grundlagen der Gestenerkennung und Gestensteuerung.....	13
2.1	Taxonomie der Gestik und Begriffsdefinition.....	13
2.2	Überblick über verfügbare Sensoren zum Erfassen von Gesten.....	17
2.3	Überblick über gängige Verfahren zur Gestenerkennung.....	25
3	Praktische Anwendung von Gestensteuerungssystemen.....	29
3.1	Einsatzgebiete und Anwendungsmöglichkeiten der Gestensteuerung.....	29
3.1.1	Consumer Electronics.....	29
3.1.2	Öffentliche Einrichtungen.....	32
3.1.3	Medizintechnik.....	33
3.1.4	Anwendungen im Fahrzeug.....	34
3.1.5	Weitere Einsatzgebiete: Virtual Reality und Robotik.....	37
3.2	Potenziale und Nutzen der Gestensteuerung.....	38
4	Identifikation von Anwendungsfällen zur Gestensteuerung im Nutzfahrzeug.....	39
4.1	Kontextbetrachtung Nutzfahrzeug.....	39
4.1.1	Fahrzeuge des Güterkraftverkehrs.....	39
4.1.2	Berufsgruppe Lkw-Fahrer.....	42
4.1.3	Aufgaben und Tätigkeiten des Lkw-Fahrers.....	44
4.2	Methoden zur Identifikation von Anwendungsfällen.....	45

4.2.1	Theoretische Aufgabenanalyse	45
4.2.2	Erreichbarkeitsanalyse	52
4.2.3	Beobachtende Mitfahrt	57
4.2.4	Fokusgruppe	65
4.3	Diskussion des Methodenmix	73
5	Ergonomische Gestaltungskriterien der berührungsfreien Gestensteuerung.....	77
5.1	Bedeutung ergonomischer Gestaltung – das Technology Acceptance Model.....	77
5.2	Beschreibung der ergonomischen Gestaltungskriterien.....	78
5.2.1	Zuverlässigkeit, Toleranz und Robustheit	80
5.2.2	Gestenvokabular	82
5.2.3	Mapping und Kompatibilität.....	84
5.2.4	Konsistenz	87
5.2.5	Biomechanische Beherrschbarkeit.....	89
5.2.6	Feedback.....	91
5.2.7	Affordance und Systemtransparenz.....	94
5.3	Diskussion des Gestaltungsprozesses	97
6	Evaluation der Gestensteuerungskonzepte.....	99
6.1	Vergleich der Gestensteuerung mit alternativen Bedienmodalitäten.....	99
6.1.1	Beschreibung der Gestensteuerungskonzepte und deren Mehrwert	99
6.1.2	Untersuchungsschwerpunkte und Hypothesen	103
6.1.3	Versuchsaufbau und Wizard-of-Oz-Methodik	105
6.1.4	Versuchsablauf und -durchführung	108
6.1.5	Eingesetzte Fragebögen und Erhebungsinstrumente	109
6.1.6	Stichprobe.....	111
6.1.7	Ergebnisse.....	111
6.1.8	Diskussion der Ergebnisse.....	121

6.2	Evaluation der Usability prototypischer Gestensteuerungskonzepte.....	125
6.2.1	Beschreibung der Gestensteuerungskonzepte.....	125
6.2.2	Prototypische Integration der Gestensteuerungskonzepte	128
6.2.3	Schwerpunkte der Untersuchung.....	130
6.2.4	Ablauf der Befragung	131
6.2.5	Stichprobe.....	132
6.2.6	Ergebnisse.....	132
6.2.7	Diskussion der Ergebnisse.....	137
6.3	Diskussion des Evaluationsprozesses	140
7	Diskussion der Arbeit	141
7.1	Diskussion der Potenziale der Gestensteuerung im Nutzfahrzeug	141
7.2	Diskussion des Prozesses zur Entwicklung von Gestensteuerungen.....	146
8	Zusammenfassung und Ausblick.....	153
	Literaturverzeichnis.....	155
	Abbildungsverzeichnis	170
	Tabellenverzeichnis.....	172
	Anhang	173

1 Einleitung

In Deutschland wie auch im gesamten Gebiet der Europäischen Union erfolgt ein Großteil des Güterverkehrs auf der Straße. Rund drei Viertel des gesamten Warentransports wird von Nutzfahrzeugen wie Lastkraftwagen (Lkw) und Sattelzugmaschinen bewältigt. Dabei wird in den nächsten Jahren das Nutzfahrzeug noch weiter an Bedeutung gewinnen. Die Europäische Kommission rechnet bis 2030 mit einem deutlichen Anstieg des Güterverkehrs, wobei für den Straßengüterverkehr ein Wachstum von 44 % gegenüber 2010 erwartet wird (ZF Friedrichshafen AG, 2014, vgl. Abbildung 1-1).

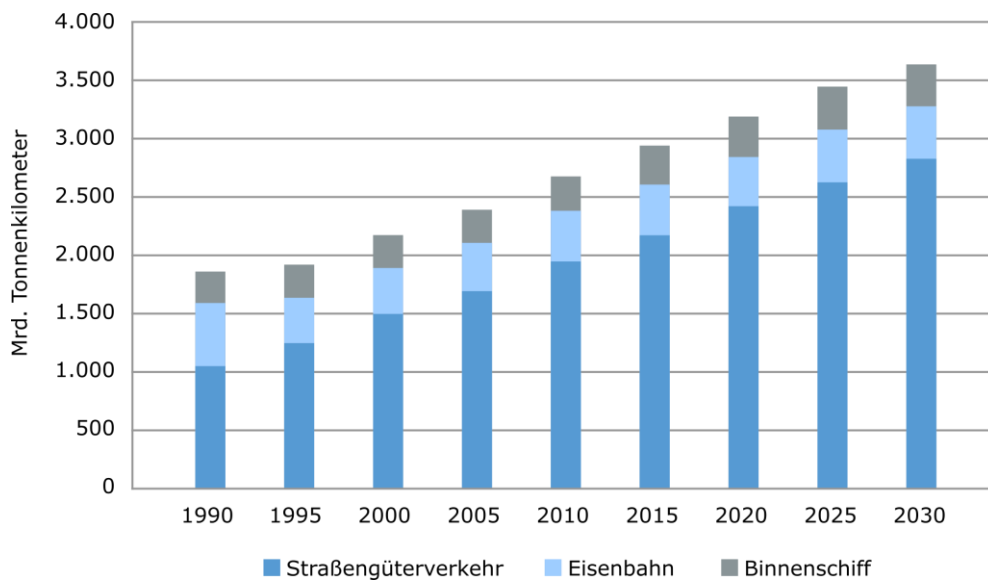


Abbildung 1-1: Prognose für die Entwicklung der Transportleistung in der Europäischen Union bis zum Jahr 2030 (vgl. ZF Friedrichshafen AG, 2014)

Angesichts dieser Prognose wird die Nutzfahrzeugbranche weiterhin eine wichtige Rolle spielen, sich gleichermaßen aber auch den verschiedenen Herausforderungen der Zukunft stellen müssen. Bereits in den vergangenen Jahren und Jahrzehnten war die Nutzfahrzeugbranche geprägt von intensiver Forschung und Entwicklung. Elektronische Stabilitätsprogramme, Spurhaltesysteme sowie Notbremsassistenten machten das Nutzfahrzeug sicherer. Auch Geräuschemissionen konnten seit 1980 um 90 % reduziert werden, der Ausstoß von Luftschadstoffen sogar um mehr als 90 % (Verband der Automobilindustrie e. V., 2016). Aber auch das Fahrerhaus steht bei den Nutzfahrzeugherstellern im Fokus der ständigen Weiterentwicklung. Die Fahrer sind das wichtigste Kapital im Straßengüterverkehr – eine Tatsache, der sich sowohl die Nutzfahrzeughersteller als auch die Transportunternehmen zunehmend bewusst werden. Gerade vor dem Hintergrund des steigenden Fahrer mangels spielt eine möglichst komfortable und annehmbare Gestaltung des Fahrerhauses eine immer wichtigere Rolle, schließlich verbringt der Fahrer dort den Großteil seiner Zeit.

Komfortfunktionen und technische Maßnahmen, darunter etwa Massagesitze, „Relaxzonen“ und eine immer bessere Vernetzung im Bereich der Kommunikation, haben hierzu einen ersten Beitrag geleistet (Verband der Automobilindustrie e. V., 2016).

Auch in Zukunft werden technische Neuerungen und Optimierungen Einzug in das Nutzfahrzeug halten, um den Fahrerarbeitsplatz sicherer, komfortabler und attraktiver zu gestalten. Um diese Entwicklung voranzutreiben, sind neben neuen Funktionen auch neue Eingabemöglichkeiten und Interaktionsformen in Erwägung zu ziehen – wie etwa die berührungsfreie Gestensteuerung. Durch die voranschreitende Entwicklung im Bereich der Sensorik und Mustererkennung ist der Einsatz der berührungsfreien Gestensteuerung im Nutzfahrzeug aus technischer Sicht durchaus denkbar.

1.1 Ausgangssituation

Die berührungsfreie Gestensteuerung stellt eine vergleichsweise neue und innovative Interaktionsform dar. Mit ihr ist der Nutzer in der Lage, dafür vorgesehene Funktionen ohne das Berühren von Bedienelementen zu steuern. Die Interaktion erfolgt allein über das Ausführen definierter Bewegungen z. B. der Hand oder des Arms. Im Pkw wird die berührungsfreie Gestensteuerung bereits von verschiedenen Herstellern eingesetzt (BMW AG, 2015; Volkswagen AG, 2017a). Auch bisherige Forschungs- und Entwicklungsarbeiten zur berührungsfreien Gestensteuerung im Fahrzeug fokussieren in erster Linie den Pkw (vgl. Pickering, Burnham & Richardson, 2007). Nutzfahrzeuge finden in diesem Zusammenhang bislang äußerst selten Berücksichtigung.

Als Argument für den Einsatz der Gestensteuerung im Pkw wird häufig der potenzielle Zugewinn an Sicherheit angeführt (Pickering et al., 2007; Riemer et al., 2013). Während die Interaktion mit konventionellen Bedienelementen bspw. zur Bedienung des Infotainmentsystems eine der Hauptursachen für die Ablenkung des Fahrers darstellt, wird der Gestensteuerung das Potenzial zugesprochen, die Dauer der Blickabwendung von der Straße zu minimieren und die Zeit, in der der Fahrer die Hände am Lenkrad hat, zu erhöhen (Pickering et al., 2007; Riemer et al., 2013). De facto lässt sich dieses Potenzial mit den momentan häufig diskutierten Konzepten zur Gestensteuerung jedoch nur schwerlich ausschöpfen. Wird die Gestensteuerung bspw. im Rahmen der Bildschirmbedienung dazu eingesetzt, bei Annäherung der Hand zum Display einen darauf dargestellten Button zu vergrößern, reduziert dies die erforderliche Zeit der Blickzuwendung nicht (Bubb, Bengler, Breuninger, Gold & Helmbrecht, 2015a). Auch etwa das Durchschalten von Menüpunkten auf einem Display mittels berührungsfreier Wischbewegungen scheint aufgrund der damit zwangsläufig einhergehenden Blickzuwendung der Fahrsicherheit wenig dienlich.

So wie die berührungsfreie Gestensteuerung aktuell im Fahrzeug eingesetzt wird, beschränkt sich ihr Mehrwert in erster Linie auf den markenprägenden Innovationscharakter dieser Technologie. Die Gestensteuerung ist neuartig und wird vom Nutzer – bei dem es sich im Pkw-Segment meist auch um den Käufer handelt – als innovativ wahrgenommen. Als sogenannter *Unique Selling*

Point stellt die Gestensteuerung ein werbewirksames und damit potenziell verkaufsförderndes Alleinstellungsmerkmal für betreffende Fahrzeugmodelle dar. Dies ermöglicht dem Fahrzeughersteller eine deutliche Differenzierung vom Wettbewerb, was letztlich das Image des Herstellers positiv prägt und die Wahrnehmung der Fahrzeugmarke auf dem Absatzmarkt vorteilhaft beeinflusst.

1.2 Motivation und Zielsetzung

Aus Sicht der Ergonomie stellt sich jedoch die Frage, wie die berührungsfreie Gestensteuerung eingesetzt werden muss, sodass für ihren Nutzer – in diesem Fall für den Lkw-Fahrer – ein Mehrwert entsteht. Der potenzielle Mehrwert, der durch eine Gestensteuerung im Nutzfahrzeug geschaffen werden kann, beschränkt sich dabei freilich nicht nur auf den häufig herangezogenen aber doch umstrittenen Zugewinn an Sicherheit. Im Gegensatz zum Pkw handelt es sich bei einem Nutzfahrzeug um weitaus mehr als nur um ein reines Transport- bzw. Fortbewegungsmittel. Das Nutzfahrzeug ist das Arbeitsmittel des Fahrers. Demnach sollte der Einsatz einer Gestensteuerung vor allem den Fahrer bei seinen Tätigkeiten unterstützen und ihm den Arbeitsalltag erleichtern. Dies betrifft nicht nur das Befördern von Gütern und damit einhergehend das Führen des Fahrzeugs, sondern schließt auch eine Vielzahl weiterer Tätigkeiten mit ein, wie etwa die Fahrzeuginstandhaltung, die Tourenplanung und -organisation oder das Be- und Entladen des Fahrzeugs (vgl. Michel, 2014). Das Nutzfahrzeug ist aber noch mehr als nur der Arbeitsplatz des Fahrers. Insbesondere im Fernverkehr stellt das Fahrzeug auch Wohn- und Schlafraum des Fahrers dar, da der Fahrer meist auch seine Pausen und Ruhezeiten im Fahrzeug verbringt. Angesichts der damit verbundenen Funktionalität verbreitert sich das Spektrum an potenziell nutzbringenden Einsatzmöglichkeiten für eine Gestensteuerung im Nutzfahrzeug erheblich.

Um letztlich das Potenzial einer berührungsfreien Gestensteuerung für das Nutzfahrzeug beurteilen zu können, soll zunächst unabhängig vom Anwendungsfall „Nutzfahrzeug“ untersucht werden, welche Vorteile eine berührungsfreie Gestensteuerung im Vergleich zu konventionellen Bedienmodalitäten mit sich bringt. Zu diesem Zweck werden verschiedene Domänen betrachtet, in denen die Gestensteuerung bereits erfolgreich eingesetzt wird oder bezüglich derer aktuelle Forschungs- und Entwicklungsarbeiten nutzbringende Bedienkonzepte aufzeigen. Mit diesen Analysen sollen letztlich die Potenziale der berührungsfreien Gestensteuerung aufgezeigt werden. Diese Potenziale werden dann auf die Domäne des Nutzfahrzeugs übertragen und dienen dort als Grundlage für die Identifikation nutzbringender Anwendungsfälle.

Die Identifikation potenzieller Anwendungsmöglichkeiten einer Gestensteuerung im Nutzfahrzeug basiert auf einem grundlegenden Verständnis des Arbeitssystems „Nutzfahrzeug“. Dies umfasst nicht nur die technische Ausgestaltung des Fahrzeuges, sondern beinhaltet auch sämtliche Arbeitsabläufe und Tätigkeiten, die im oder am Fahrzeug durchgeführt werden. Eine besondere Rolle nimmt dabei der Fahrer ein. An seinen individuellen Bedürfnissen, Eigenschaften und Fä-

higkeiten muss sich der nutzbringende Einsatz einer Gestensteuerung orientieren. Mit dem Ziel, die aktuelle Arbeitssituation und -umgebung des Fahrers zu verbessern, sollen mittels nutzerzentrierter Analysen entsprechende Anwendungsmöglichkeiten für eine Gestensteuerung identifiziert werden. Diese Analysen basieren auf verschiedenen Methoden, deren Anwendung im Rahmen dieser Arbeit beschrieben wird. Die angewandten Methoden sollen dabei jeweils auch hinsichtlich ihres Vermögens diskutiert werden, geeignete Anwendungsfälle für eine berührungsfreie Gestensteuerung im Nutzfahrzeug aufzudecken.

Mit der erfolgreichen Identifikation nutzbringender Anwendungsfälle und der genauen Kenntnis des Nutzungskontexts ist es schließlich möglich, konkrete Bedienkonzepte für die Gestensteuerung im Nutzfahrzeug auszuarbeiten. Die Ausgestaltung der Mensch-Maschine-Schnittstelle einer Gestensteuerung hat jedoch bestimmten Anforderungen zu genügen. Aus ergonomischer Sicht ist dies insbesondere die Forderung nach einer möglichst hohen *Gebrauchstauglichkeit* bzw. *Usability* (vgl. DIN EN ISO 9241-11:2017-01). Einerseits umfasst gute Usability die Möglichkeit einer effektiven und effizienten Nutzung der Gestensteuerung. Andererseits muss im Sinne der Usability aber auch eine hohe Zufriedenheit des Fahrers bei der Nutzung der Gestensteuerung sichergestellt sein. Eine für den Fahrer zufriedenstellende Bedienbarkeit ist die Voraussetzung dafür, dass der Fahrer die Gestensteuerung akzeptiert, folglich verwendet und somit letztlich auch von ihrem Nutzen profitiert. Eine gebrauchstaugliche, ergonomische Gestaltung ist damit die Grundvoraussetzung für die Wirksamkeit der berührungsfreien Gestensteuerung.

Bislang gibt es weder umfassende Standards noch allgemein anerkannte Richtlinien für die ergonomische Gestaltung berührungsfreier Gestensteuerungen. Erste Normenentwürfe wie etwa die DIN EN ISO 9241-960:2015-09 beschränken sich lediglich auf Teilaspekte der nutzergerechten Gestaltung. Entsprechende Empfehlungen, die seitens der Hersteller berührungsfreier Gestensteuerungen ausgesprochen werden, wie etwa die Human Interface Guidelines der Microsoft Corporation (2013), sind wiederum systemspezifisch und daher nicht zwangsläufig auf andere Anwendungsfälle übertragbar. Daher soll im Rahmen dieser Arbeit ein erster Schritt dahingehend unternommen werden, eine Grundlage für die ergonomische Gestaltung berührungsfreier Gestensteuerungen im Nutzfahrzeug zu schaffen. Hierzu sollen Gestaltungskriterien definiert werden, anhand derer eine Mensch-Maschine-Schnittstelle zur Gestensteuerung im Nutzfahrzeug gestaltet werden kann. Zugleich werden Empfehlungen ausgesprochen, die zukünftig als Orientierungshilfe für Designer und Entwickler von berührungsfreien Gestensteuerungen dienen können. Jene Empfehlungen sollen dem Anspruch der Allgemeingültigkeit genügen, sodass diese nicht nur für den Anwendungsfall „Nutzfahrzeug“, sondern für beliebige Anwendungsfälle herangezogen werden können.

Auf Basis der Gestaltungskriterien ist es schließlich möglich, für die zuvor identifizierten Anwendungsfälle für eine Gestensteuerung im Nutzfahrzeug konkrete Bedienkonzepte zu spezifizieren. Dies erlaubt es, die Gestensteuerung mit der bisherigen, konventionellen Bedienung zu verglei-

chen. Damit soll der konkrete Mehrwert der Gestensteuerung quantifiziert und die Eignung der Gestensteuerung für eine Anwendung im Nutzfahrzeug evaluiert werden. Einerseits soll die Evaluation dazu dienen, den hypothetischen Mehrwert der Gestensteuerung zu verifizieren. Andererseits sollen die Ergebnisse der Evaluation aber auch eine Argumentationsgrundlage liefern, mit welcher der Einsatz einer Gestensteuerung im Nutzfahrzeug motiviert werden kann. Gerade dadurch, dass der Fahrer eines Nutzfahrzeugs meist nicht dessen Käufer und Betreiber ist, sondern es sich hierbei häufig um einen Spediteur oder Unternehmer handelt, ist es für den erfolgreichen Einsatz umso wichtiger, den konkreten Mehrwert und damit die Vorteile der berührungsfreien Gestensteuerung gegenüber der bisherigen, konventionellen Bedienung herauszustellen.

Im Rahmen dieser Arbeit sollen somit die folgenden Forschungsfragen beantwortet werden:

- Welche Anwendungsfälle für eine berührungsfreie Gestensteuerung gibt es im Nutzfahrzeug?
- Welche Gestaltungsparameter sind für die ergonomische Gestaltung der berührungsfreien Gestensteuerung entscheidend und wie werden diese im Rahmen konkreter Bedienkonzepte optimal umgesetzt?
- Welcher Mehrwert kann durch den Einsatz einer berührungsfreien Gestensteuerung geschaffen werden und welche Rolle spielt dieser für den Nutzfahrzeugkontext?

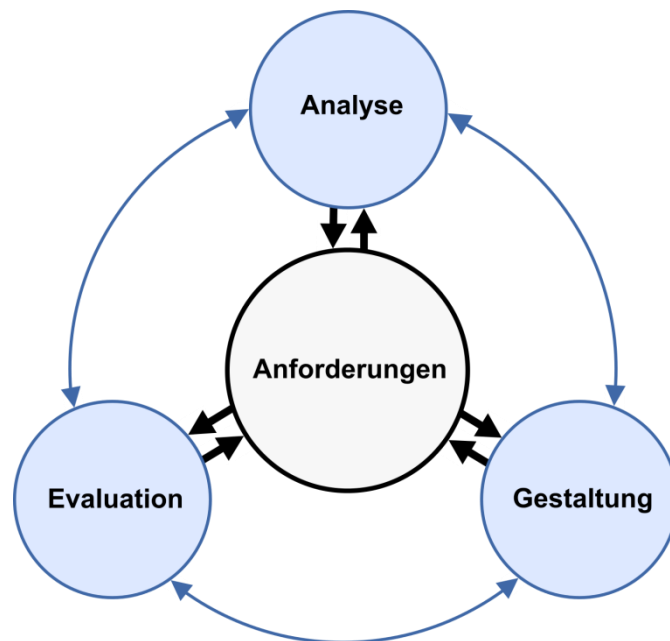


Abbildung 1-2: Der Prozess zur Entwicklung berührungsfreier Gestensteuerungen umfasst die Schritte der Analyse, Gestaltung und Evaluation. Anforderungen an die Nutzung leiten sich dabei aus den jeweiligen Ergebnissen der drei dargestellten Prozessschritte ab.

Einhergehend mit der Beantwortung der Forschungsfragen wird im Rahmen dieser Arbeit ein Prozess vorgeschlagen, an dem sich die Entwicklung einer Gestensteuerung im Nutzfahrzeug orientieren kann. Entsprechend den Forschungsfragen besteht der Prozess dabei aus den drei folgenden Bestandteilen (vgl. Abbildung 1-2):

- Analyse der Nutzer und des Nutzungskontexts in Hinblick auf den Einsatz einer berührungsfreien Gestensteuerung und damit Identifikation geeigneter Anwendungsfälle
- Ergonomische Gestaltung der berührungsfreien Gestensteuerung anhand von Gestaltungskriterien und damit Spezifikation konkreter Bedienkonzepte
- Evaluation der Bedienkonzepte in Hinblick auf den zu erwartenden Mehrwert und damit Prognose von Wirksamkeit und Nutzerakzeptanz der berührungsfreien Gestensteuerung

Der in dieser Arbeit verfolgte Prozess weist dabei Parallelen zu bereits gebräuchlichen Entwicklungsprozessen auf, wie etwa zum Prozess zur Gestaltung gebrauchstauglicher interaktiver Systeme, wie er durch die DIN EN ISO 9241-210:2011-01 beschrieben wird. Das Identifizieren und Festlegen von Nutzungsanforderungen erfolgt hierbei jedoch nicht explizit als gesonderter Schritt. Vielmehr leiten sich Anforderungen an die Nutzung der Gestensteuerung aus den jeweiligen Ergebnissen der drei dargestellten Prozessschritte ab. Darüber hinaus orientiert sich der hier dargestellte Prozess an jenen Prinzipien, die durch die DIN EN ISO 9241-210:2011-01 beschrieben werden:

- a) Die Gestaltung beruht auf einem umfassenden Verständnis der Benutzer, Arbeitsaufgaben und Arbeitsumgebungen.
- b) Die Benutzer sind an der gesamten Gestaltung und Entwicklung beteiligt.
- c) Die Gestaltung wird auf Basis nutzungsorientierter Prüfung und Bewertung fortlaufend verfeinert und angepasst.
- d) Der Prozess ist iterativ.
- e) Bei der Gestaltung wird auf die gesamte User Experience eingegangen.
- f) Bei der Gestaltung werden fachübergreifende Kenntnisse und Gesichtspunkte berücksichtigt.

Anders als beim Prozess zur Gestaltung gebrauchstauglicher interaktiver Systeme nach DIN EN ISO 9241-210:2011-01 muss der in dieser Arbeit beschriebene Prozess nicht zwangsläufig mit einer Analyse des Nutzungskontexts beginnen. Potenzielle Anwendungsfälle für eine berührungsfreie Gestensteuerung können ebenso aus Evaluationsergebnissen abgeleitet werden oder sich aus den Möglichkeiten zur geeigneten Gestaltung ergeben (z. B. wenn Gestaltungslösungen in Form von bereits etablierten Bedienkonzepten aus anderen Bereichen übertragen werden können). Der Prozess kann somit an beliebiger Stelle begonnen werden, erfordert aber in jedem Fall eine Berücksichtigung aller Prozessschritte. Das im Rahmen dieser Arbeit gewählte Vorgehen sieht als

ersten Schritt dennoch eine umfassende Analyse des Nutzungskontexts vor, woraus geeignete Anwendungsfälle für eine Gestensteuerung abgeleitet werden sollen. Die konkrete Vorgehensweise wird dabei im nachfolgenden Abschnitt beschrieben.

1.3 Aufbau der Arbeit und Vorgehensweise

Ausgehend von den in Kapitel 1 festgesetzten Zielen und Forschungsfragen wird in Kapitel 2 zunächst ein Überblick über die Grundlagen und Begrifflichkeiten zum Thema Gestensteuerung und -erkennung gegeben. Zum einen wird dabei der Begriff „Geste“ näher erläutert, wozu verschiedene Definitionen und Taxonomien herangezogen werden. Zum anderen werden die technischen Möglichkeiten vorgestellt, mit denen Gesten erkannt werden können. Dies umfasst die Beschreibung von Sensoren und Kamerasystemen zum Erfassen von Bewegungen, sowie eine Darstellung gängiger Verfahren für das Verarbeiten der Sensordaten und das Erkennen von Gesten.

Auf dieser Grundlage werden in Kapitel 3 die verschiedenen Anwendungsmöglichkeiten der berührungsfreien Gestensteuerung vorgestellt. In einem Überblick zum Stand der Technik werden neben dem Fahrzeug auch andere Einsatzgebiete der Gestensteuerung betrachtet, wie etwa die Unterhaltungselektronik oder Medizintechnik. Dabei werden für die jeweilige Domäne bereits in Anwendung befindliche Bedienkonzepte ebenso vorgestellt wie aktuelle Forschungs- und Entwicklungsarbeiten, die den Einsatz der berührungsfreien Gestensteuerung in dem jeweiligen Bereich fokussieren. Durch die Betrachtung der verschiedenen Bereiche soll ersichtlich werden, aus welchen Gründen die berührungsfreie Gestensteuerung eingesetzt wird und welchen Nutzen sie für den jeweiligen Anwendungsfall verspricht. Auf diese Weise sollen letztlich die Potenziale der berührungsfreien Gestensteuerung aufgedeckt werden, sodass diese für die Identifikation von potenziellen Anwendungsfällen im Nutzfahrzeug herangezogen werden können.

Die Identifikation nutzbringender Anwendungsfälle für eine berührungsfreie Gestensteuerung im Nutzfahrzeug erfolgt in Kapitel 4 und fußt auf einer zunächst theoretischen Kontextbetrachtung. Hierzu wird in einem ersten Schritt der Kontext „Nutzfahrzeug“ auf bestimmte Fahrzeugtypen eingegrenzt, um einen Rahmen für die nachfolgenden Analysen zu schaffen. Im weiteren Verlauf der Kontextbetrachtung werden die potenziellen Nutzer der Gestensteuerung – die Lkw-Fahrer – eingehender betrachtet. Neben charakteristischen sozio-demografischen Aspekten, die für die Nutzung einer Gestensteuerung relevant sein können, werden insbesondere die Aufgaben und Tätigkeiten von Lkw-Fahrern betrachtet, um dabei erste Ansatzpunkte für die Identifikation von potenziellen Anwendungsfällen für eine Gestensteuerung zu finden. Um schließlich konkrete Nutzungsszenarien zu identifizieren, kommen verschiedene Methoden zum Einsatz, die im Einzelnen beschrieben werden. Im Rahmen einer *Aufgabenanalyse* werden die im Vorfeld bereits herangezogenen Aufgaben und Tätigkeiten dahingehend untersucht, inwiefern die berührungsfreie Gestensteuerung zu einer Optimierung von Arbeitsabläufen beitragen kann. Unter dem Gesichtspunkt, dass die Gestensteuerung berührungsfrei erfolgt, wird im Anschluss mittels einer *Erreich-*

barkeitsanalyse der Innenraum des Fahrzeugs betrachtet. Es ist anzunehmen, dass gerade für schlecht erreichbare Stellteile und Bedienelemente die Gestensteuerung einen Mehrwert für den Fahrer schaffen kann. Darüber hinaus erfolgen *beobachtende Mitfahrten*, im Rahmen derer einzelne Fahrer während einer kompletten Arbeitsschicht begleitet werden. Auf diese Weise sollen bereits identifizierte Anwendungsfälle verifiziert, gleichzeitig aber auch weitere Anwendungsfälle aufgedeckt werden. Im Rahmen einer *Fokusgruppe* werden abschließend die identifizierten Anwendungsfälle einer Gruppe von Lkw-Fahrern vorgestellt. Die Fahrer diskutieren und bewerten die Anwendungsfälle, sodass diese bereits einer ersten Evaluation unterzogen werden.

In Kapitel 5 werden die für die Ausgestaltung von konkreten Gestensteuerungskonzepten relevanten Gestaltungskriterien vorgestellt und diskutiert. Diese Gestaltungskriterien, welche in Abbildung 1-3 dargestellt sind, bilden die wesentliche Grundlage für die nutzergerechte Gestaltung berührungsfreier Gestensteuerungen. Nur unter Berücksichtigung dieser Gestaltungskriterien kann eine für den Nutzer zufriedenstellende Bedienbarkeit der Gestensteuerung erzielt und damit der Erfolg einer Gestensteuerung gewährleistet werden. Empfehlungen für die konkrete Ausgestaltung der jeweiligen Parameter entstammen dabei unterschiedlichen Quellen. Einerseits werden Erkenntnisse aus der wissenschaftlichen Literatur angeführt. Andererseits sollen aber auch allgemeine ergonomische Grundprinzipien herangezogen und auf den Kontext der berührungsfreien Gestensteuerung übertragen werden. Nicht zuletzt dienen konkrete Erkenntnisse, die im Rahmen dieser Arbeit gewonnen werden, als Grundlage für die hier ausgesprochenen Empfehlungen zur ergonomischen Gestaltung einer berührungsfreien Gestensteuerung.

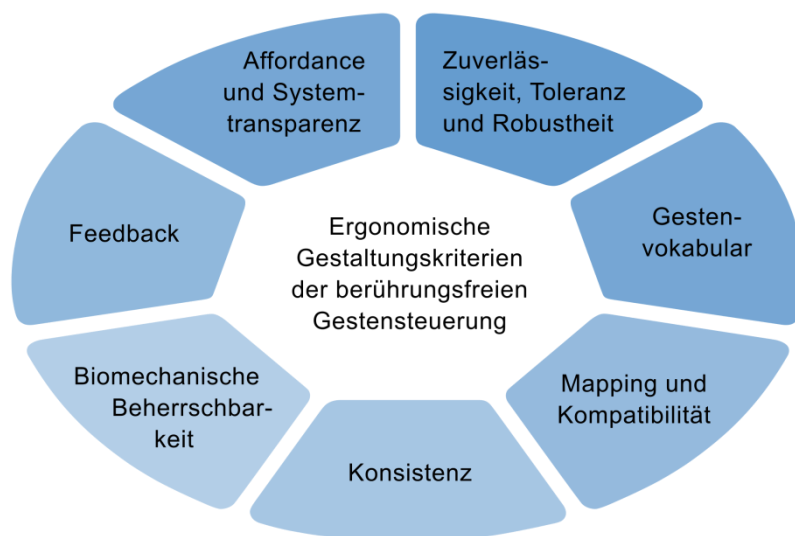


Abbildung 1-3: Überblick über die für die ergonomische Gestaltung einer berührungsfreien Gestensteuerung relevanten Gestaltungskriterien

Schließlich werden in Kapitel 6.1 für ausgewählte Anwendungsfälle konkrete Gestensteuerungskonzepte ausgestaltet und im Rahmen einer umfassenden Nutzerstudie evaluiert. Ziel der Untersuchung ist es einerseits, den potenziellen Mehrwert der Gestensteuerung zu quantifizieren. Zu diesem Zweck werden die jeweiligen Gestensteuerungskonzepte mit der konventionellen Bedienung, wie sie aktuell im Nutzfahrzeug vorzufinden ist, verglichen. Dies geschieht im Rahmen eines Experiments im Fahrsimulator. Mittels objektiver wie subjektiver Daten werden die Auswirkungen der Gestensteuerung auf die Fahrsicherheit, Bedieneffizienz, körperliche Entlastung und User Experience untersucht. Darüber hinaus ist auch die Nutzerakzeptanz der jeweiligen Gestensteuerungskonzepte Gegenstand der Untersuchung. Nur wenn die Gestensteuerung von den Nutzern akzeptiert wird, kann deren Wirksamkeit gewährleistet und ein entsprechender Mehrwert erzielt werden. Um eine möglichst valide Evaluation der Nutzerakzeptanz zu erreichen, wird das Experiment mit Berufskraftfahrern durchgeführt.

Anschließend erfolgt in Kapitel 6.2 eine Evaluation ausgewählter, prototypisch umgesetzter Gestensteuerungskonzepte. Im Gegensatz zur vorangehenden Untersuchung im Fahrsimulator findet die Evaluation im Realfahrzeug statt und berücksichtigt zudem die technische Integration einer Gestenerkennung. Das Ziel der Evaluation ist dabei einerseits die Verifikation der Ergebnisse der vorangehenden Fahrsimulatorstudie. Andererseits soll mit dieser Untersuchung aber auch die gebrauchstaugliche Gestaltung gemäß den in Kapitel 5 beschriebenen Gestaltungsparametern überprüft werden. Hierzu ist die subjektiv wahrgenommene Usability zentraler Gegenstand der Betrachtung, wobei zur Evaluation sowohl Fahrer als auch Experten herangezogen werden.

Kapitel 7 dient schließlich der Diskussion dieser Arbeit. Diskutiert wird dabei zum einen, welche Potenziale der berührungsfreien Gestensteuerung im Nutzfahrzeug schlussendlich zugesprochen werden können. Zu diesem Zweck sollen die zuvor formulierten Forschungsfragen beantwortet werden. Zum anderen soll aber auch der Prozess zur Entwicklung berührungsfreier Gestensteuerungen diskutiert werden. Dabei ist es das Ziel, aus den Erkenntnissen, die im Rahmen dieser Arbeit gewonnen wurden, Empfehlungen für die zukünftige Entwicklung berührungsfreier Gestensteuerungen auszusprechen.

2 Grundlagen der Gestenerkennung und Gestensteuerung

In diesem Kapitel werden die zum Verständnis der Thematik notwendigen Grundlagen erläutert. Dabei wird zunächst der Begriff Gestik näher betrachtet, wozu verschiedene Definitionen und Taxonomien vorgestellt werden. Im darauffolgenden Abschnitt wird aus technologischer Sicht auf verfügbare Sensor- und Kamerasysteme sowie auf die grundlegenden Verfahren zur Gestenerkennung eingegangen.

2.1 Taxonomie der Gestik und Begriffsdefinition

Der Begriff Gestik bezeichnet die Gesamtheit aller Gesten. Eine Geste wiederum definiert sich gemäß DIN EN ISO 9241-960:2015-09 als eine Bewegung oder Pose des Körpers bzw. von Körperteilen. In Bezug auf die zwischenmenschliche Kommunikation präzisiert Kendon (1986) den Begriff der Gestik. Ihm zufolge handelt es sich bei einer Geste um eine sichtbare Handlung, die ein Kommunikationsteilnehmer gesondert von anderen Bewegungen wahrnimmt und die von einer kommunikativen Absicht geprägt ist (Kendon, 1986). Saffer (2008) definiert eine Geste hingegen speziell in Hinblick auf die Verwendung der Gestik zur Steuerung technischer Geräte. Er bezeichnet eine Geste als „any physical movement that a digital system can sense and respond to without the aid of a traditional pointing device such as a mouse or stylus. A wave, a head nod, a touch [...] can be a gesture“ (Saffer, 2008, S. 2).

Wie sich zeigt, wird der Begriff Gestik je nach Anwendungskontext unterschiedlich definiert. Auch bieten die Definitionen einen deutlichen Spielraum, was die Begriffsbestimmung betrifft. Aufgrund der Allgemeinheit und Verschiedenheit der Definitionen wird nachfolgend eine detailliertere Betrachtung der Modalität Gestik vorgenommen. Dabei werden die in der Literatur gebräuchlichen Strukturen zur Klassifikation von Gesten präsentiert und vor dem Hintergrund der Gestensteuerung diskutiert.

Wie bereits die Definition nach DIN EN ISO 9241-960:2015-09 nahelegt, lassen sich Gesten grundsätzlich in *dynamische Gesten* (Bewegungen) und *statische Gesten* (Posen) unterteilen. Während bei einer dynamischen Geste die Informationsübermittlung hauptsächlich über den Ablauf einer Bewegung erfolgt, wird bei statischen Gesten die Information rein durch eine zeitlich überdauernde Haltung oder Formgebung des betreffenden Körperteils übermittelt (Freeman & Roth, 1995, zitiert nach Stern, Wachs & Edan, 2008; Geiger, 2003). Für eine Gestensteuerung wäre aus technologischer Sicht sowohl der Einsatz statischer als auch dynamischer Gesten denkbar. Aus Nutzersicht hingegen sind dynamische Gesten zu bevorzugen. Zum einen sind dynamische Gesten eindeutiger und weniger missverständlich (Pickering et al., 2007). Zum anderen handelt es sich bei statischen Gesten um eine vergleichsweise unnatürliche Form der Kommunikation (Geiger, 2003), sodass die Natürlichkeit einer Interaktion durch die Verwendung dynamischer statt statischer Gesten gesteigert werden kann (Akyol, Canzler, Bengler & Hahn, 2000a).

Ein weiteres Unterscheidungskriterium sind die zum Ausführen einer Geste eingesetzten Körperteile. Gesten können mit den Händen, dem Kopf, den Füßen oder auch mit dem ganzen Körper ausgeführt werden und lassen sich demgemäß in *Teilkörpergesten* und *Ganzkörpergesten* unterteilen (Geiger, 2003). Im weitesten Sinne fallen auch Mimik und Augenbewegungen¹ unter den Begriff der Gestik (Mitra & Acharya, 2007; Malerczyk, 2009), sodass im Rahmen der Teilkörpergesten weitgehend zwischen *Hand- und Armgesten* sowie *Kopf- und Gesichtsgesten* unterschieden werden kann (Mitra & Acharya, 2007). Von dieser Taxonomie unberücksichtigt bleiben Fußgesten. Während Hand- und Kopfbewegungen die wohl häufigste Form der Gestik darstellen (Geiger, 2003), spielen Fußgesten in der zwischenmenschlichen Kommunikation lediglich eine untergeordnete Rolle. Für die Gestensteuerung im Fahrzeugkontext sind Fußgesten hingegen bereits erfolgreich im Einsatz (vgl. Abschnitt 3.1.4). Aktuell konzentriert sich die Forschung und Entwicklung im Bereich der Gestensteuerung vor allem auf den Einsatz von Hand- und Fingergesten.

Ebenso wichtig bei der Unterscheidung von Gesten ist das Vorhandensein einer kommunikativen Absicht. In diesem Zusammenhang wird nach Morris (1984) zwischen *primären* und *sekundären* Gesten unterschieden. Die Norm DIN EN ISO 9241-960:2015-09 verwendet synonym die Begriffe *intendierte* und *nicht intendierte* Gesten. Primäre bzw. intendierte Gesten werden mit der Absicht ausgeführt, diese zu Zwecken der Kommunikation und des Informationsaustauschs einzusetzen. Hingegen erfolgen sekundäre bzw. nicht intendierte Gesten beiläufig oder gar unbewusst und ohne konkrete kommunikative Absicht. Letztere dienen in erster Linie einem anderen Zweck und würden nach der Definition von Kendon (1986) im Grunde nicht unter den Begriff der Gestik fallen. Deutlich wird die Unterscheidung zwischen primären und sekundären Gesten am Beispiel der verschiedenen Funktionen der Hand. Nach Cadoz (1994) erfüllt die Hand dreierlei Aufgaben. Zum einen dient sie als Wahrnehmungsorgan (*epistemische Funktion*). Über den haptischen Sinneskanal nimmt der Mensch mit den Händen seine physische Umgebung wahr. In ihrer zweiten Funktion wird die Hand als Werkzeug zur Manipulation der Umwelt eingesetzt (*ergotische Funktion*). Somit zählen Handbewegungen, die in epistemischer oder ergotischer Funktion stattfinden, zu den sekundären bzw. nicht intendierten Gesten, denn schließlich liegt ihnen keine kommunikative Absicht zugrunde. Die dritte Funktion der Hand dient hingegen der expliziten Informationsabgabe an die Umwelt (*semiotische Funktion*), sodass es sich hierbei um primäre bzw. intendierte Gesten handelt. Grundsätzlich ist es möglich, sowohl primäre bzw. intendierte als auch sekundäre bzw. nicht intendierte Gesten für die Gestensteuerung einzusetzen. Gemäß DIN EN ISO 9241-960:2015-09 eignen sich nicht intendierte Gesten insbesondere dann, wenn die Situation kein vorheriges Einüben der Gestenbedienung erlaubt oder die Interaktion schnell oder unter Stress erfolgen muss. Der Vorteil intendierter Gesten besteht hingegen darin, dass diese von zufälligen Bewegungen besser unterschieden werden können, was letztlich die Gefahr einer unbeabsichtigten Eingabe verringert (DIN EN ISO 9241-960:2015-09).

¹ Augenbewegungen werden nur selten der klassischen Gestensteuerung zugeordnet. Sie werden vielmehr vom Begriff der Blicksteuerung abgedeckt. Daher sind Augenbewegungen im Rahmen dieser Arbeit nicht weiter Gegenstand der Betrachtung.

Bezüglich der weiteren Untergliederung primärer bzw. intendierter Gesten stellt die *Semantik* ein entscheidendes Kriterium dar. Semantik bezeichnet die inhaltliche Bedeutung einer Geste, die je nach Nutzungskontext unterschiedlich sein kann. Beispielsweise kann eine zur Faust geballte Hand mit nach oben gestreckten Daumen auf verschiedene Arten interpretiert werden. Abhängig vom Zusammenhang, in dem diese Geste gebraucht wird, handelt es sich entweder um ein Zeichen für „okay“, um die Anweisung „nach oben“ oder um die Mengenangabe „eins“. Stellvertretend für die Semantik einer Geste wird in Bezug auf die Gestensteuerung häufig auch der Begriff *Gestenbefehl* verwendet (DIN EN ISO 9241-960:2015-09). In der wissenschaftlichen Literatur finden sich verschiedene Taxonomien, nach denen Gesten hinsichtlich ihrer Semantik und dem Kontext, in dem sie gebraucht werden, klassifiziert werden können. Hierzu sei insbesondere auf die Werke von Efron (1941), Morris (1984) sowie Kendon (1986) verwiesen, aus denen verschiedene Taxonomien hervorgehen. Ein Großteil der in der Literatur vorzufindenden Klassifizierungsschemata bezieht sich auf den sprachbegleitenden Gebrauch der Gestik im Rahmen der zwischenmenschlichen Kommunikation. Auch wenn die meisten Gesten vorrangig in Verbindung mit Sprache eingesetzt werden, sind viele Gesten ebenso auch *autonom*, d. h. sprachunabhängig verwendbar (vgl. Morguet, 2000). Dennoch erscheint ein Transfer dieser Taxonomien auf die gestische Mensch-Maschine-Interaktion nur bedingt zweckmäßig, weswegen an dieser Stelle auf eine umfassende Darstellung der Taxonomien verzichtet wird. Stattdessen gibt Tabelle 2-1 Aufschluss über die geläufigsten Gestentypen.

Tabelle 2-1: Beschreibung ausgewählter Gestentypen nach Efron (1941), Morris (1984) und Kendon (1986)






<i>Symbolische Gesten</i>	
<p>Symbolische oder auch emblematische Gesten werden in der zwischenmenschlichen Kommunikation dazu eingesetzt, abstrakte Objekte oder Eigenschaften wie bspw. Gedanken oder Gefühlszustände zu beschreiben. Symbolische Gesten sind kulturabhängig und müssen erlernt werden, gelten im Grunde aber als allgemein bekannt. Da symbolische Gesten in den meisten Fällen bewusst eingesetzt werden, sind sie entsprechend leicht zu erinnern. Unter symbolische Gesten fallen bspw. der nach oben gestreckte Daumen („thumbs up“) zum Ausdruck von Gefallen bzw. Zustimmung oder die „V-for-Victory“-Geste als Zeichen des Sieges.</p>	 <p>„V-for-Victory“ als symbolische Geste für den Sieg</p>
<i>Deiktische Gesten</i>	
<p>Deiktische Gesten werden in erster Linie sprachbegleitend verwendet. Sie dienen dazu, das Gesagte in einen räumlichen Bezug zu setzen (sog. <i>Deixis</i>). Mittels deiktischer Gesten wird häufig auf sichtbare, real existierende Objekte Bezug genommen, indem etwa mit dem Finger darauf gezeigt wird. So wird z. B. die Aussage „Der Eingang ist dort drüben“ durch das Zeigen auf die Eingangstür inhaltlich komplettiert. Deiktische Gesten sind aber auch ohne physikalisches Referenzobjekt möglich. Ein Beispiel hierfür wäre ein Zeigen nach links und dann nach rechts, begleitend zur Aussage „Er hatte die Wahl zwischen A und B“.</p>	 <p>Zeigegeste als die häufigste Ausprägung deiktischer Gestik</p>

Tabelle 2-1: Fortsetzung

<i>Physiografische Gesten</i>	
<p>Physiografische Gesten dienen der Beschreibung von Objekten. Sie werden dazu eingesetzt, bestimmte Eigenschaften eines Objekts zu visualisieren, um damit das Gesagte zu veranschaulichen. Physiografische Gesten lassen sich unterteilen in ikonografische Gesten, welche die Größe oder Form eines Objekts beschreiben, und kinetografische Gesten, welche die Bewegung eines Objekts imitieren. Bei ersteren wird bspw. versucht, die Oberfläche eines Gegenstands mit den Handflächen nachzubilden, während bei letzteren zumeist die Trajektorie des betreffenden Objekts durch eine entsprechende Bewegung nachvollzogen wird.</p>	 <p>Ikonografische Geste bspw. zur Beschreibung einer Kugelform</p>
<i>Technische Gesten</i>	
<p>Technische Gesten werden von Experten benutzt, um sich in bestimmten Situationen zu verständigen. Die Verwendung technischer Gesten erfolgt meist aus dem Grund, dass eine sprachbasierte Kommunikation wegen bestimmter Umgebungsbedingungen nicht möglich ist, wie bspw. bei der Kommunikation über große Distanzen oder in lauten Umgebungen. Technische Gesten werden durch entsprechende Standards spezifiziert und müssen zunächst aktiv gelernt werden. Beispiele für technische Gesten sind etwa Tauchzeichen für die Verständigung unter Wasser oder die Handzeichen des Einwinkers am Flughafen.</p>	 <p>Technische Geste des Einwinkers für „Triebwerk anlassen!“</p>
<i>Kodierte Gesten</i>	
<p>Bei kodierte Gesten handelt es sich um spezifische Zeichensprachen wie etwa die Gebärdensprache oder das Fingeralphabet. Kodierte Gesten dienen in erster Linie den Gehörlosen und Schwerhörigen zur Verständigung. Sie sind daher hinsichtlich ihrer Ausdrucksfähigkeit mit der gesprochenen Sprache vergleichbar, ebenso aber auch hinsichtlich ihrer Kulturabhängigkeit. Die Anwendung kodierter Gesten beruht auf formalen Konventionen, welche aktiv erlernt werden müssen. Kodierte Gesten sind zum Teil äußerst abstrakt, weswegen deren Allgemeinverständlichkeit als vergleichsweise gering einzustufen ist.</p>	 <p>Kodierte Geste der Farbe Rot (Deutsche Gebärdensprache)</p>

In Hinblick auf den Einsatz von Gesten zur Steuerung technischer Geräte können dynamische Gesten darüber hinaus in zwei weitere Gruppen unterteilt werden: *diskrete dynamische Gesten* und *kontinuierliche dynamische Gesten* (Geiger, 2003). Beide Gruppen unterscheiden sich bezüglich der Eingabemethode. Diskrete dynamische Gesten bestehen aus einem in sich abgeschlossenen Bewegungsablauf, dem genau ein konkreter Gestenbefehl zugeordnet wird. Diskrete dynamische Gesten bewirken folglich genau eine bestimmte Systemreaktion (Geiger, 2003). Hingegen erfolgt bei kontinuierlichen dynamischen Gesten die Eingabe bereits während der Bewegung. Ein typisches Beispiel ist die absolute Position einer Hand im Raum, die fortlaufend erkannt und an das System übermittelt wird. Kontinuierliche dynamische Gesten eignen sich somit vor allem zur stufenlosen Regelung eines Systemzustands oder zur kontinuierlichen Manipulation einer Regelgröße, wie z. B. der Position eines virtuellen Objekts auf einem Bildschirm (Geiger, 2003).

2.2 Überblick über verfügbare Sensoren zum Erfassen von Gesten

Während im vorangehenden Abschnitt verschiedene Taxonomien zur Klassifikation von Gesten vorgestellt wurden, folgt nun ein Überblick über die technischen Möglichkeiten zum Erkennen von Gesten. Je nach Geste und Anwendungsfall können unterschiedliche Verfahren und Technologien eingesetzt werden, die sich ebenfalls in entsprechende Kategorien einordnen lassen. Diese werden im Folgenden erläutert, wobei neben den unterschiedlichen Technologien auch auf die gängigen Verfahren zur Signalverarbeitung im Rahmen der Gestenerkennung eingegangen wird.

Bereits die zu Beginn des Kapitels angeführte Definition der Gestik nach Saffer (2008) legt nahe, dass Gesten entweder in Verbindung mit einer Berührung auftreten (sog. *Touch-Gestik*), oder *berührungsfrei* sind. Gemäß dieser grundsätzlichen Unterscheidung gliedern sich auch die Technologien zur Gestenerkennung in *berührungsbasierte* und *berührungsfreie* Verfahren. Unter den berührungsbasierten Verfahren finden sich in erster Linie Touchpads und Touchscreens. Da der Fokus dieser Arbeit auf berührungsfreien Gesten liegt, wird auf berührungsbasierte Technologien an dieser Stelle nicht weiter eingegangen.

Bezüglich der berührungsfreien Gestenerkennung unterscheiden Pickering et al. (2007) zwischen der gerätebundenen (*intrusive*) und der nicht-gerätebundenen (*non-intrusive*) Gestenerkennung. Die gerätebundene Gestenerkennung basiert auf dem Tragen oder Mitführen bestimmter Gerätschaften (sog. *Wearables* und *Handhelds*), die über eine entsprechende Sensorik verfügen, welche das Ausführen einer Geste erkennt. Pickering et al. (2007) geben einen Überblick über verschiedene Forschungsarbeiten zu gerätebundenen Gestenerkennungssystemen. Eines der vermutlich bekanntesten körpergetragenen Systeme zur Gestenerkennung ist der *Data Glove* (vgl. Zimmermann, Lanier, Blanchard, Bryson & Harvill, 1987), ein Handschuh, über dessen Oberfläche verschiedene Sensoren verteilt sind. Diese Sensoren registrieren die Position und Orientierung der Hand sowie die Flexion einzelner Finger und erzeugen so entsprechende Steuersignale für die Gestensteuerung. Während frühe Systeme dieser Art kabelgebunden und infolgedessen meist sperrig und umständlich zu tragen waren, zeichnen sich heutige Systeme durch eine verringerte Baugröße und einen erhöhten Tragekomfort aus. Eines der aktuellsten Beispiele für die gerätebundene Gestenerkennung ist das kabellose Armband Myo der Firma Thalmic Labs Inc. (2015), das in Abbildung 2-1 dargestellt ist (s. nächste Seite). Dieses Armband – welches in der Mensch-Computer-Interaktion Anwendung findet – erkennt Hand- und Armbewegungen des Trägers, indem es die elektrischen Potenziale misst, die bei Muskelaktivität im Unterarm entstehen (Elektromyografie). Neben solchen Wearables können auch Handhelds zur gerätebundenen Gestenerkennung eingesetzt werden. Handhelds werden direkt in der Hand gehalten und verfügen in der Regel über geeignete Sensoren, um die Position des Geräts im Raum zu bestimmen. Auf diese Weise ist es möglich, Bewegungen der Hand im Raum zu registrieren. Derzeit kommen Handhelds vor allem bei der Steuerung von Videospiele zum Einsatz (vgl. Abbildung 2-1, rechts).



Abbildung 2-1: Beispiele für die intrusive Gestenerkennung: das Armband Myo von Thalmic Labs Inc. (links) und die handgehaltenen Controller der Nintendo Wii und der Sony PlayStation (rechts). (Bildquellen: Smith, 2014; Newsom, 2010)

Wenngleich intrusive Technologien eine durchaus präzise Gestenerkennung erlauben, wird die Interaktion mittels am Körper getragener oder in der Hand gehaltener Geräte seitens des Nutzers häufig als umständlich empfunden (Turk, 2002). Pickering et al. (2007) halten den Einsatz von Wearables und Handhelds für die Steuerung von Fahrzeugfunktionen wegen der als niedrig zu erwartenden Nutzerakzeptanz für höchst unrealistisch. Aus diesem Grund wird im Rahmen der vorliegenden Arbeit von der Verwendung einer intrusiven Gestenerkennung abgesehen. Stattdessen wird eine Gestensteuerung angestrebt, die dem Prinzip „*come as you are*“ folgt, also nicht gerätgebunden ist und keine Instrumentierung oder Kalibrierung seitens des Nutzers erfordert (Wachs, Kölsch, Stern & Edan, 2011; Preim & Dachselt, 2015).

Die nicht-gerätgebundene Gestenerkennung unterteilt sich gemäß Pickering et al. (2007) in die kamerabasierte (*vision based*) und die sensorbasierte (*sensor based*) Gestenerkennung. Sensorbasierte Systeme umfassen verschiedene physikalische Wirkprinzipien, wie z. B. elektrische Felder, Ultraschall oder Radarstrahlung.

Elektrische Felder werden mithilfe einer oder mehrerer Elektroden erzeugt. Dringt ein elektrisch leitender Gegenstand wie z. B. eine Hand in das erzeugte elektrische Feld ein, führt dies zu einer Änderung des elektrischen Potentials innerhalb des Feldes (vgl. hierzu Abbildung 2-2) und damit zu entsprechenden elektrischen Verschiebungsströmen in den Elektroden (Pickering et al., 2007; Evanczuk, 2012). Werden über die Elektroden derartige Änderungen im elektrischen Feld gemessen, kann anhand der Charakteristik des gemessenen Signals bestimmt werden, an welcher Stelle und in welchem Abstand sich ein Objekt befindet. Auf diese Weise lässt sich die Bewegung bzw. Annäherung einer Hand registrieren, sodass eine einfache Gestensteuerung realisiert werden kann. Zwar ist die Technologie nur in der Lage, Gesten im Nahbereich, d. h. in einem maximalen Abstand von ca. 15 cm zu erkennen – die Robustheit gegenüber externen Beleuchtungseinflüssen, der niedrige Energieverbrauch sowie die geringen Kosten dieser Technologie stellen jedoch einen klaren Vorteil gegenüber der visuellen Gestenerkennung dar (Duvenhage, 2014; Heller, 2012; Microchip Technology Inc., 2016).

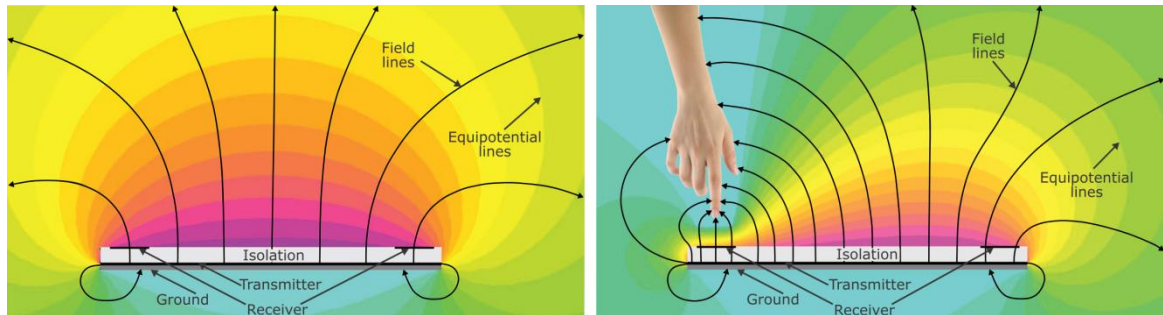


Abbildung 2-2: Ungestörtes elektrisches Feld (links) und Änderung des elektrischen Potentials innerhalb des Feldes (rechts), wenn sich ein elektrisch leitender Gegenstand wie etwa der menschliche Körper im elektrischen Feld befindet (Bildquelle: modifiziert nach Duvenhage, 2014)

Während elektrische Felder bereits in vielerlei Anwendungen zum Einsatz kommen, handelt es sich bei Ultraschall und Radar um Technologien, die für die Gestenerkennung bislang nur prototypisch genutzt werden. Bei der Erkennung von Gesten mittels Ultraschall werden kleine Lautsprecher verwendet, die Schallwellen in einem für den Menschen nicht hörbaren Frequenzbereich von etwa 40 kHz aussenden (Levine, 2014). Diese Schallwellen werden von Objekten in der Umgebung reflektiert und wiederum mithilfe von Mikrofonen detektiert. Treffen Schallwellen auf ein sich bewegendes Objekt wie bspw. eine Hand, ändert sich in Abhängigkeit der Bewegungsrichtung des Objekts die Frequenz der reflektierten Schallwellen. Dieses physikalische Phänomen ist als Dopplereffekt bekannt und kann für die Erkennung einfacher dynamischer Gesten genutzt werden (Levine, 2014; Pazdernik, 2012). Ein ähnliches Wirkprinzip liegt der Gestenerkennung mittels Radar zugrunde, die aktuell von Google im Rahmen des Projekts „Soli“ entwickelt wird (Google Inc., 2019). Hierzu werden elektromagnetische Radarstrahlen ausgesendet, die, wenn sie auf ein Objekt treffen, an diesem gestreut werden. Ein Teil der Strahlung wird zurückgeworfen und kann mittels Radarantenne erfasst werden. Die Charakteristik des zurückgeworfenen Signals (Intensität, Zeitverzug, Frequenzverschiebung, etc.) gibt dabei Aufschluss über bestimmte Eigenschaften des Objekts. Auf diese Weise lassen sich z. B. Form, Größe, Abstand oder Geschwindigkeit des Objekts bestimmen, auf Grundlage dessen letztlich eine Gestenerkennung realisiert werden kann (Google Inc., 2019).

Hingegen werden bei der kamerabasierten Gestenerkennung die Bewegungen und Posen anhand von Kamerabildern identifiziert. Je nach Art der verwendeten Kamera erfolgt die Gestenerkennung auf Basis von Farb-, Intensitäts- oder Tiefeninformationen. Diese Informationen werden genutzt, um das zu erkennende Objekt, z. B. eine Hand, vom Bildhintergrund zu trennen (sog. *Segmentierung*) und dessen Eigenschaften wie Form oder Bewegungsrichtung auszuwerten. Die für die kamerabasierte Gestenerkennung verwendeten Systeme und Verfahren werden im Folgenden vorgestellt.

2D-Kamerasysteme

Unter 2D-Kamerasysteme fallen alle standardmäßigen RGB-Kameras sowie sämtliche monokularen Infrarotkameras, die ein zweidimensionales Bild erzeugen. Die Gestenerkennung erfolgt bei RGB-Kameras u. A. mittels *Farbsegmentierung*. Hierbei werden auf Basis eines entsprechenden Farbmodells hautfarbene Bildbereiche identifiziert, bei denen es sich bspw. um eine Hand oder ein Gesicht handelt. Im Gegensatz zu den ansonsten mit Kleidung bedeckten Körperpartien sind Hände und Gesicht typischerweise unbedeckt. Gegenüber der meist starken Farbvariation der Umgebung weist die Farbe der menschlichen Haut auch bei Menschen mit unterschiedlicher Hautfarbe eine relativ große Ähnlichkeit auf, sodass diese zur Gestenerkennung genutzt werden kann (Bertsch, 2009).

In Fällen, in denen es nicht möglich ist, auf spezifische Farbmerkmale zurückzugreifen – z. B. dann, wenn die Hand durch Kleidung oder Handschuhe verdeckt wird – ist das Verfahren der *Background Subtraction* eine gängige Alternative zur Farbsegmentierung. Bei diesem Verfahren wird ein Hintergrundmodell erzeugt, mit dem das aktuelle Kamerabild fortlaufend verglichen wird. Unterscheiden sich die Farb- oder Helligkeitswerte bestimmter Bildbereiche vom Hintergrundmodell, kann davon ausgegangen werden, dass es sich bei jenen Bildbereichen um ein bewegtes Vordergrundobjekt und somit um eine entsprechende Geste handelt. Problematisch sind bei diesem Verfahren dynamische Veränderungen des Hintergrunds, etwa aufgrund bewegter Hintergrundobjekte. Um in solchen Fällen dennoch eine weitestgehend zuverlässige Segmentierung sicherstellen zu können, muss eine regelmäßige Aktualisierung des Hintergrundmodells erfolgen (vgl. Piccardi, 2004).

Ein großer Nachteil bei der Verwendung von RGB-Kameras zur Gestenerkennung ist, dass sowohl die Farbsegmentierung als auch die Background Subtraction empfindlich auf sich verändernde Beleuchtungsverhältnisse reagieren. Im Dunkeln oder bei sehr schlechten Lichtverhältnissen ist eine Gestenerkennung mittels RGB-Kamera sogar ausgeschlossen. Da insbesondere im Fahrzeugkontext kein ausreichend konstantes Beleuchtungsniveau sichergestellt werden kann, stellt die Verwendung von Infrarotkameras eine mögliche Alternative zur RGB-Kamera dar (vgl. Akyol et al., 2000a). Infrarotkameras, die zur Gestenerkennung eingesetzt werden, arbeiten vornehmlich im Bereich des Nahen Infrarots (NIR), also jenem Wellenlängenbereich, der sich an das Spektrum des sichtbaren Lichts anschließt. Nahes Infrarot ist für das menschliche Auge nicht sichtbar, daher können unzureichende Beleuchtungsverhältnisse durch eine separate Beleuchtung im Nahen Infrarot ausgeglichen werden, ohne dass der Nutzer dadurch geblendet, gestört oder abgelenkt wird (Akyol et al., 2000a). Dies ermöglicht letztlich auch eine Gestenerkennung bei Dunkelheit, hat jedoch den Nachteil, dass sämtliche Farbinformationen verloren gehen und diese für die Gestenerkennung nicht weiter genutzt werden können. Bilder, die von Infrarotkameras erzeugt werden, werden stattdessen in Graustufen dargestellt, wobei die jeweiligen Intensitäten der empfangenen Infrarotstrahlung durch einen entsprechenden Tonwert repräsentiert werden. Mit der Definition eines Schwellenwerts kann anhand der Tonwerte das Graustufenbild in ein binäres

Bild überführt werden (*Thresholding*). Je nach Tonwert werden die unterschiedlichen Bildbereiche entweder dem Hintergrund oder dem zu erkennenden Vordergrundobjekt zugeordnet, sodass darüber letztlich eine Segmentierung im Sinne der Gestenerkennung möglich ist (vgl. Glasbey, 1993).

Auch wenn der Einsatz von 2D-Kamerasystemen mit vergleichsweise geringen Kosten verbunden ist und eine entsprechende Gestenerkennung nur wenig Rechenleistung erfordert, so weisen RGB- und Infrarotkameras auch gewisse Nachteile auf. Wie bereits erwähnt sind vor allem bei RGB-Kameras variierende Beleuchtungsverhältnisse für eine robuste Gestenerkennung hinderlich. Aber auch bei Infrarotkameras kann bspw. direkte Sonneneinstrahlung die Zuverlässigkeit der Gestenerkennung stark beeinträchtigen. Dementsprechend eignen sich 2D-Kamerasysteme in erster Linie für Anwendungen, bei denen die Beleuchtungsverhältnisse zumindest weitgehend kontrolliert werden können. Ein weiterer Nachteil von 2D-Kamerasystemen besteht darin, dass diese lediglich ein zweidimensionales Bild erzeugen. Dadurch können nur jene Gesten zuverlässig erkannt werden, die vornehmlich in der Bildebene ausgeführt werden. Dies schränkt die Auswahl an möglichen Gesten für eine Verwendung im Rahmen der Gestensteuerung ein. Vor allem aber erfolgt bei 2D-Kamerasystemen die Segmentierung ausschließlich indirekt über die beschriebenen Verfahren (Farbsegmentierung, Background Subtraction, Thresholding), was für die Gestenerkennung eine zusätzliche potenzielle Fehlerquelle darstellt.

Im Gegensatz dazu werden bei 3D-Kamerasystemen dreidimensionale Tiefenbilder erzeugt, aus denen direkt Tiefeninformationen gewonnen werden können. Anhand der Tiefeninformationen lassen sich Vordergrundobjekte wesentlich einfacher vom Hintergrund segmentieren, was letztlich die Zuverlässigkeit der Gestenerkennung erhöht (Li, 2014). 3D-Kamerasysteme, die auch als Tiefenkameras bezeichnet werden, umfassen verschiedene Arten von Kameras. Die geläufigsten Systeme sind hierbei Stereokameras, Kameras mit strukturiertem Licht sowie Time-of-Flight-Kameras. Aufbau und Wirkprinzip der jeweiligen Systeme werden im Folgenden erläutert.

Stereokamera

Eine Stereokamera setzt sich aus zwei 2D-Kameras zusammen, die in einem definierten Abstand zueinander angeordnet sind. Die Entfernungsbestimmung mit einer Stereokamera erfolgt nach demselben Prinzip wie das räumliche Sehen beim Menschen. Anhand der jeweiligen Einzelbilder beider Kameras – vergleichbar mit den beiden Augen des Menschen – kann über die Querdisparität der Bildpaare die Entfernung zu einem Objekt bestimmt werden (Li, 2014). Die Berechnung der Entfernung ist in Abbildung 2-3 vereinfacht dargestellt.

Die grundsätzliche Schwierigkeit bei der Entfernungsbestimmung ist das sogenannte Korrespondenzproblem (Li, 2014). Um die Querdisparität der betreffenden Bildbereiche bestimmen zu können, müssen die Bildbereiche zunächst in beiden Einzelbildern entsprechend lokalisiert werden. Dies macht den Einsatz komplexer, rechenintensiver Algorithmen zur Mustererkennung notwen-

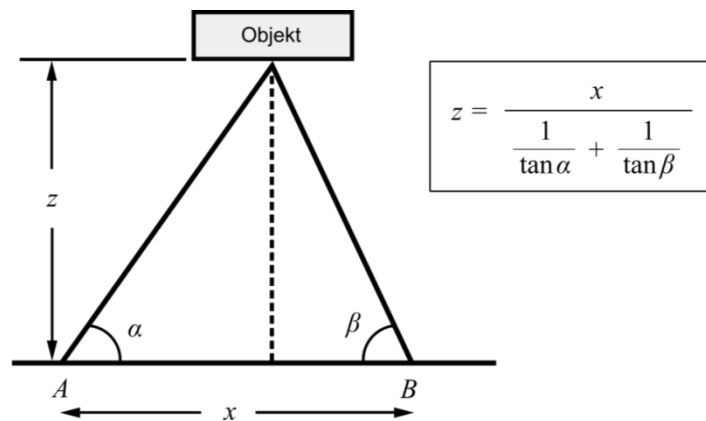


Abbildung 2-3: Vereinfacht dargestelltes Funktionsprinzip einer Stereokamera. Die Punkte A und B repräsentieren die beiden Kameras, die im Abstand x voneinander entfernt angeordnet sind. Über die Querdisparität des Objekts in den beiden Bildern können die Winkel α und β bestimmt werden, was mittels Triangulation eine Berechnung der Entfernung z zulässt (siehe nebenstehende Formel). Mit größer werdender Entfernung des Objekts wird die Berechnung zunehmend ungenauer, was anhand des trigonometrischen Zusammenhangs gezeigt werden kann. Nähern sich α und β einem Wert von 90° an, nimmt aufgrund der Tangensfunktion die Entfernung z überproportional große Werte an. Ungenauigkeiten bei der Bestimmung der Querdisparität haben somit einen entsprechend großen Einfluss. (Bildquelle: modifiziert nach Li, 2014)

dig (Li, 2014). Da aufgrund der beiden 2D-Kameras für die Mustererkennung lediglich Farb- oder Intensitätswerte herangezogen werden können, unterliegt der Einsatz von Stereokameras ähnlichen Einschränkungen wie die Verwendung reiner 2D-Kamerasysteme. So sind bspw. widrige Beleuchtungsverhältnisse für eine zuverlässige Gestenerkennung hinderlich. Auch wenn die Kosten einer Stereokamera vergleichsweise gering sind, so stellt dies einen nicht zu vernachlässigenden Nachteil beim Einsatz einer Stereokamera zur Gestenerkennung im Fahrzeug dar (vgl. Li, 2014).

Strukturiertes Licht

Systeme, die mit strukturiertem Licht arbeiten, bestehen aus zweierlei Komponenten: zum einen aus einem Projektor, der ein definiertes Lichtmuster (sog. strukturiertes Licht) auf ein Objekt projiziert, und zum anderen aus einer Kamera, die erkennt, wie das projizierte Muster durch die Form des Objekts verzerrt wird (Geng, 2011). Da die ursprüngliche Struktur des Lichtmusters bekannt ist, kann anhand der Verzerrung des Musters bestimmt werden, welche Form das Objekt besitzt (vgl. Abbildung 2-4). Geng (2011) gibt einen Überblick über die gängigen Verfahren, die sich jeweils in der Art des verwendeten Musters unterscheiden und dementsprechend unterschiedliche Vor- und Nachteile aufweisen. Gebräuchlich sind u. A. farb- oder intensitätscodierte Raster oder Streifenmuster, wenngleich für den Einsatz im Fahrzeug Lichtmuster im sichtbaren Wellenlängenbereich wegen bereits genannter Gründe ausscheiden. Ohnehin eignet sich strukturiertes Licht vielmehr für Anwendungen, im Rahmen derer die Beleuchtungsverhältnisse der Umgebung kon-

trolliert werden können – denn durch variierende Beleuchtungsverhältnisse wird die Erkennung des Lichtmusters tendenziell beeinträchtigt (Li, 2014). Um grundsätzlich die Objekterkennung mit strukturiertem Licht zu verbessern, werden für jedes Einzelbild sequenziell mehrere Muster projiziert und ausgewertet. Dies reduziert jedoch die maximal mögliche Bildrate, was wiederum die Erkennung sich schnell bewegender Objekte erschwert (Geng, 2011; Li, 2014). Der große Vorteil des strukturierten Lichts liegt in der hohen Auflösung (Li, 2014), doch wie sich zeigt, ist ein zuverlässiger Einsatz dieser Technologie an eine Berücksichtigung diverser Rahmenbedingungen geknüpft.

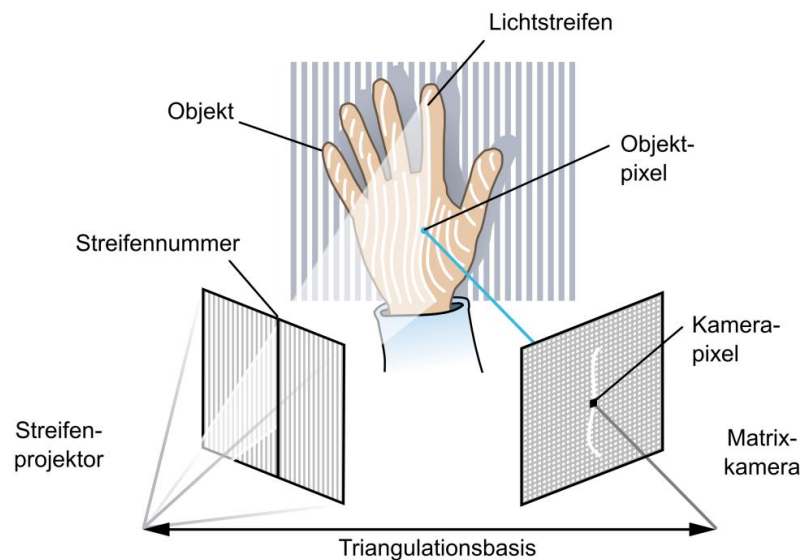


Abbildung 2-4: Schematisch dargestelltes Funktionsprinzip des strukturierten Lichts. Über einen Projektor wird ein definiertes Lichtmuster (z. B. Streifenmuster) erzeugt und in die Szenerie projiziert. Dabei wird das Lichtmuster durch die Form der Objekte in der Szenerie entsprechend verzerrt. Eine Matrixkamera registriert das verformte Lichtmuster. Unter Kenntnis der Parameter (z. B. Streifennummer, Position des jeweiligen Kamerapixels, etc.) ist dann über das Prinzip der Triangulation eine optische Abstandsmessung möglich. (Bildquelle: modifiziert nach KU Leuven, 2017)

Time-of-Flight-Kamera

Das Funktionsprinzip der Time-of-Flight-Technologie basiert auf der Messung der Lichtlaufzeit. Dazu sendet eine Lichtquelle modulierte Licht im NIR-Bereich aus. Trifft dieses infrarote Licht auf ein Objekt in der Umgebung, wird es an diesem reflektiert und wiederum über die Kameraoptik von einem Bildsensor im Inneren der Kamera erfasst. Anhand der Dauer, die das Licht von der Quelle bis zum Objekt und wieder zurück zum Sensor benötigt, kann mithilfe der Lichtgeschwindigkeit der Abstand zum Objekt bestimmt werden. Die Entfernungsberechnung erfolgt für jeden einzelnen Bildpunkt des Kamerabildes, somit also pixelweise. Da demzufolge jedes Pixel eine Tiefeninformation enthält, spricht man anstatt von einem Pixel auch von einem *Voxel* (Li, 2014). Anhand der Voxel ist es letztlich möglich, ein dreidimensionales Tiefenbild zu erzeugen, welches als Punktwolke dargestellt werden kann (Abbildung 2-5).

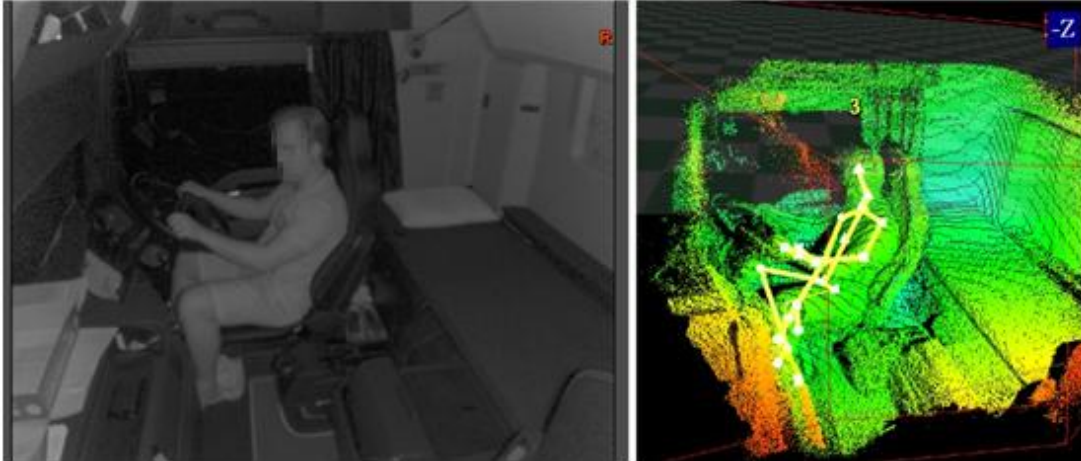


Abbildung 2-5: Mit einer Microsoft Kinect v2 aufgenommene Bilder zur Gestenerkennung. Die in den Sensor integrierte Infrarotkamera liefert das links dargestellte Infrarotbild. Rechts zu sehen ist eine über den Time-of-Flight-Sensor erzeugte Punktwolke derselben Szene. Der Farbwert der einzelnen Voxel spiegelt dabei die Tiefeninformation wider.

Grundsätzlich stehen bei der Time-of-Flight-Technologie zwei unterschiedliche Verfahren zur Verfügung, um die Lichtlaufzeit und darüber die Entfernung eines Objekts zu bestimmen. Bei dem ersten der beiden Verfahren, dem sogenannten Pulsverfahren, wird ein Lichtimpuls ausgesendet. Parallel dazu wird der Bildsensor über eine Blende für einen definierten Zeitraum belichtet. Durch die zeitliche Integration der Intensität des reflektierten Lichts über die Dauer der Belichtung kann die Entfernung eines Objekts bestimmt werden. Je weniger Licht innerhalb des definierten Zeitraums zurückgestrahlt wird, umso weiter entfernt ist das Objekt (Haker, 2010; Li, 2014). Da verschiedene Materialien unterschiedliche Reflexionseigenschaften aufweisen, ist es erforderlich, das Tiefenbild mit einem Referenzbild zu vergleichen und zur Entfernungsbestimmung nur die relativen Lichtintensitäten heranzuziehen (Haker, 2010). Ebenso beeinflusst die Intensität des Umgebungslichts die Entfernungsbestimmung, was die Aufnahme weiterer Referenzbilder – in diesem Fall ohne aktive Beleuchtung – notwendig macht.

Beim zweiten Verfahren wird anstelle eines Lichtimpulses ein kontinuierlicher Lichtstrahl ausgesendet, dessen Intensität sinus- oder rechteckförmig moduliert wird (Haker, 2010; Li, 2014). Die Reflexion des Lichtstrahls an einem Umgebungsobjekt führt dazu, dass das zurückgestrahlte Licht gegenüber dem ausgestrahlten Licht phasenverschoben ist. Der Zusammenhang zwischen der Entfernung eines Objekts und der so entstandenen Phasendifferenz ist dabei linear (Haker, 2010). Um die Phasendifferenz zu bestimmen, wird das zurückgestrahlte Licht synchron zur Phase des ausgestrahlten Lichts gemessen. Anhand der Messwerte kann die Phasendifferenz letztlich auf einfache Weise berechnet werden (vgl. Haker, 2010). Ein Nachteil dieses Verfahrens besteht jedoch darin, dass die Entfernungsmessung nur bis zu einer bestimmten Reichweite möglich ist. Die maximale Reichweite ist dabei von der Frequenz abhängig, mit der der ausgesendete Lichtstrahl moduliert wird. Ist die Periodendauer des dem Lichtstrahl aufgeprägten Signals kürzer als die Zeit, die das

Licht bis zum Objekt und wieder zurück zur Kamera benötigt, kann die Distanz zum Objekt nicht länger eindeutig bestimmt werden (Haker, 2010). Zwar lässt sich die maximale Reichweite erhöhen, indem die Frequenz des aufgeprägten Signals herabgesetzt wird, allerdings verringert dies auch die Genauigkeit, mit der die Entfernung eines Objekts bestimmt werden kann (Li, 2014). Aus diesem Grund werden bei modernen Time-of-Flight-Kamerasystemen der Modulation zusätzliche Frequenzen hinzugefügt (Li, 2014). Indem dann auf Basis jeder einzelnen Frequenz eine Entfernungsmessung durchgeführt wird, kann durch einen Vergleich der Einzelmessungen auch die Distanz zu einem weiter entfernten Objekt eindeutig bestimmt werden (vgl. Li, 2014).



















































Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass es sich im Rahmen der 3D-Kamerasysteme bei der Time-of-Flight-Kamera um die wohl geeignetste Technologie zur Gestensteuerung im Fahrzeug handelt. Im Gegensatz zur Stereokamera und zum strukturierten Licht ist mittels Time-of-Flight-Kamera eine Erkennung möglich, die weitestgehend unabhängig von externen Beleuchtungseinflüssen ist. Die technische Bauart der Time-of-Flight-Kamera ermöglicht eine effiziente Entfernungsmessung und somit eine schnelle Segmentierung relevanter Objekte vom Hintergrund. Eine vergleichende Gegenüberstellung der vorgestellten Technologien findet sich in Tabelle 2-2 (s. nächste Seite).

2.3 Überblick über gängige Verfahren zur Gestenerkennung

So unterschiedlich die im Rahmen der Gestensteuerung eingesetzten Technologien sind, so unterschiedlich sind auch die Verfahren und Algorithmen, mit denen anhand der empfangenen Sensordaten bzw. Kamerabilder potenzielle Gesten erkannt und interpretiert werden. Klassischerweise erfolgt die Gestenerkennung jedoch in zwei wesentlichen Schritten. Der erste Schritt besteht darin, aus den Sensordaten bzw. Kamerabildern relevante Merkmale zu extrahieren. Dieser Schritt wird als *Feature Extraction* bezeichnet. Unter Umständen kann der Feature Extraction eine Vorverarbeitung der empfangenen Rohdaten vorausgehen, bspw. um Rauschen zu entfernen oder die Datenmenge zu reduzieren. Im zweiten Schritt erfolgt dann die Klassifikation der extrahierten Merkmale, die sogenannte *Feature Classification* (Wachs et al., 2011). Als Ergebnis liefert der dafür eingesetzte Klassifikator eine Aussage darüber, ob es sich bei den empfangenen Daten um eine Geste handelt oder nicht. Im Falle einer positiven Erkennung wird schließlich ein entsprechendes Steuersignal erzeugt und an die betreffende Funktion bzw. Aktorik weitergeleitet.

Welche Algorithmen im Rahmen der *Feature Extraction* eingesetzt werden, hängt stark vom jeweils zur Verfügung stehenden Sensor- bzw. Kamerasystem, sowie vom Anwendungsfall und den zu erkennenden Gesten ab. Je nach Verfahren beinhaltet die Feature Extraction auch eine entsprechende Segmentierung der zu erkennenden Körperteile, wie sie in Abschnitt 2.2 bereits beschrieben wurde. So könnte beispielsweise eine zu erkennende Hand zunächst über die Tiefeninformationen eines 3D-Kamerabildes vom Hintergrund getrennt werden. Anschließend würden dann über entsprechende Algorithmen die Form der Hand, und auf Basis dessen schließlich die

Tabelle 2-2: Vergleich verschiedener Technologien zur Gestenerkennung anhand unterschiedlicher Kriterien (vgl. Li, 2014)

Kriterium	Elektrisches Feld	Infrarotkamera	Stereokamera	Strukturiertes Licht	Time-of-Flight-Kamera
Erkennung von komplexen Gesten	 gering	 mittel	 hoch	 hoch	 hoch
Tiefengenaugigkeit	 gering	 gering	 mittel	 hoch	 mittel
Reaktionszeit	 gering	 gering	 mittel	 hoch	 gering
Reichweite	 gering	 skalierbar	 mittel	 skalierbar	 skalierbar
Performanz bei wenig Licht	 hoch	 hoch	 skalierbar	 hoch	 hoch
Performanz bei viel Licht	 hoch	 gering	 hoch	 gering	 hoch
Baugröße	 skalierbar	 gering	 gering	 hoch	 gering
Energieverbrauch	 gering	 skalierbar	 mittel	 hoch	 skalierbar
Software-Komplexität bzgl. Segmentierung	 gering	 mittel	 hoch	 mittel	 gering
Kosten	 gering	 mittel	 mittel	 hoch	 hoch

relevanten Merkmale wie z. B. die Position und Orientierung der Finger, bestimmt werden. Welche Eingangsgrößen für eine Feature Extraction genutzt werden, hängt vom jeweiligen Anwendungsfall ab. Häufig werden mehrere verschiedene Eingangsgrößen gleichzeitig genutzt, um die Geschwindigkeit und die Genauigkeit der Erkennung zu erhöhen (sog. *Multi-cue*, vgl. Wachs et al., 2011). Die Erkennung muss dabei aber nicht immer mit einer vorherigen Segmentierung einhergehen. Im Rahmen sogenannter *Appearance based Approaches* wird anstelle einer Segmentierung das Kamerabild direkt ausgewertet, um relevante Merkmale zu extrahieren (Wachs et al., 2011, Murthy & Jadon, 2009). Aber auch der Output der Feature Extraction kann je nach Anwendungsfall unterschiedlich sein und reicht von einer Bestimmung einzelner relevanter Merkmale bis hin zur kompletten kinematischen Modellierung des betreffenden Körperteils (vgl. Murthy & Jadon, 2009).

Um bestimmen zu können, ob eine Geste ausgeführt wurde oder nicht, werden die extrahierten Merkmale anschließend im Rahmen der *Feature Classification* einem Klassifikator übergeben. In Bezug auf den Klassifikator gibt es auch hier unterschiedliche Ansätze. Im einfachsten Fall arbeitet der Klassifikator regelbasiert (*Rule based Approach*, Murthy & Jadon, 2009). Dazu wird über manuell festgelegte Regeln ein bestimmtes Muster definiert. Entsprechen die zuvor extrahierten Merkmale diesem Muster, lässt dies auf eine Geste schließen. Da jedoch das Muster bzw. die zugrunde gelegten Regeln vom Entwickler manuell codiert werden müssen, sind die Möglichkeiten regelbasierter Klassifikatoren vergleichsweise stark eingeschränkt (Murthy & Jadon, 2009). Eine weitaus gängigere Alternative sind daher Klassifikatoren, welche auf *maschinellern Lernen* basieren (*Machine learning based Approach*, Murthy & Jadon, 2009). Gebräuchlich sind hierbei unter anderem Verfahren wie *Hidden Markov Modelle (HMM)*, *Support Vector Machines (SVM)* oder das *Dynamic Time Warping (DTW)*. Für eine detaillierte Beschreibung der einzelnen Verfahren sei auf Gillian (2011) verwiesen.

Durch die rasante Entwicklung im Bereich des Machine Learning und der künstlichen Intelligenz entstehen kontinuierlich neue Algorithmen, die für die Erkennung von Gesten eingesetzt werden können. Derzeit am vielversprechendsten ist das sogenannte *Deep Learning*. Bei dieser Art des maschinellen Lernens kommen *künstliche neuronale Netze* zum Einsatz, die über eine Vielzahl sogenannter *Hidden Layer* verfügen. Einer der wesentlichen Vorteile von Deep Learning ist, dass in solchen neuronalen Netzen die beiden Schritte der Feature Extraction und Feature Classification zusammengefasst werden können. Statt die zur Gestenerkennung relevanten Merkmale vorzugeben, bestimmt das neuronale Netz die erforderlichen Merkmale über seine Hidden Layer selbst. Wie für das maschinelle Lernen üblich muss dazu jedoch das neuronale Netz im Vorhinein mit entsprechenden Trainingsdaten angelernet werden. Eine umfassende Übersicht über verschiedene Ansätze und Methoden zur Gestenerkennung mittels Deep Learning findet sich bei Asadi-Aghbolaghi et al. (2017).

3 Praktische Anwendung von Gestensteuerungssystemen

Im Folgenden wird ein Überblick über die verschiedenen Anwendungsmöglichkeiten der berührungsfreien Gestensteuerung gegeben. Dazu werden verschiedene Bereiche betrachtet, in denen die Gestensteuerung eingesetzt wird. Diese Betrachtung hat zum Ziel, die zugrunde liegende Motivation für den Einsatz der berührungsfreien Gestensteuerung für das jeweilige Produkt oder den jeweiligen Anwendungsfall darzustellen. Hieraus sollen die Potenziale der Gestensteuerung in Hinblick auf ihren Nutzen bzw. ihren Mehrwert abgeleitet werden. Diese Potenziale können dann wiederum zur Identifikation geeigneter Anwendungsfälle im Nutzfahrzeug herangezogen werden.

3.1 Einsatzgebiete und Anwendungsmöglichkeiten der Gestensteuerung

Die nachfolgenden Betrachtungen erstrecken sich über verschiedenen Bereiche, in denen die berührungsfreie Gestensteuerung eingesetzt wird. Zudem sollen aktuelle Forschungs- und Entwicklungsarbeiten aufgezeigt werden, die einen Einsatz der berührungsfreien Gestensteuerung fokussieren. Auf diese Weise soll nicht nur der derzeitige Stand der Technik dargelegt werden, sondern insbesondere auch die Potenziale der berührungsfreien Gestensteuerung identifiziert werden.

3.1.1 Consumer Electronics

Mitte der 1980er Jahre kommt mit „The Clapper“ eines der ersten kommerziell verfügbaren Gestensteuerungssysteme auf den Markt (Abbildung 3-1). Bei dieser in den USA zum Patent angemeldeten Vorrichtung handelt es sich um einen Schalter, mit dem elektrische Haushaltsgeräte wie Lampen, Fernseher oder Musikanlagen gesteuert werden können (Johnson Enterprises Inc., 2016; Stevens & Reamer, 1993). Indem der Nutzer mehrmals in Folge in die Hände klatscht, kann er Geräte, die über „The Clapper“ an eine Steckdose angesteckt sind, ein- bzw. ausschalten.



Abbildung 3-1: Mit „The Clapper“ lassen sich angesteckte elektrische Geräte durch ein mehrfach aufeinanderfolgendes Händeklatschen ein- bzw. ausschalten. (Bildquelle: Johnson Enterprises Inc., 2016)

Im Gegensatz zur klassischen Gestenerkennung, bei der eine bestimmte Bewegung eines Körperteils direkt erfasst wird, erfolgt die Erkennung bei „The Clapper“ mittelbar über das Geräusch, das beim Klatschen entsteht. Die Tatsache, dass „The Clapper“ mitunter auch andere Geräusche als vermeintliches Klatschen erkennt und dass dadurch betreffende Geräte ungewollt ein- bzw. ausgeschaltet werden, führte schnell zu spöttischer Kritik und verwehrte dem Gerät den Status einer ernstzunehmenden Steuereinrichtung (vgl. Harry & Stall, 2002).

Dennoch wird am Beispiel von „The Clapper“ deutlich, welche Vorteile eine Interaktion mittels berührungsfreier Gesten – ob als Klatschen oder als sonstige Form von Gestik – mit sich bringen kann. In erster Linie erlaubt es die Gestensteuerung über größere Distanzen zu interagieren, ohne dass ein Schalter oder ein anderes Bedienelement erreicht werden muss. Der Nutzer kann dadurch Geräte bedienen, die sich außerhalb seiner Armreichweite befinden. Dazu muss sich der Nutzer weder strecken noch muss er aufstehen, was insbesondere eine komfortablere, häufig aber auch eine schnellere Bedienung ermöglicht. Zudem kann auf diese Weise problemlos bei Dunkelheit interagiert werden, schließlich entfällt die Notwendigkeit einer visuellen Identifikation des betreffenden Bedienelements – ein Vorteil, der nicht nur bei „The Clapper“, sondern generell bei sensorbasierten sowie auch bei mit Infrarotlicht arbeitenden kamerabasierten Gestenerkennungssystemen zum Tragen kommt.

Mit der voranschreitenden Entwicklung der kamerabasierten Gestenerkennung wird die Gestensteuerung seit einigen Jahren zunehmend im Bereich der Gebrauchs- und Unterhaltungselektronik eingesetzt. Sogenannte Smart Devices ermöglichen immer häufiger eine berührungsfreie Interaktion. Ein Beispiel hierfür ist etwa die Smart Camera MV900F von Samsung. Die Digitalkamera soll die Aufnahme von Selbstportraits erleichtern, indem sie die Handbewegungen des Nutzers erkennt. Durch eine kreisförmige Bewegung der Hand lässt sich etwa die Zoomstufe anpassen, durch zweimaliges vertikales Winken wird der Selbstauslöser aktiviert (Samsung Electronics Co., 2012). Ähnlich wie bei „The Clapper“ besteht die Intention beim Einsatz der Gestensteuerung in diesem Fall darin, das Gerät auch dann bedienen zu können, wenn es sich außer Reichweite befindet.

Auch Smart-TVs wurden in den vergangenen Jahren zunehmend mit einer berührungsfreien Gestensteuerung ausgestattet. So weisen diverse TV-Geräte verschiedener Hersteller Bedienkonzepte auf, bei denen der Nutzer neben der Fernbedienung auch Handbewegungen einsetzen kann, um z. B. die Lautstärke zu regulieren oder den Sender zu wechseln (Koninklijke Philips N.V., 2017; Samsung Electronics Co., 2017; vgl. Abbildung 3-2). Liegt die Fernbedienung außer Griffweite, kann der Nutzer auf diese Weise dennoch die wichtigsten Funktionen des Fernsehers steuern, ohne sich aus seiner aktuellen Sitz- oder Liegeposition aufrichten zu müssen. Wurde die Fernbedienung verlegt, erspart die Gestensteuerung dem Nutzer akut die Suche, was sich vor allem in verdunkelten Räumen als Vorteil erweisen kann. So verspricht die Gestensteuerung für beide Szenarien letztlich eine schnellere und komfortablere Interaktion mit dem Fernsehgerät.



Abbildung 3-2: Moderne Fernsehgeräte erlauben es dem Nutzer, per Gestensteuerung bspw. die Lautstärke einzustellen oder den Sender zu wechseln. (Bildquelle: Samsung Electronics Co., 2017)

Um eine solche Funktionalität zu gewährleisten, verfügen derartige Fernsehgeräte über eine Kamera, mit der die Bewegungen des Nutzers erkannt werden. Dass jedoch während des Fernsehens eine Kamera auf den Nutzer gerichtet ist, kann von diesem als Einschränkung seiner Privatsphäre empfunden werden und die Akzeptanz der Gestensteuerung mindern. Darüber hinaus erschweren stark variierende Bildhintergründe und Beleuchtungsverhältnisse ein zuverlässiges Erkennen der Gesten. Die daraus resultierenden Fehl- und Nichterkennungen wirken sich ebenfalls negativ auf die Nutzerakzeptanz aus. Dies mögen letztlich die Gründe dafür sein, dass sich die Gestensteuerung in diesem Bereich bisher nicht flächendeckend durchsetzen konnte. Dennoch ist die berührungsfreie Bedienung von Fernsehgeräten mittels Gesten Gegenstand aktueller Forschungsarbeiten und wird mit der zunehmenden Funktionalität moderner Fernsehgeräte wohl auch in Zukunft weiterhin in Betracht gezogen werden (vgl. Feng, Yang, Wu & Li, 2014; Lee, Kaoli & Huang, 2014).

Ein anderer Bereich der Unterhaltungselektronik, welcher der Gestensteuerung zu Bekanntheit verholfen hat, ist der Bereich der Videospiele. Hier wurde die Gestensteuerung erstmals von Nintendo mit der Spielekonsole Wii angeboten und so einem breiten Nutzerspektrum zugänglich gemacht. Die Gestenerkennung erfolgt bei der Wii gerätgebunden über einen Controller, der vom Nutzer in der Hand gehalten wird und der die Gesten des Nutzers über Beschleunigungssensoren registriert. Eines der meistverkauften Spiele für die Wii ist Wii Sports (Statista, 2017a). Bei diesem interaktiven Sportspiel steuert der Nutzer einen Avatar mit den eigenen Körperbewegungen und misst sich auf diese Weise in verschiedenen Sportarten mit einem virtuellen Gegner. Eine derartige Interaktion per Gestik hatte zum Zeitpunkt der Einführung der Wii einen deutlichen Neuheitseffekt und versprach im Vergleich zu bisherigen Videospiele ein gesteigertes Unterhaltungspotenzial und Nutzererlebnis.

Als konsequente Weiterentwicklung zur Wii brachte Microsoft mit der Kinect ebenfalls eine bewegungssensitive Steuerung für die Spielekonsole Xbox 360 auf den Markt. Im Gegensatz zum

Wii-Controller erfolgt die Gestenerkennung der Kinect nicht mehr gerätgebunden, sondern gänzlich berührungsfrei. Um die Bewegungen des Nutzers zu erkennen, nutzt die Kinect Tiefeninformationen, die zunächst über strukturiertes Licht und in einer späteren Version über das Time-of-Flight-Prinzip gewonnen werden. Nach dem Motto „You Are the Controller“ verspricht Microsoft mit der Kinect eine neuartige und außergewöhnliche Erfahrung im Bereich der Videospiele (Microsoft News Center, 2010). Die angestrebten Verkaufsziele erreichte die Kinect jedoch nicht, was auf den großen Platzbedarf bei der Bedienung, die unzureichend genaue und zuverlässige Erkennung sowie die geringe Anzahl an verfügbaren Spielen zurückzuführen ist (Weinberger, 2017). In der Spieleindustrie konnte sich die Kinect nicht behaupten, allerdings wird die Kinect im Bereich der Forschung und Entwicklung vielfach eingesetzt. Mit der „Kinect for Windows“ stellt Microsoft den Entwicklern gestenbasierter Systeme ein kostengünstiges und leicht handhabbares Gestenerkennungssystem zur Verfügung (Kajastila & Lokki, 2013).

3.1.2 Öffentliche Einrichtungen

Im Bereich der öffentlichen Einrichtungen wird die berührungsfreie Gestensteuerung bereits seit geraumer Zeit erfolgreich eingesetzt. So können bspw. in öffentlichen sanitären Anlagen Wasserhähne, Seifenspender oder Händetrockner häufig berührungsfrei aktiviert werden. Zu diesem Zweck werden meist Infrarotsensoren eingesetzt, die das Annähern einer Hand des Nutzers erkennen und die gewünschte Aktion auslösen. Der Vorteil der berührungsfreien Interaktion besteht in diesen Fällen darin, dass der Nutzer das entsprechende Gerät oder die betreffende Armatur nicht berühren muss, um die gewünschte Aktion auszulösen. Gerade in öffentlichen Bereichen und bei stark frequentierten sanitären Anlagen bringt dies einen Gewinn an Sauberkeit und Hygiene mit sich, da etwa nach dem Händewaschen kein Stellteil oder Bedienelement berührt werden muss. Neben den Händen des Nutzers bleiben zudem auch die Armaturen und Geräte selbst sauber, da sie nicht mit nassen Händen angefasst werden müssen. Die Verschmutzung der Armaturen und Geräte wird dadurch verringert, sodass diese weniger häufig gereinigt werden müssen.

Neben sanitären Anlagen ist ein sinnvoller Einsatz der berührungsfreien Gestensteuerung auch in anderen Bereichen der Öffentlichkeit denkbar. Müller & Gärtner (2016) entwickeln etwa ein bildschirmbasiertes Kiosksystem, mit dem durch eine berührungsfreie Interaktion per Gestik z. B. Bestellungen in einem Fastfood-Restaurant getätigt werden können. Auch in diesem Fall besteht der Vorteil der Gestensteuerung darin, dass die Hände des Nutzers während der Interaktion sauber bleiben und auch der Bildschirm – anders als es etwa bei einem Touchscreen der Fall wäre – nicht verschmutzt. Beides sind Aspekte, die die Gestensteuerung für die Interaktion mit im öffentlichen Raum installierten Bildschirmen (*Interactive Public Displays, IPD*) attraktiv macht. Aber auch die Tatsache, dass interaktive Bildschirme mit Gestensteuerung schlichtweg keine haptischen Bedienelemente erfordern und dadurch deutlich freier positioniert werden können, machte die berührungsfreie Gestensteuerung für diesen Kontext interessant und damit zum Gegenstand aktueller Forschung (Bailly, Walter, Müller, Ning & Lecolinet, 2011; Walter, 2017).

3.1.3 Medizintechnik

Dass die berührungsfreie Gestensteuerung zu Sauberkeit und Hygiene beitragen kann, ist nicht nur für öffentliche Bereiche interessant. Ein großes Potenzial hat diese Eigenschaft auch für die Medizintechnik, die in sterilen Umgebungen eingesetzt wird. So kann der Nutzer etwa mit einem medizinischen Gerät interagieren, ohne die sterile Zone verlassen zu müssen. Ein Anwendungsbeispiel zeigt die Firma TedCas, die ein gestengesteuertes Interface zur Manipulation digitaler Bilddaten im Operationssaal entwickelt hat (TedCas Medical Systems, 2017; vgl. Abbildung 3-3). Mit dem entwickelten System können Ärzte die auf einem Display dargestellten Bilder drehen und zoomen, ohne die Sterilität zu beeinträchtigen. Dadurch entfällt eine aufwändige Desinfizierung, wie sie bisher erforderlich war, wenn ein Arzt bspw. entsprechende Bilder mit einer PC-Maus bewegen wollte. Ebenso wenig muss der Arzt dabei seine Handschuhe ablegen, sodass es auf diese Weise letztlich möglich ist, Zeit und Kosten zu sparen (TedCas Medical Systems, 2017).



Abbildung 3-3: Ohne den sterilen Bereich verlassen zu müssen, kann ein Arzt Bildschirminhalte per Gestik manipulieren. Die Interaktion erfordert kein Desinfizieren, wodurch Zeit und Kosten gespart werden. (Bildquelle: TedCas Medical Systems, 2017)

Aber auch in anderen Bereichen der Medizintechnik wird der Einsatz der berührungsfreien Gestensteuerung erwogen. Rosa und Elizondo (2014) präsentieren ein Bediensystem für die zahnärztliche Chirurgie. Mit dem System können während einer Operation Röntgen- und Computertomografiebilder sowie 3D-Modelle des Kiefers per Gestik aufgerufen und bearbeitet werden. Rodrigues (2013) wiederum kombiniert die Gestensteuerung mit einer Spracherkennung, um damit während einer Autopsie einen digitalen Autopsiebericht erstellen zu können. Auch in diesen beiden Fällen erlaubt die Gestensteuerung ein effizienteres Arbeiten, da für eine Eingabe am System weder der Chirurg bzw. der Obduzierende seine Handschuhe ablegen muss, noch mit der Interaktion eine Kontaminierung des zu bedienenden Eingabegeräts einhergeht (Rodrigues, 2013; Rosa & Elizondo, 2014).

3.1.4 Anwendungen im Fahrzeug

Im Pkw kommt die Gestensteuerung bereits seit einigen Jahren erfolgreich zum Einsatz. So verbaut etwa Volkswagen – wie auch andere Automobilhersteller – kapazitive Näherungssensoren im Bereich des Heckstoßfängers. Diese registrieren Fußbewegungen des Nutzers unterhalb des Kofferraums und bewirken daraufhin ein automatisches Öffnen der Kofferraumklappe (vgl. Abbildung 3-4, links; Volkswagen AG, 2017b). Der Nutzer authentifiziert sich hierbei über das Mitführen eines Funkschlüssels. Auf diese Weise wird ein nicht autorisierter Zugang zum Fahrzeug verhindert. Der Vorteil beim gestengesteuerten Öffnen der Heckklappe besteht darin, dass der Nutzer den Kofferraum öffnen kann, auch wenn beide Hände durch das Tragen von Gepäck oder Gegenständen belegt sind. Der Nutzer muss die mitgeführten Gegenstände nicht ablegen, was einerseits komfortabel ist, andererseits aber auch Zeit spart.

Im Rahmen des Konzeptfahrzeuges „Budd-e“ entwickelt Volkswagen die Gestensteuerung zum automatischen Öffnen der Heckklappe weiter. Statt eines kapazitiven Sensors wird eine Time-of-Flight-Kamera verwendet. Zudem wird ein Lichtmuster auf den Boden projiziert, das dem Nutzer anzeigt, wo er seinen Fuß zu platzieren hat, damit dieser von der Kamera erkannt und der Kofferraum geöffnet wird (vgl. Abbildung 3-4, rechts; Volkswagen AG, 2017c).



Abbildung 3-4: Beim VW Passat erlaubt ein gezielter „Kick“ des Nutzers das automatische Öffnen der Kofferraumklappe (links). Bei einer Weiterentwicklung des Systems deutet ein Lichtmuster dem Nutzer an, wo er seinen Fuß platzieren muss, um den Kofferraum zu öffnen (rechts). (Bildquellen: Volkswagen AG, 2017b; Volkswagen AG, 2017c)

Im Fahrzeuginnenraum finden sich hingegen erst seit kurzem Bedienkonzepte, die eine berührungsfreie Gesteninteraktion erlauben. Die erste kommerzielle Umsetzung in Serie liefert BMW mit der „BMW Gestiksteuerung“ im Jahr 2015. Mittels Bewegungen der rechten Hand wie „Zeigen“, „Wischen“ oder „Kreisen des Fingers“ können etwa eingehende Telefonanrufe angenommen bzw. abgelehnt sowie die Musiklautstärke reguliert werden (BMW AG, 2015). Die Gesten führt der Fahrer im Bereich der Mittelkonsole vor dem Display aus (vgl. Abbildung 3-5). Das Display zeigt ihm dabei die jeweils aktuell verfügbaren gestischen Eingabemöglichkeiten an.



Abbildung 3-5: Durch verschiedene Gesten wie „Zeigen“ oder „Wischen“ bedient der Fahrer diverse Fahrzeugfunktionen berührungsfrei. Die zur Verfügung stehenden Interaktionsmöglichkeiten werden dem Fahrer via Display dargestellt. (Bildquelle: BMW AG, 2015)

Auch Volkswagen bietet mit der neuesten Version des VW Golf eine berührungsfreie Gestensteuerung im Fahrzeuginnenraum an. Über entsprechende Handbewegungen bedient der Fahrer das Infotainment-Menü und kann so bspw. per Gestik den Radiosender wechseln oder zwischen verschiedenen Musiktiteln hin- und herspringen (Volkswagen AG, 2017a). Ähnlich wie bei BMW erfolgt auch im VW Golf die Gestensteuerung bildschirmbasiert, indem der Fahrer über die Anzeige am Display eine Rückmeldung zur Gesteninteraktion erhält (Volkswagen AG, 2017a).

Wenngleich die berührungsfreie Gestensteuerung erst seit kurzem im Innenraum von Serienfahrzeugen zu finden ist und es sich erst noch zeigen wird, welche Rolle ihr dortiger Einsatz in Zukunft spielen wird, so ist die Gestensteuerung im Fahrzeug doch bereits seit geraumer Zeit Gegenstand diverser Forschungsarbeiten. Die Motivation für die Entwicklung gestischer Bedienkonzepte für das Fahrzeug umfasst dabei verschiedene Faktoren. Auf der einen Seite kann durch den Einsatz einer Gestensteuerung die Anzahl an mechanischen Bedienelementen im Fahrzeug reduziert werden (Akyol, Canzler, Bengler & Hahn, 2000b). Auch vor dem Hintergrund stetig neu hinzukommender Fahrzeugfunktionen (insbesondere in den Bereichen Navigation, Infotainment, Fahrerassistenz sowie Komfort) gewinnen alternative Bedienkonzepte wie die Gestensteuerung zunehmend an Bedeutung, da auch einer zunehmenden Funktionsverdichtung im Rahmen bildschirmbasierter Menüs – bedienbar durch Touchscreen oder Dreh-/Drücksteller – Grenzen gesetzt sind (Pickering et al., 2007). Auf der anderen Seite verspricht die Gestensteuerung im Fahrzeug vor allem aber auch eine Verringerung der visuellen und mentalen Ablenkung des Fahrers (Geiger, Zobl, Bengler & Lang, 2001). Indem die Blickabwendung von der Straße reduziert und die Zeit, in der der Fahrer die Hände am Lenkrad hat, erhöht wird, könnte der Einsatz einer Gestensteuerung für Funktionen, die während der Fahrt bedient werden, einen Zugewinn an Sicherheit bewirken (Pickering et al., 2007; Riener et al., 2013).

Mit den voranschreitenden Entwicklungen im Bereich des automatisierten Fahrens und einer damit einhergehenden Veränderung der Fahrer-Fahrzeug-Interaktion wird die Gestensteuerung häufig auch im Rahmen neuartiger Bedienkonzepte erwogen. Je nach Grad der Automatisierung erarbeiten Hersteller verschiedene Ideen, Konzepte und Prototypen, bei denen eine Interaktion per Gestik für verschiedene Fahrzeugfunktionen möglich sein soll. So präsentiert etwa BMW auf dem Mobile World Congress 2017 ein autonom einparkendes Fahrzeug, das per Gestik gesteuert wird (BMW AG, 2017). Bei dieser Form der Teilautomatisierung initiiert der Fahrer das autonome Ein- und Ausparken des Fahrzeugs mit einem Winken, während er sich außerhalb des Fahrzeugs befindet. Das Fahrzeug parkt daraufhin selbständig ein bzw. aus (BMW AG, 2017). Hingegen zeigt Daimler mit „DICE“ (Dynamic Intuitive Control Experience) ein prototypisches Anzeige- und Bedienkonzept für das hoch- bzw. vollautomatisierte Fahren. „DICE“ umfasst ein großflächiges Head-Up-Display, welches dem Fahrer über eine Augmented Reality-Darstellung Informationen zur unmittelbaren Umgebung darbietet. Der Fahrer interagiert dabei über Gesten, indem er bspw. auf ein Objekt in der Umgebung zeigt, zu welchem ihm das Fahrzeug dann relevante Informationen auf dem Head-Up-Display anzeigt (Daimler AG, 2017).

Auch für das autonome, gänzlich fahrerlose Fahren zeigt Daimler Einsatzmöglichkeiten für eine Gesteninteraktion auf. So könnten Gesten etwa dazu eingesetzt werden, eine Kommunikation zwischen Menschen und autonomen Fahrzeugen zu ermöglichen (Clark, 2014). Denkbare Szenarien wären hier bspw. das Anweisen des Fahrzeugs, sich einen Parkplatz zu suchen, nachdem es seine Passagiere hat aussteigen lassen oder das Auffordern des Fahrzeugs, Fußgänger die Straße überqueren zu lassen – beides in Form einer entsprechenden Geste (Clark, 2014, vgl. Abbildung 3-6).

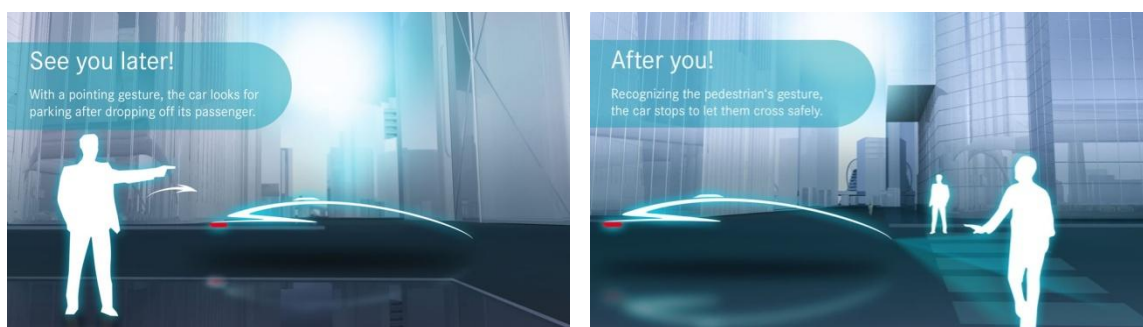


Abbildung 3-6: Gesten könnten in Zukunft dazu eingesetzt werden, autonom fahrende Fahrzeuge anzuweisen, einen Parkplatz zu suchen oder anzuhalten, um einen Fußgänger über die Straße gehen zu lassen. (Bildquelle: Clark, 2014)

Inwiefern derartige Konzepte im Rahmen des automatisierten Fahrens in Zukunft tatsächlich umgesetzt werden, bleibt abzuwarten. Die angeführten Beispiele zeigen jedoch, dass für neuartige Bedienkonzepte, für die es bisher keine etablierte Interaktionsform gibt, die Gestensteuerung u. A. auch aufgrund ihrer Natürlichkeit in Betracht zu ziehen ist.

3.1.5 Weitere Einsatzgebiete: Virtual Reality und Robotik

Die Natürlichkeit der Gestensteuerung spielt vor allem auch für Anwendungen im Bereich der Virtual Reality (VR) eine wichtige Rolle. Natürlichkeit beschreibt dabei eine Form der Interaktion, die direkt und intuitiv erfolgt und sich an Handlungsweisen orientiert, die dem Nutzer aus der realen, alltäglichen Umwelt bekannt sind (vgl. Preim & Dachsel, 2015). Während VR-Systeme wie die Oculus Rift oder HTC Vive bislang handgehaltene Controller für die Interaktion in der virtuellen Realität verwenden, könnte eine berührungsfreie, nicht-gerätgebundene Interaktion per Gestensteuerung die Immersion einer VR deutlich erhöhen. Dabei sind die technischen Voraussetzungen zur Gestenerkennung im Rahmen von VR-Anwendungen bereits gegeben. Ein Beispiel hierfür ist etwa die Leap Motion, die in Verbindung mit der sog. Orion Software eingesetzt wird (Leap Motion Inc., 2017). Bei der Leap Motion handelt es sich um ein Gestenerkennungssystem, welches mit der Oculus Rift oder der HTC Vive verbunden werden kann und es auf diese Weise ermöglicht, die Hände des Nutzers als 3D-Modell in eine VR-Anwendung einzubinden (Leap Motion Inc., 2017). Aber auch die Hersteller von VR-Systemen fokussieren eine Weiterentwicklung der Gestenerkennung. Verbesserte Algorithmen für die Erkennung und das Tracking der Hände sollen in Zukunft innerhalb der VR eine virtuelle Repräsentation der Hände in Echtzeit ermöglichen (vgl. Oculus VR, 2015). Dabei ist es das Ziel, eine virtuelle Realität zu schaffen, in der der Nutzer per Gestensteuerung auf eine Art und Weise interagieren kann, die er aus der Interaktion mit seiner realen Umwelt gewohnt ist.

Nicht zuletzt ist die Gestensteuerung eine Interaktionsform, die auch im Rahmen der Robotik erwogen wird. So forscht etwa die NASA an der Steuerung eines sechsbeinigen Roboters zur Oberflächenerkundung von Planeten mittels kontinuierlicher dynamischer Gestik (Mitchell, 2014). Der sogenannte „ATHLETE Rover“ verfügt dabei über sechs Bewegungsfreiheitsgrade, die durch eine Bewegung der Hand gesteuert werden. Mit der Verwendung einer Gestensteuerung verspricht sich die NASA eine natürlichere und intuitivere Art der Steuerung. Es sei für den Nutzer wesentlich einfacher, einen komplexen Roboter durch die Bewegungen der Hand zu steuern als über ein Interface mit entsprechenden Bedienelementen (Mitchell, 2014). Einen ähnlichen Ansatz verfolgen Gil, Mateo und Torres (2014) im Rahmen von Industrieanwendungen. Sie präsentieren ein System, das die Fingerbewegungen eines Nutzers erkennt und diese auf eine Roboterhand überträgt. Im Rahmen von Industrieanwendungen wird die Gestensteuerung bzw. -erkennung aber auch für die Mensch-Roboter-Kollaboration in Betracht gezogen. Zur Unterstützung bei Montage-tätigkeiten statten Coupeté, Moutarde und Manitsaris (2016) einen Roboter mit einer Gestenerkennung aus. Dadurch ist der Roboter in der Lage, spezifische Handbewegungen des Montagearbeiters zu erkennen, zu interpretieren und letztlich so dem Arbeiter zum richtigen Zeitpunkt die benötigten Bauteile zur Verfügung zu stellen. Insgesamt erkennt der Roboter fünf verschiedene Gesten, bei denen es sich jeweils um eine Bewegung handelt, die der Arbeiter während der Montage ausführt. Somit erfolgt die Gestensteuerung hierbei indirekt über sekundäre bzw. nicht intendierte Gesten.

3.2 Potenziale und Nutzen der Gestensteuerung

Der in den vorangehenden Abschnitten dargelegte Stand der Technik zeigt verschiedene Einsatzszenarien für die berührungsfreie Gestensteuerung auf. Den einzelnen vorgestellten Anwendungsfällen können dabei jeweils bestimmte Charakteristiken zugrunde gelegt werden, die den Einsatz der Gestensteuerung sinnvoll und nutzbringend erscheinen lassen. Hieraus können verschiedene Potenziale der berührungsfreien Gestensteuerung abgeleitet werden, die im weiteren Verlauf dieser Arbeit zur Identifikation nutzbringender Anwendungsfälle im Nutzfahrzeug herangezogen werden können.

In Bezug auf den potenziellen Mehrwert der berührungsfreien Gestensteuerung können zunächst folgende Aussagen zusammenfassend festgehalten werden:

- Die berührungsfreie Gestensteuerung erlaubt eine Interaktion über größere Distanzen. Dadurch ist eine schnellere Interaktion möglich, da Bedienelemente nicht mehr erreicht werden müssen. Dies kann den Nutzer zudem körperlich entlasten, da z. B. ein Strecken oder Aufstehen entfällt und Laufwege vermieden werden. Indem aus der Ferne interagiert wird, können außerdem die zu bedienenden Geräte freier platziert werden.
- Die berührungsfreie Gestensteuerung erfordert keine visuelle Identifikation von Bedienelementen. Dadurch ist eine Interaktion bei Dunkelheit möglich. Während der Fahrt kann die berührungsfreie Gestensteuerung die visuelle Ablenkung des Fahrers reduzieren.
- Die berührungsfreie Gestensteuerung ermöglicht eine Interaktion ohne die Verwendung klassischer Bedienelemente. So kann bei gleichbleibender Funktionalität die Anzahl an Bedienelementen reduziert werden. Für neuartige Funktionen, die z. B. die Eingabe räumlicher Informationen erfordern, kann die berührungsfreie Gestensteuerung eine einfachere und damit effizientere Interaktion ermöglichen als herkömmliche Bedienelemente.
- Die berührungsfreie Gestensteuerung erlaubt eine Interaktion trotz belegter Hände, indem Gesten mit anderen Körperteilen, wie z. B. mit dem Fuß, ausgeführt werden.
- Die berührungsfreie Gestensteuerung erfordert während der Interaktion keinen physischen Kontakt zu einem Gerät oder Stellteil und trägt somit zu Sauberkeit und Hygiene bei. Ist das zu bedienende Gerät schmutzig, bleiben die Hände des Nutzers sauber. Sind hingegen die Hände des Nutzers schmutzig, bleibt das zu bedienende Gerät sauber.
- Die berührungsfreie Gestensteuerung kann durch ihre Neuartigkeit und ihre Natürlichkeit das Nutzererlebnis während der Interaktion positiv beeinflussen.

In Summe umfassen die Potenziale der berührungsfreien Gestensteuerung letztlich eine Steigerung der Effizienz, eine physische Entlastung des Nutzers, eine geringere visuelle Ablenkung des Nutzers während der Fahrt, eine Zunahme der Sauberkeit sowie ein gesteigertes positives Nutzererlebnis.

4 Identifikation von Anwendungsfällen zur Gestensteuerung im Nutzfahrzeug

Mit der Kenntnis des potenziellen Nutzens der berührungsfreien Gestensteuerung sollen im folgenden Kapitel geeignete Anwendungsfälle für eine Gestensteuerung im Nutzfahrzeug identifiziert werden. Hierzu wird zunächst der Kontext „Nutzfahrzeug“ beschrieben, analysiert und eingegrenzt. Darauf aufbauend wird im Anschluss der Einsatz verschiedener Methoden dargestellt, anhand derer potenzielle Anwendungsfälle identifiziert werden sollen. Das hier beschriebene Vorgehen stellt dabei den Prozessschritt „Analyse“ zur Entwicklung von berührungsfreien Gestensteuerungen im Nutzfahrzeug dar.

4.1 Kontextbetrachtung Nutzfahrzeug

Um den Einsatz einer Gestensteuerung bestmöglich auf den jeweiligen Anwendungsfall abstimmen zu können, ist eine grundlegende Kenntnis des betreffenden Nutzungskontexts erforderlich. Zu diesem Zweck soll das Arbeitssystem „Nutzfahrzeug“ näher betrachtet werden. Dazu wird einerseits der Begriff Nutzfahrzeug für den Rahmen dieser Arbeit näher spezifiziert, wobei auf die entsprechenden Fahrzeuge näher eingegangen werden soll. Auf der anderen Seite stehen aber auch die potenziellen Nutzer einer Gestensteuerung im Fokus der nachfolgenden Betrachtungen. Hierbei sollen neben sozio-demografischen Aspekten der Nutzergruppe auch typische Aufgaben und Tätigkeiten von Lkw-Fahrern betrachtet werden.



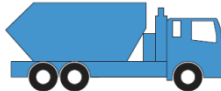

4.1.1 Fahrzeuge des Güterkraftverkehrs

Unter dem Begriff Nutzfahrzeug werden im Rahmen dieser Arbeit insbesondere jene Fahrzeuge verstanden, die im Güterkraftverkehr eingesetzt werden. Gemäß dem Güterkraftverkehrsgesetz handelt es sich beim Güterkraftverkehr um „die geschäftsmäßige oder entgeltliche Beförderung von Gütern mit Kraftfahrzeugen, die einschließlich Anhänger ein höheres zulässiges Gesamtgewicht² als 3,5 Tonnen haben“ (§ 1 GüKG Abs. 1). Dies betrifft Fahrzeuge der Fahrzeugklassen N2 und N3, worunter mittelschwere sowie schwere Lkw fallen (MAN Truck & Bus AG, 2016). Die Unterscheidung zwischen mittelschweren und schweren Lkw erfolgt nach dem zulässigen Gesamtgewicht (zGG; vgl. Tabelle 4-1). Dabei werden der Fahrzeugklasse N3 in der Regel auch Sattelzugmaschinen (Sattelschlepper) zugeordnet. Während Lkw die Ladung auf der eigenen Ladefläche transportieren, tragen Sattelzugmaschinen³ das Gewicht des Sattelauflegers, der wiederum mit den zu transportierenden Gütern beladen ist.

² Das zulässige Gesamtgewicht setzt sich zusammen aus dem Leergewicht des Fahrzeugs und dem maximal zulässigen Gewicht der zu transportierenden Ladung.

³ Zur einfacheren Lesbarkeit wird in den nachfolgenden Kapiteln die Bezeichnung „Lkw“ sowohl für Lastkraftwagen als auch für Sattelzugmaschinen verwendet.

Tabelle 4-1: Einteilung der für die Güterbeförderung relevanten Fahrzeugklassen (vgl. MAN Truck & Bus AG, 2016)

<i>Fahrzeugklasse</i>		<i>Bezeichnung</i>	<i>zGG</i>
N1		Leichte Lkw	≤ 3,5 t
N2		Mittelschwere Lkw	> 3,5 t ≤ 12 t
N3		Schwere Lkw	> 12 t ≤ 40 t
		Sattelzugmaschinen	≤ 40 t *

*in Sonderfällen bis zu 44 t; zGG = zulässiges Gesamtgewicht

Im Wesentlichen besteht ein Nutzfahrzeug aus den Komponenten Fahrgestell, Fahrerhaus und Aufbau. Insbesondere in Hinblick auf den Aufbau zeigt sich eine sehr hohe Varianz, die viele verschiedene Fahrzeugtypen und somit unterschiedlichste Transportlösungen zur Folge hat. Diese Heterogenität ist einerseits auf die Vielfältigkeit der zu transportierenden Güter zurückzuführen. Ausschlaggebend sind hier bspw. Aggregatzustand, Masse, Volumen sowie Temperaturempfindlichkeit der zu transportierenden Ladung (MAN Truck & Bus AG, 2016). Andererseits spielen aber auch Einsatzort (Straße, Gelände) und Einsatzsegment (Fern-, Baustellen- oder Verteilerverkehr) eine wesentliche Rolle bei der Wahl einer bestimmten Transportlösung (MAN Truck & Bus AG, 2016). So werden beispielsweise im Fernverkehr zum Transport von Stückgut häufig Sattelzugmaschinen mit Planenaufleger eingesetzt. Hierbei kann der Auflieger durch Verschieben der Plane seitlich geöffnet werden, was ein einfaches Be- und Entladen per Stapler ermöglicht. Im Fernverkehr ebenfalls weit verbreitet sind Wechselbrückenfahrzeuge. Diese ermöglichen einen schnellen Ladungswechsel, indem der komplette Ladungsträger (z. B. Container oder Wechselbehälter) ausgetauscht wird. Im Baustellenverkehr sind hingegen sogenannte Kipper vielfach anzutreffen. Dieser Fahrzeugtyp zeichnet sich dadurch aus, dass die Ladefläche kippbar ist, was insbesondere bei Schüttgut wie Sand, Kies und Schutt ein schnelles Entladen erlaubt. Im Verteilerverkehr werden klassischerweise Fahrzeuge mit Pritsche oder Kofferaufbauten eingesetzt. Diese Fahrzeuge verfügen über klappbare Bordwände und sind zum Transport aller Arten von Gütern flexibel einsetzbar. (MAN Truck & Bus AG, 2016; vgl. Abbildung 4-1)



Abbildung 4-1: Bedingt durch die unterschiedlichen Einsatzsegmente sind die Ausprägungen der Fahrzeugtypen und Transportlösungen vielfältig: a) Sattelzug mit Planenaufleger im Fernverkehr; b) Pritschenfahrzeug mit Planengestell im Verteilerverkehr; c) Schwerer Muldenkipper im Baustellenverkehr; d) Sonderfahrzeug (hier: Abfallsammelfahrzeug) mit individuellem Aufbau (Bilder zur Verfügung gestellt durch die MAN Truck & Bus AG. Alle Rechte vorbehalten.)

Infolge der starken Heterogenität bezüglich Fahrzeugtypen und Ausstattungsvarianten zeigen sich ebenfalls deutliche Unterschiede in der Nutzung der Fahrzeuge. In welcher Weise die jeweiligen Fahrzeuge eingesetzt werden, richtet sich dabei vor allem nach dem jeweiligen Einsatzsegment (vgl. Abbildung 4-1). So sind Fahrzeuge für den Fernverkehr primär dafür konzipiert, weite Wegstrecken – in erster Linie auf Autobahnen – zurückzulegen. Die jährliche Kilometerleistung eines Fernverkehrsfahrzeugs beträgt dabei häufig 150 000 km und mehr. Da Fernfahrer die mit Abstand längste Zeit im Fahrzeug verbringen und zum Teil über mehrere Wochen hinweg mit dem Fahrzeug unterwegs sind, werden an Fernverkehrsfahrzeuge die höchsten Anforderungen in puncto Komfort gestellt. Aus diesem Grund besitzen Fernverkehrsfahrzeuge zwei Betten, viel Stauraum und häufig ein höheres Fahrerhaus, um dem Fahrer genügend Stehhöhe zu bieten (Michel, 2014). Fahrzeuge im Verteilerverkehr werden hingegen in erster Linie zur Warendistribution eingesetzt und weisen eine geringere Kilometerleistung auf als Fahrzeuge im Fernverkehr. Im Verteilerverkehr werden hauptsächlich Tagesfahrten durchgeführt, wobei in den meisten Fällen eine Vielzahl von Be- und Entladestellen angefahren werden. Da Be- und Entladestellen auch innerorts und in Stadtzentren liegen können, müssen Fahrzeuge im Verteilerverkehr möglichst wendig sein, was durch kurze Radstände und große Lenkeinschläge erreicht wird (MAN Truck & Bus AG, 2016).

Eine vergleichsweise niedrige Gesamthöhe begünstigt darüber hinaus das Durchfahren von Tunneln und Unterführungen innerhalb von Städten (MAN Truck & Bus AG, 2016). Aufgrund der häufigen Be- und Entladevorgänge verfügen Fahrzeuge im Verteilerverkehr häufig über Ladehilfen wie etwa Ladekräne oder Hubladebordwände (MAN Truck & Bus AG, 2016). Baustellenfahrzeuge zeichnen sich hingegen durch ihre Geländegängigkeit aus, wenngleich betreffende Fahrzeuge zur An- und Ablieferung von Baumaterial die meiste Zeit auf der Straße betrieben werden. Für den Einsatz im Gelände und den damit verbundenen erschwerten Bedingungen verfügen Baustellenfahrzeuge i. d. R. über einen Allrandantrieb und weisen eine große Bodenfreiheit auf (MAN Truck & Bus AG, 2016). Neben Kippfahrzeugen sind vor allem Transportbetonmischer häufig anzutreffende Baustellenfahrzeuge. Zusätzlich zu den Fahrzeugen der klassischen Einsatzsegmente Fernverkehr, Verteilerverkehr und Baustellenverkehr gibt es eine Vielzahl weiterer Fahrzeugausprägungen, die in der Gruppe der Sonderfahrzeuge zusammengefasst werden. Hierunter fallen bspw. Fahrzeuge für den kommunalen Einsatz wie Kehrmaschinen, Abfallsammler und Fahrzeuge für den Winterdienst. Weitere Sonderfahrzeuge sind etwa Hubarbeitsbühnen, Abschleppfahrzeuge sowie Einsatzfahrzeuge der Feuerwehr und des Katastrophenschutzes.

4.1.2 Berufsgruppe Lkw-Fahrer

Im Sinne der nutzerzentrierten Gestaltung ist die Kenntnis der zukünftigen Nutzerpopulation – in diesem Fall die Gruppe der Lkw-Fahrer – von entscheidender Bedeutung. Dabei ist zunächst zwischen den Begriffen Lkw-Fahrer und Berufskraftfahrer zu unterscheiden. Bei der Bezeichnung „Berufskraftfahrer“ handelt es sich um einen dualen Ausbildungsberuf, der gleichermaßen die Beschäftigung im Bereich des Personennahverkehrs mit einbezieht (vgl. Michel, 2014). Damit handelt es sich bei einem Berufskraftfahrer nicht zwangsläufig um einen Lkw-Fahrer. Ebenso wenig muss aber ein Lkw-Fahrer ein Berufskraftfahrer sein. Der Lkw-Fahrer zeichnet sich in erster Linie dadurch aus, dass seine Hauptaufgabe darin besteht, Güter in einem Lkw zu transportieren. Hierzu besteht jedoch keine Verpflichtung, die Ausbildung zum Berufskraftfahrer zu durchlaufen. So ist das Berufsbild des Lkw-Fahrers geprägt von einem äußerst hohen Anteil an Quereinsteigern aus anderen Berufsgruppen (vgl. Michel, 2014). Bis zum Jahr 2006 bestand die Qualifikation zur beruflichen Tätigkeit als Lkw-Fahrer in den meisten Fällen lediglich aus dem Erwerb einer entsprechenden Fahrerlaubnis. Mit dem Inkrafttreten des Berufskraftfahrer-Qualifikations-Gesetzes (BKrFQG) ist jedoch seit Oktober 2006 für das gewerbliche Führen eines Lkw zusätzlich der Erwerb der sogenannten Grundqualifikation bzw. eine entsprechende Weiterbildung erforderlich.

Die Anzahl der im deutschen Straßengüterverkehr tätigen Lkw-Fahrer beläuft sich im Jahr 2013 auf rund 542 000 Fahrer, wovon über 98 % männlich sind (Statista, 2017b). Gemäß einer Studie der ZF Friedrichshafen aus dem Jahr 2014 zeigt sich unter den Lkw-Fahrern die in Abbildung 4-2 dargestellte Altersverteilung. Hierbei wird deutlich, dass annähernd die Hälfte aller Lkw-Fahrer 50 Jahre oder älter ist.

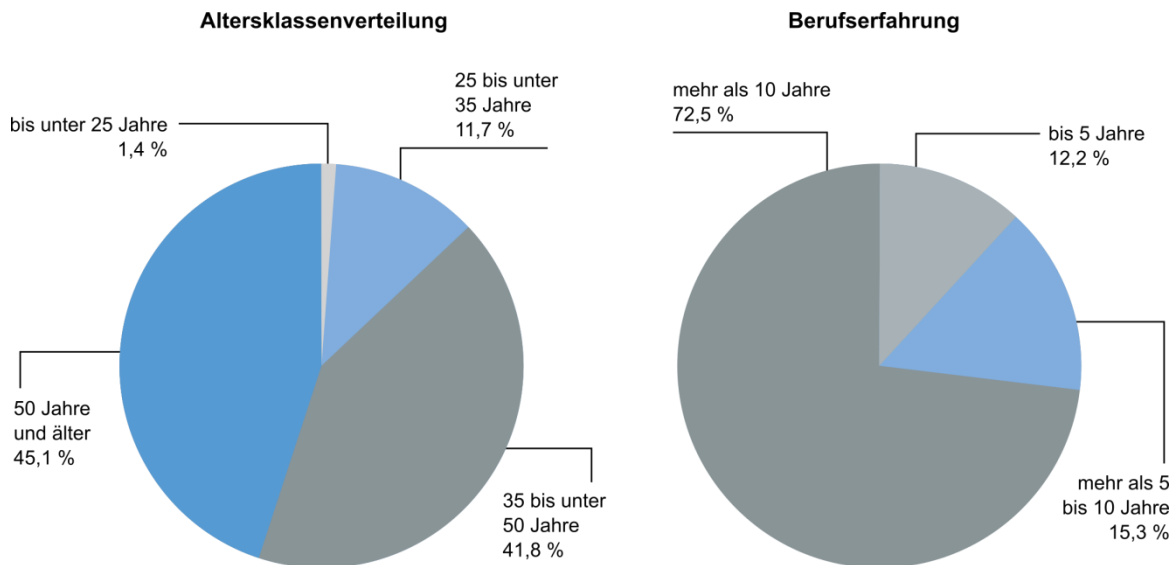


Abbildung 4-2: Altersklassenverteilung und Berufserfahrung der Lkw-Fahrer in Deutschland gemäß einer Studie der ZF Friedrichshafen AG (2014)

Der Altersklassenverteilung entsprechend dominiert auch der Anteil der Lkw-Fahrer mit längerer Berufserfahrung. So haben knapp drei Viertel aller Lkw-Fahrer eine Berufserfahrung von über 10 Jahren (vgl. Abbildung 4-2; ZF Friedrichshafen AG, 2014). In Hinblick auf den Schulabschluss zeigt die Studie, dass mit gut 52 % der Hauptschulabschluss der häufigste Schulabschluss unter Lkw-Fahrern ist, gefolgt von einem mittleren Schulabschluss mit rund 34 %. Einen höheren Bildungsabschluss weisen knapp 10 % der Fahrer auf (ZF Friedrichshafen AG, 2014).

In Hinblick auf die demografische Entwicklung des Fahrpersonals in Deutschland ist zu erwarten, dass die Anzahl älterer Lkw-Fahrer weiter steigen wird (vgl. Michel, 2014). Als Konsequenz daraus wird sich auch die Anzahl der in den Ruhestand tretenden Lkw-Fahrer erhöhen, was den Fahrermangel in Deutschland weiter verschärfen wird. Bereits jetzt rücken weniger Personen in den Beruf nach als aktuell aus dem Beruf ausscheiden. So sind derzeit pro Jahr ca. 15 000 Neuzugänge zu verzeichnen, wohingegen aber ca. 25 000 Personen jährlich aus dem Beruf austreten (ZF Friedrichshafen AG, 2014). Die geringe Anzahl an Neuzugängen und der daraus resultierende Fahrermangel sind dabei jedoch weniger auf die Quantität arbeitssuchender Fahrer zurückzuführen. Vielmehr fehlt es an qualifiziertem Fahrpersonal, das einerseits bereit ist, die Bedingungen des Berufs dauerhaft zu akzeptieren, andererseits aber auch die erforderlichen Eigenschaften und persönlichen Voraussetzungen wie Engagement, Kundenorientierung und kollegiales Verhalten mitbringt (ZF Friedrichshafen AG, 2014; Michel, 2014).

4.1.3 Aufgaben und Tätigkeiten des Lkw-Fahrers

Das Tätigkeitsprofil des Lkw-Fahrers beschränkt sich bei weitem nicht auf das reine Führen des Fahrzeugs, sondern umfasst ein Spektrum an verschiedenen Aufgaben und Tätigkeiten. Die damit einhergehenden Arbeitsschritte lassen sich nur schwer pauschalisieren, hängen diese doch von einer Vielzahl verschiedener Faktoren ab, wie etwa vom betreffenden Einsatzsegment, von der zu transportierenden Ladung, sowie von dem dafür verwendeten Fahrzeugaufbau. Ebenso spielen aber auch die speziellen Rahmenbedingungen in Unternehmen oder bestimmte Gegebenheiten an Abladestationen eine Rolle (Michel, 2014).

Grundsätzlich beruht die Arbeit eines Lkw-Fahrers auf den folgenden Aufgaben (vgl. Ellinghaus & Steinbrecher, 2002; Fastenmeier, Gwehenberger & Finsterer, 2002, jeweils zitiert nach Michel, 2014; sowie Borgdorf, 2014; Bundesagentur für Arbeit, 2017):

- Wartungs- und Pflegearbeiten am Fahrzeug: Dies umfasst das Überprüfen des Fahrzeugs und seiner technischen Ausstattung auf Funktionsfähigkeit sowie vorschriftsmäßigen Zustand hinsichtlich Verkehrs- und Betriebssicherheit. Hierunter fällt z. B. die regelmäßige Kontrolle von Bremsanlagen, Beleuchtungseinrichtungen, Reifen sowie Anhänger- bzw. Sattelkupplungen. Kleinere Mängel oder Defekte sind vom Fahrer selbst zu beheben. Darüber hinaus ist der Fahrer für die Reinigung und Pflege des Fahrzeugs verantwortlich.
- Be- und Entladen: Der Fahrer unterstützt beim Be- und Entladen des Fahrzeugs oder nimmt dies eigenständig vor. Beim Beladen hat er neben einer bestmöglichen Ausnutzung des Frachtraums auch auf die Einhaltung der zulässigen Gesamtmasse zu achten. Dabei ist der Fahrer auch für die Sicherung der Ladung zuständig und nimmt diese bspw. durch Niederzurren der Fracht mittels Spanngurt selbstständig vor. Darüber hinaus kann es die Übernahme oder Übergabe von Ladung erfordern, dass der Lkw-Fahrer einen Anhänger an- oder abkuppeln bzw. einen Auflieger auf- bzw. absatteln muss.
- Fahrzeugführung: Beim Führen des Fahrzeugs ist der Lkw-Fahrer zu einer sicheren, vorausschauenden und wirtschaftlichen – d. h. hinsichtlich Kraftstoffverbrauch und Verschleiß optimierten – Fahrweise angehalten. Für die Routenplanung ist der Fahrer selbst zuständig. Dabei muss er neben den Be- und Entladestationen auch Stopps an Tankstellen und Rasthöfen in die Planung miteinbeziehen, was wiederum mit den gesetzlich vorgeschriebenen Lenk- und Ruhezeiten in Einklang gebracht werden muss.
- Bearbeitung von Schriftgut: Hierunter fällt nicht zuletzt die Handhabung verschiedener Dokumente, wie etwa das Entgegennehmen eines schriftlichen Ladeauftrags vom Disponenten oder Spediteur, die Kontrolle von Ladepapieren bei der Übernahme der Ladung, das Mitführen entsprechender Transportgenehmigungen und Frachtpapiere oder etwa das Führen eines Fahrtenbuchs.

4.2 Methoden zur Identifikation von Anwendungsfällen

Mit der vorangehenden Betrachtung des Nutzungskontexts (Fahrzeuge, Fahrer, Tätigkeiten) bietet sich ein Rahmen, innerhalb dessen verschiedene Nutzungsszenarien für eine Gestensteuerung betrachtet werden können. Ziel ist es dabei, aus den jeweiligen Nutzungsszenarien konkrete Anwendungsfälle für eine berührungsfreie Gestensteuerung abzuleiten. An diese Anwendungsfälle werden bestimmte Anforderungen gestellt, die sich wiederum an den in Abschnitt 3.2 dargestellten Potenzialen der berührungsfreien Gestensteuerung orientieren. Konkret bedeutet dies, dass im Folgenden nach Anwendungsfällen gesucht wird, in denen die Gestensteuerung den Lkw-Fahrer physisch entlastet, ihm eine effizientere Interaktion mit dem Fahrzeug erlaubt, die Ablenkung während der Fahrt reduziert, zur Sauberkeit beiträgt oder in denen die Gestensteuerung ein positives Nutzererlebnis fördert.

Um Anwendungsmöglichkeiten zu identifizieren, die den genannten Anforderungen möglichst umfassend Rechnung tragen, werden nachfolgend verschiedene theoretische wie empirische Analysen durchgeführt. Die theoretischen Analysen bestehen dabei aus einer Aufgaben- sowie einer Erreichbarkeitsanalyse, wohingegen die empirischen Analysen drei beobachtende Mitfahrten im Feld sowie eine Fokusgruppe mit Lkw-Fahrern umfassen (vgl. Stecher, Kremser, Michel & Zimmermann, 2016). Durch den Einsatz dieser unterschiedlichen Methoden entsteht ein sogenannter *Methodenmix* (auch *Triangulation*; vgl. Lamnek, 2005, zitiert nach Michel, 2014), der es ermöglicht, die verschiedenen Vorteile der jeweiligen Methode zu nutzen und dabei die Nachteile einzelner Methoden zu kompensieren (Michel, 2014). Einer der großen Vorteile des Methodenmix ist dabei die höhere Validität der Ergebnisse.

Die Auswahl und Anwendung der einzelnen Methoden erfolgt unter der Prämisse eines explorativen Vorgehens, da bisher keinerlei Erkenntnisse zum Einsatz einer Gestensteuerung im Nutzfahrzeugkontext vorliegen. Dabei liefert jede Methode ein Einzelergebnis, welches verschiedene potenzielle Anwendungsfälle für eine Gestensteuerung im Nutzfahrzeug umfasst. Die jeweiligen Einzelergebnisse lassen sich zu einem Gesamtergebnis und damit zu einer Grundmenge an potenziellen Anwendungsfällen zusammenführen. Die Einzelergebnisse der jeweiligen Methoden werden dabei aber nicht unabhängig voneinander generiert. Da die Methoden sequenziell angewendet werden, können bereits gewonnene Erkenntnisse in die Anwendung der darauffolgenden Methoden mit einfließen. Hierbei bieten insbesondere die empirischen Methoden eine Möglichkeit, die bis dahin identifizierten Anwendungsfälle zu evaluieren. Auf diese Weise lässt sich die Grundmenge an potenziellen Anwendungsfällen verfeinern und somit auf die wohl geeignetsten Anwendungsfälle eingrenzen.

4.2.1 Theoretische Aufgabenanalyse

Die Methode der Aufgabenanalyse basiert auf einer theoretischen Betrachtung grundlegender Tätigkeiten und Arbeitsabläufe im und am Nutzfahrzeug. Dabei ist es das Ziel, die Tätigkeiten

und Arbeitsabläufe dahingehend zu analysieren, ob bestimmte Arbeitsschritte durch den Einsatz einer Gestensteuerung potenziell verbessert werden können. Konkret bedeutet dies, dass die Tätigkeiten und Arbeitsabläufe unter dem Aspekt der eingangs formulierten Anforderungen analysiert werden. Auf diese Weise sollen Arbeitsschritte identifiziert werden, die sich durch den Einsatz einer Gestensteuerung ggf. effizienter oder körperlich weniger belastend gestalten lassen. Auch eine Steigerung der Sauberkeit sowie das Erzeugen eines positiven Nutzererlebnisses können hier als Anforderung herangezogen werden. Eine Reduktion der Ablenkung während der Fahrt steht hingegen nicht im direkten Fokus der Aufgabenanalyse, da sich die zu betrachtenden Arbeitsschritte in erster Linie auf Tätigkeiten und Arbeitsabläufe im und am stehenden Fahrzeug beziehen.

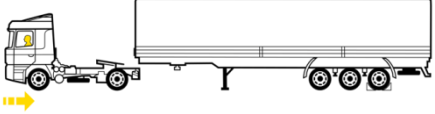

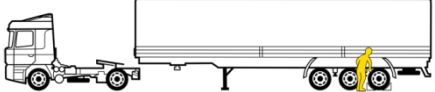


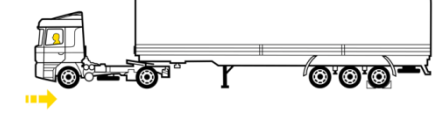
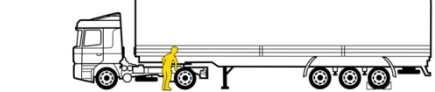


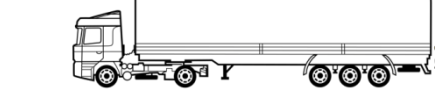
Als Ausgangsbasis für eine Aufgabenanalyse dienen allgemein anerkannte Beschreibungen und Vorgaben zu bestimmten Tätigkeiten und Arbeitsabläufen. Derartige Dokumente liegen zumeist in Form von Anleitungen, Richtlinien oder Vorschriften vor und können aus unterschiedlichen Quellen bezogen werden. Beispiele hierfür sind etwa Handbücher zur Aus- und Weiterbildung von Berufskraftfahrern, Hinweise und Empfehlungen der Berufsgenossenschaft (z. B. DGUV-Informationen) oder Vorschriften und Verordnungen, wie sie etwa im Rahmen der Straßenverkehrsordnung (StVO) erlassen werden.

Anwendung der Methode

Die Durchführung der Aufgabenanalyse soll im Folgenden exemplarisch anhand des Ankuppelvorgangs einer Sattelzugmaschine an einen Auflieger (sog. Aufsatteln) dargestellt werden. Das Vorgehen beim Aufsatteln ist einerseits Teil der Führerscheinausbildung und wird daher in entsprechenden Lehrbüchern thematisiert (vgl. Borgdorf, 2014). Andererseits werden die einzelnen Arbeitsschritte beim Aufsatteln durch die DGUV-Information 214-080 „Sicheres Kuppeln von Fahrzeugen“ von der Berufsgenossenschaft Verkehrswirtschaft Post-Logistik Telekommunikation (BG Verkehr, 2003) vorgegeben, was der Aufgabenanalyse ebenso als Quelle dient. Tabelle 4-2 zeigt, wie und in welcher Reihenfolge die Arbeitsschritte beim Aufsatteln durchzuführen sind.

Entsprechend der jeweiligen Anforderung erfolgt die Analyse des Aufsattelvorgangs in verschiedenerlei Hinsicht. Neben dem grundsätzlichen Ablauf und den dabei durchzuführenden Tätigkeiten sind hierbei insbesondere auch die Aufenthaltsorte des Fahrers während einzelner Arbeitsschritte sowie die dadurch bedingten Laufwege von Interesse. Zudem fließen die mit bestimmten Arbeitsschritten verbundenen Rahmenbedingungen in die Betrachtung mit ein, wie bspw. das Tragen von Arbeitshandschuhen während einzelner Arbeitsschritte oder die Notwendigkeit, für bestimmte Tätigkeiten weitere Personen zum Prozess hinzuzuziehen. All diese Aspekte werden im Folgenden hinsichtlich Effizienz, körperliche Entlastung sowie Sauberkeit und Nutzererlebnis analysiert und bewertet, um daraus potenzielle Anwendungsmöglichkeiten für eine Gestensteuerung abzuleiten.

Tabelle 4-2: Grundsätzliches Vorgehen beim Aufsatteln eines Aufliegers (vgl. Borgdorf, 2014; BG Verkehr, 2003)

<p>1. Sattelzugmaschine rückwärts an den Auflieger heranzufahren</p>	
<p>2. Überprüfen, ob eine Verbindung des Aufliegers mit der Sattelzugmaschine zulässig ist</p>	
<p>3. Überprüfen, ob Auflieger gesichert ist, ggf. sichern (Feststellbremse anziehen, Unterlegkeile anbringen)</p>	
<p>4. Überprüfen, ob Sattelkupplung entsichert und geöffnet ist, ggf. entsichern und öffnen</p>	
<p>5. Höhe der Sattelkupplung mittels Luftfederung an die Höhe der Sattelplatte anpassen</p>	
<p>6. Sattelzugmaschine rückwärts unter den Auflieger einfahren, bis die Kupplung selbstständig schließt</p>	
<p>7. Verschluss der Kupplung kontrollieren und Betätigungseinrichtung sichern bzw. Sicherung überprüfen</p>	
<p>8. Sattelstützen einfahren, Druckluftschläuche anschließen und elektrische Verbindung herstellen</p>	
<p>9. Unterlegkeile entfernen und Feststellbremse des Aufliegers lösen</p>	
<p>10. Funktion der Bremse sowie der elektrischen Einrichtungen des Aufliegers prüfen (Sichtkontrolle)</p>	

Ergebnisse der Aufgabenanalyse

Um im Rahmen des Aufsatteln potenzielle Anwendungsfälle für eine berührungsfreie Gestensteuerung zu identifizieren, werden zunächst die Laufwege des Fahrers betrachtet. Dies dient dem Zweck, Möglichkeiten aufzudecken, Laufwege mittels Gestensteuerung zu verkürzen oder einzusparen. Dadurch würde sich nicht nur Zeit einsparen lassen, was den Prozess effizienter werden ließe, sondern auf diese Weise könnte auch eine körperliche Entlastung des Fahrers erreicht werden. Vor diesem Hintergrund spielt auch das Ein- und Aussteigen eine Rolle, da mit deren Entfall dieselben Potenziale verbunden wären.

Wie sich zeigt, gibt es insgesamt drei Bereiche, in denen sich der Fahrer während des Aufsatteln überwiegend aufhält: im Bereich der Sattelkupplung, im hinteren Bereich des Aufliegers auf Höhe der Achsen sowie innerhalb des Fahrzeugs bzw. im Bereich des Einstiegs (vgl. Tabelle 4-2). Im Bereich der Sattelkupplung hält sich der Fahrer insbesondere dann auf, wenn er diese überprüft bzw. betätigt. Das Herstellen der pneumatischen und elektrischen Verbindungen erfolgt ebenso im Bereich der Sattelkupplung. Die Unterlegkeile sind hingegen an den Reifen im hinteren Bereich des Aufliegers angebracht und müssen nach dem Kuppeln von dort entfernt werden. Ebenso befindet sich die Betätigungseinrichtung der Feststellbremse des Aufliegers in den meisten Fällen im hinteren Bereich des Aufliegers nahe den Achsen. Bei sämtlichen Tätigkeiten in diesen beiden Bereichen handelt es sich um Kontrollen bzw. um unmittelbare Handgriffe, die durch den Fahrer vorgenommen werden. In Anbetracht der jeweils zugrunde liegenden Mechanik bzw. konstruktiven Gestaltung des Systems bieten sich hier kaum Möglichkeiten für den Einsatz einer Gestensteuerung.

Im Bereich des Einstiegs bzw. im Fahrzeug selbst führt der Fahrer hingegen Tätigkeit durch, die den Einsatz einer Gestensteuerung prinzipiell erlauben würden. Dies betrifft zum einen das Anpassen der Fahrzeughöhe mittels Luftfederung und zum anderen das sich daran anschließende Zurücksetzen des Fahrzeugs, um dieses mit dem Auflieger zu kuppeln (vgl. Tabelle 4-2, Arbeitsschritte 5 und 6). Bisweilen erfolgt das Anpassen der Fahrzeughöhe über eine elektronische Luftfedersteuerung (sog. ECAS, Electronically Controlled Air Suspension; MAN Truck & Bus AG, 2016), mit der der Fahrzeugrahmen angehoben oder abgesenkt werden kann. Zu diesem Zweck verfügt das Fahrzeug über eine ECAS-Bedieneinheit, die sich im Fahrzeuginnenraum links vom Fahrersitz in einer Halterung befindet (vgl. Abbildung in Anhang A; MAN Truck & Bus AG, 2016). Die ECAS-Bedieneinheit ist dabei über ein dehnbare Spiralkabel mit dem Fahrzeug verbunden und kann aus der Halterung herausgenommen werden, damit der Fahrer die Höheneinstellung auch außerhalb des Fahrzeugs vornehmen kann – schließlich muss der Fahrer zur exakten Anpassung der Höhe die Sattelkupplung und Sattelplatte einsehen können. Das Ankuppeln des Fahrzeugs an den Auflieger erfolgt im Anschluss durch entsprechendes Rückwärtsfahren, wozu der Fahrer zunächst in das Fahrzeug einsteigen und nach erfolgtem Kuppeln wieder aussteigen muss.

Durch den Einsatz einer Gestensteuerung könnte der Fahrer sowohl die Höhe des Fahrzeugs anpassen als auch das Fahrzeug durch Rückwärtsfahren an den Auflieger ankuppeln, ohne dabei den Bereich der Sattelkupplung verlassen zu müssen. Der Fahrer wäre durch die Gestensteuerung örtlich entbunden, wodurch er weder das ECAS-Bedienmodul erreichen noch in das Fahrzeug ein- und aus diesem wieder aussteigen müsste. Indem der Fahrer mittels Gestik aus der Ferne interagiert, würden entsprechende Laufwege entfallen, sodass der Aufsattelvorgang schneller vonstatten gehen könnte und der Fahrer durch den Entfall des Ein- und Aussteigens körperlich entlastet werden würde.

Dadurch, dass der Fahrer auf diese Weise im Bereich der Sattelkupplung verbleiben und von dort aus besagte Arbeitsschritte durchführen könnte, ergibt sich zudem ein weiterer Vorteil. Der Fahrer würde so den Bereich zwischen Fahrzeug und Auflieger unmittelbar einsehen können, was vor allem beim Zurücksetzen des Fahrzeugs einen Zugewinn an Sicherheit bewirken könnte. Bisher ist der Fahrer dazu verpflichtet, eine zusätzliche Person als Sicherungsposten einzuteilen und sich beim Rückwärtsfahren durch diese nach hinten absichern zu lassen (§ 9 StVO Abs. 5; BG Verkehr, 2003; Borgdorf, 2014). Der Sicherungsposten hält sich dabei im Sichtbereich der Rückspiegel auf und weist den Fahrer durch entsprechende Handzeichen ein (vgl. Abbildung 4-3). Mit dem Einsatz einer Gestensteuerung – ggf. gar unter Verwendung der bereits gebräuchlichen Gesten – würde die Notwendigkeit eines zusätzlichen Sicherungspostens entfallen. Der Fahrer könnte den Bereich hinter dem Fahrzeug selbst absichern und zeitgleich das Fahrzeug aus der Ferne steuern. Auf diese Weise ließe sich letztlich nicht nur die Effizienz durch den Entfall des Sicherungspostens steigern – insbesondere dann, wenn keine weitere Person als Sicherungsposten zugegen ist, könnte die Gestensteuerung auch die Sicherheit beim Rückwärtsfahren erhöhen.

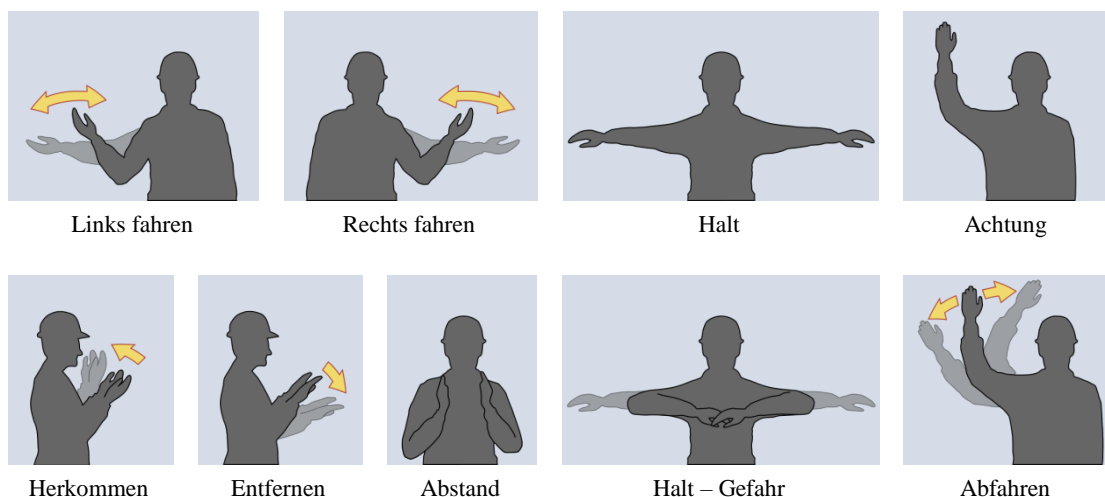


Abbildung 4-3: Gebräuchliche Handzeichen für das Einweisen von Fahrzeugen beim Rückwärtsfahren (BG Verkehr, 2007; BG Verkehr, 2003; Borgdorf, 2014)

Darüber hinaus ergibt sich durch den Einsatz einer Gestensteuerung im Rahmen des Aufsatteln ein weiterer potenzieller Vorteil. Grundsätzlich ist bei allen Ankuppelvorgängen das Tragen von Arbeitshandschuhen vorgeschrieben (BG Verkehr, 2003). Um eine Verschmutzung der ECAS-Bedieneinheit und des Fahrzeuginnenraums zu vermeiden, muss der Fahrer die Arbeitshandschuhe zwischenzeitlich ausziehen und an einem geeigneten Ort ablegen. Dieser Umstand kann durch den Einsatz einer Gestensteuerung vermieden werden. Indem der Fahrer mittels Gestik die Fahrzeughöhe einstellt und das Fahrzeug zurücksetzt, kann er die Arbeitshandschuhe anbehalten. Dieser Aspekt mag zwar nicht unmittelbar die Effizienz des Aufsattelvorgangs steigern, könnte aber immerhin vom Fahrer als praktisch empfunden werden und so zu einem positiven Nutzererlebnis beitragen.

Abschließend soll im Rahmen der hier dargestellten Aufgabenanalyse der letzte Arbeitsschritt des Aufsatteln betrachtet werden. Dies umfasst die Funktionsprüfung von Bremse und Beleuchtung (vgl. Tabelle 4-2). Durch eine Sichtkontrolle überprüft der Fahrer hierbei die Beweglichkeit des Bremsgestänges sowie die Funktionsfähigkeit der lichttechnischen Einrichtungen am Heck des Aufliegers, wie etwa Rücklicht, Bremslicht, Blinker und Nebelschlussleuchte. Dabei ist die Funktionsprüfung von Bremse und Beleuchtung nicht nur abschließender Bestandteil des Aufsatteln (BG Verkehr, 2003). Der DGUV-Grundsatz 314-002 „Prüfung von Fahrzeugen durch Fahrpersonal“ fordert die Durchführung einer derartigen Abfahrtskontrolle auch zu Beginn einer jeden Arbeitsschicht (BG Verkehr, 2012). Schließlich ist gemäß § 23 StVO Abs. 1 der Fahrer für den vorschriftmäßigen Zustand von Fahrzeug und dessen Anhänger verantwortlich. Um jedoch die Funktionsfähigkeit von Bremse und Beleuchtung entsprechend überprüfen zu können, ist die Hilfe einer zweiten Person erforderlich. Während sich der Fahrer am Heck des Aufliegers befindet, um dort das Bremsgestänge und die Beleuchtungseinrichtungen einsehen und kontrollieren zu können, muss die zweite Person in der Fahrerkabine beides betätigen. Eine Gestensteuerung, die es dem Fahrer erlaubt, die Bremse sowie die entsprechenden Leuchten vom Heck des Aufliegers aus zu bedienen, würde die Anwesenheit einer zweiten Person entbehren. So könnte der Einsatz der Gestensteuerung den Prozess des Aufsatteln auch an dieser Stelle verkürzen und vereinfachen und damit schließlich die Effizienz steigern.

Diskussion der Ergebnisse

Durch die dargestellte Analyse des Aufsattelvorgangs konnten dreierlei Anwendungsfälle für eine Gestensteuerung im Nutzfahrzeug identifiziert werden:

- Anheben und Absenken des Fahrzeugs über die Luftfederung
- Zurücksetzen des Fahrzeugs zum Kuppeln mit dem Auflieger
- Betätigen von Bremse und Beleuchtung bei Durchführung der Abfahrtskontrolle

Für alle drei Anwendungsfälle bietet die Gestensteuerung einen potenziellen Mehrwert, sodass der Einsatz einer Gestensteuerung im Rahmen des Aufsatteln als grundsätzlich nutzbringend angesehen werden kann. Neben dem Aufsatteln sind vergleichbare Vorteile aber auch beispielsweise für das Kuppeln von Gliederzügen zu erwarten, da sich hier der Ablauf ähnlich darstellt (vgl. BG Verkehr, 2003; Borgdorf, 2014). Zudem zeigt sich, dass das Zurücksetzen mittels Gestensteuerung auch über das Aufsatteln hinaus einen entsprechenden Mehrwert bieten könnte. War bisher zum Rückwärtsfahren immer eine zweite Person als Sicherungsposten erforderlich, könnte fortan mit dem Einsatz einer Gestensteuerung auf diese zweite Person verzichtet werden. Selbiges gilt für die Funktionsprüfung von Bremse und Beleuchtung, die nicht nur am Ende des Aufsatteln, sondern auch zu Beginn einer jeden Arbeitsschicht durchzuführen ist. Auch hier könnte eine Gestensteuerung den Fahrer dazu befähigen, diese Aufgabe ohne die Unterstützung einer zweiten Person durchzuführen.

Als wesentlicher Mehrwert einer Gestensteuerung im Rahmen des Aufsatteln ist der Entfall von Laufwegen sowie des Ein- und Aussteigens zu sehen. Einerseits vermag dies den Fahrer körperlich zu entlasten, andererseits wären damit aber auch eine Zeitersparnis und folglich eine Effizienzsteigerung verbunden. Durch den Verzicht auf eine zweite Person würde darüber hinaus der personelle Aufwand sinken. Zudem wäre in Situationen, in denen keine zweite Person anwesend ist, dennoch die Sicherheit beim Zurücksetzen gewährleistet und eine Durchführung der Abfahrtskontrolle möglich. Neben all diesen Vorteilen ergibt sich zudem noch ein weiteres Potenzial der Gestensteuerung, welches das Nutzererlebnis betrifft: Das Steuern einer tonnenschweren Sattelzugmaschine mittels berührungsfreier Handbewegungen – sozusagen „wie von Zauberhand“ – könnte das Nutzererlebnis während der Interaktion positiv prägen (vgl. La Barré, Chojecki, Leiner, Mühlbach & Ruschin, 2009). Ob und in welchem Ausmaß sich dies tatsächlich auf das Nutzererlebnis auswirkt, müsste jedoch tiefergehend untersucht werden.

Wie die Aufgabenanalyse zeigt, werden beim Rückwärtsfahren bereits diverse technische Gesten für die Verständigung zwischen Fahrer und Sicherungsposten eingesetzt. Grundsätzlich könnten diese Gesten auch im Rahmen der Gestensteuerung verwendet werden – insbesondere auch deswegen, weil diese dem Fahrer bereits bekannt sind. Jedoch stellt sich auch bei solch gebräuchlichen Gesten die Frage, mit welcher intra- sowie interindividuellen Varianz diese Gesten ausgeführt werden und welche Anforderungen sich dadurch an die Gestenerkennung ergeben. Darüber hinaus gilt es zu prüfen, inwiefern diese Gesten mit einem entsprechenden Bedienkonzept vereinbar sind. Über die Gesten gibt der Sicherungsposten zwar entsprechende Anweisungen, jedoch ist es der Fahrer, der das Fahrzeug steuert und kontrolliert. Im Falle einer Gestensteuerung würden die Gesten hingegen zur unmittelbaren Steuerung des Fahrzeugs eingesetzt werden. Ob und in welcher Form die Längs- und Querdynamik des Fahrzeugs mittels Gesten gesteuert werden können oder ob hier zu einem gewissen Grad der Einsatz einer Automation erforderlich ist, gilt es zu klären.

Mit dem Einsatz einer Gestensteuerung im Außenbereich des Fahrzeugs gehen aber auch diverse technische Anforderungen hinsichtlich der Gestenerkennung einher. Da es sich insbesondere beim Zurücksetzen des Fahrzeugs um einen sicherheitskritischen Vorgang handelt, sind an die Robustheit und Zuverlässigkeit der Gestenerkennung hohe Anforderungen zu stellen. Schließlich kann die Fehlinterpretation einer Geste zu einer ungewollten Bewegung des Fahrzeugs führen, die im schlimmsten Fall Sach- oder gar Personenschäden nach sich zieht. Vor diesem Hintergrund gilt es zu klären, welcher Bereich um das Fahrzeug durch eine Gestenerkennung zuverlässig abgedeckt werden kann und ob dieser Bereich geeignet ist, um eine den jeweiligen Anwendungsfällen entsprechende Gestenbedienung zu ermöglichen. Zudem muss mit dem Ziel einer möglichst zuverlässigen Gestenerkennung auch eine ausreichende Robustheit der Gestenerkennung gegenüber Witterungseinflüssen und variierenden Lichtverhältnissen sichergestellt werden. Darüber hinaus ist auch die eindeutige Authentifizierung des Fahrers als Anforderung zu sehen. Um eine Erkennung ungewollter oder gar missbräuchlich ausgeführter Gesten unbeteiligter Personen zu unterbinden, muss das System in der Lage sein, den Fahrer als Nutzer der Gestensteuerung eindeutig zu identifizieren. Da eine Fehlerkennung jedoch nie komplett ausgeschlossen werden kann, ist es nicht zuletzt erforderlich, dass das Fahrzeug über ein entsprechendes Fail-Safe-Verhalten verfügt, um im Fehlerfall einen möglichen Schaden abzuwenden oder zu begrenzen.

Wie sich zeigt, konnten im Rahmen der Aufgabenanalyse Anwendungsfälle identifiziert werden, die durchaus einen potenziellen Mehrwert bieten, an die jedoch hohe technische Anforderungen geknüpft sind. Die Aufgabenanalyse basiert dabei auf allgemeinen Beschreibungen und Vorgaben zu bestimmten Arbeitsabläufen. Aufgrund der Dokumentation dieser Arbeitsabläufe ist anzunehmen, dass diese auch entsprechend häufig auftreten und somit hinreichende Relevanz für eine Optimierung besitzen. Da es sich jedoch nur um eine theoretische Analyse handelt, ist fraglich, inwieweit die zugrunde gelegten Beschreibungen den tatsächlichen Gegebenheiten entsprechen und wie gut diese den realen Arbeitsalltag des Lkw-Fahrers widerspiegeln. So stellt sich etwa die Frage, wie häufig der Lkw-Fahrer die Abfahrtskontrolle tatsächlich durchführt und wie viel Nutzen eine entsprechende Gestensteuerung faktisch bringen würde. Darüber hinaus beschränkt sich die Aufgabenanalyse nur auf bestimmte Tätigkeiten des Lkw-Fahrers. Das Fahren an sich wird von der Aufgabenanalyse beispielsweise nicht abgedeckt. Nicht zuletzt deswegen erscheint der Einsatz weiterer Methoden zielführend.

4.2.2 Erreichbarkeitsanalyse

Die Erreichbarkeitsanalyse hat zum Ziel, Bedienelemente zu identifizieren, welche für den Fahrer aus einer bestimmten Position heraus nicht unmittelbar erreichbar sind. Dabei fokussiert die Erreichbarkeitsanalyse in erster Linie Funktionen und Geräte im Fahrzeuginnenraum. Von besonderem Interesse sind vor allem jene Bedienelemente, mit denen der Fahrer während der Fahrt interagiert.

Unter Ausnutzung der maximal zulässigen Fahrzeugbreite von 2,55 m und einer entsprechenden Fahrzeughöhe von bis zu 4 m weisen heutige Fahrerhäuser eine beachtliche Größe auf. Konstruktiv bedingt können dabei nicht immer alle Geräte und Stellteile im Fahrzeuginnenraum optimal platziert werden, sodass sich zwangsläufig einige dieser Geräte und Stellteile der direkten Erreichbarkeit durch den Fahrer entziehen. In der Regel erfordert die Interaktion mit einem Bedienelement eine visuelle und motorische Zuwendung durch den Fahrer. Je schwieriger ein Bedienelement erreichbar ist, umso größer ist die dadurch bedingte visuelle und motorische Abwendung von der Fahraufgabe. Der Fahrer ist folglich stärker abgelenkt. Eine schlechte Erreichbarkeit von Bedienelementen kann aber auch dann negative Auswirkungen haben, wenn das Fahrzeug steht. So kann die Interaktion mit einem weiter entfernten Bedienelement etwa ein übermäßiges Strecken des Oberkörpers erfordern. Eine daraus resultierende Zwangshaltung reduziert nicht nur den Bedienkomfort, sondern kann auch die körperliche Belastung des Fahrers erhöhen.

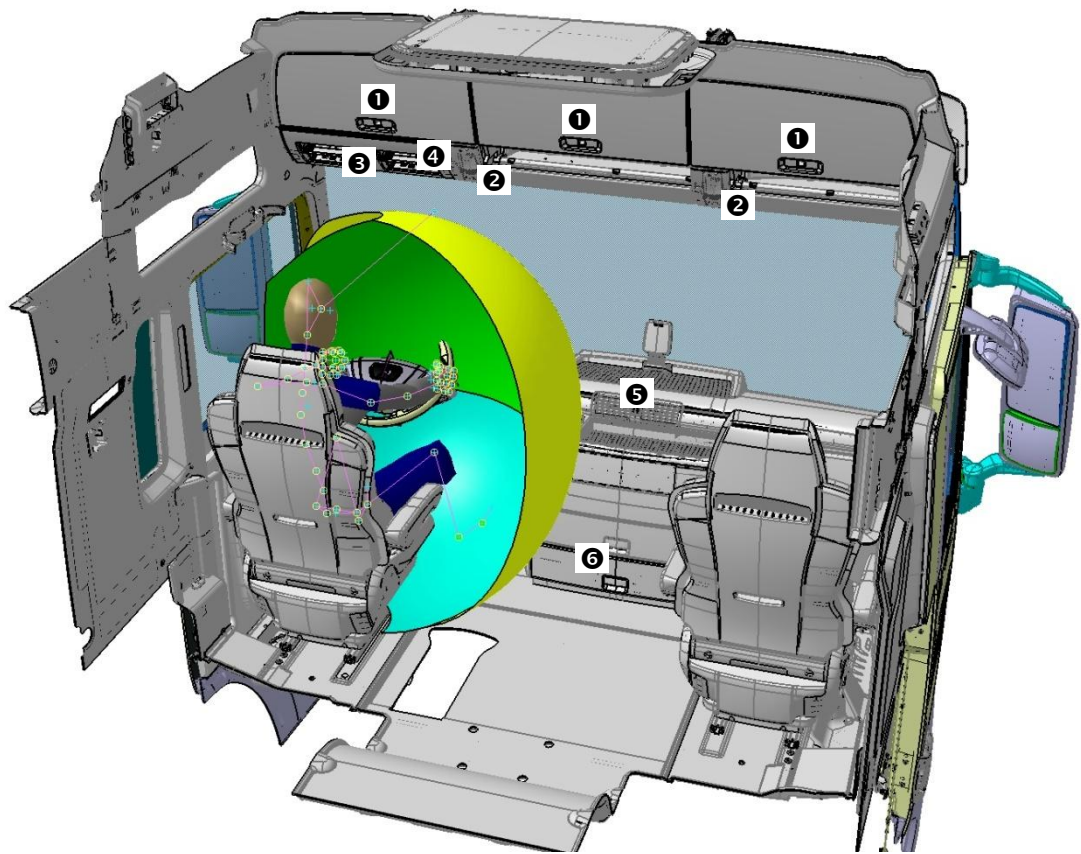
Für die im Rahmen der Erreichbarkeitsanalyse identifizierten nicht unmittelbar zu erreichenden Geräte und Stellteile soll eine Bedienung mittels Gestensteuerung in Erwägung gezogen werden. Durch die Gestensteuerung soll die Distanz zwischen Fahrer und Bedienelement überbrückt werden. Dabei besteht das Ziel darin, die visuelle und motorische Abwendung des Fahrers zu reduzieren und eine komfortable Bedienung bei geringer körperlicher Belastung sicherzustellen.

Anwendung der Methode

Ein geeignetes Mittel zur Bewertung der Erreichbarkeit von Bedienelementen stellen anthropometrische Menschmodelle dar, wie etwa das digitale 3D-CAD-Menschmodell RAMSIS (Rechnergestütztes Anthropometrisch-Mathematisches System zur Insassen-Simulation; Bubb, 2015; Human Solutions GmbH, 2017a). Bei RAMSIS handelt es sich um eine spezielle Software, die in Verbindung mit dem CAD-System CATIA V5 dazu eingesetzt werden kann, verschiedene ergonomische Analysen im Rahmen einer CAD-Konstruktion durchzuführen. RAMSIS stellt hierfür sogenannte Manikins bereit, welche auf einer anthropometrischen Datenbank basieren und den Menschen in Bezug auf Körpermaße und Körperhaltung realitätsgetreu repräsentieren (vgl. Human Solutions GmbH, 2017b). Eine Analyse der Erreichbarkeit erfolgt in RAMSIS anhand sogenannter Greifschalen, welche unter Berücksichtigung der Schultergelenkstellung die maximale Armreichweite der Manikins darstellen. Befindet sich ein Bedienelement außerhalb der Greifschale, kann dieses ohne eine Verlagerung des Oberkörpers nicht mehr erreicht werden.

Da die effektive Armreichweite von verschiedenen Faktoren wie etwa der Körperhöhe abhängt, werden Greifschalen in der Regel für unterschiedliche Typen von Manikins erstellt. Gebräuchlich sind hier u. A. verschiedene Perzentile für Körperhöhe und -proportion. Mit dem Ziel, die Nutzerpopulation (vgl. Abschnitt 4.1.2) hinreichend zu repräsentieren, werden für die nachfolgende Erreichbarkeitsanalyse das 5., 50. sowie 95. Körperhöhenperzentil normalproportionierter Männer herangezogen. Wie die sich ergebenden Greifschalen zeigen, weist jedes Perzentil im Vergleich

zu den anderen Perzentilen eine minimale Armreichweite in eine bestimmte Raumrichtung auf. Daher werden die Greifschalen so miteinander geschnitten, dass die daraus resultierende Greifschale im Sinne einer Worst-Case-Betrachtung eine Kombination der minimalen Armreichweiten der jeweiligen Perzentile darstellt. Abbildung 4-4 zeigt die resultierende Greifschale im CAD-Modell einer Fahrerkabine der Lkw-Baureihe MAN TGX, welche repräsentativ für typische Fahrerinnen-Packages in diesem Segment steht.



■ 05., ■ 50. und ■ 95. Körperhöhenperzentil bei Männern

- | | | |
|---------------|------------------|--------------------|
| ❶ Staukästen | ❷ Leseleuchte | ❸ EG-Kontrollgerät |
| ❹ Sonnenrollo | ❺ Luftausströmer | ❻ Schubläden |

Abbildung 4-4: Erreichbarkeitsanalyse mit RAMSIS für eine Lkw-Fahrerkabine vom Typ MAN TGX. Die gezeigte Greifschale stellt die vom jeweiligen Körperhöhenperzentil abhängige minimale Armreichweite in die verschiedenen Raumrichtungen dar. Der Armreichweite zugrunde gelegt wird dabei die Reichweite des rechten Arms bei einem Zu-fassungsgriff. Geräte, Stellteile und Bedienelemente, die außerhalb der Greifschale liegen (❶ – ❹), werden aus der dargestellten Sitzposition nicht erreicht. (Anm.: Da sich das Sonnenrollo im aufgerollten Zustand in einer Aussparung an der Unterseite der Staukästen befindet, ist dieses in obiger Darstellung nicht zu erkennen. Ebenso ist im dargestellten CAD-Modell die Instrumententafel mit Tastenfeld ausgeblendet, da diese von der durchgeführten Analyse ausgeklammert wird.)

Ergebnisse der Erreichbarkeitsanalyse

Wie in Abbildung 4-4 dargestellt ist, gibt es eine Reihe von Geräten, Stellteilen und Bedienelementen, die von der resultierenden Greifschale nicht umschlossen werden. Die Interaktion mit diesen Geräten, Stellteilen und Bedienelementen erfordert ein Strecken oder Verlagern des Oberkörpers bzw. gar ein Aufstehen vom Fahrersitz. Dies betrifft vor allem die Geräte, Stellteile und Bedienelemente im oberen Bereich der Fahrerkabine (über der Windschutzscheibe), wie etwa die Verschlüsse der Staukästen, die Leseleuchten und das Sonnenrollo. Direkt über dem Fahrersitz befinden sich zudem mehrere Einschubfächer, welche dem EG-Kontrollgerät, mitunter aber auch anderen externen Geräten wie bspw. CB-Funk- oder Mauterfassungsgeräten Platz bieten. Auch diese Geräte sind nur durch ein Strecken bzw. Verlagern des Oberkörpers erreichbar. Darüber hinaus sind im Bereich des Durchstiegs (zwischen Fahrer- und Beifahrersitz) Stellteile zu finden, die außerhalb der optimalen Reichweite liegen. Hierzu zählen die Verschlussgriffe der Schubläden sowie die Stellteile der Luftausströmer zum Einstellen von Luftstromrichtung und -intensität.

Diskussion der Ergebnisse

Mit der Erreichbarkeitsanalyse wurden Geräte, Stellteile und Bedienelemente identifiziert, welche vom Fahrersitz aus nur durch ein Strecken oder Verlagern des Oberkörpers erreichbar sind. Für diese Geräte, Stellteile und Bedienelemente wird der Einsatz einer Gestensteuerung erwogen, um dem Fahrer eine komfortablere und potenziell weniger ablenkende Bedienung zu ermöglichen.

Vor diesem Hintergrund wäre aus technischer Sicht etwa ein Öffnen und Schließen der Staukästen und Schubläden per Gestensteuerung möglich. Da die Staukästen und Schubläden jedoch nur dann geöffnet werden, wenn Gegenstände aus diesen herausgenommen oder in diese hineingelegt werden, wäre der Einsatz einer Gestensteuerung an dieser Stelle mit kaum einem Mehrwert verbunden.

Auch für das EG-Kontrollgerät erweist sich der Einsatz einer Gestensteuerung bei näherer Betrachtung als wenig zielführend, da für das Stecken und Herausnehmen der Fahrerkarte das Gerät erreicht werden muss. Für weitere Bedienhandlungen am EG-Kontrollgerät, wie die Eingabe von Daten im Menü oder das Einstellen der Tätigkeit (Arbeitszeit, Bereitschaft, Ruhezeit) fehlt dem Gerät zudem die technische Schnittstelle, um eine Bedienung mittels Gestensteuerung zu ermöglichen. Unabhängig von dieser technischen Einschränkung stellt sich jedoch ohnehin die grundsätzliche Frage, inwieweit eine Gestensteuerung für derart komplexe Eingaben, wie sie am EG-Kontrollgerät vorzunehmen sind, überhaupt geeignet ist. Ähnliches gilt dabei auch für andere externe Geräte, die in den Einschüben oberhalb des Fahrersitzes verbaut werden, wie etwa Funkgeräte oder Geräte zur Mauterfassung. Aufgrund der Heterogenität dieser Geräte sowie deren Verwendung ist es kaum möglich, hierfür eine einheitliche technische Schnittstelle sowie ein übergreifendes Bedienkonzept zur Gestensteuerung bereitzustellen.

Für die verbleibenden Funktionen und Stellteile erscheint der Einsatz einer Gestensteuerung hingegen durchaus realistisch. Ein Ein- und Ausschalten der Leseleuchten auf Fahrer- und Beifahrerseite mittels Gestik könnte zur gewünschten Verbesserung der Bedienung führen. Auch das Sonnenrollo, welches im aufgerollten Zustand nur schwer zu erreichen ist, könnte durch eine Gestensteuerung weitaus komfortabler eingestellt werden. Wurde das Sonnenrollo bislang von Hand nach unten gezogen, würde dessen Bedienung per Gestensteuerung allerdings den Einsatz einer entsprechenden Aktorik voraussetzen. Ebenso wäre für das gestengesteuerte Einstellen der Luftausströmer eine geeignete Aktorik erforderlich. Im Gegensatz zum Sonnenrollo müssten hier jedoch deutlich mehr Freiheitsgrade angesteuert werden, da bei beiden Ausströmern sowohl die Richtung, als auch die Intensität des Luftstroms zu variieren sind. Dies mag womöglich weniger eine technische Herausforderung sein, stellt allerdings für das Bedienkonzept und die zugrunde gelegte Gestik einen nicht zu vernachlässigenden Umstand dar. Die zu erwartende Komplexität der Bedienung relativiert damit den potenziellen Mehrwert gestengesteuerter Luftausströmer. Aber auch für die Leseleuchten und das Sonnenrollo ist bislang nicht geklärt, welche Gesten geeignet sind, um eine entsprechend annehmbare Bedienung zu gewährleisten. Die Identifikation geeigneter Gesten ist damit als wesentlicher Bestandteil der weiteren Entwicklung zu sehen.

Letztlich konnten mit der durchgeführten Erreichbarkeitsanalyse zwei Fahrzeugfunktionen identifiziert werden, für die der Einsatz einer Gestensteuerung einen potenziellen Mehrwert bietet:

- Ein- und Ausschalten der Leseleuchten
- Einstellen des Sonnenrollos

Eine Bedienung beider Funktionen per Gestik könnte mit einem erhöhten Bedienkomfort einhergehen und die Ablenkung während der Fahrt reduzieren. Es ist jedoch anzumerken, dass sich die durchgeführte Erreichbarkeitsanalyse lediglich auf den Fahrersitz konzentriert. Auf diese Weise wurden insbesondere Geräte, Stellteile und Bedienelemente analysiert, die während der Fahrt bedient werden. In Hinblick auf eine Verbesserung des Bedienkomforts und eine Reduktion der körperlichen Belastung können aber auch Erreichbarkeitsanalysen zu anderen potenziellen Aufenthaltsorten des Fahrers zielführend sein. So spielt etwa auch die Erreichbarkeit von der Liege aus eine nicht zu vernachlässigende Rolle. Auf der Liege verbringt der Fahrer seine Pausen- und Ruhezeiten. Sie befindet sich im hinteren Teil der Fahrerkabine, von wo aus der Fahrer diverse Komfort- und Unterhaltungsfunktionen des Fahrzeugs, wie etwa Heizung, Klima oder Radio, nicht mehr erreichen kann. Um diese Funktionen bedienen zu können, muss der Fahrer von der Liege aufstehen, was angesichts der beengten Platzverhältnisse körperlich anstrengend sein kann. Da es jedoch nicht zielführend ist, für sämtliche dieser Funktionen eine Gestensteuerung vorzusehen, stellt sich die Frage, welche Funktionen für den Fahrer in einer solchen Situation relevant sind und welche Bedienhandlungen mit bestimmten Situationen einhergehen. Um hierzu ein übergreifendes Gesamtbild zu gewinnen, erfordert es den Einsatz weiterer, in diesem Fall empirischer Analysemethoden. Dabei soll nicht nur eine Bedienung von Funktionen von der Liege aus im

Fokus stehen, sondern es sollen alle Tätigkeiten und Bedienhandlungen des Fahrers rund um das Fahrzeug in Betracht gezogen werden.

4.2.3 Beobachtende Mitfahrt

Die beobachtende Mitfahrt entspricht in ihrem methodischen Ansatz einer sog. *Contextual Inquiry* (Beyer & Holtzblatt, 1995) und ist damit eine Form der teilnehmenden Beobachtung. Im Rahmen der beobachtenden Mitfahrt werden Fahrer über einen definierten Zeitraum – in diesem Fall über je einen kompletten Arbeitstag – begleitet. Ziel dabei ist es, durch Beobachtung und gezielte Befragung die Arbeitsaufgaben, -abläufe und -bedingungen des Fahrers zu verstehen und basierend darauf die Möglichkeiten zum Einsatz einer Gestensteuerung zu prüfen. Durch die unmittelbare Teilnahme des Beobachtenden ist es nicht nur möglich, die Tätigkeiten des Fahrers und seine Interaktion mit dem Fahrzeug direkt zu erfassen, sondern auch diese im Kontext der jeweiligen Situation und Aufgabe zu sehen (Michel, 2014). Auch wenn die durchgeführten Mitfahrten aufgrund der geringen Anzahl keine statistische Aussagekraft besitzen, so bieten sie dennoch eine sehr gute Möglichkeit, potenzielle Anwendungsfälle für eine Gestensteuerung abzuleiten, sowie die bisherigen Ergebnisse zu plausibilisieren (Michel, 2014; Lamnek, 2005).

Anwendung der Methode

Der Ablauf der Mitfahrten ist weitgehend durch die eintretenden Ereignisse und Beobachtungen bestimmt und kann im Vorfeld nicht im Detail geplant werden. Aus diesem Grund werden zunächst *Fokusfragen* formuliert (Buering, 2013). Diese Fokusfragen legen den inhaltlichen Blickwinkel für die Beobachtungen fest und stützen damit die Durchführung der Mitfahrten. Um ein möglichst umfassendes Bild zu generieren, werden für die hier durchgeführten Mitfahrten folgende Fokusfragen formuliert:

- Bei welchen Tätigkeiten könnte eine Gestensteuerung die Effizienz steigern?
- Bei welchen Tätigkeiten könnte eine Gestensteuerung den Fahrer körperlich entlasten?
- Bei welchen Tätigkeiten könnte eine Gestensteuerung die Ablenkung reduzieren?
- Bei welchen Tätigkeiten könnte eine Gestensteuerung zur Sauberkeit beitragen?

Die Datenerhebung erfolgt mit einem Beobachtungsprotokoll, das während der Mitfahrten handschriftlich ausgefüllt wird (vgl. Anhang B). In diesem Beobachtungsprotokoll werden die jeweiligen Tätigkeiten des Fahrers festgehalten. Dabei wird protokolliert, mit welchen Geräten, Stellteilen und Bedienelementen der Fahrer interagiert und welche sonstigen technischen Hilfsmittel bei bestimmten Aufgaben genutzt werden. Um die Laufwege des Fahrers erfassen zu können, wird zudem zu jeder Tätigkeit der Aufenthaltsort des Fahrers dokumentiert, wofür das Fahrzeug in verschiedene Bereiche eingeteilt wird (vgl. Anhang C). Darüber hinaus werden für jede Tätig-

keit die Uhrzeit, die Dauer sowie die Häufigkeit notiert. Zudem dient ein Kommentarfeld dazu, relevante Äußerungen des Fahrers sowie etwaige besondere Vorkommnisse festzuhalten.

Innerhalb des Fahrerhauses findet die Beobachtung vom Beifahrersitz aus statt. Bei Tätigkeiten im Außenbereich des Fahrzeugs begleitet der Beobachter den Fahrer, hält sich dabei aber so weit im Hintergrund, dass der Fahrer bei der Ausführung seiner Tätigkeiten nicht behindert wird (vgl. Michel, 2014). Damit während der Beobachtung für den Fahrer nicht das unangenehme Gefühl einer Test- oder Überwachungssituation entsteht, wird zu Beginn der Mitfahrt ein Rollenverständnis geschaffen, welches sich an der Beziehung zwischen einem Lehrling und dessen Meister orientiert (Beyer & Holtzblatt, 1995; Buering, 2013). Der Beobachter soll durch den Fahrer im Kontext der Arbeit „angelernt“ werden, versucht dabei aber weniger die Fertigkeiten des Fahrers zu erwerben, als vielmehr die Handlungen und Arbeitsabläufe zu verstehen und nachzuvollziehen (Beyer & Holtzblatt, 1995; Buering, 2013).

Stichprobe

Für die Mitfahrten werden drei Fahrer ausgewählt, die jeweils über einen kompletten Arbeitstag begleitet werden. Um ein möglichst breites Spektrum an Tätigkeiten, Arbeitsabläufen und Kontexten zu erfassen, erfolgt die Auswahl der Fahrer systematisch. Dabei ist es das Ziel, eine nach Möglichkeit hohe Variabilität in puncto Einsatzsegment, Fahrzeug, Aufbau und Ladung sowie Berufserfahrung der Fahrer zu erzielen (vgl. Abschnitt 4.1). Tabelle 4-3 stellt eine Übersicht bereit, die die unterschiedlichen Charakteristiken der drei Mitfahrten aufzeigt (s. nächste Seite).

Beobachtungen und Ergebnisse

Die Heterogenität der für die Mitfahrten ausgewählten Stichprobe erlaubt einen Einblick in sehr unterschiedliche Nutzungskontexte. Die beobachteten Szenarien variieren zwischen einer Fahrzeugführung auf engen Straßen im innerstädtischen Straßenverkehr, längeren Abschnitten auf Autobahnen und Landstraßen sowie Fahrten auf unbefestigtem Untergrund im Baustellenbereich. Je nach Situation und Fahrzeugausstattung nutzten die Fahrer hierbei verschiedene unterstützende Fahrzeugfunktionen, wie etwa Differentialsperren oder Liftachsen. Derartige Fahrzeugfunktionen wurden vom Fahrerhaus aus mittels entsprechender Tasten gesteuert und dazu eingesetzt, die Traktion bzw. Manövrierbarkeit der Fahrzeuge zu verbessern.

Deutliche Unterschiede zwischen den Mitfahrten zeigen sich hinsichtlich der Be- und Entlade-tätigkeiten. Im Fernverkehr erfolgte das Be- und Entladen grundsätzlich per Gabelstapler. Hierzu musste der Fahrer die Seitenplane des Aufliegers öffnen, um dem Stapler einen Zugang zur Lade-fläche zu ermöglichen (vgl. Abbildung 4-5, links). Nach dem Beladevorgang bestand die Aufgabe des Fahrers darin, die Ladung mit Spanngurten zu sichern. Im Baustellenverkehr wurde das Fahr-zeug hingegen durch Raupenbagger bzw. Radlader beladen. Ein Zutun des Fahrers war hierbei nicht erforderlich. Der Fahrer des Verteilerverkehrs nahm das Be- und Entladen indessen selbst

Tabelle 4-3: Übersicht zu den Einsatzgebieten, Fahrern und Fahrzeugen der drei durchgeführten Mitfahrten

	Mitfahrt 1	Mitfahrt 2	Mitfahrt 3
<i>Einsatzgebiet</i>			
<i>Segment</i>	Fernverkehr	Baustellenverkehr	Verteilerverkehr
<i>Tour</i>	ca. 300 km	ca. 200 km	ca. 250 km
<i>Ladestellen</i>	Anzahl: 5 wechselnd	Anzahl: 11 identisch	Anzahl: 14 wechselnd
<i>Fahrer</i>			
<i>Alter</i>	39 Jahre	48 Jahre	37 Jahre
<i>Berufserfahrung</i>	21 Jahre	30 Jahre	12 Jahre
<i>Besonderheiten</i>	Fuhr früher überwiegend internationale Mehrtagestouren, inzwischen zunehmend Tagestouren	War früher Lkw- Fahrer für das Militär	Hat zum Berufs- kraftfahrer um- geschult
<i>Fahrzeug</i>			
<i>Fahrzeugklasse</i>	Sattelzugmaschine	Schwerer Lkw	Mittelschwerer Lkw
<i>Aufbau/ Anhänger</i>	Auflieger mit Schiebeplanen	Kippmulde	Pritsche mit Planengestell
<i>Ladung</i>	Fahrzeug- und Anlagenbauteile	Erde	Diverse Paletten- ware für Industrie und Landwirtschaft

vor. Hierfür kam ein Hubwagen zum Einsatz, den der Fahrer auf der Ladefläche mitführte (vgl. Abbildung 4-5, rechts). Zugang zur Ladefläche verschaffte sich der Fahrer über die Ladebordwand des Fahrzeugs, über die er das Fahrzeug auch be- und entlud. Gesteuert wurde die Ladebordwand über ein Bedienmodul am Heck des Fahrzeugs. Obwohl dieses Bedienmodul im Außenbereich des Fahrzeugs angebracht war, wies dieses keine nennenswerten Verschmutzungen auf. Während des Be- und Entladens trugen die Fahrer sowohl im Verteilerverkehr als auch im Fernverkehr Arbeitshandschuhe.



Abbildung 4-5: Mehrfach während den Mitfahrten im Fernverkehr (links) als auch im Verteilerverkehr (rechts) zu beobachtende Tätigkeiten der Fahrer betreffen das Be- und Entladen der Fahrzeuge.

Im Verteilerverkehr fand in fünf Fällen das Be- und Entladen an Laderampen statt (vgl. Abbildung 4-5, rechts). Hierzu fuhr der Fahrer das Fahrzeug zunächst rückwärts an die Rampe heran und hielt im Abstand von etwa 3 m. Da die Zufahrt zur Rampe meist abschüssig war, stellte der Fahrer anschließend über das ECAS-Bedienmodul die Luftfederung der Hinterachse so ein, dass die Ladefläche weitestgehend horizontal ausgerichtet war. Laut eigener Aussage wisse der Fahrer bei den ihm bekannten Laderampen, wie er die Luftfederung anzupassen habe, sodass er die Einstellung vom Fahrersitz aus vornehmen könne. Anschließend stieg der Fahrer aus, um die Ladebordwand zu öffnen. Abhängig von der Art der Rampe (Rampe mit Überladebrücke bzw. einfache Betonrampe) senkte der Fahrer die Ladebordwand entweder komplett oder bis Rampenhöhe ab. Daraufhin setzte der Fahrer das Fahrzeug so weit zurück, bis dieses an die Überladebrücke andockte bzw. bis die Lücke zwischen Ladebordwand und Betonrampe geschlossen war. An Betonrampen musste der Fahrer anschließend die Position der Ladebordwand noch einmal geringfügig korrigieren, sodass diese letztlich auf der Betonrampe zum Liegen kam. Beim Rückwärtsfahren an sich wurde der Fahrer in den meisten Fällen durch einen Lagermitarbeiter vor Ort eingewiesen, wohingegen in einem Fall der Fahrer eigenständig zurücksetzen musste, da keine weitere Person zugegen war. Dabei nutzte der Fahrer neben den Rückspiegeln zusätzlich den Blick aus dem geöffneten Seitenfenster, um den rückwärtigen Bereich besser einsehen zu können.

Auch im Baustellenverkehr musste der Fahrer eine Entladestelle im Baustellenbereich mehrfach rückwärts anfahren, um die mitgeführte Ladung an der gewünschten Stelle abkippen zu können. Eine weitere Person, die den Fahrer hätte einweisen und nach hinten absichern können, war hier jedoch nicht vor Ort. Der Fahrer musste nach eigenem Ermessen zurücksetzen und vom Fahrersitz aus abschätzen, wie weit er das Fahrzeugheck an die abschüssig gelegene Kippstelle heranfahren kann. Aufgrund des unbefestigten Untergrunds im Bereich der Kippstelle äußerte der Fahrer die Sorge, dass das Fahrzeug beim Abkippen einsinken könnte, falls er zu weit zurücksetzen würde. Es sei ihm bereits schon passiert, dass er sich in einer solchen Situation festgefahren habe. Daher stieg der Fahrer vor dem ersten Anfahren der Entladestelle aus dem Fahrzeug aus, um sich ein Bild von der Beschaffenheit des Untergrunds und den örtlichen Gegebenheiten im Bereich der Kippstelle zu machen.

Das Be- und Entladen ging in allen drei Mitfahrten meist mit der Bearbeitung von Formularen einher. Im Baustellenverkehr etwa ließ der Fahrer das Fahrzeug nach dem Beladen wiegen, woraufhin ihm entsprechende Wiegepapiere ausgestellt wurden. Im Fahrzeug ergänzte der Fahrer anschließend die erhaltenen Formulare handschriftlich um weitere Angaben. Dabei nutzte er zum Schreiben das Lenkrad als Unterlage und schaltete während der Morgenstunden zudem die Leselampe ein. Aber auch im Fern- und Verteilerverkehr bearbeiteten die Fahrer verschiedene Formulare wie etwa Frachtbriefe und Lieferscheine. Die Schreibarbeit wurde hier jedoch hauptsächlich in den Büros der Kunden und nicht im Fahrzeug abgewickelt. Der Fahrer im Fernverkehr führte zudem ein Bordbuch, in welchem er unter anderem die jeweils angefahrenen Ladestellen dokumentierte. Einträge in das Bordbuch nahm der Fahrer vom Fahrersitz aus vor. Der erste Eintrag in das Bordbuch erfolgte zu Beginn der Arbeitsschicht, wobei auch hier der Fahrer das Lenkrad als Unterlage nutzte sowie Gebrauch von der Leselampe machte. Andere fahrtvorbereitende Tätigkeiten führte der Fahrer hingegen nicht durch. Von einer Abfahrtskontrolle sah er ab. Auch der Fahrer im Verteilerverkehr verzichtete auf die Durchführung einer Abfahrtskontrolle. Gemäß seiner Aussage sei es nicht notwendig, das Fahrzeug täglich zu kontrollieren – eine wöchentliche Überprüfung sei laut ihm ausreichend. Auf Nachfrage gab der Fahrer an, dass ihn seine Kollegen auf defekte Leuchten schon hinweisen würden. Lediglich der Fahrer im Baustellenverkehr machte vor der Abfahrt einen Kontrollgang um das Fahrzeug, um dessen Zustand in Augenschein zu nehmen. Eine Funktionsprüfung der verschiedenen Leuchten am Heck des Fahrzeugs nahm aber auch er nicht vor.

Über alle drei Mitfahrten hinweg zeigte sich, dass die Kommunikation eine wesentliche Rolle im Arbeitsalltag der Fahrer spielt und dass dafür verschiedene Kommunikationswege genutzt werden. So war das Fahrzeug im Baustellenverkehr etwa mit zwei CB-Funkgeräten ausgestattet, mit welchen der Fahrer Kontakt zu anderen Baustellenfahrzeugen aufnahm, um das Beladen seines Fahrzeugs zu koordinieren. Darüber hinaus verwendeten alle drei Fahrer Mobiltelefone, um beispielsweise mit Kollegen Informationen zu Ladestellen oder zum aktuellen Verkehrsgeschehen auszutauschen oder sich bei der Spedition über Änderungen in der Auftragslage zu informieren. Im Baustellenbereich sowie auf den Betriebshöfen verschiedener Kunden nutzen die Fahrer zudem die persönliche Kommunikation durch das geöffnete Seitenfenster, um sich etwa nach bestimmten Details zu den jeweiligen Ladestellen zu erkundigen.

Die Verfügbarkeit von Informationen und die Möglichkeit zu deren Abruf schien vor allem für den Fahrer im Fernverkehr besondere Relevanz zu besitzen. Um beispielsweise seinen aktuellen durchschnittlichen Kraftstoffverbrauch einzusehen, brachte der Fahrer über eine Bedienung am Multifunktionslenkrad den entsprechenden Wert im Kombiinstrument zur Anzeige. Dass dieser für den Fahrer wichtige Wert nur über eine längere Menübedienung abrufbar sei, bezeichnete der Fahrer als umständlich. Der Fahrer äußerte außerdem, dass für ihn eine permanente Anzeige der Motoröltemperatur wichtig wäre, sein Fahrzeug diese aber nicht bereitstelle. Anhand der Motoröl-

temperatur könne der Fahrer kritische Betriebszustände des Motors frühzeitig erkennen, die Fahrweise entsprechend anpassen und dadurch den Verschleiß am Motor verringern.

Eine für die Fahrer unterschiedliche Relevanz schien die Nutzung von Radio und Musikanlage zu haben. Während der Fahrer im Baustellenverkehr gänzlich darauf verzichtete, hörte der Fahrer im Verteilerverkehr durchgehend Radio. Dabei variierte der Fahrer häufig die Lautstärke: während Nachrichtensendungen wurde die Lautstärke erhöht, vor dem Führen von Telefonaten verringert. Im Fernverkehr nutzte der Fahrer hingegen die Musikanlage zur persönlichen Unterhaltung. Nach Angaben des Fahrers handle es sich bei der Musikanlage um eine von ihm privat finanzierte Nachrüstung. Der Fahrer lege Wert auf eine hohe Klangqualität und gerade auf längeren Touren im internationalen Fernverkehr sei Musik zur Unterhaltung für ihn sehr wichtig. Die Musikanlage verfüge zudem über eine Fernbedienung, mit welcher er die Musikanlage auch von der Liege aus bedienen könne. Eine Nutzung der Liege konnte während der Mitfahrten nicht beobachtet werden.

Die Pausenzeiten verbrachten alle Fahrer außerhalb der Fahrzeuge. Als Verpflegung diene der persönliche Proviant, der jeweils in den fahrzeugeigenen Kühlboxen mitgeführt wurde. Im Fern- und Verteilerverkehr aßen die Fahrer zudem auch während der Fahrt. Der Fahrer im Fernverkehr äußerte, dass die Kühlbox vom Fahrersitz aus schlecht erreichbar sei. Daher sei es für ihn nur schwer möglich, während der Fahrt auf die Kühlbox zuzugreifen. Zudem könne er aus seiner Sitzhaltung heraus kaum die erforderliche Kraft aufbringen, um die Kühlbox unter der Liege hervorzuziehen.

Diskussion der Ergebnisse

Die drei durchgeführten Mitfahrten gewährten einen Einblick in den jeweiligen Arbeitsalltag der Lkw-Fahrer. Aufgrund der verschiedenen Einsatzsegmente und Fahrzeuge waren zum Teil sehr unterschiedliche Arbeitsaufgaben, Tätigkeiten und Bedienhandlungen zu beobachten. Manche Tätigkeiten und Gewohnheiten der Fahrer waren hingegen fahrtübergreifend sehr ähnlich und konnten dementsprechend mehrfach beobachtet werden.

So konnte etwa sowohl im Verteiler- als auch im Baustellenverkehr beobachtet werden, wie die Fahrer das Fahrzeug an entsprechenden Ladestellen zurücksetzten. Ähnlich wie beim Aufsatteln im Rahmen der Aufgabenanalyse zeigt sich bei der Betrachtung des gesamten Arbeitsablaufes im Verteilerverkehr, dass durch ein Zurücksetzen des Fahrzeugs mittels Gestensteuerung Laufwege eingespart werden könnten. Während bislang der Fahrer nach dem Öffnen der Ladebordwand am Heck des Fahrzeugs wieder nach vorne gehen und in das Fahrzeug einsteigen muss, könnte er im Falle einer Gestensteuerung am Heck des Fahrzeugs verbleiben und von dort aus das Fahrzeug zurücksetzen. Zudem spielt auch der Sicherheitsaspekt eine nicht minder wichtige Rolle. Wie in beiden Mitfahrten zu beobachten war, mussten die Fahrer teilweise ohne Sicherungsposten zurücksetzen. Im Baustellenverkehr kam hinzu, dass der Fahrer die örtlichen Gegebenheiten an der Kippstelle vom Fahrersitz aus nicht abschätzen konnte und daher vor dem Abkippen aus dem

Fahrzeug aussteigen musste, um die Kippstelle zu begutachten. Durch ein Zurücksetzen des Fahrzeugs mittels Gestensteuerung ließen sich in einem solchen Fall zwar keine Laufwege einsparen, allerdings könnte gerade an unübersichtlichen Kippstellen das Fahrzeug präziser an die Kippkante herangefahren werden. Da der Fahrer beim Zurücksetzen des Fahrzeugs die Kippstelle direkt einsehen könnte, wäre es ihm zudem möglich, gegebenenfalls erforderliche Sicherheitsabstände zur Kippkante besser abzuschätzen.

Im Verteilerverkehr fand das Be- und Entladen des Fahrzeugs über eine Ladebordwand statt. Gesteuert wurde die Ladebordwand über eine Bedieneinrichtung, die außen am Heck des Fahrzeugs angebracht war. Zwar konnte zum Zeitpunkt der Mitfahrt keine nennenswerte Verschmutzung der Bedieneinrichtung beobachtet werden, allerdings ist anzunehmen, dass bei entsprechenden Witterungs- und Fahrbahnverhältnissen die Bedieneinrichtung durchaus einer gewissen Verschmutzung unterliegt. Eine berührungsfreie Steuerung der Ladebordwand mittels Gestik könnte an dieser Stelle potenziell Abhilfe schaffen. Allerdings relativiert sich ein solcher Anwendungsfall für eine Gestensteuerung durch die Tatsache, dass die Fahrer während Ladetätigkeiten und damit auch während der Bedienung der Ladebordwand Arbeitshandschuhe tragen. Ein praktischer Nutzen durch den Einsatz einer Gestensteuerung ist daher letztlich nicht zu erwarten.

In Hinblick auf eine Überprüfung der Außenleuchten ist es hingegen fraglich, ob der Einsatz einer Gestensteuerung mit einem effektiven Mehrwert verbunden wäre. Wie sich in den Mitfahrten zeigte, führte keiner der Fahrer vor Fahrtantritt eine Funktionsprüfung der Leuchten durch. Zwei Fahrer verzichteten sogar komplett auf die Durchführung einer Abfahrtskontrolle, obwohl diese gesetzlich vorgeschrieben ist. Dabei schien dies weniger eine Ausnahme als mehr eine Gewohnheit zu sein. Ob sich mit dem Einsatz einer Gestensteuerung, wie sie bereits im Rahmen der Aufgabenanalyse erwogen wurde, die Bereitschaft der Fahrer zur Überprüfung der Leuchten ändert, lässt sich nur schwer abschätzen. Tatsache ist, dass mit der Gestensteuerung wenn überhaupt nur dann ein Mehrwert erzielt werden kann, wenn diese von den Fahrern auch genutzt wird.

Eine Nutzung der Leseleuchten konnte im Rahmen der Mitfahrten hingegen mehrfach beobachtet werden. Diese wurden vor allem während der Bearbeitung von Schriftgut im Fahrerhaus und daher hauptsächlich im Stand verwendet. Wie bereits die Ergebnisse der Erreichbarkeitsanalyse erwarten ließen, waren die Leseleuchten für die Fahrer nicht optimal erreichbar. Eine Ablenkung während der Fahrt resultierte daraus jedoch nicht, schließlich wurden die Leseleuchten in erster Linie im stehenden Fahrzeug ein- und ausgeschaltet. Der durch den Einsatz einer Gestensteuerung zu erwartende Mehrwert beschränkt sich daher vermutlich auf den Aspekt einer komfortableren Bedienung.

Hinsichtlich einer komfortableren Bedienung scheint auch eine Gestensteuerung für die Regelung der Radio- und Musikkautstärke erwägenswert. Hierbei scheint es sich um eine häufig verwendete Funktion zu handeln, die nicht nur während der Fahrt, sondern auch von der Liege aus genutzt wird. Dass der Fahrer im Fernverkehr zur Steuerung der Musikanlage eine Fernbedienung nutzt,

während er sich auf der Liege befindet, verdeutlicht den Umstand, dass die Erreichbarkeit von der Liege aus eingeschränkt ist. Zwar konnte im Rahmen der Mitfahrten keine Nutzung der Liege beobachtet werden, jedoch scheint der Bereich der Liege vor allem im Fernverkehr ein gewisses Potenzial für den Einsatz einer Gestensteuerung zu besitzen.

Weiteres Potenzial für den Einsatz einer Gestensteuerung ergibt sich dadurch, dass der Fahrer im Fernverkehr die Verfügbarkeit bestimmter Fahrzeuginformationen sowie die Möglichkeiten zu deren Abruf bemängelt. Um spezifische Fahrzeugdaten wie Durchschnittsverbrauch oder Motoröltemperatur im Kombiinstrument anzuzeigen, sind jeweils mehrere Bedienschritte über das Multifunktionslenkrad erforderlich. Ein Abruf dieser Daten während der Fahrt ist daher mit einem visuellen wie kognitiven Ablenkungspotenzial verbunden. Dieses Ablenkungspotenzial ließe sich womöglich durch den Einsatz einer Gestensteuerung verringern, würden Gesten als *Shortcuts* eingesetzt werden. Durch das Ausführen einer bestimmten Geste könnte ein entsprechender Wert direkt zur Anzeige gebracht werden, sodass dadurch eine Menübedienung nicht länger notwendig wäre.

Ein weiterer möglicher Anwendungsfall für eine Gestensteuerung ergibt sich nicht zuletzt auch aus den beobachteten Interaktionen der Fahrer mit den fahrzeugeigenen Kühlboxen. Diese dienen zum Kühlen mitgeführter Lebensmittel, auf die die Fahrer nicht nur während der Pausenzeiten, sondern teilweise auch während der Fahrt zugreifen. Standardmäßig befindet sich die Kühlbox unter der Liege in einer schwer zu erreichenden Position. Auch kann die Kühlbox in dieser Position nur zum Teil geöffnet werden, was den Fahrer beim Entnehmen von Lebensmitteln behindert. Um die Kühlbox komplett öffnen zu können, muss sie zunächst unter der Liege hervorgezogen werden. Dies erfordert einerseits einen nicht zu vernachlässigenden Kraftaufwand, da hierbei das komplette Gewicht der Kühlbox einschließlich Inhalt sowie Kühlaggregat bewegt werden muss. Andererseits geschieht das Hervorziehen der Kühlbox vom Fahrersitz aus in einer Zwangshaltung, bei der sich der Fahrer zur Seite lehnen und nach hinten greifen muss. Geschieht dies während der Fahrt, erhöht sich dadurch die motorische Ablenkung immens. Der Einsatz einer Gestensteuerung könnte hierbei zur körperlichen Entlastung des Fahrers beitragen und die Ablenkung während der Fahrt reduzieren. Wird eine entsprechende Aktorik vorausgesetzt, könnte der Fahrer die Kühlbox mittels Gesten nach vorne fahren lassen, was ihm den Zugriff auf die Kühlbox deutlich erleichtern würde.

Wie sich übergreifend zeigt, bieten die durchgeführten Mitfahrten eine gute Möglichkeit, die Arbeitsaufgaben, Tätigkeiten und Bedienhandlungen der Fahrer auf anschauliche Weise nachzuvollziehen. Dadurch lassen sich die bisher in Erwägung gezogenen Anwendungsfälle für eine Gestensteuerung im jeweiligen Nutzungskontext betrachten und somit letztlich plausibilisieren. Auf diese Weise konnte etwa der Anwendungsfall zum Zurücksetzen des Fahrzeugs mittels Gestensteuerung um zusätzliche Nutzungsszenarien erweitert werden. Andere Anwendungsfälle hingegen, wie z. B. die Funktionsprüfung der Leuchten im Außenbereich oder eine Nutzung der Leseleuchten innerhalb der Fahrerkabine, konnten durch die Beobachtungen relativiert werden. Aber auch

zur Identifikation neuer Anwendungsfälle lieferten die durchgeführten Mitfahrten einen nicht minder wertvollen Beitrag. Einerseits konnte die Relevanz einer Bedienung von der Liege aus bestätigt werden. Andererseits ließen sich auch konkrete Anwendungsfälle ableiten:

- Anzeige spezifischer Fahrzeugdaten durch Nutzung von Gesten als Shortcuts
- Vor- und Zurückfahren der Kühlbox durch Steuerung einer Aktorik mittels Gesten

Diskussion der Methode

Die Durchführung von Mitfahrten erlaubt zwar einen sehr tiefen, dafür aber einen weniger umfassenden Einblick in einen bestimmten Nutzungskontext. Gemachte Beobachtungen sind sehr spezifisch und stark abhängig vom jeweiligen Fahrer, vom Fahrzeug sowie von den äußeren Umständen, in denen die Mitfahrt stattfindet. Pauschalisierungen oder Verallgemeinerungen sind daher nur bedingt möglich. Zwar bieten die Beobachtungen hierfür erste Anhaltspunkte, interindividuelle und sogar intraindividuelle Abweichungen sind jedoch durchaus möglich. Ein Unterschied zwischen beobachtetem und tatsächlichem Verhalten kann dabei auch durch die teilnehmende Beobachtung selbst entstehen. So gab beispielsweise ein Fahrer an, dass er während der Mitfahrt entgegen seiner Gewohnheit auf das Rauchen im Fahrzeug verzichten würde, obwohl er zu Beginn der Mitfahrt dazu angehalten wurde, sich so zu verhalten, wie er es sonst auch tun würde.

Die Ergebnisse der Mitfahrten tragen zum tieferen Verständnis der Arbeitsaufgaben, -abläufe und -bedingungen eines Lkw-Fahrers bei. Allerdings liefern sie keine abschließenden Erkenntnisse, was die Eignung einer Gestensteuerung für bestimmte Anwendungsfälle betrifft, und was somit den Einsatz einer weiteren Methode erforderlich macht.

4.2.4 Fokusgruppe

Mit der Durchführung einer Fokusgruppe sollen nachfolgend weitere Erkenntnisse zu den bereits identifizierten Anwendungsfällen für eine Gestensteuerung im Nutzfahrzeug gewonnen werden. Darüber hinaus soll die Fokusgruppe aber auch dazu eingesetzt werden, neue, bisher noch nicht betrachtete Anwendungsfälle zu identifizieren.

Bei einer Fokusgruppe handelt es sich um eine moderierte *Gruppendiskussion* mehrerer Teilnehmer zu einem bestimmten Thema (Bortz & Döring, 2006). In der Regel besteht eine Fokusgruppe aus etwa fünf bis acht Teilnehmern, die gezielt in Hinblick auf den Zweck der Untersuchung ausgewählt werden (Krueger & Casey, 2014). Häufig handelt es sich bei den Teilnehmern um typische Vertreter einer potenziellen Nutzergruppe. Ziel einer Fokusgruppe ist es, Meinungen und Einstellungen der Teilnehmer zu einem bestimmten Thema zu erfassen, um damit beispielsweise neue Ideen im Rahmen eines Produktentwicklungsprozesses zu generieren (Bortz & Döring, 2006; Krueger & Casey, 2014). Fokusgruppen können aber auch zur Bewertung von Ideen und Konzepten eingesetzt werden, um auf diese Weise Entscheidungen für die weitere Entwicklung

oder Implementierung herbeizuführen (vgl. Krueger & Casey, 2014). Grundsätzlich wird eine Fokusgruppe von einem Moderator angeleitet. Dieser lenkt die Diskussion in eine dem Zweck der Untersuchung dienliche Richtung, indem er gezielt Fragen stellt. Die Fragen sollen die Teilnehmer zur Reflexion eines bestimmten Themas anregen und dadurch eine Diskussion in Gang setzen. Ein *Interview-Leitfaden* kann dem Moderator hierfür als Gerüst dienen (vgl. Bortz & Döring, 2006; Krueger & Casey, 2014). Um eine spätere Auswertung der Fokusgruppe zu ermöglichen, wird die Diskussion mittels Ton- oder Videoaufnahmen aufgezeichnet. Ein Protokoll des Gesprächsverlaufs erweist sich hierfür ebenfalls als geeignet (Bortz & Döring, 2006).

Anwendung der Methode

Wie bereits erwähnt verfolgt die Fokusgruppe zweierlei Ziele. Zum einen sollen Situationen im Berufsalltag von Lkw-Fahrern identifiziert werden, für die der Einsatz einer Gestensteuerung einen potenziellen Mehrwert verspricht. Zum anderen sollen aber auch alle bis dahin identifizierten Anwendungsfälle von den Teilnehmern – in diesem Fall Lkw-Fahrer – bewertet werden. Dabei beurteilen die Fahrer jeden Anwendungsfall dahingehend, ob hierfür der Einsatz einer Gestensteuerung sinnvoll, praktikabel und nutzbringend erscheint.

Demgemäß gliedert sich der Ablauf der etwa vierstündigen Fokusgruppe in zwei Teile. Im ersten Teil werden die Fahrer zunächst nach typischen Situationen aus ihrem Berufsalltag befragt. Dabei sind die Fahrer noch nicht darüber informiert, dass die Fokusgruppe den potenziellen Einsatz einer Gestensteuerung betrachtet. Die Fahrer sollen zunächst möglichst frei und losgelöst von eventuellen technischen Lösungen entsprechende Alltagssituationen berichten. Die Erhebung und Diskussion der Alltagssituationen erfolgt nach folgenden Leitfragen, die der Reihe nach besprochen und diskutiert werden:

- Welche Situationen kennen die Fahrer, in denen ein Gerät vom Fahrersitz aus nicht oder nur schlecht erreichbar ist?
- Welche Situationen kennen die Fahrer, in denen ein Gerät von der Liege aus nicht oder nur schlecht erreichbar ist?
- Welche Situationen kennen die Fahrer, in denen ein Gerät im Außenbereich des Fahrzeugs nicht oder nur schlecht erreichbar ist?
- Welche Situationen kennen die Fahrer, in denen die Bedienung eines Geräts unkomfortabel oder gar körperlich anstrengend ist?
- Welche Situationen kennen die Fahrer, in denen die Hände bzw. die zu bedienenden Geräte schmutzig sind, eine Verschmutzung aber vermieden werden soll?
- Welche Situationen kennen die Fahrer, in denen ein Gerät nicht bedient werden kann, weil beide Hände belegt sind?

Im zweiten Teil der Fokusgruppe werden die Fahrer zunächst über die technischen Grundzüge der berührungsfreien Gestensteuerung aufgeklärt, bevor ihnen dann verschiedene Fahrzeugfunktionen präsentiert werden. Für jede dieser Funktionen sollen die Fahrer bewerten, für wie sinnvoll, praktikabel und nutzbringend sie den Einsatz einer Gestensteuerung erachten. Zur Bewertung besitzt jeder Fahrer fünf Karten. Diese tragen Ziffern von 1 (sehr schlechte Bewertung) bis 5 (sehr gute Bewertung) entsprechend den Abstufungen einer fünfstufigen Rating-Skala. Nachdem den Fahrern eine Funktion präsentiert und der potenzielle Funktionsumfang einer etwaigen Gestensteuerung erläutert wurde, nimmt jeder Fahrer für sich eine Bewertung vor. Im Anschluss daran begründet bzw. kommentiert jeder Fahrer seine Bewertung. Unterschiedliche Bewertungen dienen als Grundlage für die nachfolgende Diskussion und werden vom Moderator gezielt angesprochen. Die Äußerungen der Fahrer werden zusammen mit den jeweiligen Einzelbewertungen protokolliert und auf einer Pinnwand schriftlich festgehalten (vgl. Abbildung 4-6).



Abbildung 4-6: Um zu bewerten, für wie nutzbringend die Fahrer den Einsatz einer Gestensteuerung für eine bestimmte Funktion erachten, werden in der Fokusgruppe Bewertungskärtchen verwendet, die zunächst verdeckt auf den Tisch gelegt und dann von allen gleichzeitig umgedreht werden. Die Äußerungen der Fahrer in der sich anschließenden Diskussion werden auf einer Pinnwand festgehalten.

Insgesamt werden von den Fahrern 27 Funktionen bewertet und diskutiert, wobei bei den Funktionen zwischen einer Bedienung vom Fahrersitz bzw. von der Liege aus unterschieden wird. Die betrachteten Funktionen beinhalten dabei sowohl die Ergebnisse der vorangehenden Analysemethoden (Aufgabenanalyse, Erreichbarkeitsanalyse und beobachtende Mitfahrt) als auch jene Anwendungsfälle, die im ersten Teil der Fokusgruppe identifiziert wurden. Darüber hinaus werden weitere, bisher noch nicht betrachtete Fahrzeugfunktionen einer Bewertung unterzogen und diskutiert. Hierdurch sollen weitere Erkenntnisse zur Akzeptanz und generellen Einstellung der Fahrer gegenüber einer Gestensteuerung gewonnen werden.

Stichprobe

An der Fokusgruppe nahmen fünf Fahrer im Alter zwischen 29 und 62 Jahren ($M = 50.6$; $SD = 13.7$) teil. Die Fahrer hatten eine durchschnittliche Berufserfahrung von 20.2 Jahren ($SD = 9.1$). Bei der Auswahl der Teilnehmer wurde darauf geachtet, Vertreter verschiedener Altersgruppen einzuladen. Zudem wurde wie bereits auch bei den Mitfahrten eine möglichst hohe Variabilität bezüglich Einsatzsegment, Fahrzeug, sowie Aufbau und üblicherweise transportierter Ladung angestrebt. So waren in der Fokusgruppe alle drei Einsatzsegmente (Fern-, Verteiler- und Baustellenverkehr) vertreten. Einige der Fahrer wiesen Berufserfahrung in mehreren Einsatzsegmenten auf. Eine Varianz war auch hinsichtlich der gefahrenen Fahrzeuge (u. A. Tankzug, Kipper, Fahrzeug mit Abrollcontainer) und Fahrzeugmarken (Mercedes-Benz, MAN, DAF) gegeben. Praktische Erfahrung mit berührungsfreien Gestensteuerungen hatte indessen keiner der Teilnehmer.

Ergebnisse der Fokusgruppe

Im ersten Teil der Fokusgruppe wurden die Fahrer nach Alltagssituationen gefragt, in denen die Bedienung einer Fahrzeugfunktion oder die Betätigung eines Stellteils aufgrund schlechter Erreichbarkeit, körperlicher Belastung, Verschmutzung oder belegter Hände problematisch ist.

Hinsichtlich der Erreichbarkeit vom Fahrersitz aus gaben die Fahrer an, dass eine Bedienung der Feststellbremse sowie eine Betätigung gewisser Nebenantriebe aufgrund schlechter Erreichbarkeit schwierig seien.

Von der Liege aus scheint hingegen die Erreichbarkeit anderer Funktionen eine Rolle zu spielen. Hier nannten die Fahrer u. A. die Bedienung des Radios, das Aktivieren der Standheizung sowie das Einschalten des Innenlichts. Die Erreichbarkeit entsprechender Bedienelemente sei hier auch deswegen schwierig, weil die Liegeposition des Fahrers öfters unterschiedlich sei. Abhängig von der Querneigung des geparkten Fahrzeugs liegt der Fahrer mit dem Kopf entweder auf der Fahrer- oder auf der Beifahrerseite. Dies würde nach Aussage der Fahrer sogar die Bedienung der im Bereich der Liege angebrachten Leselampen erschweren.

Im Außenbereich des Fahrzeugs sei vor allem das ECAS-Bedienmodul zur Steuerung der Luftfederung schlecht erreichbar. Die Fahrer bemängelten, dass es längere Laufwege erfordern würde, insbesondere wenn sich der Fahrer am Heck des Fahrzeugs befindet. Darüber hinaus sei aber auch das Öffnen des Außenstaufachs problematisch, da sich der Öffnungsmechanismus des Staufachs im Fahrzeuginneren befinde und daher von außen schlecht erreichbar sei. Darüber hinaus störten sich die Fahrer an der Tatsache, dass bestimmte Leuchten im Außenbereich des Fahrzeugs nur über den Innenraum bedient werden können. So müssten die Fahrer jedes Mal erst in das Fahrzeug einsteigen, wenn sie beispielsweise für Arbeiten außerhalb des Fahrzeugs die Arbeitsscheinwerfer benötigen.

In Bezug auf eine unkomfortable bzw. körperlich belastende Interaktion nannten die Fahrer das Hochklappen der Liege für einen besseren Zugang zu den darunterliegenden Staufächern. Aber auch das Hervorziehen der Kühlbox sei aufgrund des schwergängigen Verstellmechanismus unkomfortabel und anstrengend.

Zum Thema Verschmutzung nannten die Fahrer erneut das ECAS-Bedienmodul sowie das Außenstaufach. Das ECAS-Bedienmodul sei insbesondere bei einer Bedienung mit Handschuhen einer ständigen Verschmutzung ausgesetzt. Die Fahrer würden sogar versuchen, die Schutzfolie, welche sich bei Auslieferung eines Neufahrzeugs auf dem ECAS-Bedienmodul befindet, so lange wie möglich dort zu belassen, um einer Verschmutzung und infolgedessen einer Abnutzung des ECAS-Bedienmoduls vorzubeugen. Aber auch das Öffnen des Außenstaufachs sei in dieser Hinsicht problematisch. Da das Außenstaufach zunächst über den Innenraum entriegelt werden muss, führt eine Betätigung mit schmutzigen Händen bzw. Handschuhen zu einer Verschmutzung der Fahrerkabine. Ebenso sei auch die Staufachklappe selbst häufig schmutzig.

Zuletzt wurden die Fahrer nach Situationen befragt, in denen eine Interaktion aufgrund belegter Hände problematisch sei. Auch hier nannten die Fahrer das Öffnen des Außenstaufachs, während in beiden Händen bspw. Spanngurte oder andere Gegenstände getragen werden. Zudem gaben die Fahrer an, dass das Öffnen der Fahrzeugtür mit zwei belegten Händen schwierig sei, aber durchaus vorkomme.

Zusätzlich zu den hier berichteten Ergebnissen nannten die Fahrer im ersten Teil der Fokusgruppe auch andere Fahrzeugfunktionen bzw. Alltagssituationen, für die es per se jedoch keine sinnvolle Möglichkeit zum Einsatz einer Gestensteuerung zu geben scheint. Hierzu zählen etwa die Positionierung des Getränkehalters, der Zugang zum Einfüllstutzen des Dieseltanks, das Anschließen der Druckluftschläuche des Aufliegers oder das Hantieren mit den Stützen einer Wechselbrücke. Da hierfür der Einsatz einer Gestensteuerung von vorne herein ausgeschlossen werden kann, werden diese Fahrzeugfunktionen bzw. Alltagssituationen hier nicht weiter vertieft und ebenso wenig im zweiten Teil der Fokusgruppe einer Bewertung unterzogen.

In Tabelle 4-4 sind für ausgewählte Anwendungsfälle die Ergebnisse der im zweiten Teil der Fokusgruppe durchgeführten Bewertung dargestellt. Hierbei handelt es sich um jene Anwendungsfälle, die bereits in den vorangehenden Analysen bzw. im ersten Teil der Fokusgruppe diskutiert wurden. Alle weiteren Anwendungsfälle, die von den Fahrern in der Fokusgruppe bewertet wurden, sind für die weitere Entwicklung weniger relevant, weswegen die Ergebnisse zu deren Bewertung hier nicht berichtet werden.

Tabelle 4-4: Durchschnittliche Bewertung der relevantesten Anwendungsfälle in Hinblick auf deren Eignung für den Einsatz einer Gestensteuerung

<i>Anwendungsfall</i>	<i>Bewertung</i>	
	<i>M</i>	<i>SD</i>
<i>Interaktion im Bereich des Fahrersitzes</i>		
Vor- und Zurückfahren der Kühlbox	4.8	0.4
Anzeige spezifischer Fahrzeugdaten	4.0	0.7
Ein- und Ausschalten der Leseleuchten	3.8	1.1
Einstellen des Sonnenrollos	3.8	0.8
<i>Interaktion im Bereich der Liege</i>		
Bedienung der Standheizung	4.0	0.0
Ein- und Ausschalten der Leseleuchten	3.8	0.4
Bedienung von Multimedia-Funktionen	3.2	0.8
<i>Interaktion im Außenbereich</i>		
Öffnen des Außenstaufachs	4.8	0.4
Öffnen der Fahrertür von außen	4.0	0.7
Anpassen der Fahrzeughöhe über die Luftfederung	4.0	1.0
Steuerung der Außenbeleuchtung	3.6	1.3
Steuerung der Ladebordwand	3.0	1.6
Zurücksetzen des Fahrzeugs	2.6	1.8

Bewertungsmaßstab: 1 = sehr schlecht; 2 = schlecht; 3 = neutral; 4 = gut; 5 = sehr gut
M = Mittelwert; *SD* = Standardabweichung

Wie die Ergebnisse zeigen, gibt es mehrere Anwendungsfälle, die von den Fahrern als durchaus positiv bewertet wurden, d. h. für die die Fahrer einen entsprechenden Mehrwert im Einsatz einer Gestensteuerung sehen. Im Bereich des Fahrersitzes erachteten die Fahrer eine Gestensteuerung insbesondere für das Vor- und Zurückfahren der Kühlbox für sinnvoll. In der Diskussion bestätigte sich, dass die Motivation für den Einsatz einer Gestensteuerung darin liegt, dass das manuelle Bewegen der Kühlbox unkomfortabel und mit körperlicher Anstrengung verbunden ist, was zudem durch die schlechte Erreichbarkeit der Kühlbox verstärkt wird. Dabei zeigte sich auch, dass

sich die Fahrer aus diesem Anwendungsfall ein gewisses Nutzererlebnis versprechen. In der Diskussion äußerten die Fahrer, dass sie Gefallen darin finden würden, die Kühlbox lediglich mit einem Wink der Hand bewegen zu können.

Ähnlich positiv bewertet wurde das Abrufen spezifischer Fahrzeugdaten mittels Gestensteuerung. Nach Auffassung der Fahrer ließe sich hier durch die Nutzung von Gesten als Shortcuts die Bedienung verkürzen und vereinfachen. Vorteile im Einsatz einer Gestensteuerung sahen die Fahrer auch für das Einschalten der Leseleuchten sowie das Einstellen des Sonnenrollos, was in beiden Fällen durch den Aspekt der Erreichbarkeit begründet wurde. Allerdings äußerten die Fahrer zu beiden Anwendungsfällen auch Bedenken. So könnte etwa eine versehentliche Aktivierung der Leseleuchten den Fahrer während einer Nachtfahrt blenden oder ein ungewolltes Herablassen des Sonnenrollos die Sicht des Fahrers behindern. Im Fall der Sonnenblende zeigten sich die Fahrer auch in Hinblick auf die Genauigkeit, mit der das Sonnenrollo per Gestik eingestellt werden könne, skeptisch.

Der Einsatz einer Gestensteuerung im Bereich der Liege wurde von den Fahrern tendenziell positiv bewertet. In der Diskussion äußerten die Fahrer aber auch hier zu den einzelnen Anwendungsfällen Befürchtungen und Vorbehalte. Gemäß den Fahrern sei so zwar ein Aktivieren der Standheizung mittels Gestik aufgrund von Erreichbarkeit und Bedienkomfort durchaus sinnvoll, weitere Bedienhandlungen, wie etwa das Einstellen der gewünschten Temperatur, seien nach Auffassung der Fahrer jedoch weniger zur Gesten- als mehr zur Sprachbedienung geeignet. Grundsätzlich schienen die Fahrer die Befürchtung zu haben, dass bei einer Gestensteuerung im Bereich der Liege Funktionen unbeabsichtigt im Schlaf ausgelöst werden können. Das versehentliche Einschalten des Innenlichts oder die ungewollte Wiedergabe von Musik aufgrund zufällig ausgeführter Bewegungen im Schlaf würden den Fahrer wecken. Demnach müsse laut Aussage der Fahrer die Möglichkeit geschaffen werden, eine Gestensteuerung für entsprechende Funktionen zu deaktivieren. Für die Bedienung von Multimedia-Funktionen wie Radio, Musik- und TV-Wiedergabe stellten die Fahrer in der Diskussion zudem die Relevanz einer Gestensteuerung in Frage. Häufig beschränke sich der Aufenthalt auf dem Rastplatz auf Tätigkeiten wie Essen und Schlafen und lasse eine Nutzung solcher Funktionen nicht immer zu.

Für die Anwendungsfälle im Außenbereich des Fahrzeugs fielen die Bewertungen unterschiedlich aus. Am besten bewertet wurde das Öffnen des Außenstaufachs. Hierin sahen die Fahrer mehrere Vorteile. Mittels Gestensteuerung kann das Staufach schnell und einfach von außen geöffnet werden. Der Hebel zum Entriegeln der Staufachklappe im Inneren des Fahrzeugs muss dazu nicht länger erreicht werden. Im Falle einer Gestensteuerung stellen auch schmutzige oder belegte Hände kein Problem mehr dar, sofern das Staufach mit einer entsprechenden Fußgeste geöffnet werden kann (vgl. Abschnitt 3.1.4). Eine solche Bedienung sei den Fahrern bereits aus dem Pkw zum Öffnen der Heckklappe bekannt. Auch standen die Fahrer einem Öffnen der Fahrzeugtür mittels Fußgeste offen gegenüber. Den Fall, dass die Fahrzeugtür geöffnet werden soll, während beide Hände belegt sind, bezeichneten die Fahrer jedoch wörtlich als „Luxusproblem“.

Deutliches Potenzial sahen die Fahrer im Anpassen der Fahrzeughöhe über eine gestengesteuerte Luftfederung. Wie bereits im ersten Teil der Fokusgruppe angemerkt wurde, ließen sich hierdurch die bisherigen Laufwege einsparen und einer Verschmutzung vorbeugen. Ähnliche Vorteile sahen die Fahrer auch im Einsatz einer Gestensteuerung für die Außenbeleuchtung. Derartige Anwendungsfälle kämen jedoch eher selten vor. Noch am häufigsten würden die Fahrer hier die Arbeitsscheinwerfer verwenden. Eine Funktionsprüfung der Leuchten würden die Fahrer hingegen nur vereinzelt durchführen, sodass hierfür eine Gestensteuerung tendenziell weniger relevant wäre.

Eine grundlegende Skepsis gegenüber sämtlichen Anwendungsfällen im Außenbereich des Fahrzeugs besaßen die Fahrer hinsichtlich der Eindeutigkeit und Zuverlässigkeit der Gestenerkennung. Zum einen befürchteten die Fahrer, die Gestenerkennung könnte auch Gesten anderer Personen, die sich in Fahrzeugnähe aufhalten, erkennen. Dies könnte zu einer ungewollten oder gar missbräuchlichen Steuerung von Fahrzeugfunktionen durch unbeteiligte Dritte führen. Zum anderen zweifelten die Fahrer an der Genauigkeit und Zuverlässigkeit der Gestenerkennung. Eine Gestensteuerung biete nach Auffassung der Fahrer nicht die Feinfühligkeit, um etwa die Ladebordwand oder gar das gesamte Fahrzeug mit der jeweils erforderlichen Genauigkeit zu positionieren. Zudem könne eine fehlende Unterbrechbarkeit bzw. eine zu langsame Reaktion des Systems zu Kollisionen führen und dadurch Sach- und Personenschäden verursachen. Vor diesem Hintergrund werden von den Fahrern Fehlerkennungen per se als kritisch eingestuft. Das dadurch entstehende Risiko würde den Einsatz einer Gestensteuerung zum Zwecke einer schnelleren oder komfortableren Bedienung kaum rechtfertigen.

Diskussion der Ergebnisse

Die Ergebnisse der Fokusgruppe bestätigen die Annahmen und Erkenntnisse aus den vorangehenden Analysen in weiten Teilen. So brachten die Fahrer bereits im ersten Teil der Fokusgruppe einige problematische Alltagssituationen auf, für die bereits im Rahmen der Aufgabenanalyse bzw. im Rahmen der Mitfahrten der Einsatz einer Gestensteuerung in Erwägung gezogen wurde. Aber auch die Ergebnisse der Gruppendiskussion im zweiten Teil der Fokusgruppe entsprechen überwiegend den Erwartungen aus den vorangehenden Analysen. Viele der bereits im Vorfeld als problematisch eingestuften Funktionen wurden von den Fahrern im Rahmen der Diskussion als solche bestätigt.

Darüber hinaus bot die Fokusgruppe die Möglichkeit, neue, bisher noch nicht betrachtete Anwendungsfälle für eine Gestensteuerung zu identifizieren. An vorderster Stelle ist hier das Öffnen des Außenstaufachs zu nennen, was in mehrerlei Hinsicht als problematisch eingestuft wurde und wofür der Einsatz einer Gestensteuerung deutlich befürwortet wurde.

Für einige potenzielle Anwendungsfälle war es hingegen möglich, durch die Fokusgruppe neue Erkenntnisse zu den Gewohnheiten der Fahrer zu gewinnen und dadurch weitere Maßnahmen für den Einsatz einer Gestensteuerung abzuleiten. Äußerungen der Fahrer hinsichtlich der Nutzung

der Außenbeleuchtung oder zum Gebrauch von Funktionen im Bereich der Liege erlauben es, die einzelnen Funktionen nach ihrer Relevanz zu gewichten und darüber die jeweiligen Anwendungsfälle für den Einsatz einer Gestensteuerung entsprechend zu priorisieren.

Grundsätzlich standen die Fahrer der Gestensteuerung per se durchaus offen und positiv gegenüber, was sich nicht nur an den größtenteils guten bis tendenziell sehr guten Bewertungen ablesen lässt, sondern sich auch im Rahmen der Diskussion widerspiegelte. Dies mag vermutlich auf die Prämisse zurückzuführen sein, dass der Einsatz einer Gestensteuerung dazu beitragen soll, den Fahrer zu entlasten und seinen Arbeitsalltag zu erleichtern. Hinsichtlich einiger Funktionen äußerten die Fahrer jedoch Bedenken und stellten die Eignung der Gestensteuerung für bestimmte Anwendungsfälle in Frage. Vor allem bei sicherheitskritischen Funktionen, wie dem Steuern der Ladebordwand oder dem Bewegen des kompletten Fahrzeugs, zweifelten die Fahrer an der technischen Zuverlässigkeit der Gestensteuerung. Den Fahrern schien das Risiko einer unzureichend genauen oder gar fehlerhaften Gestenerkennung zu hoch zu sein. Auch bei Funktionen, die im Falle einer Fehlerkennung den Fahrer ablenken könnten, wie etwa das Innenlicht oder das Sonnenrollo, wurden von den Fahrern kritischer eingestuft als Funktionen ohne ein solches Risiko. Selbst bei den Funktionen, die im Bereich der Liege genutzt werden, waren die Fahrer zum Teil skeptisch – könnte doch eine unbewusst im Schlaf ausgeführte Bewegung zu einer ungewollten Gestenbedienung führen. So scheint es, als würde neben dem potenziellen Mehrwert einer Gestensteuerung auch der potenzielle Schaden im Falle einer Fehlerkennung die Fahrer bei der Bewertung der Anwendungsfälle beeinflussen. Infolgedessen lassen sich für die spätere Gestaltung und technische Umsetzung der Gestensteuerung erste Anforderungen ableiten. Eine geringe Fehlerrate, kurze Reaktionszeiten, eine Unterbrechbarkeit der Gesteninteraktion sowie die Möglichkeit zum Deaktivieren der Gestenerkennung scheinen hier maßgeblich zu sein.

Mit den Ergebnissen der Fokusgruppe ist es letztlich möglich, die relevantesten Anwendungsfälle für den Einsatz einer Gestensteuerung zu bestimmen. Hierfür bietet insbesondere die Bewertung der Anwendungsfälle im zweiten Teil der Fokusgruppe eine solide Entscheidungsgrundlage. Es ist jedoch anzumerken, dass es sich bei diesen Bewertungsergebnissen um wenige, statistisch nicht repräsentative Einzelmeinungen handelt. Eine Verallgemeinerung der Ergebnisse ist daher zwar nicht möglich – zusammen mit den Ergebnissen der vorangehenden Analysen sowie den Aussagen der Fahrer im Rahmen der Diskussion eignen sich die Bewertungsergebnisse dennoch zur Plausibilisierung potenzieller Anwendungsfälle. Auf diese Weise lässt sich die Grundmenge an Anwendungsfällen auf die potenziell geeignetsten Anwendungsfälle eingrenzen.

4.3 Diskussion des Methodenmix

Zur Identifikation von Anwendungsfällen für den Einsatz einer Gestensteuerung im Nutzfahrzeug kam im Rahmen dieser Arbeit ein Methodenmix aus einer Aufgabenanalyse, einer Erreichbarkeitsanalyse, einer beobachtenden Mitfahrt sowie einer Fokusgruppe zur Anwendung. Dabei war

es das Ziel, Arbeitsabläufe bzw. Fahrzeugfunktionen zu identifizieren, für die der Einsatz einer Gestensteuerung einen potenziellen Mehrwert verspricht. Der potenzielle Mehrwert umfasst dabei eine effizientere Interaktion des Fahrers mit dem Fahrzeug, eine komfortablere und physisch weniger belastende Bedienung, eine reduzierte Ablenkung während der Fahrt sowie eine Steigerung der Sauberkeit und das Schaffen eines positiven Nutzererlebnisses. A posteriori können auch ein Zugewinn an Sicherheit (z. B. durch eine bessere Sicht beim Zurücksetzen des Fahrzeugs) sowie eine Interaktion mit belegten Händen (z. B. durch die Verwendung von Fußgesten) zum potenziellen Mehrwert einer Gestensteuerung hinzugezählt werden.

Der Methodenmix lieferte eine Reihe von Anwendungsfällen, für die der Einsatz einer Gestensteuerung einen entsprechenden Mehrwert bringen könnte. In dieser Hinsicht kann der Einsatz der einzelnen Methoden als erfolgreich angesehen werden. Die Kombination der Methoden und eine aufeinander aufbauende Durchführung leisteten hierzu einen maßgeblichen Beitrag. So war es auf der einen Seite durch die Anwendung der unterschiedlichen Methoden überhaupt erst möglich, einen derart breiten Nutzungskontext umfassend zu beleuchten. Jede Methode für sich besitzt einen bestimmten Untersuchungsschwerpunkt, der den Fokus der jeweiligen Analyse einschränkt. Die Durchführung einer einzelnen Methode würde daher lediglich ein unvollständiges Ergebnis liefern. Erst durch die Kombination verschiedener Methoden und durch die Aggregation der jeweiligen Einzelergebnisse lässt sich ein umfassendes Gesamtergebnis erzielen. Auf der anderen Seite liefert der Methodenmix aber auch Ergebnisse deutlich höherer Validität (*kumulative Validierung*, vgl. Bortz & Döring, 2006). So können etwa durch den Einsatz entsprechender Methoden verschiedene Anwendungsfälle zunächst theoretisch hergeleitet und dann durch empirische Analysen plausibilisiert und dementsprechend bestätigt oder relativiert werden. Eine Relativierung ist insbesondere dann erforderlich, wenn sich die Ergebnisse einzelner Methoden widersprechen. So wurden etwa im Rahmen der theoretischen Aufgabenanalyse das Zurücksetzen des Fahrzeugs und die Steuerung der Außenbeleuchtung als potenzielle Anwendungsfälle identifiziert, die Ergebnisse der nachfolgend durchgeführten Analysen (vgl. beobachtende Mitfahrt, Fokusgruppe) lassen hierfür jedoch nur eine begrenzte Wirksamkeit der Gestensteuerung vermuten. Folglich wurde im Weiteren von diesen Anwendungsfällen abgesehen. Wie sich letztlich zeigt, stellt die aufeinander aufbauende Durchführung der Methoden einen kontinuierlichen Erkenntnisgewinn sicher. Dies ermöglicht nicht nur eine zielgerichtetere und damit effektivere Durchführung nachfolgender Methoden, sondern schafft auch das für die Gestaltung erforderliche Verständnis des tatsächlichen Nutzungskontexts.

Die Anwendung des hier vorgestellten Methodenmix unterliegt jedoch auch gewissen Restriktionen. So basiert die Identifikation und Auswahl von potenziellen Anwendungsfällen für eine Gestensteuerung zunächst lediglich auf dem zu erwartenden Mehrwert. Neben dem Mehrwert spielen aber auch andere Aspekte eine nicht weniger wichtige Rolle. So ist es für den erfolgreichen Einsatz einer Gestensteuerung etwa ebenso erforderlich, den betreffenden Anwendungsfall durch ein adäquates Bedienkonzept abbilden zu können und dieses durch eine geeignete Gestenerkennung

zuverlässig zu unterstützen. Wie sich bereits im Rahmen der Fokusgruppe zeigte, scheint die Zuverlässigkeit einer Gestenerkennung die Akzeptanz der Fahrer maßgeblich zu beeinflussen. Eine unzureichend zuverlässige Gestensteuerung würde von den Fahrern vermutlich seltener oder gar nicht genutzt werden, sodass die Fahrer auch nicht vom Mehrwert der Gestensteuerung profitieren würden. Die technischen Möglichkeiten und Grenzen der Gestenerkennung sollten daher bereits bei der Definition der Anwendungsfälle berücksichtigt werden. Aber auch in Hinblick auf die konzeptionelle Gestaltung ist es wichtig, potenzielle Anwendungsfälle möglichst früh einer Prüfung zu unterziehen. Schließlich ist zu erwarten, dass eine Gestensteuerung, die schlechter zu bedienen ist als eine entsprechende konventionelle Steuerung, von den Fahrern ebenso wenig akzeptiert wird wie eine unzuverlässige Gestenerkennung. Daher ist ein grundlegendes Bewusstsein über den gestalterischen Spielraum bereits zum Zeitpunkt der Analyse durchaus sinnvoll – zumal die Ergebnisse einer Analyse bereits bestimmte Hinweise auf eine entsprechende Gestaltung geben können, wie etwa die Anforderung, eine Gestensteuerung deaktivieren zu können oder etwa die Möglichkeit, bereits im Nutzungskontext gebräuchliche Gesten für eine Gestensteuerung zu verwenden.

5 Ergonomische Gestaltungskriterien der berührungsfreien Gestensteuerung

Während im vorangehenden Kapitel verschiedene Anwendungsfälle für eine Gestensteuerung im Nutzfahrzeug auf Grundlage des zu erwartenden Mehrwerts identifiziert wurden, soll im Rahmen dieses Kapitels die ergonomische Gestaltung entsprechender Bedienkonzepte zur Gestensteuerung betrachtet werden. Wie sich bereits während der Analyse gezeigt hat, ist für den wirkungsvollen Einsatz einer Gestensteuerung der potenzielle Mehrwert allein nicht ausreichend. Als mindestens ebenso wichtig erscheinen eine zuverlässige Gestenerkennung sowie eine gute Bedienbarkeit der Gestensteuerung. Vor diesem Hintergrund werden nachfolgend verschiedene Gestaltungskriterien definiert. Diese sollen einerseits den Spielraum bei der Gestaltung eines Bedienkonzepts zur Gestensteuerung aufzeigen und dabei eine Hilfestellung zur ergonomischen Gestaltung bieten. Andererseits sollen die Gestaltungskriterien aber auch dazu dienen, ein frühes Bewusstsein für die ergonomische Gestaltung zu schaffen. Dieses Bewusstsein kann während des Prozesses der Analyse bereits dazu dienen, Anwendungsfälle hinsichtlich einer Bedienbarkeit per Gestensteuerung zu prüfen. Neben dem potenziellen Mehrwert stellt die gute Bedienbarkeit ein wesentliches Kriterium für die Wirksamkeit einer Gestensteuerung dar. Sie sollte daher bereits bei der Identifikation und Auswahl von Anwendungsfällen Berücksichtigung finden.

5.1 Bedeutung ergonomischer Gestaltung – das Technology Acceptance Model

Welche Auswirkungen eine gute Bedienbarkeit auf die Akzeptanz und damit auf die Nutzung eines Systems hat, lässt sich mit dem Technology Acceptance Model (TAM) nach Davis (1989) zeigen (Abbildung 5-1). Das Modell liefert einen Erklärungsansatz für die Akzeptanz von Informations- und Kommunikationstechnologien. Dazu definiert es zwei Variablen, welche die Akzeptanz beeinflussen: den wahrgenommenen Nutzen (*Perceived Usefulness*) und die wahrgenommene Einfachheit der Nutzung (*Perceived Ease of Use*). Beide Variablen nehmen Einfluss auf die Einstellung des Nutzers zur Nutzung eines Systems, welche sich wiederum auf seine Nutzungsabsicht auswirkt und darüber letztlich die tatsächliche Systemnutzung beeinflusst (Davis, Bagozzi & Warshaw, 1989, zitiert nach Trübswetter, 2015).

Den wahrgenommenen Nutzen definiert Davis (1986) als individuelle Überzeugung, dass die Nutzung einer bestimmten Technologie zu einer Steigerung der Leistung führen kann. In Hinblick auf eine zu entwickelnde Gestensteuerung kann hierunter der Mehrwert verstanden werden, der durch den Einsatz einer Gestensteuerung erzielt werden soll. Entscheidend dabei ist, dass dieser Mehrwert von den Nutzern auch als solcher wahrgenommen wird. Schließlich hängen die Nutzung einer Gestensteuerung und damit auch deren Wirksamkeit davon ab, wie sehr der Fahrer die Gestensteuerung als Bereicherung für seinen Arbeitsalltag sieht.

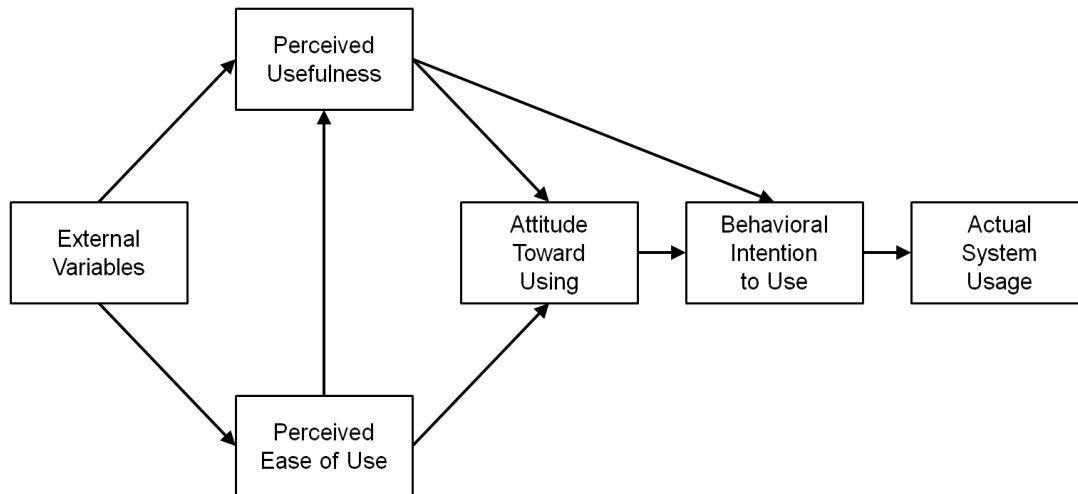


Abbildung 5-1: Das Technology Acceptance Model (TAM) beschreibt den wahrgenommenen Nutzen (*Perceived Usefulness*) und die wahrgenommene einfache Nutzung (*Perceived Ease of Use*) als die zwei maßgeblichen Variablen der Technikakzeptanz (Davis, Bagozzi & Warshaw, 1989).

Die wahrgenommene Einfachheit der Nutzung wird von Davis (1986) als subjektiv erlebte Anstrengung beschrieben, die der Nutzer aufwenden muss, um ein System zu nutzen. Diese Anstrengung lässt sich durch eine gute Bedienbarkeit des Systems weitestgehend reduzieren. Aus Sicht der Ergonomie sind eine gute Bedienbarkeit sowie eine einfache Nutzung durch eine möglichst hohe *Usability* und eine entsprechend gebrauchstaugliche Gestaltung zu erreichen. Gemäß DIN EN ISO 9241-11: 2017-01 bezeichnet *Usability* das Ausmaß, in dem ein System durch einen bestimmten Nutzer in einem bestimmten Nutzungskontext genutzt werden kann, um Ziele effektiv, effizient und zufriedenstellend zu erreichen. Eine hohe Effektivität, Effizienz und Zufriedenheit des Nutzers sind dabei als Resultat einer einfachen Nutzung zu sehen. Eine der *Usability* entsprechende ergonomische Gestaltung ist somit die zweite Grundvoraussetzung für die Akzeptanz und Wirksamkeit der berührungsfreien Gestensteuerung.

5.2 Beschreibung der ergonomischen Gestaltungskriterien

Um die ergonomische Gestaltung einer Gestensteuerung zu unterstützen, werden nachfolgend verschiedene Gestaltungskriterien angeführt und beschrieben. Diese Gestaltungskriterien sollen aufzeigen, welche Eigenschaften und Charakteristiken die berührungsfreie Gestensteuerung aufweisen kann und wie diese bei der Entwicklung und Gestaltung entsprechender Bedienkonzepte zu berücksichtigen sind.

Inwiefern Gestaltungskriterien bei der Entwicklung neuer Bedienkonzepte unterstützen können, zeigt bereits Sandler (2007). In seiner Arbeit führt Sandler (2007) verschiedene Gestaltungskriterien an, die bei der Gestaltung haptischer Bedienelemente von Bedeutung sind. Die Gestaltungskriterien entstammen dabei vornehmlich der arbeitswissenschaftlichen Literatur und geben einen Rahmen für die Entwicklung und den Einsatz haptischer Bedienelemente vor.

Auch die nachfolgend dargestellten Gestaltungskriterien beziehen Erkenntnisse aus der arbeitswissenschaftlichen Literatur mit ein. Dies geschieht, indem die in der Literatur beschriebenen allgemeinen ergonomischen Grundprinzipien auf den Kontext der berührungsfreien Gestensteuerung übertragen werden. Aspekte wie *Kompatibilität* oder *Feedback* sollen erläutert und bezüglich der berührungsfreien Gestensteuerung diskutiert werden. Darüber hinaus werden aber auch wissenschaftliche Erkenntnisse herangezogen, die sich konkret auf die Gestaltung von Gestensteuerungskonzepten beziehen. Dies umfasst einerseits Aspekte, die nutzerseitig zur ergonomischen Gestaltung beitragen, wie etwa die Definition eines geeigneten *Gestenvokabulars* oder dessen *biomechanische Beherrschbarkeit*. Andererseits spielen hierbei aber auch technische Aspekte eine Rolle, die systemseitig eine gute Usability fördern, wie beispielsweise eine ausreichende *Zuverlässigkeit*, *Toleranz* und *Robustheit* der Gestenerkennung. Einen Überblick über die nachfolgend beschriebenen und diskutierten Gestaltungskriterien gibt Abbildung 5-2.



Abbildung 5-2: Überblick über die für die ergonomische Gestaltung einer berührungsfreien Gestensteuerung relevanten Gestaltungskriterien

Da die hier dargestellten Gestaltungskriterien durchgängig in der wissenschaftlichen Literatur zu finden sind, ist davon auszugehen, dass es sich hierbei um die wohl wichtigsten Gestaltungskriterien für die Entwicklung berührungsfreier Gestensteuerungen handelt. Dabei ist anzumerken, dass die ergonomische Gestaltung einer Gestensteuerung vor allem auch vom jeweiligen Anwendungsfall abhängt. Daher sollen die Gestaltungskriterien im Folgenden nicht nur allgemein beschrieben werden, sondern insbesondere auch in Hinblick auf einen Einsatz der Gestensteuerung im Nutzfahrzeug diskutiert werden. Zudem muss angenommen werden, dass einzelne Gestaltungskriterien voneinander abhängig sind und sich gegenseitig beeinflussen. Dementsprechend sollen nachfolgend auch etwaige Wechselwirkungen zwischen den Gestaltungskriterien aufgezeigt werden.

5.2.1 Zuverlässigkeit, Toleranz und Robustheit

Eine wesentliche Anforderung an die Gestaltung von Gestensteuerungssystemen ist eine hohe Zuverlässigkeit der Gestenerkennung (Gable, May & Walker, 2014; Stecher et al., 2015). Das zuverlässige Erkennen von Gesten stellt nach Preim und Dachzelt (2015, S. 529) „die zentrale Herausforderung für die Entwicklung gestenbasierter Systeme“ dar. Selbst moderne Gestensteuerungssysteme funktionieren nicht immer fehlerfrei, sodass Fehlerkennungen nicht auszuschließen sind (Riener et al., 2013). Die Entwicklung einer Gestensteuerung sollte daher eine möglichst hohe Erkennungsrate zum Ziel haben. Diese ist nicht nur als funktionale Voraussetzung einer Gestensteuerung zu sehen, sondern ist auch aus Sicht der Nutzer anzustreben. Schließlich sehen Manresa-Yee, Amengual und Ponsa (2013) in der Erkennungsrate ein Maß für die Effektivität der gestenbasierten Interaktion und damit einen direkten Zusammenhang mit der Usability einer Gestensteuerung. Eine verringerte Usability infolge einer unzureichenden Erkennungsrate reduziert nach Nestorov, Hughes, Healy, Sheehy und O'Hare (2016) zudem auch die wahrgenommene Nützlichkeit einer Gestensteuerung. Im schlechtesten Fall kann dies gar so weit führen, dass die Gestensteuerung aufgrund einer zu schlechten Erkennung als nutzlos wahrgenommen wird.

Die Erkennungsrate definiert sich als das Verhältnis aus korrekt erkannten Gesten zur Gesamtanzahl gestenbasierter Eingaben. Je geringer die Erkennungsrate ist, umso höher ist die Wahrscheinlichkeit einer Fehlerkennung. Hierbei ist jedoch zwischen verschiedenen Arten der Fehlerkennung zu unterscheiden. Eine Fehlerkennung liegt zum einen dann vor, wenn eine vom Nutzer ausgeführte Geste nicht erkannt wird und infolgedessen keine Funktion ausgelöst wird. Eine solche Fehlerkennung wird als *False Negative* bezeichnet. Zum anderen resultiert eine Fehlerkennung aber auch daraus, dass etwa eine zufällige Bewegung des Nutzers fälschlicherweise als Geste interpretiert wird und dadurch eine Funktion ungewollt ausgelöst wird. Diese Art der Fehlerkennung wird als *False Positive* bezeichnet. Gemäß ihrer Definition bedeutet eine hohe Erkennungsrate damit in erster Linie eine geringe Anzahl an *False Negatives*. *False Positives* werden durch die Erkennungsrate nicht berücksichtigt, spielen für die Zuverlässigkeit der Gestenerkennung aber eine ebenso wichtige Rolle. Dadurch ergibt sich letztlich die Anforderung, nicht nur die Erkennungsrate zu maximieren, sondern auch die Anzahl an *False Positives* zu minimieren.

Um den Forderungen nach einer hohen Zuverlässigkeit sowie einer geringen Anzahl an Fehlerkennungen gerecht zu werden, sollte die Gestenerkennung bestimmte Eigenschaften aufweisen. Hierzu zählen einerseits eine gewisse Toleranz hinsichtlich der Ausführung von Gesten, andererseits eine hohe Robustheit gegenüber äußeren Einflussfaktoren. Toleranz in der Gestenerkennung ist vor allem deswegen erforderlich, da die Gestensteuerung typischerweise von verschiedenen Nutzern genutzt wird. Daher ist mit interindividuellen Unterschieden bei der Ausführung von Gesten zu rechnen. Je nach Nutzer können etwa Bewegungsumfang, Geschwindigkeit, sowie Start- und Endposition einer Geste variieren. Aber auch intraindividuelle Unterschiede sind denkbar, wenn sich etwa mit zunehmender Übung die Geschwindigkeit oder die Bewegungsbahn einer Geste ändert (DIN EN ISO 9241-960:2015-09). Eine Gestensteuerung muss trotz dieser Varianz

in der Lage sein, Gesten zuverlässig zu erkennen. Dies lässt sich durch eine ausreichende Toleranz der Gestenerkennung sicherstellen, erfordert diesbezüglich aber auch einen gewissen Trade-off. So sinkt zwar mit zunehmender Toleranz die Anzahl an *False Negatives*, allerdings steigt damit auch die Gefahr von *False Positives* – schließlich werden durch eine hohe Toleranz auch zufällige Bewegungen leichter als vermeintliche Geste erkannt.

Eine weitere wichtige Eigenschaft von Gestensteuerungssystemen ist die Robustheit gegenüber externen Einflussfaktoren (Akyol et al., 2000a). Bei kamerabasierten Systemen zählen hierzu insbesondere starker Lichteinfall oder variierende Beleuchtungsverhältnisse, welche negative Auswirkungen auf die Gestenerkennung haben können (Geiger, 2003). Je nach Anwendungsfall sind aber auch noch weitere Störfaktoren denkbar, wie etwa bestimmte Witterungsverhältnisse, Verschmutzung oder schlichtweg eine variierende Umgebung. All diese Faktoren sind bei der Auswahl einer geeigneten Technologie zur Gestenerkennung zu berücksichtigen und nehmen einen entsprechenden Einfluss auf die Gestaltung von Gestensteuerungssystemen.

Auch wenn ein wesentliches Ziel der Gestaltung darin besteht, die Zuverlässigkeit der Gestensteuerung durch Toleranz und Robustheit zu maximieren, können Fehlerkennungen dennoch nie gänzlich ausgeschlossen werden. Vor diesem Hintergrund ist die Eignung einer Gestensteuerung für bestimmte Anwendungsfälle und Nutzungskontexte zu prüfen. So ist etwa der Einsatz einer Gestensteuerung für sicherheitskritische Funktionen bedenklich (Riener et al., 2013). Konkret bedeutet dies, dass Anwendungsfälle wie etwa ein Zurücksetzen des Fahrzeugs kritisch gesehen werden müssen. Ein ungewolltes Ingangsetzen des Fahrzeugs aufgrund von *False Positives* stellt ein zu großes Sicherheitsrisiko dar. Verschärft wird dies durch die Tatsache, dass hierfür die Gestenerkennung im Außenbereich des Fahrzeugs erfolgen müsste und zudem ein verhältnismäßig großer Erkennungsbereich sicherzustellen wäre. Dies stellt einerseits hohe Anforderungen an die Robustheit der Gestenerkennung, da hier Umwelteinflüsse wie starker Lichteinfall, ungünstige Witterungsverhältnisse und Verschmutzung besonders zum Tragen kommen. Andererseits muss der Fahrer trotz des großen Erkennungsbereichs eindeutig erkannt werden. Dies erfordert nicht nur eine hohe Auflösung der Gestenerkennung, sondern setzt auch Mechanismen voraus, anhand derer der Fahrer von etwaigen weiteren Personen im Erkennungsbereich unterschieden werden kann.

Aber auch andere Anwendungsfälle sind vor dem Hintergrund von Fehlerkennungen kritisch zu sehen. Hierzu zählt beispielsweise eine Menübedienung, die das Ausführen mehrerer Gesten in Folge erfordert. Je mehr Gesten aufeinanderfolgend ausgeführt werden müssen, umso größer ist die Wahrscheinlichkeit einer Fehlerkennung und einer dadurch bedingten Fehlbedienung. Dies wiederum mindert die Effizienz der Interaktion und führt zu einer verringerten Usability. Der Zusammenhang zwischen der Wahrscheinlichkeit einer Fehlerkennung und der Effizienz ist dabei jedoch nicht linear – schließlich birgt die Korrektur einer Fehlbedienung die Gefahr weiterer Fehlerkennungen (vgl. Bengler, 2000).

5.2.2 Gestenvokabular

Das *Gestenvokabular* definiert das für eine Gestensteuerung verwendete Set an Gesten (Nielsen, Störring, Moeslund & Granum, 2004). Das Gestenvokabular wird mitunter auch als *Gestensatz* bezeichnet und enthält neben einer Beschreibung der einzelnen Gesten auch die Zuordnung der Gesten zu den jeweiligen Funktionen, die gesteuert werden sollen (DIN EN ISO 9241-960: 2015-09). Da es per se kein universell gültiges Gestenvokabular gibt, ist für die Entwicklung einer Gestensteuerung eigens ein Gestenvokabular zu definieren. Hierfür sind grundsätzlich verschiedene Herangehensweisen denkbar. Nielsen et al. (2004) unterscheiden etwa zwischen einem technischen Ansatz (*technical based approach*) und einem nutzerbasierten Ansatz (*human based approach*). Beim technischen Ansatz besteht das Ziel darin, Gesten zu finden, die möglichst leicht und zuverlässig mit der zur Verfügung stehenden Technologie erkannt werden können. Hierdurch ist es möglich, beispielsweise durch maximale Unterscheidbarkeit der Gesten Fehlerkennungen zu reduzieren und dadurch die Zuverlässigkeit der Gestensteuerung zu erhöhen. Das grundsätzliche Problem bei diesem Vorgehen besteht jedoch darin, dass die Auswahl der Gesten nach keinen ergonomischen Gesichtspunkten erfolgt. Es entsteht somit die Gefahr, dass Gesten in das Vokabular aufgenommen werden, die für den Nutzer unter Umständen nur schwer auszuführen sind oder nicht mit seinen Erwartungen übereinstimmen. Eine mögliche Folge wäre, dass die Gesten dadurch schwer erlernbar und erinnerbar sind (vgl. Akyol et al., 2000b; DIN EN ISO 9241-960: 2015-09; Nielsen et al., 2004). Da in Hinblick auf die zu steuernden Funktionen die Auswahl an Gesten für den Nutzer logisch und nachvollziehbar sein sollte, schlagen Nielsen et al. (2004) als alternative Vorgehensweise den nutzerbasierten Ansatz vor. Dieser bezieht die zukünftigen Nutzer stärker mit ein und umfasst insgesamt vier Schritte.

Der erste Schritt besteht nach Nielsen et al. (2004) darin, jene Funktionen zu definieren, die mittels Gesten gesteuert werden sollen. Eine wesentliche Anforderung ist hierbei, die Anzahl der Funktionen und somit die Anzahl an Gesten auf das notwendige Maß zu beschränken (Akyol et al., 2000b; Nielsen et al., 2004). Einerseits erleichtert ein kleines Gestenvokabular die Bedienung, da der Nutzer schlichtweg weniger Gesten erlernen und erinnern muss. Andererseits begünstigt ein kleines Gestenvokabular aber auch die Zuverlässigkeit der Gestensteuerung, da mit zunehmender Anzahl an zu erkennenden Gesten auch die Wahrscheinlichkeit von Fehlerkennungen steigt (Wachs et al., 2011). Die Festlegung der Größe des Gestenvokabulars unterliegt allerdings einem gewissen Trade-off, den Pickering et al. (2007) als *Ease versus Expressivness Trade-off* bezeichnen. Zwar erleichtert ein Gestenvokabular mit nur wenigen Gesten die Bedienung, verringert jedoch auch den Funktionsumfang, der per Gestik gesteuert werden kann. Dies wiederum kann Einschränkungen in der Umsetzung bestimmter Anwendungsfälle nach sich ziehen. Die optimale Größe eines Gestenvokabulars kann daher nicht pauschal vorgegeben werden, sondern muss je nach Anwendungsfall einzeln festgelegt werden.

Der zweite Schritt bei der Spezifikation des Gestenvokabulars stellt nach Nielsen et al. (2004) die Erhebung der Gesten dar. Dies geschieht im Rahmen empirischer Versuche, bei denen Personen

aus der zukünftigen Nutzergruppe Gesten für die einzelnen Funktionen „erfinden“. Zu diesem Zweck werden die Versuchspersonen mit den zuvor festgelegten Funktionen konfrontiert, woraufhin diese möglichst spontan dazu passende Gesten ausführen. Für die spätere Auswertung werden die Versuchspersonen beim Ausführen der Gesten auf Video aufgezeichnet. Eine solche Art der Erhebung wird allgemein als *Guessability*- oder *User-Elicitation-Studie* bezeichnet (Vieira et al., 2016). *Guessability*- bzw. *User-Elicitation*-Studien sind gängige Praxis und können sowohl zur Erhebung von berührungsfreien Gesten als auch von Touch-Gesten eingesetzt werden (vgl. Lee & Wong, 2015; Nielsen et al., 2004; Pereira, Wachs, Park & Rempel, 2015; Ruiz, Li & Lank, 2011; Vatavu, 2012; Wobbrock, Morris & Wilson, 2009). Abhängig vom konkreten Anwendungsfall werden *Guessability*- bzw. *User-Elicitation*-Studien entweder im Labor oder direkt im betreffenden Nutzungskontext durchgeführt. In Hinblick auf eine Gestensteuerung im Lkw erheben Stecher et al. (2015) Gesten direkt im Fahrzeug. Dies bringt den Vorteil mit sich, dass die räumlichen Gegebenheiten im Fahrzeug, welche einen Einfluss auf die Ausführung der Gesten haben können, mit berücksichtigt werden. Schließlich können Sitzposition, Position des Lenkrads und Verortung der zu steuernden Funktionen eine Auswirkung darauf haben, wo und wie Gesten ausgeführt werden. Zudem wurden in der Studie von Stecher et al. (2015) die Versuchspersonen angewiesen, Gesten mit nur einer Hand auszuführen, damit diese auch für eine Bedienung während der Fahrt geeignet sind.

In einem dritten Schritt wird schließlich das zuvor aufgezeichnete Videomaterial analysiert (Nielsen et al., 2004). Das Ziel dabei besteht darin, geeignete Gesten zu extrahieren und in das Gestenvokabular zu überführen. Hierbei kommen vor allem jene Gesten in Frage, die interindividuell besonders häufig beobachtet werden. Um eine systematische Analyse der aufgezeichneten Gesten zu ermöglichen, müssen diese transkribiert werden. Dies ist anhand verschiedener Gestenmerkmale möglich, mit denen die Gesten formal beschrieben werden können. Gebräuchliche Gestenmerkmale sind dabei unter anderem (vgl. Hanke, 2010; Stecher et al., 2015; Zobl, Geiger, Bengler & Lang, 2001):

- Art der Geste (vgl. Abschnitt 2.1)
- Form und Orientierung der Hand
- Dynamik und Anzahl an Wiederholungen
- Position und räumliche Ausdehnung der Geste
- An der Bewegung beteiligte Körpergelenke

Für jene Funktionen, für die geeignete Gesten gefunden wurden, sollte in einem vierten und letzten Schritt eine Evaluation der Gesten vorgenommen werden (Nielsen et al., 2004). Hierbei muss sichergestellt werden, dass im Rahmen des vorgesehenen Nutzungskontexts das Gestenvokabular den Bedürfnissen der Nutzer entspricht (DIN EN ISO 9241-960: 2015-09). Wesentliche Faktoren sind hierbei die Verständlichkeit, Erlernbarkeit und Memorierbarkeit der Gesten (Nielsen et al., 2004). Aber auch deren *biomechanische Beherrschbarkeit* (vgl. Abschnitt 5.2.5) im Sinne einer geringen körperlichen Anstrengung sollte sichergestellt werden (Nielsen et al., 2004).

Auch wenn das beschriebene Vorgehen nach Nielsen et al. (2004) die potenziellen Nutzer in die Entwicklung eines Gestenvokabulars bestmöglich einbindet, so sind Guessability- bzw. User-Elicitation-Studien nicht die einzige Möglichkeit, geeignete Gesten zu identifizieren. Spätestens wenn im Rahmen solcher Studien für bestimmte Funktionen keine passenden Gesten gefunden werden können, müssen weitere Quellen für mögliche Gesten herangezogen werden. So können neben jenen Gesten, die durch eine entsprechende Studie vorgeschlagen werden, auch international standardisierte Gesten oder Gesten, die in einem bestimmten Kulturkreis bereits vorhanden sind, für das Gestenvokabular erwogen werden (DIN EN ISO 9241-960: 2015-09). Ebenso sind Gesten denkbar, die sich aus dem Nutzungskontext ergeben, wie im vorliegenden Fall etwa die Gesten des Einweisers (vgl. Abschnitt 4.2.1; DIN EN ISO 9241-960: 2015-09). Nicht zuletzt können Gesten aber auch aus anderen Kontexten übertragen werden und auf diese Weise in ein Gestenvokabular einfließen (vgl. Abschnitt 5.2.4; DIN EN ISO 9241-960: 2015-09).

Unabhängig davon, welchen Quellen die Gesten eines Gestenvokabulars letztlich entstammen, sollte in jedem Fall sichergestellt werden, dass das Gestenvokabular durch die zur Verfügung stehende Technologie zuverlässig erkannt wird. Darüber hinaus sollte geprüft werden, ob der Nutzungskontext bestimmte Einschränkungen mit sich bringt (z. B. nur einhändige Gesten während der Fahrt). Gegebenenfalls sind spezielle Gesten für bestimmte Nutzungskontexte sogar auszuschließen. So müssen für eine Gestenbedienung während der Fahrt etwa deiktische Gesten kritisch gesehen werden. Insbesondere können Zeigegesten, bei denen mit dem Finger auf ein entsprechendes Ziel gedeutet wird, zu einer Ablenkung von der Fahraufgabe führen. Nach Geiger (2003) erfordern Zeigegesten das visuelle Fixieren des Ziels, was eine Blickabwendung von der Straße zur Folge hat und somit eine Ablenkung des Fahrers provozieren kann. Auch Alpern und Minardo (2003) konnten eine erhöhte visuelle Ablenkung bei der Fixation von Objekten unter Verwendung von Zeigegesten beobachten.

5.2.3 Mapping und Kompatibilität

Mit der Definition eines Gestenvokabulars unmittelbar einher geht die Zuordnung der einzelnen Gesten zu den jeweiligen Funktionen, die gesteuert werden sollen. Pickering et al. (2007) sprechen bezüglich der Zuordnung von Gesten zu Funktionen vom sogenannten *Mapping*. Sie unterscheiden dabei zwischen drei möglichen Arten von Mapping. Beim *gerätebezogenen Mapping* wird ein Set an Gesten einem bestimmten Gerät zugeordnet, wie z. B. dem Radio- oder Navigationsgerät, wobei jede Gerätefunktion mit einer anderen Geste belegt wird. Beim sogenannten *bedienelementbezogenen Mapping* wird das Gestenvokabular hingegen derart gestaltet, dass die einzelnen Gesten einer Betätigung bestimmter Bedienelemente nachempfunden werden. Als Drittes beschreiben Pickering et al. (2007) das *themen- bzw. funktionsbezogene Mapping*. Hier werden die Gesten einer bestimmten Funktionsgruppe zugeordnet, wie beispielsweise der Innenraumbeleuchtung oder dem Öffnen und Schließen von Türen und Klappen (Pickering et al., 2007). Welche Art des Mappings am geeignetsten ist, muss in Abhängigkeit vom betreffenden Anwendungs-

fall sowie den jeweiligen Funktionen entschieden werden. Dabei ist vor allem wichtig, dass das Mapping einen inhaltlichen Zusammenhang zwischen Geste und zu steuernder Funktion erkennen lässt. Dem Nutzer muss es möglich sein, eine kognitive Assoziation zwischen Geste und Funktion zu bilden. Je eindeutiger und sinnfälliger das Mapping ist, umso eher unterstützt es eine intuitive Gesteninteraktion (Stern et al., 2008; Wachs et al., 2011) und damit ein einfaches Erlernen und Erinnern der Gesten (Barclay, Wei, Lutteroth & Sheehan, 2011; Manresa-Yee et al., 2013).

Ein wesentliches Kriterium für das Erzeugen eines inhaltlichen Zusammenhangs zwischen Geste und zu steuernder Funktion ist die *Kompatibilität*. Im Allgemeinen beschreibt Kompatibilität „die Leichtigkeit, mit der ein Operateur Informationen zwischen verschiedenen Informationskanälen umcodieren kann“ (Bubb et al., 2015a, S. 269). In der arbeitswissenschaftlichen Literatur werden dabei verschiedene Arten der Kompatibilität unterschieden (vgl. Bubb et al., 2015a; Schmidtke & Rühmann, 1993; Sendler, 2008):

- Reiz-Reiz-Kompatibilität
- Reiz-Reaktions-Kompatibilität
- Bewegungskompatibilität
- Räumliche Kompatibilität
- Primäre externe Kompatibilität
- Primäre interne Kompatibilität
- Sekundäre Kompatibilität

Die Reiz-Reiz-Kompatibilität beschreibt die Erwartungen des Nutzers über die Beziehung zwischen einer Anzeige und der Wirklichkeit (Schmidtke & Rühmann, 1993). Sie ist daher insbesondere für die Gestaltung von Anzeigen relevant, spielt für die Gestaltung einer Gestensteuerung jedoch eine untergeordnete Rolle. Die Reiz-Reaktions-Kompatibilität bezieht sich hingegen auf die Bedienelementgestaltung und definiert sich als „die Vereinbarkeit von Bewegungstereotypen mit dem Funktionseffekt oder mit der intendierten Bewegungsrichtung des Systems“ (Schmidtke & Rühmann, 1993, S. 540). Die Reiz-Reaktions-Kompatibilität ist damit eng verwandt mit der Bewegungskompatibilität⁴, die von Bullinger, Kern und Braun (1997) folgendermaßen definiert wird: „Compatibility exists, if the direction of movement of the control coincides with the direction of movement of the technical system or the observable system variables“ (zitiert nach Sendler, 2008, S. 24). Diese Kompatibilitätsanforderung gilt zunächst nur für die Gestaltung von haptischen Bedienelementen. Es ist jedoch anzunehmen, dass Bewegungskompatibilität auch im Rahmen der Gestensteuerung eine wichtige Rolle spielt. So zeigte sich etwa in der Guessability-Studie von Stecher et al. (2015), dass beispielsweise für das Öffnen des Seitenfensters im Lkw die Versuchspersonen vorwiegend Gesten verwendeten, welche sich durch eine Bewegung der Hand von oben nach unten auszeichnen. Dies lässt darauf schließen, dass im Sinne der Bewegungskom-

⁴ Entsprechend ihrer Definition ist die Bewegungskompatibilität ebenso ein Teilaspekt der primären externen Kompatibilität, die ihrerseits die vergleichbare Wechselwirkung zwischen Anzeigen, Bedienelementen und der Realität beschreibt (vgl. Bubb et al., 2015a).

patibilität die Bewegungsrichtung der Geste mit der Bewegungsrichtung des zu steuernden Objekts – in diesem Fall der Fensterscheibe – einhergehen sollte.

Ein weiterer Aspekt der Reiz-Reaktions-Kompatibilität betrifft die „natürliche“ Erwartung des Nutzers, was eine Bedienelementbewegung bewirkt (Schmidtke & Rühmann, 1993). Diese sogenannten Bewegungs-Effekt-Stereotype werden auch durch die primäre interne Kompatibilität beschrieben, welche die Wechselwirkung zwischen der Realität und den inneren Modellen des Menschen charakterisiert (Bubb et al., 2015a). Ihr zufolge assoziiert der Mensch konkrete Bedienelementbewegungen automatisch mit einer bestimmten Wirkung auf das System. Beispielsweise wird die Bewegung eines Schiebereglers nach rechts (oder auch nach oben) in den meisten Fällen mit einer Zunahme der zu steuernden Systemgröße in Verbindung gebracht (Bubb et al., 2015a; Schmidtke & Rühmann, 1993). Ähnliche Effekte scheinen auch bezüglich der berührungsfreien Gestensteuerung zum Tragen zu kommen. Wiederum zeigte sich in der Guessability-Studie von Stecher et al. (2015), dass die Versuchspersonen für die Funktion „Lautstärke erhöhen“ mehrheitlich eine Geste ausführten, deren Bewegungsrichtung von unten nach oben gerichtet war. Für die Funktion „Lautstärke verringern“ wurden hingegen häufig Gesten mit einer Bewegungsrichtung von oben nach unten ausgeführt. Entsprechende Gesten konnten darüber hinaus auch für die generischen Funktionen „mehr“ und „weniger“ beobachtet werden (Stecher et al., 2015). Dies deutet letztlich darauf hin, dass auch für die Ausführung von Gesten vergleichbare Bewegungs-Effekt-Stereotype vorliegen und damit entsprechende Kompatibilitätsanforderungen berücksichtigt werden sollten.

Für die Gestaltung von Gestensteuerungen scheint ebenfalls die räumliche Kompatibilität von Bedeutung zu sein. Räumliche Kompatibilität beschreibt die Vereinbarkeit der räumlichen Anordnung von Bedienelementen mit der Lage der jeweiligen Effektoren bzw. Anzeigen des Systems (Schmidtke & Rühmann, 1993). Übertragen auf die Gestaltung einer Gestensteuerung bedeutet dies, dass der Ort, an dem eine Geste auszuführen ist, eine Zusammengehörigkeit mit der Verortung der damit gesteuerten Funktion erkennen lassen sollte. Wie sich in der Guessability-Studie von Stecher et al. (2015) zeigte, werden Gesten vorzugsweise in räumlicher Nähe zu der zu steuernden Funktion ausgeführt. So wurde von den Versuchspersonen zum Öffnen und Schließen des linken Seitenfensters bevorzugt die linke Hand verwendet, während für alle anderen Funktionen hauptsächlich mit der rechten Hand interagiert wurde (vgl. Stecher et al., 2015). Dies deckt sich mit den Erkenntnissen von Liu, Lu und Choe (2013). Sie beobachteten ebenfalls, dass Gesten nahe dem zu steuernden Objekt ausgeführt werden, was die Anforderung einer räumlich kompatiblen Gestaltung untermauert.

Wie bereits im Rahmen der Reiz-Reaktions-Kompatibilität beschrieben, sind schließlich auch die primäre externe sowie die primäre interne Kompatibilität für eine ergonomische Gestaltung relevant. Während sich die primäre externe Kompatibilität auf den Zusammenhang zwischen Anzeigen, Bedienelementen und der Außenwelt bezieht, beschreibt die primäre interne Kompatibilität die Wechselwirkungen zwischen Anzeigen, Bedienelementen und dem inneren Modell des Men-

schen (Bubb et al., 2015a). Neben der primären externen sowie der primären internen Kompatibilität gibt es im Rahmen der systemergonomischen Gestaltungsmaximen jedoch noch eine weitere Kompatibilitätsanforderung – die der sekundären Kompatibilität (Bubb et al., 2015a). Sekundäre Kompatibilität bedeutet, dass verschiedene Kompatibilitätsanforderungen zueinander nicht im Widerspruch stehen dürfen (Bubb et al., 2015a). Bedeutsam wird diese Anforderung insbesondere dann, wenn in Verbindung mit einer Gestensteuerung visuelle Anzeigen eingesetzt werden. Ein Beispiel hierfür wäre der Einsatz einer sogenannten *Cover-Flow*-Anzeige, bei der Elemente (etwa die Titel einer Playlist) in Form einer horizontalen Liste angeordnet sind. In diesem Fall wäre eine denkbare Geste, um zum nächsten Titel zu wechseln, eine Bewegung der flachen Hand von rechts nach links (sogenannte *Swipe*-Geste; vgl. Stecher et al., 2015). In Bezug auf die Anzeige weist diese Geste primäre externe Kompatibilität auf. Hinsichtlich der primären internen Kompatibilität ist diese Geste jedoch als problematisch einzustufen, da hier eine Bewegung der Hand nach links mit der Funktion „weiter/nächster Titel“ verknüpft wird. In Verbindung mit einer *Cover-Flow*-Anzeige mag dies nicht sonderlich kritisch erscheinen – ohne die visuelle Unterstützung kann eine solche Geste jedoch zu Missverständnissen führen und damit die Erlernbarkeit mindern.

5.2.4 Konsistenz

Wie der vorangehende Abschnitt aufzeigt, unterstützt ein geeignetes Mapping die Intuitivität der Gesteninteraktion. Dabei ist das Mapping vor allem auch dann als geeignet zu bezeichnen, wenn die Abbildung der Gesten auf die Funktionen mit den Erwartungen des Nutzers übereinstimmt (DIN EN ISO 9241-960: 2015-09). Eine erwartungskonforme Gestaltung begünstigt somit die Intuitivität einer Interaktion. Im Bereich der Mensch-System-Interaktion ist „ein Dialog [...] erwartungskonform, wenn er den aus dem Nutzungskontext heraus vorhersehbaren Benutzerbelangen sowie allgemein anerkannten Konventionen entspricht“ (DIN EN ISO 9241-110: 2008-09, S. 11). Zu diesem Grundsatz der Dialoggestaltung wird in der Norm angemerkt, dass anerkannte Konventionen lediglich einen Aspekt der Erwartungskonformität darstellen und dass die Vorhersagbarkeit eines Dialogs grundsätzlich durch Konsistenz erhöht werden kann.

Wie sich zeigt, existiert eine enge Beziehung zwischen Intuitivität, Erwartungskonformität und Konsistenz. Dabei haben Intuitivität, Erwartungskonformität und Konsistenz gemein, dass sie im Wesentlichen auf dem Vorwissen des Nutzers basieren. Das Vorwissen kann dabei bewusst oder unbewusst vorliegen. Ist es dem Nutzer aufgrund konsistenter Gestaltung möglich, im Rahmen der Interaktion sein Vorwissen anzuwenden, so kann dies als erwartungskonform erachtet werden. Führt die Interaktion dadurch zum Erfolg, wird der Nutzer die Interaktion zudem als intuitiv wahrnehmen. Konsistenz ist somit die Grundlage der Erwartungskonformität und damit ein entscheidender Faktor für die Intuitivität einer Interaktion.

Konsistenz kann in verschiedenen Formen auftreten und gemäß Grudin (1989) in *interne*, *externe* und *analogische Konsistenz* untergliedert werden. Analogische Konsistenz (*analogic consistency*)

beschreibt die Gestaltung von Systemeigenschaften, die auf Metaphern und Analogien aus anderen Bereichen außerhalb des Systems basieren. Damit knüpft die analogische Konsistenz an die primäre interne Kompatibilität an. Schließlich beruht auch die Bildung von inneren Modellen auf der Anwendung von Metaphern (Hurtienne et al., 2010). Eine analogisch konsistente Gestaltung kann aber auch direkt auf explizitem Vorwissen des Nutzers aufbauen. Ein Beispiel hierfür wäre die Verwendung von Gesten, die dem Nutzer bereits aus der zwischenmenschlichen Kommunikation bekannt sind, wie etwa symbolische oder technische Gesten. Hierbei ist jedoch anzumerken, dass derartige Gesten kultur- bzw. fachspezifisch sind und demnach nur bestimmte Nutzergruppen von solch einer analogisch konsistenten Gestaltung profitieren würden. Je spezifischer das vorausgesetzte Vorwissen ist, umso geringer ist die Anzahl an potenziellen Nutzern, die dieses Vorwissen besitzen und anwenden können – was jedoch nicht bedeutet, dass für diese Nutzer keine intuitive Interaktion möglich wäre (Hurtienne & Blessing, 2007; Stecher et al., 2015).

Externe Konsistenz beschreibt hingegen den Zusammenhang zwischen dem System und ihm ähnlichen Systemen (Grudin, 1989). Im Bereich der Gestensteuerung könnte eine extern konsistente Gestaltung etwa auf einer Wiederverwendung bereits etablierter Bedienkonzepte und -prinzipien basieren. So könnte beispielsweise zum Öffnen von Klappen im Außenbereich eines Lkw eine Fußgeste eingesetzt werden, vergleichbar dem, wie sie derzeit bereits im Pkw zum Öffnen der Heckklappe verwendet wird (vgl. Abschnitt 3.1.4). Hierbei ist anzunehmen, dass dieses Bedienprinzip weitreichend bekannt ist und demnach eine Wiederverwendung des Bedienprinzips eine intuitive Interaktion begünstigt. Schließlich zeigt sich im Pkw-Bereich über verschiedene Marken und Modelle hinweg der extern konsistente Einsatz einer solchen Fußgeste.

Eine besondere Rolle in Bezug auf die externe Konsistenz berührungsfreier Gestensteuerungen scheinen Touch-Gesten zu spielen. Im Bereich der touchbasierten Interaktion haben sich für einzelne Funktionen bereits bestimmte Gesten etabliert, wie etwa die *Pinch-to-zoom*-Geste für das Vergrößern bzw. Verkleinern dargestellter Inhalte. Eine Wiederverwendung der Gesten im Rahmen der berührungsfreien Gestensteuerung wäre dabei durchaus denkbar. Dafür sprechen die Beobachtungen im Rahmen der Guessability-Studie von Stecher et al. (2015). Wie sich zeigt, wählte ein Großteil der Versuchsteilnehmer die *Pinch-to-zoom*-Geste (bzw. eine leichte Abwandlung dieser) und führte diese im freien Raum aus, um damit die Darstellung der Navigationskarte zu vergrößern bzw. zu verkleinern (Stecher et al., 2015).

Nicht zuletzt ist auch die interne Konsistenz für die Gestaltung einer Gestensteuerung von Bedeutung. Interne Konsistenz beschreibt eine einheitliche und durchgängige Gestaltung innerhalb des Systems (Grudin, 1989). Gemäß DIN EN ISO 9241-960: 2015-09 sollten Gesten innerhalb eines Gestenvokabulars zueinander ähnlich sein, sodass die Erinnerung an eine Geste auch andere Gesten abrufbereit macht. Hierbei muss jedoch angemerkt werden, dass dies unter Umständen negative Auswirkungen auf die Zuverlässigkeit der Gestenerkennung haben kann. Sind zwei Gesten einander zu ähnlich, kann dies bei unzureichend genauer Ausführung Fehlerkennungen nach sich ziehen. Dennoch sollten Gesten innerhalb eines Gestenvokabulars aufeinander abgestimmt sein.

So sollte etwa bei gegensätzlichen Funktionspaaren das Prinzip der *Symmetrie* Berücksichtigung finden (Pereira et al., 2015; Wobbrock et al., 2009). Symmetrie besagt in diesem Zusammenhang, dass bei gegensätzlichen Funktionspaaren (z. B. Öffnen – Schließen, Einschalten – Ausschalten, etc.) ein entsprechend gegensätzliches Gestenpaar (z. B. Öffnen der Hand – Schließen der Hand) eingesetzt werden sollte (Pereira et al., 2015). Beobachtungen im Rahmen der Guessability-Studie von Stecher et al. (2015) sprechen ebenfalls für das Prinzip der Symmetrie.

Eine weitere Anforderung im Bereich der internen Konsistenz bezieht sich auf die Wiederverwendung einzelner Gesten. Ist eine Funktion an verschiedenen Stellen im System per Geste steuerbar, sollte dafür jeweils die gleiche Geste eingesetzt werden. Ein Beispiel hierfür wäre die Steuerung unterschiedlicher Lichtfunktionen im Fahrzeug. Der Nutzer sollte ein und dieselbe Geste verwenden können, unabhängig davon, ob er Leuchten im Bereich des Fahrersitzes, im Bereich der Liege, oder im Außenbereich des Fahrzeugs steuern möchte. Eine Differenzierung der einzelnen Leuchten könnte in diesem Fall über den Ort erfolgen, an dem die Geste ausgeführt wird (räumliche Kompatibilität), sollte jedoch nicht über die Geste selbst geschehen. Dies trägt nicht nur zu einem durchgängigen Mapping innerhalb des Systems bei. Die Wiederverwendung von Gesten wirkt sich auch positiv auf die Größe des Gestenvokabulars aus und begünstigt dadurch die Erlernbarkeit der Gestensteuerung (Loehmann, Knobel, Lamara, Butz, 2013; Pereira et al., 2015). Die Wiederverwendung von Gesten muss sich jedoch nicht ausschließlich auf gleiche Funktionen beschränken. Auch unterschiedliche Funktionen könnten durch eine kontextabhängige Wiederverwendung von Gesten bedient werden, solange ein sinnvolles Mapping vorliegt und eine eindeutige Differenzierung der Funktionen möglich ist. Ein Beispiel hierzu liefern Hobbs und Chi (2012). Für eine Gestensteuerung im Fahrzeug schlagen sie vor, mit einer Abwärtsbewegung der Hand nahe dem Seitenfenster dieses zu öffnen. Erfolgt dieselbe Geste hingegen im Bereich der Klimaanlage, kann darüber die Stärke des Gebläses reduziert werden (Hobbs & Chi, 2012). Auch hier erfolgt die Differenzierung der Funktionen über die verschiedenen Bereiche, in denen die Geste ausgeführt wird.

5.2.5 Biomechanische Beherrschbarkeit

Ein grundsätzliches Problem der berührungsfreien Gestensteuerung ist, dass bei fortwährender Gesteninteraktion eine Ermüdung der gestikulierenden Körperteile eintreten kann (Norman, 2010, zitiert nach Riener et al. 2013). Vor allem bei ausladenden Armbewegungen kann es bereits nach kurzer Zeit zu einem Erschöpfungszustand kommen, der von einem Schweregefühl in den Armen begleitet wird. Dieser Effekt wird allgemein auch als „Gorilla-Arm“ bezeichnet (DIN EN ISO 9241-960: 2015-09; Hincapié-Ramos, Guo, Moghadasian & Irani, 2014; Kajastila & Lokki, 2013; Razavi, Adavi, Alam, Mohr & Zachmann, 2014; Wachs et al., 2011). Nach Barclay et al. (2011) ist ein geringes Ermüdungspotenzial eines der wichtigsten Qualitätsmerkmale einer Geste. Ein Gestenvokabular sollte daher so gestaltet werden, dass es selbst bei wiederholter Ausführung von

Gesten zu keiner nennenswerten körperlichen Belastung und unnötigen Erschöpfung der gestikulierenden Körperteile kommt (DIN EN ISO 9241-960: 2015-09; Nielsen et al., 2004).

Um die körperliche Belastung und die daraus resultierende Erschöpfung zu minimieren, sind aus biomechanischer Sicht verschiedene Anforderungen an die Gestaltung einer Gestensteuerung zu stellen. So sollten Gesten nach Möglichkeit nahe am Körper ausgeführt werden, um die Entfernung der Massenschwerpunkte gestikulierender Körperteile und damit die resultierenden Momente in den beteiligten Gelenken gering zu halten (Hincapié-Ramos et al., 2014). Muss der Arm angehoben oder gar in erhöhter Position gehalten werden, führt dies zu einer raschen Ermüdung der oberen Extremitäten (Hincapié-Ramos et al., 2014; Kajastila & Lokki, 2013). Vor diesem Hintergrund sollten Gesten mit großen vertikalen Bewegungsanteilen vermieden und eine Gestensteuerung auf horizontale Bewegungen ausgelegt werden (Kajastila & Lokki, 2013). Ebenso sollte die Gestenerkennung kein längeres Verharren in statischen Posen erfordern. Je länger eine statische Geste gehalten werden muss, desto schneller tritt eine Erschöpfung des gestikulierenden Körperteils ein (Manresa-Yee et al., 2013; Nielsen et al., 2004).

Nach Hincapié-Ramos et al. (2014) kann die Ermüdung minimiert werden, wenn Gesten bei gebeugtem Arm im Bereich zwischen Schulter und Hüfte ausgeführt werden. Eine wichtige Rolle spielt in dieser Hinsicht die Berücksichtigung sogenannter *Komfortwinkel*⁵. Diese beschreiben die Stellung von Körpergelenken, bei denen die jeweils beteiligten Muskeln weder kontrahiert noch extrahiert sind (Bubb, Grünen & Remlinger, 2015b). Je geringer die Abweichung von den betreffenden Komfortwinkeln ist, umso weniger Muskelarbeit muss verrichtet werden und umso geringer ist die damit einhergehende Ermüdung. Dementsprechend sollten die Bewegungsradien von Gesten möglichst klein gehalten werden, insbesondere wenn damit häufig genutzte Funktionen gesteuert werden sollen (Liu et al., 2013). Hincapié-Ramos et al. (2014) weisen jedoch darauf hin, dass mit kleiner werdenden Bewegungen auch die Gefahr von Fehlerkennungen ansteigen kann.

Ein weiterer wesentlicher Faktor für die biomechanische Beherrschbarkeit von Gesten ist deren motorische Komplexität. Gesten sollten grundsätzlich auf Grobmotorik ausgelegt sein und keine allzu präzisen oder feinmotorischen Bewegungen erfordern (Turk, 2002). Es ist davon auszugehen, dass die potenziellen Nutzer einer Gestensteuerung eine hohe Variabilität hinsichtlich anthropometrischer Eigenschaften und koordinativer Fähigkeiten aufweisen. Je komplexer eine Geste ist, umso größer ist die Gefahr, dass bestimmte Personen die Geste nicht ausführen können (Barclay et al., 2011). So können beispielsweise die aktiven gelenkspezifischen Bewegungsräume von Person zu Person stark variieren (vgl. Grünen, Günzkofer & Bubb, 2015). Extreme Gelenkstellungen sind daher zu vermeiden (Nielsen et al., 2004). Vor allem sollte aber auch der Bewegungsablauf einer Geste an sich möglichst einfach gestaltet sein. Zu bevorzugen sind Gesten mit geradlinigem Verlauf in eine bestimmte Richtung, wie sie beispielsweise von Chattopadhyay und Bolchini (2015) oder Freeman, Brewster und Lantz (2016) vorgeschlagen werden.

⁵ Eine Zusammenstellung der von verschiedenen Forschern experimentell gefundenen Komfortwinkelwerte findet sich bei Bubb et al. (2015b, S. 363). Diese enthält u. A. Werte für das Schulter- sowie das Ellenbogengelenk.

Je nach Nutzungskontext sind auch potenzielle Einschränkungen der Bewegungsräume zu berücksichtigen, welche ein Ausführen von Gesten behindern können. So ist beispielsweise im Fahrzeug die Beweglichkeit des linken Arms durch die Fahrertür begrenzt. Eine besondere Aufmerksamkeit ist im Fahrzeug auch den sogenannten *Mikrogesten* zu widmen. Als Mikrogesten werden Gesten bezeichnet, die mit den Fingern bzw. der Hand im Bereich des Lenkrads ausgeführt werden, ohne dass das Lenkrad dabei losgelassen werden muss (Mahr, Endres, Müller & Schneeberger, 2011). In der wissenschaftlichen Literatur finden sich vielzählige Forschungsarbeiten, die unterschiedliche Mikrogesten, Bedienkonzepte und Erkennertechnologien zur lenkradnahen Gesteninteraktion vorschlagen (vgl. Angelini et al., 2013; Angelini et al., 2014; Döring et al., 2011; Endres, Schwartz & Müller, 2011; Koyama et al., 2014; Ulrich et al., 2013; Wolf, Naumann, Rohs & Müller, 2011). Bei der Gestaltung derartiger Gestensteuerungen muss jedoch berücksichtigt werden, dass Mikrogesten aus biomechanischer Sicht gewissen Restriktionen unterliegen. Dadurch, dass das Lenkrad während der Gesteninteraktion weiterhin gehalten wird, kann die Beweglichkeit der Finger je nach Lenkradhaltung stark eingeschränkt sein. Darüber hinaus können aus bestimmten Mikrogesten temporäre Zwangshaltungen resultieren. Diese gehen meist mit einem unangenehmen Empfinden einher und ziehen eine rasche Erschöpfung von Finger und Hand nach sich. Vor diesem Hintergrund ist es zwingend erforderlich, Mikrogesten hinsichtlich ihrer Ausführbarkeit und der damit verbundenen physischen Beanspruchung zu evaluieren.

Zur Evaluation der physischen Beanspruchung von Gesten finden sich in der wissenschaftlichen Literatur verschiedene Methoden – ein standardisiertes Vorgehen scheint es jedoch bislang nicht zu geben. Nielsen et al. (2004) schlagen etwa eine subjektive Bewertung der Gesten vor, wozu diese zunächst mehrfach in Folge ausgeführt und anschließend mittels 5-stufiger Rating-Skala bewertet werden. Barclay et al. (2011) und Hincapié-Ramos et al. (2014) verweisen hingegen auf gebräuchliche Methoden aus der Sportwissenschaft, wie etwa die subjektive Bewertung mittels Borg-CR10-Skala (Borg, 1998). Dabei merken Hincapié-Ramos et al. (2014) jedoch an, dass subjektive Verfahren einer gewissen Unschärfe unterliegen können, da sich beispielsweise die individuelle Fitness auf die Bewertung der physischen Beanspruchung auswirkt. Aus diesem Grund sollten als Ergänzung objektive Messverfahren in Betracht gezogen werden. Diese umfassen Verfahren wie die Elektromyografie (EMG) oder die Messung physiologischer Parameter, wie zum Beispiel die Messung der Herzfrequenz (vgl. Barclay et al., 2011; Hincapié-Ramos et al., 2014; Wachs et al., 2011).

5.2.6 Feedback

„Do give the user feedback. Feedback is essential to let the user know when a gesture has been recognized“ (Turk, 2002, S. 234). Gemäß dieser grundlegenden Gestaltungsempfehlung sollte die Interaktion mit einer Gestensteuerung von einer unmittelbaren Rückmeldung durch das System begleitet werden. Bleibt eine entsprechende Rückmeldung aus, führt dies beim Nutzer zu missverständlichen Wiederholungen der Eingabe, zu Verwirrung und schließlich zu mangelnder Akzep-

tanz (Bubb et al., 2015a). Um jedoch konkrete Anforderungen an die Gestaltung der Systemrückmeldung zu formulieren, ist der Begriff *Feedback* zunächst eingehender zu betrachten.

Die European Commission (2008) unterscheidet in den European Statement of Principles zwischen zwei Arten der Rückmeldung, die von Krause (2017) als *First-Level Feedback* und *Second-Level Feedback* bezeichnet werden:

- *First-Level Feedback*: Rückmeldung über die Betätigung eines Bedienelements (z. B. Drücken eines Tasters)
- *Second-Level Feedback*: Rückmeldung auf Dialogebene; Antwort des Systems auf die Eingabe des Nutzers (z. B. Auslösen einer bestimmten Funktion)

First-Level Feedback beschreibt folglich eine Form der Rückmeldung, die unmittelbar mit der Eingabe des Nutzers einhergeht und deren Ausprägung von der jeweiligen Bedienmodalität abhängig ist. Beispielsweise erhält der Nutzer beim Drehen eines Drehstellers ein haptisches Feedback entsprechend der Rastung des Drehstellers. Zusätzlich wird das Erreichen eines jeden Rastpunktes von akustischem Feedback begleitet. Über das *First-Level Feedback* bekommt der Nutzer im Falle des Drehstellers eine Rückmeldung darüber, dass eine Eingabe an das System erfolgt ist. Betrachtet man hingegen die berührungsfreie Gesteninteraktion, so wird schnell deutlich, dass Gesten kein inhärentes *First-Level Feedback* bereitstellen. Dementsprechend weiß der Nutzer einer Gestensteuerung zunächst nicht, ob die von ihm ausgeführte Bewegung erfolgreich als Geste erkannt wurde oder nicht. Problematisch ist dies vor allem dann, wenn das *Second-Level Feedback* – also die funktionale Reaktion des Systems auf die Eingabe – mit einer größeren Latenz einhergeht oder wenn das *Second-Level Feedback* vom Nutzer nicht verzögerungsfrei wahrgenommen werden kann.

Vor diesem Hintergrund sollte eine Gestensteuerung um ein explizites *First-Level Feedback* ergänzt werden, über welches die Erkennung einer Geste quittiert wird (vgl. Loehmann et al., 2013). Entscheidend ist dabei nicht die Rückmeldung darüber, welche Geste erkannt wurde, sondern vielmehr darüber, dass eine Geste erkannt wurde (Bubb et al., 2015a). Auf diese Weise kann der Nutzer nachvollziehen, wann eine Eingabe an das System erfolgt ist und wann nicht – was letztlich auch dafür sorgt, dass für den Nutzer Fehlerkennungen (*False Negatives* und *False Positives*) leichter als solche erkennbar sind.

Wie das *First-Level Feedback* einer Gestensteuerung im Detail zu gestalten ist, hängt stark vom Kontext und dem jeweiligen Anwendungsfall ab. Grundsätzlich ist es jedoch zu empfehlen, die Rückmeldung multimodal zu gestalten (Bengler, 2001). Denkbar wäre beispielsweise eine Kombination aus visueller Anzeige und akustischem Signal. Darüber hinaus eröffnen neueste technische Entwicklungen die Möglichkeit, über den Einsatz von Ultraschallwellen ein haptisches Feedback zu erzeugen, welches berührungsfrei in der Luft wahrgenommen werden kann (vgl. Ultrahaptics, 2018).

Ein weiterer sehr wichtiger Aspekt betrifft die Zeitspannen, innerhalb derer ein *First-Level Feedback* sowie ein *Second-Level Feedback* zu erfolgen haben. Hinsichtlich der zeitlichen Anforderung an ein Feedback definiert Nielsen (1993) für die Mensch-Computer-Interaktion drei Grenzwerte und bezieht sich dabei auf Miller (1968) sowie Card, Robertson und Mackinlay (1991):

- 100 ms: Bei einer Rückmeldung innerhalb dieser Zeitspanne nimmt der Nutzer die Interaktion als direkte Manipulation wahr. Idealerweise erfolgen sowohl *First-Level Feedback* als auch *Second-Level Feedback* innerhalb von 100 ms.
- 1 s: Eine funktionale Systemantwort innerhalb dieser Zeitspanne erlaubt es dem Nutzer, das System noch ungehindert zu steuern. Beträgt die Systemantwortzeit zwischen 200 ms und 1000 ms, nimmt der Nutzer zwar eine Verzögerung wahr, empfindet diese aber noch nicht als stockend oder übermäßig lang. Bei einer Systemantwortzeit von über 1 s sollte dem Nutzer angezeigt werden, dass die Eingabe verarbeitet wird.
- 10 s: Erfolgt innerhalb dieser Zeitspanne keine Reaktion des Systems, lässt die Aufmerksamkeit des Nutzers nach und der Nutzer wendet sich ab. Bei einer Systemantwortzeit von mehr als 10 s ist der Fortschritt der Verarbeitung in Prozent anzuzeigen, wobei dem Nutzer zusätzlich die Möglichkeit geboten werden sollte, die Eingabe abubrechen.

Für die Gestaltung von Feedback im Rahmen einer Gestensteuerung sind vor allem die beiden erstgenannten Grenzwerte relevant. Auch Saffer (2008) empfiehlt eine Rückmeldung innerhalb von 100 ms, weist aber darauf hin, dass dies technisch nicht immer möglich ist, da damit eine entsprechende Reagibilität der Sensorik zur Gestenerkennung einhergehen müsste (Saffer, 2008). Bei Systemreaktionszeiten von über 1 s rät Saffer (2008) dazu, dem Nutzer anzuzeigen, dass seine Eingabe erkannt wurde und vom System verarbeitet wird. Auch Bubb et al. (2015a) nennen mit Bezug zur Gestensteuerung einen Grenzwert von 100 ms. Innerhalb dieser Zeitspanne muss nicht zwangsläufig das Erkennungsergebnis (*Second-Level Feedback*) rückgemeldet werden, in jedem Fall sollte aber innerhalb von 100 ms eine erste Reaktion des Systems (*First-Level Feedback*) erfolgen (Bubb et al., 2015a).

Mit einem Verweis auf die Dauer der menschlichen Informationsverarbeitung nennen Bubb et al. (2015a) jedoch noch zwei weitere, allgemeine Grenzwerte für die Rückmeldung eines Systems. Einerseits weisen sie darauf hin, dass eine ausbleibende Rückmeldung bereits nach 200 ms zur Verwirrung des Nutzers führen kann. Dementsprechend sollte dem Nutzer ein Zeitverzug von mehr als 200 ms angezeigt werden. Beträgt der Zeitverzug hingegen mehr als 2 s, erscheint die Interaktion dem Nutzer wie die Steuerung eines offenen Systems. Eine Rückmeldung über die Eingaben des Nutzers (*First-Level Feedback*) ist in diesem Fall zwingend erforderlich (Bubb et al., 2015a).

Weitere Empfehlungen für die Dauer einer Systemrückmeldung finden sich in den Guidelines der Driver Focus-Telematics Working Group (2006) sowie der National Highway Traffic Safety Administration (2013). Darin wird jeweils eine Zeit von 250 ms genannt, innerhalb der das System

auf die Eingabe eines Nutzers reagieren sollte. Zudem sollte bei einer Systemreaktionszeit von mehr als 2 s dem Nutzer rückgemeldet werden, dass das System die Eingabe verarbeitet (Driver Focus-Telematics Working Group, 2006; National Highway Traffic Safety Administration, 2013). Eine Unterscheidung zwischen *First-Level Feedback* und *Second-Level Feedback* erfolgt im Rahmen dieser Guidelines jedoch nicht (vgl. Krause, 2017).

Wie sich zeigt, existieren je nach Quelle unterschiedliche Anforderungen an die Dauer einer Systemrückmeldung. Um eine allgemeine Empfehlung für die zeitliche Gestaltung des Feedbacks einer Gestensteuerung abzuleiten, könnten die Anforderungen aus den einzelnen Quellen wie folgt zusammengeführt werden, sodass für eine Gestensteuerung gilt:

- Innerhalb von 200 ms (idealerweise unter 100 ms) sollte ein *First-Level Feedback* erfolgen.
- Innerhalb von 200 ms (idealerweise unter 100 ms) sollte auch das *Second-Level Feedback* erfolgen. Ist der Zeitverzug des *Second-Level Feedbacks* größer als 200 ms, sollte dies in der Gestaltung folgendermaßen berücksichtigt werden:
 - Erfolgt das *Second-Level Feedback* zwischen 200 ms und 1000 ms, ist zusätzlich zum *First-Level Feedback* kein weiteres Feedback erforderlich. Eine Rückmeldung darüber, dass eine Eingabe erfolgt ist, ist in diesem Fall ausreichend.
 - Erfolgt das *Second-Level Feedback* erst nach mehr als 1000 ms, sollte zusätzlich zum *First-Level Feedback* (Rückmeldung darüber, dass eine Eingabe erfolgt ist) ein weiteres, kontinuierliches Feedback Rückmeldung darüber geben, dass das System die Eingabe gerade verarbeitet.

5.2.7 Affordance und Systemtransparenz

Wie im vorangehenden Abschnitt aufgezeigt wird, kann Feedback Auskunft darüber geben, ob eine Geste erfolgreich erkannt wurde, ob das System die Eingabe noch verarbeitet oder ob die Funktion bereits ausgelöst wurde. Durch den Einsatz von Feedback ist es somit möglich, dem Nutzer den aktuellen Systemstatus anzuzeigen. Es unterstützt den Nutzer dabei, die Funktionsweise des Systems zu verstehen und nachzuvollziehen. Feedback ist dadurch ein wesentlicher Faktor für die *Systemtransparenz*. Allerdings kann Feedback erst dann erfolgen, wenn bereits eine Eingabe des Nutzers erfolgt ist. Um jedoch eine durchweg verständliche und damit eine möglichst sichere und fehlerfreie Bedienung zu ermöglichen, sollte der Nutzer bereits vor der Interaktion auf die Funktionsweise und die unterschiedlichen Zustände des Systems hingewiesen werden.

Eine wichtige Rolle spielt in diesem Zusammenhang die sogenannte *Affordance*. Der Begriff *Affordance* wird von Norman (2013, S. 11) definiert als „relationship between the properties of an object and the capabilities of the agent that determine just how the object could possibly be used“. Die *Affordance* legt demnach die Funktionsweise und damit die Bedienbarkeit eines Systems fest. Bezüglich einer Gestensteuerung kann die *Affordance* zudem dabei helfen, den Nutzer überhaupt

erst einmal darauf hinzuweisen, dass das System per Gestik bedient werden kann (Saffer, 2008). Dies setzt allerdings voraus, dass die *Affordance* für den Nutzer wahrnehmbar ist, was bei Gestensteuerungen jedoch selten der Fall ist. „Gesture interfaces are not self-revealing“ (Pickering et al., 2007, o. S.). Vor diesem Hintergrund ist es erforderlich, den Nutzer durch eine geeignete Gestaltung auf die *Affordance* aufmerksam zu machen. Erst dadurch wird es dem Nutzer möglich, die Gesteninteraktion zu antizipieren. Ähnlich wie bei der Sprachsteuerung (Bengler, 2000, zitiert nach Bubb et al., 2015a) sollte der Nutzer einer Gestensteuerung dabei eine Antwort auf folgende Fragen erhalten:

- Wann kann ich per Gestik interagieren?
- Wo kann ich per Gestik interagieren?
- Wie kann ich per Gestik interagieren?

Da es sich bei der *Affordance* um eine Beziehung zwischen Objekt und Nutzer handelt, nicht jedoch um eine Eigenschaft des Objekts selbst, kann die *Affordance* nicht direkt gestaltet werden. Aus diesem Grund hat Norman (2013) den Begriff des *Signifier* (engl. „Vorbote“) eingeführt. Bei *Signifier* handelt es sich um jede Art von Kennzeichnung, Beschriftung oder akustischem Signal, die den Nutzer auf die verfügbaren Aktionen und Bedienhandlungen an einem Objekt bzw. System hinweisen (Norman, 2013). Bei der Gestaltung einer Gestensteuerung sind also *Signifier* das entscheidende Gestaltungskriterium. Abhängig vom Anwendungsfall können *Signifier* unterschiedliche Formen und Ausprägungen annehmen. Ein Beispiel für den Einsatz eines *Signifier* ist in Abbildung 5-3 dargestellt. Dieses Beispiel verdeutlicht die Wichtigkeit von *Signifier* für den Erfolg der Gesteninteraktion, zeigt aber auch die Herausforderungen hinsichtlich einer ästhetischen Systemintegration.



Abbildung 5-3: Einsatz eines *Signifier* bei einem Papierhandtuchspender, der per Gestik bedient wird. Anhand des Aufklebers (*Signifier*) weiß der Nutzer, wo und wie er seine Hand bewegen muss, um ein Papierhandtuch zu erhalten. Ohne den Aufkleber könnte der Nutzer die *Affordance* des Papierhandtuchspenders leicht fehlinterpretieren. Er würde wohl am Papierhandtuch selbst ziehen – schließlich wären zunächst keine sonstigen Interaktionsmöglichkeiten sichtbar.

Signifier helfen dem Nutzer zu erkennen, wann, wo und wie Gesten auszuführen sind. Auf die Frage hin, wann der Nutzer per Gestik interagieren kann, spielt die Aktivierung der Gestenerkennung eine wichtige Rolle. Diesbezüglich ist zu unterscheiden, ob die Gestenerkennung vom Nutzer explizit aktiviert werden muss, oder ob diese permanent aktiv ist. Für eine explizite Aktivierung spricht zunächst die Tatsache, dass dadurch die Wahrscheinlichkeit von *False Positives* deutlich reduziert werden kann (Wigdor & Wixon, 2011). Schließlich können zufällige Bewegungen nicht als Geste fehlinterpretiert werden, solange die Gestenerkennung zuvor nicht aktiviert wurde. Darüber hinaus gibt eine explizite Aktivierung dem Nutzer einen Anhaltspunkt darüber, wann das System bereit ist, eine Geste zu erkennen – sofern mit der Aktivierung ein adäquates Feedback einhergeht. Für das Aktivieren der Gestenerkennung wäre einerseits der Einsatz einer dedizierten Aktivierungsgeste denkbar (Razavi et al., 2014), andererseits könnte die Aktivierung über das Drücken einer Taste erfolgen, vergleichbar zur Aktivierung einer Sprachsteuerung über die sogenannte „Push-to-Talk“-Taste (vgl. Bubb et al., 2015a). Eine Taste mit entsprechender Beschriftung würde der Rolle als *Signifier* am ehesten gerecht werden. Über sie würde der Nutzer zunächst auch wahrnehmen können, dass das System über eine Gestensteuerung verfügt. Allerdings hat eine Taste den entscheidenden Nachteil, dass mit ihr die Vorteile der berührungsfreien Interaktion verloren gehen. Bei der Verwendung einer Aktivierungsgeste ist dies nicht der Fall, allerdings besteht hier das Problem, dass eine solche Geste zunächst weitere *Signifier* für sich selbst erforderlich macht. Da eine Aktivierungsgeste zudem die kognitive Last (der Nutzer muss sich eine weitere Geste merken) sowie die physische Beanspruchung erhöht (der Nutzer muss zusätzlich zur eigentlichen Geste eine weitere Geste ausführen), ist der Einsatz einer Aktivierungsgeste eher unangemessen.

Demgegenüber steht die permanente Aktivierung der Gestenerkennung, bei der eine Geste immer erkannt wird, sofern diese im Erfassungsbereich der Gestenerkennung ausgeführt wurde. Hierbei ist es allerdings umso wichtiger, dem Nutzer zu vermitteln, wo Gesten ausgeführt werden können und wo nicht (DIN EN ISO 9241-960: 2015-09). Schließlich wird dadurch die Wahrscheinlichkeit von Fehlerkennungen (*False Positives* und *False Negatives*) maßgeblich beeinflusst. Derzeit existieren wenige Erkenntnisse darüber, wie dem Nutzer der Erfassungsbereich einer Gestensteuerung idealerweise zu vermitteln ist. Problematisch ist dabei vor allem, dass der Erfassungsbereich nur indirekt dargestellt werden kann. Rosenstock und Stege (2014) schlagen verschiedene gestalterische Maßnahmen vor, um den Erfassungsbereich indirekt anzuzeigen. So könnte etwa beim Eintreten der Hand in den Erfassungsbereich ein visuelles und/oder akustisches Feedback erfolgen, welches den Nutzer auf den Erfassungsbereich hinweist. Wissenschaftliche Befunde zur konkreten Gestaltung eines solchen Feedbacks sowie zu dessen Wirksamkeit stehen jedoch noch aus.

Schließlich bleibt die Frage, wie der Nutzer die Gesten auszuführen hat und mit welchen gestalterischen Mitteln er auf die korrekte Ausführung hingewiesen werden kann. Dabei muss dem Nutzer nicht nur vermittelt werden, welche Gesten vom System grundsätzlich erkannt werden, sondern beispielsweise auch, mit welcher Geschwindigkeit die Gesten auszuführen sind. Anleitung-

gen, in denen die Gesten beschrieben werden, oder Tutorials, in denen die Ausführung der Gesten demonstriert wird, bieten hierauf zwar eine Antwort, entsprechen aber nicht dem Grundgedanken einer ergonomischen Gestaltung. Dennoch scheint dies eines der wenigen verfügbaren Mittel zu sein, den Nutzer an die Gesteninteraktion heranzuführen. So wurde etwa mit der Einführung des Apple iPhones in 2007 die Bedienung des Geräts im Rahmen von TV-Werbespots demonstriert, um den potenziellen Nutzer mit den Funktionen und den dafür erforderlichen Bedienhandlungen (u. a. Touch-Gesten) vertraut zu machen (vgl. Welch, 2017). Mit der Einführung des iPhone X zehn Jahre später scheint dies nach wie vor ein gängiges Mittel zu sein, wenn es darum geht, dem Nutzer neue Gesten beizubringen (vgl. Welch, 2017). *Signifier* – wie auch immer sie letztlich gestaltet sind – sollen aufzeigen, wann, wo und wie per Gestik interagiert werden kann. Sie sollen den Nutzer zu einer bestimmten Bedienhandlung einladen.

Soll dem Nutzer hingegen vermittelt werden, zu welchem Ergebnis seine Bedienhandlung führen wird, wird vom sogenannten *Feedforward* gesprochen (Vermeulen, Luyten, van den Hoven & Coninx, 2013). In der praktischen Anwendung sind *Feedforward* und *Signifier* nicht immer klar voneinander zu trennen. So impliziert der Papierhandtuchspender aus Abbildung 5-3 bereits, welches Ergebnis eine entsprechende Geste nach sich ziehen wird. Auch in den Videos und Werbespots zum Apple iPhone werden Gesten bereits zusammen mit dem Ergebnis der jeweiligen Bedienhandlung präsentiert. Komplexere Systeme, bei denen das Ergebnis einer Bedienhandlung nicht offensichtlich ist, können jedoch eine aktive Gestaltung von *Feedforward* erforderlich machen. Für eine differenzierte Betrachtung von *Signifier* und *Feedforward* sei auf das Framework von Vermeulen et al. (2013) verwiesen.

5.3 Diskussion des Gestaltungsprozesses

Wie anhand der Gestaltungsparameter zu sehen ist, existieren viele verschiedene Anforderungen, die es für die ergonomische Gestaltung einer Gestensteuerung zu erfüllen gilt. Die Herausforderung bei der Erfüllung all dieser Anforderungen ergibt sich dadurch, dass zwischen den Gestaltungsparametern vielzählige Wechselwirkungen existieren und dadurch einige Anforderungen zueinander im Widerspruch stehen (vgl. Abbildung 5-4, s. nächste Seite). So sollten zum Beispiel die Gesten innerhalb eines Gestenvokabulars möglichst ähnlich zueinander sein, damit diese leichter zu erlernen und zu erinnern sind. Zugunsten einer zuverlässigen Erkennung sollten sie sich jedoch möglichst stark voneinander unterscheiden. Ebenso sollten möglichst kleine Gesten eingesetzt werden, um die körperliche Belastung zu reduzieren. Auch dies wirkt sich negativ auf die Zuverlässigkeit der Erkennung aus. Bereits die Erkennung selbst beinhaltet einen Zielkonflikt, indem mit zunehmender Toleranz (weniger *False Negatives*) auch die Wahrscheinlichkeit von Fehlauflösungen zunimmt (mehr *False Positives*). Die ergonomische Gestaltung einer Gestensteuerung entpuppt sich damit als mehrdimensionale Optimierungsaufgabe, bei der es gilt, zueinander widersprüchliche Anforderungen bestmöglich zu erfüllen.

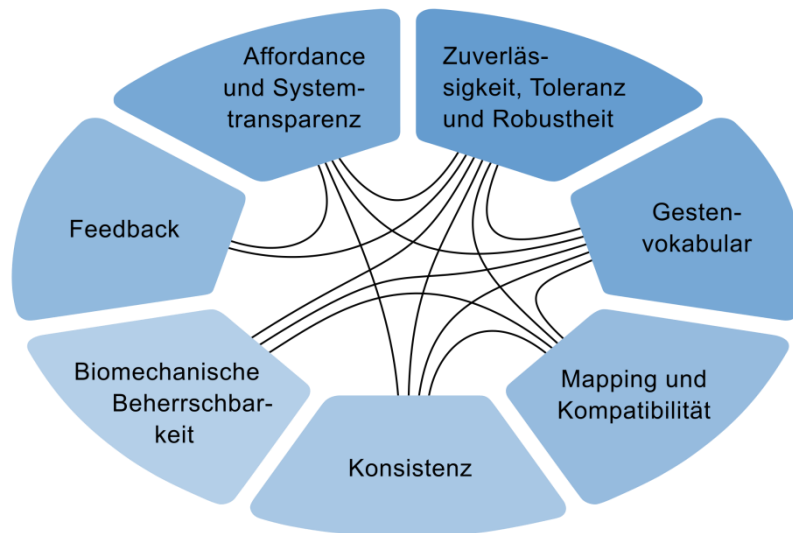


Abbildung 5-4: Wechselwirkungen zwischen den für die ergonomische Gestaltung einer berührungsfreien Gestensteuerung relevanten Gestaltungskriterien

Wie sich ebenfalls zeigt, ist die ergonomische Gestaltung einer Gestensteuerung maßgeblich vom jeweiligen Anwendungsfall und Nutzungskontext abhängig. Die Festlegung eines geeigneten Gestenvokabulars unter Berücksichtigung einer kompatiblen und konsistenten Gestaltung ist nicht ohne die Kenntnis der betreffenden Funktionen möglich, die mittels Gestik gesteuert werden sollen. Ebenso beeinflussen Anwendungsfall und Nutzungskontext die Tragweite der eben beschriebenen Zielkonflikte. In einem Nutzungskontext, in dem ohnehin nur eine begrenzte Anzahl an Funktionen per Gestensteuerung bedient werden sollen, ist der *Ease versus Expressivness Trade-off* nicht weiter kritisch zu sehen. Ein Nutzungskontext kann aber auch zusätzliche Zielkonflikte aufwerfen. So kann etwa ein Zielkonflikt zwischen der biomechanischen Beherrschbarkeit (geringe körperliche Anstrengung) und der räumlich konsistenten Gestaltung (Ausführung der Gesten nahe dem zu steuernden Objekt) entstehen, wenn sich das zu steuernde Objekt beispielsweise über oder hinter dem Nutzer befindet.

Anhand der Beispiele wird deutlich, dass die ergonomische Gestaltung einer Gestensteuerung zwischen verschiedenen Anwendungsfällen deutlich variieren kann. Eine pauschale Vorgabe von konkreten gestalterischen Maßnahmen ist daher kaum möglich. Vielmehr muss eine Gestensteuerung spezifisch auf den betreffenden Anwendungsfall zugeschnitten werden, was folglich einen entsprechenden Entwicklungs- bzw. Gestaltungsprozess voraussetzt. Wie beschrieben handelt es sich hierbei um eine mehrdimensionale Optimierungsaufgabe, welche ein iteratives Vorgehen erfordert. Durch mehrfache Evaluations- und Validierungsschritte sowie durch entsprechende gestalterische Maßnahmen ist es letztlich möglich, sich einem Gestensteuerungskonzept anzunähern, bei dem alle Anforderungen bestmöglich erfüllt werden.

6 Evaluation der Gestensteuerungskonzepte

Anhand der Gestaltungsparameter ist es möglich, Bedienkonzepte für eine Gestensteuerung systematisch zu spezifizieren und schließlich prototypisch umzusetzen. Dies wiederum erlaubt eine weiterführende Evaluation der Gestensteuerungskonzepte. Wie sich die Evaluation konkret gestaltet, ist unter anderem davon abhängig, ob die Gestensteuerungskonzepte simuliert werden, oder ob diese bereits als interaktive Prototypen vorliegen. Im Folgenden sollen sowohl eine Evaluation auf Basis einer Simulation als auch eine Evaluation anhand eines Prototyps beleuchtet werden. Erstere dient dazu, den Mehrwert der Gestensteuerung zu quantifizieren. Hierzu werden verschiedene Gestensteuerungskonzepte mit anderen, im Fahrzeug bereits gebräuchlichen Bedienmodalitäten verglichen. Die zweite Untersuchung dient hingegen zur Validierung der gebrauchstauglichen Gestaltung. Hierbei steht die subjektiv wahrgenommene Usability im Fokus, die anhand eines Prototyps bewertet werden soll. Darüber hinaus soll in beiden Untersuchungen die Akzeptanz der Fahrer und deren Einstellung gegenüber einer Nutzung der Gestensteuerung betrachtet werden. Die beiden Untersuchungen sind dabei aber nicht als abschließende Validierung am Ende eines Entwicklungsprozesses zu sehen. Vielmehr dienen die Untersuchungen dazu, entwicklungsbegleitend neue Erkenntnisse zu gewinnen, die wiederum bei der Auswahl geeigneter Anwendungsfälle sowie bei der gebrauchstauglichen Gestaltung von Bedienkonzepten unterstützen können.

6.1 Vergleich der Gestensteuerung mit alternativen Bedienmodalitäten

Wie bereits erwähnt dient die nachfolgende Untersuchung zunächst dazu, den Mehrwert der Gestensteuerung für das Nutzfahrzeug zu bewerten und zu quantifizieren. Die Evaluation der dafür vorgesehenen Gestensteuerungskonzepte basiert auf einer Probandenstudie im Fahrsimulator (vgl. Stecher, Michel & Zimmermann, 2018) und fokussiert neben dem Mehrwert der Gestensteuerung auch die Akzeptanz der Nutzer. Im Rahmen der Studie werden die einzelnen Gestensteuerungskonzepte jeweils einer alternativen Bedienmodalität gegenübergestellt (vgl. Tabelle 6-1). Dies ermöglicht einen Vergleich der Gestensteuerung mit der konventionellen Bedienung, wie sie dem derzeitigen Stand der Technik entspricht und aktuell im Nutzfahrzeug vorzufinden ist.

6.1.1 Beschreibung der Gestensteuerungskonzepte und deren Mehrwert

Der folgende Abschnitt gibt einen Überblick über die einzelnen Funktionen, für die die Gestensteuerung mit der konventionellen Bedienung verglichen werden soll. Um die einzelnen Untersuchungsschwerpunkte herauszuarbeiten, wird insbesondere auch auf den Mehrwert eingegangen, den eine Umsetzung der jeweiligen Funktion mittels Gestensteuerung gegenüber der konventionellen Bedienung mit sich bringt. Darüber hinaus soll dargestellt werden, wie die Gestensteuerung und die konventionelle Bedienung für den Versuch konkret umgesetzt werden.

Tabelle 6-1: Gegenüberstellung der im Versuch getesteten Gestensteuerungskonzepte mit der jeweils konventionellen Bedienmodalität für die Funktionen Innenlicht, Sonnenrollo, Radiolautstärke und Informationsanzeige

	
<p>Einschalten des Innenlichts mittels Gestensteuerung</p>	<p>Einschalten des Innenlichts mittels Taster</p>
	
<p>Einstellen des Sonnenrollos mittels Gestensteuerung</p>	<p>Einstellen des Sonnenrollos von Hand</p>
	
<p>Einstellen der Radiolautstärke mittels Gestensteuerung</p>	<p>Einstellen der Radiolautstärke per Multifunktionslenkrad</p>
	
<p>Aufrufen von Fahrzeuginformationen mittels Gestensteuerung</p>	<p>Aufrufen von Fahrzeuginformationen mittels Touch-Eingabe bzw. Sprachsteuerung</p>

Innenlicht

Im Rahmen des Versuchs soll zum einen die Gestensteuerung für das Einschalten der Innenbeleuchtung während der Fahrt untersucht werden. Hierfür wird die von Stecher et al. (2015) gefundene Geste eingesetzt: Der Fahrer bewegt seine rechte, zur Faust geballte Hand in Richtung der Lichtquelle, wobei er während dieser Bewegung die Faust öffnet und alle fünf Finger abspreizt. Diese Geste kann gleichermaßen für verschiedene Leuchten eingesetzt werden, da durch die jeweilige Bewegungsrichtung die entsprechende Leuchte ausgewählt und unmittelbar angesteuert werden kann. Das visuelle Identifizieren eines Bedienelements entfällt und der Fahrer kann das Licht einschalten, ohne seine Körperhaltung verändern zu müssen. Im Rahmen des Versuchs wird die Gestensteuerung für das Einschalten einer Leuchte im Bereich des Fahrersitzes umgesetzt. Diese Leuchte kann etwa mit dem Nachtfahrlicht oder der Ambientebeleuchtung gleichgesetzt werden. Die zugehörige Lichtquelle befindet sich rechts oberhalb des Fahrers. Um die Leuchte einzuschalten, führt der Fahrer die eben beschriebene Geste aus.

Im Fall der konventionellen Bedienung wird das Innenlicht mittels Taster eingeschaltet. Wie für das Nachtfahrlicht bzw. eine Ambientebeleuchtung üblich, ist der Taster auf der Instrumententafel positioniert. Der Taster ist dabei neben anderen Tastern und Bedienelementen angeordnet, um die tatsächlichen Gegebenheiten der Instrumententafel im Fahrzeug möglichst realitätsnah nachzubilden. Damit der Taster für das Innenlicht von anderen Tastern unterschieden werden kann, ist er mit einem entsprechenden Symbol versehen.

Sonnenrollo

Eine weitere Funktion, für die die Gestensteuerung untersucht werden soll, ist das Einstellen des Sonnenrollos. Zu diesem Zweck wurde das Sonnenrollo mit einem Stellmotor ausgestattet, über den es elektrisch auf- und abgerollt werden kann. Streckt der Fahrer seine Hand nach vorne und zeigt dabei mit einem oder mehreren Fingern in Richtung Sonnenrollo, versetzt er das Sonnenrollo durch ein Abknicken seines Handgelenks nach unten in Bewegung. Gestoppt wird das Sonnenrollo hingegen durch eine horizontale Bewegung des Arms von links nach rechts mit flach ausgestreckter Hand über dem Lenkrad. Analog zum Abrollen des Sonnenrollos kann mit einer entsprechenden Geste, bei der das Handgelenk nach oben abgeknickt wird, das Sonnenrollo wieder aufgerollt werden. Der potenzielle Vorteil bei der Bedienung des Sonnenrollos mittels Gestensteuerung besteht darin, dass der Fahrer zum Ausführen der Geste in seiner aktuellen Sitzposition verbleiben kann. Einerseits stellt sich die Bedienung dadurch komfortabler dar, andererseits ist aber auch der Fahrer während der Fahrt motorisch weniger stark abgelenkt, was sich potenziell positiv auf die Fahrsicherheit auswirkt.

Bei der konventionellen Bedienung wird das Sonnenrollo wie in den meisten Fahrzeugen manuell von Hand eingestellt. Der Fahrer beugt sich dazu nach vorne, greift das Sonnenrollo an dessen Griff und zieht es nach unten.

Radiolautstärke

Zusätzlich zu den bisherigen Funktionen soll im Rahmen des Versuchs das Einstellen der Radiolautstärke mittels Gestensteuerung untersucht werden. Dieser Anwendungsfall leitet sich nicht wie die bisherigen Anwendungsfälle aus den vorangehenden Analysen zum nutzbringenden Einsatz einer Gestensteuerung ab. Vielmehr entstammt dieser Anwendungsfall dem Pkw-Segment, wo ein Einstellen der Radiolautstärke mittels Gestensteuerung bereits möglich ist (vgl. Abschnitt 3.1.4). Hinsichtlich einer extern konsistenten Gestaltung dieser Funktion wird die Radiolautstärke wie im Pkw mit einer entsprechend kreisförmigen Bewegungen des rechten Zeigefingers eingestellt. Dazu hält der Fahrer seine Hand rechts neben dem Lenkrad und streckt den Zeigefinger nach vorne aus. Durch ein Kreisen des Zeigefingers im Uhrzeigersinn erhöht der Fahrer die Radiolautstärke, durch ein Kreisen gegen den Uhrzeigersinn verringert er sie.

Dem gegenüber steht die konventionelle Bedienung, bei der die Radiolautstärke über zwei Tasten am Lenkrad eingestellt wird. Das Drücken der Taste mit Pfeil nach oben erhöht die Lautstärke, das Drücken der Taste mit Pfeil nach unten verringert sie.

Das Drücken der entsprechenden Tasten wie auch eine komplette Umdrehung des Zeigefingers erhöhen bzw. verringern die Radiolautstärke um jeweils 10 %. Um neben der akustischen Rückmeldung über die Radiolautstärkenänderung selbst dem Fahrer zusätzlich ein visuelles Feedback zu bieten, wurde vergleichbar zu einem Head-up-Display die aktuelle Lautstärke in Prozent über die Fahrsimulation auf die Leinwand projiziert.

Da im Fall der konventionellen Bedienung die Interaktion direkt am Lenkrad stattfindet und die Hand somit nicht vom Lenkrad genommen werden muss, ist nicht zu erwarten, dass die Gestensteuerung einen objektiven Vorteil gegenüber dem Multifunktionslenkrad besitzt. Es ist anzunehmen, dass die konventionelle Interaktion über das Lenkrad schneller, komfortabler und sicherer vonstattengeht. Inwiefern sich dies auf die Akzeptanz auswirkt und ob sich dennoch ein gesteigertes Nutzererlebnis einstellt (vgl. Abschnitt 3.2), soll im Rahmen des Versuchs betrachtet werden.

Informationsanzeige

Zuletzt soll das Abrufen von aktuellen Fahrzeugdaten wie etwa Reifendruck und Öltemperatur untersucht werden. Hierbei soll die Gestensteuerung als sogenannte *Shortcut*-Funktion eingesetzt werden. Das Abrufen von Fahrzeugdaten ist bislang mittels hierarchischer Menüsteuerung über das Multifunktionslenkrad möglich (vgl. Abschnitt 4.2.3, S. 61). Um einen potenziell schnelleren und einfacheren Zugang zu diesen Informationen zu schaffen, soll durch eine Gestensteuerung eine entsprechende Anzeige auf dem Sekundärdisplay aufgerufen werden können. Auf dieser sogenannten Informationsanzeige werden dann sämtliche relevanten Informationen dargestellt. Wird die Informationsanzeige aufgerufen, schiebt sie sich ausgehend vom oberen Bildschirmrand mit einer kurzen Animation nach unten ins Bild, wodurch die aktuelle Anzeige überblendet wird.

Um die Informationsanzeige per Geste aufzurufen, zeigt der Fahrer mit dem Zeigefinger auf das Sekundärdisplay, das sich rechts neben dem Lenkrad befindet. Bewegt er dann den Zeigefinger vor dem Bildschirm nach unten, indem er das Handgelenk nach unten abknickt, blendet er die Informationsanzeige ein.

Statt die Gestensteuerung mit einer Menüsteuerung zu vergleichen, welche deutlich mehr Bedienschritte erfordert, soll die Gestensteuerung stattdessen vergleichbaren Interaktionsmodalitäten gegenübergestellt werden. Im Rahmen der konventionellen Bedienung wird daher zum einen die Touch-Eingabe herangezogen, wozu das Sekundärdisplay als Touchscreen ausgeführt ist. Berührt der Fahrer das Sekundärdisplay am oberen Bildschirmrand und zieht den Finger von dort aus nach unten, wird die Informationsanzeige eingeblendet.

Zum anderen soll die Gestensteuerung zusätzlich mit einer Sprachsteuerung verglichen werden. Für das Aufrufen der Informationsanzeige mittels Sprachsteuerung drückt der Fahrer zunächst die Push-to-Talk-Taste am Lenkrad, um die Spracherkennung zu aktivieren. Hält der Fahrer die Taste gedrückt und spricht dann den Sprachbefehl „Fahrzeuginformationen“ aus, erscheint die Informationsanzeige auf dem Bildschirm. Sowohl im Falle der Touch-Eingabe als auch bei einem Aufruf per Sprach- oder Gestensteuerung wird die Informationsanzeige nach einem Zeitintervall von drei Sekunden automatisch wieder ausgeblendet.

6.1.2 Untersuchungsschwerpunkte und Hypothesen

Mit den im vorangehenden Abschnitt beschriebenen Gestensteuerungskonzepten sollen verschiedene Aspekte des nutzbringenden Einsatzes einer Gestensteuerung im Nutzfahrzeug untersucht werden. Zu diesem Zweck werden die nachfolgenden Hypothesen formuliert, die im Rahmen des Versuchs überprüft werden.

Gerade für das Einschalten des Innenlichts ist anzunehmen, dass eine Interaktion mittels Gestensteuerung weniger lange dauert als mittels Taster. Während bei der konventionellen Bedienung zuerst der Taster visuell identifiziert und dann die Hand zu ihm hinbewegt werden muss, erfolgt die Eingabe mittels Geste unmittelbar und daher vermutlich schneller. Darüber hinaus soll untersucht werden, inwiefern die Gestensteuerung als *Shortcut* zum Aufruf der Informationsanzeige eine schnellere Eingabe erlaubt als vergleichbare Eingabemodalitäten. Folgendes Hypothesenpaar wird aufgestellt:

H₁₋₁: Die Dauer einer Interaktion mittels Gestensteuerung ist kürzer als die Dauer einer Interaktion mittels konventioneller Bedienung.

H₁₋₀: Die Dauer einer Interaktion mittels Gestensteuerung ist nicht kürzer als die Dauer einer Interaktion mittels konventioneller Bedienung.

Aufgrund potenziell kürzerer Bedienzeiten, insbesondere aber auch aufgrund dessen, dass sich beispielsweise im Fall des Sonnenrollos der Fahrer nicht über das Lenkrad beugen muss, ist anzunehmen, dass die Interaktion mittels Gestensteuerung motorisch weniger ablenkend ist. Auch muss etwa wie im Falle des Innenlichts kein Bedienelement visuell identifiziert werden, sodass auch die visuelle Ablenkung bei einer Gestensteuerung geringer sein sollte. Hieraus resultiert das Hypothesenpaar:

H₂₋₁: Eine Interaktion mittels Gestensteuerung führt zu einer geringeren Ablenkung von der Fahraufgabe als eine Interaktion mittels konventioneller Bedienung.

H₂₋₀: Eine Interaktion mittels Gestensteuerung führt zu keiner geringeren Ablenkung von der Fahraufgabe als eine Interaktion mittels konventioneller Bedienung.

Dadurch, dass die Gestensteuerung berührungsfrei erfolgt, müssen vom Fahrer keine Bedienelemente oder Stellteile erreicht werden. So entfällt beispielsweise beim Einstellen des Sonnenrollos die Notwendigkeit, sich nach vorne zu beugen, um das Sonnenrollo zu greifen. Der Fahrer kann stattdessen in seiner Sitzposition verbleiben und von dieser aus die Geste komfortabel und ohne Anstrengung ausführen. Dies führt zu dem Hypothesenpaar:

H₃₋₁: Gegenüber einer Interaktion mittels konventioneller Bedienung führt die Interaktion mittels Gestensteuerung zu einer physischen Entlastung.

H₃₋₀: Gegenüber einer Interaktion mittels konventioneller Bedienung führt die Interaktion mittels Gestensteuerung zu keiner physischen Entlastung.

Ein weiterer Aspekt, der im Rahmen des Versuchs betrachtet werden soll, ist die Auswirkung der Gestensteuerung auf das Nutzererlebnis (*User Experience*). Es ist anzunehmen, dass durch eine gesteigerte User Experience der Fahrerarbeitsplatz ansprechender und attraktiver gestaltet werden kann. Inwiefern die Gestensteuerung hierzu einen Beitrag leisten kann und inwieweit die User Experience dabei von anderen Aspekten des nutzbringenden Einsatzes einer Gestensteuerung abhängt, soll basierend auf dem nachfolgenden Hypothesenpaar betrachtet werden:

H₄₋₁: Gegenüber einer Interaktion mittels konventioneller Bedienung führt die Interaktion mittels Gestensteuerung zu einer höheren User Experience.

H₄₋₀: Gegenüber einer Interaktion mittels konventioneller Bedienung führt die Interaktion mittels Gestensteuerung zu keiner höheren User Experience.

Für die Wirksamkeit einer Gestensteuerung spielt nicht nur der Mehrwert, der durch die Gestensteuerung geschaffen werden kann, eine wichtige Rolle. Die Gestensteuerung muss vor allem

auch von ihren Nutzern akzeptiert werden (vgl. Abschnitt 5.1). Nur durch eine ausreichende Nutzerakzeptanz ist sichergestellt, dass die Gestensteuerung verwendet wird und dadurch einen Mehrwert erzielen kann. Vor diesem Hintergrund sollen die einzelnen Gestensteuerungskonzepte auf ihre Nutzerakzeptanz hin untersucht werden, wofür folgendes Hypothesenpaar aufgestellt wird:

H₅₋₁: Die Nutzerakzeptanz der Gestensteuerung ist mindestens genauso hoch wie die der konventionellen Bedienung.

H₅₋₀: Die Nutzerakzeptanz der Gestensteuerung ist geringer als die der konventionellen Bedienung.

6.1.3 Versuchsaufbau und Wizard-of-Oz-Methodik

Der Versuch ist als sogenanntes *Wizard-of-Oz-Experiment* konzipiert (vgl. Nielsen, 1994). Dies bedeutet, dass die Gesten, welche eine Versuchsperson ausführt, nicht von einem Gestenerkennungssystem, sondern von einer anderen Person – dem sogenannten *Wizard* – interpretiert werden. Ohne es zu wissen, wird die Versuchsperson vom Wizard beobachtet. Führt die Versuchsperson eine entsprechende Geste aus, aktiviert der Wizard die betreffende Funktion im Hintergrund, während die Versuchsperson im Glauben ist, mit einer realen Gestensteuerung zu interagieren.

Wie bereits von Geiger (2003) beschrieben wird, weist die Konzeption des Versuchs als Wizard-of-Oz-Experiment zweierlei Vorteile auf. Einerseits erlaubt die Simulation der Gestensteuerung eine frühzeitige Evaluation der Konzepte, da für den Versuch noch kein Gestenerkennungssystem implementiert werden muss. Andererseits können vor allem aber auch die für Erkennungssysteme typischen Fehlerkennungen kontrolliert werden. Gerade für den Vergleich der Gestensteuerung mit der konventionellen Bedienung und eine damit einhergehende Evaluation des Mehrwerts ist dies zur Gewährleistung der Vergleichbarkeit von großer Bedeutung. Um aber dennoch eine möglichst realistische Gestensteuerung zu simulieren, wurde die Gestenerkennung nicht gänzlich idealisiert. So interpretierte der Wizard nicht nur die Gesten, sondern auch jene Bewegungen der Versuchspersonen, die nicht als Geste intendiert waren, aber dennoch mit einer entsprechenden Charakteristik ausgeführt wurden (*False Positives*). Entsprechende Fälle traten mitunter während der Instruktion auf, nicht jedoch während dem Versuch selbst. Das Nichterkennen von Gesten (*False Negatives*) wurde zur Gewährleistung der Vergleichbarkeit vom Wizard hingegen nicht simuliert.

Damit er von der Versuchsperson nicht gesehen wird, befindet sich der Wizard im sogenannten Kontrollraum außerhalb des Fahrsimulators (vgl. Abbildung 6-1). Von dort aus beobachtet er die Versuchspersonen über verschiedene Kameras, die im Fahrsimulator angebracht sind. Die Kameras sind so positioniert, dass die Bildausschnitte die jeweiligen Gesten möglichst gut erfassen (vgl.

Abbildung 6-2, rechts). Zusätzlich zur Gestenerkennung simuliert der Wizard auch die Spracherkennung. Hierzu ist eine Sprechverbindung zwischen Fahrsimulator und Kontrollraum eingerichtet. Zur Steuerung der Funktion verfügt der Wizard über eine Bedienkonsole (vgl. Abbildung 6-2, links), von der aus er die Sonnenblende und das Innenlicht fernsteuert. Das Aufrufen der Informationsanzeige und das Einstellen der Radiolautstärke übernimmt der Wizard über die PC-Tastatur.

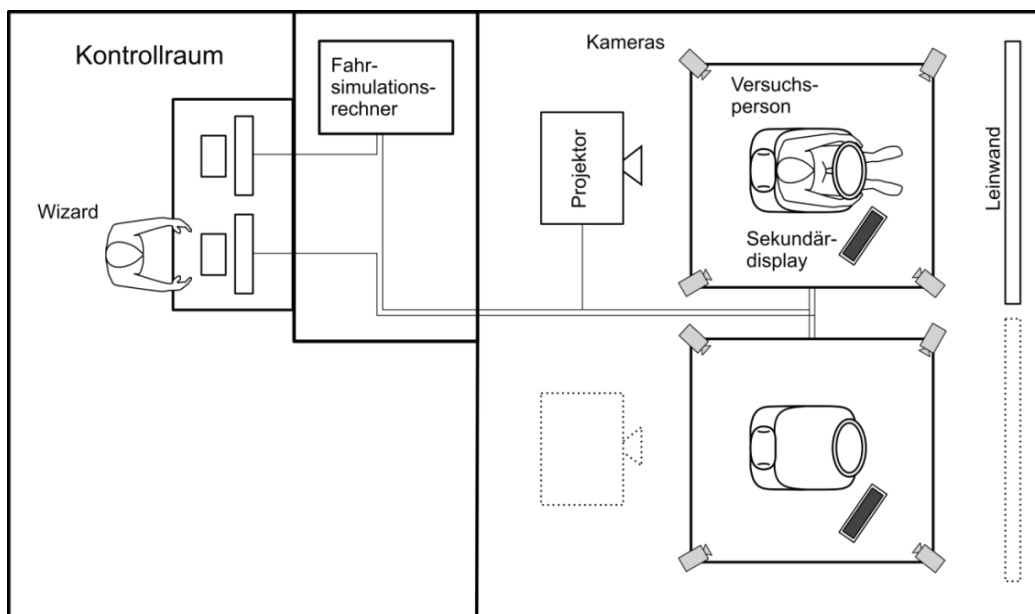


Abbildung 6-1: Schematische Darstellung von Fahrsimulator (Vergleichsprüfstand mit seinen einzelnen Komponenten) und Kontrollraum. Vom Kontrollraum aus bedient der Wizard die jeweiligen Funktionen und simuliert dadurch sowohl die Gestensteuerung als auch die Sprachsteuerung.



Abbildung 6-2: Der Wizard steuert eine Funktion mittels Bedienkonsole (links) auf Grundlage der auf dem Kamerabild zu erkennenden Geste (rechts). Insgesamt wurden vier Kameras eingesetzt, wobei jede Kamera einer bestimmten Geste zugeordnet und so im Fahrsimulator positioniert wurde, dass die betreffende Geste optimal zu erkennen war.

Das Experiment wurde in einem sogenannten Vergleichsprüfstand durchgeführt, einem statischen Fahrsimulator, der aus zwei Mockups besteht (vgl. Abbildung 6-3). Beide Mockups bilden jeweils die Fahrerkabine eines Lkw nach und können unabhängig voneinander betrieben werden. Eines der beiden Mockups umfasste die vermeintliche Gestensteuerung. Um den Versuchspersonen die Gestensteuerung glaubwürdig präsentieren zu können, wurde eine 3D-Kamera für die Versuchspersonen gut sichtbar im Dachhimmel dieses Mockups angebracht. Das zweite Mockup enthielt hingegen sämtliche für die konventionelle Bedienung erforderlichen Bedienelemente. Instrumententafel, Sonnenrollo und Sekundärdisplay wurden gemäß aktueller Fahrerhauskonfigurationen positioniert. Beim Lenkrad handelte es sich wie auch beim Sitz und der Pedalerie um Serienbauteile. In dieser Hinsicht waren beide Mockups identisch aufgebaut.



Abbildung 6-3: Vergleichsprüfstand, bestehend aus zwei einzelnen Fahrerhaus-Mockups. Durch Verschieben von Leinwand und Projektor kann die Fahrsimulation zwischen den beiden Mockups verfahren werden. Während das eine Mockup als Fahrerkabine mit Gestensteuerung aufgebaut ist, umfasst das andere Mockup alle für die konventionelle Bedienung relevanten Bedienelemente.

6.1.4 Versuchsablauf und -durchführung

Der Versuch umfasst insgesamt vier Versuchsfahrten. Die ersten beiden aufeinanderfolgenden Versuchsfahrten fanden in einem der beiden Mockups statt. Anschließend wechselten die Versuchspersonen in das andere Mockup und führten dort die zweiten zwei Versuchsfahrten durch. Während der jeweiligen Versuchsfahrten war es die Aufgabe der Probanden, die entsprechenden Funktionen per Gestensteuerung bzw. auf konventionelle Weise zu bedienen. Da die Reihenfolge der paarweisen Versuchsfahrten zufällig war, wurde der einen Hälfte der Versuchspersonen zuerst die Gestensteuerung präsentiert, während die andere Hälfte mit den Versuchsfahrten zur konventionellen Bedienung begann.

Zu Beginn des Versuchs wurden die Teilnehmer in den Versuchsablauf eingewiesen und machten im Rahmen eines demografischen Fragebogens Angaben zur Person. Daraufhin nahmen die Versuchspersonen im ersten Mockup Platz und führten eine Eingewöhnungsfahrt durch, um sich mit dem Simulator vertraut zu machen und sich an die Fahrsimulation zu gewöhnen. Anschließend wurde das Blickerfassungssystem (vgl. Abschnitt 6.1.5) kalibriert, bevor den Versuchspersonen die Gestensteuerung bzw. die konventionelle Bedienung präsentiert und erklärt wurde.

Allen Versuchspersonen war die Möglichkeit gegeben, die einzelnen Funktionen so lange zu bedienen und auszuprobieren, bis sie sich im Umgang mit den jeweiligen Bedienmodalitäten sicher fühlten. Vor allem das Ausführen der Gesten wurde solange geübt, bis sich ein sicherer Umgang mit der vermeintlichen Gestensteuerung einstellte. Bereits während dieser Eingewöhnungsphase löste der Wizard bei jeder korrekt ausgeführten Geste die entsprechende Funktion aus, um den Versuchspersonen die Wirkungsweise der Gestensteuerung zu vermitteln.

Während der darauffolgenden Versuchsfahrten war es die Aufgabe der Versuchspersonen, mit konstanter Geschwindigkeit von 80 km/h auf der rechten Spur einer zweispurigen Strecke zu fahren. Während dieser simulierten Autobahnfahrt erhielten die Versuchspersonen zu definierten Zeitpunkten über eine automatisierte Audiowiedergabe verschiedene Aufgaben, gemäß derer die Funktionen bedient werden sollten. Abbildung 6-4 zeigt die Abfolge der einzelnen Aufgaben. Um mit den Aufgaben möglichst realistische Bedienszenarien nachzubilden, war jede Funktion jeweils nur einmal zu bedienen.

Nach den Versuchsfahrten wurden den Versuchspersonen Fragebögen überreicht, mit denen die jeweilige Bedienung der Funktionen bewertet wurde. Durch die Aufteilung in je zwei Versuchsfahrten war es den Versuchspersonen möglich, die Bedienung der jeweiligen Funktion möglichst zeitnah zu bewerten. Nachdem alle vier Versuchsfahrten durchgeführt wurden, konnten die Versuchspersonen in einem teilstrukturierten Abschlussinterview die einzelnen Bedienmodalitäten noch einmal kommentieren und beurteilen.

	Gestensteuerung	Konventionelle Bedienung
Versuchsfahrt 1	„Bitte blenden Sie die Informationen zum Fahrzeug auf dem Display ein.“	„Bitte blenden Sie die Informationen zum Fahrzeug auf dem Touchscreen ein.“
	„Bitte fahren Sie die Sonnenblende bis zur Markierung nach unten.“	„Bitte ziehen Sie die Sonnenblende bis zur Markierung nach unten.“
	Fragebögen	Fragebögen
Versuchsfahrt 2	„Bitte erhöhen Sie die Radiolautstärke auf 80 %.“	„Bitte erhöhen Sie die Radiolautstärke auf 80 %.“
	„Bitte schalten Sie das Innenlicht ein.“	„Bitte blenden Sie die Informationen zum Fahrzeug über die Sprachsteuerung ein.“
		„Bitte schalten Sie das Innenlicht ein.“
	Fragebögen	Fragebögen

Abbildung 6-4: Abfolge der einzelnen Aufgaben mit der jeweils zugehörigen Anweisung. Am Ende jeder Versuchsfahrt wurde die Bedienung der jeweiligen Funktion mittels Fragebögen bewertet.

6.1.5 Eingesetzte Fragebögen und Erhebungsinstrumente

Zur Überprüfung der Hypothesen wurden sowohl objektive als auch subjektive Daten erhoben. Als Maß für die Bedienzeit dient die Dauer der Interaktion. Dazu wurde zu Beginn der jeweiligen Ansage der Aufgabe eine Zeitmessung gestartet. Mit dem Auslösen der Funktion, entweder nach dem erfolgreichen Ausführen der Geste oder nach einer entsprechend manuellen Eingabe, wurde die Zeitmessung wiederum gestoppt. Auf diese Weise wurde die Gesamtdauer jeder Interaktion ermittelt. Um zu überprüfen, ob die Gestensteuerung im Vergleich zur konventionellen Bedienung durch eine kürzere Interaktionsdauer auch eine effizientere Interaktion zulässt, wurde im Fall des Sonnenrollos zudem untersucht, ob ein ggf. schnelleres Einstellen des Sonnenrollos mit etwaigen Einbußen hinsichtlich der Genauigkeit der Einstellung verbunden ist. Hierzu war es die Aufgabe der Versuchspersonen, das Sonnenrollo bis zu einer vorgegebenen Markierung nach unten zu ziehen bzw. zu fahren. Die Abweichung der eingestellten Position des Sonnenrollos von dieser Markierung wurde gemessen und als Maß für die Genauigkeit herangezogen.

Die Ablenkung von der Fahraufgabe wurde in zweierlei Hinsicht untersucht. Einerseits wurde durch den Einsatz des Eye-Tracking-Systems Dikablis die visuelle Ablenkung während einer jeden Interaktion erfasst. Die Dauer der Blickabwendung von der Straße während der Interaktion

soll dabei Aufschluss über den Grad der visuellen Ablenkung geben. Andererseits soll aber auch untersucht werden, inwiefern sich die Ablenkung – sowohl visuell als auch motorisch – auf die Fahrsicherheit auswirkt. Hierzu wurden mit der verwendeten Fahrsimulationssoftware SILAB verschiedene Fahrdaten erhoben. Zur Beurteilung der Fahrsicherheit und damit zur Überprüfung der Auswirkungen der visuellen und motorischen Ablenkung dient die Spurhaltegröße, die als Standardabweichung der lateralen Fahrzeugposition (SDLP) gemessen wird.

Hinsichtlich der subjektiven Daten kamen verschiedene Fragebögen zum Einsatz. Ob die Gestensteuerung zu einer physischen Entlastung führt und ob sich die Interaktion dadurch weniger beanspruchend gestaltet, wurde durch den Raw TLX (RTLX) Fragebogen erhoben (Byers, Bittner & Hill, 1989). Von Interesse ist hierbei insbesondere das Urteil der Versuchspersonen in Hinblick auf die *physische Anforderung* einer jeden Interaktion, die im Folgenden aber auch in Relation zur Beanspruchung insgesamt (*Overall Workload*) betrachtet werden soll.

Zur Erhebung der User Experience wurde ein reduzierter UEQ Fragebogen eingesetzt (Laugwitz, Schrepp & Held, 2006). Mit diesem reduzierten Fragebogen wurden die Dimensionen Attraktivität, Stimulation und Originalität der jeweiligen Bedienmodalität gemessen. Von einer Erhebung der Dimensionen Durchschaubarkeit, Vorhersagbarkeit und Effizienz wurde hingegen abgesehen, da anzunehmen ist, dass insbesondere die Effizienz mit den in diesem Versuch erhobenen Bedienzeiten korrelieren (vgl. Laugwitz et al., 2006). Zugunsten eines kürzeren Fragebogens beschränkte sich daher die Erhebung der User Experience auf die erstgenannten Dimensionen, zumal diese Konstrukte in Hinblick auf Aspekte wie Begeisterung und Wohlgefallen treffender erscheinen.

Eine Bewertung der Nutzerakzeptanz erfolgte mittels Van der Laan Acceptance Scale (Van der Laan, Heino & De Waard, 1997). Mit diesem Fragebogen wird die Nutzerakzeptanz anhand der Dimensionen Nützlichkeit und Zufriedenheit erhoben. Gerade die subjektiv empfundene Nützlichkeit stellt hier ein bedeutsames Maß dar, zu der insbesondere auch die objektiven Daten in Relation gesehen werden müssen. Da einige Items der Van der Laan Acceptance Scale mit den Items des UEQ inhaltlich identisch sind, wurden diese Items im Rahmen des Versuchs lediglich mittels Van der Laan Acceptance Scale erhoben, um Doppelungen zu vermeiden. Diese Daten wurden gemäß Anhang D transformiert und konnten auf diese Weise ebenso für den UEQ verwendet werden.

Abschließend zum Versuch wurde mit jedem Versuchsteilnehmer ein teilstrukturiertes Interview durchgeführt. In diesem Interview äußerten die Teilnehmer ihre Eindrücke zur jeweiligen Bedienmodalität und gaben für jede Funktion an, ob sie hierfür die Gestensteuerung oder die konventionelle Bedienung bevorzugen. Darüber hinaus bewerteten die Versuchsteilnehmer anhand einer Rating-Skala, wie gut die jeweilige Geste zur Funktion passt. Die Versuchsteilnehmer wurden dabei gebeten, weitere Gesten vorzuschlagen, welche sie für geeigneter halten oder welche sie sich im Rahmen einer Gestensteuerung als Alternative vorstellen könnten.

6.1.6 Stichprobe

Insgesamt nahmen 28 Berufskraftfahrer und Personen, die aufgrund ihrer beruflichen Tätigkeit regelmäßig Lkw fahren (z. B. Lkw-Mechaniker, Fahrlehrer, Feuerwehrmann, etc.), am Versuch teil. Die Versuchspersonen waren zwischen 24 und 72 Jahre alt ($M = 41.8$, $SD = 14.1$) und wiesen eine durchschnittliche Berufserfahrung in Verbindung mit Lkw von 16.4 Jahren ($SD = 12.8$) auf. Drei Versuchspersonen waren weiblich. Abgesehen von einer Person, die angab, eine Rot-Grün-Sehschwäche zu besitzen, waren alle Versuchsteilnehmer weder visuell noch motorisch in irgendeiner Form beeinträchtigt.

Vor ihrer Teilnahme am Versuch hatten 22 Versuchspersonen keinerlei Erfahrung mit berührungsfreien Gestensteuerungen. Lediglich eine Person gab an, bereits einige Erfahrung mit Gestensteuerung zu besitzen. Ihr war die Gestensteuerung aus dem Pkw sowie aus dem Bereich der Spielekonsolen bekannt. Von den fünf Personen, die nur wenig Erfahrung mit Gestensteuerung hatten, gab je eine weitere Person an, die Gestensteuerung aus dem Pkw bzw. aus dem Bereich der Spielekonsolen zu kennen. Die drei verbleibenden Versuchsteilnehmer machten hierzu keine weiteren Angaben.

6.1.7 Ergebnisse

Die erhobenen Daten zu jeder Funktion wurden dazu verwendet, die Gestensteuerung mit der konventionellen Bedienung zu vergleichen. Um die Unterschiede auf Signifikanz zu prüfen, wurden t-Tests und ANOVAs berechnet. Hierzu erfolgte im Vorfeld mittels Kolmogorow-Smirnow-Test eine Überprüfung der Datensätze auf Normalverteilung. In solchen Fällen, in denen eine Normalverteilungsannahme nicht möglich war, wurde statt eines t-Tests ein Wilcoxon-Test berechnet. Alle Tests erfolgten auf einem Signifikanzniveau von 5 %. Im Folgenden werden die Daten deskriptiv dargestellt und die Ergebnisse der statistischen Verfahren berichtet⁶.

Bedienzeiten und Genauigkeit

Hinsichtlich der Bedienzeiten konnten für sämtliche Funktionen Unterschiede zwischen Gestensteuerung und konventioneller Bedienung festgestellt werden (Abbildung 6-5). Sowohl das Einschalten des Innenlichts ($U = -4.56$; $p < .001$) als auch das Einstellen des Sonnenrollos ($U = -2.28$; $p = .023$) nimmt im Fall der Gestensteuerung signifikant weniger Zeit in Anspruch. Hingegen konnte die Radiolautstärke mittels konventioneller Bedienung signifikant schneller eingestellt werden ($t(26) = 5.99$; $p < .001$). Für das Aufrufen der Informationsanzeige waren ebenso signifikante Unterschiede feststellbar ($F(2,46) = 83.16$; $p < .001$). Post-hoc-Tests zeigen signifikante Differenzen für alle Bedienmodalitäten (jeweils $p < .001$).

⁶ Einzelne Ergebnisse (Blickdaten, Abschlussinterview) entstanden mit Unterstützung der betreuten Studienarbeit von Jobst (2017).

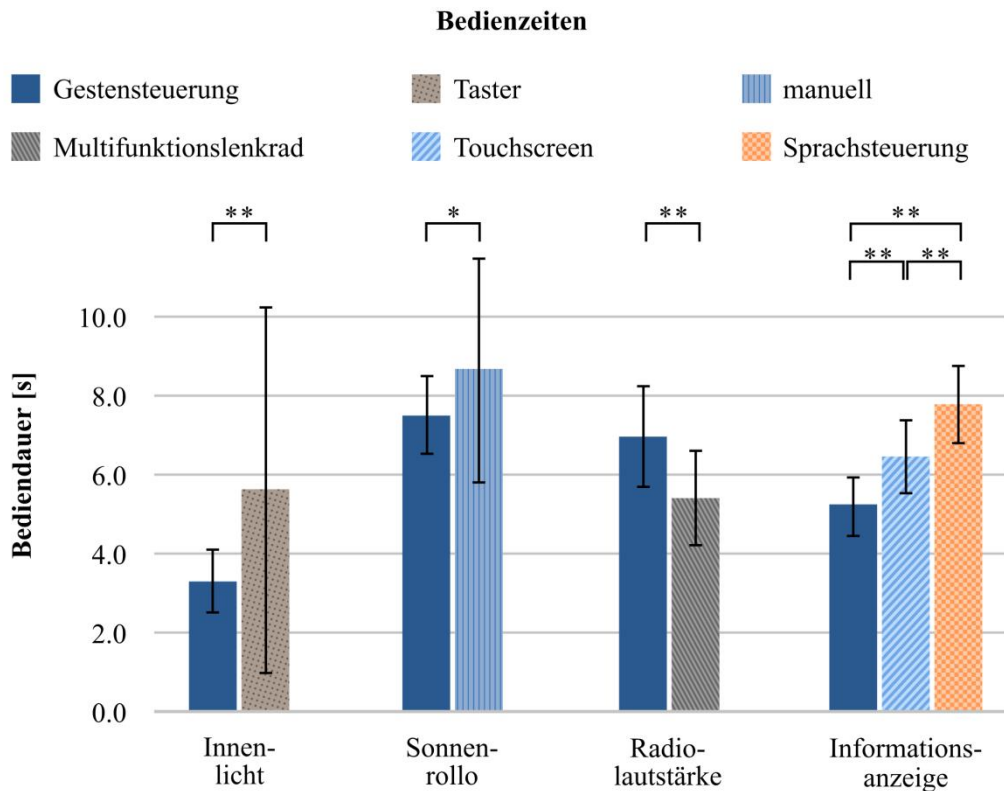


Abbildung 6-5: Vergleich der Bedienzeiten für Gestensteuerung und konventionelle Bedienung. Fehlerbalken entsprechen $\pm 1 SD$; * $p < .05$; ** $p < .001$

Für das Sonnenrollo wurde ebenso gemessen, wie weit das eingestellte Sonnenrollo von der vorgegebenen Markierung und somit vom Soll-Wert abweicht. Tabelle 6-2 zeigt charakteristische Werte für das Einstellen mittels Gestensteuerung sowie für das Einstellen von Hand. Positive Werte bedeuten, dass das Sonnenrollo zu hoch eingestellt wurde, negative Werte bedeuten, dass das Sonnenrollo zu tief eingestellt wurde. Um ein Maß für die mittlere Abweichung zu erhalten, wurden zudem die Mittelwerte aus den Beträgen der jeweils gemessenen Werte berechnet. Jener für die Gestensteuerung ist dabei signifikant höher als jener für das Einstellen von Hand ($t(27) = -2.77$; $p = .010$). Das Einstellen des Sonnenrollos mittels Gestensteuerung ist folglich ungenauer.

Tabelle 6-2: Charakteristische Werte für die Genauigkeit, mit der das Sonnenrollo per Gestensteuerung sowie per manueller Bedienung eingestellt wurde. Alle Angaben in Millimeter.

	<i>/ M /</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>Min.</i>	<i>Max.</i>
Gesteuerung	10.6	-3.9	15.5	-42	22
Einstellen von Hand	3.1	-2.4	6.5	-25	5

/ M / = Mittelwert der Beträge; *M* = Mittelwert; *SD* = Standardabweichung
Min. = größte Abweichung nach unten; *Max.* = größte Abweichung nach oben

Ablenkung und Fahrsicherheit

Zur Beurteilung der visuellen Ablenkung wurde für jede Interaktion die Dauer der Blickabwendung von der Straße gemessen. Aus diesen Werten lässt sich unter Kenntnis der Gesamtdauer einer jeden Interaktion die sogenannte *AOI Attention Ratio* berechnen. Die *AOI Attention Ratio* beschreibt den prozentualen zeitlichen Anteil einer Interaktion, bei dem die Versuchsperson auf die Straße blickt. Dementsprechend kann die *AOI Attention Ratio* Werte zwischen 0 und 100 % annehmen, wobei ein Wert von 100 % einem durchgängigen Blick auf die Straße entspricht und somit auf eine sehr geringe visuelle Ablenkung schließen lässt. Abbildung 6-6 zeigt die durchschnittliche *AOI Attention Ratio* der Gestensteuerung sowie der konventionellen Bedienung. Wie zu erkennen ist, ergibt sich für das Einschalten des Innenlichts ein signifikanter Unterschied zwischen Gestensteuerung und konventioneller Bedienung ($t(11) = 13.0$; $p < .001$). Die visuelle Ablenkung der Gestensteuerung ist dabei signifikant geringer als die des Tasters. Auch für das Aufrufen der Informationsanzeige berechnete sich ein signifikanter Unterschied ($F(2,28) = 3.62$; $p = .040$). Post-hoc-Tests zeigten hierzu jedoch keine signifikanten Unterschiede zwischen den Modalitäten. Auch ließen sich ansonsten keine signifikanten Unterschiede in der visuellen Ablenkung feststellen.

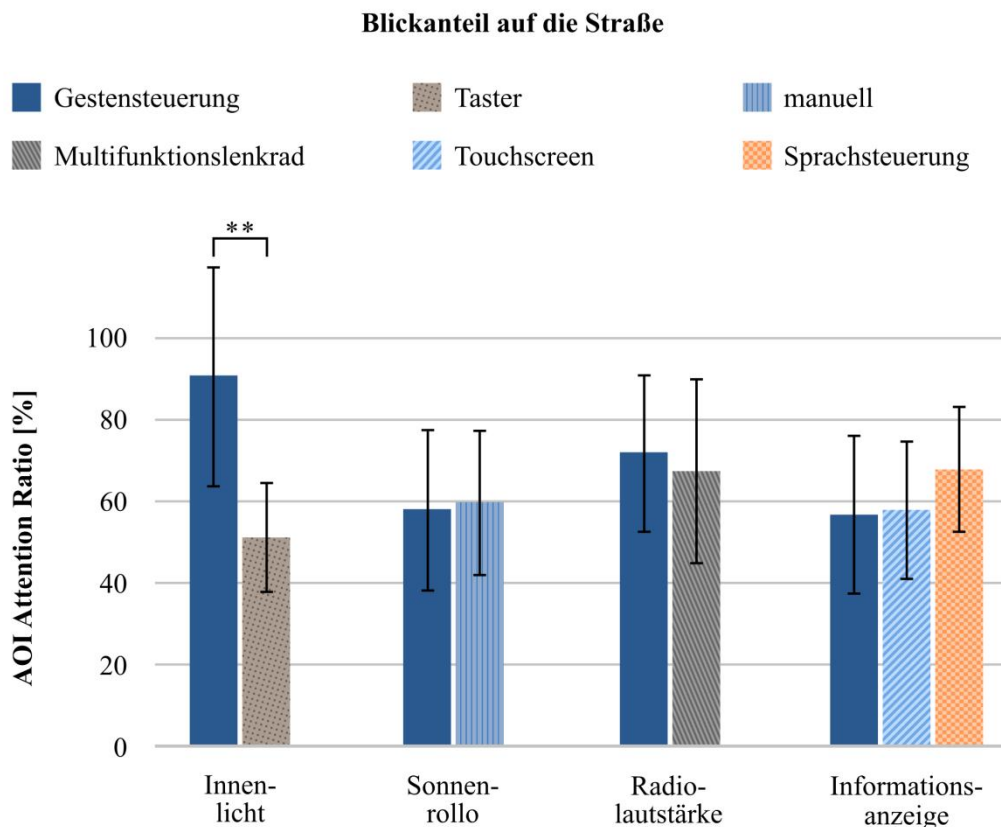


Abbildung 6-6: Vergleich der *AOI Attention Ratio* für Gestensteuerung und konventionelle Bedienung. Fehlerbalken entsprechen $\pm 1 SD$; * $p < .05$; ** $p < .001$

Um die Auswirkungen der visuellen und motorischen Ablenkung auf die Fahrsicherheit zu untersuchen, wird im Folgenden die Standardabweichung der lateralen Position des Fahrzeugs (SDLP) herangezogen. Dieses Maß für die Spurhaltequalität nimmt umso größere Werte an, je größer die Spurabweichung ist. Abbildung 6-7 zeigt die entsprechenden mittleren Werte der SDLP für Gestensteuerung und konventionelle Bedienung. Wie sich zeigt, ergeben sich signifikante Unterschiede in der SDLP sowohl für das Einschalten des Innenlichts ($t(27) = -4.26; p < .001$) als auch für das Einstellen des Sonnenrollos ($t(27) = -2.81; p = .009$). In beiden Fällen ist bei der Nutzung der Gestensteuerung die Spurabweichung geringer. Auch für das Aufrufen der Informationsanzeige zeigt sich ein signifikanter Unterschied ($F(2,46) = 5.12; p = .010$) aufgrund einer signifikant geringeren SDLP bei Nutzung der Gestensteuerung im Vergleich zur Sprachsteuerung ($p = .010$). Für das Einstellen der Radiolautstärke zeigten sich hingegen keine signifikanten Unterschiede.

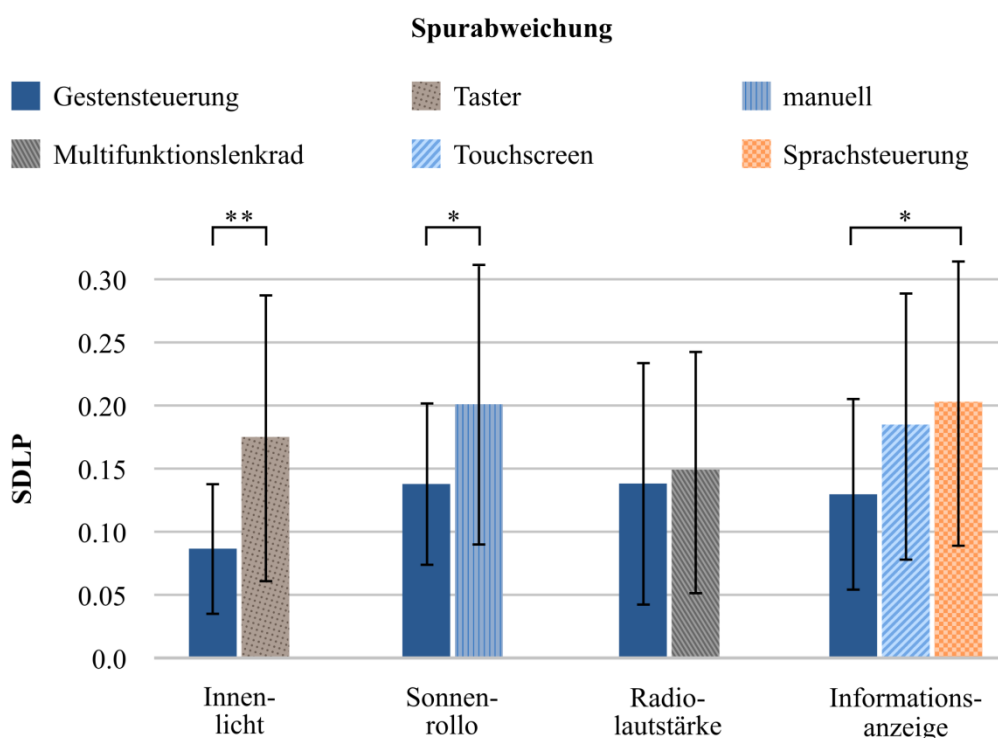


Abbildung 6-7: Vergleich der Spurhaltequalität für Gestensteuerung und konventionelle Bedienung. Fehlerbalken entsprechen $\pm 1 SD$; * $p < .05$; ** $p < .001$

Physische Beanspruchung und Workload

In Bezug auf die physische Beanspruchung zeigt die Auswertung des RTLX signifikante Unterschiede zwischen Gestensteuerung und konventioneller Bedienung (Abbildung 6-8). Mittels Gestensteuerung ist das Einschalten des Innenlichts ($U = -4.30; p < .001$) wie auch das Einstellen des Sonnenrollos ($t(27) = -8.08; p < .001$) physisch weniger beanspruchend. Auch für das Aufrufen der Informationsanzeige waren signifikante Unterschiede feststellbar ($F(2,54) = 12.51; p < .001$). Die physische Beanspruchung ist beim Aufrufen der Informationsanzeige über das

Touchdisplay sowohl im Vergleich zur Gestensteuerung ($p < .001$) als auch im Vergleich zur Sprachsteuerung ($p = .004$) höher. Für das Einstellen der Radiolautstärke waren hingegen keine signifikanten Unterschiede erkennbar.

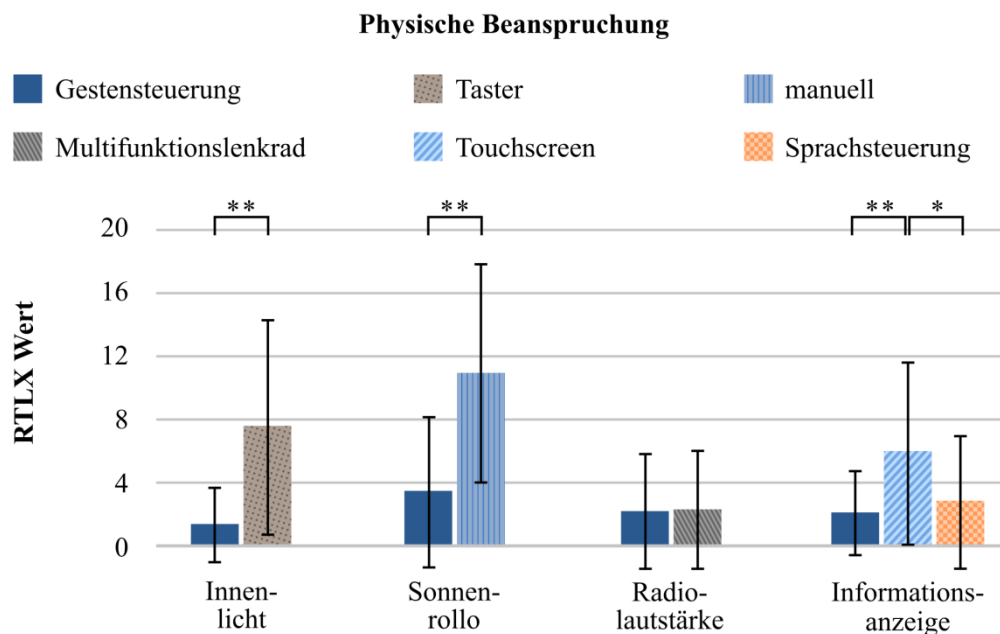


Abbildung 6-8: Vergleich der physischen Beanspruchung für Gestensteuerung und konventionelle Bedienung. Fehlerbalken entsprechen $\pm 1 SD$; * $p < .05$; ** $p < .001$

Um zu überprüfen, ob die Gestensteuerung nicht nur die physische Beanspruchung reduziert, sondern auch zu einer tatsächlichen Entlastung des Nutzers führt, wird im Folgenden die Overall Workload einer jeden Interaktion betrachtet. Eine Darstellung der deskriptiven Daten für Gestensteuerung und konventionelle Bedienung findet sich in Anhang E. Hierbei zeigt sich ein ähnliches Bild wie für die physische Beanspruchung. Im Fall der Gestensteuerung ist die Workload sowohl für das Einschalten des Innenlichts ($U = -4.41$; $p < .001$) wie auch für das Einstellen des Sonnenrollos ($t(27) = -4.65$; $p < .001$) signifikant geringer. Ebenso lassen sich für das Aufrufen der Informationsanzeige signifikante Unterschiede feststellen ($F(2,54) = 6.72$; $p = .002$). Die Workload für das Aufrufen der Informationsanzeige mittels Gestensteuerung ist signifikant geringer als vergleichsweise über das Touchdisplay ($p = .007$). Signifikante Unterschiede für das Einstellen der Radiolautstärke konnten nicht identifiziert werden.

User Experience

Hinsichtlich der User Experience wurden mit dem UEQ Fragebogen die Dimensionen Attraktivität, Stimulation und Originalität erhoben. Die deskriptiven Daten zu den einzelnen Dimensionen sind in Abbildung 6-9 dargestellt.

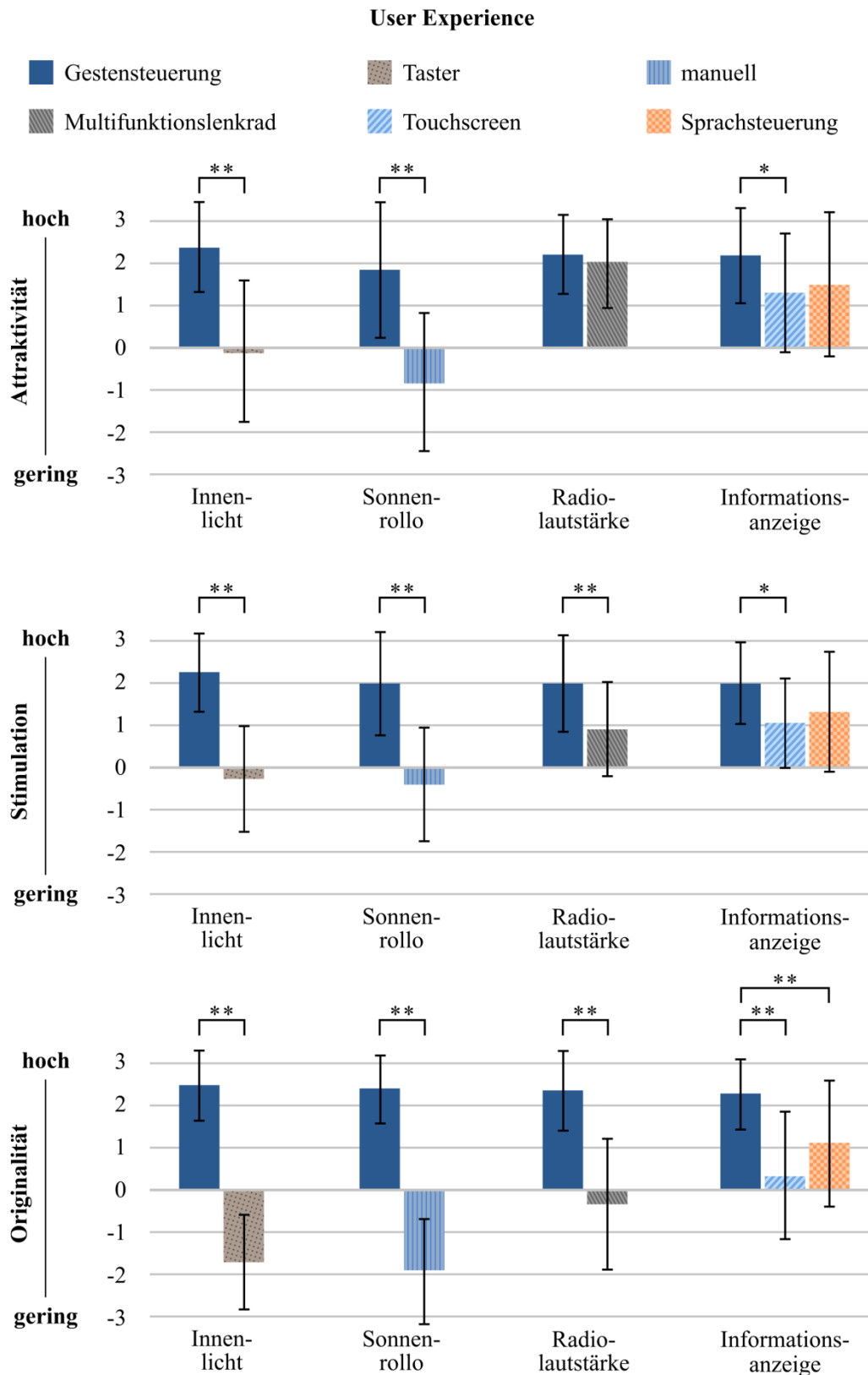


Abbildung 6-9: Vergleich der Attraktivität, Stimulation und Originalität von Gestensteuerung und konventioneller Bedienung. Fehlerbalken entsprechen $\pm 1 SD$; * $p < .05$; ** $p < .001$

Bezüglich der Attraktivität zeigen die Daten signifikante Unterschiede zwischen der Gestensteuerung und der konventionellen Bedienung. So erscheint das Einschalten des Innenlichts ($t(27) = 6.15; p < .001$) wie auch das Einstellen des Sonnenrollos ($t(27) = 6.69; p < .001$) per Gestensteuerung attraktiver. Signifikante Unterschiede bezüglich der Attraktivität wurden auch für das Aufrufen der Informationsanzeige gefunden ($F(2,54) = 4.89; p = .011$). Im Vergleich zur Touch-Eingabe wird auch hier die Gestensteuerung von den Versuchspersonen als signifikant attraktiver wahrgenommen ($p = .004$). Für das Einstellen der Radiolautstärke konnten in puncto Attraktivität keine signifikanten Unterschiede gefunden werden.

In Hinblick auf die Stimulation konnten für alle Funktionen signifikante Unterschiede zwischen Gestensteuerung und konventioneller Bedienung festgestellt werden. Die Ergebnisse legen nahe, dass die Gestensteuerung eine signifikant höhere Stimulation hervorruft als die entsprechend konventionelle Bedienung, in diesem Fall sowohl für das Einschalten des Innenlichts ($t(27) = 7.81; p < .001$), als auch für das Einstellen des Sonnenrollos ($t(27) = 6.06; p < .001$) und ebenso das Anpassen der Radiolautstärke ($t(27) = 4.18; p < .001$). Darüber hinaus konnte auch für das Aufrufen der Informationsanzeige ein Unterschied in der Stimulation festgestellt werden ($F(2,54) = 6.94; p = .002$). Dieser Unterschied geht auf eine signifikant höhere Stimulation der Gestensteuerung im Vergleich zur Touch-Eingabe zurück ($p = .002$).

Zuletzt wurde mit den Daten des UEQ die Originalität der Gestensteuerung mit der der konventionellen Bedienung verglichen. Hierbei zeigten sich für alle Vergleiche signifikante Unterschiede. So besitzt das Einschalten des Innenlichts ($U = -4.63; p < .001$), das Einstellen des Sonnenrollos ($t(27) = 15.92; p < .001$) wie auch das Einstellen der Radiolautstärke ($t(27) = 7.89; p < .001$) mittels Gestensteuerung eine signifikant höhere Originalität. Für das Aufrufen der Informationsanzeige wurden ebenfalls signifikante Unterschiede gefunden ($F(2,54) = 18.06; p < .001$). Diese sind auf die signifikant höhere Originalität der Gestensteuerung gegenüber der Touch-Eingabe ($p < .001$) wie auch gegenüber der Sprachsteuerung ($p = .002$) zurückzuführen.

Nutzerakzeptanz

Die Nutzerakzeptanz wurde mittels Van der Laan Acceptance Scale erhoben und unterteilt sich in die beiden Dimensionen Zufriedenheit und wahrgenommene Nützlichkeit. Die deskriptiven Daten sind der Abbildung 6-10 zu entnehmen.

Hinsichtlich der Zufriedenheit zeigt sich bei der Nutzung der Gestensteuerung sowohl für das Einschalten des Innenlichts ($t(27) = 5.28; p < .001$) wie auch für das Einstellen des Sonnenrollos ($t(27) = 6.32; p < .001$) eine signifikant höhere Zufriedenheit als bei der konventionellen Bedienung. Für das Aufrufen der Informationsanzeige waren ebenfalls signifikante Unterschiede festzustellen ($F(2,54) = 3.68; p = .032$). Das Aufrufen der Informationsanzeige mittels Gestensteuerung führt zu einer signifikant höheren Zufriedenheit als mittels Touch-Eingabe ($p = .018$). Für das Einstellen der Radiolautstärke fanden sich keine signifikanten Unterschiede.

Schließlich konnten auch für die wahrgenommene Nützlichkeit ähnliche Ergebnisse gefunden werden. So wird die Gestensteuerung für das Einschalten des Innenlichts ($t(27) = 4.69; p < .001$) wie für das Einstellen des Sonnenrollos ($t(27) = 3.92; p = .001$) als signifikant nützlicher empfunden als die entsprechende konventionelle Bedienung. Ebenso waren für das Aufrufen der Informationsanzeige signifikante Unterschiede feststellbar ($F(2,54) = 4.21; p = .020$). Im Vergleich zur Touch-Eingabe wurde auch hier die Gestensteuerung als nützlicher bewertet ($p = .018$). Signifikante Unterschiede für das Einstellen der Radiolautstärke konnten nicht gefunden werden.

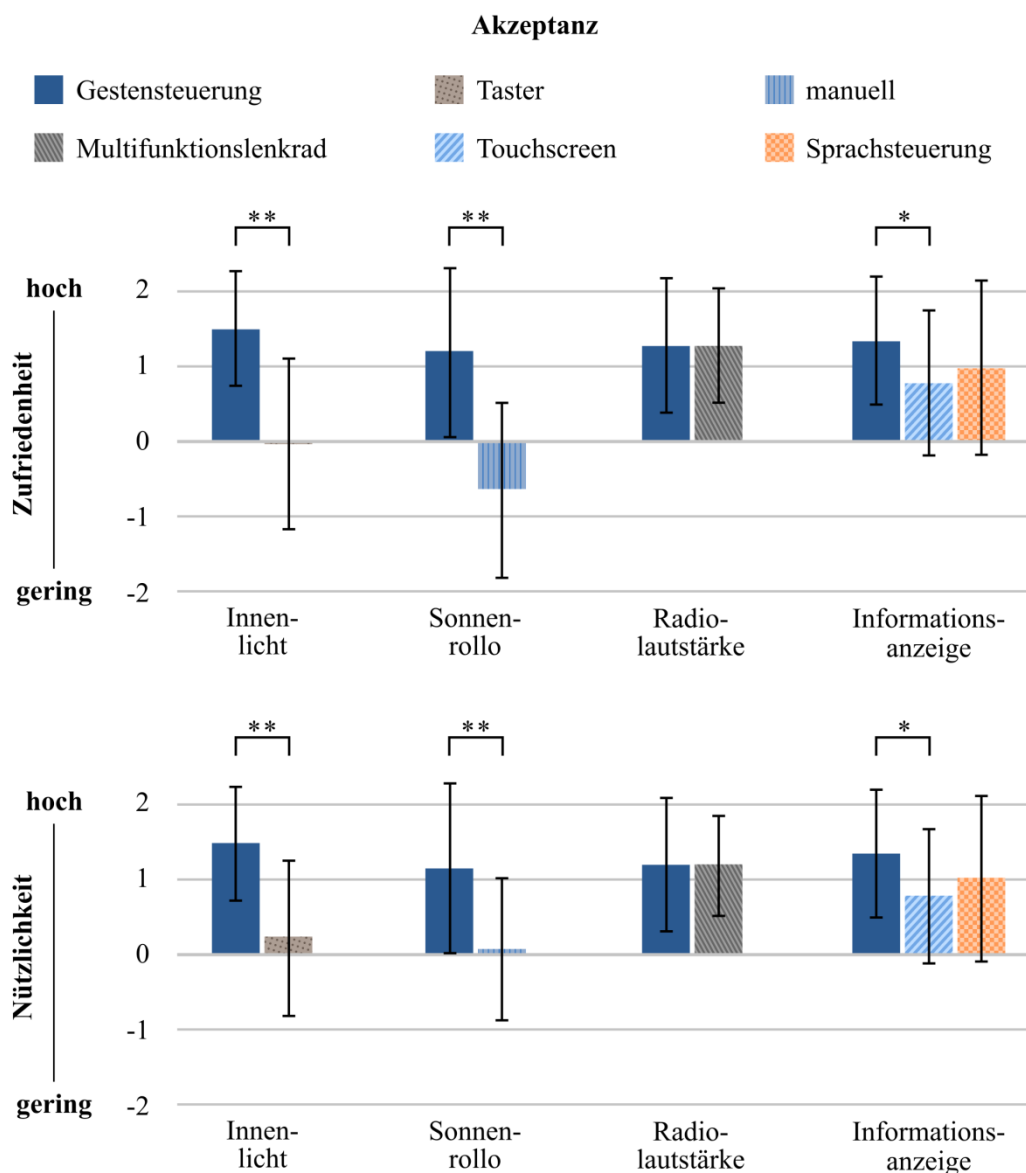


Abbildung 6-10: Vergleich der wahrgenommenen Zufriedenheit und Nützlichkeit von Gestensteuerung und konventioneller Bedienung. Fehlerbalken entsprechen $\pm 1 SD$; * $p < .05$; ** $p < .001$

Auswertung des Abschlussinterviews

Im Abschlussinterview wurden die Versuchspersonen zunächst gebeten, für jede Funktion anzugeben, ob sie hierfür die Verwendung der Gestensteuerung oder die Verwendung der jeweiligen konventionellen Bedienmodalität bevorzugen. In Tabelle 6-3 sind die Ergebnisse zu dieser Fragestellung zusammengefasst. Wie sich zeigt, präferiert ein Großteil der Versuchspersonen bei fast allen Funktionen – ausgenommen der Radiolautstärke – die Verwendung der Gestensteuerung.

Tabelle 6-3: Prozentuale Anteile der Versuchsteilnehmer, die bezüglich einer bestimmten Funktion die Verwendung der Gestensteuerung bzw. die Verwendung der jeweiligen konventionellen Bedienmodalität bevorzugen (N = 28)

Innenlicht	Gestensteuerung	85.7 %	—	14.3 %	Taster
Sonnenrollo	Gestensteuerung	82.1 %	—	17.9 %	manuell
Radiolautstärke	Gestensteuerung	29.6 %	—	70.4 %	Lenkrad
Informationsanzeige	Gestensteuerung	75.0 %	—	25.0 %	Touchscreen
Informationsanzeige	Gestensteuerung	67.9 %	—	32.1 %	Sprachsteuerung

Auf die Frage hin, warum sich die Versuchspersonen für eine bestimmte Modalität entschieden haben, nannten die Versuchspersonen zum Teil sehr ähnliche Antworten. So gaben etwa 20 von insgesamt 28 Versuchspersonen an, für das Einschalten des Innenlichts die Gestensteuerung zu bevorzugen, da kein entsprechender Taster gesucht werden müsse und die Gestensteuerung daher weniger ablenkend sei. Indessen sahen drei Versuchspersonen die Gefahr der Fehlerkennung, was sie zu einer Entscheidung für den Taster bewog.

Das Einstellen des Sonnenrollos per Gestensteuerung wurde von insgesamt 21 Versuchspersonen als einfach bezeichnet. Das manuelle Einstellen des Sonnenrollos sei nach Aussage von fünf Versuchspersonen mit einer stärkeren Ablenkung verbunden. Weitere fünf Versuchspersonen kritisierten, dass sie sich beim manuellen Einstellen des Sonnenrollos nach vorne beugen müssten. Drei Versuchspersonen äußerten jedoch auch, dass mit einer manuellen Bedienung das Sonnenrollo genauer eingestellt werden könne.

Das Regulieren der Radiolautstärke am Multifunktionslenkrad empfanden 16 Versuchspersonen einfacher als im Vergleich zur Gestensteuerung. Fünf Versuchspersonen hoben die haptische Rückmeldung beim Drücken der Lenkradtaste positiv hervor. Zudem seien drei Versuchspersonen eine Bedienung über das Multifunktionslenkrad bereits gewohnt. Hingegen gaben insgesamt sechs Versuchspersonen an, die Gestensteuerung zu bevorzugen, da mit ihr die Suche des entsprechenden Tasters am Lenkrad entfalle. Gemäß der Aussage zwei weiterer Versuchspersonen sei dadurch das Ablenkungspotenzial geringer.

Eine geringere Ablenkung war ebenfalls für 22 Versuchspersonen einer der Gründe dafür, zum Aufrufen der Informationsanzeige die Gestensteuerung dem Touchscreen vorzuziehen. Für neun Versuchspersonen sei eine Bedienung mittels Gestensteuerung zudem auch einfacher. Fünf Versuchspersonen äußerten sich hingegen skeptisch, was die Zuverlässigkeit der Gestenerkennung betrifft, und bevorzugten daher die Interaktion per Touch.

Im Vergleich zur Sprachsteuerung gaben hingegen nur drei Versuchspersonen an, dass zum Aufrufen der Informationsanzeige die Gestensteuerung weniger ablenkend sei. Allerdings entschieden sich neun Versuchspersonen für die Gestensteuerung und gegen die Sprachsteuerung, da bei der Gestensteuerung keine Push-to-Talk-Taste gesucht werden müsse. Zudem hielten fünf Versuchspersonen die Sprachsteuerung für zu kompliziert, während Telefonaten sei sie außerdem unpassend. Von den Versuchspersonen, die sich für die Sprachsteuerung entschieden, gaben vier Versuchspersonen an, dass die Sprachsteuerung weniger ablenkend sei. Für drei weitere Versuchspersonen war die Eindeutigkeit des Sprachbefehls ausschlaggebend dafür, die Sprachsteuerung der Gestensteuerung vorzuziehen.

Bewertung der Gesten

Im zweiten Teil des Abschlussinterviews bewerteten die Versuchspersonen anhand einer fünfstufigen Rating-Skala von -2 (sehr schlecht) bis 2 (sehr gut), wie sehr die Gesten zur jeweiligen Funktion passen. Die durchschnittliche Bewertung der jeweiligen Gesten ist Abbildung 6-11 zu entnehmen.

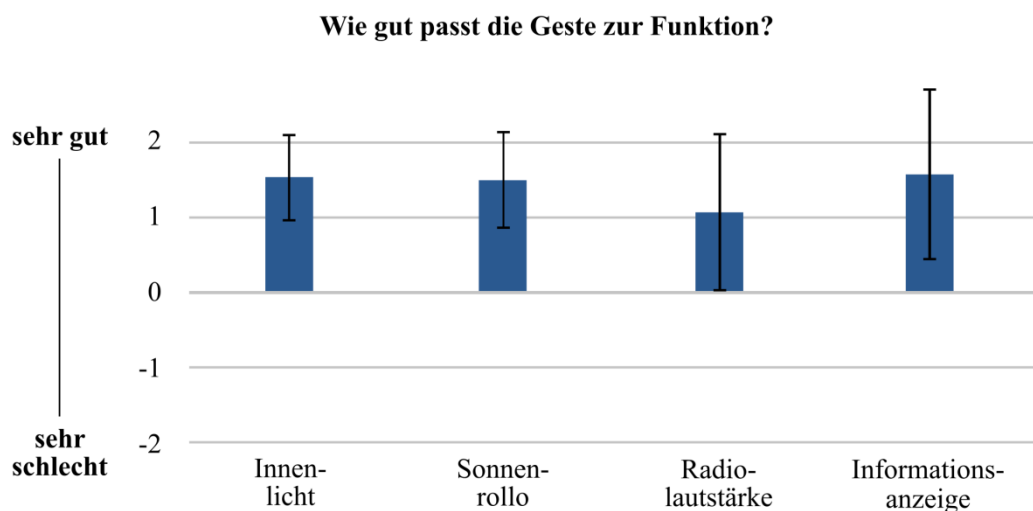


Abbildung 6-11: Einschätzung der Versuchspersonen, wie gut die einzelnen Gesten zur jeweiligen Funktion passen. Fehlerbalken entsprechen $\pm 1 SD$.

Wie Abbildung 6-11 nahelegt, passen für einen Großteil der Versuchspersonen die Gesten zur jeweiligen Funktion. Die Gesten wurden zwar vereinzelt mit „mittel“, überwiegend jedoch mit „gut“ oder „sehr gut“ bewertet. Lediglich die Geste zur Regulierung der Radiolautstärke wurde von drei Versuchspersonen mit „schlecht“ bewertet.

Als Begründung für ihre Bewertung gaben viele Versuchspersonen an, dass die jeweiligen Gesten einfach, logisch und intuitiv seien. Dies treffe nach Aussage einiger Versuchspersonen auch auf die Geste zur Regulierung der Radiolautstärke zu. Andere Versuchspersonen bezeichneten speziell diese Geste wiederum als gewöhnungsbedürftig, kompliziert und zu aufwendig. Vereinzelt wurde aber auch die Geste zum Stoppen des Sonnenrollos kritisiert. Hier sei es für manche Versuchspersonen schwierig gewesen, das Sonnenrollo definiert zu stoppen, da die zugehörige Geste zu ungenau bzw. zu unspezifisch sei.

Abschließend wurden die Versuchspersonen nach alternativen Gesten befragt. Hierbei zeigten sich die Versuchspersonen mit den verwendeten Gesten insgesamt zufrieden. Vereinzelt wurden jedoch auch alternative Gesten vorgeschlagen, welche in Anhang F beschrieben sind.

6.1.8 Diskussion der Ergebnisse

Die Ergebnisse der Studie zeigen, dass für einen Großteil der getesteten Funktionen die Gestensteuerung einen Mehrwert bringen kann. Die größten Vorteile verspricht die Gestensteuerung für das Einschalten des Innenlichts sowie für das Einstellen des Sonnenrollos. Auch das Aufrufen der Informationsanzeige scheint vom Einsatz einer Gestensteuerung zu profitieren, erfordert diesbezüglich aber eine differenziertere Betrachtung. Für das Einstellen der Radiolautstärke erweist sich hingegen die konventionelle Bedienung als geeigneter, obwohl auch hier die Ergebnisse nicht gänzlich gegen den Einsatz einer Gestensteuerung sprechen. Folgende Hypothesen können angenommen werden:

H₁₋₁: Die Dauer einer Interaktion mittels Gestensteuerung ist kürzer als die Dauer einer Interaktion mittels konventioneller Bedienung.

Da die Gestensteuerung bei drei von vier Funktionen zu kürzeren Bedienzeiten führt, ist obige Alternativhypothese anzunehmen. Lediglich beim Einstellen der Radiolautstärke dauert die Interaktion per Gestik länger, was angesichts der unmittelbar zu erreichenden Tasten am Multifunktionslenkrad aber auch nicht anders zu erwarten war. Wie sich somit zeigt, hängt das Potenzial zur Verkürzung der Bedienzeiten vom konkreten Anwendungsfall ab. Grundsätzlich sind verkürzte Bedienzeiten jedoch als sehr positiv zu sehen, insbesondere bei einer Bedienung während der Fahrt. Ob durch den Einsatz einer Gestensteuerung auf diese Weise auch die Ablenkung des Fahrers reduziert werden kann, lässt sich allein auf Basis der Bedienzeiten jedoch nicht beurteilen. Schließlich hängt das Ablenkungspotenzial nicht nur von den Bedienzeiten, sondern auch von anderen Faktoren der Interaktion ab (wie z. B. von der Anzahl der einzelnen Eingaben, deren Un-

terbrechbarkeit oder der Komplexität der Schnittstelle; vgl. z. B. European Commission, 2008). Zu berücksichtigen ist auch, dass im Falle des Sonnenrollos die kürzeren Bedienzeiten mit einer Verringerung der Genauigkeit einhergehen. Dies zeigt sich nicht nur in den objektiven Daten, sondern wurde von den Probanden auch im Abschlussinterview angemerkt. Im Versuch betrug die mittlere Abweichung von der Soll-Position rund 11 mm, wenn das Sonnenrollo mittels Gestik eingestellt wurde, wohingegen beim Einstellen von Hand die mittlere Abweichung bei ca. 3 mm lag. Auch wenn dieser Unterschied für die Praxis nicht sonderlich erheblich erscheint, so bleibt das Urteil der Probanden vor dem Hintergrund der User Experience und Nutzerakzeptanz noch zu diskutieren.

H₂-1: Eine Interaktion mittels Gestensteuerung führt zu einer geringeren Ablenkung von der Fahraufgabe als eine Interaktion mittels konventioneller Bedienung.

Ob die Gestensteuerung tatsächlich zu einer geringeren Ablenkung während der Fahrt führt, wurde anhand der SDLP-Werte untersucht. Hierbei zeigten sich sowohl beim Innenlicht, als auch beim Sonnenrollo niedrigere SDLP-Werte, wenn mittels Gestik interagiert wird. Auch im Vergleich zur Sprachsteuerung war bei der Gestensteuerung die Spurabweichung geringer. In Abhängigkeit vom konkreten Anwendungsfall ist folglich auch hier die obige Alternativhypothese anzunehmen. Die Gründe für die verringerte Spurabweichung sind zwischen den verschiedenen Anwendungsfällen jedoch unterschiedlich. Im Falle des Innenlichts ist die verringerte Spurabweichung in erster Linie auf die reduzierte visuelle Ablenkung zurückzuführen. Dass bei einer Bedienung mittels Gestik kein Taster gesucht werden muss und dadurch der Blick auf der Straße verweilen kann, zeigt sich nicht nur anhand der erhobenen Blickdaten, sondern wurde auch im Abschlussinterview von den Versuchspersonen als entsprechender Vorteil gegenüber der konventionellen Bedienung hervorgehoben. Beim Sonnenrollo geht die verringerte Spurabweichung hingegen eher auf eine Verminderung der motorischen Ablenkung zurück. Das manuelle Einstellen des Sonnenrollos wird von den Versuchspersonen als ablenkend kritisiert, schließlich müsse man sich über das Lenkrad beugen, um das Sonnenrollo greifen zu können. Für die motorische Ablenkung sprechen auch die RTLX-Werte, welche beim Sonnenrollo einen signifikanten Unterschied in der physischen Beanspruchung zwischen Gestik und konventioneller Bedienung erkennen lassen. Erstaunlich ist, dass die Gestensteuerung auch im Vergleich zur Sprachsteuerung mit einer verringerten Spurabweichung einhergeht. Eine mögliche Ursache hierfür könnte sein, dass entsprechend der Aussagen im Abschlussinterview auch die Tasten am Lenkrad zunächst gesucht werden müssen, wenn deren Position nicht bekannt ist. Das Drücken der Push-to-Talk-Taste könnte somit zu visueller Ablenkung führen. Auffälligkeiten in den erhobenen Blickdaten zeigten sich diesbezüglich jedoch nicht. Im Abschlussinterview gaben einige Versuchspersonen jedoch auch an, dass die Sprachsteuerung zu kompliziert sei. Immerhin setzt eine Bedienung per Sprache voraus, dass der Nutzer weiß bzw. sich daran erinnert, welche Kommandos gesprochen werden können (vgl. Bubb et al., 2015a). Dies wiederum kann mentale Ressourcen des Nutzers binden und auf diese Weise

zu kognitiver Ablenkung führen. Zwar bindet auch das Erinnern von Gesten mentale Ressourcen, allerdings könnte durch das kompatible Mapping zwischen Geste und Funktion die Geste einfacher zu erinnern sein als ein entsprechender Sprachbefehl.

H₃₋₁: Gegenüber einer Interaktion mittels konventioneller Bedienung führt die Interaktion mittels Gestensteuerung zu einer physischen Entlastung.

Dass sich der Fahrer beim Einstellen des Sonnenrollos mittels Gestensteuerung nicht über das Lenkrad beugen und nach vorne strecken muss, sondern in seiner Sitzposition verbleiben kann, führt zu einer geringeren physischen Beanspruchung, was nicht zuletzt auch durch die RTLX-Werte gezeigt werden kann. Darüber hinaus waren in den RTLX-Werten aber auch signifikante Unterschiede zwischen Gestensteuerung und Touch-Eingabe sowie zwischen Gestensteuerung und dem Taster für das Innenlicht festzustellen. Auch für diese beiden Anwendungsfälle ist obige Alternativhypothese anzunehmen. Wie sich zeigt, kann die Gestensteuerung bereits schon dann zu einer physischen Entlastung führen, wenn dadurch der Arm nicht angehoben und zu einem Taster bzw. Touchscreen geführt werden muss – zumindest dann, wenn dadurch eine Vorverlagerung des betreffenden Schultergelenkpunktes vermieden werden kann. Die durch das Ausführen einer Geste bedingte physische Beanspruchung ist dabei vergleichsweise gering. Immerhin zeigen sich für die im Versuch getesteten Gesten durchweg verhältnismäßig niedrige RTLX-Werte. Dies lässt auf die biomechanische Beherrschbarkeit der Gesten schließen. Effekte wie der „Gorilla-Arm“ scheinen nicht zum Tragen gekommen zu sein.

H₄₋₁: Gegenüber einer Interaktion mittels konventioneller Bedienung führt die Interaktion mittels Gestensteuerung zu einer höheren User Experience.

Die User Experience wurden mittels UEQ Fragebogen über die Dimensionen Attraktivität, Stimulation und Originalität bewertet. Dabei zeigte sich eine durchweg hohe User Experience, die im Falle des Innenlichts und des Sonnenrollos in allen Dimensionen, im Falle der Radiolautstärke und der Informationsanzeige in einzelnen Dimensionen zu signifikanten Unterschieden zu Gunsten der Gestensteuerung führte. Die obige Alternativhypothese ist dementsprechend anzunehmen. Insbesondere in puncto Originalität zeigten sich bei der Gestensteuerung in allen Anwendungsfällen signifikant höhere Werte. Dies lässt darauf schließen, dass die Gestensteuerung von den Versuchspersonen als neu und innovativ wahrgenommen wird, wenn auch im Abschlussinterview dieser Aspekt nicht zur Sprache kam. Auffällig an den Äußerungen aus dem Abschlussinterview ist in Hinblick auf die User Experience auch, dass keine der Versuchspersonen „Spaß“ oder „Freude an der Bedienung“ als positives Kriterium der Gestensteuerung genannt hat. Stattdessen wurden vermehrt Aspekte hervorgebracht wie etwa eine „einfache Bedienung“, „keine Suche von Tastern“ oder eine „geringe Ablenkung“. Scheinbar handelt es sich vielmehr um solche rationale Faktoren, die aus Sicht der Lkw-Fahrer zu einem positiven Nutzungserlebnis beitragen.

H₅₋₁: Die Nutzerakzeptanz der Gestensteuerung ist mindestens genauso hoch wie die der konventionellen Bedienung.

Ähnlich wie bei der User Experience zeigen sich auch bei der Nutzerakzeptanz durchweg hohe Werte hinsichtlich einer Bedienung mittels Gestensteuerung. Signifikante Unterschiede in den Dimensionen Zufriedenheit und wahrgenommene Nützlichkeit waren insbesondere beim Innenlicht, beim Sonnenrollo sowie im Vergleich zur Touch-Eingabe festzustellen. Für diese Anwendungsfälle kann obige Alternativhypothese angenommen werden. Auffällig ist, dass sogar im Falle der Radiolautstärke die Akzeptanz der Gestensteuerung relativ groß ist, obwohl die Gestensteuerung für diesen Anwendungsfall keinen objektiven Mehrwert gezeigt hat. Bezüglich der Bedienzeiten brachte die Gestensteuerung sogar negative Auswirkungen mit sich. Ein möglicher Grund für die dennoch hohe Akzeptanz könnte in der gesteigerten User Experience liegen, da die Gestensteuerung auch dort vergleichsweise positiv bewertet wurde. Ebenso auffällig sind aber auch die hohen Akzeptanzwerte für das Multifunktionslenkrad. Womöglich sind die hohen Werte darin begründet, dass für die visuelle Anzeige der Lautstärkeneinstellung ein Head-up-Display simuliert wurde. Die Versuchspersonen könnten das Head-up-Display als Bestandteil des Bedienkonzepts aufgefasst haben, was sie letztlich zu einer positiven Gesamtbewertung bewogen hat – sowohl im Falle des Multifunktionslenkrads, als auch im Falle der Gestensteuerung. Relativ eindeutig sind hingegen die Präferenzen der Versuchspersonen im Abschlussinterview. In allen Anwendungsfällen außer dem Einstellen der Radiolautstärke zog die große Mehrheit der Versuchspersonen die Gestensteuerung der konventionellen Bedienung vor. Im Falle des Innenlichts und des Sonnenrollos bevorzugten sogar jeweils mehr als 80 % der Versuchspersonen die Gestensteuerung. Aber auch beim Einstellen der Radiolautstärke tendierten immerhin knapp 30 % der Stichprobe zur Gestensteuerung, was über alle Anwendungsfälle hinweg betrachtet für eine grundlegende Akzeptanz der Gestensteuerung spricht.

Insgesamt liefert der Versuch sehr positive Ergebnisse, die durchaus für den Einsatz einer Gestensteuerung sprechen. Allerdings muss berücksichtigt werden, dass die Ergebnisse – insbesondere jene zur User Experience und Nutzerakzeptanz – vor dem Hintergrund der Wizard-of-Oz-Methodik zu sehen sind. Entsprechend der Methode liegt den Ergebnissen eine aus technischer Sicht ideale Erkennung zugrunde. So wurden etwa *False Negatives* vom Wizard grundsätzlich vermieden. Auch was die Varianz in der Ausführung von Gesten betrifft, zeigte sich der Wizard sehr tolerant. Aus diesem Grund ist anzunehmen, dass die zuverlässige Erkennung durch den Wizard einen positiven Effekt auf das Urteil der Versuchspersonen hatte – selbst wenn sich im Rahmen des Abschlussinterviews einige Versuchspersonen hinsichtlich der Zuverlässigkeit der Gestenerkennung skeptisch zeigten.

Eine weitere Limitation stellt die Tatsache dar, dass die Versuchspersonen vorab eine Einweisung zu den jeweiligen Gestensteuerungskonzepten erhielten und diese zunächst solange unter Anleitung des Versuchsleiters ausprobieren konnten, bis sich ein sicherer Umgang damit einstellte. Auf

diese Weise wurde sichergestellt, dass die Versuchspersonen ausreichend Expertise aufwiesen, um die Gestensteuerung mit der konventionellen Bedienung adäquat vergleichen zu können. Eine derart ausführliche Einweisung im Beisein einer anleitenden Person ist im Realfall jedoch nicht denkbar. Für die User Experience und Nutzerakzeptanz spielt jedoch insbesondere auch der Erstkontakt mit der Gestensteuerung eine entscheidende Rolle. Um Einstiegshürden und anfängliche Schwierigkeiten in der Bedienung aufzudecken und darauf mit einer geeigneten Gestaltung reagieren zu können, wird insbesondere die Phase des Erstkontakts in einer weiterführenden Studie eingehender untersucht.

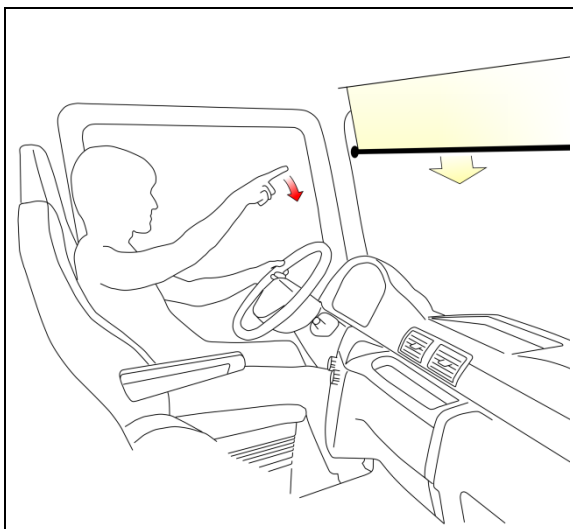
6.2 Evaluation der Usability prototypischer Gestensteuerungskonzepte

Während in der vorangehenden Untersuchung der Mehrwert der berührungsfreien Gestensteuerung unter Laborbedingungen untersucht wurde, soll die nun folgende Evaluation im Realfahrzeug stattfinden und statt eines Wizards auf der Integration einer funktionalen Gestenerkennung basieren. Ziel der Evaluation ist es, eine Auswahl prototypisch umgesetzter Gestensteuerungskonzepte in Hinblick auf deren Usability zu untersuchen. Neben der Evaluation der gebrauchstauglichen Gestaltung hat die Untersuchung jedoch auch das Ziel, die Ergebnisse der vorangehenden Fahrsimulatorstudie zu verifizieren. Hierbei sollen der von den Fahrern wahrgenommene Mehrwert sowie die Akzeptanz der Gestensteuerung unter realistischeren Gegebenheiten (reale Gestenerkennung, Integration in ein Realfahrzeug, keine umfassende Instruktion zur Funktionsweise der Gestensteuerung) untersucht werden.

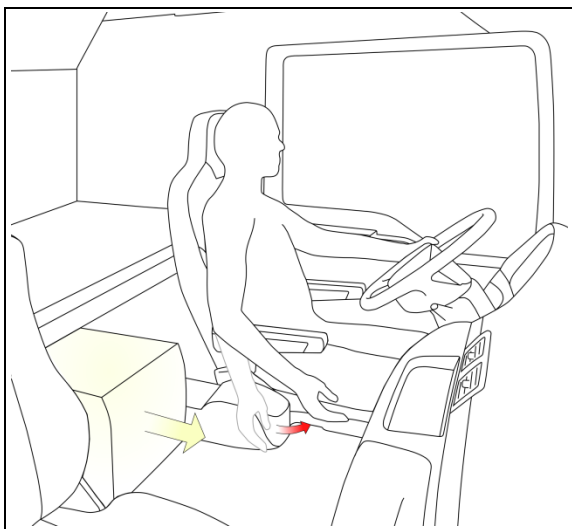
6.2.1 Beschreibung der Gestensteuerungskonzepte

Zur Evaluation werden insgesamt fünf Gestensteuerungskonzepte herangezogen, welche zusammenfassend in Tabelle 6-4 dargestellt sind. Zwei der fünf Konzepte waren bereits Gegenstand der vorhergehenden Fahrsimulatorstudie und werden für diese Evaluation beibehalten. Dabei handelt es sich um das Sonnenrollo sowie um das Innenlicht, welche beide vom Fahrersitz aus über die bereits bekannten Gesten gesteuert werden. Neu hinzu kommt das Verfahren der Kühlbox. Diese musste bislang von Hand unter der Liege hervorgezogen werden, was vom Fahrersitz aus sowohl hinsichtlich der Erreichbarkeit als auch hinsichtlich des Kraftaufwands ungünstig ist. Vor diesem Hintergrund wurde im Rahmen der Fokusgruppe (vgl. Abschnitt 4.2.4) der Wunsch einer gesteuerten Kühlbox geäußert, welche nun Teil der Untersuchung ist. Darüber hinaus wird im Rahmen der Untersuchung das Deckenlicht betrachtet, das von der Liege aus per Gestik gesteuert wird. Die Geste, die für das Ein- und Ausschalten des Deckenlichts verwendet wird, ist dabei mit der Geste für das Innenlicht (im Folgenden: Leselicht) vergleichbar (vgl. Tabelle 6-4).

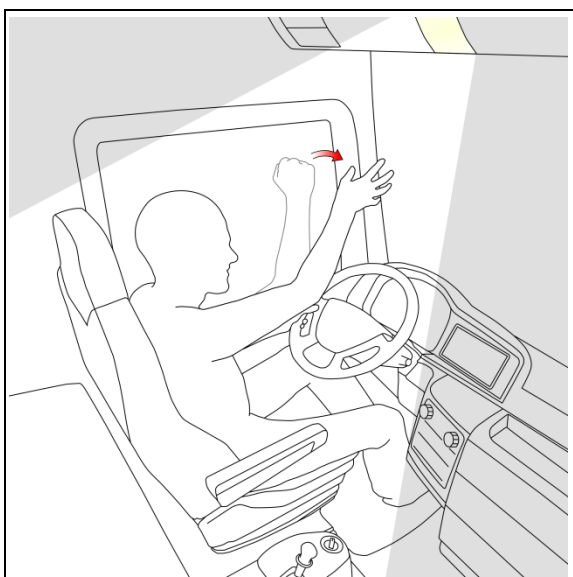
Tabelle 6-4: Übersicht über die Gestensteuerungskonzepte, die für den Versuch prototypisch umgesetzt werden



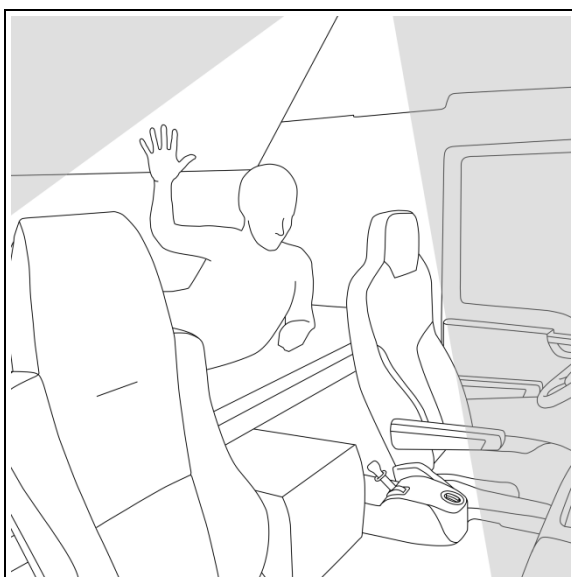
Sonnenrollo: Über eine Abwärts- bzw. Aufwärtsbewegung der rechten Hand mit einem oder mehreren nach vorne gestreckten Fingern fährt das Sonnenrollo nach unten bzw. nach oben. Gestoppt wird das Sonnenrollo über eine seitliche Bewegung der Hand von links nach rechts.



Kühlbox: Indem die rechte Hand vorderhalb der Kühlbox von hinten nach vorne bewegt wird, fährt die Kühlbox nach vorne. Gestoppt wird die Kühlbox über eine einfache Berührung an dessen Vorderseite. Über eine weitere Berührung fährt die Kühlbox wieder nach hinten.

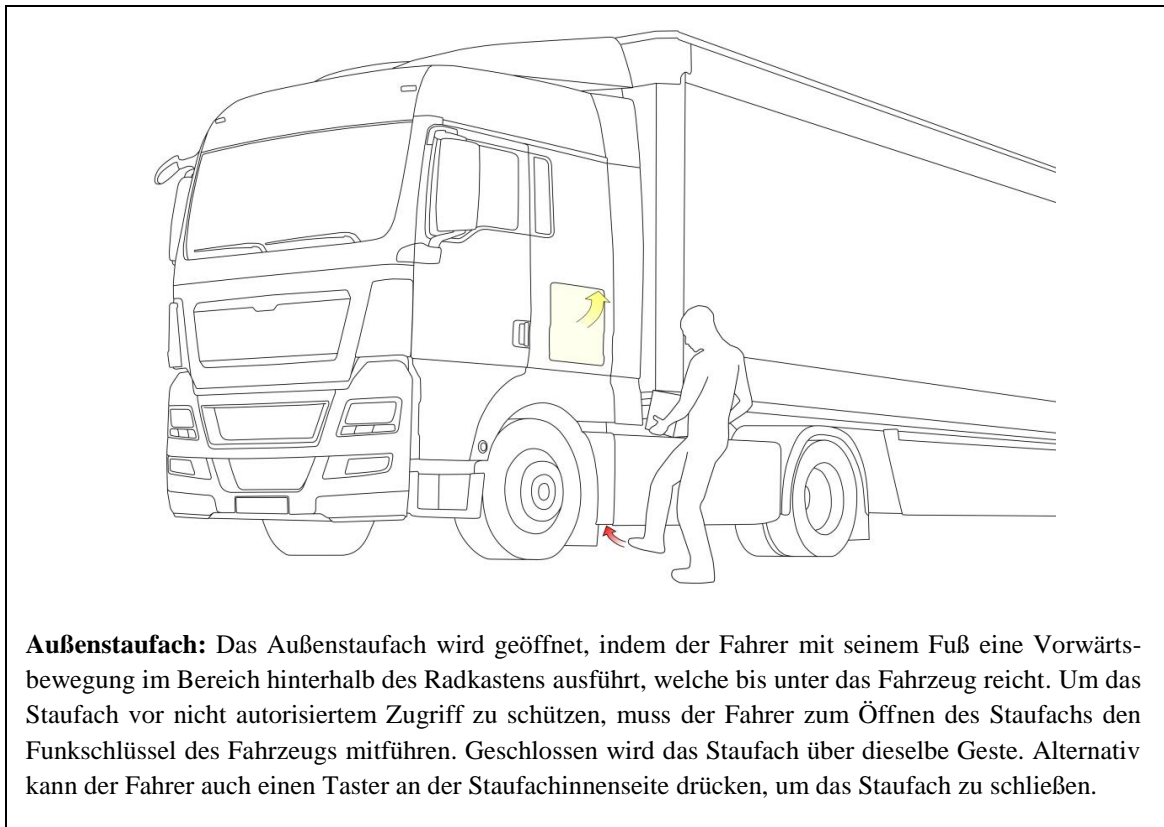


Leselicht: Um das Leselicht einzuschalten, hält der Fahrer zunächst seine rechte, zur Faust geballte Hand in Richtung der Leseleuchte. Das Licht geht an, sobald der Fahrer die Faust öffnet und alle fünf Finger abspreizt. Das Licht kann auf dieselbe Weise auch ausgeschaltet werden.



Deckenlicht: Um das Deckenlicht von der Liege aus einzuschalten, hält der Fahrer zunächst seine zur Faust geballte Hand über Kopfhöhe. Das Licht geht an, sobald der Fahrer die Faust öffnet und alle fünf Finger abspreizt. Das Licht kann auf dieselbe Weise auch ausgeschaltet werden.

Tabelle 6-4: Fortsetzung



Das fünfte Gestensteuerungskonzept betrifft schließlich das Öffnen der Staufachklappe im Außenbereich des Fahrzeugs. Anders als bei den Gestensteuerungen im Innenbereich des Fahrzeugs wird bei dieser Funktion die Geste nicht mit der Hand, sondern mit dem Fuß ausgeführt. Als Vorbild dient das gestengesteuerte Öffnen der Heckklappe, welches aus dem Pkw-Segment bekannt ist (vgl. Abschnitt 3.1.4).

Alle Gestensteuerungskonzepte wurden nach Maßgabe der in Kapitel 5.2 beschriebenen Gestaltungskriterien entworfen. Dabei fanden insbesondere die Kriterien *Mapping und Kompatibilität* sowie *Konsistenz* Berücksichtigung, aus denen sich auch ein Teil des *Gestenvokabulars* ableitet. Die Gesten für das Steuern der Lichtfunktionen entstammen hingegen der Guessability-Studie von Stecher et al. (2015). Auf das Prinzip der Symmetrie wurde bei diesen beiden Gesten jedoch aus Gesichtspunkten der *biomechanischen Beherrschbarkeit* verzichtet. Auch bei der Kühlbox wurde von einer symmetrischen Gestaltung der Gesten abgesehen, da sich im Falle einer ausgefahrenen Kühlbox kein Platz für das Ausführen einer entsprechend gegenläufigen Geste bietet. Spezielle gestalterische Maßnahmen hinsichtlich *Affordance und Systemtransparenz* wurden hingegen nicht ergriffen. Auch in Bezug auf das *Feedback* wurde lediglich das inhärente *Second-Level Feedback* der jeweiligen Funktionen genutzt. Eine adäquate Gestenerkennung im Sinne von *Zuverlässigkeit, Toleranz und Robustheit* wurde im Rahmen des Prototypings forciert.

6.2.2 Prototypische Integration der Gestensteuerungskonzepte

Zur prototypischen Integration der Gestensteuerungskonzepte dient eine Sattelzugmaschine vom Typ MAN TGX 18.400. Um die jeweiligen Gesten an den unterschiedlichen Orten innerhalb und außerhalb des Fahrzeugs erkennen zu können, werden insgesamt vier separate Kamera- bzw. Sensorsysteme eingesetzt.

Da die Interaktionsräume der Gesten zur Steuerung des Sonnenrollos und des Leselichts nahe beieinander liegen, kann zu deren Erkennung dasselbe Kamerasystem verwendet werden. Zum Einsatz kommt hierfür ein sogenannter *Leap Motion Controller*. Bei dem Controller handelt es sich um eine Stereokamera mit aktiver Beleuchtung, die im nahen Infrarot bei 850 nm arbeitet und eine Reichweite von ca. 80 cm besitzt (Colgan, 2014). Der 80 mm × 30 mm × 11 mm große Controller wird auf dem Armaturenbrett rechts neben dem Lenkrad montiert (Abbildung 6-12, links) und ist über die USB-Schnittstelle mit einem Rechner verbunden. Auf dem Rechner wird wiederum der *Leap Motion Service* ausgeführt, eine Software, die die empfangenen Bilddaten des Controllers verarbeitet. Anhand der Bilddaten erzeugt der Leap Motion Service ein kinematisches Modell der Hand, aus dem verschiedene Features extrahiert werden können. Die Features stellt der Leap Motion Service in Form einer Programmbibliothek zur Verfügung. Indes wird zur Feature Classification eine eigene Software in C# geschrieben. Für jede zu erkennende Geste umfasst die Software einen regelbasierten Klassifikator, der zur Gestenerkennung auf Features wie beispielsweise die Position und Orientierung der Hand oder die Anzahl der ausgestreckten Finger (und insbesondere deren zeitliche Änderung) zurückgreift. Wird von einem Klassifikator eine Geste erkannt, schickt die Software ein entsprechendes Signal an das Steuergerät, über das das Sonnenrollo und die Leselampe gesteuert werden.



Abbildung 6-12: Für die Erkennung der Gesten zur Steuerung des Sonnenrollos und der Leselampe wird rechts vom Lenkrad ein Leap Motion Controller am Armaturenbrett montiert (links). Zur Steuerung der Kühlbox dienen hingegen ein Infrarotsensor sowie eine berührungssensitive Blende, die an der Vorderseite der Kühlbox angebracht sind (rechts).

Um von der Liege aus das Deckenlicht steuern zu können, kommt ebenfalls ein Leap Motion Controller zum Einsatz. Wie auch der Leap Motion Controller für das Sonnenrollo und die Leselampe ist dieser Controller mit einem Rechner verbunden, auf dem der Leap Motion Service und eine eigens in C# geschriebene Software zur Feature Classification ausgeführt werden. Montiert wird der Controller an der linken Seitenwand der Fahrerkabine, sodass Gesten im Bereich der Liege hinterhalb des Fahrersitzes erkannt werden können.

Zur Steuerung der Kühlbox finden hingegen zweierlei Sensoren Verwendung. Einerseits wird an der Vorderseite der Kühlbox ein nach vorne gerichteter Abstandssensor angebracht. Dieser Sensor vom Typ SHARP GP2Y0A21YK0F arbeitet auf Basis von Infrarot und misst die Abstände von Objekten, die bis zu 80 cm entfernt sein können. Der Sensor gibt in Abhängigkeit zur Entfernung eines Objekts – in diesem Fall der Hand – ein analoges Spannungssignal aus, welches über einen Mikrocontroller abgegriffen und verarbeitet wird. Direkt auf dem Mikrocontroller findet die Gestenerkennung statt, die in diesem Fall lediglich den Abstand der Hand als Feature nutzt und ebenfalls regelbasiert arbeitet. Folgt der Abstand der Hand einer definierten zeitlichen Charakteristik, wird dies als Geste interpretiert. Der Mikrocontroller steuert daraufhin einen elektrischen Hubzylinder an, der die Kühlbox schließlich nach vorne fährt. Zum Stoppen und Zurückfahren der Kühlbox wird hingegen ein kapazitiver Sensor eingesetzt. Dieser zweite Sensor umfasst zum einen eine integrierte Schaltung vom Typ Atmel AT42QT1070 und zum anderen eine speziell für diesen Anwendungsfall angefertigte Elektrode, die ebenfalls an der Vorderseite der Kühlbox angebracht ist (vgl. Abbildung 6-12, rechts). Der Sensor ist dabei so aufgebaut, dass eine Berührung der Elektrode mit der Hand registriert wird. Ist dies der Fall, werden ebenfalls über einen Mikrocontroller entsprechende Steuersignale erzeugt und an den Hubzylinder weitergeleitet.

Schließlich kommt zum Öffnen des Außenstaufachs ein weiteres Sensorsystem zum Einsatz – das PEKATRONIK AKS-800, bei dem es sich um ein Steuergerät mit zwei kapazitiven Näherungssensoren handelt. Das System ist zum Nachrüsten von Pkws konzipiert und wird dort zum gesteuerten Öffnen der Heckklappe eingesetzt. Die beiden kapazitiven Näherungssensoren umfassen jeweils ein Antennenkabel, das als Elektrode dient und erkennt, wenn sich ein Fuß in einem Abstand von 5 bis 15 cm annähert. Installiert werden beide Antennenkabel am Spritzschutz hinterhalb des vorderen Radkastens auf der Beifahrerseite des Fahrzeugs. Registrieren beide Antennenkabel zeitgleich die Annäherung eines Fußes, setzt das Steuergerät ein entsprechendes Steuersignal ab. Daraufhin wird die Staufachklappe über einen pneumatischen Hubzylinder, der innerhalb des Staufachs angebracht ist, geöffnet. Der Hubzylinder nutzt die Druckluft des Fahrzeugs und wird über ein Magnetventil gesteuert, das über einen Mikrocontroller mit dem Steuergerät des Sensorsystems verbunden ist. Zum Schließen der Staufachklappe ist im Inneren des Staufachs ein Taster angebracht, der alternativ zum Sensorsystem verwendet werden kann. Das Sensorsystem arbeitet jedoch nur, wenn sich ein Transponder in der Nähe des Staufachs bzw. des Steuergeräts befindet (max. Abstand ca. 1,5 m). Der Transponder, welcher die Form eines Schlüsselanhängers aufweist, dient dabei zum Schutz des Staufachs vor nicht autorisiertem Zugriff.

6.2.3 Schwerpunkte der Untersuchung

Im Fokus der Untersuchung steht die *Usability* der Gestensteuerungskonzepte. *Usability* definiert sich als das Ausmaß, in dem ein System durch einen bestimmten Nutzer in einem bestimmten Nutzungskontext genutzt werden kann, um Ziele effektiv, effizient und zufriedenstellend zu erreichen (DIN EN ISO 9241-11: 2017-01). Demgemäß soll die Untersuchung eine Antwort auf die Frage geben, inwieweit die Gestensteuerung den Fahrer in bestimmten Situationen seines Berufsalltags unterstützen kann. Entscheidend ist hier zum einen der (wahrgenommene) Mehrwert, der durch den Einsatz einer Gestensteuerung erzielt werden kann. Zum anderen spielt aber auch die gebrauchstaugliche Gestaltung der Gestensteuerung eine wichtige Rolle – sie stellt eine Grundvoraussetzung für die Akzeptanz und Wirksamkeit der Gestensteuerung dar (vgl. Abschnitt 5.1).

Die Bewertung der *Usability* erfolgt im Rahmen der Untersuchung anhand der *System Usability Scale (SUS)*. Bei der *SUS* handelt es sich um einen Fragebogen, der aus zehn Items besteht und zur Erhebung subjektiv wahrgenommener *Usability* eingesetzt wird (Brooke, 1996). Die *SUS* bietet die Möglichkeit einer schnellen und einfachen Bewertung der Gestensteuerungskonzepte, was bei einer umfassenden Messung der Kriterien Effektivität, Effizienz und Zufriedenheit hingegen nur schwer möglich wäre (vgl. Brooke, 1996). Für jedes Gestensteuerungskonzept liefert die *SUS* einen *Score*, über den sich die einzelnen Konzepte miteinander vergleichen lassen. Da neben der Erhebung eines allgemeinen Scores für die *Usability* jedoch auch eine differenzierte Betrachtung der gebrauchstauglichen Gestaltung erfolgen soll, wird die *SUS* um ein offenes Interview ergänzt, bei dem die Befragten auf konkrete Aspekte der Gestaltung Bezug nehmen können. Um hierbei die Qualität der Ergebnisse zu erhöhen, wird die Befragung sowohl mit Lkw-Fahrern als auch mit Experten durchgeführt.

Zusätzlich zur Bewertung der *Usability* hat die Untersuchung zum Ziel, den wahrgenommenen Mehrwert der jeweiligen Gestensteuerungskonzepte zu evaluieren. Dazu bewerten die Teilnehmer auf einer fünfstufigen Likert-Skala, wie sehr sie einen Nutzen in der Verwendung einer Gestensteuerung für die betreffende Funktion sehen. Dabei wird zum Zwecke einer differenzierteren Betrachtung zudem ein Interview durchgeführt, bei dem die Teilnehmer den für sie maßgeblichen Mehrwert benennen.

Um schließlich eine Aussage zur allgemeinen Akzeptanz der einzelnen Gestensteuerungskonzepte zu erhalten, wird die Likert-Skala um zwei weitere Items ergänzt. Zum einen sollen die Teilnehmer – und dabei insbesondere die Lkw-Fahrer – bewerten, wie sehr sie sich für die jeweils betreffende Funktion eine Gestensteuerung für ihr eigenes Fahrzeug wünschen. Zum anderen geben die Teilnehmer für jedes Gestensteuerungskonzept ein Gesamturteil ab, indem sie bewerten, wie gut oder wie schlecht sie die Gestensteuerung der jeweiligen Funktion finden.

6.2.4 Ablauf der Befragung

Die Akquise und anschließende Befragung der Lkw-Fahrer findet auf einer Autobahnraststätte statt (vgl. Abbildung 6-13). Fahrer, die sich spontan zur Teilnahme an der Befragung bereit erklären, erhalten zunächst eine Einweisung in den Zweck der Untersuchung sowie eine kurze Erläuterung zur allgemeinen Funktionsweise der berührungsfreien Gestensteuerung. Daraufhin werden der Reihe nach die einzelnen Funktionen genannt, die mittels Gestensteuerung bedienbar sind, ohne dabei darauf einzugehen, wie und mit welchen Gesten die Funktionen gesteuert werden. Bei jeder Funktion wird dem Fahrer stattdessen die Möglichkeit gegeben, die Funktion zunächst eigenständig zu explorieren und individuell sinnvoll erscheinende Gesten auszuprobieren. Ist es einem Fahrer nicht möglich, eine Funktion zu bedienen, werden ihm zunächst Hinweise zur richtigen Ausführung der betreffenden Geste sowie zum Erkennungsbereich des Sensors bzw. der Kamera gegeben. Ist es dem Fahrer selbst daraufhin noch nicht möglich, die Funktion per Gestik zu bedienen, wird die Gestensteuerung vom Versuchsleiter demonstriert. Im Anschluss daran erhält der Fahrer die Gelegenheit, die jeweilige Funktion nach Belieben auszuprobieren und auf diese Weise die Gestensteuerung zu testen. Äußerungen des Fahrers werden währenddessen vom Versuchsleiter protokolliert. Schließlich bewertet der Fahrer anhand des Fragebogens die Gestensteuerungskonzepte und beantwortet im Rahmen des Interviews die zugehörigen offenen Fragen. Erst danach wird zur nächsten Funktion übergegangen. Die Reihenfolge, mit der die Funktionen präsentiert und bewertet werden, ist zufällig.



Abbildung 6-13: Befragung eines Lkw-Fahrers auf der Raststätte zum gestengesteuerten Öffnen der Staufachklappe. Der Fahrer exploriert die Funktion, bevor er seine Bewertung abgibt. Parallel dazu werden die Äußerungen des Fahrers vom Versuchsleiter protokolliert.

Anders als bei den Lkw-Fahrern werden zur Befragung der Experten separate Einzeltermine am Fahrzeug vereinbart. Zu Beginn der Befragung werden dem jeweiligen Experten sämtliche Funktionen, die per Gestensteuerung bedient werden können, vorgestellt. Hierbei werden bereits auch die auszuführenden Gesten demonstriert. Im Anschluss daran haben auch die Experten die Möglichkeit, die Gestensteuerung der einzelnen Funktionen beliebig zu testen und auszuprobieren, bevor auch diese die jeweiligen Fragebögen ausfüllen und die entsprechenden offenen Fragen beantworten.

6.2.5 Stichprobe

An der Untersuchung nahmen insgesamt fünf Lkw-Fahrer sowie drei Experten und eine Expertin⁷ teil. Die Lkw-Fahrer waren in einem Alter zwischen 48 und 64 Jahre ($M = 53.8$, $SD = 6.9$) und hatten eine durchschnittliche Berufserfahrung von 26.8 Jahren ($SD = 6.8$). Die Akquise der Lkw-Fahrer fand unmittelbar vor der jeweiligen Befragung auf der Autobahnraststätte statt. Die Auswahl der Lkw-Fahrer erfolgte dabei zufällig. Abgesehen davon, dass die Fahrer über deutsche Sprachkenntnisse verfügen, wurden bei der Auswahl keine Einschränkungen gemacht.

Die Auswahl der Experten wurde hingegen bewusst getroffen. Ziel dabei war es, Experten im Bereich der Nutzfahrzeugentwicklung als auch im Bereich der Ergonomie und Anzeige-/Bedienkonzeptentwicklung zu akquirieren. Dementsprechend besaßen die Experten eine durchschnittliche Berufserfahrung von 13.8 Jahren ($SD = 16.4$) im Bereich der Nutzfahrzeugentwicklung sowie 12.0 Jahren ($SD = 13.1$) im Bereich der Ergonomie und der Anzeige-/Bedienkonzeptentwicklung. Zwei der vier Experten wiesen Berufserfahrung in beiden Bereichen auf.

6.2.6 Ergebnisse

Während der Befragung der Lkw-Fahrer zeigte sich, dass es für die Fahrer zunächst kaum möglich war, die Gesten intuitiv richtig auszuführen. Selbst nach den Hinweisen des Versuchsleiters war es für die Fahrer oft schwierig, die korrekte Ausführung der Gesten zu erraten. Häufige *False Negatives* waren die Folge. In den meisten Fällen mussten die Gesten vom Versuchsleiter demonstriert werden, bevor die Fahrer in der Lage waren, die Gestensteuerung zu verwenden. Lediglich die Geste zum Vorwärtsfahren der Kühlbox wurde von zwei Fahrern auf Anhieb richtig ausgeführt. Zwei weitere Fahrer haben die Geste nach kurzem Ausprobieren entdeckt. Zudem war es einem Fahrer unmittelbar möglich, das Deckenlicht zu bedienen, nachdem er zuvor die Bedienung des Leselichts erlebt hatte. Indessen wurde in zwei Fällen die Geste zur Steuerung des Sonnenrollos zufällig entdeckt, als beim Explorieren der Gestensteuerung des Leselichts entsprechende *False Positives* auftraten.

⁷ Zur einfacheren Lesbarkeit wird nachfolgend der Begriff „Experten“ geschlechterübergreifend verwendet.

Usability und gebrauchstaugliche Gestaltung

Im Nachgang der Befragung wurden die Fragebögen sowie die Mitschriften aus den Interviews ausgewertet. Im Rahmen der Auswertung der SUS wurde zunächst für jede Funktion der mittlere SUS Score bestimmt. Dieser ist für die Gruppe der Lkw-Fahrer sowie für die Gruppe der Experten in Abbildung 6-14 dargestellt. Als Referenz für die Interpretation der SUS Scores dient dabei das Schema von Bangor, Kortum und Miller (2009), welches ebenfalls in Abbildung 6-14 dargestellt ist.

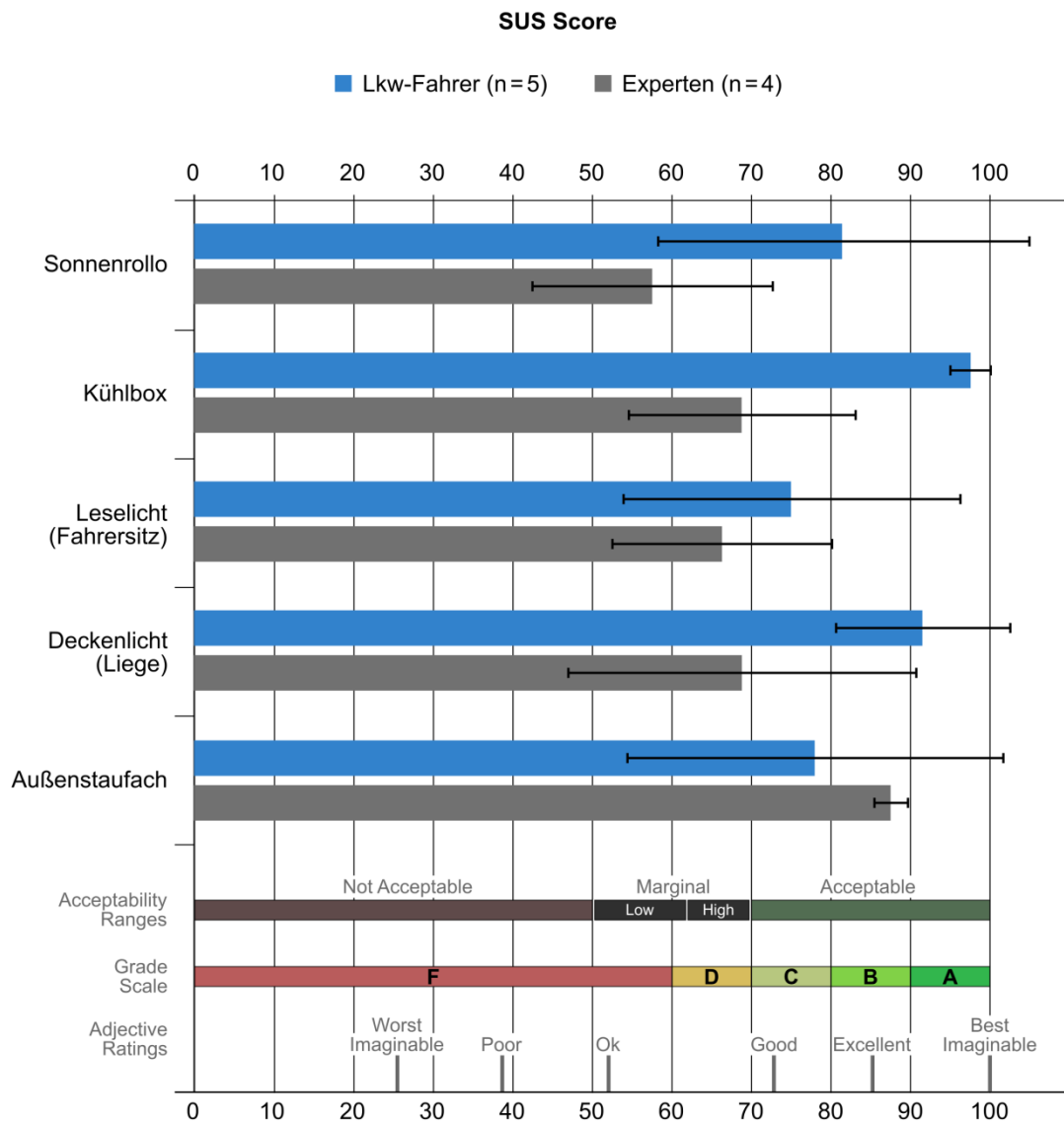


Abbildung 6-14: Darstellung der mittleren SUS Scores für die einzelnen Funktionen, getrennt nach Gruppen. Fehlerbalken entsprechen ± 1 SD. Zur Interpretation der SUS Scores dient als Referenz das unten dargestellte Schema nach Bangor et al. (2009).

In Hinblick auf die gebrauchstaugliche Gestaltung wurden anschließend die Äußerungen der Lkw-Fahrer und Experten aus den Interviews qualitativ ausgewertet. Die Äußerungen der Lkw-Fahrer beschränken sich dabei auf nur wenige Aussagen. Allerdings hatten beim Außenstaufach mehrere Fahrer Bedenken, was das zuverlässige Öffnen der Staufachklappe betrifft. Zwei Fahrer äußerten sich bezüglich der Aktorik skeptisch, da bei einem Defekt oder Ausfall der Elektronik das Staufach nicht mehr zu öffnen wäre. Ein weiterer Fahrer sah das Mitführen des Transponders problematisch. Geht der Transponder verloren oder wird er etwa bei einem Fahrerwechsel vergessen, so könne das Staufach ebenfalls nicht mehr geöffnet werden. Skepsis bezüglich der Aktorik bzw. Elektronik zeigte auch einer der Fahrer in Hinblick auf die Steuerung der Kühlbox. Auch hier könne ein Defekt dazu führen, dass auf die Kühlbox nicht mehr zugegriffen werden kann. Schließlich sprach einer der Fahrer die Zuordnung der Gesten zu den verschiedenen Lichtfunktionen im Fahrzeug an. Es sei schwierig zu erkennen, welche Lichtfunktion mittels welcher Geste gesteuert werde, vor allem dann, wenn das Fahrerhaus mit noch mehr Leuchten ausgestattet sei. Dennoch würde er erwarten, dass auch etwa ein Dimmen der Leuchten mittels Gestensteuerung möglich ist.

Auch aus der Gruppe der Experten wies eine Person auf die Gefahr hin, dass das Außenstaufach im Falle eines Defekts nicht mehr geöffnet werden kann. Zwei weitere Experten bezogen sich in ihren Anmerkungen zum Staufach hingegen auf das Feedback der Gestensteuerung. Die Latenz zwischen dem Erkennen einer Geste und dem Öffnen der Staufachklappe sei so groß, dass eine zusätzliche Rückmeldung nach dem Erkennen der Geste erforderlich sei. Im Gegensatz dazu sei nach Aussage eines Experten das Feedback bzw. die schnelle Systemreaktion der anderen Funktionen durchaus positiv zu bewerten. Ebenfalls positiv zu bewerten seien auch die Gesten, die zum Einstellen des Sonnenrollos verwendet werden. Diese wurden von zwei Experten als intuitiv bezeichnet. Problematisch sahen die beiden Experten jedoch den Bereich, in dem die Gesten ausgeführt werden. Dieser korreliere mit dem Interaktionsraum der Geste zur Steuerung des Leselichts, was die Gefahr von Fehlbedienungen aufgrund von *False Positives* berge. Das Risiko einer Fehlbedienung bzw. -erkennung sahen zwei Experten auch in Bezug auf die Kühlbox. Bewegt sich der Fahrer im vorderen Bereich der Kühlbox, könne dies die Gestenerkennung unbeabsichtigt auslösen. Bei der Bedienung des Deckenlichts wurde die Fehlbedienung sogar von allen vier Experten thematisiert, schließlich könne eine vermeintliche Geste versehentlich im Schlaf ausgeführt werden. Vor diesem Hintergrund schlug ein Experte als alternative Geste ein Händeklatschen vor.

Wahrgenommener Mehrwert

Zur Beurteilung des wahrgenommenen Mehrwerts wurde die zugehörige Rating-Skala ausgewertet. Die Ergebnisse sind in Abbildung 6-15 dargestellt. Hieran schließt sich die qualitative Auswertung des Interviews an, in welchem sich die Fahrer und Experten zum Mehrwert der einzelnen Gestensteuerungskonzepte äußerten.

"Ich sehe einen Nutzen in der Verwendung einer Gestensteuerung für diese Funktion."

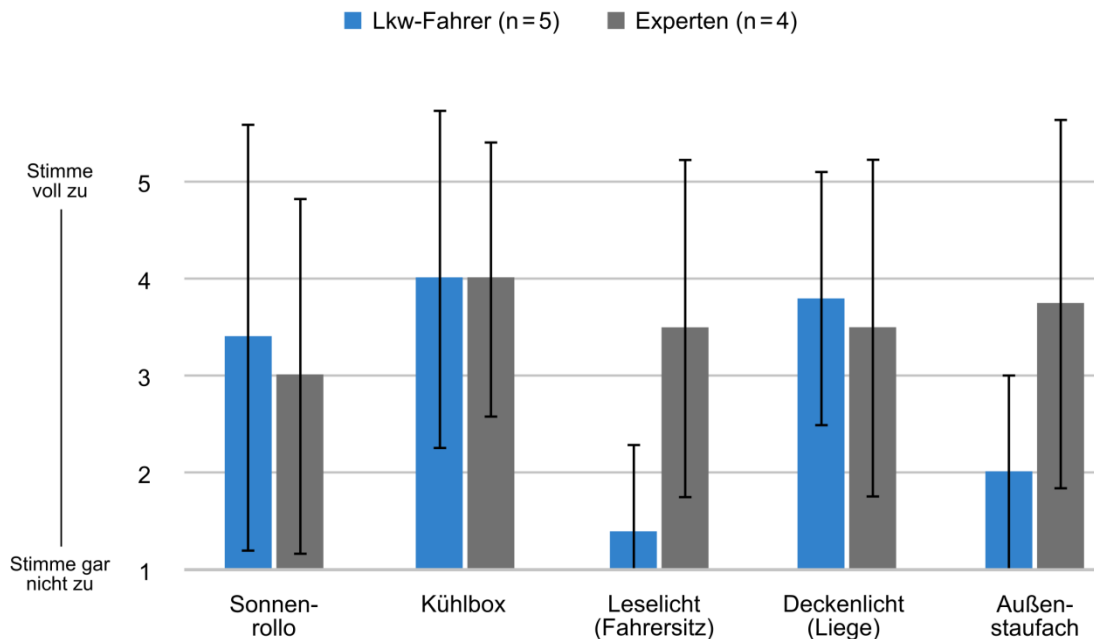


Abbildung 6-15: Auswertung des Ratings zum wahrgenommenen Mehrwert des jeweiligen Gestensteuerungskonzepts. Fehlerbalken entsprechen $\pm 1 SD$.

In Bezug auf das Sonnenrollo gaben drei Fahrer an, dass sie einen Mehrwert der Gestensteuerung darin sehen, dass man sich nicht zum Sonnenrollo strecken müsse, was weniger anstrengend bzw. weniger ablenkend sei. Hiermit stimmen auch die Aussagen dreier Experten überein. Ein Experte sowie ein Fahrer merkten an, dass das Sonnenrollo mittels Gestensteuerung zudem auch schneller bedient werden könne. Hingegen wies ein Experte darauf hin, dass das Sonnenrollo präzise eingestellt werden müsse, was mittels Gestensteuerung nur schwer möglich sei. Darüber hinaus sah es ein Fahrer kritisch, dass es im Falle einer Fehlerkennung zur ungewollten Verdeckung des Sichtfelds kommen könne.

Ähnlich wie beim Sonnenrollo sahen auch bei der Kühlbox zwei Experten und drei Fahrer den Mehrwert einer Gestensteuerung darin, dass die Körperhaltung nicht geändert werden müsse, was komfortabler und während der Fahrt weniger ablenkend sei. Überdies sah es ein Fahrer positiv, dass die Gestensteuerung ein Einklemmen der Finger vermeiden würde, wie es bei der manuellen Bedienung der Fall sein könne.

Auch beim Leselicht sahen zwei Experten einen Vorteil der Gestensteuerung darin, dass der Fahrer zur Bedienung des Leselichts seine Körperhaltung nicht ändern müsse. Zudem gaben zwei Experten an, dass durch die Gestensteuerung das Leselicht blind bedienbar sei. Dadurch wäre es auch bei Dunkelheit leicht zu bedienen, da die Suche eines Tasters entfalle. Von den Fahrern sah hingegen niemand einen entsprechenden Mehrwert. Vier der fünf Fahrer gaben sogar explizit an, dass sie keinen Nutzen in der Verwendung einer Gestensteuerung sehen würden.

Zur Bedienung des Deckenlichts von der Liege aus wurde von den Fahrern hingegen durchaus ein Mehrwert in der Verwendung einer Gestensteuerung gesehen. Drei der Fahrer gaben an, dass eine Gestensteuerung praktisch sei, da dadurch die Suche eines Tasters entfalle, insbesondere bei Dunkelheit. Auch drei Experten sahen hierin einen Vorteil. Ein Fahrer und ein Experte merkten zudem positiv an, dass im Falle der Gestensteuerung kein Strecken bzw. keine größere Bewegung auf der Liege notwendig sei.

Beim Außenstaufach sahen drei Experten den Mehrwert einer Gestensteuerung darin, dass das Staufach trotz belegter Hände geöffnet werden könne und im Falle von Verschmutzung die Hände sauber bleiben würden. Zudem sei nach Aussage eines Experten und eines Fahrers das Öffnen der Staufachklappe mittels Gestensteuerung einfacher als die manuelle Entriegelung über den Innenraum. Drei der Fahrer sprachen der Gestensteuerung hingegen keinerlei Nutzen zu. Zwei Fahrer und ein Experte merkten sogar negativ an, dass durch die Aktorik wertvoller Platz im Staufach verloren ginge.

Akzeptanz

Zur Beurteilung der Akzeptanz dienen schließlich zwei weitere Rating-Skalen. Zum einen gaben die Fahrer an, wie sehr sie sich für die betrachteten Funktionen eine Gestensteuerung auch für ihr Fahrzeug wünschen. Eine Auswertung des Ratings ist in Abbildung 6-16 dargestellt. Abschließend wurde von den Fahrern sowie von den Experten ein Gesamturteil zu jedem einzelnen Gestensteuerungskonzept abgegeben. Die zugehörigen Ergebnisse zeigt Abbildung 6-17.

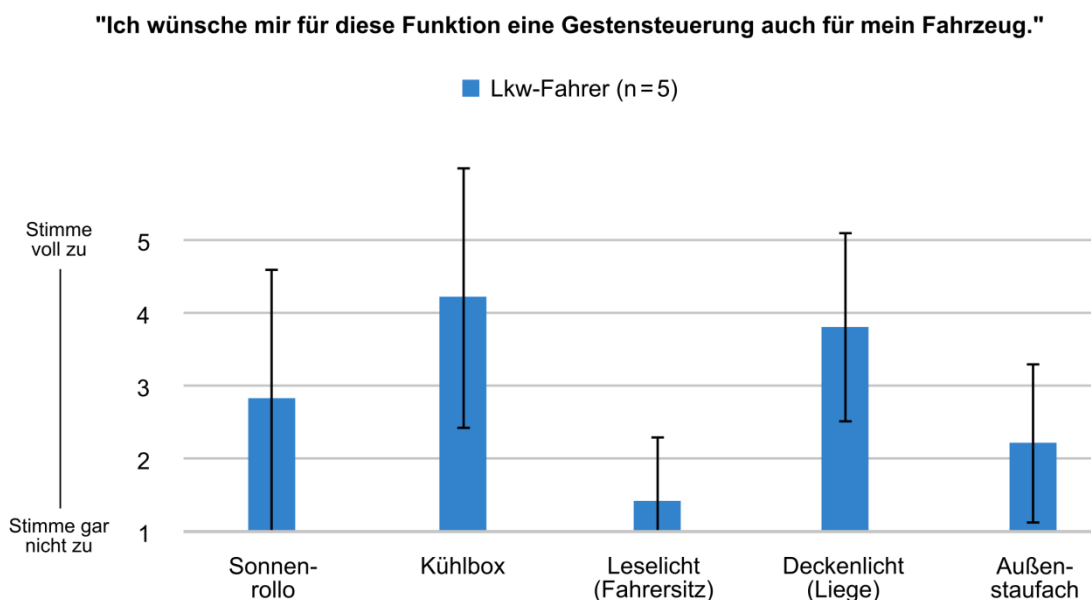


Abbildung 6-16: Auswertung des Ratings in Bezug darauf, ob sich die Lkw-Fahrer auch für ihr Fahrzeug eine entsprechende Gestensteuerung wünschen. Fehlerbalken entsprechen ± 1 SD.

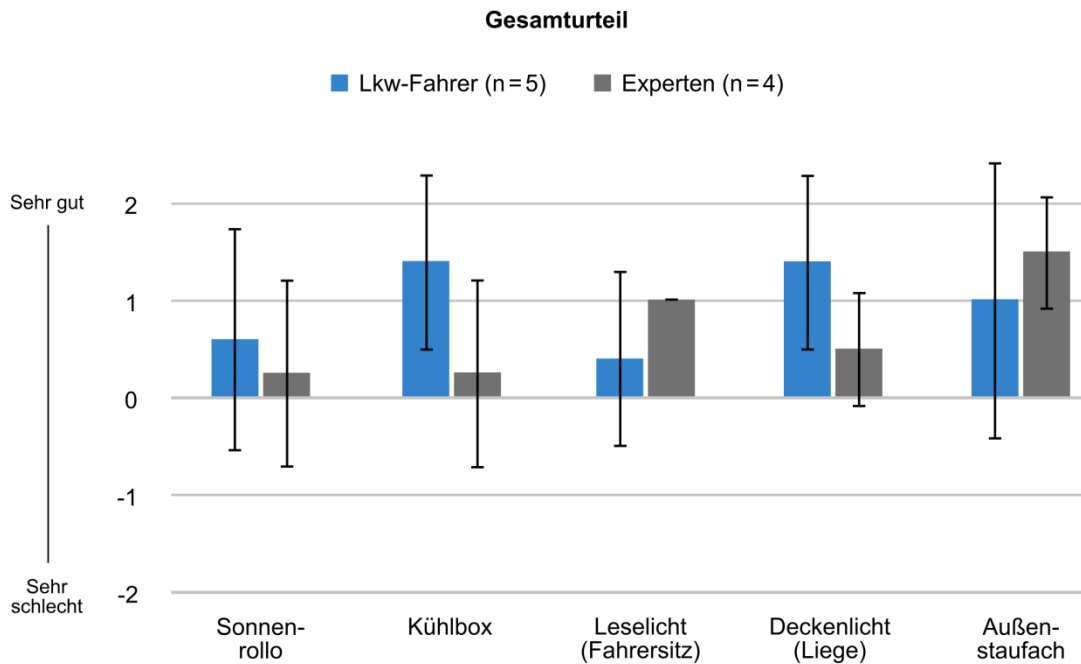


Abbildung 6-17: Auswertung des Ratings zum Gesamturteil über das jeweilige Gestensteuerungskonzept. Fehlerbalken entsprechen $\pm 1 SD$.

6.2.7 Diskussion der Ergebnisse

Wie sich bei der Befragung der Lkw-Fahrer zeigt, ist es für die Fahrer in den meisten Fällen zunächst schwierig, ohne vorherige Instruktion die einzelnen Gesten für die verschiedenen Funktionen zu erraten. Lediglich im Falle der Kühlbox war es einigen Fahrern möglich, die Geste intuitiv richtig auszuführen. Dies ist vermutlich auf verschiedene gestalterische Aspekte zurückzuführen. Einerseits ist anzunehmen, dass die kompatible Gestaltung im Sinne der Bewegungskompatibilität sowie der räumlichen Kompatibilität eine wesentliche Rolle spielt. Andererseits erlaubt die Toleranz in der Gestenerkennung eine gewisse „Grobmotorik“, was das richtige Ausführen der Geste begünstigt. Schließlich erscheint auch das Mapping passend: eine Winkbewegung nach vorne lässt die Kühlbox nach vorne fahren. Anders ist es beim Sonnenrollo. Zwar bewegt sich bei einer Abwärtsbewegung der Hand das Sonnenrollo ebenfalls nach unten – die Intention der Fahrer scheint jedoch vielmehr die zu sein, das Sonnenrollo auf eine bestimmte Höhe einzustellen, was durch das Mapping nur mittelbar unterstützt wird. Als schwierig erwies sich für die Fahrer auch die Identifikation der Gesten für die beiden Lichtfunktionen sowie für das Staufach. Trotz der intern konsistenten Gestaltung im Falle der Lichtfunktionen oder der extern konsistenten Gestaltung im Falle des Staufachs konnten die Gesten so gut wie nicht errahnt werden. Dies verdeutlicht, wie wichtig die adäquate Einführung einer Gestensteuerung ist – sei es in Form einer geeigneten Instruktion oder durch den gezielten Einsatz entsprechender *Signifier*, wie er in Abschnitt 5.2.7 diskutiert wird.

Als problematisch erwies sich auch die Zuverlässigkeit der Gestenerkennung. Sowohl während der Befragung der Lkw-Fahrer als auch während der Befragung der Experten kam es häufig zu Fehlerkennungen, wobei gleichermaßen *False Positives* wie *False Negatives* auftraten. Die unzuverlässige Erkennung ist in erster Linie auf die prototypische Umsetzung der Kamera- bzw. Sensorsysteme zurückzuführen. Dennoch mag dies einer der wesentlichen Gründe für die vergleichsweise geringen, größtenteils grenzwertigen SUS Scores in der Bewertung durch die Experten sein. Auffällig ist hier insbesondere das Sonnenrollo, das in der Gruppe der Experten den niedrigsten SUS Score aufweist. Nicht nur, dass es bei der Bedienung des Leselichts häufiger zu Fehlauflösungen des Sonnenrollos kam – bedenklich sind vor allem auch die möglichen Konsequenzen einer Fehlerkennung, die im schlimmsten Fall zu einer Verdeckung des Sichtfelds führen kann. Unter der Prämisse, eine Gestensteuerung nicht für sicherheitskritische Funktionen einzusetzen (vgl. Abschnitt 5.2.1), muss die Gestensteuerung des Sonnenrollos kritisch gesehen werden.

Deutlich weniger kritisch zeigen sich die Lkw-Fahrer in ihrer Bewertung. Hier weisen die SUS Scores allesamt akzeptable Werte auf, wobei die SUS Scores für die Kühlbox und das Deckenlicht sogar über 90 Punkte erreichen. Auffällig ist, dass die SUS Scores augenscheinlich sehr stark mit der Bewertung des wahrgenommenen Mehrwerts sowie mit den Ratings zur Akzeptanz korrelieren. Zwischen den verschiedenen Funktionen zeigen sich hier jedoch deutliche Unterschiede. Während die Fahrer etwa für die Kühlbox oder das Deckenlicht durchaus einen Mehrwert in der Verwendung einer Gestensteuerung sehen, sprechen sie im Falle des Leselichts oder des Außenstaufachs der Gestensteuerung so gut wie keinen Nutzen zu. Dies scheint auch direkt auf die Akzeptanz durchzuschlagen. Funktionen, welche offenbar keinen Mehrwert bringen, werden von den Fahrern nicht gewünscht.

Besonders auffällig ist in diesem Zusammenhang die Gestensteuerung des Außenstaufachs. Diese erreicht bei den Experten einen sehr guten SUS Score sowie das beste Gesamturteil. Ebenso wird ihr von den Experten ein entsprechender Mehrwert zugesprochen. Und dennoch ist bei den Fahrern eine Gestensteuerung für das Außenstaufach eher unerwünscht. Dies mag auf der einen Seite darauf zurückzuführen sein, dass die Gestensteuerung potenzielle Störfaktoren mit sich bringt, wie etwa einen verringerten Stauraum durch die Aktorik oder das Risiko eines Elektronikausfalls. Auf der anderen Seite sehen die Fahrer in der Gestensteuerung aber auch keinen direkten Nutzen. Dies steht im Widerspruch zur Einschätzung der Experten, was die Frage aufwirft, wie häufig ein Fahrer das Staufach tatsächlich öffnen muss, während beide Hände belegt sind. Ebenso ist fraglich, wie oft das Fahrzeug hinreichend stark verschmutzt ist, dass sich durch die Gestensteuerung ein effektiver Mehrwert ergibt. Möglicherweise ist hier auch eine Differenzierung zwischen den Einsatzsegmenten erforderlich. Während im Fernverkehr (dem auch die Fahrer der Befragung zugehören) eine starke Verschmutzung des Fahrzeugs vermutlich eher selten auftritt, ist dies für den Baustellenverkehr durchaus öfters anzunehmen. Der Mehrwert einer Gestensteuerung käme hier wohl deutlicher zum Tragen. Eine Gestensteuerung zum Öffnen des Außenstaufachs besitzt Potenzial – ihr erfolgreicher Einsatz setzt jedoch weitere empirische Analysen voraus, bei denen die

tatsächliche Nutzung des Außenstufachs unter Berücksichtigung der verschiedenen Einsatzsegmente untersucht wird.

Ähnliche Maßnahmen sind auch für die Gestensteuerung der Lichtfunktionen in Erwägung zu ziehen. Während die Fahrer in einer Gestensteuerung für das Leselicht keinerlei Mehrwert sehen, wird einer Gestensteuerung für das Deckenlicht ein deutlich größerer Mehrwert zugesprochen. Beim Leselicht erscheint es fraglich, wie häufig und in welchen Situationen dieses tatsächlich genutzt wird. Gezielte Analysen zur Nutzung der verschiedenen Lichtfunktionen könnten hierüber Aufschluss geben. Wie es jedoch scheint, ist für den Fernverkehr die Steuerung des Deckenlichts von der Liege aus von besonderer Relevanz. Schließlich wird der Bereich der Liege dort häufig genutzt. Dies wirft die Frage auf, welche sonstigen Funktionen regelmäßig von der Liege aus bedient werden und ob auch für diese Funktionen eine Gestensteuerung nutzbringend eingesetzt werden könnte. Entsprechende Analysen zur Liegennutzung erscheinen hier ebenfalls erwägenswert.

Die von den Fahrern insgesamt beste Bewertung erhält schließlich die Gestensteuerung der Kühlbox. Hier zeigt sich in der Bewertung durch die Fahrer ein äußerst hoher SUS Score und sowohl die Fahrer als auch die Experten sehen in der Gestensteuerung einen Mehrwert. Dies spiegelt sich auch im Gesamturteil der Fahrer wider, wengleich das Gesamturteil der Experten – vermutlich aufgrund von Fehlerkennungen – hierbei geringer ausfällt. Durch die gezielte Entwicklung eines Kamera- bzw. Sensorsystems könnte die Zuverlässigkeit der Gestenerkennung jedoch deutlich gesteigert werden, sodass der Einsatz einer Gestensteuerung für die Kühlbox durchaus denkbar wäre. Dabei ist jedoch anzumerken, dass der Einsatz einer Gestensteuerung auch mit entsprechenden Kosten verbunden ist. Diese fallen nicht nur für das notwendige Kamera- bzw. Sensorsystem zur Gestenerkennung an – um die Kühlbox mittels Gestik steuern zu können, ist diese ebenso mit einer entsprechenden Aktorik auszustatten.

Abschließend kann festgehalten werden, dass die hier durchgeführte Befragung trotz der geringen Stichprobengröße eine erste Einschätzung der prototypisch umgesetzten Gestensteuerungskonzepte erlaubt. Wie jedoch bereits diskutiert wurde, gelten die Aussagen der Fahrer in erster Linie für den Fernverkehr, was der Akquise der Fahrer auf einer Autobahnraststätte geschuldet ist. Für eine noch umfassendere Einschätzung – insbesondere was den wahrgenommenen Mehrwert betrifft – sollten jedoch auch die übrigen Einsatzsegmente berücksichtigt werden. Darüber hinaus hätte eine größere Stichprobe den Vorteil, dass sich in mancherlei Bewertung ein noch deutlicheres Bild zeigen würde. So war in manchen Ratings eine vergleichsweise große Standardabweichung festzustellen. Dies kann auf abweichende Einzelmeinungen zurückzuführen sein, die bei der vorliegenden Stichprobengröße ein größeres Gewicht besitzen. Dennoch war es anhand der Stichprobe möglich, konkrete Maßnahmen für die Weiterentwicklung der Gestensteuerungskonzepte zu identifizieren – sowohl was weiterführende Analysen als auch was gestalterische Maßnahmen betrifft.

6.3 Diskussion des Evaluationsprozesses

Die im Rahmen dieser Arbeit durchgeführte Evaluation umfasst zwei Studien. In der ersten Studie wurde der potenzielle Mehrwert der Gestensteuerung untersucht. Dieser konnte in einem Fahr-simulatorversuch auf Basis der Wizard-of-Oz-Methode nachgewiesen werden. Hieran anknüpfend hatte die zweite Studie zum Ziel, die Ergebnisse der ersten Studie zu plausibilisieren. Darüber hinaus stand die Evaluation der Usability der Gestensteuerungskonzepte im Fokus dieser zweiten Studie. Als Grundlage hierfür diente die prototypische Integration der Gestensteuerungskonzepte in ein Realfahrzeug, zu der eine Gruppe von Lkw-Fahrern und Experten befragt wurde.

Während in der ersten Studie die Gestensteuerung sehr grundlegend untersucht wurde, um ihren potenziellen Einsatz im Nutzfahrzeug zu legitimieren, wurden in der zweiten Studie bereits die konkrete Gestaltung der Gestensteuerungskonzepte sowie eine mögliche Integration der Gestensteuerung in das Fahrzeug betrachtet. Für zukünftige Studien, die hierauf aufbauen, sollten die Anwendungsfälle noch weiter konkretisiert und die Gestaltung der Gestensteuerungskonzepte zunehmend verfeinert werden. Auf diese Weise ist es möglich, die Gestensteuerungskonzepte immer stärker einer finalen Umsetzung anzunähern und so die Entwicklung bis hin zum Serieneinsatz voranzutreiben. Im Zuge dessen sollten auch das Versuchssetting und die zu testenden Szenarien immer mehr den realen Einsatzbedingungen entsprechen. So wäre es zum Beispiel denkbar, nachfolgende Studien im Rahmen von Realfahrten und unter entsprechenden Umgebungsbedingungen durchzuführen.

Eine besondere Rolle spielt in diesem Zusammenhang die zur Gestenerkennung eingesetzten Technologien. Diese wurden im Rahmen der ersten Studie durch einen Wizard simuliert, was einer nahezu idealen Gestenerkennung entspricht. In der zweiten Studie kamen hingegen prototypische Kamera- und Sensorsysteme zum Einsatz, deren Zuverlässigkeit allerdings deutlich hinter der einer serienreifen Gestenerkennung zurückbleibt. Zurückzuführen ist dies unter anderem auf den Einsatz einer einfachen Sensorik oder etwa auf die Verwendung regelbasierter Klassifikatoren. Sowohl die Wizard-of-Oz-Methodik als auch die Verwendung prototypischer Kamera- und Sensorsysteme haben zwar den Vorteil, dass dadurch eine Gestensteuerung mit relativ wenig Aufwand dargestellt werden kann, was einer schnellen und kostengünstigen Versuchsdurchführung zugutekommt. Allerdings sollte mit der voranschreitenden Entwicklung und Evaluation der Gestensteuerungssysteme auch die Gestenerkennung und die dafür verwendete Technologie immer mehr der potenziellen Serienumsetzung angenähert werden. Denn nur so ist letztlich eine gezielte Gestaltung und valide Evaluation von Zuverlässigkeit, Toleranz und Robustheit einer Gestensteuerung möglich.

7 Diskussion der Arbeit

Ziel dieser Arbeit war es, den potenziellen Mehrwert der berührungsfreien Gestensteuerung zu identifizieren, basierend darauf Anwendungsfälle für einen Einsatz der Gestensteuerung im Nutzfahrzeug abzuleiten sowie Empfehlungen zur ergonomischen Gestaltung auszusprechen. Hierfür wurde ein Prozess vorgeschlagen, der die drei Schritte der Analyse, Gestaltung und Evaluation umfasst. Vor diesem Hintergrund sollen im Folgenden die Ergebnisse dieser Arbeit diskutiert werden.

7.1 Diskussion der Potenziale der Gestensteuerung im Nutzfahrzeug

Um zu ergründen, welche Potenziale die berührungsfreie Gestensteuerung für das Nutzfahrzeug besitzt, wurden zu Beginn dieser Arbeit drei Forschungsfragen formuliert. Auf diese Forschungsfragen soll nun im Rahmen der Diskussion eine Antwort gegeben werden:

- Welcher Mehrwert kann durch den Einsatz einer berührungsfreien Gestensteuerung geschaffen werden und welche Rolle spielt dieser für den Nutzfahrzeugkontext?

Basierend auf dem Stand der Technik wurde zunächst untersucht, über welche grundlegenden Faktoren der Mehrwert einer Gestensteuerung beschrieben werden kann. Hierbei hat sich gezeigt, dass die Motivation für den Einsatz einer Gestensteuerung je nach Domäne und Anwendungsfall unterschiedlich sein kann. Zu den wesentlichen Faktoren, welche identifiziert werden konnten, zählen eine Steigerung der Effizienz, physische Entlastung, eine geringere Ablenkung während der Fahrt, eine Zunahme von Hygiene und Sauberkeit sowie ein gesteigertes positives Nutzererlebnis. Diese Faktoren können sich gegenseitig bedingen und hängen zum Teil voneinander ab, sodass es sich bei dem Mehrwert einer Gestensteuerung nicht selten um eine Kombination aus verschiedenen Faktoren handelt.

Hinsichtlich der Effizienz ist zunächst zwischen der Effizienz von Arbeitsabläufen und der Bedieneffizienz zu unterscheiden. Mit dem Ziel, die Effizienz von Arbeitsabläufen zu steigern, wurden verschiedene Tätigkeiten im Außenbereich des Fahrzeugs betrachtet. Hierbei konnten vielversprechende Anwendungsfälle identifiziert werden, die neben einer Effizienzsteigerung auch eine physische Entlastung sowie einen Zugewinn an Sicherheit in Aussicht stellten. Aufgrund technischer Grenzen, welche die Zuverlässigkeit der Gestenerkennung im Außenbereich betreffen, musste von diesen Anwendungsfällen jedoch im weiteren Verlauf der Arbeit abgesehen werden.

Das Potenzial einer Gestensteuerung zur Steigerung der Bedieneffizienz konnte hingegen für bestimmte Anwendungsfälle im Rahmen einer Studie nachgewiesen werden. Selbiges gilt für die physische Entlastung, für die Verringerung der Ablenkung während der Fahrt sowie für das Er-

zeugen eines positiven Nutzererlebnisses. Eine Steigerung der Bedieneffizienz zeigte sich dabei in Form einer Verkürzung von Bedienzeiten, die in manchen Fällen jedoch auf Kosten der Effektivität ging. So konnte etwa das Sonnenrollo mittels Gestik zwar schneller, dafür aber weniger genau eingestellt werden. Bezüglich des Potenzials zur physischen Entlastung zeigte sich, dass die Gestensteuerung nicht nur bei schwer zu erreichenden oder mühsam zu bedienenden Funktionen einen Vorteil bringen kann. Auch bei Funktionen, zu deren Bedienung die Hand zu einem Taster oder Touchscreen geführt und dort womöglich gehalten werden muss, erweist sich die Gestensteuerung als komfortable Alternative.

Was eine Verringerung der Ablenkung während der Fahrt betrifft, so konnte ein positiver Einfluss der Gestensteuerung auf die Sicherheit der Fahrzeugführung festgestellt werden. Dabei ist anzunehmen, dass die Gestensteuerung nicht nur die visuelle und motorische Ablenkung reduzieren kann – auch eine Verringerung der kognitiven Ablenkung erscheint möglich, wenn die Gestensteuerung etwa als Alternative zur Sprachbedienung eingesetzt wird.

Ebenso konnte gezeigt werden, dass die Gestensteuerung zu einer positiven User Experience beitragen kann, indem sie von den Nutzern als originell, attraktiv und stimulierend wahrgenommen wird. Hierbei scheint es sich jedoch mehr um einen positiven Nebeneffekt der Gestensteuerung zu handeln. Über eine gesteigerte User Experience alleine könnte der Einsatz einer Gestensteuerung im Nutzfahrzeug wohl nicht motiviert werden. Vielmehr sind es die bereits genannten Faktoren, in denen die Lkw-Fahrer eine Bereicherung für ihren Berufsalltag sehen.

Schließlich wurde auch eine Zunahme von Hygiene und Sauberkeit als Faktor für einen potenziellen Mehrwert einer Gestensteuerung im Nutzfahrzeug in Erwägung gezogen. Als geeigneter Anwendungsfall wurde dabei das Öffnen des Außenstaufachs erachtet. Für den Fernverkehr konnte sich ein entsprechender Mehrwert jedoch nicht bestätigen – andere Einsatzsegmente bedürfen einer weiteren Untersuchung.

Insgesamt konnte im Rahmen dieser Arbeit gezeigt werden, dass für bestimmte Anwendungsfälle und Nutzungskontexte die Gestensteuerung in verschiedener Hinsicht einen Mehrwert bringen kann. Für den Nutzfahrzeugkontext am vielversprechendsten sind dabei eine Verringerung der Ablenkung während der Fahrt, eine physische Entlastung des Nutzers sowie in bestimmten Fällen eine Steigerung der Bedieneffizienz. Die potenziellen Vorteile einer Gestensteuerung gegenüber anderen Bedienmodalitäten wie Taster, Touchscreen oder Sprache wurden aufgezeigt. Zudem konnte noch eine weitere wichtige Erkenntnis gewonnen werden. Neben dem objektiven Mehrwert einer Gestensteuerung ist mindestens ebenso entscheidend, wie dieser Mehrwert von den Nutzern wahrgenommen wird. Der Erfolg einer Gestensteuerung im Nutzfahrzeug hängt in erster Linie auch davon ab, wie sehr die Lkw-Fahrer in der Gestensteuerung eine Unterstützung und Bereicherung für ihren Arbeitsalltag sehen. Der wahrgenommene Mehrwert ist somit als wichtiger Faktor der Nutzerakzeptanz zu sehen.

- Welche Anwendungsfälle für eine berührungsfreie Gestensteuerung gibt es im Nutzfahrzeug?

Durch den potenziellen Mehrwert der Gestensteuerung motiviert konnten mittels verschiedener Methoden diverse Anwendungsfälle für eine Gestensteuerung im Nutzfahrzeug identifiziert werden. Die Anwendungsfälle lassen sich dabei drei unterschiedlichen Bereichen des Fahrzeugs zuordnen: dem Außenbereich, dem Bereich um den Fahrersitz sowie dem Bereich der Liege.

Für den Außenbereich des Fahrzeugs wurden verschiedene Anwendungsfälle diskutiert, wie etwa die Steuerung der Luftfederung, der Lichtcheck oder das Vor- und Zurücksetzen des Fahrzeugs. Obwohl sich für einige Anwendungsfälle durchaus ein potenzieller Mehrwert abzeichnete, musste von einer Gestensteuerung im Außenbereich des Fahrzeugs abgesehen werden. Unter der Prämisse einer nicht-intrusiven Gestenerkennung kann mit den derzeit verfügbaren technischen Mitteln keine hinreichend zuverlässige Gestenerkennung umgesetzt werden. Eine Ausnahme stellt dabei das Öffnen der Staufachklappe dar. Hierfür wurde im Rahmen dieser Arbeit eine mit dem Fuß bedienbare Gestensteuerung umgesetzt. Ein entsprechender Mehrwert konnte allerdings nicht bestätigt werden. Stattdessen zeigten sich Probleme hinsichtlich der Nutzerakzeptanz, die auf eine höhere Ausfallwahrscheinlichkeit der Gestensteuerung zurückzuführen sind.

Bei einem Großteil der im Rahmen dieser Arbeit untersuchten Anwendungsfälle handelt es sich um Funktionen im Bereich des Fahrersitzes. Die meisten Funktionen werden dabei während der Fahrt bedient. Untersucht wurden in dieser Hinsicht unter anderem das Einstellen des Sonnenrollos, das Einschalten des Innenlichts sowie das Aufrufen einer Informationsanzeige auf einem Display. Hierbei handelt es sich um Anwendungsfälle, die in erster Linie aus den Ergebnissen des Methodenmix abgeleitet wurden. Beim Sonnenrollo zeigte die Gestensteuerung das Potenzial zur physischen Entlastung und zur Reduktion motorischer Ablenkung während der Fahrt, allerdings auf Kosten der Genauigkeit, mit der das Sonnenrollo eingestellt werden kann. Kritisch zu sehen sind beim Sonnenrollo aber vor allem die möglichen Folgen einer Fehlererkennung, insbesondere eine versehentliche Verdeckung des Sichtfelds, was die Vorteile einer Gestensteuerung relativiert. Weitaus weniger kritisch ist hingegen die Steuerung des Innenlichts. Im Vergleich zu einer Bedienung mittels Taster erweist sich die Gestensteuerung hier als visuell weniger ablenkend, wenngleich noch zu prüfen ist, welche Leuchten idealerweise mittels Gestik anzusteuern sind. Bei der prototypischen Umsetzung einer Gestensteuerung für das Leselicht hat sich gezeigt, dass speziell das Leselicht für die Lkw-Fahrer offenbar nur wenig Relevanz besitzt. Ebenfalls untersucht wurde das Aufrufen einer Informationsanzeige auf einem Display. Zwar ist von einer Gestensteuerung zur bildschirmbasierten Menübedienung aus verschiedenen Gesichtspunkten der gebrauchstauglichen Gestaltung abzuraten – wird eine Geste jedoch als Shortcut zum Aufruf einer bestimmten Anzeige eingesetzt, können sich dadurch Vorteile gegenüber anderen Bedienmodalitäten ergeben. Die konkreten Inhalte einer solchen Anzeige sind jedoch noch zu definieren, genauso wie deren Integration in ein bereits bestehendes Anzeigekonzept.

Ein weiterer Anwendungsfall im Bereich des Fahrersitzes ist schließlich das Vor- und Zurückfahren der Kühlbox. Motiviert wird dieser Anwendungsfall vor allem durch die physische Entlastung des Nutzers. Ein entsprechender Mehrwert konnte im Rahmen dieser Arbeit zunächst allerdings nur qualitativ gezeigt werden. Dennoch lässt die Befragung von Fernfahrern eine Gestensteuerung der Kühlbox äußerst vielversprechend erscheinen, selbst wenn mit ihr die Integration einer zusätzlichen Aktorik verbunden wäre.

Im Bereich der Liege findet nicht zuletzt auch die Gestensteuerung des Deckenlichts eine vergleichbar große Zustimmung bei den Fernfahrern. Gerade durch die schlechte Erreichbarkeit vieler Funktionen von der Liege aus kann die Gestensteuerung hier zu einer schnelleren und komfortableren Bedienung beitragen. Um neben dem Deckenlicht noch weitere Funktionen zu identifizieren, für die eine Gestensteuerung im Bereich der Liege von Nutzen wäre, müsste die Liegenutzung im Fernverkehr jedoch noch näher analysiert werden. Eine Bedienung der Standheizung sowie die Steuerung von Multimedia-Funktionen bieten hierbei jedoch erste Anhaltspunkte.

Zu den Anwendungsfällen ist abschließend anzumerken, dass die meisten im Rahmen dieser Arbeit untersuchten Anwendungsfälle darauf basieren, dass bereits existierende Funktionen um eine Gestensteuerung erweitert wurden. Was in dieser Arbeit nur am Rande angemerkt, jedoch nicht weiter vertieft wurde, ist die Entwicklung gänzlich neuer Funktionen, welche von vorne herein die Möglichkeiten nutzen, die die berührungsfreie Gestensteuerung bietet. Ein solcher Ansatz würde deutlich mehr Freiraum bieten, was die Gestaltung der Gestensteuerung betrifft. Während bei bereits existierenden Funktionen die Gestensteuerung mit einem schon vorhandenen Bedienprinzip in Einklang gebracht werden muss, können bei der Entwicklung neuer Funktionen diese von vorne herein für eine optimale Bedienung mittels Gestik ausgelegt werden.

- Welche Gestaltungsparameter sind für die ergonomische Gestaltung der berührungsfreien Gestensteuerung entscheidend und wie werden diese im Rahmen konkreter Bedienkonzepte optimal umgesetzt?

Im Rahmen dieser Arbeit wurden zur Gestaltung berührungsfreier Gestensteuerungen verschiedene Gestaltungskriterien herangezogen, welche sich in die in Abbildung 7-1 dargestellten sieben Aspekte unterteilen. Die Gestaltungskriterien unterstützen eine gebrauchstaugliche Gestaltung, die neben dem wahrgenommenen Mehrwert den zweiten wichtigen Faktor für die Nutzerakzeptanz darstellt. Die inhaltliche Grundlage der verschiedenen Gestaltungskriterien entstammt dabei zum einen der wissenschaftlichen Literatur. Hierbei werden sowohl konkrete Erkenntnisse zur Gestaltung von Gestensteuerungen angeführt, wie auch allgemeine ergonomische Grundprinzipien der Gestaltung, die auf den Kontext der berührungsfreien Gestensteuerung übertragen werden. Zum anderen dienen aber auch die im Rahmen dieser Arbeit gewonnenen Erkenntnisse als Quelle der hier ausgesprochenen Empfehlungen.

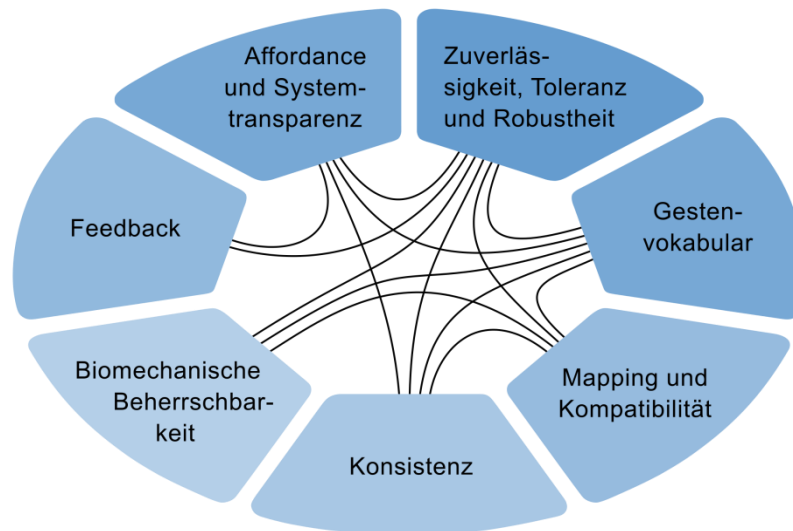


Abbildung 7-1: Überblick über die für die ergonomische Gestaltung einer berührungsfreien Gestensteuerung relevanten Gestaltungskriterien und deren Wechselwirkungen

Der wohl mit Abstand wichtigste Bereich der gebrauchstauglichen Gestaltung umfasst die Zuverlässigkeit, Toleranz und Robustheit der Gestenerkennung. Das Minimieren von Fehlerkennungen, sowohl das der *False Positives* als auch das der *False Negatives*, ist nicht nur für eine effiziente Bedienung entscheidend. Auch die Nutzerakzeptanz wird von der Häufigkeit der Fehlerkennungen maßgeblich beeinflusst. Die Wahl eines passenden Sensor- bzw. Kamerasystems sowie die Entwicklung eines geeigneten Verfahrens zur Gestenerkennung sind daher als ein wesentlicher Bestandteil der ergonomischen Gestaltung zu sehen.

Ein beinahe ebenso wichtiger wie maßgeblicher Bestandteil der Gestaltung ist die Definition des Gestenvokabulars. In ihm werden die zur Gestensteuerung verwendbaren Gesten festgelegt. Die Gesten müssen dabei verschiedenen Anforderungen genügen, wie etwa der Konsistenz oder des kompatiblen Mappings. Ebenso muss aber auch die Ausführbarkeit der einzelnen Gesten bezüglich ihrer biomechanischen Beherrschbarkeit sichergestellt sein. Da auch stets eine zuverlässige Erkennung gewährleistet werden muss, resultiert aus den unterschiedlichen Einzelanforderungen nicht selten ein Zielkonflikt. Um einen solchen Zielkonflikt bestmöglich aufzulösen, bietet die Gestaltung des Gestenvokabulars die größten Einflussmöglichkeiten. Nicht selten sind für die Steuerung einer bestimmten Funktion mehrere potenzielle Gesten denkbar, welche etwa den Anforderungen eines kompatiblen Mappings gleichermaßen gerecht werden. Beispielsweise wären für die generische Funktion „mehr“ sowohl eine lineare Bewegung nach oben, als auch nach rechts genauso möglich wie etwa eine kreisförmige Bewegung im Uhrzeigersinn. Letztlich gilt es, aus diesen zur Verfügung stehenden Gesten jene auszuwählen, die sich für eine zuverlässige Erkennung am besten eignen. Auf Widersprüche, die sich dabei etwa hinsichtlich der externen Konsistenz ergeben, kann wiederum durch eine klare *Affordance* und Systemtransparenz Einfluss genommen werden, indem dem Nutzer die verwendbaren Gesten eindeutig aufgezeigt werden.

Affordance und Systemtransparenz stellen aber auch per se einen bedeutenden Bestandteil der gebrauchstauglichen Gestaltung dar. Da die berührungsfreie Gestensteuerung in den seltensten Fällen selbsterklärend ist, muss dem Nutzer durch eine gezielte Gestaltung vermittelt werden, wann, wo und wie er per Gestik interagieren kann. Wie sich gezeigt hat, spielt vor allem auch die Kommunikation bzw. Einführung der Gestensteuerung und ihrer Gesten eine wichtige Rolle. Eine intuitive Erstnutzung kann nur dann sichergestellt werden, wenn der Nutzer bereits im Vorfeld weiß, welche Gesten vom System erkannt werden und wie diese auszuführen sind.

Da die gebrauchstaugliche Gestaltung in hohem Maße vom jeweiligen Anwendungsfall abhängig ist, handelt es sich bei den meisten Gestaltungskriterien zunächst um rein qualitative Empfehlungen. Eine Ausnahme stellt in diesem Fall das Feedback dar, für das allgemeingültige Grenzwerte für *First-* und *Second-Level Feedback* angegeben werden konnten. Dabei stellen diese Grenzwerte eine Empfehlung dar, die aus der wissenschaftlichen Literatur abgeleitet, in der Form aber noch nicht validiert wurde. Abgesehen davon sind konkrete Vorgaben, wie etwa in Form von Ziel- und Grenzwerten, kaum möglich. Vielmehr dienen die Gestaltungskriterien als Rahmen und Orientierung im Gestaltungsprozess. Speziell für den Nutzfahrzeugkontext konnte im Rahmen dieser Arbeit allerdings anhand diverser Beispiele gezeigt werden, wie durch die Gestaltungskriterien eine gebrauchstaugliche Gestaltung verschiedener Gestensteuerungskonzepte unterstützt wird.

7.2 Diskussion des Prozesses zur Entwicklung von Gestensteuerungen

Im Rahmen dieser Arbeit wurde ein Prozess zur Entwicklung berührungsfreier Gestensteuerungen definiert (vgl. Abbildung 7-2) und auf den Nutzfahrzeugkontext angewendet. Nachfolgend sollen die Prinzipien dieses Prozesses vor dem Hintergrund der dabei gewonnenen Erkenntnisse diskutiert werden. Ziel ist es, dadurch ein allgemeingültiges Prozessmodell zu manifestieren, welches kontextübergreifend als Orientierung für die Entwicklung zukünftiger Gestensteuerungen herangezogen werden kann.

Folgende Prinzipien liegen dem Prozess zugrunde:

- a) Analyse, Gestaltung und Evaluation sind die essenziellen Bestandteile der Entwicklung und stehen zueinander in enger Wechselbeziehung.
- b) Der Prozess ist nicht linear und wird in Abhängigkeit von den Anforderungen flexibel durchlaufen.
- c) Der Prozess kann an beliebiger Stelle begonnen werden.
- d) Für jeden Prozessschritt ist ein Ziel zu definieren, das bei Erreichung den nächsten Prozessschritt auslöst.
- e) Der Prozess besitzt kein vordefiniertes Ende.

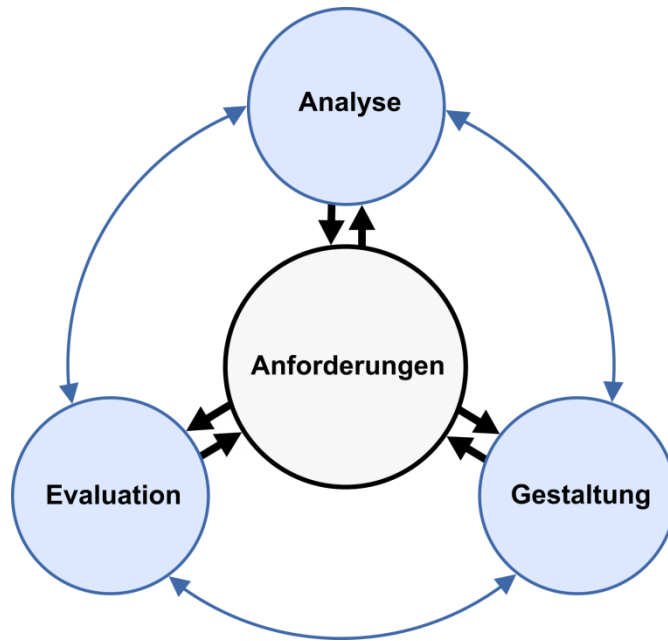


Abbildung 7-2: Der Prozess zur Entwicklung berührungsfreier Gestensteuerungen umfasst die Schritte der Analyse, Gestaltung und Evaluation, aus denen sich jeweils verschiedene Anforderungen ableiten.

Augenscheinlich wirkt der Prozess zur Entwicklung berührungsfreier Gestensteuerungen zunächst trivial, da jeder Prozessschritt mit den jeweils anderen Prozessschritten in Verbindung steht und dadurch eine vermeintliche Beliebigkeit suggeriert wird. Tatsächlich aber entsteht durch die direkten Verbindungen und die gegenseitigen Abhängigkeiten eine hohe Komplexität bei der Anwendung des Prozesses. Um diese Komplexität möglichst aufzulösen und die Anwendung des Prozesses zu erleichtern, werden die Prinzipien des Prozesses im Folgenden detaillierter betrachtet und diskutiert.

- a) Analyse, Gestaltung und Evaluation sind die essenziellen Bestandteile der Entwicklung und stehen zueinander in enger Wechselbeziehung.

Die Analyse des Nutzungskontexts, die Gestaltung eines entsprechenden Bedienkonzepts sowie die Evaluation der Gestensteuerung sind obligatorische Schritte bei der Entwicklung berührungsfreier Gestensteuerungen. Jeder dieser Prozessschritte wird im Rahmen der Entwicklung mehrere Male durchlaufen und fußt jeweils auf der Anwendung spezifischer Methoden.

Die Analyse des Nutzungskontexts verfolgt zweierlei Ziele. Einerseits dient sie wie bei der Gestaltung gebrauchstauglicher interaktiver Systeme gemäß DIN EN ISO 9241-210: 2011-01 dazu, ein umfassendes Verständnis der Benutzer, Arbeitsaufgaben und Arbeitsumgebungen zu schaffen. Hieraus resultieren in der Regel spezifische Anforderungen an die Gestaltung und Evaluation der Gestensteuerung, wie etwa dadurch, dass bestimmte Rahmenbedingungen (z. B. Nutzung während der Fahrt) berücksichtigt werden müssen. Vor allem aber dient die Analyse des Nutzungs-

kontexts dem Zweck aufzudecken, mit welchem konkreten Mehrwert der Einsatz einer Gestensteuerung verbunden ist. Wie anhand des Technology Acceptance Models nach Davis (1989) gezeigt wird, ist der vom Nutzer wahrgenommene Mehrwert für die Wirksamkeit der Gestensteuerung maßgeblich (vgl. Abschnitt 5.1). Da zudem mit dem Einsatz einer Gestensteuerung stets auch Kosten verbunden sind, spielt ihr Mehrwert auch aus betriebswirtschaftlicher Sicht – nämlich im Sinne der Verkaufsargumentation – eine wesentliche Rolle.

Abhängig davon, zu welchem Zeitpunkt in der Entwicklung eine Analyse des Nutzungskontexts durchgeführt wird, bieten sich verschiedene Methoden an. Zu einem frühen Zeitpunkt in der Entwicklung können Methoden zur Exploration des Nutzungskontexts genutzt werden. Sie haben das Ziel, geeignete Anwendungsfälle für den Einsatz einer Gestensteuerung aufzudecken. Liegen bereits potenzielle Anwendungsfälle vor – etwa weil Gestaltungslösungen in Form von bereits etablierten Bedienkonzepten aus anderen Bereichen übertragen werden können – dient die Analyse vielmehr dazu, die Übertragbarkeit des betreffenden Anwendungsfalls nachzuweisen.

Der Prozessschritt der Gestaltung beinhaltet die konkrete Ausgestaltung eines Bedienkonzepts zur Gestensteuerung. Als Maßgabe hierfür dienen die im Rahmen dieser Arbeit vorgestellten ergonomischen Gestaltungskriterien. Die Gestaltungskriterien bringen eine Reihe von Anforderungen mit sich, die es zugunsten einer gebrauchstauglichen Gestaltung zu erfüllen gilt. Da diese Anforderungen vom Nutzungskontext abhängig sind, ist es für die Gestaltung umso vorteilhafter, je mehr zum Zeitpunkt der Gestaltung über den Nutzungskontext bekannt ist. Ein wesentlicher Bestandteil der Gestaltung ist auch die Auswahl und Implementierung einer geeigneten Technologie zur Gestenerkennung, welche ebenfalls auf den betreffenden Nutzungskontext abzustimmen ist. Mittlerweile basiert die Gestenerkennung immer häufiger auf Machine Learning, wodurch zwar hohe Erkennerraten erzielt werden können, was aufgrund der Erstellung von Trainingsdaten aber auch mit einem hohen Aufwand bei der Implementierung verbunden ist. Dies führt häufig dazu, dass eine entsprechende Gestenerkennung erst relativ spät in der Entwicklung implementiert wird, da bei Machine Learning vergleichsweise schlecht auf eine Änderung der Rahmenbedingungen reagiert werden kann. Daher ist es umso wichtiger, bereits in der frühen Phase der Entwicklung die technischen Grenzen und Möglichkeiten der Gestenerkennung zu berücksichtigen, um eine spätere Implementierung gewährleisten zu können.

Bezüglich der Methodik spielt zu Beginn der Gestaltung die Definition des Gestenvokabulars eine wesentliche Rolle, da darüber die Grundzüge der Interaktion festgelegt werden. Wie in Abschnitt 5.2.2 aufgezeigt wird, kann das Gestenvokabular auf verschiedene Arten erhoben werden. Mit der Erhebung einher geht die formale Beschreibung der Gesten, etwa in Form von Text und Bildern. Hiermit ist es wiederum möglich, den Ablauf einer Interaktion und schließlich das komplette Bedienkonzept darzustellen. Im weiteren Verlauf der Entwicklung gewinnt das Prototyping an Bedeutung. Zur Darstellung von Bedienkonzepten sind hierbei sowohl die Eingangsseite (Sensorik, Gestenerkennung), als auch die Ausgangsseite (Aktorik, Anzeige) prototypisch umzusetzen. Je nachdem, welcher Zweck mit dem Prototyp verfolgt wird, kann dessen Ausgestaltung mehr oder

weniger detailliert erfolgen. So wird zu Beginn der Entwicklung häufig mit bereits bestehenden Kamerasystemen wie z. B. dem *Leap Motion Controller* gearbeitet, um im Rahmen rudimentärer Prototypen die grundlegende Funktionalität darzustellen. In einer späteren Phase der Entwicklung werden Prototypen hingegen vermehrt auf dem Zielsystem mit entsprechender Hardware aufgebaut, was unter anderem eine Evaluation der Gestensteuerung unter möglichst realitätsnahen Bedingungen ermöglicht.

Die Evaluation der Gestensteuerung sollte im Rahmen der Entwicklung mehrfach erfolgen und auf empirischen Methoden basieren. Abhängig vom aktuellen Stand der Entwicklung können die Ziele der Evaluation vielfältig sein. So kann eine Evaluation etwa sehr früh in der Entwicklung eingesetzt werden, um beispielsweise im Nachgang einer Analyse potenzielle Anwendungsfälle von Nutzern bewerten zu lassen (vgl. Fokusgruppe, Abschnitt 4.2.4). Ebenso kann eine Evaluation frühzeitig im Rahmen der Gestaltung stattfinden, etwa um die Verständlichkeit oder biomechanische Beherrschbarkeit eines Gestenvokabulars sicherzustellen (vgl. Abschnitt 5.2.2). Auf diese Weise ist es möglich, den Entwicklungsprozess deutlich zielgerichteter zu steuern. Zu einem späteren Zeitpunkt der Entwicklung – etwa dann, wenn erste Bedienkonzepte oder Prototypen verfügbar sind – sollte die Evaluation zur Validierung der gebrauchstauglichen Gestaltung sowie zur Überprüfung des objektiven und subjektiven Mehrwerts der Gestensteuerung eingesetzt werden. Ein wesentliches Kriterium ist dabei die Nutzerakzeptanz, weswegen die Evaluation stets unter Einbezug zukünftiger Nutzer stattfinden sollte. Maßnahmen aus der Evaluation fließen dann wiederum als neue oder geänderte Anforderungen in den Entwicklungsprozess zurück.

Wie festzustellen ist, greifen die Prozessschritte der Analyse, Gestaltung und Evaluation eng ineinander. Bereits bei der Definition von Anwendungsfällen sollten eine potenzielle Gestaltung sowie die zu erwartende Nutzerakzeptanz berücksichtigt werden. Für die Gestaltung spielt wiederum die Kenntnis des Nutzungskontexts eine wichtige Rolle. Dabei nimmt die Gestaltung auch einen wesentlichen Einfluss auf die Nutzerakzeptanz. Evaluationsergebnisse können hingegen Anpassungen bezüglich der Anwendungsfälle sowie der Gestaltung erforderlich machen, sodass insgesamt betrachtet eine starke Abhängigkeit zwischen den einzelnen Prozessschritten vorherrscht. Diese starke Abhängigkeit stellt auch gewisse Anforderungen an die Zusammenarbeit der am Entwicklungsprozess beteiligten Personen. Grundsätzlich ist die Entwicklung berührungsfreier Gestensteuerungen durch Interdisziplinarität gekennzeichnet und vereint Disziplinen der Arbeitswissenschaft, der Geisteswissenschaft sowie des Ingenieurwesens. In der Regel sind somit verschiedene Entwickler und Fachexperten am Prozess beteiligt. Aufgrund der gegenseitigen Abhängigkeiten ist es von großem Vorteil, wenn diese Personen – beispielsweise in Form eines eigenen Entwicklerteams – eng miteinander zusammenarbeiten (vgl. Wigdor & Wixon, 2011).

- b) Der Prozess ist nicht linear und wird in Abhängigkeit von den Anforderungen flexibel durchlaufen.

Wie sich zeigt, ist der Prozess zur Entwicklung berührungsfreier Gestensteuerungen durch einen kontinuierlichen Wechsel zwischen den einzelnen Prozessschritten sowie durch eine stetige Anpassung und Verfeinerung der zu entwickelnden Gestensteuerung gekennzeichnet. In welcher Reihenfolge die einzelnen Prozessschritte aufeinander folgen, ist dabei nicht vorgegeben. Vielmehr ist dies vom jeweiligen Entwicklungsvorhaben und dessen Rahmenbedingungen abhängig. Die Entwicklung einer Gestensteuerung für den Pkw, wo bereits etablierte Bedienkonzepte zur Gestensteuerung vorhanden sind, wird mit hoher Wahrscheinlichkeit anders verlaufen als die Entwicklung einer Gestensteuerung für den Lkw, wo bislang keinerlei Serienanwendungen einer Gestensteuerung existieren. Durch die Flexibilität des Prozesses ist es möglich, die Entwicklung an die entsprechenden Erfordernisse individuell anzupassen. Eine Schwierigkeit stellt dabei jedoch die schlechte Vorhersagbarkeit und somit geringe Planbarkeit des Prozesses dar. Zu etwaigen Problemen kann es vor allem dann kommen, wenn die Entwicklung einer Gestensteuerung mit anderen Prozessen und deren Zeitplanung in Einklang gebracht werden muss.

Um trotz der hohen Flexibilität des Prozesses ein zielgerichtetes Vorgehen zu ermöglichen, ist die Definition von Anforderungen ein wesentlicher Bestandteil der Entwicklung. Anforderungen werden dabei durch jeden Prozessschritt bedingt. Im Rahmen der Analyse sind dies zunächst Nutzungsanforderungen, über die bestimmt wird, wie eine Funktion per Geste gesteuert werden kann. Darüber hinaus können bestimmte Anwendungsfälle aber auch funktionale und technische Anforderungen mit sich bringen, wie zum Beispiel, dass der Gestenbedienung eine Authentifizierung des Nutzers vorangehen muss oder dass die Technologie zur Gestenerkennung robust gegenüber bestimmten Umgebungseinflüssen sein muss. Eine wesentliche Anforderung ist vor allem aber auch, dass die Gestensteuerung einen Mehrwert gegenüber jeder anderen Art der Bedienung mit sich bringen muss. Ebenso unterliegt auch die Gestaltung einer Reihe von Anforderungen, die über die Gestaltungskriterien ermittelt werden können und die auf die Gebrauchstauglichkeit der Gestensteuerung abzielen. Schließlich kann aber auch die Evaluation bestimmte Anforderungen nach sich ziehen. Es ist nicht davon auszugehen, dass ein nutzbringender Anwendungsfall und eine gebrauchstaugliche Gestaltung automatisch mit einer hohen Nutzerakzeptanz einhergehen. So kann etwa die Tatsache, dass zur Gestenerkennung eine Kamera auf den Nutzer gerichtet ist, die Akzeptanz der Gestensteuerung aufgrund von Datenschutzbedenken mindern, wodurch sich wiederum Anforderungen an eine entsprechende Gestaltung ableiten lassen.

Grundsätzlich stellen die Anforderungen ein wichtiges Instrument für die Entwicklung dar. Anhand der Anforderungen kann bestimmt werden, welche Aktivität in der Entwicklung als nächstes notwendig ist – abhängig davon, ob Anforderungen ermittelt, erfüllt oder validiert werden müssen. Hierbei ist anzumerken, dass die Anforderungen an eine Gestensteuerung nicht zwangsläufig stabil sein müssen, sondern einer zeitlichen Änderung unterliegen können. Insbesondere in Bezug auf die Gestaltung können sich Anforderungen ändern, wie etwa dann, wenn über die Einführung

bestimmter Systeme neue Standards etabliert werden. Als Beispiel sei hier die von der BMW AG (2015) eingeführte Geste erwähnt, bei der mit einem nach vorne gestreckten Zeige- und Mittelfinger eine Favoritenfunktion gesteuert werden kann. Diese Geste wurde mittlerweile auch von der Daimler AG (2019) übernommen. Durch derartige Entwicklungen können Bedienprinzipien etabliert werden, die wiederum einen Einfluss auf die weitere Gestaltung von Systemen haben können, bei denen die Gestensteuerung für eine vergleichbare Funktionalität umgesetzt werden soll.

c) Der Prozess kann an beliebiger Stelle begonnen werden.

Eine Besonderheit des Prozesses zur Entwicklung berührungsfreier Gestensteuerungen ist, dass er keinen definierten Startpunkt besitzt, sondern mit einem beliebigen Prozessschritt begonnen werden kann. Der Aufbau dieser Arbeit suggeriert, dass die Entwicklung idealerweise mit einer Analyse des Nutzungskontexts begonnen werden sollte. Tatsächlich aber wäre es ebenso denkbar, die Entwicklung beispielsweise mit einer Evaluation bestehender Gestensteuerungssysteme zu starten. Abhängig von den Evaluationsergebnissen könnte dann etwa im Rahmen einer Analyse die Möglichkeit der Übernahme eines geeigneten Bedienkonzepts für den betreffenden Nutzungskontext betrachtet werden. Ebenfalls denkbar wäre aber auch, die Entwicklung einer Gestensteuerung über den Prozessschritt der Gestaltung zu beginnen. So könnte der Einsatz einer Gestensteuerung etwa aufgrund der Verfügbarkeit neuer Sensortechnologien erwogen werden. Ein Beispiel hierfür wäre etwa das Projekt „Soli“ von Google Inc. (2019). Die Entwicklung einer Gestenerkennung auf Basis von Radarstrahlung ermöglicht es, filigrane Fingergesten auf engem Raum zu erkennen, was mit bisherigen Systemen zur Gestenerkennung nur schwer möglich ist. So könnte etwa über einen *technical based approach* (vgl. Abschnitt 5.2.2) zunächst auf Basis dieser Sensortechnologie ein Gestenvokabular entwickelt werden, welches im Anschluss mittels Nutzerstudien evaluiert wird oder auf Basis dessen eine Analyse des Nutzungskontexts durchgeführt wird, um geeignete Anwendungsfälle zu identifizieren.

d) Für jeden Prozessschritt ist ein Ziel zu definieren, das bei Erreichung den nächsten Prozessschritt auslöst.

Um im Rahmen des Entwicklungsprozesses ein zielgerichtetes Vorgehen zu ermöglichen, sollte zu Beginn eines jeden Prozessschritts ein Ziel definiert werden, das es durch die Anwendung geeigneter Methoden zu erreichen gilt. Das jeweils zu definierende Ziel ist dabei immer von den spezifischen Anforderungen abhängig, welche zu ermitteln, zu erfüllen, oder zu validieren sind. Ein potenzielles Ziel für den Prozessschritt der Analyse könnte lauten, bestimmte Nutzergruppen oder Arbeitsumgebungen eines bestimmten Nutzungskontexts in repräsentativem Umfang zu betrachten, um Anwendungsfälle für eine Gestensteuerung zu identifizieren und entsprechende Nutzungsanforderungen abzuleiten. Entscheidend für die Erreichung dieses Ziels ist dabei nicht die Anzahl oder Qualität der letztlich ermittelten Nutzungsanforderungen. Vielmehr ist das Ziel dann erreicht, wenn durch den Einsatz adäquater Methoden eine ausreichend repräsentative Betrachtung

tung der Nutzergruppen bzw. Arbeitsumgebungen erfolgen konnte. Das Ziel eines Prozessschritts bezieht sich somit nicht auf ein zu erreichendes Ergebnis selbst, sondern vielmehr darauf, *wie* ein mögliches Ergebnis erreicht wird. Durch diese Art der Zieldefinition wird sichergestellt, dass der Prozess auch dann voranschreiten kann, wenn die Anwendung einer Methode keine verwertbaren Ergebnisse liefert. Für den Fall, dass in besagtem Beispiel die Betrachtung der Nutzergruppen bzw. Arbeitsumgebungen keine geeigneten Anwendungsfälle und damit Nutzungsanforderungen aufdeckt, würde es der Prozess dennoch erlauben, zum nächsten Prozessschritt überzugehen. So wäre es in vorliegendem Beispiel etwa denkbar, erneut einen Prozessschritt der Analyse anzustoßen, dabei aber einen anderen Fokus in Form einer abgeänderten Zielsetzung und damit der Anwendung anderer Methoden zu wählen. Alternativ könnte aber auch zum Prozessschritt der Gestaltung übergegangen werden, um etwa darüber potenzielle Anwendungsfälle zu motivieren.

e) Der Prozess besitzt kein vordefiniertes Ende.

Eine weitere Besonderheit des Prozesses ist schließlich die Tatsache, dass der Prozess selbst kein Kriterium für einen Abschluss der Entwicklung vorsieht. Anders als es bei anderen Entwicklungsprozessen der Fall ist, endet hier die Entwicklung nicht etwa mit dem Erreichen einer bestimmten Produktreife oder -güte. Dass der Prozess zur Entwicklung berührungsfreier Gestensteuerungen dauerhaft fortlaufen sollte, hat mehrere Gründe. Zum einen können wie bereits erwähnt die Anforderungen an die Gestaltung einer zeitlichen Änderung unterliegen, was zur Folge hat, dass die Gestaltung fortlaufend geprüft und gegebenenfalls geändert werden sollte. Andererseits unterliegt aber auch die Technologie zur Gestenerkennung einer ständigen technischen Weiterentwicklung, indem etwa Sensor- bzw. Kamerasysteme sukzessive verbessert werden sowie fortlaufend neue Algorithmen zur Gestenerkennung entwickelt werden. Aufgrund dessen, dass *False Positives* wie *False Negatives* nie gänzlich ausgeschlossen werden können, sollte kontinuierlich geprüft werden, welche neuen Möglichkeiten die technische Weiterentwicklung der Gestenerkennung bietet und ob diese zu einer Verbesserung der betreffenden Gestensteuerung genutzt werden können. Nicht zuletzt trägt aber auch der Nutzungskontext dazu bei, dass der Entwicklungsprozess dauerhaft fortlaufen sollte – schließlich unterliegt auch der Nutzungskontext einer ständigen Weiterentwicklung. Indem etwa das Zielsystem, für welches eine Gestensteuerung entwickelt werden soll, um neue Funktionen erweitert wird, entsteht letztlich auch das Potenzial für neue Anwendungsfälle einer Gestensteuerung.

8 Zusammenfassung und Ausblick

Gegenstand dieser Arbeit ist die Entwicklung berührungsfreier Gestensteuerungen für das Nutzfahrzeug. Zu diesem Zweck wurde ein Prozess definiert, an dem sich die Entwicklung orientieren kann und der für den vorliegenden Fall folgende Schritte beinhaltet:

- Analyse des Nutzungskontexts und damit Identifikation geeigneter Anwendungsfälle für den Einsatz einer berührungsfreien Gestensteuerung im Nutzfahrzeug
- Gestaltung konkreter Bedienkonzepte zur berührungsfreien Gestensteuerung anhand von ergonomischen Gestaltungskriterien
- Evaluation der Bedienkonzepte hinsichtlich Mehrwert und Usability und damit Prognose von Wirksamkeit und Nutzerakzeptanz

Als Résumé dieser Arbeit kann festgehalten werden, dass die berührungsfreie Gestensteuerung für einzelne Anwendungsfälle im Nutzfahrzeug nachweislich Potenzial besitzt. Durch ihren Einsatz kann eine zumindest punktuelle Verbesserung des Berufsalltags der Lkw-Fahrer erreicht werden.

In Hinblick auf den Serieneinsatz einer berührungsfreien Gestensteuerung im Nutzfahrzeug bleibt allerdings noch die Frage bezüglich der Vermarktung offen. Der Einsatz entsprechender Sensor- bzw. Kamerasysteme, ggf. in Verbindung mit einer zusätzlichen Aktorik, ist mit nicht zu vernachlässigenden Kosten verbunden. Hinzu kommt, dass es sich bei dem Käufer eines Lkw meist nicht um dessen Fahrer handelt, und daher womöglich noch ein zusätzlicher Kaufanreiz geschaffen werden muss. Der erfolgreiche Serieneinsatz der berührungsfreien Gestensteuerung im Nutzfahrzeug wird somit auch eine Frage des Business Cases sein.

In Zukunft allerdings könnten die Kosten einer Gestenerkennung nur noch eine untergeordnete Rolle spielen. Im Zuge der Entwicklung automatisierter Fahrfunktionen werden eine Fahrerbeobachtung und Fahrerzustandserkennung eine immer wichtigere Rolle spielen. Schon bald könnte für das automatisierte Fahren der Innenraum des Fahrerhauses mit entsprechenden Kameras und Sensoren ausgestattet sein, welche zusätzlich auch zur Gestensteuerung genutzt werden könnten. Darüber hinaus werden sich beim automatisierten Fahren neue Anwendungsfälle für eine Gestensteuerung ergeben. Dies liegt einerseits an neuen Funktionen und Bedienkonzepten, die die Automation mit sich bringen wird. Andererseits sind für die Zeit während der hochautomatisierten Fahrt auch neue Tätigkeiten und Nutzungsgewohnheiten der Fahrer zu erwarten. Damit wird das Potenzial der berührungsfreien Gestensteuerung im Nutzfahrzeug in Zukunft wohl noch weiter ansteigen.

Literaturverzeichnis

- Akyol, S., Canzler, U., Bengler, K. & Hahn, W. (2000a). Gestengesteuerter Nachrichtenspeicher im Kraftfahrzeug. In K.-P. Gärtner (Hrsg.), *Multimodale Interaktion im Bereich der Fahrzeug- und Prozessführung*. 42. Fachausschusssitzung Anthropotechnik der Deutschen Gesellschaft für Luft- und Raumfahrt e.V., 24. und 25. Oktober 2000, München (S. 319–328). Bonn: DGLR.
- Akyol, S., Canzler, U., Bengler, K. & Hahn, W. (2000b). Gesture Control for Use in Automobiles. In *MVA2000 - IAPR Workshop on Machine Vision Application, Nov. 28-30, 2000, The University of Tokyo, Japan* (S. 349–352).
- Alpern, M. & Minardo, K. (2003). Developing a Car Gesture Interface for Use as a Secondary Task. In *CHI '03 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems* (S. 932–933). New York, NY: ACM.
- Angelini, L., Caon, M., Carrino, F., Carrino, S., Lalanne, D., Khaled, O. A. et al. (2013). WheelSense. Enabling Tangible Gestures on the Steering Wheel for In-Car Natural Interaction. In D. Hutchison, T. Kanade, J. Kittler, J. M. Kleinberg, F. Mattern, J. C. Mitchell et al. (Hrsg.), *Human-Computer Interaction. Applications and Services* (Lecture Notes in Computer Science, Bd. 8005, S. 531–540). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.
- Angelini, L., Carrino, F., Carrino, S., Caon, M., Khaled, O. A., Baumgartner, J. et al. (2014). Gesturing on the Steering Wheel. In L. N. Boyle (Hrsg.), *Proceedings of the 6th International Conference on Automotive User Interfaces and Interactive Vehicular Applications - AutomotiveUI '14* (S. 1–8). New York, NY: ACM Press.
- Asadi-Aghbolaghi, M., Clapes, A., Bellantonio, M., Escalante, H. J., Ponce-Lopez, V., Baro, X. et al. (2017). A Survey on Deep Learning Based Approaches for Action and Gesture Recognition in Image Sequences. In *2017 12th IEEE International Conference on Automatic Face & Gesture Recognition (FG 2017)* (S. 476–483). IEEE.
- Bailly, G., Walter, R., Müller, J., Ning, T. & Lecolinet, E. (2011). Comparing Free Hand Menu Techniques for Distant Displays Using Linear, Marking and Finger-Count Menus. In P. Campos, N. Graham, J. Jorge, N. Nunes, P. Palanque & M. Winckler (Hrsg.), *Human-Computer Interaction - INTERACT 2011. 13th IFIP TC 13 International Conference, Lisbon, Portugal, September 5-9, 2011 ; Proceedings, Part II* (Lecture Notes in Computer Science, Bd. 6947, S. 248–262). Berlin: Springer.
- Bangor, A., Kortum, P. & Miller, J. (2009). Determining What Individual SUS Scores Mean: Adding an Adjective Rating Scale. *Journal of Usability Studies*, 4 (3), 114–123.

- Barclay, K., Wei, D., Lutteroth, C. & Sheehan, R. (2011). A Quantitative Quality Model for Gesture Based User Interfaces. In D. Stevenson (Hrsg.), *Proceedings of the 23rd Australian Computer-Human Interaction Conference* (S. 31–39). New York, NY: ACM.
- Bengler, K. (2000). Automotive Speech-Recognition - Success Conditions Beyond Recognition Rates. In *Proceedings of the 2nd International Conference on Language Resources & Evaluation (LREC 2000)* (S. 1357–1359).
- Bengler, K. (2001). Aspekte der multimodalen Bedienung und Anzeige im Automobil. In Jürgensohn, T., Timpe, K.-P. (Hrsg.), *Kraftfahrzeugführung* (S. 195–206). Berlin, Heidelberg, New York: Springer.
- Bertsch, F. A. (2009). Visuelle Gestenerkennung zur Interaktion zwischen Mensch und Roboter. In G. Stanke & M. Pochanke (Hrsg.), *FarbBV / 15. Workshop Farbbildverarbeitung. Berlin-Adlershof, 08./09. Oktober 2009 bei der Gesellschaft zur Förderung angewandter Informatik* (S. 125–134). Berlin: GFaI.
- Beyer, H. R. & Holtzblatt, K. (1995). Apprenticing with the Customer. *Communications of the ACM*, 38 (5), 45–52.
- BG Verkehr. (2003). DGUV Information 214-080 - Sicheres Kuppeln von Fahrzeugen (bisher BGI 599).
- BG Verkehr. (2007). DGUV Vorschrift 70 - Fahrzeuge (bisher BGV D29).
- BG Verkehr. (2012). DGUV Grundsatz 314-002 - Prüfung von Fahrzeugen durch Fahrpersonal (bisher BGG/GUV-G 915).
- BMW AG. (2015). *BMW 7er Limousine : Innovative Funktionen*. Zugriff am 30.05.2017. Verfügbar unter <http://www.bmw.de/de/neufahrzeuge/7er/limousine/2015/innovative-funktionen.html>
- BMW AG. (2017). *Die BMW Group auf dem Mobile World Congress 2017 in Barcelona*. Zugriff am 04.06.2017. Verfügbar unter <https://www.press.bmwgroup.com/deutschland/article/detail/T0268110DE/die-bmw-group-auf-dem-mobile-world-congress-2017-in-barcelona>
- Borg, G. (1998). *Borg's perceived exertion and pain scales*. Champaign, IL: Human Kinetics.
- Borgdorf, H.-J. (2014). *Begleitbuch "Fahren lernen" - Zusatzwissen für die Klassen C, C1 und CE, C1E* (2. Aufl.). München: Heinrich Vogel.
- Bortz, J. & Döring, N. (2006). *Forschungsmethoden und Evaluation. Für Human- und Sozialwissenschaftler* (4. überarbeitete Auflage). Heidelberg: Springer Medizin Verlag.

- Brooke, J. (1996). SUS - A quick and dirty usability scale. *Usability evaluation in industry*, 189 (194), 4–7.
- Bubb, H. (2015). Menschmodelle. In H. Bubb, K. Bengler, R. E. Grünen & M. Vollrath (Hrsg.), *Automobilergonomie* (S. 221–258). Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden.
- Bubb, H., Bengler, K., Breuninger, J., Gold, C. & Helmbrecht, M. (2015a). Systemergonomie des Fahrzeugs. In H. Bubb, K. Bengler, R. E. Grünen & M. Vollrath (Hrsg.), *Automobilergonomie* (S. 259–344). Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden.
- Bubb, H., Grünen, R. E. & Remlinger, W. (2015b). Anthropometrische Fahrzeuggestaltung. In H. Bubb, K. Bengler, R. E. Grünen & M. Vollrath (Hrsg.), *Automobilergonomie* (S. 345–470). Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden.
- Buering, T. (2013). *Neue Ideen durch Contextual Inquiry*. Zugriff am 08.11.2017. Verfügbar unter <https://www.zuehlke.com/blog/neue-ideen-durch-contextual-inquiry/>
- Bullinger, H.-J., Kern, P. & Braun, M. (1997). Controls. In G. Salvendy (Ed.), *Handbook of Human Factors and Ergonomics* (A Wiley Interscience publication, 2nd ed., pp. 697–728). New York, NY: John Wiley and Sons.
- Bundesagentur für Arbeit. (2017). *Berufskraftfahrer/in*. Zugriff am 26.11.2017. Verfügbar unter <https://berufenet.arbeitsagentur.de/berufenet/faces/index?path=null/kurzbeschreibung/taetigkeit/sinhalte&dkz=13794>
- Byers, J. C., Bittner, A. C., JR. & Hill, S. G. (1989). Traditional and raw Task Load Index (TLX) correlations: Are paired comparisons necessary? In A. Mital (Hrsg.), *Advances in Industrial Ergonomics and Safety I* (S. 481–485). London: Taylor & Francis.
- Cadoz, C. (1994). Le geste canal de communication homme/machine: la communication "instrumentale". *Technique et Science Informatiques*, 13 (1), 31–61.
- Card, S. K., Robertson, G. G. & Mackinlay, J. D. (1991). The information visualizer, an information workspace. In S. P. Robertson, G. M. Olson & J. S. Olson (Hrsg.), *Proceedings of the SIGCHI conference on Human factors in computing systems Reaching through technology - CHI '91* (S. 181–186). New York, NY: ACM Press.
- Chattopadhyay, D. & Bolchini, D. (2015). Motor-Intuitive Interactions Based on Image Schemas. Aligning Touchless Interaction Primitives with Human Sensorimotor Abilities. *Interacting with Computers*, 27 (3), 327–343. <https://doi.org/10.1093/iwc/iwu045>

- Clark, J. (2014). *Mercedes-Benz Looks to the Future*. Zugriff am 04.06.2017. Verfügbar unter http://www.mercedesbenz.com/autos/mercedes-benz/concept-vehicles/mercedes-benz-looks-to-the-future/attachment/mercedes-benz-14c634_019/#gallery
- Colgan, A. (2014). *How Does the Leap Motion Controller Work?* Zugriff am 14.08.2018. Verfügbar unter <http://blog.leapmotion.com/hardware-to-software-how-does-the-leap-motion-controller-work/>
- Coupeté, E., Moutarde, F. & Manitsaris, S. (2016). A User-Adaptive Gesture Recognition System Applied to Human-Robot Collaboration in Factories. In S. Manitsaris (Hrsg.), *Proceedings of the 3rd International Symposium on Movement and Computing - MOCO '16* (S. 1–7). New York, NY: ACM Press.
- Daimler AG. (2017). *The car as a medium*. Zugriff am 04.06.2017. Verfügbar unter <https://www.mercedes-benz.com/en/mercedes-benz/design/the-car-as-a-medium/>
- Daimler AG. (2019). *Mercedes-Benz CLA Coupé: Faszination*. Zugriff am 19.04.2019. Verfügbar unter <https://www.mercedes-benz.de/passengercars/mercedes-benz-cars/models/cla/coupe/explore/cla-coupe-nba.module.html>
- Davis, F. D. (1986). *A Technology Acceptance Model for Empirically Testing New End-User Information Systems: Theory and Results*. Dissertation, Massachusetts Institute of Technology. Cambridge, MA.
- Davis, F. D. (1989). Perceived Usefulness, Perceived Ease of Use, and User Acceptance of Information Technology. *MIS Quarterly*, 13 (3), 319–339.
- Davis, F. D., Bagozzi, R. P. & Warshaw, P. R. (1989). User Acceptance of Computer Technology: A Comparison of Two Theoretical Models. *Management Science*, 35 (8), 982–1003.
- DIN EN ISO 9241-11:2017-01 - Entwurf. *Ergonomie der Mensch-System-Interaktion - Teil 11: Gebrauchstauglichkeit: Begriffe und Konzepte (ISO/DIS 9241-11.2:2016)*.
- DIN EN ISO 9241-110:2008-09. *Ergonomie der Mensch-System-Interaktion - Teil 110: Grundsätze der Dialoggestaltung (ISO 9241-110:2006)*.
- DIN EN ISO 9241-210:2011-01. *Ergonomie der Mensch-System-Interaktion - Teil 210: Prozess zur Gestaltung gebrauchstauglicher interaktiver Systeme (ISO 9241-210:2010)*.
- DIN EN ISO 9241-960:2015-09 - Entwurf. *Ergonomie der Mensch-System-Interaktion - Teil 960: Rahmen und Anleitung zur Gestensteuerung (ISO/DIS 9241-960:2015)*.

- Döring, T., Kern, D., Marshall, P., Pfeiffer, M., Schöning, J., Gruhn, V. et al. (2011). Gestural interaction on the steering wheel. In D. Tan, G. Fitzpatrick, C. Gutwin, B. Begole & W. A. Kellogg (Hrsg.), *Proceedings of the 2011 annual conference on Human factors in computing systems - CHI '11* (S. 483–492). New York, NY: ACM Press.
- Driver Focus-Telematics Working Group. (2006). *Statement of Principles, Criteria and Verification Procedures on Driver Interactions with Advanced In-Vehicle Information and Communication Systems*.
- Duvenhage, F. (2014). *Berührungslose Gestenerkennung statt Touchbefehlen*. Zugriff am 30.06.2016. Verfügbar unter <http://www.all-electronics.de/beruehrungslose-gestenerkennung-statt-touchbefehlen/>
- Efron, D. (1941). *Gesture and Environment*. New York, NY: King's Crown Press.
- Ellinghaus, D. & Steinbrecher, J. (2002). *Lkw im Straßenverkehr. Eine Untersuchung über die Beziehungen zwischen Lkw- und Pkw-Fahrern*. Uniroyal-Verkehrsuntersuchung Nr. 27. Köln, Hannover: Uniroyal.
- Endres, C., Schwartz, T. & Müller, C. A. (2011). “Geremin”: 2D Microgestures for Drivers Based on Electric Field Sensing. In P. Pu, M. Pazzani, E. André & D. Riecken (Hrsg.), *Proceedings of the 15th international conference on Intelligent user interfaces - IUI '11* (S. 327–330). New York, NY: ACM Press.
- European Commission. (2008). *Commission Recommendation of 26 May 2008 on safe and efficient in-vehicle information and communication systems: update of the European Statement of Principles on human-machine interface (notified under document number C(2008) 1742)*. Zugriff am 27.05.2018. Verfügbar unter <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/ALL/?uri=CELEX:32008H0653>
- Evanczuk, S. (2012). *Microchip elevates HMI design with world's first e-field-based 3D gesture-recognition chip*. Zugriff am 30.06.2016. Verfügbar unter <https://www.edn.com/electronics-products/electronic-product-reviews/other/4401197/Microchip-elevates-HMI-design-with-world-s-first-e-field-based-3D-gesture-recognition-chip>
- Fastenmeier, W., Gwehenberger, J. & Finsterer, H. (2002). *Lkw-Fahrerbefragung. Ein Beitrag zur Analyse des Unfallgeschehens*. München: Gesamtverband der Deutschen Versicherungswirtschaft GDV.
- Feng, Q., Yang, C., Wu, X. & Li, Z. (2013). A Smart TV Interaction System Based on Hand Gesture Recognition by Using RGB-D Sensor. In *Proceedings 2013 International Conference on Mechatronic Sciences, Electric Engineering and Computer (MEC)* (S. 1319–1322). IEEE.

- Freeman, E., Brewster, S. & Lantz, V. (2016). Do That, There: An Interaction Technique for Addressing In-Air Gesture Systems. In J. Kaye, A. Druin, C. Lampe, D. Morris & J. P. Hourcade (Hrsg.), *Proceedings of the 2016 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems - CHI '16* (S. 2319–2331). New York, NY: ACM Press.
- Freeman, W. T. & Roth, M. (1995). Orientation Histograms for Hand Gesture Recognition. *IEEE International Workshop on Automatic Face and Gesture Recognition, June, 1995, Zurich, Switzerland*.
- Gable, T. M., May, K. R. & Walker, B. N. (2014). Applying Popular Usability Heuristics to Gesture Interaction in the Vehicle. In L. N. Boyle (Hrsg.), *Proceedings of the 6th International Conference on Automotive User Interfaces and Interactive Vehicular Applications - AutomotiveUI '14* (S. 1–7). New York, NY: ACM Press.
- Geiger, M., Zobl, M., Bengler, K. & Lang, M. (2001). Intermodal Differences in Distraction Effects while Controlling Automotive User Interfaces. In M.J. Smith, G. Salvendy, D. Harris & R.J. Koubek (Hrsg.), *Usability Evaluation and Interface Design* (Proceedings of HCI International 2001, Bd. 1, S. 263–267). Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- Geiger, M. (2003). *Berührungslose Bedienung von Infotainment-Systemen im Fahrzeug*. Dissertation, Technische Universität München. München.
- Geng, J. (2011). Structured-Light 3D Surface Imaging. A Tutorial. *Advances in Optics and Photonics*, 3 (2), 128–160. <https://doi.org/10.1364/AOP.3.000128>
- Gil, P., Mateo, C. & Torres, F. (2014). 3D Visual Sensing of the Human Hand for the Remote Operation of a Robotic Hand. *International Journal of Advanced Robotic Systems*, 11 (2), 1–13. <https://doi.org/10.5772/57525>
- Gillian, N. E. (2011). *Gesture Recognition for Musician Computer Interaction*. Dissertation. Queen's University Belfast, Belfast.
- Glasbey, C. (1993). An Analysis of Histogram-Based Thresholding Algorithms. *Graphical Models and Image Processing*, 55 (6), 532–537.
- Google Inc. (2019). *Project Soli*. Zugriff am 31.03.2019. Verfügbar unter <https://atap.google.com/soli/>
- Grudin, J. (1989). The Case Against User Interface Consistency. *Communications of the ACM*, 32 (10), 1164–1173.

- Grünen, R. E., Günzkofer, F. & Bubb, H. (2015). Anatomische und anthropometrische Eigenschaften des Fahrers. In H. Bubb, K. Bengler, R. E. Grünen & M. Vollrath (Hrsg.), *Automobilergonomie* (S. 163–219). Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden.
- Haker, M. (2010). *Gesture-Based Interaction with Time-of-Flight Cameras*. Dissertation, Universität zu Lübeck. Lübeck.
- Hanke, T. (2010). *HamNoSys 4 handshapes chart*. Zugriff am 22.04.2015. Verfügbar unter <http://www.sign-lang.uni-hamburg.de/dgs-korpus/index.php/hamnosys-97.html>
- Harry, L. & Stall, S. (2002). *As Seen on TV. 50 Amazing Products and the Commercials that Made them Famous*. Philadelphia, PA: Quirk Books.
- Heller, H. (2012). *Berührungslose Gestenerkennung mit 3D-Controller von Microchip*. Zugriff am 30.06.2016. Verfügbar unter <https://www.elektronikpraxis.vogel.de/sensorik/articles/386883/>
- Hincapié-Ramos, J. D., Guo, X., Moghadasian, P. & Irani, P. (2014). Consumed endurance. In M. Jones, P. Palanque, A. Schmidt & T. Grossman (Hrsg.), *Proceedings of the 32nd annual ACM conference on Human factors in computing systems - CHI '14* (S. 1063–1072). New York, NY: ACM Press.
- Hobbs, N. K. & Chi, L.-Y. (2012), US 2013/0261871 A1.
- Human Solutions GmbH. (2017a). *HS Group - Produkte Mobility - RAMSIS Automotive - Effiziente Innenraumentwicklung – ohne Nachbessern*. Zugriff am 22.10.2017. Verfügbar unter http://www.human-solutions.com/mobility/front_content.php?idcat=252&lang=3
- Human Solutions GmbH. (2017b). *HS Group - Produkte Mobility - RAMSIS Bus & Truck - Bessere Leistungseffizienz des Fahrers*. Zugriff am 22.10.2017. Verfügbar unter http://www.human-solutions.com/mobility/front_content.php?idcat=254&lang=3
- Hurtienne, J. & Blessing, L. (2007). Design for Intuitive Use - Testing image schema theory for user interface design. In J.-C. Bocquet (Hrsg.), *Proceedings of ICED 2007, the 16th International Conference on Engineering Design* (S. 1–12).
- Hurtienne, J., Stöbel, C., Sturm, C., Maus, A., Rötting, M., Langdon, P. et al. (2010). Physical Gestures for Abstract Concepts. Inclusive Design with Primary Metaphors. *Interacting with Computers*, 22 (6), 475–484. <https://doi.org/10.1016/j.intcom.2010.08.009>
- Jobst, V. (2017). *Empirische Evaluation von Gestensteuerungssystemen mittels Wizard-of-Oz Versuch im Fahrsimulator*. Master's Thesis, Technische Universität München. München.

- Johnson Enterprises Inc. (2016). *The Original Sound Activated On/Off Switch*. Zugriff am 21.03.2016. Verfügbar unter <http://chia.com/home-goods/the-clapper/>
- Kajastila, R. & Lokki, T. (2013). Eyes-Free Interaction with Free-Hand Gestures and Auditory Menus. *International Journal of Human-Computer Studies*, 71 (5), 627–640.
- Kendon, A. (1986). Current Issues in the Study of Gesture. In J.-L. Nespoulous, P. Perron & A. R. Lecours (Hrsg.), *The Biological Foundations of Gesture. Motor and Semiotic Aspects* (Neuropsychology and Neurolinguistics, S. 23–47). Hillsdale, NJ: L. Erlbaum Associates.
- Koninklijke Philips N.V. (2017). *Ultraschlanker Full HD-Fernseher powered by Android™ 55PFS8109/12 | Philips*. Zugriff am 30.05.2017. Verfügbar unter http://www.philips.de/c-p/55PFS8109_12/8100-series-ultraschlanker-full-hd-fernseher-powered-by-androidtm-mit-4-seitigem-ambilight-und-perfect-pixel-hd
- Koyama, S., Inami, M., Sugiura, Y., Ogata, M., Withana, A., Uema, Y. et al. (2014). Multi-touch steering wheel for in-car tertiary applications using infrared sensors. In T. Terada, M. Inami, K. Kunze & T. Nojima (Hrsg.), *Proceedings of the 5th Augmented Human International Conference on - AH '14* (S. 1–4). New York, NY: ACM Press.
- Krause, M. (2017). *Modeling Driver Distraction*. Dissertation, Technische Universität München. München.
- Krueger, R. A. & Casey, M. A. (2014). *Focus Groups. A Practical Guide for Applied Research* (5. Aufl.). Thousand Oaks: SAGE Publications.
- KU Leuven. (2017). *Structured Light*. Zugriff am 10.01.2018. Verfügbar unter <https://www.esat.kuleuven.be/psi/research/structured-light>
- La Barré, R. d., Chojecki, P., Leiner, U., Mühlbach, L. & Ruschin, D. (2009). Touchless Interaction-Novel Chances and Challenges. In J. A. Jacko (Hrsg.), *Human-Computer Interaction. Novel Interaction Methods and Techniques ; 13th International Conference, HCI International 2009, San Diego, CA, USA, July 19-24, 2009 ; Proceedings, Part II* (Lecture Notes in Computer Science, Bd. 5611, S. 161–169). Berlin: Springer.
- Lamnek, S. (2005). *Qualitative Sozialforschung* (4. vollständig überarbeitete Auflage). Weinheim: Psychologie Verlags Union.
- Laugwitz, B., Schrepp, M. & Held, T. (2006). Konstruktion eines Fragebogens zur Messung der User Experience von Softwareprodukten. In A. M. Heinecke & H. Paul (Hrsg.), *Mensch und Computer 2006. Mensch und Computer im StrukturWandel* (S. 125–134). München: Oldenbourg.

- Leap Motion Inc. (2017). *VR Setup*. Zugriff am 05.06.2017. Verfügbar unter <https://developer.leapmotion.com/vr-setup>
- Lee, G. A. & Wong, J. (2015). User Defined Gestures for Augmented Virtual Mirrors: A Guessability Study. In *Proceedings of the 33rd Annual ACM Conference Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems* (S. 959–964). New York, NY: ACM.
- Lee, W.-P., Kaoli, C. & Huang, J.-Y. (2014). A Smart TV System with Body-Gesture Control, Tag-Based Rating and Context-Aware Recommendation. *Knowledge-Based Systems*, 56, 167–178. <https://doi.org/10.1016/j.knosys.2013.11.007>
- Levine, B. (2014). *Coming next year: ultrasonic-based gestures-in-air for your phone*. Zugriff am 30.06.2016. Verfügbar unter <https://venturebeat.com/2014/10/06/coming-next-year-ultrasonic-based-gestures-in-air-for-your-phone/>
- Li, L. (2014). *Time-of-Flight Camera – An Introduction*. Technical White Paper. Verfügbar unter www.ti.com/lit/wp/sloa190b/sloa190b.pdf
- Liu, Y., Lu, Z. & Choe, P. (2013). A Human Factors Evaluation of the Spatial Gesture Interface for In-Vehicle Information Systems. In D. Hutchison, T. Kanade, J. Kittler, J. M. Kleinberg, F. Mattern, J. C. Mitchell et al. (Hrsg.), *Cross-Cultural Design. Methods, Practice, and Case Studies* (Lecture Notes in Computer Science, Bd. 8023, S. 313–322). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-642-39143-9_35
- Loehmann, S., Knobel, M., Lamara, M. & Butz, A. (2013). Culturally Independent Gestures for In-Car Interactions. In D. Hutchison, T. Kanade, J. Kittler, J. M. Kleinberg, F. Mattern, J. C. Mitchell et al. (Hrsg.), *Human-Computer Interaction – INTERACT 2013* (Lecture Notes in Computer Science, Bd. 8119, S. 538–545). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-642-40477-1_34
- Mahr, A., Endres, C., Müller, C. & Schneeberger, T. (2011). Determining human-centered parameters of ergonomic micro-gesture interaction for drivers using the theater approach. In M. Tscheligi (Hrsg.), *Proceedings of the 3rd International Conference on Automotive User Interfaces and Interactive Vehicular Applications* (S. 151–157).
- Malerczyk, C. (2009). *Intuitive Interaktion durch videobasierte Gestenerkennung*. Dissertation, Universität Rostock. Rostock.
- MAN Truck & Bus AG. (2016). *Grundlagen der Nutzfahrzeugtechnik. LKW und Bus - Lehrbuch der MAN Academy* (4. vollständig bearbeitete und erweiterte Auflage). München: MAN Truck & Bus AG.

- Manresa-Yee, C., Amengual, E. & Ponsa, P. (2013). Usability of Vision-Based Interfaces. *Congreso Internacional de Interacción Persona-Ordenador. "Actas del XIV Congreso Internacional Interacción Persona Ordenador"*, 113–118.
- Michel, B. (2014). *Ergonomische Analyse der Fahrerumgebung im Fernverkehrs-Lkw*. Dissertation, Technische Universität München. München.
- Microchip Technology Inc. (2016). *GestIC® Technology*. Zugriff am 30.06.2016. Verfügbar unter <http://www.microchip.com/design-centers/touch-input-sensing/gestic-technology/overview>
- Microsoft Corporation. (2013). *Human Interface Guidelines v1.8*. Zugriff am 24.11.2017. Verfügbar unter <http://go.microsoft.com/fwlink/?LinkID=247735>
- Microsoft News Center. (2010). *Kinect Ads: 'You are the controller'*. Zugriff am 26.11.2017. Verfügbar unter <https://news.microsoft.com/2010/10/21/kinect-ads-you-are-the-controller/>
- Miller, B. R. (1968). Response time in man-computer conversational transactions. *Proc. AFIPS Fall Joint Computer Conference*, 33, 267–277.
- Mitchell, K. (2014). *NASA & The Future of Human Technology Interfaces*. Zugriff am 05.09.2017. Verfügbar unter <http://blog.leapmotion.com/nasa-the-future-of-human-technology-interfaces/>
- Mitra, S. & Acharya, T. (2007). Gesture Recognition: A Survey. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part C (Applications and Reviews)*, 37 (3), 311–324.
- Morguet, P. (2000). *Stochastische Modellierung von Bildsequenzen zur Segmentierung und Erkennung dynamischer Gesten*. Dissertation, Technischen Universität München. München.
- Morris, D. (1984). *Der Mensch, mit dem wir leben. Ein Handbuch unseres Verhaltens*. München: Droemer-Knaur.
- Müller, C. & Gärtner, F. (2016). Berührungsfreies Point-of-Sale-Terminal. Herausforderungen und Lösungen zur berührungsfreien Steuerung durch ungeübte Benutzer im öffentlichen Raum am Beispiel eines industriellen Prototyps. In 8. *VDI/VDE-Fachtagung Useware 2016. Mensch-Technik-Interaktion im Industrie 4.0 Zeitalter, Dresden, 06. und 07. Oktober 2016* (VDI-Berichte, Bd. 2271, S. 41–51). Düsseldorf: VDI-Verlag.
- Murthy, G. R. S. & Jadon, R. S. (2009). A Review of Vision Based Hand Gestures Recognition. *International Journal of Information Technology and Knowledge Management*, 2 (2), 405–410.

- National Highway Traffic Safety Administration. (2013). *Visual-Manual NHTSA Driver Distraction Guidelines for In-Vehicle Electronic Devices*. Zugriff am 27.05.2018. Verfügbar unter <https://www.federalregister.gov/documents/2013/04/26/2013-09883/visual-manual-nhtsa-driver-distraction-guidelines-for-in-vehicle-electronic-devices>
- Nestorov, N., Hughes, P., Healy, N., Sheehy, N. & O'Hare, N. (2016). Application of Natural User Interface Devices for Touch-Free Control of Radiological Images During Surgery. In *2016 IEEE 29th International Symposium on Computer-Based Medical Systems (CBMS)* (S. 229–234). IEEE.
- Newsom, M. (2010). *PlayStation Move Teardown*. Zugriff am 25.11.2017. Verfügbar unter <https://de.ifixit.com/Teardown/PlayStation+Move+Teardown/3594>
- Nielsen, J. (1993). *Response Times: The 3 Important Limits*. Zugriff am 27.05.2018. Verfügbar unter <https://www.nngroup.com/articles/response-times-3-important-limits/>
- Nielsen, J. (1994). *Usability Engineering*. Boston: Academic Press.
- Nielsen, M., Störring, M., Moeslund, T. B. & Granum, E. (2004). A Procedure for Developing Intuitive and Ergonomic Gesture Interfaces for HCI. In G. Goos, J. Hartmanis, J. van Leeuwen, A. Camurri & G. Volpe (Hrsg.), *Gesture-Based Communication in Human-Computer Interaction* (Lecture Notes in Computer Science, Bd. 2915, S. 409–420). Berlin, Heidelberg: Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-540-24598-8_38
- Norman, D. A. (2010). Natural user interfaces are not natural. *ACM Interactions*, 17 (3), 6–10.
- Norman, D. A. (2013). *The design of everyday things* (Revised and expanded edition). New York, NY: Basic Books.
- Oculus VR. (2015). *Pebbles Interfaces joins Oculus*. Zugriff am 05.06.2017. Verfügbar unter <https://www3.oculus.com/en-us/blog/pebbles-interfaces-joins-oculus/>
- Pazdernik, B. (2012). *Microsofts SoundWave erkennt Gesten mittels Dopplereffekt*. Zugriff am 30.06.2016. Verfügbar unter http://de.ubergizmo.com/2012/05/08/microsoft-erkennt-gesten-mittels-doppler-effekt.html?inf_by=5a19d104681db8da768b4832
- Pereira, A., Wachs, J. P., Park, K. & Rempel, D. (2015). A User-Developed 3-D Hand Gesture Set for Human-Computer Interaction. *Human factors*, 57 (4), 607–621.
- Piccardi, M. (2004). Background Subtraction Techniques. A Review. *IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics, 10-13 October, 2004, The Hague, Netherlands*. <https://doi.org/10.1109/ICSMC.2004.1400815>

- Pickering, C. A., Burnham, K. J. & Richardson, M. J. (2007). A Research Study of Hand Gesture Recognition Technologies and Applications for Human Vehicle Interaction. In *Automotive Electronics, 2007 - 3rd Institution of Engineering and Technology Conference on Automotive Electronics, 28-29 June, 2007*. Piscataway, NJ: IEEE Xplore.
- Preim, B. & Dachselt, R. (2015). *Interaktive Systeme* (2. Aufl.). Berlin: Springer Vieweg.
- Razavi, M., Adavi, S., Alam, M. Z., Mohr, D. & Zachmann, G. (2014). Innovative and Contact-free Natural User Interaction with Cars. In *Proceedings of the International Conference on Virtual and Augmented Reality (GI VR/AR Workshop)*. Bremen, Germany.
- Riener, A., Ferscha, A., Bachmair, F., Hagmüller, P., Lemme, A., Muttenthaler, D. et al. (2013). Standardization of the In-Car Gesture Interaction Space. In J. Terken (Hrsg.), *Proceedings of the 5th International Conference on Automotive User Interfaces and Interactive Vehicular Applications, Eindhoven, October 28 - 30, 2013* (S. 14–21). New York, NY: ACM.
- Rodrigues, C. A. C. (2013). *Touchless Autopsy Report*. Master's Thesis, Universidade Nova de Lisboa. Lissabon. Zugriff am 26.11.2017. Verfügbar unter <http://hdl.handle.net/10362/11041>
- Rosa, G. M. & Elizondo, M. L. (2014). Use of a Gesture User Interface as a Touchless Image Navigation System in Dental Surgery. Case Series Report. *Imaging Science in Dentistry*, 44 (2), 155–160. <https://doi.org/10.5624/isd.2014.44.2.155>
- Rosenstock, T. & Stege, A. (2014), DE102012216193A1.
- Ruiz, J., Li, Y. & Lank, E. (2011). User-defined motion gestures for mobile interaction. In *Proceedings of the 2011 Annual Conference on Human Factors in Computing Systems - CHI' 11*.
- Saffer, D. (2008). *Designing Gestural Interfaces*. Beijing: O'Reilly.
- Samsung Electronics Co. (2012). *Samsung SMART CAMERA MV900F*. Zugriff am 06.04.2017. Verfügbar unter <http://www.samsung.com/global/mv900f/>
- Samsung Electronics Co. (2017). *Series 7 55 inch (UA55ES7500M)*. Zugriff am 30.05.2017. Verfügbar unter <http://www.samsung.com/au/consumer/tv-audio-video/television/archive/UA55ES7500MXXY/>
- Schmidtke, H. & Rühmann, H. (1993). Betriebsmittelgestaltung. In H. Schmidtke & R. Bernotat (Hrsg.), *Ergonomie* (3., neubearb. und erw. Aufl., S. 521–554). München: Hanser.
- Sendler, J. (2007). *Entwicklung und Gestaltung variabler Bedienelemente für ein Bedien- und Anzeigesystem im Fahrzeug*. Dissertation, Technische Universität Dresden. Dresden.

- Smith, D. (2014). *The Gadget That Will Make You Feel Like Being A Jedi Is Just Months Away*. Zugriff am 25.11.2017. Verfügbar unter <http://www.businessinsider.com/myo-armband-2014-6?IR=T>
- Statista. (2017a). *Top selling Nintendo Wii titles worldwide as of March 2017 (in million units)*. Zugriff am 26.11.2017. Verfügbar unter <https://www.statista.com/statistics/248204/top-selling-nintendo-wii-titles-worldwide/>
- Statista. (2017b). *Anzahl der Berufskraftfahrer im deutschen Straßengüterverkehr (Stand: 30. Juni 2013)*. Zugriff am 12.08.2017. Verfügbar unter <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/294128/umfrage/anzahl-der-berufskraftfahrer-im-gueterverkehr/>
- Stecher, M., Baseler, E., Draxler, L., Fricke, L., Michel, B., Zimmermann, A. et al. (2015). Tracking Down the Intuitiveness of Gesture Interaction in the Truck Domain. *Procedia Manufacturing*, 3, 3176–3183. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2015.07.867>
- Stecher, M., Kremser, F., Michel, B. & Zimmermann, A. (2016). Gesture Control for Commercial Vehicles. Methods for Identifying Useful Use Cases. In W. Hirschberg, P. Fischer & M. Hirz (Hrsg.), *Proceedings 7. Grazer Nutzfahrzeug Workshop, 13. Mai 2016*. Graz: Institut für Fahrzeugtechnik, Technische Universität Graz.
- Stecher, M., Michel, B. & 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 (Advances in Intelligent Systems and Computing, Bd. 597, S. 383–394)*. Cham: Springer International Publishing.
- Stern, H. I., Wachs, J. P. & Edan, Y. (2008). Designing Hand Gesture Vocabularies for Natural Interaction by Combining Psycho-Physiological and Recognition Factors. *International Journal of Semantic Computing*, 2 (1), 137–160.
- Stevens, C. R. & Reamer, D. E. (1993), US5493618 A.
- TedCas Medical Systems. (2017). *Natural User Interfaces for Healthcare*. Zugriff am 26.11.2017. Verfügbar unter <http://www.tedcas.com>
- Thalmic Labs Inc. (2015). *Myo - Gesture control armband by Thalmic Labs*. Zugriff am 08.03.2015. Verfügbar unter <https://www.thalmic.com/en/myo/>
- Trübswetter, N. M. (2015). *Akzeptanzkriterien und Nutzungsbarrieren älterer Autofahrer im Umgang mit Fahrerassistenzsystemen*. Dissertation, Technische Universität München. München.

- Turk, M. (2002). Gesture Recognition. In K. S. Hale & K. M. Stanney (Eds.), *Handbook of Virtual Environments. Design, Implementation, and Applications* (Human Factors and Ergonomics, pp. 223–237). Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- Ulrich, T. A., Spielman, Z., Holmberg, J., Hoover, C., Sanders, N., Gohil, K. et al. (2013). Playing Charades With Your Car – The Potential of Free-form and Contact-based Gestural Interfaces for Human Vehicle Interaction. *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*, 57 (1), 1643–1647. <https://doi.org/10.1177/1541931213571365>
- Ultrahaptics. (2018). *Discover a new type of haptics. We create the sensation of touch in mid-air.* Zugriff am 27.05.2018. Verfügbar unter <https://www.ultrahaptics.com>
- Van der Laan, J. D., Heino, A. & Waard, D. de. (1997). A Simple Procedure for the Assessment of Acceptance of Advanced Transport Telematics. *Transportation Research. Part C: Emerging Technologies*, 5 (1), 1–10.
- Vatavu, R.-D. (2012). User-defined gestures for free-hand TV control. In *Proceedings of the 10th European Conference on Interactive TV and Video - EuroITV '12* (S. 45–48). New York, NY: ACM Press.
- Verband der Automobilindustrie e. V. (2016). *Ideen sind unser Antrieb - Nutzfahrzeuge 2016.* Zugriff am 01.08.2018. Verfügbar unter https://www.vda.de/dam/vda/publications/2016/VDA_03477_Broschuere_NfZ_Ideen_sind_unser_Antrieb_A4_Web.pdf
- Vermeulen, J., Luyten, K., van den Hoven, E., Coninx, K. (2013). Crossing the Bridge over Norman’s Gulf of Execution: Revealing Feedforward’s True Identity. In *CHI 2013. Changing perspectives; the 31st Annual CHI Conference on Human Factors in Computing Systems, conference proceedings, 27 April - 2 May 2013, Paris, France* (S. 1931–1940). New York, NY: ACM.
- Vieira, J., Sampaio, R., Nascimento, R., Ferreira, J. P., Machado, S., Ribeiro, N. et al. (2016). Gestures while driving: A guessability approach for a surface gestures taxonomy for in-vehicle indirect interaction. In D. de Waard, K. A. Brookhuis, A. Toffetti, A. Stuijver, C. Weikert, D. Coelho et al. (Hrsg.), *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Europe Chapter 2015 Annual Conference* (S. 249–263).
- Volkswagen AG. (2017a). *VW Golf R: Gestensteuerung.* Zugriff am 30.05.2017. Verfügbar unter <https://www.volkswagen.at/golf/golf-r/gestensteuerung>
- Volkswagen AG. (2017b). *Easy Open.* Zugriff am 22.05.2017. Verfügbar unter http://de.volkswagen.com/de/innovation-technik/technik-lexikon/easy_open.html

- Volkswagen AG. (2017c). *Der BUDD-e, dein Buddy*. Zugriff am 22.05.2017. Verfügbar unter <http://magazin.volkswagen.de/budd-e-elektromobilitaet-studie.html>
- Wachs, J. P., Kölsch, M., Stern, H. & Edan, Y. (2011). Vision-Based Hand-Gesture Applications. *Communications of the ACM*, 54 (2), 60–71.
- Walter, R. (2017). *Whole Body Interaction with Public Displays*. Singapore: Springer. <https://doi.org/10.1007/978-981-10-4457-1>
- Weinberger, M. (2017). *The rise and fall of Kinect: Why Microsoft gave up on its most promising product*. Zugriff am 26.11.2017. Verfügbar unter <http://www.businessinsider.com/why-microsoft-xbox-kinect-didnt-take-off-2015-9?IR=T>
- Welch, C. (2017). *Apple has to teach people how to use an iPhone again*. Zugriff am 27.05.2018. Verfügbar unter <https://www.theverge.com/circuitbreaker/2017/11/3/16604022/apple-official-iphone-x-tutorial-video>
- Wigdor, D. & Wixon, D. (2011). *Brave NUI world. Designing natural user interfaces for touch and gesture* (Safari Tech Books Online). Amsterdam: Morgan Kaufmann/Elsevier.
- Wobbrock, J. O., Morris, M. R. & Wilson, A. D. (2009). User-defined gestures for surface computing. In *Proceedings of the 27th International Conference on Human Factors in Computing Systems - CHI '09*.
- Wolf, K., Naumann, A., Rohs, M. & Müller, J. (2011). A Taxonomy of Microinteractions. Defining Microgestures Based on Ergonomic and Scenario-Dependent Requirements. In D. Hutchison, T. Kanade, J. Kittler, J. M. Kleinberg, F. Mattern, J. C. Mitchell et al. (Hrsg.), *Human-Computer Interaction – INTERACT 2011* (Lecture Notes in Computer Science, Bd. 6946, S. 559–575). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-642-23774-4_45
- ZF Friedrichshafen AG. (2014). *ZF-Zukunftsstudie Fernfahrer 2.0. Der Mensch im Transport- und Logistikmarkt* (EuroTransportMedia, Hrsg.). Zugriff am 26.11.2017. Verfügbar unter <http://www.zf-zukunftsstudie.de/zukunftsstudie-2014/studie-2-0-wer-faehrt-unsere-waren/>
- Zimmerman, T. G., Lanier, J., Blanchard, C., Bryson, S. & Harvill, Y. (1987). A Hand Gesture Interface Device. In J. M. Carroll & P. P. Tanner (Hrsg.), *Proceedings of the SIGCHI/GI Conference on Human Factors in Computing Systems and Graphics Interface - CHI '87* (S. 189–192). New York, NY: ACM Press.
- Zobl, M., Geiger, M., Bengler, K., Lang, M. (2001). A Usability Study on Hand Gesture Controlled Operation of In-Car Devices. In *Abridged Proceedings, HCI 2001, 9th Int. Conference on Human Machine Interaction* (S. 166–168).

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1-1: Prognose für die Entwicklung der Transportleistung [...]	3
Abbildung 1-2: Der Prozess zur Entwicklung berührungsfreier Gestensteuerungen [...]	7
Abbildung 1-3: Überblick über die [...] Gestaltungskriterien.....	10
Abbildung 2-1: Beispiele für die intrusive Gestenerkennung [...]	18
Abbildung 2-2: Ungestörtes elektrisches Feld [...]	19
Abbildung 2-3: Vereinfacht dargestelltes Funktionsprinzip einer Stereokamera [...]	22
Abbildung 2-4: Schematisch dargestelltes Funktionsprinzip des strukturierten Lichts [...]	23
Abbildung 2-5: Mit einer Microsoft Kinect v2 aufgenommene Bilder [...]	24
Abbildung 3-1: [...] „The Clapper“ [...]	29
Abbildung 3-2: Moderne Fernsehgeräte [...]	31
Abbildung 3-3: [...] kann ein Arzt Bildschirminhalte per Gestik manipulieren [...]	33
Abbildung 3-4: [...] automatische Öffnen der Kofferraumklappe [...]	34
Abbildung 3-5: Durch [...] Gesten [...] bedient der Fahrer [...] Fahrzeugfunktionen [...]	35
Abbildung 3-6: [...] autonom fahrende Fahrzeuge anzuweisen, einen Parkplatz zu suchen [...]	36
Abbildung 4-1: [...] Ausprägungen der Fahrzeugtypen und Transportlösungen [...]	41
Abbildung 4-2: Altersklassenverteilung und Berufserfahrung der Lkw-Fahrer [...]	43
Abbildung 4-3: Gebräuchliche Handzeichen für das Einweisen von Fahrzeugen [...]	49
Abbildung 4-4: Erreichbarkeitsanalyse mit RAMSIS für eine Lkw-Fahrerkabine [...]	54
Abbildung 4-5: Mehrfach während den Mitfahrten [...] zu beobachtende Tätigkeiten [...]	60
Abbildung 4-6: [...] Fokusgruppe [...]	67
Abbildung 5-1: Das Technology Acceptance Model (TAM) [...]	78
Abbildung 5-2: Überblick über die [...] Gestaltungskriterien.....	79
Abbildung 5-3: Einsatz eines <i>Signifier</i> bei einem Papierhandtuchspender [...]	95
Abbildung 5-4: Wechselwirkungen zwischen den [...] Gestaltungskriterien.....	98
Abbildung 6-1: Schematische Darstellung von Fahrsimulator [...] und Kontrollraum [...]	106
Abbildung 6-2: Der Wizard steuert eine Funktion mittels Bedienkonsole [...]	106
Abbildung 6-3: Vergleichsprüfstand [...]	107

Abbildung 6-4: Abfolge der einzelnen Aufgaben [...]	109
Abbildung 6-5: Vergleich der Bedienzeiten [...]	112
Abbildung 6-6: Vergleich der AOI Attention Ratio [...]	113
Abbildung 6-7: Vergleich der Spurhaltegüte [...]	114
Abbildung 6-8: Vergleich der physischen Beanspruchung [...]	115
Abbildung 6-9: Vergleich der Attraktivität, Stimulation und Originalität [...]	116
Abbildung 6-10: Vergleich der wahrgenommenen Zufriedenheit und Nützlichkeit [...]	118
Abbildung 6-11: Einschätzung der Versuchspersonen [...]	120
Abbildung 6-12: [...] Leap Motion Controller am Armaturenbrett [...]	128
Abbildung 6-13: Befragung eines Lkw-Fahrers auf der Raststätte [...]	131
Abbildung 6-14: Darstellung der mittleren SUS Scores [...]	133
Abbildung 6-15: Auswertung des Ratings zum wahrgenommenen Mehrwert [...]	135
Abbildung 6-16: Auswertung des Ratings [...]	136
Abbildung 6-17: Auswertung des Ratings zum Gesamturteil [...]	137
Abbildung 7-1: Überblick über die [...] Gestaltungskriterien und deren Wechselwirkungen.....	145
Abbildung 7-2: Der Prozess zur Entwicklung berührungsfreier Gestensteuerungen [...]	147

Tabellenverzeichnis

Tabelle 2-1: Beschreibung ausgewählter Gestentypen [...]	15
Tabelle 2-2: Vergleich verschiedener Technologien zur Gestenerkennung [...]	26
Tabelle 4-1: Einteilung der für die Güterbeförderung relevanten Fahrzeugklassen [...]	40
Tabelle 4-2: Grundsätzliches Vorgehen beim Aufsatteln eines Aufliegers [...]	47
Tabelle 4-3: Übersicht zu den Einsatzgebieten, Fahrern und Fahrzeugen [...]	59
Tabelle 4-4: Durchschnittliche Bewertung der relevantesten Anwendungsfälle [...]	70
Tabelle 6-1: Gegenüberstellung der im Versuch getesteten Gestensteuerungskonzepte [...]	100
Tabelle 6-2: Charakteristische Werte für die Genauigkeit [...]	112
Tabelle 6-3: Prozentuale Anteile der Versuchsteilnehmer [...]	119
Tabelle 6-4: Übersicht über die Gestensteuerungskonzepte [...]	126

Anhang

Anhang A – ECAS-Bedienmodul

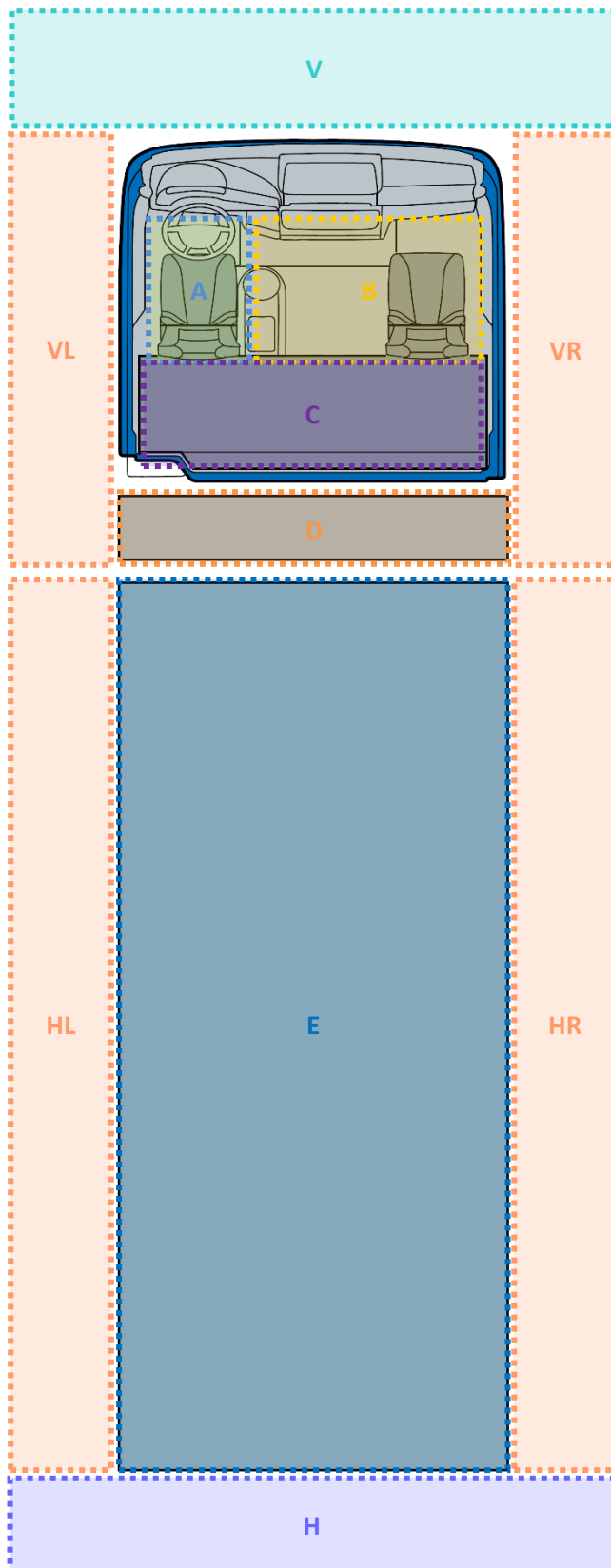


Abbildung A-1: Anbringung des ECAS-Bedienmoduls im Fahrerhaus. Das ECAS-Bedienmodul ist herausnehmbar.



Abbildung A-2: Eingabemöglichkeiten am ECAS-Bedienmodul zur Steuerung der Luftfederung

Anhang C – Einteilung des Lkw in Bereiche



Legende:

- A: Fahrersitz
- B: Durchstieg und Beifahrersitz
- C: Liege
- D: Aufstieg
- E: Ladefläche
- V: vorne
- VL: vorne links
- VR: vorne rechts
- H: hinten
- HL: hinten links
- HR: hinten rechts
- Z: vom Fahrzeug abwesend



Anhang D – Skalentransformation

Nachfolgendes Beispiel veranschaulicht, wie die fünfstufige Skala der Van der Laan Acceptance Scale auf eine siebenstufige Skala transformiert wird, um sie für eine Auswertung im Rahmen des UEQ zu nutzen.

Adjektiv	Van der Laan Acceptance Scale	UEQ
Gut Schlecht	+2	1
	+1	2,5
	0	4
	-1	5,5
	-2	7

Abbildung A-3: Transformation der fünfstufigen Van der Laan Acceptance Scale auf die siebenstufige Skala des UEQ

Anhang E – Deskriptive Daten zum Overall Workload

Nachfolgend dargestellt sind die deskriptiven Daten des RTLX zur Overall Workload.

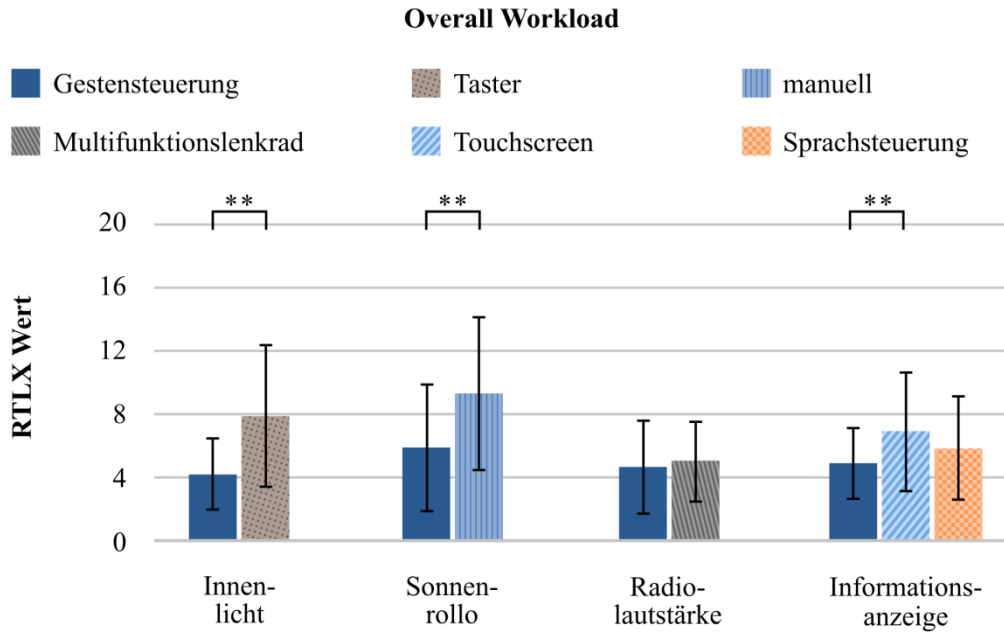


Abbildung A-4: Vergleich der Overall Workload für Gestensteuerung und konventionelle Bedienung. Fehlerbalken entsprechen $\pm 1 SD$; * $p < .05$; ** $p < .001$

Anhang F – Vorschläge für alternative Gesten

Im Rahmen des Versuchs wurden von einzelnen Versuchspersonen alternative Gesten für die im Versuch erlebten Funktionen vorgeschlagen:

Innenlicht

Von drei Versuchspersonen wurde angeregt, für das Ausschalten des Innenlichts nicht dieselbe Geste zu verwenden, wie für das Einschalten des Innenlichts. Stattdessen sollten die Bewegungsabfolgen beider Gesten entgegengesetzt sein, sodass für das Ausschalten des Innenlichts die Finger zunächst abgespreizt und dann zur Faust geballt werden.

Sonnenrollo

In Hinblick auf das Sonnenrollo werden vor allem für das Stoppen des Sonnenrollos alternative Gesten vorgeschlagen. So würden es insgesamt vier Versuchspersonen bevorzugen, das Sonnenrollo zu stoppen, indem sie mit der Handfläche der flachen, offenen Hand nach vorne in Richtung des Sonnenrollos zeigen. Zwei weitere Versuchspersonen würden es hingegen befürworten, das Sonnenrollo dann zu stoppen, wenn die Hand weggenommen wird. In diesem Fall würde sich das Sonnenrollo nur so lange bewegen, wie der Arm nach vorne ausgestreckt bleibt. Nicht zuletzt wurde von drei Versuchspersonen vorgeschlagen, das Sonnenrollo durch eine kontinuierliche Geste einzustellen. Die Position der Hand in vertikaler Richtung soll dabei die Soll-Position des Sonnenrollos vorgeben.

Informationsanzeige

Für das Aufrufen der Informationsanzeige wurden hingegen kaum alternative Gesten vorgeschlagen. Lediglich zwei Versuchspersonen äußerten jeweils die Idee, statt der vertikalen Bewegung des Zeigefingers eine horizontale Bewegung der Hand vorzusehen. Die Informationsanzeige solle sich dabei nicht von oben nach unten, sondern seitlich ins Bild schieben. Zudem könnten mit der vorgeschlagenen Geste nach dem Aufrufen der Informationsanzeige auch noch zusätzliche Anzeigen mit weiteren Informationen abgerufen werden. Nach Aussage der Versuchspersonen solle sich die vorgeschlagene Geste an einer Handbewegung orientieren, welche vergleichbar ist mit dem Umblättern einer Seite in einem Buch.

Radiolautstärke

Deutlich mehr alternative Gesten wurden für das Regulieren der Radiolautstärke vorgeschlagen. Vier Versuchspersonen regten etwa an, eine Geste zu verwenden, bei der die Handform dem Greifen eines Drehstellers nachempfunden ist. Dies bedeutet, dass sich beim Ausführen der Geste die Fingerspitzen aller Finger berühren und dabei nach vorne zeigen, während über eine Drehung der

Hand bzw. des Handgelenks die Lautstärke variiert wird. Zwei weitere Versuchspersonen schlagen eine ähnliche Geste vor, bei der die Lautstärke ebenfalls über eine Drehung der Hand bzw. des Handgelenks eingestellt wird. Die zugehörige Handform entspricht dabei jedoch einer Faust mit ausgestrecktem Daumen. Die Position des Daumens soll die Intensität der Lautstärke wieder spiegeln, vergleichbar dem Zeiger auf dem Ziffernblatt einer Uhr. Denkbare Einstellbereiche wären nach Aussage der Versuchsteilnehmer zwischen 6 und 12 Uhr sowie zwischen 9 und 3 Uhr, wobei eine Drehung der Hand im Uhrzeigersinn die Lautstärke jeweils erhöhen würde. Schließlich wurden aber auch Gesten vorgeschlagen, bei denen die Lautstärke nicht über eine rotatorische Bewegung der Hand, sondern über eine translatorische Bewegung des Zeigefingers variiert werden würde. So war es der Vorschlag zweier Versuchspersonen, die Lautstärke zu erhöhen, indem der nach vorne ausgestreckte Zeigefinger von links nach rechts bewegt wird. Zwei weitere Versuchspersonen regten hingegen an, zur Erhöhung der Lautstärke den Zeigefinger von unten nach oben zu bewegen. Verringert werden würde die Lautstärke in beiden Fällen über eine Bewegung des Zeigefingers in die entsprechend entgegengesetzte Richtung.