



ulm university universität
uulm

Universität Ulm | 89069 Ulm | Germany

**Fakultät für Ingenieurwissenschaften,
Informatik und Psychologie**
Institut für Medieninformatik
Forschungsgruppe Mensch-Computer-Interaktion

Informationsbedürfnisse Von Menschen Mit Sehbehinderungen in Autonomen Fahrzeugen

Bachelorarbeit in Medieninformatik an der Universität Ulm

Vorgelegt von:

Tobias Volkmar Aescht
tobias.aescht@uni-ulm.de

Gutachter:

Prof. Dr. Enrico Rukzio

Betreuer:

Mark Colley

2021

Fassung vom 29. November 2021

© 2021 Tobias Volkmar Aescht

Diese Arbeit ist lizenziert unter der Creative Commons **Namensnennung-Keine kommerzielle Nutzung-Weitergabe unter gleichen Bedingungen 3.0 Deutschland** Lizenz. Nähere Informationen finden Sie unter <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/3.0/de/>.

Satz: PDF- \LaTeX 2 ϵ

Zusammenfassung

Vollständig autonomes Fahren rückt mit fortschreitender Forschung und besseren Technologien immer weiter in den Bereich des Möglichen. Diese Technologien bieten enormes Potenzial für Menschen, die bislang davon ausgeschlossen waren, ein Fahrzeug zu führen, wie beispielsweise Kinder oder behinderte Menschen. Um allerdings diese neuartigen Technologien von Anfang an inklusiv und barrierefrei zu gestalten, muss für manche Personengruppen, in diesem Fall sehbehinderte und blinde Menschen, an spezielle Systeme gedacht werden, die ihnen die Nutzung dieser Fahrzeuge ermöglichen und Problemen wie z.B. einer niedrigen empfundenen Sicherheit durch fehlende Informationen entgegenwirken. In dieser Arbeit beschäftigen wir uns mit dem Thema, was die Informationsbedürfnisse dieser Personengruppe sind und wie ihnen die benötigten Informationen übermittelt werden können. Des Weiteren schauen wir uns an, wie wir mithilfe eines Sehbehinderungs-Simulations-Tools Entwicklern und Designern von vollständig autonomen Systemen die Möglichkeit geben können, sich in diese Personengruppe hineinzusetzen und direkt von Anfang an deren Bedürfnisse bei der Entwicklung ihrer Systeme zu berücksichtigen.

Inhaltsverzeichnis

1. Einführung	1
1.1. Motivation	1
1.2. Zielsetzung	2
2. Verwandte Forschung	3
2.1. Autonome Fahrzeuge und sehbehinderte Menschen	3
2.2. Sehbehinderungen	6
2.2.1. Allgemeines und Beispiele	6
2.2.2. Simulation von Sehbehinderungen	8
2.3. Durchgeführte Literatursuche	9
3. Konzept & Implementierung	11
3.1. Simulationsablauf	11
3.2. Informationssysteme im Fahrzeug	12
3.3. Wahl der Conditions	14
3.4. Wahl der Sehbehinderungen für die Simulation	16
3.5. Unity	17
3.5.1. Fahrt & Umgebungssimulation	18
3.5.2. Sehbehinderungssimulation	20
4. Studien	23
4.0.1. Statistische Auswertung	23
4.1. Online Studie zum Informationsgehalt	23
4.1.1. Ablauf	23
4.1.2. Messungen	24
4.1.3. Teilnehmer	25
4.1.4. Ergebnisse	25
4.2. Expertenstudie zur Sehbehinderungs-Simulation	30
4.2.1. Ablauf	30
4.2.2. Teilnehmer	31
4.2.3. Ergebnisse	32

INHALTSVERZEICHNIS

5. Diskussion	39
5.1. Informationen in Autonomen Fahrzeugen	39
5.1.1. Effekt Des Informationsniveaus Auf Das Befinden Der Fahrzeug- insassen	40
5.1.2. Unterschiede Bezüglich Informationsbedürfnissen Anhand Der Sehfähigkeit	40
5.1.3. Informationsbedürfnisse Sehbehinderter Nutzer Autonomer Fahr- zeuge	41
5.1.4. Übermittlung Von Informationen an Sehbehinderte Oder Blinde Fahrzeuginsassen	41
5.2. Sehbehinderungssimulations-Tool	43
5.2.1. Ist Ein Sehbehinderungs-Simulations-Tool Für Die Entwicklung Autonomer Fahrzeuge Sinnvoll?	43
5.2.2. Anforderungen an Ein Sehbehinderungssimulations-Tool	44
5.3. Vor- Und Nachteile Der Studienwahl	44
5.4. Können Sehbehinderte Oder Blinde Zurzeit Überhaupt Ein Fahrzeug Führen?	45
6. Fazit	47
A. Anhang	49
A.1. Kontaktierte Vereine	50
A.2. R-Report	51
A.2.1. R	51
A.2.2. R-References	51

1. Einführung

1.1. Motivation

Autonome Fahrzeuge werden mit fortschreitender Forschung und Entwicklung immer mehr zur Realität. Diese neue Technologie birgt enormes Potenzial und bringt viele Chancen und Möglichkeiten, auch für neue Nutzergruppen wie Menschen mit Behinderungen, die es ihnen bisher unmöglich machten ein Fahrzeug zu führen, im speziellen hier Menschen mit Sehbehinderungen. Die genaue Anzahl von Personen mit solchen Sehbehinderungen und Blindheit ist leider nicht genau erfasst, allerdings geht aus Schätzungen der World Health Organization (WHO) aus 2010 [71], die auf einer Arbeit von Pascolini und Mariotti [47] basieren, hervor, dass ca. 285 Millionen Menschen weltweit eine Sehbehinderung haben, wovon 39 Millionen blind sind und 246 Millionen lediglich ein geringes Sehvermögen besitzen.

Da der Forschungstrend zu vollständig autonom fahrenden Fahrzeugen, also mit Level 5 Automatisierung geht, könnten diese Einschränkungen in Zukunft nicht mehr der Fall sein [13, 12, 26]. Dafür muss allerdings frühzeitig daran gedacht werden, wie man diese neuen Technologien auch für schlecht bzw. nicht sehende Menschen zugänglich machen kann. Da dieses Thema bis jetzt für Fahrzeughersteller wenig relevant war, weil diese Personen ohnehin nicht am Steuer eines Fahrzeugs sitzen konnten, gilt es nun diese neuen Bereiche zu erkunden. Momentan ist der Großteil der entwickelten Technologien für autonome Fahrzeuge laut Brinkley et al. [12] nicht zugänglich für Personen mit Sehbehinderungen. Aber nicht nur für Fahrzeughersteller ist es wichtig hier Forschung zu betreiben, sondern auch für sehbehinderte Menschen, da deren Vertrauen in diese neuartigen Technologien noch recht niedrig ist [13]. Daher muss auch die Frage gestellt werden, wie wir dieses Vertrauen nachhaltig steigern und verstärken können.

Wo sehende Menschen sich sicher fühlen und sich stets durch einen Blick aus den Fenstern des autonomen Fahrzeugs ihrer Umgebung versichern können, ist dieser visuelle Feedback-Kanal bei sehbehinderten Menschen nur eingeschränkt bzw. überhaupt nicht vorhanden. Da diese Menschen sich bei der Navigation im Alltag häufig auf auditives und haptisches Feedback verlassen und dies, was die äußere Umgebung des Fahrzeugs angeht, nur geringfügig bis gar nicht vorhanden ist, muss über Alternativen

1. EINFÜHRUNG

nachgedacht werden, um ein Gefühl der Sicherheit und ein Umgebungsbewusstsein zu schaffen. Dieses Umgebungsbewusstsein ist wichtig, damit die sehbehinderten Fahrzeuginsassen z.B. verifizieren können, dass das autonome Fahrzeug auf der richtigen Route ist oder damit sie über unübliche Vorgänge außerhalb des Fahrzeuges Bescheid wissen, und es nicht zu Verwirrung kommt.

1.2. Zielsetzung

In dieser Arbeit haben wir uns genau mit der Erarbeitung einer solchen Alternative beschäftigt. Wir untersuchten, was die grundlegenden Informationsbedürfnisse von Menschen mit Sehbehinderung während der Fahrt in einem autonomen Fahrzeug sind und wie diese erfüllt werden können. Auch wollten wir herausfinden, wie sich unterschiedliche Informationsniveaus auf das Befinden der Fahrzeuginsassen auswirken. Ebenfalls beschäftigten wir uns damit, wie dadurch das Vertrauen und das Sicherheitsgefühl besagter Personen in die neuartige Technologie gestärkt werden kann. Um diese zentralen Fragen zu beantworten, mussten wir einige andere Fragen beantworten, wie zum Beispiel, was für Feedback von betroffenen Personen gewünscht wird und wie dieses sinnvoll übermittelt werden kann. Zusätzlich zu dieser zentralen Fragestellung haben wir uns damit beschäftigt, wie wir unterschiedliche Arten und Grade einer Sehbehinderung in einer Virtual Reality (VR) Anwendung simulieren können. Diese Simulation haben wir im Hinblick auf die Entwicklung von autonomen Fahrzeugen mit Personen aus diesem Beschäftigungsfeld evaluiert, um herauszufinden, ob ein solches Tool für die Entwicklung vollständig autonomer Fahrzeuge sinnvoll ist und was die Anforderungen an ein solches Tool sind.

2. Verwandte Forschung

Aufgrund der Komplexität des Themas der Sehbehinderungen geben wir hier einen kleinen Einblick zur aktuellen Forschung im Zusammenhang von sehbehinderten und blinden Menschen mit autonomen Fahrzeugen. Auch geben wir eine kurze Einführung zum Thema Sehbehinderungen und Augenkrankheiten an sich, um ein Bewusstsein für die unterschiedlichen Aspekte dieses Themas zu schaffen und die Relevanz der Forschung in diesem Bereich zu untermalen.

2.1. Autonome Fahrzeuge und sehbehinderte Menschen

Autonome Fahrzeuge werden nach der SAE J3016 Norm [54] von der Society of Automotive Engineers in 6 verschiedene Level der Automation aufgeteilt, wobei Level 0 keine Automation und Level 5 die vollständige Fahrzeug-Automation bedeutet. Wir betrachten hier ausschließlich Fahrzeuge mit Level 4 oder 5 Automation, da niedrige Level für sehbehinderte Personen uninteressant sind, weil diese von ihnen nicht legal gefahren werden dürfen [12]. Zu dem Thema der Interaktion im Fahrzeuginneren von Menschen mit Sehbehinderung mit den autonomen Fahrzeugen existieren schon einige wenige Forschungsarbeiten, wobei 3 Arbeiten von Brinkley zu nennen sind [14, 13, 12]. Spezifisch zu dem Thema, wie die Informationsbedürfnisse der sehbehinderten Fahrzeuginsassen erfüllt werden können, oder was diese überhaupt sind, existieren allerdings sehr wenige Arbeiten und auch keine ausschließlich zu diesem Thema.

Aus einer Arbeit von Brinkley et al. [14] mit Fokusgruppen von Personen mit Sehbehinderung geht hervor, dass es noch einiges zu diesem Thema zu ergründen gibt. Einige der befragten Personen äußerten das Bedürfnis nach einem Fahrzeuginternen Feedback zur Steigerung des Situationsbewusstseins, z.B. wo man sich befindet. Auch zeigte sich eine gewisse Besorgnis gegenüber des Human-Machine Interface (Mensch-Maschine Schnittstelle, kurz HMI) bezüglich der Interaktion des sehbehinderten Passagiers mit dem autonomen Fahrzeug im Hinblick auf Informationsübermittlung und Bedienung des Fahrzeugs. Aus der von Brinkley et al. [13] später durchgeführten Forschungsarbeit geht hervor, dass ATLAS, ein Prototyp-System zur Interaktion von sehbehinderten Personen mit autonomen Fahrzeugen, entwickelt wurde. Dies dient zur vollständigen Steuerung des autonomen Fahrzeugs durch eine sehbehinderte Person.

2. VERWANDTE FORSCHUNG

Es ist ein HMI und regelt die Benutzereingaben und auch Rückmeldung an den Nutzer. Das System enthält Funktionen in Form von auditivem Sprachfeedback während der Fahrt, um die Bedürfnisse der Umgebungswahrnehmung (situational awareness) der sehbehinderten Nutzer zu erfüllen. Ebenfalls nutzt das System räumliches Audio und visuelle Technologien wie Anzeigen, um das Bedürfnis nach Standortverifizierung (engl. location verification) der Nutzer zu erfüllen. Die Übermittlung der Informationen wie z.B. Richtung, Verkehrsinformationen, Sehenswürdigkeiten etc. wird hier, von im Voraus im Programm gesetzten Geofences [29] getriggert, die alle ca. 800 Meter gesetzt wurden. Ergebnisse der dazu mit 7-Stufen Likert Skalen durchgeführten Studie zeigten, dass Nutzer auf die Frage, ob das ATLAS System dabei hilfreich war, ihr Umgebungsbewusstsein (situational awareness) zu steigern, überwiegend positiv antworteten. Genauer antworteten dabei 75% mit einer starken Zustimmung, und 20% stimmten überwiegend zu. Der Durchschnittswert betrug $M=6.55$ ($SD=0.887$, Spanne 1 bis 7). Dies zeigt schon gute Ergebnisse durch ausschließlich auditives Feedback in diesem Bereich, allerdings kann versucht werden dies durch Einsatz zusätzlicher Methoden weiter zu steigern, oder dieses System durch den Einsatz anderer Methoden weniger unterbrechend zu gestalten, sodass z.B. Gespräche zwischen zwei Fahrzeuginsassen nicht durch ein "dazwischen redendes" Fahrzeug unterbrochen werden. Die Befragung, ob selbstfahrende Fahrzeuge sicher sind, ergab hier im Durchschnitt vor der Interaktion mit ATLAS $M=4.60$ ($SD=1.23$) und danach $M=5.90$ ($SD=1.33$).

Es existieren weitere Arbeiten [12, 10, 46, 9], die sich mit dem Bereich der Kommunikation zwischen sehbehindertem Fahrer und autonomen Fahrzeug befassen, allerdings nichts Konkretes zu der Fragestellung was die Informationsbedürfnisse sehbehinderter Menschen während der Fahrt in autonomen Fahrzeugen sind und wie diese erfüllt werden können. Die Arbeit von Brinkley et al. [12] mit Fokusgruppen brachte hervor, dass 53% der Teilnehmer den Wunsch nach einem System zur Standortverifizierung äußerten, und dass ein solches System bis zu einem gewissen Grad wichtig sei. Ebenfalls gaben 45% der Teilnehmer an, dass ein System zur Steigerung des Umgebungsbewusstseins (Situational Awareness) des Passagiers nötig sei (siehe auch [14]). Dieses System sollte die Darstellung des Verhältnisses des autonomen Fahrzeugs zu anderen Fahrzeugen, Gebäuden, Fußgängern etc. in Echtzeit gewährleisten, um so die Informationen widerzuspiegeln, die ein sehender Fahrer durch Kameras, Fenster und Spiegel zur Verfügung hätte. Auch gaben 71% der Teilnehmer an, dass sie zur Interaktion mit dem Fahrzeug ein sprachbasiertes System bevorzugen würden [12]. Auch wurde ausgesagt, dass ein HMI für einen Blinden oder wenig sehenden Fahrer in der Lage sein muss, die Bedürfnisse nach Umgebungsbewusstsein, Umgebungsverifizierung und weiteren aufgrund mangelnder Forschung noch nicht genauer spezifizierte Bedürfnisse zu erfüllen [12]. Ebenfalls wurde von den Probanden der Wunsch geäußert, dass ein

2.1. AUTONOME FAHRZEUGE UND SEHBEHINDERTE MENSCHEN

vollständig autonomes Fahrzeug ein System besitzen sollte, um die Ankunft am richtigen Zielort zu verifizieren [12]. Auch wurden von den Probanden einige Bedenken zum Reisen ohne Informationen der Richtung und der aktuellen Umgebung geäußert, wie z.B. dass das autonome Fahrzeug in eine völlig falsche Richtung oder zu einem falschen Ziel fahren könnte, ohne dass man es im Fahrzeug bemerkt.

Aus der Arbeit von Brewer und Kameswaran [11] mit Erfahrungen aus Ridesharing Services wie Uber [61] oder Lyft [41] geht hervor, dass Probanden gerne von den Fahrern während der Fahrt Informationen zur Umgebung erhalten. Diese Informationen können z.B. lokale Sehenswürdigkeiten, die gerade passiert werden, oder Türen und Hindernisse am Zielort sein, und werden von den Probanden genutzt, um ihr Umgebungsbewusstsein (Situational awareness) zu steigern. Falls die Fahrer nicht von sich aus darauf zu sprechen kommen, gaben die Probanden an, auch nach diesen Informationen zu fragen. Einige weitere Ergebnisse des Projektes von Brewer und Ellison [9] aus welchem unter anderem folgende Arbeiten hervorgingen [10, 11], sind das hauptsächlich sprachbasierte Systeme designt werden sollten, um den Personen Informationen zu ihrer Umgebung zu geben und so ihr Umgebungsbewusstsein zu steigern. Ebenfalls sollte ein Spektrum an verschiedenen Interaktionsmöglichkeiten entwickelt werden, um so auf die Bedürfnisse und Einschränkungen von Personen mit verschiedenen Behinderungen eingehen zu können. Auch wird erwähnt, dass mit ähnlichen Arbeiten festgestellt werden muss, wie sehbehinderten Fahrern ermöglicht werden kann, Informationen von dem Fahrzeug abzurufen, während ihnen gleichzeitig vom Fahrzeug andere Informationen präsentiert werden. Des Weiteren schlugen Probanden taktile Systeme vor, wie z.B. einen fühlbaren Kompass oder ein Vibrationssystem zur Darstellung von Hindernissen, um ein gewisses Maß an Umgebungsbewusstsein zu liefern. Diese Vorschläge werden in dieser Arbeit allerdings aus technischen Gründen nicht weiter verfolgt.

Ergebnisse einer Arbeit von Lee et al. [39] zu dem Thema, was Nutzer in vollständig autonomen Fahrzeugen für Bedürfnisse haben zeigen, dass die Charakteristiken unterschiedlicher Bevölkerungsgruppen wie z.B. Menschen mit Behinderungen oder Kindern beim Design von Fahrzeuganwendungen und Interfaces in Fahrzeugen beachtet werden müssen, da diesen Personengruppen bis jetzt die Vorteile persönlicher Mobilität verwehrt blieben. Nur so kann gewährleistet werden, dass diese von den Entwicklungen im Bereich vollständiger autonomer Fahrzeuge auch profitieren. Überdies ergab die Arbeit, dass den Passagieren Informationen zur Fahrt bereitgestellt werden sollten, um deren Umgebungsbewusstsein zu gewährleisten. Obwohl die Passagiere nicht mehr selber fahren müssen, betonten die hier Befragten, die Wichtigkeit von Informationen wie Ziel, Fahrzeit, Fahrzeugumgebung und Intentionen des Fahrzeugs.

2.2. Sehbehinderungen

2.2.1. Allgemeines und Beispiele

Unter dem Begriff der Sehbehinderungen versteht man ein sehr breites Spektrum an visuellen Einschränkungen. Dies kann von einer Sehbehinderung, wo z.B. die betroffene Person Gegenstände erst ab einer Nähe von 30 cm erkennen kann, die ein normal sehender bereits ab einem Meter erkennt, über eine hochgradige Sehbehinderung wie den Verlust der Sehfähigkeit in einem Teilbereich des Gesichtsfeldes bis hin zur vollständigen Blindheit reichen. Allerdings gibt es selbst bei dem Begriff Blindheit Abstufungen, denn eine Person, die rechtlich gesehen blind ist, muss nicht nichts sehen. In Deutschland sind die Begriffe Sehbehinderung, hochgradige Sehbehinderung und Blindheit in der Versorgungsmedizin-Verordnung des Bundesministeriums für Arbeit und Soziales und der dazugehörigen Anlage Versorgungsmedizinische Grundsätze wie folgt definiert:

Definition Blindheit und Sehbehinderung durch GBE (Gesundheitsberichterstattung des Bundes) Themenheft Blindheit und Sehbehinderung [51]

- Sehbehinderung
 - ab einer Visus-Kombination im Bereich zwischen 0,4/0,02 und 0,2/0,2 oder
 - bei gleich zu bewertenden Gesichtsfeldausfällen.
- hochgradige Sehbehinderung
 - wenn der Visus (Sehschärfe) auf keinem Auge und auch nicht bei beidäugiger Prüfung mehr als 0,05 beträgt oder
 - andere gleich zu achtende Störungen der Sehfunktion vorliegen (d.h., wenn die Einschränkung des Sehvermögens einen Grad der Behinderung (GdB) von 100 bedingt und noch nicht Blindheit vorliegt).
- Blindheit
 - das Augenlicht vollständig fehlt,
 - der Visus (Sehschärfe) auf dem besseren Auge nach optischer Korrektur höchstens 0,02 beträgt,
 - andere Störungen des Sehvermögens vorliegen, die dieser Beeinträchtigung gleichkommen (z.B. durch Gesichtsfeldausfälle) oder
 - ein vollständiger Ausfall der Sehrinde nachgewiesen ist.

2.2. SEHBEHINDERUNGEN

Die häufigsten Ursachen für Blindheit weltweit sind Katarakt, Trachom und Glaukom, welche zusammen für 70% der globalen Blindheit verantwortlich sind [52]. Allerdings sind diese Krankheiten behandelbar oder können vermieden werden [52]. Da Sehbehinderungen und Blindheit nicht immer auf die gleichen Symptome und durch die gleichen Erkrankungen entstehen, existieren sehr unterschiedliche Arten der eingeschränkten Wahrnehmung, wie in Abbildung 2.2 und 2.3 zu sehen ist. Wir betrachten nun zum Überblick einige Beispiele für Sehstörungen die mit dem OpenVisSim Projekt [35] simuliert werden können. Ebenfalls führen wir dazu Erkrankungen an, durch welche solche Sehstörungen hervorgerufen werden können. Einige Beispiele für Symptome werden hierfür aus der Arbeit von Jones und Ometto [33] entnommen, die Beispiele für die spezifischen Erkrankungen stammen aus dem Sehbehinderungs-Simulator des Allgemeinen Blinden- und Sehbehindertenvereins Berlin [3]. Ein häufiges Symptom ist Blendempfindlichkeit, welche häufig beim Grauen Star (Fachsprachlich Katarakt, Beispiel siehe Abbildung 2.2 Mitte), aber auch anderen Augenerkrankungen auftritt. Sie zeigt sich durch extrem hohe Lichtwahrnehmung wodurch z.B. Gegenstände in einer Hellen Umgebung nur schwer erkannt werden können, wie in Abbildung 2.1 links zu sehen.



Abbildung 2.1.: Links: Lichtempfindlichkeit, Rechts: Verschwommenes Sehen, simuliert mit OpenVisSim, A: Normales Bild, C: mit angewendetem Filter, Bilder entnommen aus [33]

Ein weiteres Symptom ist verschwommenes Sehen, dies kann ebenfalls durch unbehandelten Grauen Star (Katarakt) aber auch durch z.B. unbehandelte Fehlsichtigkeit oder eine Schädigung der Makula und viele weitere Erkrankungen hervorgerufen werden. Dabei kann der Betroffenen seine Umgebung nicht mehr scharf erkennen. Je nach Stärke kann dieses Symptom von einer leichten Unschärfe bis zu einem Sehen wie durch einen dichten Nebel reichen, wie rechts in Abbildung 2.1 zu erkennen. Ein weiteres Symptom sind Gesichtsfeldausfälle durch z.B. Netzhautablösungen oder Absterben des Sehnervs wie beim Grünen Star (Fachsprachlich Glaukom, Beispiel siehe Abbildung 2.3 Mitte)). Ebenfalls eine sehr häufig, in einer Arbeit zur Häufigkeit auftretender Sehbehinderungen in Deutschland von Finger et al. [25] machte sie 41% aus, auftretenden Krankheit ist die (altersbedingte) Makuladegeneration, zu sehen in

2. VERWANDTE FORSCHUNG

Abbildung 2.2 rechts, dabei sterben die Sehzellen im Bereich des schärfsten Sehens, der Makula, ab und es kommt zur Verschlechterung der Sehschärfe beginnend in der Mitte des Blickfeldes. Aus diesem kurzen Überblick geht hervor, dass eine sehr große Zahl an unterschiedlichen visuellen Einschränkungen existiert, die bei der Entwicklung von Systemen für diese Zielgruppe beachtet werden müssen. Allerdings lassen sich gewisse Design-Aspekte für Systeme herleiten, die für die meisten der betroffenen Personen hilfreich sind, wie z.B. auditive Elemente, denn diese kann sowohl ein blinder, ein sehbehinderter aber auch ein normal sehender Mensch nutzen.



Abbildung 2.2.: Links: normale Sicht, Mitte: Grauer Star/Katarakt, Rechts: Makula Degeneration entnommen aus dem Sehbehinderungs-Simulator des Allgemeinen Blinden- und Sehbehindertenvereins Berlin [3]



Abbildung 2.3.: Links: Diabetische Retinopathie, Mitte: Grüner Star/Glaukom, Rechts: Retinis Pigmentosa entnommen aus dem Sehbehinderungs-Simulator des Allgemeinen Blinden- und Sehbehindertenvereins Berlin [3]

2.2.2. Simulation von Sehbehinderungen

Um beim Design von Systemen auf die Bedürfnisse von unterschiedlichen sehbehinderten Personen eingehen zu können, kann es sinnvoll sein, deren visuelle Ein-

schränkungen für normal Sehende zu simulieren. Zu dem Thema der Simulation von Sehbehinderung mittels VR und Augmented Reality (AR) Hardware existieren einige interessante Forschungsarbeiten [33, 34, 8, 68, 56, 40, 32]. Allerdings nur eine von Lewis et al. [40] spezifisch auf eine Engine bezogen, die zur Entwicklung einer, wie in dieser Arbeit geplanten Simulation verwendet werden könnte. Eine weitere noch ältere Arbeit von Jin et al. [32] existiert zu diesem Thema ebenfalls, welche einen guten Einblick in die Simulationsmöglichkeiten unterschiedlicher Augenkrankheiten gibt. Die Arbeit von Lewis et al. [40] aus 2011 verwendet die Unreal Engine um ähnliche Funktionen wie Jin et al. zu erzielen. Beide Arbeiten liefern allerdings keine einfach zu integrierende Lösung für aktuelle Entwickler und moderne Technologien. Eine neuere Arbeit von Jones und Ometto [33] zeigt allerdings eine moderne Implementation für VR und AR, einer solche Simulation in Unity 5.5/C# auf einem iPhone 7 und einem Foveo VR Headset. Auf diese Arbeit folgte eine weitere von Jones et al. [34] welche das Open-Source-Projekt OpenVisSim [35] für Unity3D hervorbrachte. Auf diesem Projekt wird der Teil der Simulation basieren, der die Sehbehinderungen simuliert, allerdings muss es hierfür für aktuelle Hardware und die verwendete Unity Version aktualisiert und mit unserer Simulation kompatibel gemacht werden.

2.3. Durchgeführte Literatursuche

Um verwandte Forschung zu finden und einen Überblick zum aktuellen stand der Forschung zu den zwei Hauptthemen zu erhalten, wurden folgende Suchanfragen in der ACM Digital Library [7] und Google Scholar [28] gestellt.

Suchanfragen in ACM

```
[Abstract: information needs] AND [Abstract: people with visual impairments] AND [Abstract: visually impaired] AND [Abstract: autonomous self driving vehicles]
[Abstract: information needs of] AND [Abstract: visually impaired] AND [Abstract: blind] AND [Abstract: people with visual impairments] AND [Full Text: autonomous vehicle] AND [Full Text: self-driving vehicles] AND [Abstract: information needs in] AND [Abstract: visually impaired] AND [Abstract: blind] AND [Abstract: people with visual impairments]
[Publication Title: simulation] AND [Publication Title: visual impairments] AND [Publication Title: virtual reality] AND [Abstract: simulation of visual impairments]
```

2. VERWANDTE FORSCHUNG

Suchanfragen in Google Scholar

Information needs of people with visual impairments in autonomous self driving vehicles

Simulation of Visual impairments in virtual reality

Im Anschluss wurde über die zu den Themen gefundenen Arbeiten eine Vorwärts-/Rückwärts Referenzsuche durchgeführt. Die Anzahl der über die Methoden jeweils gefundenen Arbeiten ist in Tabelle 2.1 aufgeführt.

Thema	Autonome Fahrzeuge	Simulation von Sehbehinderungen
ACM	4	3
Google Scholar	1	4
forward/backwards search	22	0
Gesamt	27	7

Tabelle 2.1.: Gefundene Verwandte Arbeiten zu den 2 Themen Bereichen

Weitere Informationen und Arbeiten zu den Themen wie Informationen in autonomen Fahrzeugen generell übermittelt werden können und zur allgemeinen Verbreitung von Sehbehinderungen wurden im Verlauf der Arbeit auch mittels Google, Google Scholar und ACM Suchen gefunden. Diese Informationen wurden hauptsächlich zur sinnvollen Erstellung unserer Fahrsimulation benötigt.

3. Konzept & Implementierung

Um im Verlauf dieser Arbeit eine Studie zur Evaluation der erarbeiteten Informationskonzepte und Hypothesen zu ermöglichen, wurde entschieden, eine Simulation einer Fahrt in einem autonomen Fahrzeug als VR Anwendung zu entwickeln. Die Gründe hierfür sind, dass zum aktuellen Zeitpunkt autonome Fahrzeugsysteme noch nicht vollständig ausgereift sind und kommerziell verfügbare Systeme wie Teslas Autopilot [58] nur eine Level 3 Automatisierung besitzen [12]. Eine Evaluation mittels eines Wizard-of-Oz-Experiments [50] in einem echten Fahrzeug den Aufwand zur Durchführung stark erhöht hätte. Ebenfalls wird durch die Verwendung von VR der Einbau einer Simulation von Sehbehinderungen ohne weitere zusätzliche Hardware ermöglicht. Aufgrund der aktuellen globalen Covid-19 Pandemie erschien es auch sinnvoll, die für die Studiendurchführung benötigte Mitarbeiteranzahl so gering wie möglich zu halten. Auch ermöglicht die Entwicklung in Unity eine Präsentation sowohl in einer VR Umgebung als auch 2-dimensional auf einem Bildschirm, was die Möglichkeit eröffnet, die Studie im späteren Verlauf online mittels Videos durchzuführen und so ein breiteres Spektrum an Probanden zu erreichen.

3.1. Simulationsablauf

Der Proband befindet sich in einem autonomen Fahrzeug. Dieses autonome Fahrzeug fährt eine vordefinierte Strecke in einer fiktiven Stadt Namens Königsberg ab, dabei liegen die ersten ca. 62 Prozent der Strecke im Stadtgebiet, dann ca. 24 Prozent auf einer Art Landstraße und die letzten ca. 14 Prozent sind vergleichbar mit einer Bundesstraße oder Autobahn. Eine Karte mit der Strecke sehen sie in Abbildung 3.1. Die Strecke wurde gewählt, um ein möglichst breites Spektrum an Situationen abzubilden, in denen sich ein autonomes Fahrzeug befinden kann. Während der Fahrt wird das Fahrzeug vor verschiedenste Ereignisse gestellt, wie eine kurzfristige Streckensperrung durch eine Baustelle, spontan oder an Straßenübergängen die Straße überquerende Passanten, Abbiegemanöver, Durchfahren eines Kreisverkehrs, halten an einer Ampel oder einen zu umfahrenden Unfall (siehe Tabelle 3.2). Diese Situationen sind notwendig, um die Übermittlung der unterschiedlichen Informationen an den Fahrer zu testen. Durch die unterschiedlichen Gebiete, die das Fahrzeug durchquert, können verschiedene Informationsdichten und Ansagen zum Fahrtabschnitt evaluiert werden. Vor Fahrtantritt

3. KONZEPT & IMPLEMENTIERUNG

können in der Simulation die Art des Feedbacks und die Informationskategorien gewählt werden. Diese werden für die Studie in Conditions vordefiniert. Durch die Integration der Sehbehinderungs-Simulation können zusätzliche visuelle Einschränkungen aktiviert werden, um gewisse Sehbehinderungen zu simulieren. Diese können nach Wunsch angepasst werden, sind für die Studiendurchführung mit normal sehenden Probanden allerdings vordefiniert.

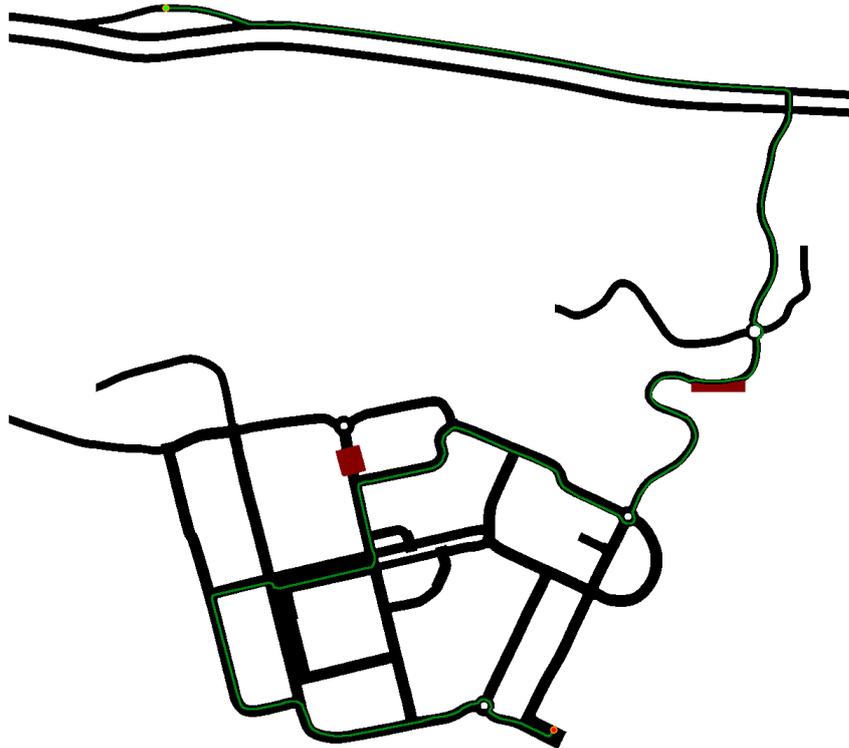


Abbildung 3.1.: Route durch die fiktive Stadt Königsberg (in Grün), unerwartete Hindernisse auf der Route (in Rot)

3.2. Informationssysteme im Fahrzeug

Zur Übermittlung der unterschiedlichen Informationen mussten für das Fahrzeug unterschiedliche Informationssysteme designt werden. Es wurden 3 Systeme entwickelt, zum einen ein System zur Darstellung herkömmlicher Informationen auf dem Armaturenbrett, ein Lichtsystem, welches über verschiedene farbige Lichter Informationen übermitteln kann und ein Soundsystem für Audiosignale und Sprachfeedback. Das Informationssys-

3.2. INFORMATIONSSYSTEME IM FAHRZEUG

tem wurde im Hinblick auf die Verwendung durch sehbehinderte Personen mit relativ großem Text und Symbolen entwickelt. Auf der linken Seite wird zu jeder Situation ein großes passendes Icon angezeigt, die unterschiedlichen Icons sind in Abbildung 3.2 zu sehen. Ebenfalls werden zusätzliche Informationen in kurzen Texten daneben angezeigt.



Abbildung 3.2.: Von links nach rechts: Start, links abbiegen, rechts abbiegen, Kreisverkehr, Ampel, Passant von rechts, Passant von links, Ort, Streckenabschnitt, Baustelle und unerwartetes Hindernis

In der Mitte des Armaturenbretts wird eine Karte mit der Umgebung des Fahrzeugs angezeigt, auf welcher Passanten zusätzlich durch grüne Punkte markiert werden und Fahrzeuge durch Rechtecke, wobei andere Fahrzeuge Cyan und das Eigene dunkelblau angezeigt werden. Dies hilft dabei, einen Überblick über die vom Fahrzeug erkannte Umgebung und die sich darin befindenden anderen Verkehrsteilnehmer zu erhalten. Dies wurde auch so ähnlich in der Arbeit von Colley et al. [18] gezeigt. Links daneben wird die aktuelle Geschwindigkeit des Fahrzeugs angezeigt und oberhalb die Uhrzeit. Rechts von der Karte wird in unserem Fahrzeug noch ein Indikator dafür, dass das Fahrzeug im vollständig autonomen Modus agiert, angezeigt. Das für unsere Studie entwickelte Armaturenbrett kann in Abbildung 3.3 betrachtet werden.

Das Lichtsystem zeigt peripher zusätzlich zu dem Armaturenbrett mithilfe von Farben unterschiedliche Aktionen des Fahrzeugs an. Dabei haben wir uns nach einigen internen Tests für lediglich 2 Farben während der Fahrt entschieden, um die Komplexität des Systems relativ gering zu halten. Die Farben Cyan und Magenta wurde gewählt, weil diese eine hohe Auffälligkeit zu anderen im Straßenverkehr genutzten Farben haben und nicht mit Bedeutungen wie z.B. Rot für Warnung oder Gefahr assoziiert werden [70]. Die Lichter leuchten bei normalen fahrtbezogenen Aktionen des Fahrzeugs, wie z.B. Abbiegen, Durchfahren eines Kreisverkehrs oder Anhalten an einer Ampel in Cyan auf. Dies signalisiert eine Aktion des Fahrzeugs, die so auf dieser Strecke immer stattfinden würde. Bei unerwarteten Aktionen oder Events, die auf der Strecke nicht immer so passieren würde wie z.B. plötzlich die Straße überquerende Passanten oder einer spontanen Streckensperrung wegen einer Baustelle oder wegen eines Unfalls leuchten die Lichter in Magenta und signalisieren so eine Situation, die nicht vorhergesehen werden konnte, aber vom Fahrzeug problemlos bewältigt wird. Zu Beginn und am Ende der Fahrt leuchten die Lichter weiß, um zu signalisieren, dass das Fahrzeug vom aktiven Fahrtmodus in den Park- bzw. Standby-Modus oder anders herum gewechselt hat. Des Weiteren gibt es ein Audiosystem, was intern nochmal in ein Audiosignal

3. KONZEPT & IMPLEMENTIERUNG



Abbildung 3.3.: 1. Farbige Signal Lichter, 2. Informationen auf dem Armaturenbrett dargestellt, mit großen Symbolen und Text, 3. Aktuelle Geschwindigkeit, 4. Uhrzeit, 5. Karte mit Darstellung der Umgebung, 6. Indikator für autonomes Fahren

und Sprachfeedback System unterteilt ist. Das System ist in der Lage räumliches Audio abzuspielen, um dadurch Positionen von angesagten Objekten oder, z.B., ein Abbiegen nach links räumlich darstellen zu können. Für die Audiosignale werden vier unterschiedliche Töne verwendet, einen um den Beginn der Fahrt zu signalisieren, einen für Fahrtaktionen wie abbiegen oder das Durchfahren eines Kreisverkehrs, einen für querende Passanten und einen für das Ende der Fahrt. Zusätzlich zu den Audiosignalen ist das Fahrzeug in der Lage dem Nutzer sprachliches Feedback mit mehr und genaueren Informationen zu übermitteln, dieses Sprachfeedback kann zusätzlich ergänzend zu den Audiosignalen verwendet werden oder diese ersetzen, wie z.B. einer Ansage für Passanten anstelle des Signaltons. Mit diesen Systemen können alle relevanten Informationen, die während einer Fahrt benötigt werden könnten, teilweise sogar redundant, übermittelt werden.

3.3. Wahl der Conditions

Um eine detailreiche Informationswiedergabe zu gewährleisten, wurden unterschiedliche Kategorien für Informationen und ihre Darstellung definiert. Wir haben 5 Stufen von Informationstypen erarbeitet, in die die einzelnen Ereignisse während der Fahrt aufgeteilt

3.3. WAHL DER CONDITIONS

werden können, wie in Tabelle 3.1 zu sehen ist. Beispielhaft für unsere Simulation haben wir in Tabelle 3.2 alle Situationen mit Kategorie aufgeführt, die während der Fahrt auftreten können.

Level	Informationstyp	Inhalt
Level A	Sicherheitsrelevant	Hinweise, Warnsignale, Start/Stoppton
Level B	Fahrzeugkontrolle	Steuerung, Intentionen des Fahrzeugs, Fahrtantritt/ende
Level C	Routenupdates	Fortschritt, Zeitänderung, Abschnitt
Level D	Sightseeing	Sehenswürdigkeiten ROIs allgemein, Umgebung
Level E	Zielort	Umgebungs-Informationen Navigationshilfen etc.

Tabelle 3.1.: Mögliche Informationskategorien

Ereignis	Typ	Level
Losfahren	A1,V1	A
Anhalten	A1,V1	A
Plötzliches Anhalten für Passanten	A1,A2, V1,V2	B
Abbiegen, Kreisverkehr durchfahren	A1,A2, V1,V2	B
Ampel, Fußgängerüberweg	A1,A2, V1,V2	B
Routen Information	A2,V2	C
Routen Updates / Abschnitt	A2,V2	C
Ereignis / Streckenänderung (Baustelle/Unfall)	A2,V2	C
Informationen zu Points of Interest (POIs)	A2,V2	D
Informationen zur aktuellen Umgebung	A2,V2	D
Informationen über andere Verkehrsteilnehmer	A2,V2	D
Informationen zum Zielort	A2,V2	E

Tabelle 3.2.: Liste der spezifischen Benachrichtigungen mit Klassifizierung

Zusätzlich haben wir die 3 Kategorien, visuell, auditiv und haptisch definiert in welchen Feedback übermittelt werden könnte und diese bezogen auf unsere Möglichkeiten im Fahrzeug nochmal, wo es möglich war, in Unterkategorien mit niedriger und hoher Informationsdichte unterteilt, wie in Tabelle 3.3 zu sehen ist. Für unsere Anwendung haben wir uns aus technischen Gründen auf die Überkategorien visuell und auditiv beschränkt. Bei der Online-Studie haben wir uns für 3 Conditions entschieden, um die Dauer der Studie unter einer Stunde zu halten, aber dennoch Unterschiede zwischen dem Informationsgehalt messen zu können. Die erste Condition stellt eine Informationsarme Baseline dar und enthält nur Informationen aus Level A, in unserem Fall nur Start und Stopp. Die Wiedergabe der Informationen in Condition 1 erfolgte über Audiosignale, Einblendungen auf dem Armaturenbrett und den Lichtsignalen (A1,V1,V2). Condition 2 sollte einem Mittelwert entsprechen, der alle gängigen Informationen enthält, in unserem Fall Level A, B und C. Die Übermittlung erfolgte durch eine Mischung aus Audio-

3. KONZEPT & IMPLEMENTIERUNG

und Sprachfeedback, Einblendungen auf dem Armaturenbrett und den Lichtsignalen (A3,V1,V2). Condition 3 sollte das volle Spektrum aller möglichen, von uns definierten, Informationskategorien enthalten, was Level A, B, C, D und E entspricht. Die Wiedergabe erfolgte wie in Condition 2 (A3,V1,V2). Alle Conditions sind zur Übersicht nochmal in Tabelle 4.1 dargestellt. Die Conditions wurden so gewählt, um die Unterschiede zwischen verschiedenen Informationslevel testen zu können, ohne dafür zu viele einzelne Durchgänge und Conditions zu benötigen, da ein Durchgang zwischen 5 und 7 Minuten dauert. Bei der Expertenstudie beschränken wir uns auf lediglich 2 Conditions (A, B) beide basieren auf Condition 2 mit mittlerem Informationsgehalt der Online Studie und unterscheiden sich lediglich durch das Vorhandensein der Sehbehinderungs-Simulation in Condition B. Dies liegt daran, dass wir mit den Experten die Unterschiede zwischen der Sicht einer normal sehenden Person und einer stark sehbehinderten Person darstellen möchten um zu evaluieren, ob ein Tool was Sehbehinderungen simuliert für die zukünftige Entwicklung von autonomen Fahrzeugen sinnvoll sein könnte.

	Art	Unterart	Stufen	Level
A1	Auditiv	Soundeffekte	0 - 3	A,B
A2	Auditiv	Sprache	0 - 5	A,B,C,D,E
A3	Auditiv	Sprache + Soundeffekte	0 - 5	A,B,C,D,E
V1	Visuell	Lichtsignale	0 - 3	A,B
V2	Visuell	Einblendungen auf Bildschirm	0 - 5	A,B,C,D,E
H1	Haptisch	Vibration	0 - 3	A,B

Tabelle 3.3.: Mögliche Feedback Arten mit dazugehörigen Stufen

3.4. Wahl der Sehbehinderungen für die Simulation

Um eine relevante Simulation im Bereich einer hochgradig sehbehinderten oder rechtlich blinden Person erstellen zu können, haben wir uns daran orientiert, was die häufigsten Gründe für Blindheit und hochgradige Sehbehinderung weltweit sind. Diese sind Katarakt, Trachom und Glaukom [52]. Dabei muss allerdings auch darauf geachtet werden in welchen Gebieten diese Gründe häufig vorkommen, da in wirtschaftlich entwickelten Ländern, wie z.B. Deutschland oder den USA, die Katarakt Operationen Rate (Cataract Surgical Rate - CSR) sehr hoch ist und damit die Anzahl der Fälle in denen Personen bedingt durch diese Krankheit blind sind sehr niedrig ist [69]. Ebenfalls ist in diesen wirtschaftlich entwickelten Ländern die Anzahl der mit Trachom Erkrankten sehr niedrig bis gar nicht vorhanden [52]. Diese Krankheit kommt hauptsächlich in sozial-ökonomisch benachteiligten Gebieten mit einem Mangel an Grundversorgung, wie gesundheitliche

Versorgung und Hygiene vor [52]. Da es in diesen Gebieten eher unwahrscheinlich ist, dass die Bevölkerung Zugang zu autonomen Fahrzeugen erhält, bevor die wirtschaftliche Entwicklung voranschreitet, wodurch die Probleme und Ursachen für diese Arten von Blindheit behoben werden sollten, können wir uns hier auf spezifischere Fälle und leichtere Krankheitsverläufe dieser Krankheiten beschränken. Bei dem Katarakt z.B. gibt es viele Abstufungen im Fortschreiten der Krankheit [51], die noch nicht behandelt werden müssen, oder bedingt durch andere Krankheiten nicht behandelt werden können, die das Sehen allerdings schon bis zu einem gewissen Grad einschränken. Der häufigste Grund für Blindheit bei Erwachsenen in wirtschaftlich entwickelten Ländern ist Diabetes Melitus, wobei es vermehrt zu Gesichtsfeldausfällen kommt [52]. Ein ebenfalls häufig auftretender nicht vermeidbarer Grund für den Verlust der Sehkraft oder des Erblindens ist die altersbedingte Makuladegeneration. Aus diesen Gründen haben wir uns bei der Simulation für eine Mischung aus fortgeschrittenem Katarakt und Makula Degeneration entschieden, wie in Abbildung 3.4 beispielhaft zu sehen ist.



Abbildung 3.4.: Beispiel unserer Sehbehinderungs-Simulation mit Katarakt (Nebel) und Makula Degeneration (Zentraler blinder Fleck)

3.5. Unity

Als Engine für die Entwicklung der Simulation haben wir uns für Unity [65] in der LTS Version 2020.3.3f1 [63] entschieden, da die meisten Projekte des Institutes auf Unity basieren und dadurch schon eine große Auswahl an Assets vorhanden ist.

3.5.1. Fahrt & Umgebungssimulation

Als Umgebung wird das Windridge City Asset [44] genutzt, was uns unterschiedliche Begebenheiten, wie eine Stadt, aber auch einen ländlichen und Autobahnbereich zur Verfügung stellt, wie in Abbildung 3.7 gut zu sehen ist. Zur Simulation von Fahrzeugen und anderen Personen wird eine abgeänderte und erweiterte Version des Urban Traffic Systems [2] aus einem anderen Projekt des Institutes verwendet. Aus diesem Projekt wurde auch ein Teil der ursprünglichen Routenführung übernommen und auf unsere Bedürfnisse angepasst. Das Windridge City Asset [44] wurde um benötigte Umgebungselemente für die Route erweitert, dazu gehören ein Rastplatz [Abbildung 3.5 unten], um als Zielort außerhalb der Stadt zu dienen welcher unter Verwendung des EasyRoads3D Assets [6] erstellt wurde, eine Baustelle [Abbildung 3.5 links oben] durch die in der Simulation die Route unerwartet angepasst werden muss und eine Unfallstelle [Abbildung 3.5 rechts oben] als unerwartetes Hindernis welche das autonome Fahrzeug kommunizieren und bewältigen muss.



Abbildung 3.5.: Änderungen an dem Windridge City Asset, von links oben nach rechts unten: Baustelle mit Streckensperrung, Unfallstelle auf der Route, Rastplatz Königsberg

Des Weiteren wurden 2 Sehenswürdigkeiten, zu sehen in Abbildung 3.6 als POIs eingefügt, um die Übermittlung umgebungs-spezifischer Informationen umzusetzen, auch wurden parkende Fahrzeuge und Passanten hinzugefügt, um das Gefühl einer lebendigen Stadt und Umgebung zu vermitteln. Die für die Baustelle, den Rastplatz und die Sehenswürdigkeiten benötigten Modelle stammen aus dem Unity Asset Store [64].



Abbildung 3.6.: In das Windridge City Asset eingefügte POIs, Links: Albert Einstein Statue, Rechts: Streitross von Königsberg

Auf der Route kommt es bedingt durch die Routenführung zu zahlreichen fahrtbezogenen Aktionen wie Abbiegen oder das Durchfahren eines Kreisverkehrs. Ebenfalls wurden Straßenüberquerungen durch Passanten, sowohl an Übergängen als auch an unerwarteten Orten im Innenstadtbereich der Route aus der ursprünglichen Routenführung übernommen und angepasst. Als autonomes Fahrzeug dient ein Modell des Mercedes F 015 Konzept Fahrzeuges [43]. In dem Fahrzeug wurde ein auf die Bedürfnisse sehbehinderter Menschen zugeschnittenes Armaturenbrett eingefügt, wie hier in Abbildung 3.3 zu sehen ist. Das Armaturenbrett zeigt links ein zu jeder Aktion passendes Icon an, wobei die Icons aus den Google Material Icons [4] stammen, rechts daneben stehen weitere Informationen zu der aktuellen Aktion oder Situation in Textform. Für die Sprachausgabe des Fahrzeugs wurde die Google Cloud Text-To-Speech Engine [5] verwendet. Die für die Signaltöne verwendeten Audiodateien stammen von notificationsounds.com [45] unter der Creative Commons Attribution 4.0 International Public License [20]. Verwendet wurde für den Start Ton der Sound "Insight"¹, für den End Ton der Sound "Done for you"², für querende Passanten "I demand attention"³ und für Fahrt Manöver der Ton "Gesture"⁴. Das Lenkrad des Fahrzeugs wurde für die Simulation entfernt, um darzustellen, dass es sich um ein vollständig autonomes Fahrzeug handelt und so ein Eingreifen in das Fahrtgeschehen nicht möglich ist. Die Simulation wurde so entwickelt, dass eine Wiedergabe sowohl in 2D auf einem normalen Bildschirm als auch in VR mittels einer VR-Brille möglich ist. Allerdings sind einige Funktionen der Sehbehinderungs-Simulation wie z.B. die Simulation der Makula Degeneration welche

¹Insight: <https://notificationsounds.com/sound-effects/insight-578> Accessed: 24.11.2021

²Done for you: <https://notificationsounds.com/notification-sounds/done-for-you-612> Accessed: 24.11.2021

³I demand attention: <https://notificationsounds.com/message-tones/i-demand-attention-244> Accessed: 24.11.2021

⁴Gesture: <https://notificationsounds.com/message-tones/gesture-192> Accessed: 24.11.2021

3. KONZEPT & IMPLEMENTIERUNG

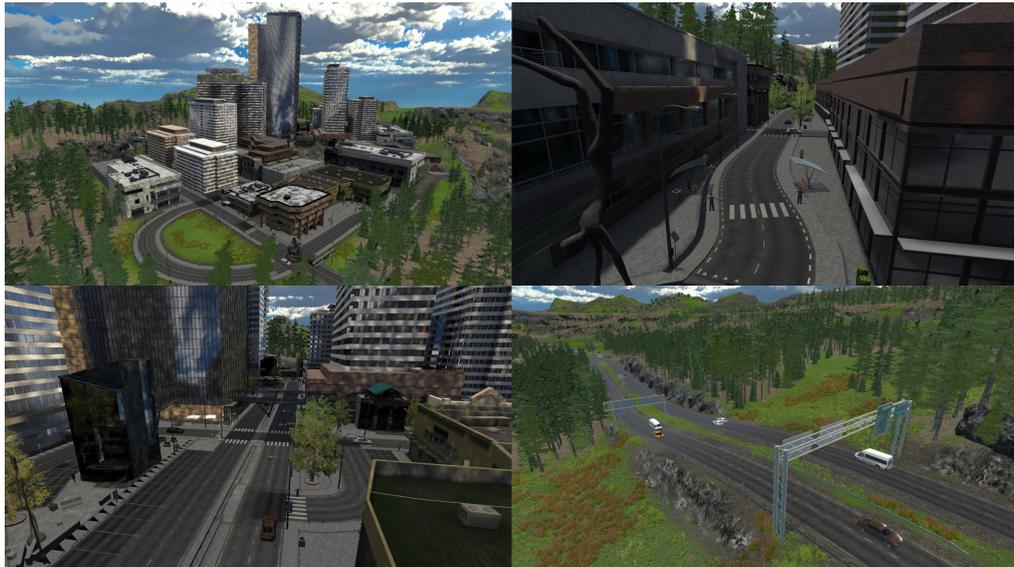


Abbildung 3.7.: Auszüge aus dem Windridge City Asset. Zu sehen ist der Stadtbereich und ein Autobahnabschnitt

Eye-Tracking benötigt, was wir in VR mithilfe eines HTC VIVE Pro EYE Headsets [31] erreichen, in der 2D Version nur eingeschränkt nutzbar. Um Einstellungen für die Simulationsanwendung vornehmen zu können, wurde ein simples Menü erstellt welches links in Abbildung 3.8 zu sehen ist. Es ermöglicht für die Studie die Auswahl zwischen den Conditions und die Auswahl zwischen den 2 verfügbaren Sprachen Deutsch und Englisch, sowie das Aktivieren der Sehbehinderungs-Simulation. Auch wurden für eine höhere Systemkompatibilität die Auswahl zwischen 4 Grafik Voreinstellungen sowie eine Lautstärkeregelung eingebaut. Es wurden 4 Hotkeys zur Steuerung der Simulation zur Laufzeit definiert, zum einen kann die Simulation mit der Escape-Taste jederzeit pausiert und fortgesetzt werden und mit der F1-Taste wird zum Hauptmenü zurückgekehrt und die nächste Condition ausgewählt. Diese Funktionen sind zur Steuerung durch den Studienleiter gedacht. Weiterhin lässt sich mit der F2-Taste die Studie in doppelter Geschwindigkeit durchlaufen, um ein schnelles Testen zu ermöglichen und F3 öffnet ein Debug-Fenster, in dem alle Aktionen des Fahrzeugs ausgegeben werden, zu sehen rechts in Abbildung 3.8.

3.5.2. Sehbehinderungssimulation

Für die Implementierung einer Sehbehinderungs-Simulation verwenden wir das Open-VisSim [35] Projekt von Pete R. Jones. Da das Projekt für Unity 2017.4.1f1 entwickelt wurde, musste es erst auf die in unserem Projekt verwendete LTS Version Unity

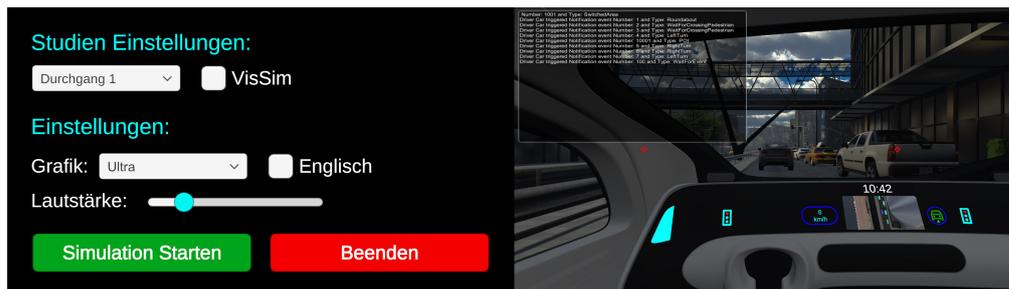


Abbildung 3.8.: Links: Das zur Steuerung der Simulationsanwendung erstellte Hauptmenü, Rechts: Debug-Informationsfenster während der laufenden Simulation

2020.3.3f1 upgedatet werden. Dafür mussten unterschiedlichste Dependencies, wie SteamVR [66], die OpenVR SDK [67], TobiiXRSDK [1] oder die VIVE SRanipal SDK [30] geändert oder ergänzt werden. Auch mussten einige veraltete Funktionen umgeschrieben oder entfernt werden. Das Eye Tracking System welches zur Simulation bestimmter Symptome benötigt wird, bereitgestellt von Tobii [60], musste für unsere Zwecke neu implementiert werden. Die upgedatete Version wurde im Anschluss wieder unter der GNU GPL v3.0 [21] Lizenz auf GitHub [27] veröffentlicht [1]. Das System wurde dann in das Fahrsimulationprojekt eingearbeitet und ermöglicht so die Simulation vieler unterschiedlicher Sehstörungen.

4. Studien

Zur Evaluation unserer Hypothesen wurden 2 Studien durchgeführt, eine Online-Studie zur Evaluation der implementierten Informationssysteme im Fahrzeug und der Auswirkung des Informationsgehaltes und eine Vor-Ort-Studie mit Experten aus dem Fachbereich (autonome) Fahrzeuge mittels VR und der Sehbehinderungs-Simulation, um die Nützlichkeit einer solchen Simulation in diesem Bereich zu erörtern.

4.0.1. Statistische Auswertung

Die statistische Auswertung wurde mit R 4.1.1 [59] unter Zuhilfenahme von RStudio 2021.09.0+351 "Ghost Orchid" [53] durchgeführt. Eine genau Auflistung der verwendeten Packages ist im Anhang unter R-Report A.2 zu finden. Zur Auswertung der ANOVAs und Generierung der benötigten Diagramme wurde ggstaplots und die nicht-parametrische ANOVA nach Lüpsen [42] verwendet.

4.1. Online Studie zum Informationsgehalt

4.1.1. Ablauf

Die Studie wurde online mittels LimeSurvey [55] durchgeführt. Probanden wurden über Prolific [49] und Anfragen an Blinden- und Sehbehindertenvereine, sowohl in Deutschland als auch den USA eingeladen. Eine Liste der kontaktierten Vereine finden sie im Anhang A.1. Es wurden aufgrund der geografischen Nähe hauptsächlich deutsche Vereine kontaktiert, um bei Interesse eine Vor-Ort-Durchführung der Studie zu ermöglichen. Die Vereine in den Vereinigten Staaten von Amerika wurden zusätzlich kontaktiert, um eine höhere Teilnehmerzahl zu erreichen. Da die Studie zweisprachig, in Deutsch und Englisch, erstellt wurde und die Landessprache der USA ebenfalls Englisch ist, bot es sich an Vereine in diesem Land zu kontaktieren. Ebenfalls war es recht simpel, die dort ansässigen Vereine mittels E-Mail zu kontaktieren. Den Probanden wurden mittels eines Fragebogens zuerst demografische Fragen wie Alter, Geschlecht, Sehbehinderung, Bildungsgrad etc. gestellt. Danach wurden sie über die Funktionen des implementierten Systems wie den einzelnen Tönen und dem Aufbau des Armaturenbretts informiert. Im Anschluss gab es in zufälliger Reihenfolge 3 Durchgänge mit jeweils einem Video

4. STUDIEN

zu den 3 unterschiedlichen Conditions, zu sehen in Tabelle 4.1 und einer Reihe von Fragen welche Fragebögen zu der empfundenen Sicherheit [24], dem Vertrauen in Automation (TiA) [38], dem Umgebungsbewusstsein (SART) [57], der User Experience (UEQ-S) [62] und der mentalen Belastung (TLX) [48] enthielten. Im Anschluss wurden noch abschließende Fragen zu den implementierten Informationssystemen gestellt.

Condition	Informationsart	Informationslevel
Condition 1	A1 + V1 + V2	A
Condition 2	A3 + V1 + V2	A,B,C
Condition 3	A3 + V1 + V2	A,B,C,D,E

Tabelle 4.1.: Conditions, pro Condition ca. 5-7 min Fahrt, Informationsart nach 3.3, Informationskategorien nach 3.1

4.1.2. Messungen

Zu beantwortende Fragen

- Demografie (Alter, Geschlecht, Sehbehinderung etc.)
- Wahrgenommene Sicherheit - (perceived safety questionnaire [24]) über die vier semantische Differenziale ängstlich — entspannt, aufgeregt — ruhig, unsicher — sicher, schüchtern — selbstbewusst
- Vertrauen in das Fahrzeug - (trust in automation questionnaire (TiA) [38])
- Wahrgenommene Situation (Situational Awareness/Umgebungsbewusstsein) - (SART questionnaire [57])
- Wie wurde die Kommunikation bewertet? - (UEQ-S questionnaire [62])
- Wie hoch war die mentale Belastung? - (NASA Task Load Index (TLX) [48])
- Alle relevanten Informationen wurden kommuniziert? (1 Stimme gar nicht zu - 7 Stimme voll und ganz zu)
- Die bereitgestellten Informationen waren angemessen und die bereitgestellten Informationen waren notwendig? (1 Stimme gar nicht zu - 7 Stimme voll und ganz zu)
- Ich würde die bereitgestellten Informationen beim Fahren in autonomen Fahrzeugen nutzen. (1 Stimme gar nicht zu - 7 Stimme voll und ganz zu)
- Wie nützlich waren die spezifischen Informationen (Informationen zum Fahrtbeginn/ende, fahrt bezogene Informationen z.B. abbiegen oder Kreisverkehr durchfahren, Informationen zu Fußgängern, Routen Informationen z.B. aktueller Abschnitt, Informationen über unerwartete Ereignisse z.B. Unfall oder Baustelle, Informationen zu Sehenswürdigkeiten z.B. Statue, Informationen zur Umgebung

4.1. ONLINE STUDIE ZUM INFORMATIONSGEHALT

z.B. Mülleimer auf der rechten Seite)? (1 - überhaupt nicht nützlich - 5 Äußerst nützlich)

- Wie werden die Informationssysteme (Licht, Dashboard, Sprache, Sound) des Fahrzeugs eingeschätzt (1 Sehr schlecht - 3 Weder schlecht noch gut - 5 Sehr gut)

4.1.3. Teilnehmer

An der Studie nahmen $N=35$ Teilnehmer teil wovon 10 weiblich und 25 männlich waren. Das Durchschnittsalter der Teilnehmer betrug $M=33.46$ Jahre (Bereich = 19 bis 74, $SD=13.75$). Der Anteil sehbehinderter Teilnehmer betrug 12 (34%), wovon 3 (25%) Angaben eine mittelschwere Sehbeeinträchtigung zu haben, 3 (25%) eine schwerer Sehbeeinträchtigung, 2 (17%) eine hochgradige Sehbehinderung und 3 (25%) angaben blind zu sein. Eine Person (8%) machte keine weiteren Angaben zum Grad ihrer Sehbehinderung. Wir referenzieren ab hier zu der Gruppe der sehbehinderten Probanden in der Studie mit SB und den normal sehenden Probanden mit NSB. Die Teilnehmer gaben auf einer 5-Punkt Likert Skala an, dass ein generelles Interesse an autonomem Fahren besteht ($M=4.03$, $SD=1.27$) und auch dass erwartet wird, dass das autonome Fahren ihr Leben einfacher machen könnte ($M=3.97$, $SD=1.22$). Auch wurde der Aussage "Ich denke, dass autonomes Fahren in den nächsten 10 Jahren zur Realität im Alltag werden wird. (bis 2031)." eher zugestimmt ($M=3.86$, $SD=1.14$). Bei diesen Fragen zeigten sich allerdings schon Unterschiede zwischen den 2 Gruppen. In allen 3 Punkten wurde von den SB Probanden positiver reagiert, so bestand bei den SB Probanden im Allgemeinen ein höheres Interesse an autonomem Fahren (SB= ($M=4.25$, $SD=1.22$), NSB= ($M=3.91$, $SD=1.31$)), auch waren die Erwartungen, dass das autonome Fahren ihr Leben vereinfachen würde erheblich höher (SB= ($M=4.42$, $SD=1.00$), NSB= ($M=3.74$, $SD=1.29$)). Auch die Erwartungen, dass autonomes Fahren in den nächsten 10 Jahren zur Realität im Alltag werden wird, waren bei der SB Gruppe höher (SB= ($M=4.25$, $SD=0.97$), NSB= ($M=3.65$, $SD=1.19$)).

4.1.4. Ergebnisse

Mentale Belastung (TLX) [48]

Die Nichtparametrische ANOVA (NPAV) ergab einen signifikanten Interaktionseffekt von Informationsgehalt \times Sehbehinderung auf die mentale Arbeitsbelastung ($F=2663.48$, $p=0.036$). Bei der NSB Gruppe nahm die mentale Belastung mit zunehmendem Informationsgehalt durchgängig leicht ab, war aber gegenüber der SB Gruppe allgemein deutlich höher. Bei der SB Gruppe hingegen nahm die mentale Belastung im Vergleich der Condition 1 mit dem niedrigsten Informationsgehalt zu Condition 2 mit mittlerem

4. STUDIEN

Informationsgehalt ab, und stieg dann zur Condition 3 mit dem höchsten Informationsgehalt wieder erheblich an und übertraf sogar den Wert der Condition 1 mit dem niedrigsten Informationsgehalt wie in Abbildung 4.1 zu sehen ist. Dies kann vermutlich darauf zurückgeführt werden, dass die sehbehinderten Probanden bei dem niedrigsten Informationsgehalt anderweitig versuchten Informationen zur Fahrt zu erlangen, was bei blinden oder schwer sehbehinderten Personen eine hohe Anstrengung darstellt, wohingegen sie bei dem mittleren Informationsgehalt genau die benötigten Informationen erhielten, die sie für die Fahrt benötigten. Bei dem höchsten Informationsgehalt wurden die Probanden mit mehr Informationen versorgt als sie vielleicht benötigten und mussten sich so wieder mehr anstrengen diese auch zu verarbeiten.

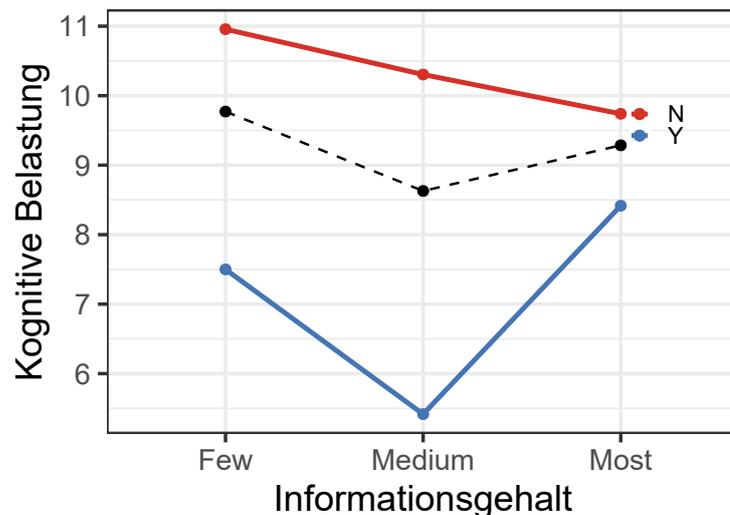


Abbildung 4.1.: N in Rot ist hier die NSB Gruppe, Y in Blau ist die SB Gruppe, wir können hier signifikante Unterschiede zwischen den zwei Gruppen erkennen.

Vertrauen in Automation (TiA) [38]

Die NPAV ergab einen signifikanten Haupteffekt des Informationsgehalts auf das Vertrauen ($F=26612.74$, $p<0.001$). Es zeigte sich, dass wenn das autonome Fahrzeug Informationen bereitstellt, das Vertrauen der Probanden in das Fahrzeug ansteigt, allerdings skaliert das Vertrauen nicht mit dem Informationsgehalt mit wie in Abbildung 4.2 gut zu erkennen ist. So zeigte sich ein signifikanter Anstieg des Vertrauens zwischen Condition 1 ($M=3.10$, $SD=1.33$) mit dem niedrigsten Informationsgehalt und Condition 2 ($M=3.97$, $SD=0.81$) mit mittlerem Informationsgehalt. Dieser Effekt setzte sich aber nicht von Condition 2 auf Condition 3 ($M=3.94$, $SD=0.91$) mit dem höchsten Informationsgehalt

4.1. ONLINE STUDIE ZUM INFORMATIONSGEHALT

halt fort, zwischen diesen 2 Conditions sank das Vertrauen nicht signifikant und kann daher hier vernachlässigt und als gleichbleibend betrachtet werden. Hieraus können wir schließen, dass eine gewisse Grundmenge an Informationen in einem autonomen Fahrzeug benötigt wird, um ein höheres Vertrauen der Insassen zu erreichen, allerdings ändert sich an dem Vertrauen nichts mehr, sobald einmal dieses Informationsgrundniveau erreicht ist.

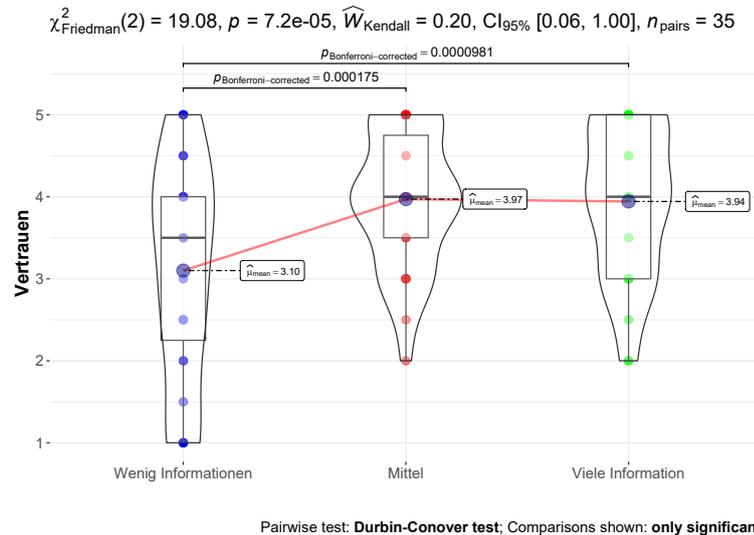


Abbildung 4.2.: Hier ist ein signifikanter Anstieg des Vertrauens aller Probanden zwischen der Condition mit wenig Informationen und der Condition mit mittleren Informationen zu erkennen. Von der mittleren Condition zu der mit den meisten Informationen ist eine nicht signifikante Abnahme zu erkennen.

User Experience Questionnaire Short (UEQ-S) [62]

Die NPAV ergab einen signifikanten Haupteffekt von dem Informationsgehalt auf die pragmatische Qualität ($F=2669.03, p<0.001$) und die hedonische Qualität ($F=2668.37, p<0.001$). Bei der pragmatischen Qualität und hedonischen Qualität zeigt sich eine ähnliche Tendenz wie bei dem gemessenen Vertrauen. Von Condition 1 mit dem niedrigsten Informationsgehalt auf Condition 2 mit mittlerem Informationsgehalt zeigt sich ein signifikanter Anstieg sowohl bei der pragmatischen Qualität (von ($M=4.66, SD=1.82$) auf ($M=6.24, SD=0.76$)) als auch der hedonischen Qualität (von ($M=4.14, SD=2.19$) auf ($M=5.53, SD=1.48$)). Von Condition 2 mit mittlerem Informationsgehalt auf Condition 3 mit dem höchsten Informationsgehalt allerdings bleiben die Werte stabiler, was sich bei

4. STUDIEN

der hedonischen Qualität in einer nicht signifikanten Steigerung von ($M=5.53$, $SD=1.48$) auf ($M=5.56$, $SD=1.31$) zeigt, und bei der pragmatischen Qualität, ähnlich wie beim Vertrauen, in einem nicht signifikanten Abfall von ($M=6.24$, $SD=0.76$) auf ($M=5.99$, $SD=0.99$) zu sehen ist. Damit festigt sich unsere Annahme, dass das Erhöhen des Informationsgehaltes bis zu einem bestimmten Wert sich signifikant auswirkt und sobald dieser Schwellenwert erreicht ist, nur noch minimale Auswirkungen hat, welche sich sogar negativ auswirken können.

Empfundene Sicherheit [24]

Die NPAV ergab einen signifikanten Interaktionseffekt vom Informationsgehalt und dem Vorhandensein einer Sehbehinderung auf die empfundene Sicherheit ($F=2664.35$, $p=0.017$). Wir können in Abbildung 4.3 sehen, dass in Condition 1 mit dem niedrigsten Informationsgehalt die empfundene Sicherheit der SB Probanden niedriger ist als die der NSB Probanden. Die empfundene Sicherheit steigt bei beiden Gruppen mit mittlerem Informationsgehalt in Condition 2 an, allerdings bei der SB Gruppe viel stärker und übertrifft damit sogar die empfundene Sicherheit der NSB Gruppe. Zu Condition 3 mit dem höchsten Informationsgehalt nimmt die empfundene Sicherheit bei beiden Gruppen wieder etwas ab und liegt dann sowohl bei der NSB als auch der SB Gruppe auf etwa dem gleichen Niveau. Dies zeigt uns, dass bei sehbehinderten Personen die empfundene Sicherheit erheblich mehr durch den Informationsgehalt beeinflusst werden kann als bei normal sehenden Personen und dass die empfundene Sicherheit bei richtigem Informationsgehalt, hier bei sehbehinderten Personen sogar höher sein kann als bei normal sehenden Personen. Dies lässt sich vermutlich darauf zurückführen, dass normal sehende Personen sich mehr auf ihre visuellen Sinne verlassen, um sich sicher zu fühlen, als auf die vom Fahrzeug zur Verfügung gestellten Informationen. Allerdings steigt auch bei der NSB Gruppe das Vertrauen von Condition 1 mit dem niedrigsten Informationsgehalt auf 2 mit mittlerem Informationsgehalt an, somit zeigt sich hier auch, dass ein gewisses Niveau an Informationen hilfreich ist. Vermutlich werden hier die Informationen allerdings von den 2 Gruppen unterschiedlich genutzt. Bei der SB Gruppe dienen die vom Fahrzeug zur Verfügung gestellten Informationen als Hauptinformationsquelle, da das Erhalten von visuellen Informationen durch einen Blick aus dem Fenster eher schwierig bis unmöglich ist. Bei der NSB Gruppe hingegen werden die Informationen vermutlich eher als Bestätigung, dass das Fahrzeug ebenfalls erkannt hat, was man selbst schon durch einen Blick aus dem Fenster wahrgenommen hat, verwendet. Generell können wir hier wieder sehen, dass ein gewisses Grundniveau an Informationen hilfreich ist, die Effekte von Informationen darüber hinaus aber minimal positiv oder sogar negativ sein können.

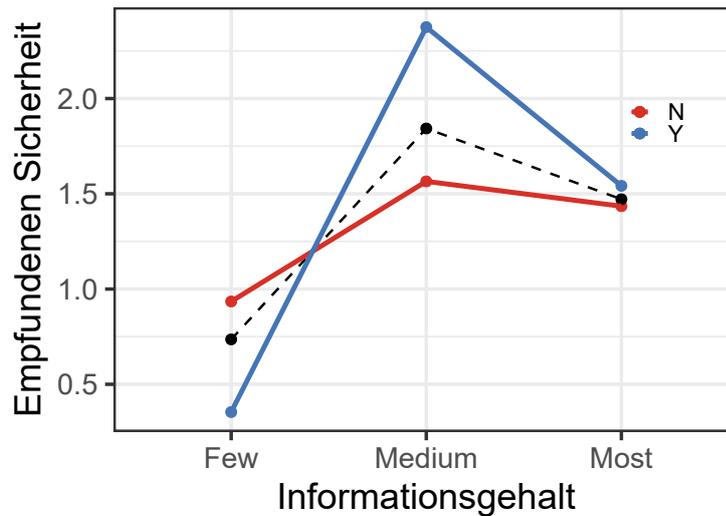


Abbildung 4.3.: N in Rot ist hier die Gruppe der nicht sehbehinderten (NSB), Y in Blau ist die Gruppe der Sehbehinderten (SB), wir können hier signifikante Unterschiede zwischen den zwei Gruppen erkennen.

Situation Awareness Rating Technique (SART) [57]

Es wurde mit der NPAV ein statistisch signifikanter Haupteffekt für den Informationsgehalt gefunden ($p=0.014$). Die post-hoc Tests, für welche der Dunn Test verwendet wurde, zeigten allerdings, dass dies nicht signifikant war. Bei der Auswertung nach den einzelnen Unterarten ergaben sich bei den Anforderungen an die Aufmerksamkeitsressourcen (Demand) ($p=0.756$) und dem Angebot an Aufmerksamkeitsressourcen (Supply) ($p=0.586$) keine signifikanten Effekte. Bei dem Verständnis der Situation (Understanding) zeigte sich aber ein signifikanter Haupteffekt ($p=0.161$). So konnte mithilfe des Dunn Tests festgestellt werden, dass das Verständnis der Situation mit zunehmendem Informationsgehalt auch zunahm.

Waren alle relevanten Informationen vorhanden?

Die NPAV ergab einen signifikanten Haupteffekt von dem Informationsgehalt auf das Vorhandensein aller relevanten Informationen ($F=26612.80$, $p<0.001$). Wie zu erwarten war, zeigte sich ein signifikanter Anstieg der Zustimmung, dass alle relevanten Informationen vorhanden seien, von Condition 1 mit niedrigem Informationsgehalt ($M=2.97$, $SD=1.54$) auf Condition 2 mit mittlerem Informationsgehalt ($M=4.20$, $SD=0.90$), allerdings blieb der Wert von Condition 2 zu Condition 3 mit dem höchsten Informationsgehalt ($M=4.2$, $SD=0.93$) gleich, was zeigt, dass die Probanden nach Erreichen eines gewissen Infor-

4. STUDIEN

mationsgehalts die vorhandenen Informationen als suffizient betrachten.

Abschließende Fragen

Bei den abschließenden Fragen stimmten die Probanden der Aussage, dass die bereitgestellten Informationen angemessen seien, auf einer 7-Punkt Likert Skala eher zu ($M=5.66$, $SD=1.37$), auch waren sie eher ($M=5.74$, $SD=1.17$) der Meinung, dass die Informationen notwendig seien. Die Probanden waren überwiegend ($M=5.97$, $SD=1.18$) der Meinung, dass sie die von unserem Informationssystem bereitgestellten Informationen nutzen würden. Die Nützlichkeit der einzelnen Informationskategorien wurde von den Probanden auf einer 5-Punkt Likert Skala (1 = Überhaupt nicht nützlich, 5 = Äußerst nützlich) wie folgt bewertet. Die Informationen zur Fahrt wurden mit leichten Schwankungen überwiegend positiv aufgefasst, genauer wurden die Informationen zum Fahrtbeginn/ende als nützlich ($M=4.37$, $SD=0.91$) eingeschätzt, die fahrtbezogenen Informationen wie z.B. abbiegen oder durchfahren eines Kreisverkehrs ebenfalls als nützlich ($M=4.11$, $SD=1.21$), Informationen zu querenden Fußgängern auch als nützlich mit Tendenz zu sehr nützlich ($M=4.46$, $SD=0.74$), Routeninformationen wie z.B. der aktuelle Abschnitt ebenfalls als nützlich ($M=4.23$, $SD=1.03$) und Informationen über unerwartete Ereignisse wie z.B. ein Unfall oder eine Baustelle auch als nützlich mit Tendenz zu sehr nützlich ($M=4.43$, $SD=0.85$). Informationen zur Umgebung wurden allgemein als wenig nützlich empfunden, genauer die Informationen zu Sehenswürdigkeiten wie z.B. die Statuen als leicht nützlich ($M=3.69$, $SD=1.16$) und die Informationen zur Umgebung wie z.B. Mülleimer auf der rechten Seite auch als leicht nützlich ($M=3.66$, $SD=1.39$). Die einzelnen Informationssysteme des Fahrzeugs wurden auf einer 5-Punkt Likert Skala von sehr schlecht bis sehr gut, überwiegend als gut eingeschätzt, wobei das farbige Licht am schlechtesten bewertet wurde mit ($M=3.86$, $SD=1.03$), die auf dem Armaturenbrett angezeigte Informationen mit ($M=4.06$, $SD=0.87$), die Audio Signale mit ($M=4.17$, $SD=0.95$) und das sprach Feedback mit ($M=4.09$, $SD=1.07$).

4.2. Expertenstudie zur Sehbehinderungs-Simulation

4.2.1. Ablauf

Die Expertenstudie wurde vor Ort an der Universität Ulm mittels einer VR-Brille durchgeführt. Die Fragebögen wurden mit LimeSurvey [55] erstellt. Zu Beginn wurden die Probanden begrüßt und über die groben Ziele der Studie und den Ablauf informiert, auch wurde den Probanden hier mitgeteilt, dass sie die Studie jederzeit ohne Angabe von Gründen abbrechen können. Dann sollten die Probanden die Einwilligungserklä-

4.2. EXPERTENSTUDIE ZUR SEHBEHINDERUNGS-SIMULATION

rungen in Papierform und einen demografischen Fragebogen an einem bereitgestellten Computer ausfüllen. Die Probanden wurden danach über die Funktionen des virtuellen Fahrzeugs, wie Armaturenbrett Funktionen und Signaltöne informiert. Im Anschluss wurde den Probanden ein Stuhl zugewiesen und eine VR-Brille gereicht. Den Probanden wurde erklärt, wie sie die VR-Brille an ihre Kopfform anpassen und den Augenabstand in der VR-Brille einstellen können, um eine optimale Erfahrung zu erreichen. Den Probanden wurde mitgeteilt, dass sie bei Übelkeit oder sonstigen Beschwerden die VR-Brille jederzeit abnehmen können. Nun folgten zwei Durchgänge mit Condition 2 aus Tabelle 4.1, die hier randomisiert in 2 eigene Conditions aufgeteilt wurden. Condition A ohne Sehbehinderungs-Simulation und Condition B mit Sehbehinderungs-Simulation. Nach jedem Durchgang wurden die Probanden gebeten denselben Fragebogen 4.1.2 wie in der Online Studie auszufüllen. Nach den zwei Durchgängen wurden den Probanden in einem persönlichen Gespräch weitere Fragen gestellt und dieses Gespräch mit deren Einwilligung aufgezeichnet. In dem Gespräch wurden folgende Fragen gestellt:

- Wie war die Situation im Allgemeinen für sie und wie haben sie die Unterschiede wahrgenommen?
- War die Sehbehinderung, in etwa so, wie sie sich eine Sehbehinderung vorgestellt hätten?
- Wäre so ein Tool für sie im Entwicklungsprozess für Fahrzeuge sinnvoll?
- Wie würden sie ihre Designs anpassen?
- Wie würde ein Sehbehinderungs-Simulations-Tool in den Entwicklungsprozess passen?
- Was wären ihrer Meinung nach, die Anforderungen für so ein Tool?

Nach diesem Gespräch wurden den Probanden, wenn gewünscht, noch aufgetretene Fragen beantwortet. Am Ende wurden die Probanden für ihre Zeit entlohnt und verabschiedet. Die Studie dauerte jeweils ca. 45 Minuten, für die die Teilnehmer 7 Euro erhielten.

4.2.2. Teilnehmer

An der Studie nahmen $N=4$ Teilnehmer teil, wovon 1 Weiblich und 3 Männlich waren. Das Durchschnittsalter der Teilnehmer betrug $M=26.50$ Jahre (Bereich = 25 bis 28, $SD=1.29$). Die Teilnehmer gaben als ihren höchsten Schulabschluss alle einen Studienabschluss an. Alle Probanden sind im Bereich Fahrzeuge und/oder autonomes Fahren beschäftigt, davon einer als Doktorand in einem großen Automobilkonzern und 3 in der Forschung an der Universität Ulm. Die Teilnehmer beschäftigen sich in ihrer Forschung hauptsächlich mit Nutzer-Fahrzeug-Interaktion, Fahrzeug Interfaces und UI/UX Design. Die Probanden gaben auch auf einer 5-Stufen Likert Skala an, dass sie sich für autonomes Fahren

4. STUDIEN

interessieren würden ($M=4.75$, $SD=0.5$), auch gaben sie an, dass sie der Meinung sind, dass autonomes Fahren ihr Leben einfacher machen würde ($M=4.75$, $SD=0.5$). Auch der Aussage, dass autonomes Fahren in den nächsten 10 Jahren zur Realität werden könnte, wurde eher zugestimmt ($M=4.00$, $SD=0.82$).

4.2.3. Ergebnisse

Mentale Belastung (TLX) [48]

Bei der mentalen Belastung zeigten sich mit dem Student's t-test, vermutlich aufgrund der geringen Teilnehmerzahl, keine signifikanten Effekte ($p=0.141$).

Vertrauen in Automatisierung (TiA) [38]

Auch beim Vertrauen in Automation zeigten sich mit dem Wilcoxon-Vorzeichen-Rang-Test keine signifikanten Effekte ($p=0.371$). Die Unterschiede zwischen Condition A ($M=4.25$ ohne Sehbehinderungs-Simulation, $SD=0.65$) und Condition B ($M=4.75$ mit Sehbehinderungs-Simulation, $SD=0.5$) vielen hier gering aus.

User Experience Questionnaire Short (UEQ-S) [62]

Ebenfalls zeigten sich bei der pragmatischen Qualität ($p=0.291$) und der hedonischen Qualität ($p=0.327$) keine signifikanten Effekte. Dafür wurde der Student's t-test verwendet.

Empfundene Sicherheit [24]

Nur bei der empfundenen Sicherheit zeigten sich unter Verwendung des Student's t-test ein signifikanter Effekt ($p=0.050$). Sobald die normal sehenden Probanden mit der Simulation der Sehbehinderung in Condition B konfrontiert wurden, fiel die empfundene Sicherheit stark ab, wie hier in Abbildung 4.4 zu sehen ist. Daran können wir sehen, dass Situationen, die bei normaler Sicht als sicher empfunden werden, bei schweren visuellen Einschränkungen schon herausfordernde Situationen darstellen können, in welchen man sich nicht sicher fühlt. Daraus ergibt sich, dass es wichtig ist, Systeme zu entwickeln, um das Sicherheitsgefühl von solchen Personen anzuheben, um mindestens auf das Level von Personen ohne diese Einschränkungen zu kommen.

Situation Awareness Rating Technique (SART) [57]

Die Auswertung des SART mit dem Student's t-test ergab keine signifikanten Effekte ($p=0.964$). Auch bei der Auswertung nach den einzelnen Unterarten Anforderungen an die Aufmerksamkeitsressourcen (Demand) ($p=0.756$), das Angebot an Aufmerksamkeitsressourcen (Supply) ($p=0.586$) und das Verständnis der Situation (Understanding) ($p=0.161$) ergaben sich keine signifikanten Effekte.

4.2. EXPERTENSTUDIE ZUR SEHBEHINDERUNGS-SIMULATION

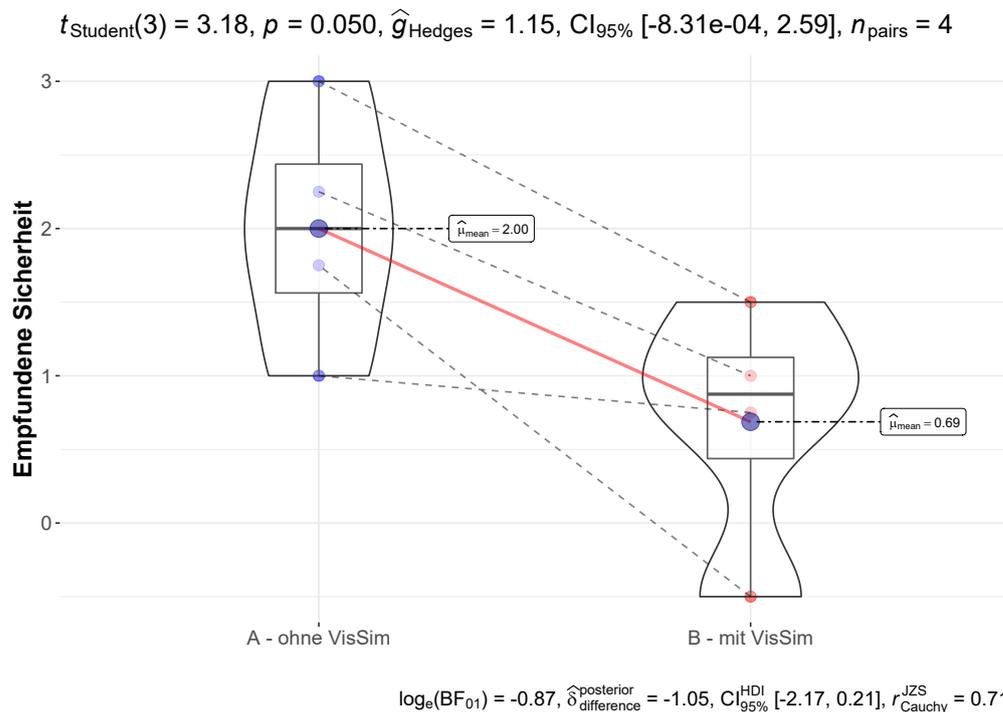


Abbildung 4.4.: Hier kann ein signifikanter Abfall der empfundenen Sicherheit zwischen der Condition ohne Sehbehinderungs-Simulation und mit Sehbehinderungs-Simulation erkannt werden.

Waren alle relevanten Informationen vorhanden?

Bei dem Vorhandensein aller relevanten Informationen konnte hier, wie zu erwarten war, da sich nichts an den vorhandenen Informationen änderte, kein signifikanter Effekt festgestellt werden.

Ergebnisse der Gespräche

Bei den nach den Conditions und Fragebögen durchgeführten Gesprächen ergaben sich die folgenden Erkenntnisse. Zu der ersten Frage, wie die Situation im Allgemeinen für die Probanden war und wie sie die Unterschiede wahrgenommen haben, gab es einige interessante Aussagen. Es wurde angemerkt, dass in Condition A ohne Sehbehinderungs-Simulation das Sprachfeedback teilweise als überflüssig, sogar nervig empfunden wurde, weil die Informationen auch anderweitig, durch Sicht oder der Textanzeige auf dem Armaturenbrett, erhältlich waren.

Proband 1: „Also ich muss sagen bei der Ersten haben mich die Sprachansagen eher genervt, weil ich da die Infos nicht brauchte, wenn ich die wollte wurden sie schriftlich dargestellt. Sobald ich in der 2. Situation war

4. STUDIEN

wusste ich, aber ok, das ist auf jeden Fall ein Mehrwert, falls man eine Sehbehinderung hat, weil man nichts mehr dergleichen lesen konnte.“

Auch wurde angemerkt, dass die Signaltöne nicht so gut differenzierbar waren und allgemein sehr viele Informationen vorhanden sind, wodurch es schwer war sich auf alle zu konzentrieren. Dies lässt darauf schließen, dass hier durch die Redundanz mancher Informationen und die Angabe von Informationen, die auch durch einen Blick aus dem Fahrzeug erhältlich waren, schon eine Art Informations-Overload vorlag. Auch wurde angemerkt, dass das Lichtsystem kaum wahrgenommen wurde. Zu Condition B mit Sehbehinderungs-Simulation wurde angemerkt, dass das Sprachfeedback einen hohen Mehrwert hatte, da Informationen auf dem Armaturenbrett nicht mehr lesbar waren und das einzige, was darauf noch zu erkennen war, die Icons sind und dies auch nur unter Anstrengung. Auch wurden die Signaltöne und das Lichtsystem viel aktiver wahrgenommen als in Condition A und somit hier als sehr hilfreich eingeschätzt. Das räumliche Audio der Signaltöne wurde in Condition B auch von

Proband 4: „Die Töne waren gut, [...] die Richtung bei rechts links fand ich ok [...] das hat man dann schon gut kapiert ...“

positiv erwähnt. Generell wurde ausgesagt, dass eine viel höhere Abhängigkeit von den vom Fahrzeug zur Verfügung gestellten Informationen bestünde und auch ein höheres Vertrauen in die Automation durch die erhöhte Abhängigkeit davon.

Auf die Frage, ob die Simulation der Sehbehinderung so wäre, wie sich die Probanden die Sicht einer sehbehinderten Person vorgestellt hätten, erhielten wir unterschiedliche Antworten, da manche Probanden sich in ihrer Forschung schon einmal mit diesem Thema beschäftigt hatten. Im Allgemeinen wurde ausgesagt, dass trotzdem Wissen über mögliche Symptome, die tatsächliche Sicht schwer vorstellbar ist, wobei die Symptome des Katarakts, dem unscharfen milchigen Sehen, eher vorstellbar waren als der Blinde Fleck der Makula Degeneration. Diese wurde anders und teilweise heftiger als erwartet aufgenommen. Auch wurde erwähnt, dass es für die Probanden unerwartet war, dass sie versuchten, die Einschränkungen zu umgehen, während sie bei der Makula Degeneration an dem, was sie sehen wollten, vorbeischaute, um es mehr in der Peripherie zu sehen, wo die Sicht besser war, wie hier erwähnt

Proband 3: „Was ich ziemlich Interessant fand, was ich so jetzt nicht erwartet hätte, ist das man versucht das zu umgehen, also wenn man einen bestimmten Punkt sehen möchte versucht den Punkt daneben zu fokussieren um zu versuchen aus der peripheren Sicht noch etwas zu erkennen und das führt meiner Meinung nach zu starken Sakkaden ...“

4.2. EXPERTENSTUDIE ZUR SEHBEHINDERUNGS-SIMULATION

Ein Sehbehinderungs-Simulations-Tool wurde von den Probanden generell als sehr sinnvoll eingeschätzt. So waren sie der Meinung, dass allein die einmalige Benutzung eines solchen Tools, sowohl Designer als auch die Managementebene, bezüglich sehbehinderter Menschen, sensibilisieren kann. Auch wurde angemerkt, dass durch die Nutzung eines solchen Tools den Designern ermöglicht wird, ihr eigenes System im Hinblick auf sehbehinderte Menschen besser zu verstehen. Dies wurde auch nochmal durch die Aussage von

Proband 4: „Man kann sich zwar gewisse Dinge vorstellen, aber [...] man muss es trotzdem einmal selber erlebt haben“

unterteilt. Hier weist er darauf hin, dass es etwas ganz anderes ist, sich eine solche Behinderung vorzustellen und die Symptome selber zu erleben. Weiter wurde angemerkt, dass ein solches Tool, auch zu Problemen führen könnte, wenn durch die Benutzung, die Evaluation durch tatsächlich betroffene Personen unwichtiger erscheint und eher in den Hintergrund rückt. Auch wurde angemerkt, dass nur ein kleiner Teil der tatsächlichen Kunden von Sehbehinderungen betroffen sind, momentan sogar fast keine, da Personen mit schweren Sehbehinderungen nicht in der Lage sind ein Fahrzeug zu führen. Dies kann ein solches Tool aus Unternehmenssicht eher störend und hinderlich erscheinen lassen.

Die Experten waren nach ihrer Erfahrung mit der Sehbehinderungs-Simulation der Meinung, dass Anpassungen an ihren Designs sinnvoll wären. Spontane Änderungsideen der Designer fielen wie folgt aus. Es wurde erwähnt, dass vorhandene Funktionen gut genutzt werden und gut auf die Bedürfnisse von sehbehinderten Personen angepasst werden können und dann bei Bedarf mittels einer Einstellung aktiviert werden können.

Proband 1: „In modernen Fahrzeugen hat man das ja schon, man hat schon variables Ambient Light, was sich dynamisch auf Situationen verändern kann und schon auf Fahrsituationen reagiert und dann die Farbe verändert und Rot blinkt oder so, das heißt man könnte das sehr gut Softwareseitig implementieren. [...] Wenn das Auto die Semantik hat über die aktuelle Situation, ist das heutzutage ein Leichtes, wenn das als Text vorliegt, das über Text-to-Speech als Sprachausgabe über den Sprachassistenten auszugeben.“

Auch waren die Probanden der Meinung, dass Systeme wie das Fahrzeug UI gar nicht groß verändert werden müssen, bzw. sie es erstmal gleich lassen würden und nur um zusätzliche Funktionen erweitern würden oder für die Benutzung mittels Talk-Back Funktionen optimieren, damit es auch ohne Sicht funktioniert. Von mehreren Probanden wurde die Wichtigkeit der Informationsredundanz erwähnt, wie hier von

4. STUDIEN

Proband 2: „Also das wichtigste, was mir aufgefallen ist, ist, dass man die Informations-Redundanz schafft, also sich nicht nur darauf verlässt, dass ein Display eine Information anzeigt, sondern immer die Möglichkeit bietet, dass noch ein auditives Feedback da passiert, viel mehr, mit diesem Ambilight da links und rechts arbeiten, [...] und sich nicht auf das nötigste beschränken [...] und das man eine Möglichkeit reinbringt das man Sachen auch ausführlich beschreibt für Menschen die Informationen nicht visuell aufnehmen können“

oder von

Proband 3: „Was ich da jetzt Mitnahme ist, das ganze so gut wie es geht Multimodal zu machen, ...“

Auch wurde erwähnt, dass es hilfreich sein kann, sich nicht nur auf ein zentrales Informationssystem in der Mitte des Fahrzeugs zu konzentrieren, sondern auch versucht, die Informationen peripher darzustellen, was bei manchen Krankheiten, wie hier in unserer Simulation der Makula Degeneration, hilfreich sein kann.

Zum Thema, ob und wann so ein Sehbehinderungs-Simulations-Tool in den Entwicklungsprozess passen könnte, sagte

Proband 3: „Erstmal ganz am Anfang, dass man sieht, was für Auswirkungen das Ganze hat und dann nochmal am Ende zur Evaluierung“

Auch der Rest der Probanden sah das Tool eher am Anfang und am Ende des Entwicklungsprozesses um erst einmal ein Grundbewusstsein für die Einschränkungen zu schaffen und dann mithilfe der Simulation die entstandenen Prototypen zu evaluieren. Allerdings waren die Probanden nicht der Meinung, dass die Simulation in jedem Entwicklungsschritt beachtet werden sollte, da dies den Entwicklungsprozess verlangsamen würde. Die Probanden waren sich aber einig, dass bei der finalen Abnahme und Evaluation des Systems die Simulation eine Rolle spielen sollte und bei festgestellten Problemen damit nochmal im Prozess zurückgegangen werden und das System auf die aufgefallenen Probleme angepasst werden sollte. Auch wurde erwähnt, dass in der aktuellen Entwicklung so ein System eine untergeordnete Rolle spielen würde und eher bei zukünftigen Entwicklungen im Hinblick auf vollständig autonome Fahrzeuge Beachtung finden würde.

Zu den Anforderungen an ein solches Tool waren sich die Probanden allesamt einig darin, dass es sehr einfach zu bedienen sein muss, um den Entwicklungsprozess nicht zu behindern. Das Tool muss in der Lage sein On-Top von anderen Anwendungen zu laufen und bei Bedarf einfach einzubauen sein, um eine hohe Akzeptanz bei den

4.2. EXPERTENSTUDIE ZUR SEHBEHINDERUNGS-SIMULATION

Fahrzeugherstellern zu gewährleisten und keinen großen zusätzlichen Aufwand zu schaffen. Dies untermauert auch die Aussage von

Proband 2: „... das kein Chef ne Ausrede hat zu sagen ne das ist langsam und teuer, genau wie man im Browser zwischen Mobil und Desktop Webseiten wechseln kann, um sich das anzuschauen, genau so das auch mit reinbringen.“

Die Aussage von

Proband 1: „Bei den Automobilherstellern wird ja auch mit VR gearbeitet, um sich Designs mal vorzustellen und sich mal reinzusetzen etc.“

zeigt das VR schon mal eine gute Richtung für so ein Tool ist, und dieses dann einfach in die VR Anwendung mit eingebaut werden kann. Außerdem waren die Probanden der Meinung, dass das Tool eine hohe Konfigurierbarkeit bieten muss, um unterschiedlichste Symptome und Krankheiten nach Bedarf spontan einstellen zu können. Des Weiteren sollte das Tool aber auch eine große Sammlung an Vorlagen beinhalten, die einfach ein und ausgeschaltet werden können, um eine schnelle und simple Verwendung zu ermöglichen.

Zum Abschluss gab es noch eine Anmerkung von

Proband 1: „Beeindruckend zu sehen, dass die für normal sehende Personen überflüssigen Funktionen für sehbehinderte Leute essenziell sind und einen Riesen-Mehrwert bringen.“

die wiederum zeigt das, auch wenn sich Entwickler zwar Gedanken zur Barrierefreiheit ihrer Systeme machen, ihr Denken doch auf ihren "normalen" Alltag ausgelegt ist und durch ein solches Sehbehinderungs-Simulations-Tool ein gutes Bewusstsein bei Personen in der Branche geschaffen werden kann, um in Zukunft die Entwicklung inklusiver Systeme eher zu gewährleisten.

5. Diskussion

Anhand der gesammelten Daten schauen wir uns nun an, wie wir unsere Forschungsfragen mit den erzielten Ergebnissen beantworten können. Ebenfalls geben wir an in welchen Bereichen noch weitere Forschung benötigt wird und sammeln wichtige Punkte für zukünftige Arbeiten und Systeme zum Thema Informationsbedürfnisse von sehbehinderten und blinden Menschen in autonomen Fahrzeugen. Auch werfen wir einen kritischen Blick auf unsere Experimente und Evaluierungsmethoden, um eventuelle Fehlerquellen zu identifizieren. Am Ende schauen wir uns noch die aktuelle Gesetzeslage in Deutschland an, um zu klären, ob sehbehinderte und blinde Menschen zurzeit überhaupt ein autonomes Fahrzeug führen dürfen.

5.1. Informationen in Autonomen Fahrzeugen

Informationen in vollständig autonomen Fahrzeugen und die Übermittlung dieser spielt eine große Rolle für die empfundene Sicherheit und das Vertrauen potenzieller Nutzer [37, 22, 18, 19]. Dies gilt sowohl für sehende als auch sehbehinderte Personen wie Abbildung 4.2 und Abbildung 4.3 zeigen. Allerdings sind die Möglichkeiten dieser Gruppen die Informationen zu erhalten schon sehr unterschiedlich. So kann ein normal sehender Mensch schon alleine durch einen Blick aus dem Fenster des Fahrzeugs sehr viele Informationen zur aktuellen Situation und stattfindenden Ereignisse erhalten, während ein schwer sehbehinderter oder blinder Mensch dazu nicht in der Lage ist und damit darauf angewiesen ist, die Informationen vom Fahrzeug zu erhalten. Damit ist schon einmal die Art der Informationen eine ganz andere. Da wo eine normal sehende Person vielleicht nur Zusatzinformationen zu gerade stattfindenden Ereignissen benötigt, die sie gesehen hat, muss einem blinden oder schwer sehbehinderten Menschen auch die ganze Situation mitgeteilt werden. Dies liegt daran, dass sie von den Ereignissen eventuell gar nichts mitbekommen oder nur mitbekommen, dass etwas passiert, aber nicht so genau was passiert. Auch unterscheidet sich die Art wie die Informationen mitgeteilt werden können zwischen den zwei Gruppen massiv. Wo für einen normal sehenden Menschen die Darstellung der Informationen in Text- oder Bildform auf dem Armaturenbrett ausreichen können und eine zusätzliche Sprachausgabe störend wahrgenommen werden könnte, ist für eine blinde Person die Sprachausgabe die beste und vielleicht auch einzige Möglichkeit schnell detaillierte Informationen zu der Situation

5. DISKUSSION

zu erhalten, da sie nicht in der Lage ist das Armaturenbrett zu sehen. Dies zeigte sich unter anderem auch in den Ergebnissen von Brewer et al. [9, 10] wo angegeben wurde, dass hauptsächlich sprachbasierte Systeme entwickelt werden sollten. Dies deckt sich mit unseren Erkenntnissen, dass auditive Systeme sehr wichtig sind, allerdings zeigte sich in unserer Arbeit auch, dass visuelle Systeme noch hilfreich sein können und nicht vernachlässigt werden dürfen.

5.1.1. Effekt Des Informationsniveaus Auf Das Befinden Der Fahrzeuginsassen

Entgegen unserer ursprünglichen Annahme, dass mehr Informationen besser wären, und das in allen Aspekten, egal ob wahrgenommene Sicherheit, Vertrauen etc. zeigte sich, dass das Überschreiten einer gewissen Informationsmenge sich im Allgemeinen sogar wieder negativ auf Aspekte wie Vertrauen oder pragmatische Qualität auswirkt, siehe Abbildung 4.2, allerdings ist das Vorhandensein von Informationen im Gegensatz zu fehlenden Informationen positiv zu bewerten. Es zeigte sich, dass eine gewisse Menge an Informationen sich auf alle Aspekte positiv auswirkt, aber sobald dieses Grundbedürfnis an Informationen der Fahrzeuginsassen erfüllt ist, keine Verbesserung mehr eintritt. Dies zeigt sich auch in der Arbeit von Brinkley et al. [12] wo die sehbehinderten Probanden wünsche zur Erfüllung des Bedarfs des Situationsbewusstseins und Umgebungsbewusstseins äußerten. Damit wurde bewiesen, dass die Effekte, die durch das Hinzufügen von mehr Informationen erreicht werden, nicht mit den hinzugefügten Informationen skalieren. Dies geht vermutlich darauf zurück das ab einem gewissen Punkt die in der Arbeit von Brinkley et al. [12] erwähnten Bedürfnisse erfüllt sind. Es muss allerdings noch in weiteren Experimenten versucht werden in Erfahrung zu bringen, was genau diese suffiziente Informationsmenge ist und welche Informationen diese genau enthält. Wir können allerdings generell mitnehmen, dass zu viele Informationen wahrscheinlich immer besser sind als zu wenige Informationen, da sich immer ein positiver Aspekt zwischen Durchgängen mit wenigen bis gar keinen Informationen und denen mit vielen Informationen zeigt.

5.1.2. Unterschiede Bezüglich Informationsbedürfnissen Anhand Der Sehfähigkeit

Auf den ersten Blick erscheinen die Unterschiede zwischen normal sehenden und sehbehinderten oder blinden Menschen trivial. Es besteht die Gefahr, dass man annehmen könnte, dass man für blinde und sehbehinderte Menschen einfach auf alle visuellen Systeme verzichten kann und alles auf auditive oder haptische Systeme umstellen muss, aber dies ist nicht der Fall. Da, wie in dieser Arbeit beschrieben, sehr viele Abstufungen

von Sehbehinderungen oder Blindheit existieren, kann es durchaus noch Sinn ergeben, angepasste visuelle Systeme zu verwenden, die den Richtlinien für barrierefreie Software [23] entsprechen. Allgemein lässt sich für die Unterschiede zwischen normal sehenden und sehbehinderten oder blinden Menschen in autonomen oder generell Fahrzeugen allerdings festhalten, dass die Möglichkeiten, Informationen von außerhalb des Fahrzeugs zu erhalten, eingeschränkt bis gar nicht vorhanden sind. Damit ist das Grundniveau an Informationen, die sehbehinderte oder blinde Fahrzeuginsassen haben, generell niedriger und somit dann auch meist das Gefühl von Sicherheit.

5.1.3. Informationsbedürfnisse Sehbehinderter Nutzer Autonomer Fahrzeuge

Die im Laufe dieser Arbeit durchgeführten Experimente zeigten, dass das Hinzufügen von Informationen eine stärkere Auswirkung bei sehbehinderten Menschen hat, wie z.B. in Abbildung 4.3 bei der wahrgenommenen Sicherheit zu sehen. Da ihr Sicherheitsgefühl bei wenig bis keinen Informationen niedriger ist als bei normal sehenden Menschen, siehe Abbildung 4.3, kann daraus vermutlich geschlossen werden, dass das Informationsbedürfnis von Sehbehinderten in autonomen Fahrzeugen größer ist als bei normal sehenden Menschen. Es zeigte sich, dass wenn eine mittlere Informationsmenge übermittelt wurde das Ergebnis am besten war, allerdings muss nun in weiteren Experimenten noch genau ermittelt werden, welche Arten von Informationen und in welcher Kombination diese die größten Effekte erzielen. Damit muss herausgefunden werden, was die spezifischen Informationsbedürfnisse von sehbehinderten Menschen in autonomen Fahrzeugen sind, um in zukünftigen Fahrzeugen eine sinnvolle Entscheidung für Standard Einstellungen und zwingend notwendige Systeme treffen zu können. Unsere Ergebnisse decken sich mit einer Arbeit von Brinkley et al. [14] wo die Teilnehmer angaben, dass autonome Fahrzeuge ein System bieten müssen, was den Fahrzeuginsassen Informationen zur Steigerung des Umgebungsbewusstseins liefert. Dies können wir daran erkennen, dass die Ergebnisse mit sehr wenig bis gar keinen Informationen durchweg schlechter ausfielen, als die aus dem Durchgang, wo diese Informationen kommuniziert wurden.

5.1.4. Übermittlung Von Informationen an Sehbehinderte Oder Blinde Fahrzeuginsassen

Eine weitere wichtige Frage ist, wie die Informationen an sehbehinderte oder blinde Fahrzeuginsassen übermittelt werden können. In dieser Arbeit haben wir nur die visuellen und auditiven Aspekte erkundet, was es also wichtig macht in zukünftigen Forschungen auch ein Augenmerk auf den haptischen Aspekt zu legen, welchen wir

5. DISKUSSION

in dieser Arbeit aufgrund technischer Einschränkungen außer Acht gelassen haben. Dieser wurde allerdings unter anderem in der Arbeit von Brewer und Kameswaran [10] betrachtet, wobei der Fokus auf bekannten Technologien wie aktualisierbaren Braille Displays oder Screenreadern und konzeptuellen Designs wie eingebauten steuerbaren Blindenstöcken lag. Auch wurden in der Vergangenheit schon vibrotaktile Systeme im Sitz oder am Lenkrad von Fahrzeugen verwendet wie die Arbeit von Dagmar und Schmidt [36] zeigt. Diese Systeme, könnten zur Informationsübermittlung an Sehbehinderte oder Blinde in autonomen Fahrzeugen auch genutzt werden, müssen dafür aber noch auf ihre Nützlichkeit in diesem Aspekt überprüft werden. Die von uns hier evaluierten Systeme waren im visuellen Bereich, ein Armaturenbrett-Display welches Zusatzinformationen in Form von großem Text und Icons anzeigte und ein Licht System welches simple Informationen mit farbigen Lichtern darstellte. Im auditiven verwendeten wir ein Sprachfeedbacksystem und Audiosignale zur Informationsübermittlung. Eine der wichtigsten Erkenntnisse bezüglich Informationssystemen in autonomen Fahrzeugen ist, die Informationen redundant zu übermitteln, also nicht nur über eine Ausgabemodalität wie z.B. das Armaturenbrett, sondern immer auch noch über eine zweite wie z.B. mit Sprachfeedback. Es erscheint auch sinnvoll diese Multimodalität auf unterschiedliche Arten der Informationsübermittlung zu verteilen, also die Möglichkeit zu bieten dieselbe Information sowohl visuell, auditiv als auch haptisch darzustellen. In dieser Arbeit stellte sich bei den auditiven Methoden sowohl das Sprachfeedback als auch die räumlichen Audiosignale als hilfreich heraus. Dass Sprachfeedback hilfreich ist, deckt sich mit den Ergebnissen von Brewer et al.[9, 10, 11] wo angegeben wurde, dass hauptsächlich sprachbasierte Systeme verwendet werden sollten. Es kann sinnvoll sein dem Nutzer die Möglichkeit zu geben bei bestimmten Informationen die Wiedergabe zwischen Sprache und Ton umzuschalten, dies muss aber noch weiter untersucht werden, aber es ist generell immer gut dem Nutzer Anpassungsmöglichkeiten zu bieten. Bei den visuellen Übermittlungsmethoden zeigte sich, dass es Sinn ergeben kann, im Fahrzeug eine Einstellungsmöglichkeit zu haben, die die Anzeigen auf dem Armaturenbrett in einer vergrößerten, für leicht sehbehinderte Menschen, besser lesbaren Darstellung anzeigt, damit diese Informationen für diese Personengruppe leichter zugänglich sind. Generell ist es immer sinnvoll, die Informationen zusätzlich auf dem Armaturenbrett anzuzeigen, auch wenn andere Informationsmodalitäten bevorzugt werden, da die Informationen für die betreffende Person entweder sichtbar sind, und dann können sie hilfreich sein, oder eben nicht sichtbar sind, aber dann stören sie auch nicht. Auch zeigte sich die Verwendung vom farbigem Licht zur Übermittlung bestimmter Informationen als nützlich, da dies bei vielen Krankheitsbildern und Symptomen noch eher zu erkennen ist als Text oder Bilder auf einem Display.

5.2. Sehbehinderungssimulations-Tool

5.2.1. Ist Ein Sehbehinderungs-Simulations-Tool Für Die Entwicklung Autonomer Fahrzeuge Sinnvoll?

Generell stellte sich im Verlauf dieser Arbeit heraus, dass ein solches Tool sehr sinnvoll ist. Es kann helfen, Designer, Entwickler und Hersteller von autonomen Fahrzeugen bezüglich der Herausforderungen, vor die sehbehinderte Menschen alltäglich gestellt werden, zu sensibilisieren. Natürlich ist es auch ohne solch ein Tool für normale Menschen möglich sich die Einschränkungen bis zu einem gewissen Grad vorzustellen, aber wie sich gezeigt hat ist es nochmal etwas ganz anderes die Einschränkungen selber zu erleben, als sie sich nur vorzustellen, wie die Expertenbefragungen in Kapitel 4.2.3 zeigten. So kann das Tool den Designern und Entwicklern helfen, sich in die Lage sehbehinderter Menschen hineinzusetzen und ihre Systeme so barrierefreier und inklusiver zu gestalten. Natürlich ist so ein Tool nicht in der Lage, die Evaluation entwickelter Systeme durch betroffene Personen vollkommen zu ersetzen, allerdings kann es den Entwicklungsprozess vereinfachen, wenn gewisse Aspekte von Anfang an im Hinterkopf der Designer sind. Auch hilft es dabei innerhalb kürzester Zeit und sehr günstig sehr viele Symptome und Krankheitsbilder abzudecken und zu überprüfen, was eventuell mit tatsächlich betroffenen Personen so gar nicht möglich wäre. In der aktuellen Fahrzeugentwicklung können diese Aspekte zwar vernachlässigt werden, da Personen mit solch starken visuellen Einschränkungen nicht zur Zielgruppe der Fahrzeughersteller gehören. Allerdings ist es wichtig, dass Fahrzeughersteller mit fortschreitenden Technologien und dem Näherrücken einer Zukunft in der vollständig autonome Fahrzeuge zur Realität werden könnten, diese Nutzergruppen nicht ausschließen, da wie sich gezeigt hat gerade für diese ein enormes Potenzial für mehr Selbstständigkeit im Alltag besteht und ihr Leben mit solchen Technologien enorm verbessert werden könnte [14]. Das es wichtig ist die Belange von Sehbehinderten und Blinden von Anfang an zu berücksichtigen zeigt auch eine Arbeit von Brinkley et al. [14] wo die Teilnehmer angaben, dass sie nicht das Gefühl hätten, dass ihre Bedürfnisse berücksichtigt werden. Dies ging allerdings nicht aus Erfahrungen mit autonomen Fahrzeugen hervor, sondern basiert auf bisherigen Erfahrungen mit anderen Technologien. Um genau dies bei autonomen Fahrzeugen zu vermeiden, kann ein solches Tool eingesetzt werden. Ein guter Anfang für die Entwicklung eines solchen Tools ist die OpenVisSim [35] Unity Bibliothek von Pete R. Jones, die eine große Auswahl an Simulationsmöglichkeiten für Symptome häufiger Augenerkrankungen enthält und aus den Arbeiten von Jones und Ometto und Jones et al. [33, 34] hervorging in welchen die allgemeine Simulation von Sehbehinderungen erforscht wurde. Unter anderem wurde OpenVisSim [35] in der Arbeit von Chow-Wing-Bom et al. [17] zur Simulation von Sehbehinderungen eingesetzt. Allerdings ist OpenVisSim [35] seit dem 17. August 2021 als veraltet markiert und soll durch

5. DISKUSSION

[V]irtual and [A]ugmented [R]eality for [I]nclusive [Design] (VARID) von Pete R. Jones ersetzt werden, welches für Ende 2021 angekündigt ist aber bis zum jetzigen Zeitpunkt noch nicht veröffentlicht wurde¹.

5.2.2. Anforderungen an Ein Sehbehinderungssimulations-Tool

Wie sich in der Expertenbefragung zeigte, muss ein solches Tool einfach zu bedienen sein. Auch muss es ohne großen Zeit- und Kostenaufwand in vorhandene Systeme eingebaut werden können. Die heutzutage verfügbare VR-Hardware bietet dafür allerdings schon sehr gute Möglichkeiten, eine solche Simulation über einer anderen VR-Simulation, wie sie schon im Automobilbereich bei Konzepten eingesetzt wird, laufen zu lassen oder sogar mittels einer VR-Brille eine solche Simulation über die eigentliche Realität zu schalten und somit sogar Hardwareprototypen zu evaluieren. Das Tool sollte eine hohe Konfigurierbarkeit für Sehbehinderungen und Symptome ermöglichen, aber auch eine große Auswahl an Voreinstellungen bieten, um schnelle Evaluierungen zu ermöglichen. Dies sollte problemlos und schnell während der Verwendung des Tools möglich sein. Die von uns in dieser Arbeit verwendete upgedatete Version der OpenVisSim-2020 [1] Bibliothek bietet die Möglichkeit eine Vielzahl an Symptomen in Unity zu simulieren, allerdings müssen diese noch manuell konfiguriert werden, da für das Erstellen vieler akkurater Voreinstellungen die Zeit zu knapp und das Fachwissen im Bereich von Augenerkrankungen zu gering war. Dies sollte bei einer Entwicklung für den Einsatz im Produktionsbetrieb oder einer Kompletversion noch in Zusammenarbeit mit Experten aus dem Bereich Augenerkrankungen erarbeitet werden. Auch ist die Integration in eine vorhandene Unity Anwendung eher kompliziert und kommt noch mit ziemlich hohen Auswirkungen auf die Leistung des Programmes einher, was die Verwendung von sehr leistungsstarker Hardware notwendig macht, um akzeptable Framerates in VR zu erreichen.

5.3. Vor- Und Nachteile Der Studienwahl

Da aufgrund von zeitlichen und technischen Einschränkungen die Durchführung in einem echten (autonomen) Fahrzeug nicht möglich war und auch aufgrund der aktuellen Covid-19 Pandemie eine Durchführung Vor-Ort oder bei Sehbehindertenvereinen schwer bis gar nicht möglich war, haben wir uns für diesen Teil der Arbeit für eine Onlinestudie unter Zuhilfenahme von Videos entschieden. Die Expertenstudie konnte aufgrund der geringen Teilnehmerzahl von vier und dem großen Teil von Probanden aus der Universität Ulm selbst wie geplant vor Ort mittels VR durchgeführt werden.

¹(Stand 26. November 2021) <https://github.com/petejonze/OpenVisSim> Accessed: 26.11.2021

5.4. KÖNNEN SEHBEHINDERTE ODER BLINDE ZURZEIT ÜBERHAUPT EIN FAHRZEUG FÜHREN?

Allerdings lieferten durch diese geringe Teilnehmerzahl unsere Fragebögen kaum signifikante Ergebnisse und so gingen hier die meisten Erkenntnisse aus den durchgeführten persönlichen Gesprächen hervor. Beide in dieser Arbeit durchgeführten Studienarten haben einige Nachteile gegenüber einer Durchführung mit einem echten Fahrzeug, so sind zum einen bei beiden Studien keine physischen Einwirkungen von Außen vorhanden wie sie in einem echten Fahrzeug vorkommen würden, auch ist die externe Validität niedriger. Des Weiteren ist bei der Onlinestudie die Situation des Probanden unklar, daher kann es dazu kommen, dass der Proband während der Studie unkonzentriert ist oder die Studie nur schnell und unachtsam durchführt, um eine Belohnung dafür zu erhalten. Jedoch bieten uns diese Arten der Durchführung auch einige Vorteile, wie z.B. eine leichter kontrollierbare Umgebung während der Fahrt, sodass die Fahrt bei allen Teilnehmern exakt gleich abläuft, was uns wiederum eine höhere interne Validität liefert. Auch erhalten wir bei der Online Studie so leichter eine große Menge an diversen Teilnehmern aus verschiedenen Alters, Bildungs und geografischen Gruppen. Bei der VR Studie haben wir den Vorteil, dass wir unsere Sehbehinderungs-Simulation direkt mit einbauen konnten, was uns so einen simpleren Studienaufbau ermöglichte als ein Aufbau mit VR-Brille in einem Fahrzeug, was je nach benötigter Hardware schwierig bis unmöglich gewesen wäre.

5.4. Können Sehbehinderte Oder Blinde Zurzeit Überhaupt Ein Fahrzeug Führen?

Diese Frage stellt sich natürlich immer wieder, wenn man sich mit den Informationsbedürfnissen dieser Personengruppe auseinandersetzt. Zum aktuellen Zeitpunkt lautet die Antwort, zumindest in Deutschland, leider nein. Dies ist momentan schon alleine durch die Rechtslage ausgeschlossen. Die zeigen wir hier an der rechtlichen Grundlage zum Führen eines Fahrzeugs, an den Gesetzen der Bundesrepublik Deutschland. So benötigt, wer auf öffentlichen Straßen ein Kraftfahrzeug führt, die Erlaubnis (Fahrerlaubnis) der zuständigen Behörde (Fahrerlaubnisbehörde) nach § 2 StVG - Fahrerlaubnis und Führerschein [16], um eine solche Fahrerlaubnis zu erhalten, müssen bestimmte Voraussetzungen erfüllt sein, welche in der Verordnung über die Zulassung von Personen zum Straßenverkehr (FeV) [15] festgehalten sind. In unserem Fall beschreibt § 12 Sehvermögen das mindestens benötigte Sehvermögen als eine Sehschärfe von 0,5 des besseren Auges oder beidäugig, und es existieren noch weitere Einschränkungen. Da Personen ab einer Visus-Kombination im Bereich zwischen 0,4/0,02 und 0,2/0,2 als rechtlich sehbehindert angesehen werden, ist ihnen der Erwerb einer solchen Fahrerlaubnis also nicht möglich. Nun besagt aber Absatz 4 vom § 1a Kraftfahrzeuge mit hoch- oder vollautomatisierter Fahrfunktion des Straßenverkehrsgesetzes (StVG) [16],

5. DISKUSSION

dass derjenige, der eine hoch- oder vollautomatisierte Fahrfunktion im Sinne des Absatzes 2 aktiviert und zur Fahrzeugsteuerung verwendet, auch wenn er im Rahmen der bestimmungsgemäßen Verwendung dieser Funktion das Fahrzeug nicht eigenhändig steuert als Fahrzeugführer gilt und somit eine Fahrerlaubnis benötigt. Damit schließt die aktuelle Gesetzeslage in der Bundesrepublik Deutschland Sehbehinderte oder Blinde vollständig von der Nutzung solcher Systeme aus. Um also eine für alle faire Regelung zu finden und der ohnehin schon benachteiligten Gruppe der sehbehinderten oder blinden Personen das enorme Potenzial, das ihnen vollständiges autonomes Fahren bieten kann, zu ermöglichen, muss zuerst eine Änderung an den Gesetzen stattfinden.

6. Fazit

Ziel dieser Arbeit war es die Informationsbedürfnisse von sehbehinderten oder blinden Personen in autonomen Fahrzeugen herauszufinden und wie diese übermittelt werden können. Des Weiteren wollten wir herausfinden, ob ein Simulationstool, welches die Symptome solcher Personen für die Entwickler und Designer autonomer Fahrzeuge simuliert Sinn ergibt und was die Anforderungen für dieses sind. Um dies herauszufinden, wurden zuerst einmal die Übertragungsmodalitäten, die überhaupt infrage kommen, gesammelt und in dieser Arbeit auf visuell und auditiv eingegrenzt. Danach wurden die Informationen, die in einem vollständig autonomen Fahrzeug zur Verfügung stehen könnten, in 5 unterschiedliche Level aufgeteilt. Um diese Informationen übermitteln zu können wurden sich 4 Wege überlegt, wovon zwei visueller und zwei auditiver Art sind. Jeweils ein auditives und visuelles System wurden darauf konzipiert schnell und unkompliziert simple Informationen zu übermitteln. Zum einen das Licht System welches nur zwischen Start/Stop, erwarteten Aktionen und unerwarteten Aktionen differenziert und die Audiosignale welche mittels kurzer Signaltöne einfache Fahrtaktionen ankündigen können. Die anderen zwei Systeme wurden dafür konzipiert dem Fahrzeuginsassen detailliertere Informationen zu liefern, dies wurde über einen Bildschirm auf dem Armaturenbrett und Sprachfeedback umgesetzt. Um die Systeme und Informationsarten mit unseren begrenzten zeitlichen Mitteln evaluieren zu können wurden diese Systeme und Informationen für eine Studie in 3 Conditions aufgeteilt und mit 35 sowohl sehbehinderten (34%) als auch normal sehenden Probanden (66%) evaluiert. Hierbei zeigte sich wie erwartet, dass mit mehr Informationen und einer höheren Informationsübermittlungs-Redundanz das Befinden der Probanden gesteigert werden konnte. So zeigten sich z.B. beim Vertrauen gemessen mit dem Trust in Automation Questionnaire eine signifikante Steigerung zwischen wenigen und vielen Informationen. Allerdings zeigte sich auch, dass ab einem bestimmten Informationsniveau das Befinden der Probanden nicht weiter durch Hinzufügen von Informationen gesteigert werden konnte und in manchen Fällen zwar nicht signifikant, aber dennoch leicht abnahm, wie beim Beispiel des Vertrauens oder der pragmatischen Qualität. Dies zeigt uns für zukünftige Forschung, dass es wichtig ist, dieses Informationsniveau noch genau zu ermitteln. Auch haben wir herausgefunden, dass sehbehinderte oder blinde Personen vermutlich ein höheres Informationsbedürfnis als normal sehende Personen haben, weil z.B. ihre grundlegende empfundene Sicherheit bei wenig bis gar keinen Informationen

6. FAZIT

erheblich niedriger ist als bei normal sehenden Personen und sich durch das Hinzufügen von Informationen erheblich steigern lässt. Dieser Effekt zeigte sich auch in der Expertenstudie. Dies sollte in zukünftigen Forschungen noch einmal genauer untersucht werden. Bei der Expertenstudie mit 4 Teilnehmern zeigte sich, dass die Experten ein Sehbehinderungs-Simulations-Tool durchweg als sinnvoll erachten, und dass sich bei ihnen schon durch das einmalige Erleben einer Sehbehinderung ein besseres Verständnis für betroffene Personen bildete. Auch zeigten sich schon Ideen für Fahrzeugsysteme wie, dass ein Informationssystem in einem Fahrzeug multimodal gestaltet werden sollte. Abschließend lässt sich sagen, obwohl die Technik und auch die Gesetze noch nicht bereit sind, dass Sehbehinderte und Blinde eigenständig in einem vollständig autonomen Fahrzeug fahren, sollte bei deren Entwicklung auf jeden Fall auf die Bedürfnisse von diesen Personen geachtet werden. Ein Sehbehinderungs-Simulations-Tool für die Entwickler und Designer solcher Systeme wäre schon einmal ein guter Anfang. Wenn vom ersten Entwicklungsschritt an die Inklusion dieser Menschen gedacht wird, können wir eine Zukunft erreichen, in der sehbehinderte und blinde Menschen durch vollständig autonome Fahrzeuge ein Stück Selbstständigkeit im Alltag zurückgewinnen und sich dabei mindestens genauso wohlfühlen wie normale Menschen und diese Technologie ohne ein ungutes Gefühl nutzen können.

A. Anhang

A.1. Kontaktierte Vereine

Verein
Deutschland
Deutscher Blinden- und Sehbehindertenverband e. V.
Badischer Blinden- und Sehbehindertenverein V.m.K.
Blinden- und Sehbehindertenverband Württemberg e. V.
Blinden- und Sehbehindertenverein Südbaden e. V.
Bayerischer Blinden- u. Sehbehindertenbund e.V.
Allgemeiner Blinden- und Sehbehindertenverein Berlin gegr. 1874 e. V.
Blinden-und-Sehbehinderten-Verband Brandenburg e. V.
Blinden- und Sehbehindertenverein Bremen e. V.
Blinden- und Sehbehindertenverein Hamburg e. V.
Blinden- und Sehbehindertenbund in Hessen e. V.
Blinden- und Sehbehinderten-Verein Mecklenburg-Vorpommern e. V.
Blinden- und Sehbehindertenverband Niedersachsen e. V.
Blinden- und Sehbehindertenverband Nordrhein e. V.
Blinden- und Sehbehindertenverein Westfalen e. V.
Landesblinden- und Sehbehindertenverband Rheinland-Pfalz e. V.
Blinden- und Sehbehindertenverein für das Saarland e. V.
Blinden- und Sehbehindertenverband Sachsen e. V.
Blinden- und Sehbehindertenverband Sachsen-Anhalt e. V.
Blinden- und Sehbehindertenverein Schleswig-Holstein e.V.
Blinden- und Sehbehindertenverband Thüringen e. V.
USA
Society for the Blind
Association for the Blind and Visually Impaired Michigan
Association for the Blind and Visually Impaired South Carolina
American Action Fund for Blind Children and Adults
American Council of the Blind
Helen Keller National Center for DeafBlind Youths & Adults
Matilda Ziegler Magazine for the Blind
National Federation of the Blind
Austin Lighthouse for the Blind

Tabelle A.1.: Kontaktierte Vereine für die online Studie

A.2. R-Report

A.2.1. R

Analyses were conducted using the R Statistical language (version 4.1.1; R Core Team, 2021) on Windows 10 x64 (build 18363), using the packages `rstatix` (version 0.7.0; Alboukadel Kassambara, 2021), `RColorBrewer` (version 1.1.2; Erich Neuwirth, 2014), `ggplot2` (version 3.3.5; Wickham. *ggplot2: Elegant Graphics for Data Analysis*. Springer-Verlag New York, 2016.), `stringr` (version 1.4.0; Hadley Wickham, 2019), `forcats` (version 0.5.1; Hadley Wickham, 2021), `tidyr` (version 1.1.4; Hadley Wickham, 2021), `readxl` (version 1.3.1; Hadley Wickham and Jennifer Bryan, 2019), `readr` (version 2.1.0; Hadley Wickham and Jim Hester, 2021), `dplyr` (version 1.0.7; Hadley Wickham et al., 2021), `wesanderson` (version 0.3.6; Karthik Ram and Hadley Wickham, 2018), `pals` (version 1.7; Kevin Wright, 2021), `nparLD` (version 2.1; Kimihiro Noguchi et al., 2012), `tibble` (version 3.1.6; Kirill Müller and Hadley Wickham, 2021), `purrr` (version 0.3.4; Lionel Henry and Hadley Wickham, 2020), `report` (version 0.4.0; Makowski et al., 2020), `clipr` (version 0.7.1; Matthew Lincoln, 2020), `FSA` (version 0.9.1; Ogle, D.J.Doll, Wheeler, and Dinno. 2021. *FSA: Fisheries Stock Analysis*. R package version 0.9.1, [https://github.com/droglenc/FSA.](https://github.com/droglenc/FSA)), `ggstatsplot` (version 0.9.0; Patil, 2021), `psych` (version 2.1.9; Revelle, 2021), `pacman` (version 0.5.1; Rinker et al., 2017), `Cairo` (version 1.5.12.2; Simon Urbanek and Jeffrey Horner, 2020), `PMCMRplus` (version 1.9.3; Thorsten Pohlert, 2021), `MASS` (version 7.3.54; Venables et al., 2002) and `tidyverse` (version 1.3.1; Wickham et al., 2019).

A.2.2. R-References

- Alboukadel Kassambara (2021). *rstatix: Pipe-Friendly Framework for Basic Statistical Tests*. R package version 0.7.0. <https://CRAN.R-project.org/package=rstatix> - Erich Neuwirth (2014). *RColorBrewer: ColorBrewer Palettes*. R package version 1.1-2. <https://CRAN.R-project.org/package=RColorBrewer> - H. Wickham. *ggplot2: Elegant Graphics for Data Analysis*. Springer-Verlag New York, 2016. - Hadley Wickham (2019). *stringr: Simple, Consistent Wrappers for Common String Operations*. R package version 1.4.0. <https://CRAN.R-project.org/package=stringr> - Hadley Wickham (2021). *forcats: Tools for Working with Categorical Variables (Factors)*. R package version 0.5.1. <https://CRAN.R-project.org/package=forcats> - Hadley Wickham (2021). *tidyr: Tidy Messy Data*. R package version 1.1.4. <https://CRAN.R-project.org/package=tidyr> - Hadley Wickham and Jennifer Bryan (2019). *readxl: Read Excel Files*. R package version 1.3.1. <https://CRAN.R-project.org/package=readxl> - Hadley Wickham and Jim Hester (2021). *readr: Read Rectangular Text Data*. R package version 2.1.0. <https://CRAN.R-project.org/package=readr> - Hadley Wickham, Romain François, Lionel

A. ANHANG

Henry and Kirill Müller (2021). dplyr: A Grammar of Data Manipulation. R package version 1.0.7. <https://CRAN.R-project.org/package=dplyr> - Karthik Ram and Hadley Wickham (2018). wesanderson: A Wes Anderson Palette Generator. R package version 0.3.6. <https://CRAN.R-project.org/package=wesanderson> - Kevin Wright (2021). pals: Color Palettes, Colormaps, and Tools to Evaluate Them. R package version 1.7. <https://CRAN.R-project.org/package=pals> - Kimihiro Noguchi, Yulia R. Gel, Edgar Brunner, Frank Konietschke (2012). nparLD: An R Software Package for the Nonparametric Analysis of Longitudinal Data in Factorial Experiments. *Journal of Statistical Software*, 50(12), 1-23. URL <http://www.jstatsoft.org/v50/i12/>. - Kirill Müller and Hadley Wickham (2021). tibble: Simple Data Frames. R package version 3.1.6. <https://CRAN.R-project.org/package=tibble> - Lionel Henry and Hadley Wickham (2020). purrr: Functional Programming Tools. R package version 0.3.4. <https://CRAN.R-project.org/package=purrr> - Makowski, D., Ben-Shachar, M.S., Patil, I. & Lüdecke, D. (2020). Automated Results Reporting as a Practical Tool to Improve Reproducibility and Methodological Best Practices Adoption. CRAN. Available from <https://github.com/easystats/report>. doi: . - Matthew Lincoln (2020). clipr: Read and Write from the System Clipboard. R package version 0.7.1. <https://CRAN.R-project.org/package=clipr> - Ogle, D.H., J.C. Doll, P. Wheeler, and A. Dinno. 2021. FSA: Fisheries Stock Analysis. R package version 0.9.1, <https://github.com/droglenc/FSA>. - Patil, I. (2021). Visualizations with statistical details: The 'ggstatsplot' approach. *Journal of Open Source Software*, 6(61), 3167, doi:10.21105/joss.03167 - R Core Team (2021). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>. - Revelle, W. (2021) psych: Procedures for Personality and Psychological Research, Northwestern University, Evanston, Illinois, USA, <https://CRAN.R-project.org/package=psych> Version = 2.1.9,. - Rinker, T. W. & Kurkiewicz, D. (2017). pacman: Package Management for R. version 0.5.0. Buffalo, New York. <http://github.com/trinker/pacman> - Simon Urbanek and Jeffrey Horner (2020). Cairo: R Graphics Device using Cairo Graphics Library for Creating High-Quality Bitmap (PNG, JPEG, TIFF), Vector (PDF, SVG, PostScript) and Display (X11 and Win32) Output. R package version 1.5-12.2. <https://CRAN.R-project.org/package=Cairo> - Thorsten Pohlert (2021). PMCMRplus: Calculate Pairwise Multiple Comparisons of Mean Rank Sums Extended. R package version 1.9.3. <https://CRAN.R-project.org/package=PMCMRplus> - Venables, W. N. & Ripley, B. D. (2002) *Modern Applied Statistics with S*. Fourth Edition. Springer, New York. ISBN 0-387-95457-0 - Wickham et al., (2019). Welcome to the tidyverse. *Journal of Open Source Software*, 4(43), 1686, <https://doi.org/10.21105/joss.01686>

Abbildungsverzeichnis

2.1. Links: Lichtempfindlichkeit, Rechts: Verschwommenes Sehen, simuliert mit OpenVisSim, A: Normales Bild, C: mit angewendetem Filter, Bilder entnommen aus [33]	7
2.2. Links: normale Sicht, Mitte: Grauer Star/Katarakt, Rechts: Makula Degeneration entnommen aus dem Sehbehinderungs-Simulator des Allgemeinen Blinden- und Sehbehindertenvereins Berlin [3]	8
2.3. Links: Diabetische Retinopathie, Mitte: Grüner Star/Glaukom, Rechts: Retinis Pigmentosa entnommen aus dem Sehbehinderungs-Simulator des Allgemeinen Blinden- und Sehbehindertenvereins Berlin [3]	8
3.1. Route durch die fiktive Stadt Königsberg (in Grün), unerwartete Hindernisse auf der Route (in Rot)	12
3.2. Von links nach rechts: Start, links abbiegen, rechts abbiegen, Kreisverkehr, Ampel, Passant von rechts, Passant von links, Ort, Streckenabschnitt, Baustelle und unerwartetes Hindernis	13
3.3. 1. Farbige Signal Lichter, 2. Informationen auf dem Armaturenbrett dargestellt, mit großen Symbolen und Text, 3. Aktuelle Geschwindigkeit, 4. Uhrzeit, 5. Karte mit Darstellung der Umgebung, 6. Indikator für autonomes Fahren	14
3.4. Beispiel unserer Sehbehinderungs-Simulation mit Katarakt (Nebel) und Makula Degeneration (Zentraler blinder Fleck)	17
3.5. Änderungen an dem Windridge City Asset, von links oben nach rechts unten: Baustelle mit Streckensperrung, Unfallstelle auf der Route, Rastplatz Königsberg	18
3.6. In das Windridge City Asset eingefügte POIs, Links: Albert Einstein Statue, Rechts: Streitross von Königsberg	19
3.7. Auszüge aus dem Windridge City Asset. Zu sehen ist der Stadtbereich und ein Autobahnabschnitt	20
3.8. Links: Das zur Steuerung der Simulationsanwendung erstellte Hauptmenü, Rechts: Debug-Informationsfenster während der laufenden Simulation	21
4.1. N in Rot ist hier die NSB Gruppe, Y in Blau ist die SB Gruppe, wir können hier signifikante Unterschiede zwischen den zwei Gruppen erkennen. .	26

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

4.2. Hier ist ein signifikanter Anstieg des Vertrauens aller Probanden zwischen der Condition mit wenig Informationen und der Condition mit mittleren Informationen zu erkennen. Von der mittleren Condition zu der mit den meisten Informationen ist eine nicht signifikante Abnahme zu erkennen.	27
4.3. N in Rot ist hier die Gruppe der nicht sehbehinderten (NSB), Y in Blau ist die Gruppe der Sehbehinderten (SB), wir können hier signifikante Unterschiede zwischen den zwei Gruppen erkennen.	29
4.4. Hier kann ein signifikanter Abfall der empfundenen Sicherheit zwischen der Condition ohne Sehbehinderungs-Simulation und mit Sehbehinderungs-Simulation erkannt werden.	33

Tabellenverzeichnis

2.1. Gefundene Verwandte Arbeiten zu den 2 Themen Bereichen	10
3.1. Mögliche Informationskategorien	15
3.2. Liste der spezifischen Benachrichtigungen mit Klassifizierung	15
3.3. Mögliche Feedback Arten mit dazugehörigen Stufen	16
4.1. Conditions, pro Condition ca. 5-7 min Fahrt, Informationsart nach 3.3, Informationskategorien nach 3.1	24
A.1. Kontaktierte Vereine für die online Studie	50

Literaturverzeichnis

- [1] AESCHT, Tobias V.: *OpenVisSim-2020: a Unity3D, data-driven sight-loss simulator, for Virtual and Augmented Reality (VR/AR)*. <https://github.com/Tobias-VA/OpenVisSim-2020>. Version: November 2021. – [Online; accessed 07-November-2021]
- [2] AGLOBEX: *Urban Traffic System | Systems | Unity Asset Store*. <https://assetstore.unity.com/packages/templates/systems/urban-traffic-system-89133>. – [Online; accessed 07-November-2021]
- [3] ALLGEMEINEN BLINDEN- UND SEHBEHINDERTENVEREINS BERLIN: *Sehbehinderungs-Simulator | ABSV*. <https://www.absv.de/sehbehinderungs-simulator>. – [Online; accessed 27-Juni-2021]
- [4] ALPHABET INC.: *Google Fonts*. <https://fonts.google.com/>. – [Online; accessed 13-November-2021]
- [5] ALPHABET INC.: *Text-to-Speech: Lebensechte Sprachsynthese*. <https://cloud.google.com/text-to-speech?hl=de>. – [Online; accessed 30-August-2021]
- [6] ANDASOFT: *EasyRoads3D Free v3 | 3D Characters | Unity Asset Store*. <https://assetstore.unity.com/packages/3d/characters/easyroads3d-free-v3-987>. – [Online; accessed 07-November-2021]
- [7] ASSOCIATION FOR COMPUTING MACHINERY: *ACM Digital Library*. <https://dl.acm.org/>. – [Online; accessed 23-November-2021]
- [8] ATES, Halim C. ; FIANNACA, Alexander ; FOLMER, Eelke: Immersive Simulation of Visual Impairments Using a Wearable See-through Display. In: *Proceedings of the Ninth International Conference on Tangible, Embedded, and Embodied Interaction*. New York, NY, USA : Association for Computing Machinery, Januar 2015 (TEI '15). – ISBN 978-1-4503-3305-4, 225–228
- [9] BREWER, R.: *Supporting People with Vision Impairments in Automated Vehicles: Challenge and Opportunities*. <https://deepblue.lib.umich.edu/handle/2027.42/156054>. – [Online; accessed 01-Juni-2021]

LITERATURVERZEICHNIS

- [10] BREWER, Robin N. ; KAMESWARAN, Vaishnav: Understanding the Power of Control in Autonomous Vehicles for People with Vision Impairment. In: *Proceedings of the 20th International ACM SIGACCESS Conference on Computers and Accessibility*. New York, NY, USA : Association for Computing Machinery, Oktober 2018 (ASSETS '18). – ISBN 978–1–4503–5650–3, 185–197
- [11] BREWER, Robin N. ; KAMESWARAN, Vaishnav: Understanding Trust, Transportation, and Accessibility through Ridesharing. Version: Mai 2019. <https://doi.org/10.1145/3290605.3300425>. In: *Proceedings of the 2019 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*. New York, NY, USA : Association for Computing Machinery, Mai 2019. – ISBN 978–1–4503–5970–2, 1–11
- [12] BRINKLEY, Julian ; HUFF, Earl W. ; POSADAS, Briana ; WOODWARD, Julia ; DAILY, Shaundra B. ; GILBERT, Juan E.: Exploring the Needs, Preferences, and Concerns of Persons with Visual Impairments Regarding Autonomous Vehicles. In: *ACM Transactions on Accessible Computing* 13 (2020), April, Nr. 1, 3:1–3:34. <http://dx.doi.org/10.1145/3372280>. – DOI 10.1145/3372280. – ISSN 1936–7228
- [13] BRINKLEY, Julian ; POSADAS, Brianna ; SHERMAN, Imani ; DAILY, Shaundra ; GILBERT, Juan: International Journal of Human-Computer Interaction An Open Road Evaluation of a Self-Driving Vehicle Human-Machine Interface Designed for Visually Impaired Users. In: *International Journal of Human-Computer Interaction* 35 (2019), Januar. <http://dx.doi.org/10.1080/10447318.2018.1561787>. – DOI 10.1080/10447318.2018.1561787
- [14] BRINKLEY, Julian ; POSADAS, Brianna ; WOODWARD, Julia ; GILBERT, Juan E.: Opinions and Preferences of Blind and Low Vision Consumers Regarding Self-Driving Vehicles: Results of Focus Group Discussions. In: *Proceedings of the 19th International ACM SIGACCESS Conference on Computers and Accessibility*. New York, NY, USA : Association for Computing Machinery, Oktober 2017 (ASSETS '17). – ISBN 978–1–4503–4926–0, 290–299
- [15] BUNDESAMT FÜR JUSTIZ DER BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND: *FeV - nichtamtliches Inhaltsverzeichnis*. <https://www.gesetze-im-internet.de/fev%5F2010/>. – [Online; accessed 17-November-2021]
- [16] BUNDESAMT FÜR JUSTIZ DER BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND: *StVG - nichtamtliches Inhaltsverzeichnis*. <https://www.gesetze-im-internet.de/stvg/>. – [Online; accessed 17-November-2021]
- [17] CHOW-WING-BOM, Hugo ; DEKKER, Tessa M. ; JONES, Pete R.: The worse eye revisited: Evaluating the impact of asymmetric peripheral vision loss on everyday

- function. In: *Vision Research* 169 (2020), April, 49–57. <http://dx.doi.org/10.1016/j.visres.2019.10.012>. – DOI 10.1016/j.visres.2019.10.012. – ISSN 0042–6989
- [18] COLLEY, Mark ; BRÄUNER, Christian ; LANZER, Mirjam ; WALCH, Marcel ; BAUMANN, Martin ; RUKZIO, Enrico: Effect of Visualization of Pedestrian Intention Recognition on Trust and Cognitive Load. In: *12th International Conference on Automotive User Interfaces and Interactive Vehicular Applications*. New York, NY, USA : Association for Computing Machinery, 2020 (AutomotiveUI '20). – ISBN 9781450380652, 181–191
- [19] COLLEY, Mark ; EDER, Benjamin ; RIXEN, Jan O. ; RUKZIO, Enrico: Effects of Semantic Segmentation Visualization on Trust, Situation Awareness, and Cognitive Load in Highly Automated Vehicles. (2021). <https://doi.org/10.1145/3411764.3445351>. ISBN 9781450380966
- [20] CREATIVE COMMONS: *Creative Commons — Attribution 4.0 International — CC BY 4.0*. <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/legalcode>. – [Online; accessed 13-November-2021]
- [21] CREATIVE COMMONS: *GNU General Public License, Version 3 - GNU-Projekt - Free Software Foundation*. <https://www.gnu.org/licenses/gpl-3.0.de.html>. – [Online; accessed 07-November-2021]
- [22] DU, Na ; HASPIEL, Jacob ; ZHANG, Qiaoning ; TILBURY, Dawn ; PRADHAN, Anuj K. ; YANG, X. J. ; ROBERT, Lionel P.: Look who's talking now: Implications of AV's explanations on driver's trust, AV preference, anxiety and mental workload. In: *Transportation Research Part C: Emerging Technologies* 104 (2019), 428-442. <http://dx.doi.org/https://doi.org/10.1016/j.trc.2019.05.025>. – DOI <https://doi.org/10.1016/j.trc.2019.05.025>. ISBN 0968–090X. – ID: 271729
- [23] EUROPEAN TELECOMMUNICATIONS STANDARDS INSTITUTE ETSI: *EN 301 549 V3.2.1 (2021-03)*. https://www.etsi.org/deliver/etsi_en/301500_301599/301549/03.02.01_60/en_301549v030201p.pdf. – [Online; accessed 27-November-2021]
- [24] FAAS, Stefanie M. ; MATHIS, Lesley-Ann ; BAUMANN, Martin: External HMI for self-driving vehicles: Which information shall be displayed? In: *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour* 68 (2020), S. 171–186
- [25] FINGER, Robert P. ; FIMMERS, Rolf ; HOLZ, Frank G. ; SCHOLL, Hendrik P. N.: Prevalence and causes of registered blindness in the largest federal state of Germany. In: *The British Journal of Ophthalmology* 95 (2011), August, Nr. 8,

LITERATURVERZEICHNIS

- S. 1061–1067. <http://dx.doi.org/10.1136/bjo.2010.194712>. – DOI 10.1136/bjo.2010.194712. – ISSN 1468–2079
- [26] FINK, Paul D. S. ; HOLZ, Jessica A. ; GIUDICE, Nicholas A.: Fully Autonomous Vehicles for People with Visual Impairment: Policy, Accessibility, and Future Directions. In: *ACM Transactions on Accessible Computing* 14 (2021), August, Nr. 3, 15:1–15:17. <http://dx.doi.org/10.1145/3471934>. – DOI 10.1145/3471934. – ISSN 1936–7228
- [27] GITHUB INC.: *GitHub*. <https://github.com>. – [Online; accessed 07-November-2021]
- [28] GOOGLE IRELAND LIMITED: *Google Scholar*. <https://scholar.google.com/>. – [Online; accessed 23-November-2021]
- [29] HICKEYS: *Guidelines for geofencing apps - UWP applications*. <https://docs.microsoft.com/en-us/windows/uwp/maps-and-location/guidelines-for-geofencing>. – [Online; accessed 14-Juni-2021]
- [30] HTC CORPORATION: *Eye and Facial Tracking SDK - Developer Resources*. <https://developer-express.vive.com/resources/vive-sense/eye-and-facial-tracking-sdk/>. – [Online; accessed 18-November-2021]
- [31] HTC CORPORATION: *VIVE Pro Eye Übersicht | VIVE Deutschland*. <https://www.vive.com/de/product/vive-pro-eye/overview/www.vive.com/de/product/vive-pro-eye/overview/>. – [Online; accessed 07-November-2021]
- [32] JIN, Bei ; AI, Zhuming ; RASMUSSEN, M.: Simulation of Eye Disease in Virtual Reality. In: *2005 IEEE Engineering in Medicine and Biology 27th Annual Conference*, 2005, S. 5128–5131. – ISSN: 1558-4615
- [33] JONES, Pete R. ; OMETTO, Giovanni: Degraded Reality: Using VR/AR to simulate visual impairments. In: *2018 IEEE Workshop on Augmented and Virtual Realities for Good (VAR4Good)*, 2018, S. 1–4
- [34] JONES, Pete R. ; SOMOSKEÖY, Tamás ; CHOW-WING-BOM, Hugo ; CRABB, David P.: Seeing other perspectives: evaluating the use of virtual and augmented reality to simulate visual impairments (OpenVisSim). In: *npj Digital Medicine* 3 (2020), März, Nr. 1, 1–9. <http://dx.doi.org/10.1038/s41746-020-0242-6>. – DOI 10.1038/s41746-020-0242-6. – ISSN 2398–6352

- [35] JONES, Peter: *OpenVisSim*. <https://github.com/petejonze/OpenVisSim>. Version: Januar 2021. – [Online; accessed 12-Mai-2021]
- [36] KERN, Dagmar ; SCHMIDT, Albrecht: Design Space for Driver-Based Automotive User Interfaces. In: *Proceedings of the 1st International Conference on Automotive User Interfaces and Interactive Vehicular Applications*. New York, NY, USA : Association for Computing Machinery, 2009 (AutomotiveUI '09). – ISBN 9781605585710, 3–10
- [37] KOO, Jeamin ; KWAC, Jungsuk ; JU, Wendy ; STEINERT, Martin ; LEIFER, Larry ; NASS, Clifford: Why did my car just do that? Explaining semi-autonomous driving actions to improve driver understanding, trust, and performance. In: *International Journal on Interactive Design and Manufacturing (IJDeM)* 9 (2015), Nr. 4, S. 269–275
- [38] KÖRBER, Moritz: *Trust in Automation Questionnaire (TiA)*. <https://github.com/moritzkoerber/TiA%5FTrust%5Fin%5FAutomation%5FQuestionnaire>. Version: Juni 2021. – [Online; accessed 07-November-2021]
- [39] LEE, Seul C. ; NADRI, Chihab ; SANGHAVI, Harsh ; JEON, Myounghoon: Eliciting User Needs and Design Requirements for User Experience in Fully Automated Vehicles. In: *International Journal of Human–Computer Interaction* (2021), Juni. <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/10447318.2021.1937875>. – ISSN 1044–7318. – Publisher: Taylor & Francis
- [40] LEWIS, James ; BROWN, David ; CRANTON, Wayne ; MASON, Robert: Simulating visual impairments using the Unreal Engine 3 game engine. In: *2011 IEEE 1st International Conference on Serious Games and Applications for Health (SeGAH)*, 2011, S. 1–8
- [41] LYFT INC.: *Lyft*. <https://lyft.com/>. – [Online; accessed 12-Juni-2021]
- [42] LÜPSEN, Haiko: *R-Funktionen zur Varianzanalyse*. <http://www.uni-koeln.de/~luepsen/R/>, 2020. – [Online; accessed 25-SEPTEMBER-2020]
- [43] MERCEDES-BENZ AG: *Der Mercedes-Benz F 015 Luxury in Motion*. <https://www.mercedes-benz.com/de/innovation/autonomous/forschungsfahrzeug-f-015-luxury-in-motion/>. – [Online; accessed 07-November-2021]
- [44] NATURE MANUFACTURE: *Windridge City*. <https://naturemanufacture.com/windridge-city/>. – [Online; accessed 07-November-2021]

LITERATURVERZEICHNIS

- [45] NOTIFICATION SOUNDS: *Ringtones and other free notification sounds*. <https://notificationsounds.com>. – [Online; accessed 13-November-2021]
- [46] PAKUSCH, Christina ; BOSSAUER, Paul ; STEVENS, Gunnar: The Unintended Social Consequences of Driverless Mobility Services: How Will Taxi Drivers and their Customers Be Affected? In: *Proceedings of the 7th International Conference on ICT for Sustainability*. New York, NY, USA : Association for Computing Machinery, Juni 2020 (ICT4S2020). – ISBN 978-1-4503-7595-5, 98–106
- [47] PASCOLINI, Donatella ; MARIOTTI, Silvio P.: Global estimates of visual impairment: 2010. In: *British Journal of Ophthalmology* 96 (2012), Mai, Nr. 5, 614–618. <http://dx.doi.org/10.1136/bjophthalmol-2011-300539>. – DOI 10.1136/bjophthalmol-2011-300539. – ISSN 0007-1161, 1468–2079. – Publisher: BMJ Publishing Group Ltd Section: Global issues
- [48] PHIL SO, NASA: *TLX @ NASA Ames - Home*. <https://humansystems.arc.nasa.gov/groups/tlx/>. – [Online; accessed 07-November-2021]
- [49] PROLIFIC: *Prolific | Online participant recruitment for surveys and market research*. <https://prolific.co/>. – [Online; accessed 07-November-2021]
- [50] RIEK, Laurel D.: Wizard of Oz Studies in HRI: A Systematic Review and New Reporting Guidelines. In: *J. Hum.-Robot Interact.* 1 (2012), jul, Nr. 1, 119–136. <http://dx.doi.org/10.5898/JHRI.1.1.1.Riek>. – DOI 10.5898/JHRI.1.1.1.Riek
- [51] ROBERT KOCH-INSTITUT: GBE-Themenheft Blindheit und Sehbehinderung. (2017). – [Online; accessed 14-Juni-2021]
- [52] ROODHOOFT, J. M. J.: Leading causes of blindness worldwide. In: *Bulletin De La Societe Belge D'ophtalmologie* (2002), Nr. 283, S. 19–25. – ISSN 0081-0746
- [53] RSTUDIO, PBC.: *RStudio | Open source & professional software for data science teams*. <https://rstudio.com>. – [Online; accessed 19-November-2021]
- [54] SAE INTERNATIONAL: *J3016C: Taxonomy and Definitions for Terms Related to Driving Automation Systems for On-Road Motor Vehicles - SAE International*. <https://www.sae.org/standards/content/j3016%5F202104/>. Version: Juni 2021. – [Online; accessed 10-Juni-2021]
- [55] SCHMITZ, Carsten: *Startseite - LimeSurvey - einfache Online-Umfragen*. <https://limesurvey.org/de/>. – [Online; accessed 07-November-2021]
- [56] STOCK, Simon ; ERLER, Christina ; STORK, Wilhelm: Realistic simulation of progressive vision diseases in virtual reality. In: *Proceedings of the 24th ACM*

- Symposium on Virtual Reality Software and Technology*. New York, NY, USA : Association for Computing Machinery, November 2018 (VRST '18). – ISBN 978-1-4503-6086-9, 1-2
- [57] TAYLOR, Richard M.: Situational awareness rating technique (SART): The development of a tool for aircrew systems design. In: *Situational awareness*. Routledge, 2017, S. 111-128
- [58] TESLA GERMANY GMBH: *Autopilot*. <https://www.tesla.com/autopilot>. – [Online; accessed 25-November-2021]
- [59] THE R FOUNDATION: *R: The R Project for Statistical Computing*. <https://www.r-project.org/>. – [Online; accessed 19-November-2021]
- [60] TOBII TECHNOLOGY AB: *Tobii Developer Zone - Eye Tracking SDK downloads, documentation & forum*. <https://developer.tobii.com/>. – [Online; accessed 07-November-2021]
- [61] UBER TECHNOLOGIES INC.: *Uber*. <https://www.uber.com/de/de/>. Version: Juni 2021. – [Online; accessed 12-Juni-2021]
- [62] UEQ TEAM: *User Experience Questionnaire (UEQ)*. <https://www.ueq-online.org/>. – [Online; accessed 07-November-2021]
- [63] UNITY TECHNOLOGIES: *Unity 2020.3.3*. <https://unity3d.com/de/unity/whats-new/2020.3.3>. – [Online; accessed 27-November-2021]
- [64] UNITY TECHNOLOGIES: *Unity Asset Store - The Best Assets for Game Making*. <https://assetstore.unity.com/>. – [Online; accessed 18-November-2021]
- [65] UNITY TECHNOLOGIES: *Unity Real-Time Development Platform | 3D, 2D VR & AR Engine*. <https://unity.com/>. – [Online; accessed 27-November-2021]
- [66] VALVE CORPORATION: *SteamVR Plugin | Integration | Unity Asset Store*. <https://assetstore.unity.com/packages/tools/integration/steamvr-plugin-32647>. – [Online; accessed 18-November-2021]
- [67] VALVE CORPORATION: *ValveSoftware/openvr*. <https://github.com/ValveSoftware/openvr>. Version: November 2021. – [Online; accessed 18-November-2021]
- [68] VINNIKOV, Margarita ; ALLISON, Robert S. ; SWIERAD, Dominik: Real-time simulation of visual defects with gaze-contingent display. In: *Proceedings of the 2008*

LITERATURVERZEICHNIS

symposium on Eye tracking research & applications. New York, NY, USA : Association for Computing Machinery, März 2008 (ETRA '08). – ISBN 978–1–59593–982–1, 127–130

- [69] WANG, Wei ; YAN, William ; FOTIS, Kathy ; PRASAD, Noela M. ; LANSINGH, Van C. ; TAYLOR, Hugh R. ; FINGER, Robert P. ; FACCILOLO, Damian ; HE, Mingguang: Cataract Surgical Rate and Socioeconomics: A Global Study. In: *Investigative Ophthalmology & Visual Science* 57 (2016), November, Nr. 14, 5872–5881. <http://dx.doi.org/10.1167/iovs.16-19894>. – DOI 10.1167/iovs.16-19894. – ISSN 1552–5783. – Publisher: The Association for Research in Vision and Ophthalmology
- [70] WERNER, Annette: New Colours for Autonomous Driving: An Evaluation of Chromaticities for the External Lighting Equipment of Autonomous Vehicles. In: *Colour Turn* (2018), Nr. 1. <http://dx.doi.org/10.25538/tct.v0i1.692>. – DOI 10.25538/tct.v0i1.692. – Number: 1
- [71] WORLD HEALTH ORGANISATION: *WHO | Global data on visual impairment*. <http://www.who.int/blindness/publications/globaldata/en/>. – [Online; accessed 10-Mai-2021]