

1. Einleitung

Autonome Fahrzeuge (AVs) faszinieren durch ihr Potenzial, Verkehr sicherer und nachhaltiger zu gestalten. Besonders spannend sind **Shared Autonomous Vehicles (SAVs)**: gemeinschaftlich genutzte, autonome Fahrzeuge, die Teil des öffentlichen Nahverkehrs sein könnten. Sie versprechen eine bessere Erreichbarkeit für Menschen mit eingeschränktem Zugang zur Mobilität – etwa ältere Personen, Kinder oder Menschen mit Behinderungen.

Doch die Entwicklung solcher Technologien wirft Fragen auf: Wie können SAVs gerecht und inklusiv gestaltet werden, um soziale Ungleichheiten nicht zu verstärken? Meine Dissertation, angesiedelt in der Angewandten Informatik, verfolgt einen partizipativen, nutzerzentrierten Ansatz. Sie entwickelt Mensch-Maschine-Schnittstellen (HMIs), die gezielt auf die Bedürfnisse vielfältiger Nutzergruppen eingehen – interdisziplinär und interkulturell.

2. Problemstellung und Forschungsansatz

Technologische Innovationen sind mehr und mehr Teil unseres Alltags geworden und haben in den letzten Jahrzehnten unser Leben verändert. Viele Technologien sind für eine junge, männliche, gut ausgebildete und technikaffine Zielgruppe entwickelt, während andere, weniger repräsentierte Gruppen oft übersehen werden. So verstärken sie bestehende soziale Ungleichheiten. Das betrifft auch AVs, obwohl besonders die weniger repräsentierten Gruppen von dieser Technologie profitieren sollten.

Wie können SAVs gestaltet werden, dass sie auch den Bedürfnissen von Frauen und älteren Menschen gerecht werden? Um dieser Frage gerecht zu werden habe ich einen partizipativen Forschungsansatz gewählt, was bedeutet, dass Nutzerinnen aktiv in die Gestaltung von SAVs einbezogen werden. So wird ihnen und ihren Bedürfnissen eine Stimme gegeben und ihre Erfahrung in den Entwicklungsprozess integriert. Dafür habe ich sowohl qualitative, kreative Methoden genutzt als auch experimentelle Studien durchgeführt, um sowohl tiefe Einblicke zu gewinnen als auch objektive Daten zu sammeln.

Das Ergebnis meiner Arbeit ist ein umfassender Katalog wissenschaftlicher Erkenntnisse und praktischer Empfehlungen für ein gerechteres Technolgie-design, welcher von Politikerinnen, Entscheidungstragenden und Unternehmen genutzt werden kann, die SAVs entwickeln und betreiben. Die Ergebnisse fließen im Rahmen eines öffentlich geförderten Projekts bereits in die praktische Umsetzung ein. In diesem Projekt wird ein autonomer Shuttlebus entwickelt, der auf die Bedürfnisse diverser Nutzergruppen ausgerichtet ist und ab 2025 die Straßen im bayrischen Neustadt bedienen soll. Diese Arbeit ist demnach für verschiedene Akteure relevant: Individuen, insbesondere Frauen und ältere Menschen profitieren von den Funktionen, die spezifisch auf ihre Bedürfnisse zugeschnitten sind. Für Wirtschaftsunternehmen im Bereich autonomer Mobilität und KI-gestützter Verkehrstechnologien bilden die Forschungsergebnisse eine direkte Grundlage zur Entwicklung und Implementierung inklusiver HMIs, die das Sicherheitsgefühl der Passagiere erhöhen. Zudem bietet diese Forschung auch politischen Entscheidungstragenden Orientierung, um sicherere und gerechtere Mobilität in öffentlichen Verkehrssystemen zu fördern.

3. Sicherheit als zentrale Herausforderung

Ein zentrales Hindernis für die Akzeptanz von SAVs ist das **Sicherheitsgefühl** – insbesondere im öffentlichen Raum. Frauen etwa treffen im Alltag Maßnahmen zur Risikovermeidung. In SAVs, die ohne Fahrpersonal und in geteiltem Raum operieren, stellt sich daher die Frage: Wie kann Sicherheit gewährleistet werden?

Die Sicherheitsbedürfnisse variieren kulturell. Während in Seoul öffentlicher Verkehr als sicher gilt, berichten Frauen in Kolumbien häufig von Gewalt und Belästigung. Auch in Deutschland bestehen Unsicherheiten. Lösungen müssen daher differenziert und kontextabhängig gestaltet werden.

4. Ergebnisse und Gestaltungslösungen

Die Ergebnisse meiner Arbeit basieren auf mehreren aufeinander aufbauenden Studien und wurden in vier Journalartikeln und vier Papern publiziert. Mit meinen Studien habe ich mehrere Schleifen der Phasen des sogenannten User-Centered Design (UCD) durchlaufen. Dieser ist in der DIN 9241 verankert und hat das Ziel, die Bedürfnisse und Perspektiven der Nutzerinnen in den Mittelpunkt zu stellen, um Lösungen zu schaffen, die hilfreich und benutzerfreundlich sind.

Im ersten Schritt bin ich explorativ vorgegangen und habe Interviews und User-Enactment-Studien durchgeführt. Bei Letzteren schlüpfen die Studienteilnehmenden in realistische Szenarien und spielen mögliche Interaktionen mit SAVs durch – eine tolle Methode, um herauszufinden, wo die Herausforderungen liegen und was wichtig ist.

Aus den gewonnenen Erkenntnissen habe ich in Co-Creation-Sessions zusammen mit unseren Studienteilnehmenden aus Deutschland, Kolumbien und Südkorea erste Ideen entwickelt. Diese Konzepte wurden als HMIs, also Nutzungsschnittstellen, umgesetzt und in Simulations- sowie Virtual Reality (VR) Studien getestet, um zu sehen, ob und wie gut sie funktionieren.

a. Individuelle Reiseinformationen für SAV-Fahrten

Meine Forschung hat gezeigt, dass Informationen eine sehr wichtige Rolle für die Sicherheit spielen. Funktionen, die wir aus dem heutigen Verkehr kennen – wie Ankunftszeiten, Streckeninfos und nächste Stopps – machen nicht nur die Interaktion einfacher, sondern steigern das Sicherheitsgefühl.

Aber es geht noch weiter. Warum nicht noch flexiblere Funktionen anbieten, wie zum Beispiel virtuelle Haltestellen? So können Passagiere selbst entscheiden, wo sie ein- oder aussteigen wollen, statt sich an feste Haltestellen zu halten. Das Auto kann dann näher an den Start- oder Zielpunkt kommen – vielleicht vor die Haustür oder direkt zum Eingang eines Gebäudes. Vor allem Frauen in meinen Studien haben erzählt, dass sie sich Sorgen machen, wie sie sicher zur Haltestelle oder nach Hause kommen, besonders abends. Wenn man also die Möglichkeit hat, den Ein- oder Ausstieg flexibler zu gestalten, macht das nicht nur den Kopf frei, sondern steigert auch den Komfort und die Nutzerfreundlichkeit. Damit wären SAVs im Vergleich zu den heutigen öffentlichen Verkehrsmitteln sogar sicherer und viel attraktiver.

b. Sicherheitsstufen und Notfallsysteme

Meine Ergebnisse belegen, dass die heutigen Notfallsysteme im öffentlichen Verkehr nicht wirklich gut auf die Bedürfnisse der Fahrgäste abgestimmt sind, weil sie zu grob sind. Es braucht schon einiges an Überwindung, um einen Alarm auszulösen, bei dem sofort die Polizei benachrichtigt wird. Und in vielen Situationen, in denen sich Passagiere unsicher oder bedroht fühlen, fragen sie sich, ob es wirklich ein Notfall ist, der die Polizei erfordert.

Ein dreistufiges Notfall-Buttonsystem könnte hier Abhilfe schaffen – und zwar eines, das auf verschiedene Bedrohungsebenen zugeschnitten ist. In der grünen Stufe zum Beispiel könnte ein einfacher Alarm vertrauenswürdige Kontakte benachrichtigen oder Zugang zu Alternativfahrzeugen vorschlagen, was in Situationen, in denen man sich unwohl fühlt schon ausreichen würde. Die gelbe Stufe, in der man sich bedroht fühlt und Angst hat, würde dann eine Innenraumüberwachung aktivieren und die zentralen Sicherheitsstellen sowie andere Mitfahrende benachrichtigen, um das Sicherheitsgefühl zu erhöhen. Und die rote Stufe – das wäre dann der klassische Notfall, der sofort die Polizei alarmiert.

So könnten Passagiere viel differenzierter auf unangenehme oder bedrohliche Situationen reagieren und hätten viel mehr Kontrolle über ihre Sicherheit, ohne sich auf nur eine einfache Notfalltaste verlassen zu müssen. Und das Tolle: Auch in heutigen öffentlichen Verkehrsmitteln könnte so ein System die Sicherheit und den Komfort für alle Fahrgäste enorm steigern und sofort eingeführt werden. In einer Kooperation mit einem Berliner Start-Up wurde dieses Feature bereits in eine Mobilitäts-App für Ride-Sharing integriert und ist im Einsatz.

c. Balance zwischen Sicherheits- und Privatsphäre

In Kreativworkshops mit Seniorinnen und jungen Frauen hat sich gezeigt, dass Informationen über andere Fahrgäste im SAV das Sicherheitsgefühl stärken könnten. Immer wieder wurden hier Fahrten am Abend oder in der Nacht als besonders sicherheitskritisch betont. Die Studienteilnehmerinnen wünschten sich Angaben wie Profilbild, Name, Alter und Geschlecht der anderen Fahrgäste. Würden diese Informationen tatsächlich das Sicherheitsgefühl in SAVs erhöhen? Welche Unterschiede bestehen tatsächlich für Tag- und Nachtfahrten? Um diese Fragen zu beantworten, habe ich dieses Konzept umgesetzt und in einer Simulationsstudie Männer und Frauen verschiedener Altersgruppen Fahrten in einem SAV erleben lassen. Sie haben insgesamt vier Fahrten gemacht: zwei tagsüber, zwei nachts, jeweils mit und ohne detaillierte Informationen über andere Fahrgäste. Die Ergebnisse zeigten, dass solche Informationen tagsüber als unnötig und sogar störend empfunden wurden, während sie nachts klar als wichtige Sicherheitsmaßnahme angesehen wurden.

Doch welche Konsequenzen hat die Bereitstellung solcher Informationen? Ist es aus einer inklusiven Perspektive vertretbar, so ein Konzept zu implementieren? Können Angaben wie Geschlecht und Alter nicht gleichzeitig Vorurteile oder sogar Diskriminierung verstärken? Reicht das Wissen über das Geschlecht eines anderen Fahrgastes aus, um sich sicherer oder unsicherer zu fühlen? Und wollen wir wirklich in einer Gesellschaft leben, in der bestimmte Menschen allein aufgrund äußerer Merkmale als potenzielle Bedrohung wahrgenommen werden?

Diese Fragen sind keine theoretischen Überlegungen, sondern konkrete Herausforderungen bei der Gestaltung von SAVs. Die Balance zwischen Sicherheitsbedürfnissen und dem Schutz

der Privatsphäre stellt wohl eine der größten Herausforderungen dar, wenn es darum geht, inklusive HMIs für autonome Fahrzeuge zu entwickeln. Angesichts dieser ethischen Bedenken ist das Preisgeben von Informationen über andere Passagiere aus unserer Sicht keine ideale Lösung. Stattdessen schlage ich vor, nach alternativen Ansätzen zu suchen. Aber wie könnte eine solche Alternative aussehen? Wie können wir Sicherheit gewährleisten, ohne persönliche Informationen auf eine Weise preiszugeben, die Missbrauchspotenzial birgt? Das nächste Konzept kann eine solche Alternative bieten.

d. Die digitale Begleitung

Meine Studienteilnehmenden haben berichtet, dass sie sich in Begleitung vertrauter Personen sicherer fühlen. Statt also aus einer dystopischen Perspektive heraus zu kontrollieren, wer im SAV mitfährt, war mein Ziel zu erforschen, wie dieses vertraute Sicherheitsgefühl direkt in SAVs integriert werden kann. Wie kann das Gefühl durch eine HMI im Innenraum eines SAVs vermittelt werden? Dazu habe ich gemeinsam mit meinen internationalen Kolleginnen mit Menschen aus Deutschland, Südkorea und Kolumbien in einem partizipativen Ansatz entwickelt, wie eine digitale Begleitung im Innenraum eines SAV aussehen könnte. In Kreativworkshops sind verschiedene Ideen entstanden, die die Rolle eines menschlichen Fahrers übernehmen und das Sicherheitsgefühl der Passagiere stärken sollen. Dabei kamen Konzepte wie Chatbots, Hologramme oder Roboter ins Spiel. Zusammen mit den Teilnehmenden haben wir dann Schritt für Schritt eine digitale Begleitung in Form eines Menschen oder Roboters auf einem Bildschirm im Fahrzeug entwickelt. Die Begleitung sollte freundlich und sympathisch wirken, aber in kritischen Situationen durchaus die notwendige Autorität zeigen.

Doch wie reagieren Passagiere auf diese digitale Begleitung? Fühlen sie sich mit ihr wirklich sicherer? Und welche Form von Begleitung bevorzugen sie: einen Menschen oder einen Roboter? Beide Begleitungen- die menschenähnliche und die roboterartige- wurden in einer VR-Umgebung umgesetzt und getestet. Dafür wurde ein 3D-Modell eines autonomen Shuttle-Busses erstellt und drei potenziell unangenehme Szenarien simuliert, die in Vorstudien definiert wurden: das Teilen einer Fahrt mit einem unangenehmen Fremden, das Fahren mit einer Gruppe betrunkenen Personen und den plötzlichen Stopp des Fahrzeugs.

In einer quantitativen interkulturellen Studie in Deutschland, Kolumbien und Südkorea habe ich den Teilnehmenden diese Szenarien jeweils ohne Begleitung, mit einer menschlichen Begleitung und einer roboterartigen Begleitung präsentiert. Die Ergebnisse haben signifikante Unterschiede gezeigt: Das Sicherheitsgefühl war mit einer digitalen Begleitung deutlich höher als ohne. Insgesamt haben die Teilnehmenden die menschenähnliche Begleitung bevorzugt. Besonders ausgeprägt war diese Präferenz bei den kolumbianischen Teilnehmenden, während die koreanischen Teilnehmenden die größere Offenheit und Vertrauen gegenüber Robotern zeigten. In Kolumbien ist die Akzeptanz von Technologien insgesamt niedriger als in Südkorea, was diese Präferenzen erklären könnte. Meine qualitativen Ergebnisse legen jedoch nahe, dass eine roboterartige Begleitung gut zur

futuristischen Natur autonomer Fahrzeuge passt. Im Laufe der Zeit könnten Roboter an Vertrauen gewinnen.

Insgesamt stellt die digitale Begleitung ein vielversprechendes Designkonzept für autonom fahrende Busse dar. Besonders in der Einführungsphase von SAVs ist es wichtig, dass kulturelle Unterschiede berücksichtigt werden, damit digitale Begleitungen in den jeweiligen Kontexten akzeptiert werden. Langfristig könnte es sogar sein, dass digitale Begleitungen abstrakter und weniger menschenähnlich werden, ähnlich wie Systeme wie Alexa oder Siri.

e) Messung von Sicherheit in SAVs

Ein besonderer Meilenstein meiner Forschung ist die Entwicklung des Fragebogens „Perceived Security in SAVs“ (PSSAV). Dieser validierte Fragebogen basiert auf allen qualitativen Daten, die ich während der ersten vier Jahre meiner Forschung gesammelt habe und schließt eine entscheidende Lücke in der Wissenschaft und Praxis. Es gab keine geeigneten Theorien oder Modelle, um Sicherheit im Kontext von SAVs zu messen. Der PSSAV wurde in Deutschland und Kolumbien validiert bietet Praktikerinnen und Wissenschaftlerinnen ein zuverlässiges Instrument, um die wahrgenommene Sicherheit in SAVs zu evaluieren.

Diese Pionierarbeit wurde auf der „Automotive User Interfaces and Interactive Vehicular Applications Conference 2023“ (AutoUI) mit dem Best Paper Award gewürdigt – ein Beleg für ihre Relevanz und Qualität. Diese internationale Konferenz ist im Forschungsbereich Automotive angesiedelt und fokussiert die Schnittstelle Mensch und Fahrzeug. Derzeit wird eine portugiesische Version des Fragebogens mit Daten aus Brasilien validiert, um das Instrument weiter auszubauen und global nutzbar zu machen. Der PSSAV stellt einen wichtigen Abschluss meiner Forschung dar und liefert einen wertvollen Beitrag für die Weiterentwicklung sicherer, inklusiver und nutzerzentrierter Mobilität.

5. Ausblick: Inklusive Zukunft gestalten

Die Zukunft von SAVs erfordert eine inklusive Herangehensweise. Dazu hat meine Forschung einen wichtigen Beitrag dazu geleistet, indem diverse Perspektiven berücksichtigt und über den privilegierten Blick des weißen Mannes mittleren Alters hinausgegangen wurde. Doch Innovation gelingt nicht allein. Deshalb habe ich das Thema auch in die AutoUI-Community getragen. Um in dieser Fachgemeinschaft ein Bewusstsein für diese Themen zu schaffen, habe ich gemeinsam mit weiteren interessierten Wissenschaftlerinnen einen Workshop und eine Podiumsdiskussion zu den Themen Diversität, Inklusion und interkulturelle Forschung organisiert. Diese Formate haben nicht nur eine wichtige Diskussion angestoßen, sondern auch die Relevanz eines inklusiven und partizipativen Ansatzes unterstrichen. Wir haben damit einen Diskurs angestoßen, der langfristig die Entwicklung von SAVs prägen und eine gerechtere technologische Zukunft fördern kann.