

Abschlussbericht zum Vorhaben
„Aufgabeneinflüsse auf die
Übernahme aus hochautomatisierter
Fahrt“
(FP 429)

Laufzeit
31.06.2019 – 30.09.2022

Bericht vom 05.05.2023

Autor:innen
Kerstin Kusch
(Technische Universität Dresden,
TUD)
Christopher Frank
(Institut für Arbeit und Gesundheit,
IAG)

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis.....	2
Kurzfassung deutsch.....	3
Kurzfassung englisch.....	4
1. Problemstellung	5
2. Forschungszweck/-ziel	5
3. Methodik	6
4. Ergebnisse des Gesamtvorhabens.....	11
5. Auflistung der für das Vorhaben relevanten Veröffentlichungen, Schutzrechtsanmeldungen und erteilten Schutzrechte von nicht am Vorhaben beteiligten Forschungsstellen.....	18
6. Bewertung der Ergebnisse hinsichtlich des Forschungszwecks/-ziels, Schlussfolgerungen	20
7. Aktueller Umsetzungs- und Verwertungsplan.....	21
8. Anhang/Anhänge	
Unterschriftenseite verpflichtend für Kooperationsprojekte.....	

Kurzfassung deutsch

Ziele

Hochautomatisiertes Fahren erlaubt es, in begrenztem Rahmen die Fahraufgabe an das Fahrzeug abzugeben. In dieser Zeit können sich Fahrzeugführende anderen Aufgaben zuwenden, müssen jedoch jederzeit die Kontrolle wieder übernehmen können. Im Zusammenhang mit dienstlich veranlassten Fahrten stellt sich die Frage, für welche Aufgaben die frei gewordene Zeit aufgewendet werden kann, ohne die Verkehrssicherheit zu gefährden und negative Beanspruchungsfolgen hervorzurufen. Ziel des Projektes war es, Eigenschaften natürlicher Aufgaben hinsichtlich ihrer Eignung als nichtfahrbezogene Aufgabe während dienstlich veranlasster Fahrten einzuschätzen. Diese Einschätzung erfolgte auf der Grundlage der Sicherheit der Übernahme und der psychischen Beanspruchung.

Aktivitäten/Methoden

Anhand einer Metaanalyse sowie einer Untersuchung im dynamischen Fahrsimulator wurde untersucht, inwiefern fahrfremde Aufgaben die Sicherheit von Übernahmen aus hochautomatisierter Fahrt beeinflussen und psychisch beanspruchen. Als fahrfremde Aufgabe wurde eine kognitiv beanspruchende Routenplanungsaufgabe entwickelt, die es erlaubt, Fahrende über einen längeren Zeitraum abzulenken. Außerdem wurden für die Übernahmesituation Testszenarien entwickelt, die mittel dringlich, nicht vorhersagbar sowie kritisch waren und eine komplexe Manöverentscheidung erforderten.

Ergebnisse

Fahrfremde Aufgaben beeinflussen die Sicherheit der Übernahme aus hochautomatisierter Fahrt, insbesondere dann, wenn der Bedarf für eine Übernahme ohne Übernahmeaufforderung erkannt werden muss. Basierend auf den Studienergebnissen sowie Ergebnissen anderer Metaanalysen wurde eine Klassifikation von Aufgabeneigenschaften vorgeschlagen, die erste Anhaltspunkte für die Gefährdungsbeurteilung von Arbeitsplätzen mit hochautomatisierten Fahrten bietet.

Kurzfassung englisch

Objectives

Highly automated driving allows, to a limited extent, the driving task to be handed over to the vehicle. During this time, drivers can turn their attention to other tasks, but must be able to take over control again at any time. In the context of business-related driving, the question arises as to which tasks the freed-up time can be spent on without endangering road safety and causing strain. The aim was to assess characteristics of naturalistic tasks in terms of their suitability as a non-driving related task during business-related driving. The assessment was based on the safety of takeover reactions and the psychological demands.

Activities/Methods

A meta-analysis and a study in a driving simulator were used to investigate the extent to which non-driving related tasks influence the safety of takeovers from highly automated driving and impose psychological demands. As a non-driving related task, a cognitively demanding route planning task was developed that allows drivers to be distracted for an extended period of time. In addition, test scenarios were developed for the takeover situation that are moderately urgent, unpredictable and critical, and required complex maneuvering decisions.

Results

Non-driving tasks affect the safety of takeover from highly automated driving, especially when the need for takeover has to be recognized without a takeover request. Based on the study results and the results of other meta-analyses, a classification of task characteristics was proposed that provides initial guidance for risk assessment of workplaces involving highly automated driving.

1. Problemstellung

Der Bericht der Ethikkommission zu automatisiertem und vernetztem Fahren legt dar: "Die dem Menschen vorbehaltene Verantwortung verschiebt sich bei automatisierten und vernetzten Fahrsystemen vom Autofahrer auf die Hersteller und Betreiber der technischen Systeme und die infrastrukturellen, politischen und rechtlichen Entscheidungsinstanzen." (Ethik-Kommission - Automatisiertes und vernetztes Fahren, 2017, Punkt 10). In der Fassung des StVG vom März 2017 wurde erstmals der Betrieb von Kraftfahrzeugen mit hoch- oder vollautomatisierter Fahrfunktion gesetzlich geregelt. Der Fahrende wird gemäß §1a, Abs. 4 StVG immer als fahrzeugführende Person angesehen, auch wenn zum Zeitpunkt eines Unfalls die Automatik eingeschaltet war. Diese Regelung hat weitreichende Konsequenzen für die Gestaltung der "Fahr"-Situation: Es ist von fundamentaler Bedeutung, Übernahmen aus der hochautomatisierten Fahrt so zu gestalten, dass eine adäquate Reaktion möglich ist. In diesem Zusammenhang ist auch die psychische Belastung einer solchen Situation von höchster Relevanz: Eine permanente Überwachung des Systems und die Bereitschaft zum Eingreifen resultiert im Allgemeinen in einer höheren Beanspruchung als manuelles Steuern, und steht somit im Widerspruch zum gesetzten Anspruch auf Entlastung des Fahrenden.

Die Voraussetzung für eine angemessene Reaktion auf eine (potentiell) gefährliche Situation im Straßenverkehr ist, unabhängig vom Grad der Automatisierung des Fahrzeugs, die korrekte Gefahrenwahrnehmung. Der Grad der Automatisierung bestimmt, wie die Verantwortung für korrekte Reaktionen zwischen System und Mensch aufgeteilt wird (Gasser et al., 2012). Beim hochautomatisierten Fahren geht man davon aus, dass die Überwachung nicht dauerhaft stattfinden muss. Es besteht die Annahme, dass die Übergabe der Fahrzeugführung durch das System an den Menschen mit einer ausreichenden zeitlichen Reserve erfolgt. Dadurch bietet sich erstmals die Möglichkeit, sich teilweise anderen Tätigkeiten zuzuwenden. Zum Zeitpunkt der Antragstellung wurde in diesem Zusammenhang vorrangig die Frage nach einer ausreichenden Zeitreserve für eine sichere Übernahme aus hochautomatisierter Fahrt beforscht (siehe bspw. Gold et al., 2013; Radlmayr et al., 2014).

Ein Aspekt, der in bisheriger Forschung eine eher untergeordnete Rolle spielte, bezieht sich auf die Implikationen von Aufgaben, denen sich Fahrende während der hochautomatisierten Phasen zuwenden. Besonders im Kontext berufsbedingter Nutzung von Fahrzeugen, z. B. Außendienstmitarbeitende, Service-Fachkräfte, LKW-Fahrende, wird mit der Einführung von hochautomatisierten Fahren auch der Anspruch an die Fahrenden steigen, die "freigewordene" Zeit für nichtfahrbezogene Aufgaben zu nutzen, z. B. für Dokumentation, Bestellung, Terminplanung, Abrechnung etc. Eine Vielzahl von Studien setzte eine große Bandbreite verschiedenartiger Aufgaben ein, um Ablenkung bei den Teilnehmenden zu induzieren (für einen Überblick vgl. de Winter et al., 2014). Allerdings wurden die unterschiedlichen Wirkungen der verschiedenen Aufgaben auf die Übernahmeleistung kaum beachtet; deshalb bestand das zentrale Anliegen dieses Forschungsprojektes in der Analyse dieser differentiellen Auswirkungen.

2. Forschungszweck/-ziel

In diesem Projekt sollte die Wirkung nichtfahrbezogener Aufgaben auf das Übernahmeverhalten systematisch untersucht werden. Insbesondere wurde dabei auf die damit einhergehende psychische Beanspruchung des Fahrenden fokussiert. Die Zielgruppe bestand aus Berufskraftfahrenden bzw. Beschäftigten mit berufsbezogener Fahrtätigkeit (Dienstwege, Außendienstkräfte, Pflegekräfte). Im Gegensatz zu privaten Fahrten, bei denen Fahrende eigene Entscheidungen darüber treffen, welchen Nebentätigkeiten sie sich zuwenden möchten, ist im beruflichen Kontext damit zu rechnen, dass die "freigewordene" Zeit mit anderen Arbeitstätigkeiten gefüllt wird.

Folgende Fragen sollten beantwortet werden:

1. Welche Eigenschaften machen fahrfremde Aufgaben mehr oder weniger geeignet, um während Phasen hochautomatisierter Fahrt bearbeitet zu werden?
2. Welche Auswirkungen haben fahrfremde Aufgaben auf die psychische Belastung und Beanspruchung? Neben der Sicherheit im Straßenverkehr, die beim hochautomatisierten Fahren wesentlich durch die Übernahmebereitschaft des Fahrers moderiert wird, spielen auch Belastung und Beanspruchung durch die Interaktion von Aufgabe und Übernahmeanforderungen eine entscheidende Rolle für langfristiges Wohlbefinden.

Es sollte eine Ampelklassifikation vorgeschlagen werden, die realistische Aufgaben aufgrund ihrer Eigenschaften in geeignet (grün), bedingt geeignet (gelb) bzw. nicht geeignet (rot) klassifiziert. Diese könnte als Grundlage für eine Gefährdungsbeurteilung von Arbeitsplätzen, die hochautomatisiertes Fahren beinhalten, herangezogen werden.

3. Methodik

Um die Fragestellungen des Projekts zu beantworten, wurden ein Review zum aktuellen Stand der Forschung durchgeführt, eine Routenplanungsaufgabe als fahrfremde Aufgabe entwickelt und validiert sowie Untersuchungsszenarien für eine Studie im Fahrsimulator erstellt. Anschließend erfolgte eine Untersuchung im dynamischen Fahrsimulator des Instituts für Arbeit und Gesundheit. Auf Basis der Ergebnisse wurde eine Ampelklassifikation für Aufgabeneigenschaften vorgeschlagen.

Die einzelnen Arbeitsschritte werden nachfolgend beschrieben. Arbeiten, die durch die Technische Universität Dresden ausgeführt wurden, sind mit der Abkürzung TUD gekennzeichnet. Die Beiträge des Instituts für Arbeit und Gesundheit sind mit dem Akronym IAG versehen.

Review (TUD)

2021 wurde eine Metaanalyse zum Einfluss nichtfahrbezogener Aufgaben auf die minimale Kollisionszeit nach Übernahme aus hochautomatisierter Fahrt durchgeführt. Statt eines qualitativen Reviews wurde der Stand der Forschung mit quantitativen Methoden synthetisiert. Zum damaligen Zeitpunkt waren bereits qualitative Reviews zum Einfluss fahrfremder Aufgaben auf die Übernahme aus hochautomatisierter Fahrt (Naujoks et al., 2018) und Metaanalysen zum Einfluss fahrfremder Aufgaben auf die Übernahmezeit (McDonald et al., 2019; Zhang et al., 2019) publiziert worden. Daher sollte die Arbeit die Forschungslücke nach einer quantitativen Synthese von Forschungsergebnissen zum Einfluss fahrfremder Aufgaben auf die Übernahmequalität schließen. Dazu wurden 35 Effektstärken aus 9 Simulationsstudien aus dem Zeitraum 2016 bis 2020 quantitativ integriert. Die Ergebnisse basieren auf den Daten von insgesamt 463 Teilnehmenden.

Routenplanungsaufgabe als fahrfremde Aufgabe (TUD)

Als nichtfahrbezogene Aufgabe wurde eine Routenplanungsaufgabe entwickelt und in der Softwareumgebung *lab.js* (Henninger et al., 2022) umgesetzt (vgl. Abbildung 1). Mit dieser Aufgabe sollte sich gezielt der Einfluss verschiedener beanspruchter Verarbeitungsressourcen auf die Übernahmefähigkeit nach hochautomatisierter Fahrt untersuchen lassen. Die manipulierten Verarbeitungsressourcen und die damit zu untersuchenden Aufgabeneigenschaften betreffen das deklarative Gedächtnis (Erinnern von

Fakten), das visuelle System in Verbindung mit dem Gebrauch der Hände sowie das Merken eines Aufgabenzwischenstandes. Die Auswahl dieser Ressourcen basierte auf Überlegungen zur *Theory of Threaded Cognition* (Salvucci & Taatgen, 2011). Demnach sollte eine Beanspruchung dieser Ressourcen die Übernahmeleistung aus hochautomatisierter Fahrt am stärksten beeinträchtigen.

Eine frühe Version der Routenplanungsaufgabe wurde als ablenkende nichtfahrbezogene Aufgabe während einer hochautomatisierten Fahrt auf einer Teststrecke verwendet. Diese Untersuchung erfolgte in Kooperation mit dem DEKRA Technology Center und der FSD Fahrzeugsystemdaten GmbH. Dabei fuhren 19 Personen unter gleichzeitiger Bearbeitung der Aufgabe und 18 Personen ohne Aufgabe. Nach einer unkritischen Übernahme-situation wurde erfasst, ob und wie schnell die Teilnehmenden das Fahrzeug wieder übernehmen konnten. Mittels der *Workload Assessment Technique* (DLR-WAT; Gripenkoven et al., 2018) wurde die subjektiv erlebte Beanspruchung gemessen. Der Fragebogen erfasst psychische Beanspruchung mehrdimensional und beruht auf dem *Task Load Index* (NASA-TLX; Hart & Staveland, 1988), zu dem er eine hohe konvergente Validität aufweist (Brandenburger & Naumann, 2018). Im Unterschied zu dem NASA-TLX wird Beanspruchung bipolar zwischen den beiden Enden der Merkmalsausprägung Unter- und Überbeanspruchung erfasst. Die kontinuierlichen Skalen reichen von 0 bis 200. Eine mittlere Ausprägung von 100 spricht für ein optimales Beanspruchungsniveau. Zusätzlich differenziert der Fragebogen die mentalen Anforderungen einer Aufgabe entsprechend der Schritte menschlicher Informationsverarbeitung (Wickens et al., 2013) in Beanspruchung der Informationsaufnahme, des Wissensabrufs und der Entscheidungsfindung. Die Studie zeigte, dass eine hochautomatisierte Teststreckenfahrt mit der Routenplanungsaufgabe als fahrfremde Aufgabe zu einer höheren erlebten Beanspruchung führt als eine Fahrt ohne fahrfremde Aufgabe (DLR-WAT Gesamtwert mit Aufgabe $M = 117,83$, $SD = 14,26$ vs. ohne Aufgabe $M = 80,62$, $SD = 24,70$, Voigt, 2021). Leider liegen für die DLR-WAT keine Normwerte vor, so dass die gefundenen Rohwerte nicht zuverlässig eingeordnet werden können. Da ein optimales Beanspruchungsniveau bei einem Skalenwert von 100 liegt, legen die Rohwerte nahe, dass die Fahrt mit Routenplanungsaufgabe als etwas überbeanspruchend und die Fahrt ohne Aufgabe als etwas unterbeanspruchend wahrgenommen wurden.

Wurde in einer unkritischen Situation mit einem Zeitbudget von zehn Sekunden akustisch zu einer Übernahme aufgefordert, konnte unabhängig von der Bearbeitung der nichtfahrbezogenen Routenplanungsaufgabe die Fahrzeugkontrolle rechtzeitig wieder übernommen werden. Mussten die Teilnehmenden hingegen das Vorliegen einer Übernahme-situation selbst erkennen, also ohne Warnung, änderten sich diese Ergebnisse. Als besonders kritisch erwiesen sich Situationen, deren Vorliegen nur visuell anhand einer graduellen Veränderung festgestellt werden konnte. Hier erhöhte sich das Risiko einer zu späten Übernahme aufgrund der Aufgabenbearbeitung um 150 Prozent gegenüber der Bedingung ohne Aufgabenbearbeitung. Eine differenzierte Auswertung zeigte, dass die fahrfremde Aufgabe dazu führte, dass Fahrende auf kritische Situationen überhaupt nicht reagierten (Kusch et al., 2021; Voigt et al., 2022), da sie das Vorliegen der kritischen Situation nicht bemerkten. Diese Ergebnisse untermauerten, dass die Routenplanungsaufgabe geeignet war, um als involvierende, kognitiv beanspruchende Aufgabe im Projekt weiterhin verwendet zu werden.

Um festzustellen, inwiefern verschiedene Manipulationen der Routenplanungsaufgabe dazu führen, dass die theoretisch bedeutsamen Verarbeitungsressourcen deklaratives Gedächtnis (Erinnern von Fakten), das visuelle System in Verbindung mit dem Gebrauch der Hände (visuell-manuelle Ressource) sowie das Merken eines Aufgabenzwischenstandes beeinflussbar sind, wurde anschließend eine weitere Studie durchgeführt. Pandemiebedingt sollte die Datenerhebung kontaktlos erfolgen. Daher wurde die Routenplanungsaufgabe für eine Onlinepräsentation mittels *LimeSurvey* (Limesurvey GmbH, 2018) angepasst (siehe Abbildung 1). Um die Arbeitsbelastung und subjektive Beanspruchung zu erfassen,

wurden verschiedene Fragebögen ausgewählt, zusammengestellt und als Onlinefragebogen umgesetzt. Zudem wurde ein System aufgesetzt, mit dem sich Probanden einem ausbalancierten Design zuordnen lassen. Für die Onlineuntersuchung stand keine Fahrsimulation zur Verfügung, mit der sich der Einfluss der nichtfahrbezogenen Aufgabe auf die Übernahmefähigkeit bestimmen ließe. Daher wurde eine alternative Unterbrechungsaufgabe ausgewählt. Diese Aufgabe sollte relevante Eigenschaften einer Manöverentscheidung (Michon, 1985) nach der Übernahme aus hochautomatisierter Fahrt abbilden. Eine derartige videobasierte Aufgabe wurde technisch umgesetzt, um sowohl die Übernahmezeit als auch die Güte der Manöverentscheidung nach der Übernahme erfassen zu können.

An der Onlinestudie nahmen 56 Personen (33 weiblich, 23 männlich) teil. Diese waren im Mittel 27,5 Jahre alt (SD = 11,1) und verfügten mehrheitlich (91%) über ein Abitur als höchsten Schulabschluss. Jede Person bearbeitete die Routenplanungsaufgaben einmal mit und einmal ohne Manipulation. Die Art der Manipulation wurde zwischen drei Gruppen variiert. Siebenundzwanzig Personen bearbeiteten Aufgaben mit visuell-manueller Manipulation, 19 bearbeiten Aufgaben mit erhöhtem Bedarf, sich Vorgaben zu merken (deklarative Manipulation) und 10 waren einer Bedingung zugeordnet, bei der sich Zwischenergebnisse gemerkt werden mussten. Einzig die deklarative Manipulation erzielte hypothesenkonforme Veränderungen. Da die Teststärke der Studie eher gering war und keine alternativen naturalistischen Aufgaben verfügbar waren, wurde entschieden, die Aufgaben für die Untersuchung im Fahrsimulator zu verwenden. Dazu wurde die Schwierigkeit der visuell-manuellen Aufgabenmanipulation erhöht und eine leistungsabhängige Belohnung eingeführt, die als Anreiz für ein Merken der Aufgabenzwischenstände dienen sollte.

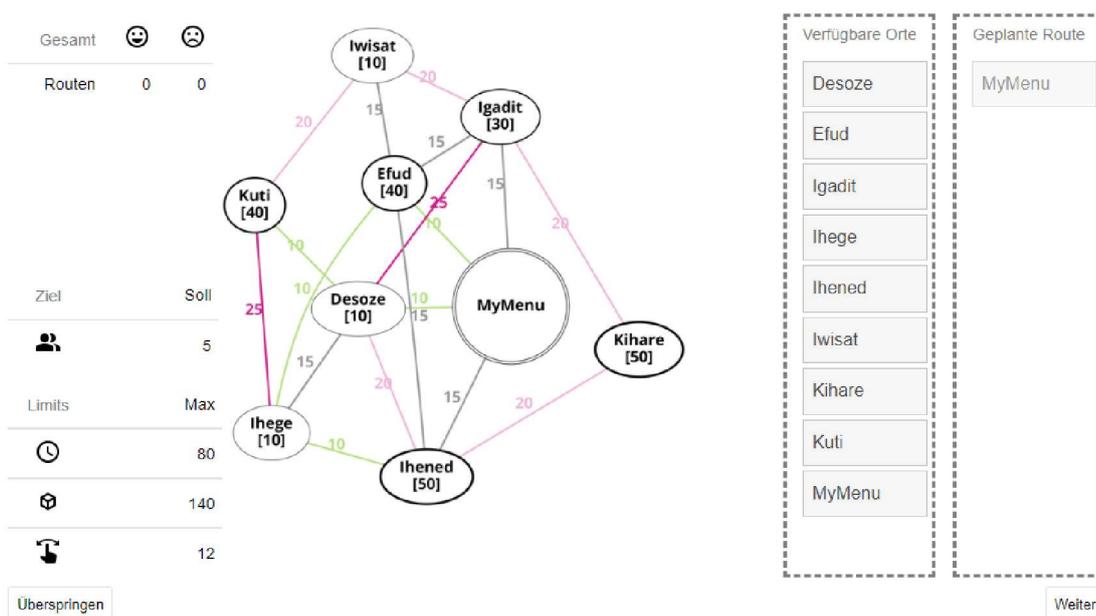


Abbildung 1 Routenplanungsaufgabe ohne Manipulation der Verarbeitungsressourcen. Oben links befindet sich die Ergebnissrückmeldung, unten links die zu berücksichtigenden Vorgaben, in der Mitte ein Graph, der sämtliche Routen darstellt. In der rechten Tabellenspalte (Geplante Route) ließen sich die Routen per Drag and Drop aus der linken Tabellenspalte (Verfügbare Orte) zusammenstellen.

Entwicklung der Testszenarien (IAG und TUD)

Für die Untersuchung im Fahrsimulator wurden Übernahmesituationen benötigt, die aktuell geltenden gesetzlichen Regelungen entsprechen, sicherheitsrelevantes Verhalten ermöglichen und möglichst hoch beanspruchen. Daher wurden Szenarien entwickelt, die dringlich, unvorhersehbar und kritisch sind sowie eine komplexe Reaktion des Fahrenden erfordern (Gold et al., 2018). Damit sollte sichergestellt werden,

dass die fahrfremde Aufgabe und die Aufgabe der Fahrzeugübernahme um kognitive Ressourcen konkurrieren. Um das Vertrauen in die automatische Fahrfunktion nicht zu mindern, wurden als Ursache für die Übernahmeaufforderung Umgebungsbedingungen wie dichter Nebel, Verschmutzung der Fahrbahn und eine Wanderbaustelle ausgewählt. Die Kritikalität wurde hergestellt, indem die Fahrenden potentiell mit einem die Fahrspur blockierenden Fahrzeug kollidieren konnten. Um längerfristige Beeinträchtigungen der Übernahmequalität erfassen zu können, wurde im Anschluss an die kritische Situation jeweils eine weitere kritische Situation hergestellt. Auf diese sollten die Fahrenden während der manuellen Fahrt reagieren. Die Szenarien wurden in SILAB 6.5 (Krüger et al., 2005) durch das IAG umgesetzt, iterativ getestet und angepasst. Eine Übersicht über die Szenarien befindet sich im Anhang (Tabelle 2).

Datenerhebung im Fahrsimulator

Die Datenerhebung wurde von April 2022 bis September 2022 im dynamischen Fahrsimulator des Instituts für Arbeit und Gesundheit durchgeführt. Ziel war es herauszufinden, inwiefern kognitiv anspruchsvolle Planungsaufgaben die Übernahmefähigkeit beeinträchtigen und mit negativen Beanspruchungsfolgen einhergehen. Zudem sollte geprüft werden, ob fahrfremde Aufgaben einer Ermüdung und Unterbeanspruchung vorbeugen können. Um die Beanspruchung erfassen zu können, wurden Fragebögen sowie Herzrate und Herzratenvariabilität erhoben.

Ursprünglich war geplant, 120 gesunde, autofahrende Personen im Alter von 18 bis 65 Jahren zu untersuchen. Mit dieser Stichprobengröße sollten Effekte fahrfremder Aufgaben in mittlerer Stärke nachgewiesen werden können. Diese Stichprobengröße wurde in der Projektlaufzeit nicht erreicht. Die Gründe dafür liegen vor allem in krankheitsbedingten Ausfällen (insbesondere im Zusammenhang mit der COVID-19-Pandemie) und Schwierigkeiten, Teilnehmende für eine vierstündige Untersuchung zu rekrutieren. Technische Störungen (Eyetrackinggerät, Mechanik der Treppe zur Simulatorkabine, Beamerbild, WLAN) und unerwarteter Baulärm erschwerten die Datenerhebung zusätzlich.

Zu der Datenerhebung wurden 76 Personen begrüßt, die den umfangreichen Einschlusskriterien genügten. Die Datenerhebung fand bei zwei Personen aufgrund technischer Schwierigkeiten nicht statt. Drei weitere Personen empfanden Übelkeit und Schwindel, so dass die Untersuchung nach der Eingewöhnungsfahrt abgebrochen wurde. Eine Person konnte nicht teilnehmen, da sie ausgeprägte Angst vor der Benutzung der automatischen Fahrfunktion verspürte und diese nicht aktivieren konnte. Eine weitere Person wurde von der Analyse ausgeschlossen, da sie die fahrfremde Aufgabe nicht entsprechend der Instruktion bearbeitete. Die verbliebenen Teilnehmenden waren zwischen 18 und 54 Jahren alt ($M = 26,2$, $SD = 6,4$). Die jährliche Fahrleistung lag zwischen 10 und 30000 km pro Jahr. Fünfzehn Personen hatten ein Fahrtsicherheitstraining absolviert und 28 Personen besaßen keinerlei Erfahrungen mit Fahrassistenzsystemen. Fünf Personen gaben an, in der Forschung oder Entwicklung hochautomatisierter Fahrzeuge beteiligt zu sein. Insgesamt zeigten die Personen eher eine Neigung automatisierten Systemen zu vertrauen.

In der Untersuchung absolvierten die Teilnehmenden dreimal eine Simulatorfahrt mit einer hochautomatisierten Fahrfunktion. Die Fahrten dauerten ca. 40 Minuten, wobei nach 28 bzw. 35 Minuten hochautomatisierten Fahrens eine Übernahmeaufforderung erfolgte. Im Rahmen der Studie sollten sich die Teilnehmenden vorstellen, als neue Mitarbeitende in einem Cateringunternehmen dienstlich zu Kunden zu fahren und währenddessen Routen für weitere Lieferungen zu planen. Für richtig gelöste Routenaufgaben wurde ein finanzieller Bonus in Aussicht gestellt, der durch fehlerhaft oder unbearbeitete Aufgaben wieder verringert wurde. Eine Fahrt erfolgte ohne Bearbeitung einer Routenplanungsaufgabe (keine Aufgabe). Während der beiden anderen Fahrten sollten die Teilnehmenden Routen planen. Dabei bearbeitete eine Gruppe von 34 Personen Aufgaben, die es erforderten, sich stets den aktuellen Ergebnisstand der Aufgabe zu merken, um die Route nach einer Unterbrechung weiter bearbeiten zu können (Beanspruchung der

Problemzustandsressource). Die anderen 35 Personen bearbeiteten die Routenplanungsaufgabe ohne sich den aktuellen Ergebnisstand merken zu müssen (keine Beanspruchung der Problemzustandsressource). Jede Person bearbeitete die Aufgaben einmal unter Bedingungen, die das Lesen der Informationen und Ausführen der Routenplanung per Drag and Drop erschwerten (erhöhte visuell-manuelle Beanspruchung) und einmal ohne erhöhte visuell-manuelle Beanspruchung. Die Reihenfolge, in der die Aufgabenbedingungen präsentiert wurden, und die Reihenfolge der Streckendarbietung waren ausbalanciert, um Reihenfolgeeffekte auszuschließen (Zeelenberg & Pecher, 2015).

Nach der Begrüßung und Aufklärung, bearbeiteten die Teilnehmenden eine Vorbefragung, absolvierten einen Sehschärfetest, legten sich die Elektroden zur Erfassung der Herzrate an und übten die Bearbeitung der Routenplanungsaufgabe. Anschließend konnten sich die Teilnehmenden mit dem Simulator und der hochautomatisierten Fahrfunktion in einer Eingewöhnungsfahrt vertraut machen. Dabei übernahmen sie zweimal nach vorhergehender Übernahmeaufforderung.

Vor jeder Fahrt wurde ein fünfminütiges Ruhe-EKG durchgeführt. Anschließend wurde das Blickbewegungsmesssystem (Eye Tracking Glasses 2, SMI) kalibriert. Unmittelbar vor der Fahrt, ca. sechs Minuten nach Beginn der Aufgabenbearbeitung und nach der Fahrt beantworteten die Personen Fragebögen auf einem Tablet. Tabelle 1 zeigt, wann welche Konstrukte mit welchem Fragebogen erfasst wurden. Nach der dritten Fahrt beantworteten die Teilnehmenden nochmals Fragebögen und wurden abschließend aufgeklärt. Als Vergütung für die insgesamt vier Stunden dauernde Versuchsteilnahme erhielten die Personen wahlweise 50 Euro oder fünf Versuchspersonenstunden gutgeschrieben.

Tabelle 1 Übersicht über die Fragebögen, die vor, während und nach der Fahrt präsentiert wurden

Konstrukte	Fragebogen	Vor der Fahrt	Während der Fahrt	Nach der Fahrt	Verwendung
Workload (eindimensional)	Deutsche Rating Scale of Mental Effort (RSME; Eilers et al., 1986; Zijlstra, 1995)	X	X	X	Alternative Unabhängige Variable
	Skala allgemeine zentrale Aktiviertheit (Bartenwerfer, 1969)	X	X	X	Studienvergleich
Workload (mehrdim.)	DLR-Workload Assessment Technique (DLR-WAT; Gripenkoven et al., 2018)	X	X	X	Manipulationscheck Fahrremde Aufgabe
Beanspruchungsbilanz	Wuppertaler Screening Instrument	X		X	Abhängige Variable
	Psychische Beanspruchung (WSIB; Wieland & Hammes, 2014)				
Schläfrigkeit	Deutsche Karolinska Sleepiness Scale (KSS; Miley-Åkerstedt et al., 2016)	X	X	X	Mediator/Abhängige Variable
Vertrauen (State)	Vertrauen im Umgang mit automatischen Systemen (Pöhler et al., 2016)	X		X	Kontrollvariable
	Trust in Automation (TiA, Körber, 2019)			X	Kontrollvariable
Gedanken	„Gedanken“ (selbst erstellt)		X		Kontrollvariable

Das Wuppertaler Screening Instrument Psychische Beanspruchung (WSIB; Wieland & Hammes, 2014) wurde als ökonomisches Instrument eingesetzt, um subjektiv empfundene funktionale und dysfunktionale Beanspruchung zu bilanzieren. Dabei beschreibt das Konstrukt funktionale Beanspruchung positive Aspekte der Beanspruchung, die mit einer Mobilisierung mentaler und motivationaler Ressourcen

einhergehen. Erfasst wird funktionale Beanspruchung mit den Eigenschaftswörtern „energiegeladen“, „leistungsbereit“, „aufmerksam“ und „konzentriert“ auf einer siebenstufigen Antwortskala mit den Ausprägungen „kaum“, „etwas“, „einigermaßen“, „ziemlich“, „stark“, „sehr stark“, „außerordentlich“. Dysfunktionale Beanspruchung beschreibt den Kostenaspekt der Beanspruchung und ist mit negativem körperlichen und emotionalen Befinden verbunden. Erfasst wird dysfunktionale Beanspruchung über die Eigenschaften „nervös“, „körperlich verspannt“, „aufgeregt“ und „körperlich unwohl“. Anhand des Ausmaßes in dem sich eine Person als einflussreich erlebt wird Kontrollerleben erfasst. Nach dem *Anforderungs-Kontroll-Modell* (Karasek, 1979) sind Tätigkeiten optimal, bei denen funktionale Aspekte der Beanspruchung dysfunktionale Aspekte überwiegen und gleichzeitig Kontrolle erlebt wird. Diese Bedingungen gehen mit keinem Gesundheitsrisiko einher. Überwiegt dysfunktionale Beanspruchung oder wird wenig Kontrolle erlebt, ist die Beanspruchung als suboptimal einzuschätzen und geht mit einem mittleren Gesundheitsrisiko als langfristige Folge einer Fehlbeanspruchung einher. Dysfunktional sind Aufgaben, bei denen Beschäftigte keine Kontrolle erleben und gleichzeitig negatives körperliches und emotionales Empfinden aktivierende Aspekte der Beanspruchung übertrifft.

Die Daten wurden mit gemischten linearen Modellen (Bates et al., 2015) in der Statistiksprache R (R Core Team, 2022) ausgewertet. Dabei wurde eine zufällige Variation der Intercepts über die Personen zugelassen. Anschließende paarweise Vergleiche wurden Bonferroni-Holm korrigiert.

4. Ergebnisse des Gesamtvorhabens

Review/Metaanalyse Die Metaanalyse ergab einen standardisierten Mittelwerteffekt der Bearbeitung einer nichtfahrbezogenen Aufgabe auf die minimale Kollisionszeit nach hochautomatisierter Fahrt von Hedges' $g = 0,33$ mit einem 95-prozentigem Vertrauensintervall zwischen 0,03 und 0,63 (vergleiche Abbildung 2). Effektstärken dieser Größenordnung lassen sich als gering bis moderat einordnen. In Einheiten der minimalen Kollisionszeit ausgedrückt bedeutet dies, dass das Bearbeiten einer nichtfahrbezogenen Fahraufgabe die minimale Kollisionszeit, also der Zeit, die bei unverändertem Verkehrsgeschehen bis zu einem Zusammenstoß verbliebe, um 1,09 Sekunden reduziert. Die Übernahme erfolgte also sicherheitskritischer. Allerdings ist zu beachten, dass für eine Bewertung dieser verringerten Zeitreserve auch die Geschwindigkeit der Fahrzeuge hinzugezogen werden sollte. Aufgrund der geringen Stichprobengröße ließen sich mögliche moderierende Einflüsse verschiedener Aufgabeneigenschaften nicht bestimmen. Diese Ergebnisse wurden nicht veröffentlicht, da in demselben Zeitraum eine ähnliche Metaanalyse (Weaver & DeLucia, 2020) bereits publiziert worden war.

Die Routenplanungsaufgabe sollte durch verschiedene Manipulationen theoretisch bedeutsame visuell-manuelle und kognitive Ressourcen beanspruchen. Diese Aufgabenmanipulationen wirkten nicht wie erwartet: Die visuell-manuelle Manipulation führte nicht zu einer höheren subjektiv wahrgenommenen Beanspruchung der Informationsaufnahme und der Motorik. Die Manipulation der Problemzustandsressource veränderte nicht die empfundene Beanspruchung im Hinblick auf das Merken von Zwischenständen erfasst mit verschiedenen Skalen der DLR-WAT. Auch führten die unterschiedlichen Aufgabenvarianten zu keinerlei Leistungsunterschieden bei der Bearbeitung der fahrfremden Aufgabe. Weder die Bearbeitungsgeschwindigkeit noch die Richtigkeit der geplanten Routen unterschieden sich. Von den

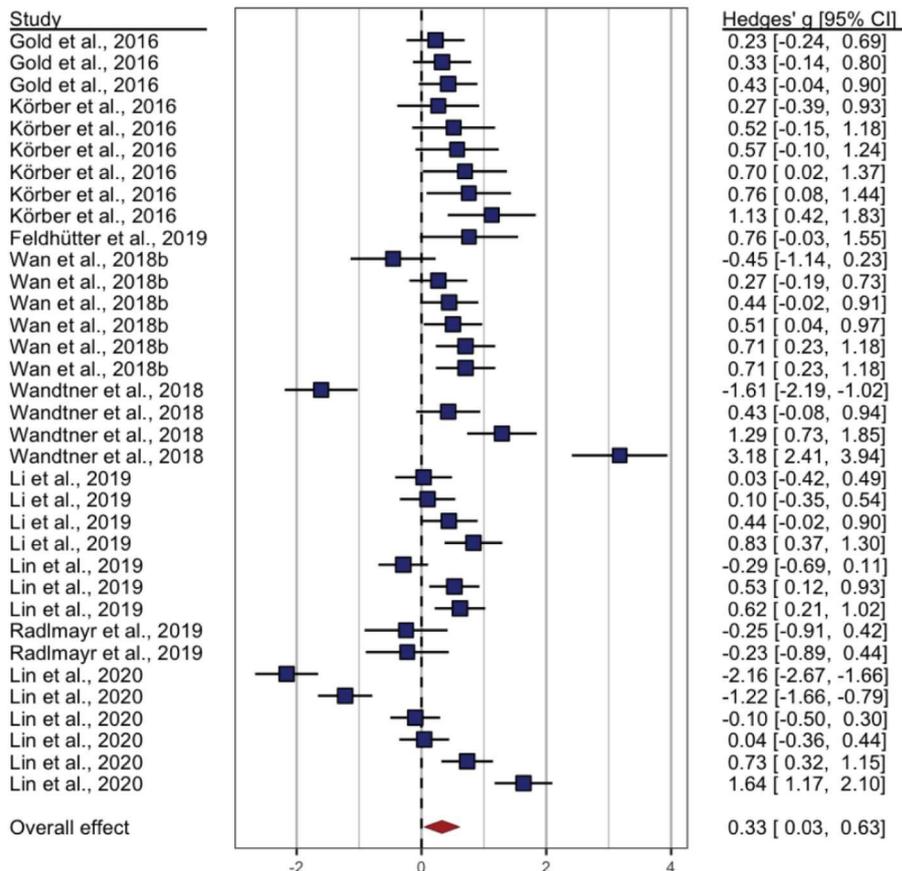


Abbildung 2 Waldgrafik der 35 Effektstärken der neun Studien mit 95% -igen Vertrauensintervallen (Certa, 2021, S. 40)

Teilnehmenden wurden keinerlei Strategien zur Aufrechterhaltung des Problemzustands während der Aufgabenbearbeitung berichtet. Insgesamt sprechen die Ergebnisse dafür, dass die Aufgabenmanipulation nicht hinreichend die kognitiven und visuell-manuellen Verarbeitungsressourcen belastete. Daraufhin wurden die Studienergebnisse über die verschiedenen Bedingungen der fahrfremden Aufgabe als eine Bedingung mit fahrfremder Aufgabe (mit Aufgabe) zusammengefasst und mit Fahrten ohne fahrfremde Aufgabe (ohne Aufgabe) verglichen.

Über den Fahrtverlauf fühlten sich die Fahrenden zunehmend schläfriger, wenn sie keine fahrfremde Aufgabe ausführten. Die Routenplanungsaufgabe minderte dagegen das Gefühl von Schläfrigkeit über die gesamte Fahrtdauer hinweg (vgl. Abbildung 3). Insgesamt blieb das Schläfrigkeitsausmaß unter beiden

Bedingungen und zu allen Messzeitpunkten unter dem Wert von 7 auf der KSS und ist folglich als unkritisch einzustufen (Härmä et al., 2002).

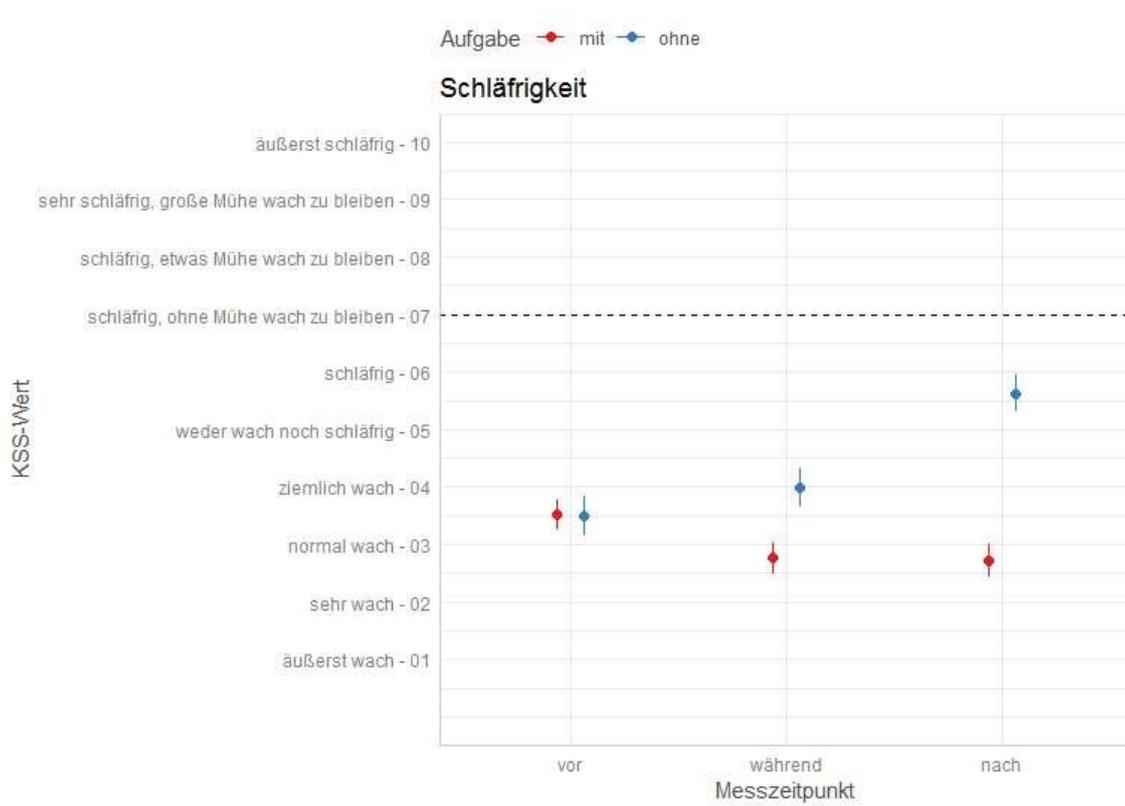


Abbildung 3 Schläfrigkeit (Mittelwerte mit 95%-igen Vertrauensintervallen)

Die Bearbeitung der fahrfremden Aufgabe führte zu einem höheren subjektiven Anstrengungserleben, gemessen mit der Skala subjektiv erlebte Anstrengung (Eilers et al., 1986), als die Fahrt ohne fahrfremde Aufgabe. Insgesamt wurden Fahrten mit fahrfremder Aufgabe als *ziemlich anstrengend* eingeschätzt und liegen damit etwas über einem mittleren Niveau erlebter Anstrengung. Nach einer Übernahmesituation stieg das Anstrengungserleben nicht weiter an. Womöglich ist hierfür ein Deckeneffekt der bereits zuvor erlebten Anstrengung verantwortlich. Dagegen gingen Fahrten ohne fahrfremde Aufgaben mit einem geringeren Anstrengungserleben einher, jedoch nahm die subjektiv erlebte Anstrengung nach einer Übernahmesituation zu (vgl. Abbildung 4B). Das Befundmuster spiegelt sich auch in der allgemeinen zentralen Aktiviertheit wider (siehe Abbildung 4A). Jedoch wurde bei dieser Skala mit Ankerbeispielen von Bartenwerfer (1969) nicht die gesamte Bandbreite möglicher Skalenwerte ausgeschöpft. Die mittleren Werte für Fahrten ohne fahrfremde Aufgabe befanden sich nahe dem Anker „Ich liege auf einem Sofa und blättere in einer Illustrierten.“ Dagegen führten Fahrten mit Routenplanungsaufgabe zu einem Grad der geistig-nervlichen Angespanntheit, der mit dem Lesen einer Zeitung oder eines Kriminalromans vergleichbar ist.

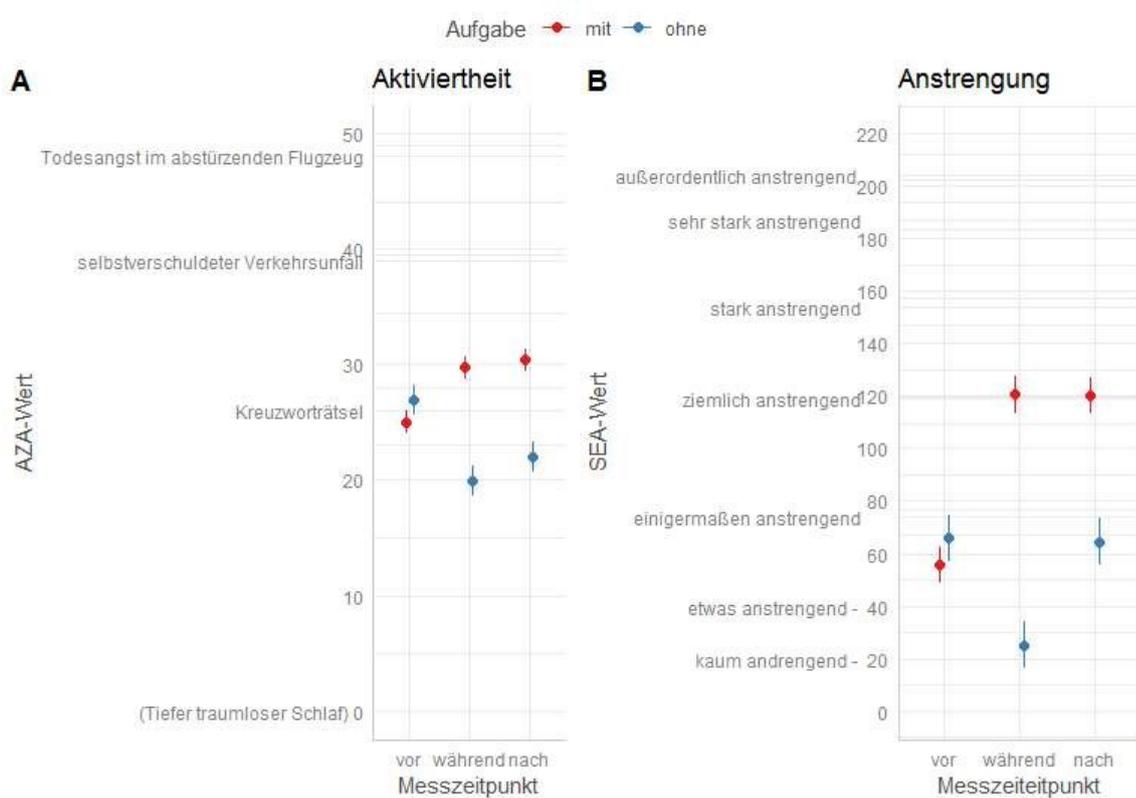


Abbildung 4 Subjektiv erlebte mentale Beanspruchung erfasst als A) allgemeine zentrale Aktiviertheit und B) subjektiv erlebte Anstrengung (Mittelwerte mit 95%-igen Vertrauensintervallen)

Bei einer differenzierteren Betrachtung der beanspruchten Ressourcen (siehe Abbildung 5) mit der DLR-WAT (Grippenkoven et al., 2018) zeigte sich, dass Fahrten mit der Routenplanungsaufgabe als kognitiv beanspruchender erlebt wurden: Die Fahrenden fühlten sich bei der Suche und Aufnahme von Informationen sowie durch Entscheidungsfindung und -auswahl stärker beansprucht. Auch beanspruchte die Fahrt mit Routenplanungsaufgabe stärker das Abrufen relevanten Wissens als eine Fahrt ohne Aufgabe. Dabei lag jedoch das Beanspruchungsniveau mit Aufgabe nahe dem optimalen Niveau. Fahrten mit fahrfremder Aufgabe ging wie Fahrten ohne Aufgabe mit einer leichten motorischen Unterbeanspruchung einher. Leider ist eine gesicherte Einordnung der Befunde in kritische oder unkritische Unter- oder Überforderung ohne Normwerte nicht möglich.

Die Beanspruchungsbilanz des WSIBs (Wieland & Hammes, 2014) drückt aus, inwiefern das Ausmaß der funktionalen, positiven Beanspruchung die dysfunktionale, negative Beanspruchung überwiegt. Je positiver der Wert, desto stärker erlebten die Personen die Beanspruchung als funktional. Insgesamt fiel die Bilanz unabhängig von der Bearbeitung einer fahrfremden Aufgabe eher positiv aus (siehe Abbildung 6). Dabei erlebten die Fahrenden eine etwas weniger positive Bilanz nach der Übernahme, wenn sie vorher keine fahrfremden Aufgaben bearbeiteten. Insgesamt erlebten die Teilnehmenden ein eher geringes Ausmaß an Kontrolle. Wiederum empfanden die Teilnehmenden weniger Kontrolle nach einer Übernahme, wenn sie vorher keine Aufgabe bearbeiteten. Unabhängig von der Aufgabenbearbeitung deutet das Screening mangels der wahrgenommenen Kontrollmöglichkeiten auf eine suboptimale Beanspruchung hin, die mit einem mittleren Gesundheitsrisiko einhergeht (Wieland & Hammes, 2014).



Abbildung 5 Mehrdimensional erfasste Beanspruchung vor, während und nach der Fahrt (Mittelwerte mit 95%-igen Vertrauensintervallen)

Die physiologischen Befunde zur Einschätzung der kurzfristigen Beanspruchungsfolgen wurden erhoben, jedoch noch nicht ausgewertet. Der Parameter RMSSD wird als Indikator vagalen Tonus (Laborde et al., 2018) zwischen den Bedingungen Fahrt mit und ohne fahrfremder Aufgabe verglichen werden.

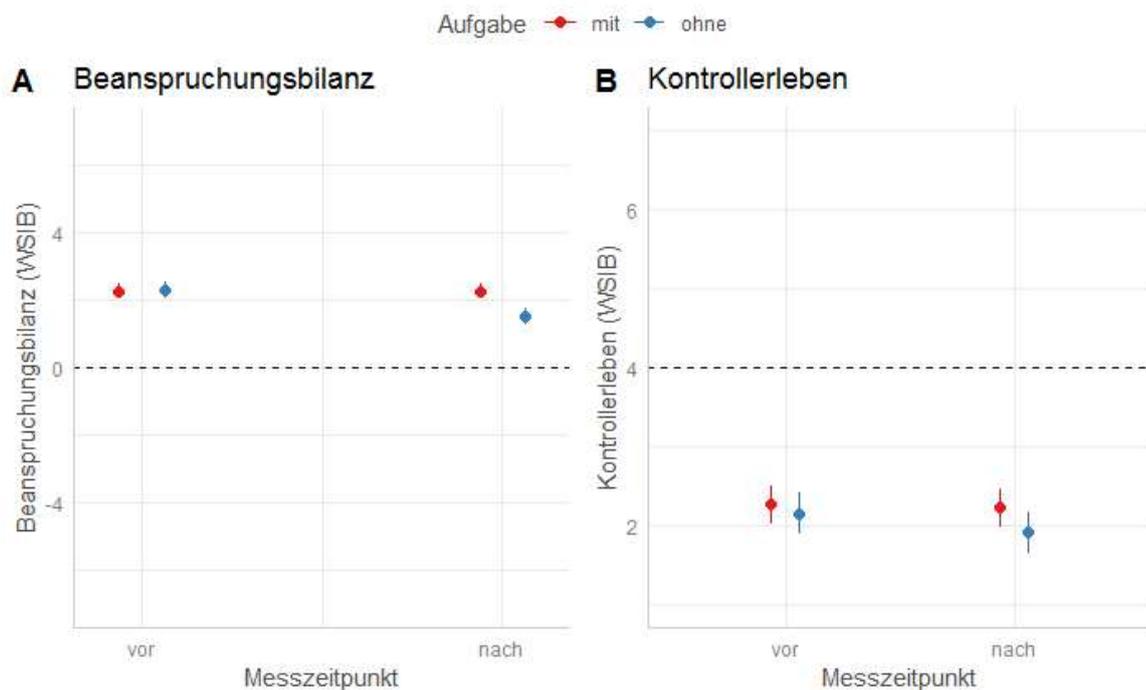


Abbildung 6 Ergebnisse des Wuppertaler Screening Instruments Psychische Beanspruchung in Abhängigkeit von der Bearbeitung der fahrfremden Aufgabe für A) die Beanspruchungsbilanz und B) das Kontrollerleben

Die Bearbeitung der kognitiv beanspruchenden Routenplanungsaufgabe beeinflusste nicht die Übernahmezeit (Knopfdruck am Lenkrad) aus hochautomatisierter Fahrt. Die Übernahmezeiten lagen für Fahrten ohne fahrfremde Aufgabe zwischen 1,23 und 4,25 Sekunden ($M = 2,41$, $SD = 0,7$). Wurde während der hochautomatisierten Fahrt eine Routenplanungsaufgabe bearbeitet, übernahmen die Fahrenden innerhalb von 1,28 bis 4,66 Sekunden ($M = 2,51$, $SD = 0,7$). Keine Übernahmezeit überstieg das Zeitbudget abzüglich einer Zeitreserve für Manöverauswahl und Reaktionsausführung von einer Sekunde (Schömig et al., 2022; Winner, 2015) oder überschritt den Zeitraum bis zum Einleiten eines riskominimierenden Manövers von zehn Sekunden (*UN Proposal concerning Automated Lane Keeping Systems*, 2020).

Um die Fahrleistung nach der Übernahme umfassend bewerten zu können, sollten neben der Übernahmezeit fahrphysikalische Daten zur lateralen und longitudinalen Kontrolle des Fahrzeugs nach der Übernahme erfolgen. Wie gut, die zweite kritische Situationen gemeistert wurde, kann nicht ausgewertet werden. Das Zusammenspiel aus streckengebundener Situationsauslösung und der Variabilität des Fahrverhaltens führte zu verschiedenartigen Situationen, die nicht miteinander vergleichbar sind.

In den Fällen, in denen eine fahrfremde Aufgabe bearbeitet wurde, konnte seltener die zulässige Höchstgeschwindigkeit während der Übernahmesituation erinnert werden. Auch wenn es sich dabei um einen schwachen Effekt handelt, weist der Befund darauf hin, dass die Fahrenden bei Übernahmen mit fahrfremder Aufgabe zwar zügig, aber auf Basis eines unvollständigen Situationsmodells reagierten.

Hochautomatisierte Fahrten ohne fahrfremde Aufgabe im Simulator führten zu einer erhöhten Schläfrigkeit und verringertem Workload. Kognitiv beanspruchende Routenplanungsaufgaben verringerten die Schläfrigkeit und führten zu einem als höher empfundenen Workload. Dennoch unterschieden sich die Übernahmezeiten nicht in Anhängigkeit vom Vorhandensein einer fahrfremden Aufgabe. Da das Fahren aufgrund des mangelnden Kontrollerlebens als suboptimal einzuschätzen ist und es Hinweise darauf gibt, dass die Personen relevante Informationen für eine erfolgreiche Bewältigung der Übernahmesituation nicht berücksichtigen konnten, spricht die Studie dafür, dass kognitive beanspruchende Aufgaben als fahrfremde Tätigkeiten während hochautomatisierter Fahrt als eher ungeeignet einzuschätzen sind.

Ampelklassifikation

Die ethischen Regeln für den automatisierten und vernetzten Fahrzeugverkehr räumen der Verkehrssicherheit und dem Schutz von Menschen „Vorrang vor allen anderen Nützlichkeitsabwägungen“ (Ethik-Kommission - Automatisiertes und vernetztes Fahren, 2017, S. 10) ein. Daher richtet sich die Einordnung verschiedener Aufgabeneigenschaften hauptsächlich an der Sicherheit einer Übernahme aus hochautomatisierter Fahrt aus.

Laut §1b (2) des Straßenverkehrsgesetzes (StVG, 2023) sind Fahrende verpflichtet, auch ohne systemseitige Aufforderung bei Bedarf unverzüglich die Fahrzeugsteuerung wieder übernehmen zu können. Ist kein Übernahmesignal vorhanden, ändern sich die Anforderungen an den Fahrenden zum Einleiten der Übernahme: statt eine eindeutig definierte Übernahmeaufforderung wahrzunehmen (vgl. Naujoks et al., 2018), müssen die Fahrenden das Vorliegen einer kritischen Situation selbst erkennen können. Das erfordert eine interpretative Bewertung der Situation. Da fahrfremde Aufgaben jedoch das Entdecken einer kritischen Situation verhindern können (Kusch et al., 2021), wird für Übernahmen ohne vorhergehende Aufforderung eine Bearbeitung fahrfremder Aufgaben, die über die aktuell rechtlich zulässigen Tätigkeiten hinausgehen, nicht befürwortet.

Die folgenden Überlegungen betreffen Situationen, in denen Fahrende zu einer ungeplanten Übernahme aufgefordert werden und ihnen dafür zehn Sekunden zur Verfügung stehen.

Eine Herausforderung in der Bewertung der Sicherheit und des Beanspruchungspotentials verschiedener Aufgabendimensionen besteht in der Definition relevanter Grenzwerte. Im Hinblick auf die Qualität und Sicherheit einer Übernahme existieren zahlreiche Indikatoren (International Organization for Standardization, 2020). Aus Sicht der Praxis wäre hier eine Handreichung wünschenswert, die verbindlich relevante Grenzwerte vorschlägt. Im Rahmen des Projektes wurde die (minimale) Kollisionszeit als Indikator für die Kritikalität einer Übernahmesituation gewählt (Laureshyn & Várhelyi, 2018). Als Grenzwert wurde eine Sekunde festgelegt, da bei dieser Dauer bis zu einer Frontalkollision Ausweichmanöver nicht mehr ausgeführt werden können (Winner, 2015), sodass derartige Situationen als Beinahe-Unfälle behandelt werden können (Schömig et al., 2022).

Auch existiert derzeit kein allgemein anerkannter Schwellwert für ein zu viel oder zu wenig an Belastung durch Aufgabeneigenschaften (Grier et al., 2008). Daher wurde das Wuppertaler Screening Instrument Psychische Beanspruchung (WSIB; Wieland & Hammes, 2014) genutzt, um wahrgenommene funktionale und dysfunktionale Beanspruchung zu bilanzieren.

Um Aufgabeneigenschaften als unkritisch und geeignet einzustufen, müssten diese mit einer als geeignet anerkannten Bedingung verglichen oder gegen einen Kriteriumswert getestet werden. Es sollte nachgewiesen werden, dass die Eigenschaft der fahrfremden Aufgabe zu gleichartigen Ergebnissen führt. Fehlende signifikante Ergebnisse, auch in Metanalysen, belegen nicht hinreichend die Abwesenheit eines Effekts (Lakens, 2013). Daher sollten Studien mit Äquivalenztests geplant werden oder positive Zielkriterien (im Gegensatz zu Vermeidungszielen) definiert werden, wie beispielsweise erhöhtes Wohlbefinden, um Aufgabeneigenschaften als unkritisch einzuordnen. Daher werden im Rahmen des Projekts keinerlei Aufgabeneigenschaften als grundsätzlich geeignet bewertet. Das bedeutet nicht, dass es keine geeigneten Aufgaben gibt, sondern dass es keinen Nachweis für deren Eignung gibt.

Zusammenfassend sind Aufgaben ungeeignet, die ein Halten von Geräten oder Objekten erfordern, da sie im Falle einer Übernahme abgelegt werden müssen. Diese Art Aufgaben verlängern die Übernahmezeit (McDonald et al., 2019; Shi & Bengler, 2022a; Zhang et al., 2019) und gehen mit einer erhöhten Wahrscheinlichkeit für Kollisionen einher (Weaver & DeLucia, 2020). Aufgaben mit hohen Anforderungen an die visuelle Informationsaufnahme, die ein gleichzeitiges Überwachen der Fahrumgebung verhindern, sind ebenfalls ungeeignet. Sie verlängern ebenfalls die Übernahmezeit und gehen mit weniger sicheren Übernahmen einher (Weaver & DeLucia, 2020). Für geistig beanspruchende Aufgaben ist die Befundlage weniger eindeutig. Es ist nicht nachgewiesen, dass diese Aufgaben erheblich die Übernahmezeit und –güte beeinträchtigen. Allerdings zeigte eine aktuelle Studie, dass rein auditive, kognitiv beanspruchende Aufgaben, die Sicherheit der Übernahme verringern, insbesondere bei älteren Fahrenden (Peng et al., 2022). Die Untersuchung im Fahrsimulator zeigte ebenfalls, dass kognitiv beanspruchende Aufgaben das Verständnis der aktuellen Verkehrssituation beeinträchtigen können, also zu einem unsicheren kognitiven Zustand beitragen (Grier et al., 2008). Zudem bleibt zu überprüfen, ob die erhöhte kognitive Beanspruchung verglichen mit einer Fahrt ohne fahrfremde Aufgabe langfristig mit negativen Beanspruchungsfolgen einhergeht. Daher werden Aufgaben dieser Art als möglicherweise ungeeignet klassifiziert.

Im Hinblick auf die Beanspruchung ist fraglich, ob eine differenzierte Betrachtung einzelner Aufgabeneigenschaften angemessen ist. So war das hochautomatisierte Fahren im Simulator unabhängig vom Bearbeiten einer fahrfremden Aufgabe mit einem geringen Kontrollerleben verbunden.

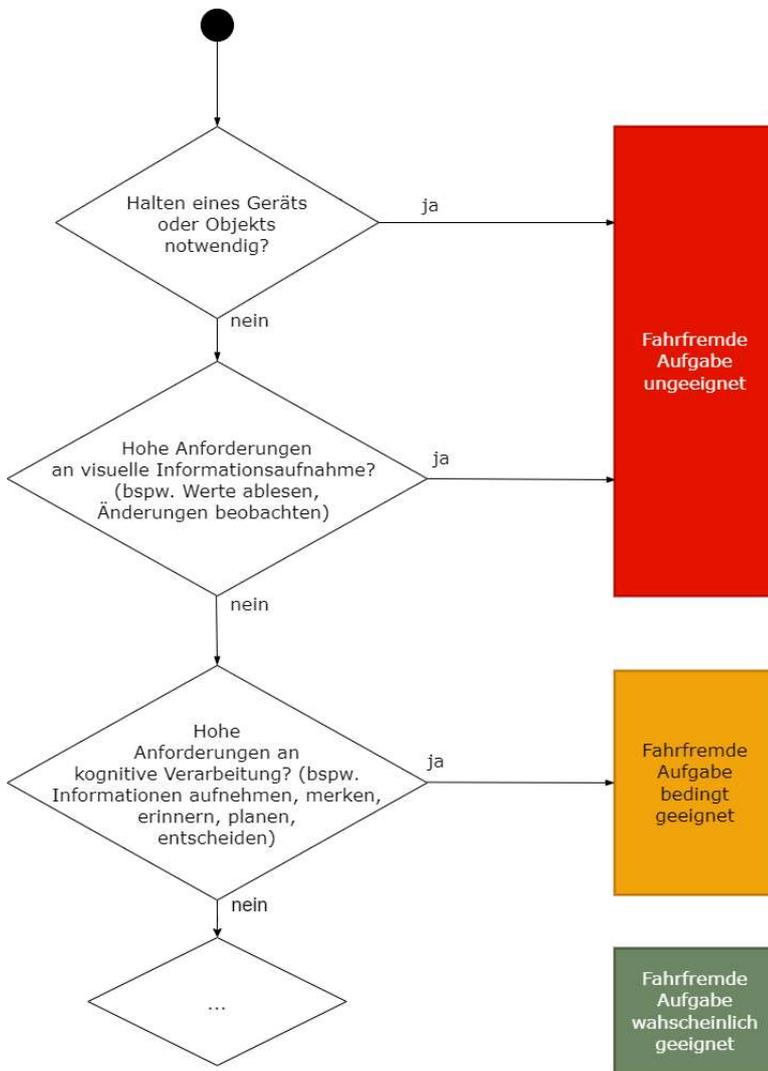


Abbildung 7 Ampelklassifikation: Entscheidungen, anhand derer Aufgaben als ungeeignet, bedingt geeignet und geeignet als fahrfremde Aufgabe während hochautomatisierter Fahrt eingeordnet werden können. Die leere Entscheidung verdeutlicht, dass weitere Aufgabeneigenschaften zukünftig als bedeutsam erachtet werden können. Nach aktuellem Stand können keinerlei Aufgaben als vorbehaltlos geeignet eingeschätzt werden. Achtung, dabei wird davon ausgegangen, dass die Aufgabe der Fahrenden in einer Übernahme der Fahrzeugkontrolle nach einer Übernahmeaufforderung besteht!

5. Auflistung der für das Vorhaben relevanten Veröffentlichungen, Schutzrechtsanmeldungen und erteilten Schutzrechte von nicht am Vorhaben beteiligten Forschungsstellen

Eine Veröffentlichung, die eine Bewertung von Aufgabeneigenschaften hinsichtlich der Eignung als fahrfremde Aufgaben während hochautomatisierter, dienstlich veranlasster Fahrten vornimmt, ist nicht bekannt. Seit 2019 wurden relevante Regularien zum Einsatz hochautomatischer Fahrfunktionen und Übersichtsarbeiten zum Einfluss fahrfremder Aufgaben auf die Übernahme aus hochautomatisierter Fahrt veröffentlicht.

Gesetze, Normen, Standardisierungen, die das Design der Testszenarien und Übernahme-situationen beeinflussten

2021 trat die UNECE-Regelung Nr. 157 (*UN Proposal concerning Automated Lane Keeping Systems, 2020*) in Kraft. Damit wurden erstmals international einheitliche Rahmenbedingungen geschaffen, um hochautomatisierte Systeme zu genehmigen. Unter anderem wurde festgelegt, dass die Systeme nur unter Bedingungen, wie sie auf Autobahnen vorzufinden sind, aktiviert werden dürfen. Fahrfremde Aktivitäten sind ausschließlich auf bordeigenen Anzeigen erlaubt, die im Falle einer Übernahme automatisch deaktiviert werden. Fahrende werden auf ihre Verfügbarkeit hin überwacht und bei fehlender Verfügbarkeit nach 30 Sekunden gewarnt. Für ungeplante Übergaben steht ein Zeitbudget von 10 Sekunden zur Verfügung. Danach muss das System eigenständig Manöver durchführen, um Sicherheitsrisiken zu minimieren. Das System muss jederzeit durch Fahreingriffe wie Lenken oder Bremsen überschrieben werden können. Ursprünglich durften die Systeme nur bei einer Geschwindigkeit von bis zu 60 km/h genutzt werden.

Aufgrund dieser rechtlichen Regelung wurden die Testszenarien so angepasst, dass die Übernahmeaufforderungen trotz einer Autobahnfahrt bei einer Geschwindigkeit von 60 km/h erfolgten. Außerdem wurde das Zusammenspiel aus Fahrsimulation und fahrfremder Aufgabe so gestaltet, dass die fahrfremde Aufgabe bei Übernahmen oder Übernahmeaufforderung ausgeblendet wurde. In dem Projekt wurden weder eine Warnung wegen mangelnder Verfügbarkeit der fahrenden Person noch eine eskalierende Übernahmeaufforderung nach vier Sekunden oder ein risikominimierendes Manöver implementiert. Um eindeutig einen Zeitpunkt bestimmen zu können, zu dem sich Fahrende bewusst für eine Übernahme entschieden, wurde auf ein Überschreiben der automatischen Fahrfunktion durch Fahreingriffe, wie Lenken oder Bremsen, verzichtet. Mittlerweile wurde die zulässige Höchstgeschwindigkeit für hochautomatisierte Systeme auf 130 km/h angehoben (*Proposal for the 01 Series of Amendments to UN Regulation No. 157 (Automated Lane Keeping Systems), 2022*). Diese Änderung konnte in der Projektlaufzeit nicht mehr berücksichtigt werden.

Übersichtsarbeiten (Metaanalysen und Reviews)

In einer Metaanalyse, die auf 520 Werten basierte, die in 129 Studien berichtet und an 4556 Personen erhoben wurden (Zhang et al., 2019), wurde der Einfluss verschiedener Versuchsbedingungen auf die mittlere Übernahmezeit aus mindestens teilautomatisierter Fahrt untersucht. Hinsichtlich der betrachteten Aufgabeneinflüsse zeigte sich, dass insbesondere eine Aufgabenbearbeitung mit festgehaltenem Gerät gegenüber keiner Aufgabenbearbeitung die Übernahmezeit verlängert (im Mittel um 1,33 Sekunden). Aufgaben ohne Bindung der Hände verlängern gegenüber keiner Aufgabenbearbeitung die Übernahmezeit entsprechend folgender Rangreihe: visuell-auditive Aufgaben um 400 Millisekunden und visuell-motorische Aufgaben um 290 Millisekunden. Für auditiv-kognitive Aufgaben konnte kein eindeutiger Einfluss auf die Übernahmezeit gefunden werden. In einer Regression über verschiedene Studien hinweg, zeigte sich, dass die Bindung der Hände durch das Festhalten eines Gerätes und visuell beanspruchende Aufgaben die Übernahmezeit stark verlängern.

In ihrem systematischen Review belegten McDonald und Kolleg:innen (2019), dass manueller Load die Übernahmezeit stark verlängert. Hinsichtlich der Sinnesmodalität, mit der Aufgaben ohne Nutzung eines mobilen Endgeräts dargeboten werden, und der Beanspruchung kognitiver Ressourcen zeichnete sich eine gemischte Befundlage ab. Darüber hinaus zeigten die Autor:innen in einer Metaanalyse, dass mit einem höheren Zeitbudget für einer Übernahme auch die Übernahmezeit steigt. Die gesichtete Literatur legte nahe, dass die Fahrzeugführung nach einer Übernahme durch das Bearbeiten einer Aufgabe vor der Übernahme generell beeinträchtigt ist. Ein gesonderter Einfluss verschiedener Aufgabeneigenschaften ließ

sich nicht belegen. Erneut unterstrichen die Autor: innen, wie bereits Zhang und Kolleg:innen (2019), dass es an Befunden zum Zusammenhang zwischen der Dauer und der Güte einer Übernahme mangelt.

Auf Grundlage dieser Übersichtsarbeiten wurde festgestellt, dass Aufgaben, die ein Halten von Objekten erfordern, bereits hinreichend als ungeeignete fahrfremde Aufgaben bewertet werden können. Daher wurden diese Aufgaben nicht weiter betrachtet. Der Forschungsstand zu kognitiv beanspruchenden Aufgaben war dagegen weniger eindeutig. Da kognitiv beanspruchende Aufgaben wahrscheinlich relevante fahrfremde Aufgaben für dienstlich veranlasste Fahrten darstellen und der Übernahmeprozess für die Fahrenden ein kognitiver Verarbeitungsprozess ist (Naujoks et al., 2018), sollten vorrangig kognitiv beanspruchende Aufgaben differenziert untersucht werden. Visuell und manuell beanspruchende Aufgaben sollten als Referenz genutzt werden, um die Stärke eines möglichen Effekts kognitiv beanspruchender Fahrten einordnen zu können.

Maße der Übernahmequalität, wie Zusammenstöße und minimale Zeit bis zur Kollision (minTTC), wurden in einer weiteren Metaanalyse (Weaver & DeLucia, 2020) beleuchtet. Basierend auf 51 englischsprachig publizierten Experimenten aus den Jahren 2013 bis 2019 wurde erneut der Einfluss nichtfahrbezogener Aufgaben auf die Übernahmezeit und Übernahmequalität zusammenfassend analysiert. Die Ergebnisse basieren auf Daten, die an 1972 Personen erhoben worden waren. Im Gegensatz zu der Metaanalyse von Zhang und Kolleg:innen (2019) wurde betrachtet, ob das Beanspruchen gleicher Ressourcen sowohl durch die Fahraufgabe als auch die nichtfahrbezogene Aufgabe (Ressourcenüberlappung) die Übernahmeleistung beeinflusst. Es zeigte sich, dass nichtfahrbezogene Aufgaben allgemein, und visuell beanspruchende sowie visuell-manuell beanspruchende Aufgaben im Besonderen, die Übernahmezeit in geringem bis mittlerem Maße verlängern. Sowohl der moderierende Einfluss überlappender Ressourcen als auch der Aufgabeneinfluss auf die Übernahmequalität ließen sich statistisch nicht gegen Zufall absichern. Dagegen wurde für fahrfremde Aufgaben im Allgemeinen eine höhere Variabilität der lateralen Position des Fahrzeugs nach der Übernahme identifiziert. Visuell beanspruchende Aufgaben und besonders gleichzeitig visuell und manuell beanspruchende Aufgaben verringerten den zeitlichen und räumlichen Abstand zu einem Hindernis nach einer Übernahme, führten also zu weniger sicheren Übernahmen. Auch wenn manuelle Aufgaben kaum die Übernahmezeit beeinflussten, so gingen sie dennoch tendenziell mit einer erhöhten Kollisionsrate einher. Dabei wurde nicht unterschieden, ob Personen Gegenstände in der Hand hielten oder nicht.

Shi und Bengler (2022a) belegten in einer weiteren Metaanalyse, dass aktives Bearbeiten einer fahrfremden Aufgabe gegenüber einer Überwachungsaufgabe und der Bedarf, Gegenstände abzulegen, die Übernahmezeit verlängern. In geringerem Maße verlängern visuell beanspruchende Aufgaben ebenfalls die Übernahmezeit. Interessanterweise verlängerten Aufgaben, die kognitiv der Fahraufgabe unähnlich waren, in geringem Maße ebenfalls die Übernahmezeit. Der Einfluss einer Ressourcenüberlappung scheint differenziert nach Art der beanspruchten Ressource betrachtet werden zu müssen.

6. Bewertung der Ergebnisse hinsichtlich des Forschungszwecks/-ziels, Schlussfolgerungen

Im Rahmen des Projekts sollte die Frage beantwortet werden, durch welche Eigenschaften fahrfremde Aufgabe mehr oder weniger geeignet sind, um während Phasen hochautomatisierter Fahrt bearbeitet werden zu können. Es wurde eine Ampelklassifikation vorgeschlagen, die realistische Aufgaben aufgrund ihrer Eigenschaften in geeignet (grün), bedingt geeignet (gelb) bzw. nicht geeignet (rot) klassifiziert. Diese kann als erster Anhaltspunkt für eine Gefährdungsbeurteilung von Arbeitsplätzen, die hochautomatisiertes Fahren beinhalten, herangezogen werden, sollte jedoch in einem weiteren Schritt durch Experten validiert werden. Offen ist, ob zukünftig andere Aufgabeneigenschaften in die Betrachtung aufgenommen werden

sollten. Üblicherweise werden Ähnlichkeiten zwischen zwei Aufgaben als Erklärung für eine schlechtere Leistung unter Mehrfachaufgabenbelastung herangezogen (Salvucci & Taatgen, 2011; Wickens, 2008). Nun zeigte sich in einer Studie, dass Ähnlichkeiten in der Aufgabenmodalität sogar förderlich sein können (Shi & Bengler, 2022b) und das Repertoire an Theorien, die bislang im Kontext hochautomatisierten Fahrens zur Vorhersage und Erklärung von Befunden herangezogen wurden, erweitert werden sollte.

Für eine realistische Abbildung beruflicher Aufgabenanforderungen bei hochautomatisierten Fahrten sollte der Einfluss einer Priorisierung der fahrfremden Aufgabe vor der Fahraufgabe untersucht werden. Wahrscheinlich wird beruflicher Erfolg eher an der Güte oder Menge erledigter fahrfremder Aufgabe und nicht an der Fahrleistung ermittelt werden, so dass diese „Nebenaufgaben“ trotz des Sicherheitsrisikos subjektiv als bedeutsamer erlebt werden könnten. Es könnte zu einer Rollenverschiebung von der fahrfremden Aufgabe als Zweitaufgabe zur primären Aufgabe kommen. Zudem ist anzunehmen, dass fahrfremde Aufgaben nicht isoliert, sondern parallel oder im Wechsel mit anderen Aufgaben ausgeführt werden. Kollaborative Aufgabenbearbeitungen wurden ebenfalls bislang in der Forschung nicht beachtet. Der Einfluss dieser Faktoren sollte daher ebenfalls im Hinblick auf die Güte von Übernahmen und das Beanspruchungserleben untersucht werden.

Die psychische Belastung, als „Gesamtheit aller erfassbaren Einflüsse, die von außen auf einen Menschen zukommen und diesen psychisch beeinflussen“ (DIN Deutsches Institut für Normung e. V., 2018), die mit der Bearbeitung fahrfremder Aufgaben während hochautomatisierter Fahrten einhergeht, umfasst nicht nur die Eigenschaften der fahrfremden Aufgabe sondern auch die Arbeitsbedingungen. Diese Bedingungen wurden im Rahmen des Projekts nicht weiter betrachtet. Allgemein ist das Arbeiten im hochautomatisierten Fahrzeug entsprechend der Leitsätze zur Gestaltung von Arbeitssystemen (DIN Deutsches Institut für Normung e. V., 2000) als kritisch zu bewerten. Fahren und das gleichzeitige Erledigen einer weiteren dienstlichen Aufgabe können zu Zielkonflikten führen. Auch wenn prinzipiell jederzeit das hochautomatisierte System durch Fahreingriffe übersteuert werden können muss, so ist die Steuerbarkeit der Situation dennoch gering, sobald eine Person hochautomatisiert fahren muss, um weitere Aufgaben bewältigen zu können. Die Studie im Fahrsimulator zeigte, dass in dieser Fahrsituation wenig Kontrolle erlebt wird. Auch ist die Erledigung der Aufgabe abhängig von äußeren Einflüssen und es kann weniger Autonomie erlebt werden. Nicht zuletzt ermöglicht das Arbeiten im Fahrzeug kaum Bewegung.

Ob psychische Belastungen zu förderlicher oder beeinträchtigender Beanspruchung führen, hängt maßgeblich von den individuellen Voraussetzungen der Person ab. Diese individuellen Voraussetzungen wurden ebenfalls nicht im Rahmen des Projekts berücksichtigt. Allein während des Versuchs im Fahrsimulator – an einer vorselektierten Stichprobe - konnten einige Personen nicht hochautomatisiert fahren und arbeiten: Entweder weil ihnen übel wurde oder eine Person sich ausgeprägt fürchtete. Kinetosen, also vegetative Symptome wie Schwindel und Übelkeit bei bewegungsreichen Situationen, sind stark genetisch bestimmt (Ärztblatt, 2018) und könnten mindestens die Hälfte der Menschen betreffen (Heiß, 2021). Vor diesem Hintergrund sind fahrfremde Aufgaben für die berufliche Nutzung ganz unabhängig von den konkreten Eigenschaften der fahrfremden Aufgabe als kritisch einzuschätzen.

7. Aktueller Umsetzungs- und Verwertungsplan

Die Ergebnisse der Studie im dynamischen Fahrsimulator werden in einer internationalen Fachzeitschrift veröffentlicht werden. Dazu werden die Daten der Blickbewegungsmessung und Herzrate sowie weitere Parameter der Fahrzeugkontrolle nach einer Übernahme ausgewertet.

8. Anhang/Anhänge

Tabelle 2 Vergleich der Testscenarien hinsichtlich der physischen und psychischen Eigenschaften nach dem ISO Standard Nr. 21959-2:2020 (International Organization for Standardization, 2020)

Testscenarien Parameter	Szenario Nebel	Szenario Wanderbaustelle	Szenario Baustelle
Physische Dimensionen			
Eigenschaften der vorausgehenden hochautomatisierten Fahrt	<ul style="list-style-type: none"> • Hochautomatisierte Fahrt auf zweispuriger Autobahn, • Fahrfunktion lenkt, beschleunigt, bremst und überholt langsamere Fahrzeuge, • HMI der automatisierten Fahrfunktion: • Anzeige des Modus der automatisierten Fahrfunktion: verfügbar, nicht verfügbar, aktiviert, deaktiviert, • Anzeige der aktuell zulässigen Höchstgeschwindigkeit • Verkehr mittlerer Dichte • 35 Minuten 	<ul style="list-style-type: none"> • 35 Minuten 	<ul style="list-style-type: none"> • 28 Minuten
Eigenschaften der Startszene			
Verkehrsinfrastruktur	2-spurig, gerader Streckenabschnitt	2-spurig, sanfte Linkskurve	2-spurig, gerader Streckenabschnitt
Umweltbedingungen	trocken, Tageslicht, ohne blendendes Licht		
Verkehrskonstellation	<ul style="list-style-type: none"> • Nebel • Egofahrzeug fährt auf der rechten Spur. • überholender Verkehr • Aufgrund der zunehmenden Sichteinschränkung durch Nebel bremst das Fahrzeug von 120 km/h schrittweise auf 60 km/h ab. 	<ul style="list-style-type: none"> • klare Sicht • Egofahrzeug fährt auf der rechten Spur. • Kein überholender Verkehr • Aufgrund der Baustellenschilder bremst Fahrzeug von 120 km/h schrittweise auf 60 km/h 	<ul style="list-style-type: none"> • klare Sicht • Egofahrzeug fährt auf der rechten Spur. • Überholender Verkehr • Aufgrund einer Baustelle mit verschmutzter Fahrbahn bremst das Fahrzeug von 120 km/h auf 60km/h ab und navigiert es in die Baustelle.
Entwicklung des Testscenarios (siehe Abbildung 8 Entwicklung des Testscenarios)	Eine Nebelbank löst die Übernahmeaufforderung aus. Daraufhin wird ein die Spur blockierender Lkw sichtbar. Nach Übernahme und Spurwechsel weicht ein weiterer Lkw von der rechten auf die linke Spur aus, in der sich nunmehr das Egofahrzeug befindet.	Der vorausfahrende Bus wechselt auf die linke Spur. Dadurch wird das Spurwechselschild der mobilen Baustelle sichtbar. Die Übernahmeaufforderung wird ausgelöst. Nach Übernahme und Spurwechsel wechselt ein Fahrzeug der Wanderbaustelle von der rechten auf die linke Spur, in der sich nunmehr das Egofahrzeug befindet.	Eine unklare Markierung (Verschmutzung) der Fahrbahn löst eine Übernahmeaufforderung aus. Ein stehendes Auto und ein Krankenwagen blockieren die rechte Spur. Nach Übernahme und Spurwechsel zieht unerwartet ein Lkw von der rechten auf die linke Spur, in der sich das EGO-Fahrzeug befindet.

Ende des Testzenarios Nach Lichten des Nebels und erneuter Verfügbarkeit der automatischen Fahrfunktion Ende der Wanderbaustelle Ende der Baustelle

Psychologische Dimensionen	Szenario Nebel	Szenario Wanderbaustelle	Szenario Baustelle
Dringlichkeit des Fahrendeneingriffs	Mittel (8 Sekunden Zeitbudget)	Mittel (8 Sekunden Zeitbudget)	Mittel (8 Sekunden Zeitbudget)
Vorsagbarkeit der Übernahmeaufforderung	Gering	Gering	Gering
Wahrgenommene Kritikalität	Hoch, Kollision möglich	Hoch, Kollision möglich	Hoch, Kollision möglich
Komplexität der erforderlichen Reaktion	Hoch, Geschwindigkeitsänderung und Spurwechsel erforderlich	Mittel, Spurwechsel erforderlich, kein überholender Verkehr	Hoch, Geschwindigkeitsänderung und Spurwechsel erforderlich

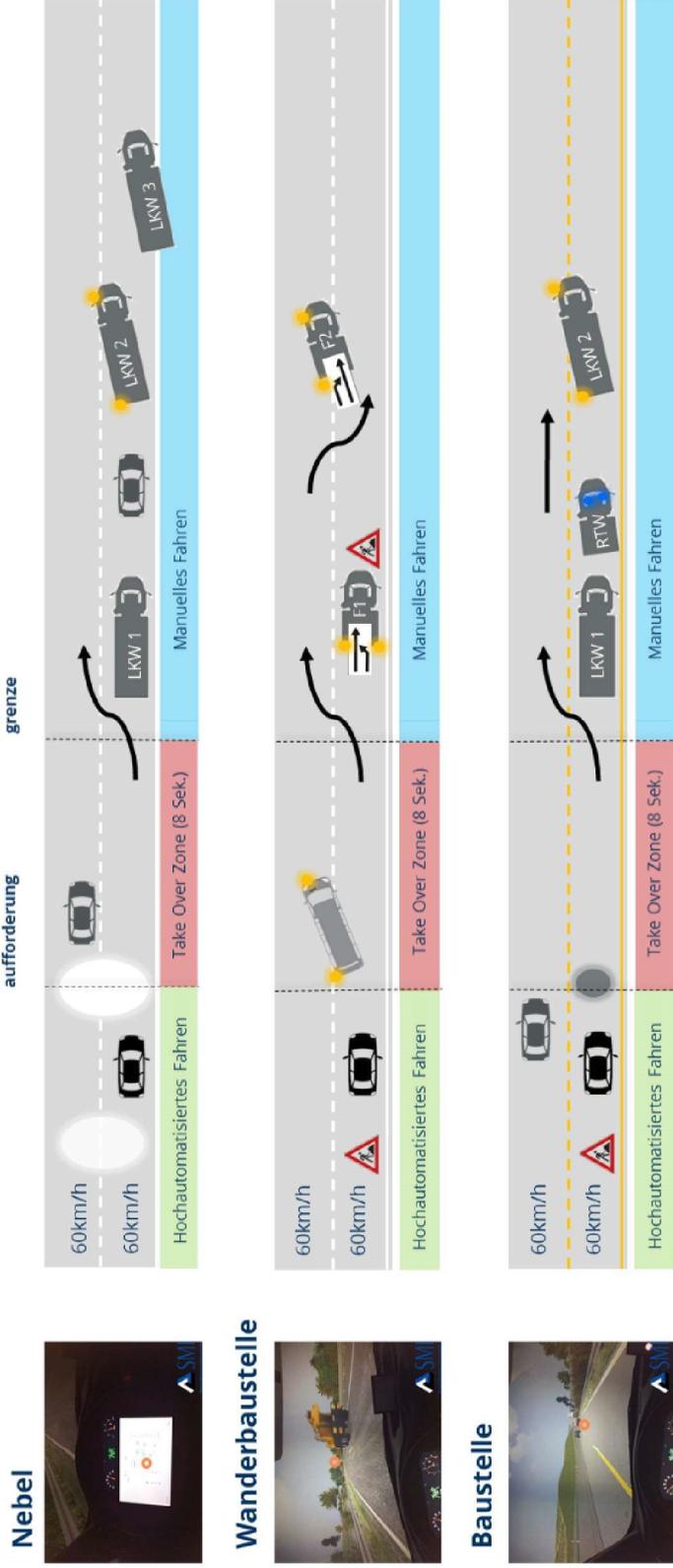


Abbildung 8 Entwicklung des Testzenarios

Literatur

- Ärzteblatt, D. Ä. G., Redaktion Deutsches. (2018, Oktober 12). *See- und Reisekrankheit*. Deutsches Ärzteblatt. <https://www.aerzteblatt.de/archiv/201454/See-und-Reisekrankheit>
- Bartenwerfer, H. (1969). Einige praktische Konsequenzen aus der Aktivierungstheorie. *Zeitschrift für experimentelle und angewandte Psychologie*, 16, 195–222.
- Bates, D., Mächler, M., Bolker, B., & Walker, S. (2015). Fitting Linear Mixed-Effects Models Using lme4. *Journal of Statistical Software*, 67, 1–48. <https://doi.org/10.18637/jss.v067.i01>
- Brandenburger, N., & Naumann, A. (2018). Towards remote supervision and recovery of automated railway systems: The staff's changing contribution to system resilience. *2018 International Conference on Intelligent Rail Transportation (ICIRT)*, 1–5. <https://doi.org/10.1109/ICIRT.2018.8641576>
- de Winter, J. C. F., Happee, R., Martens, M. H., & Stanton, N. A. (2014). Effects of adaptive cruise control and highly automated driving on workload and situation awareness: A review of the empirical evidence. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 27(PB), 196–217. Scopus. <https://doi.org/10.1016/j.trf.2014.06.016>
- DIN Deutsches Institut für Normung e. V. (2000). *Ergonomische Grundlagen bezüglich psychischer Arbeitsbelastung Teil 2: Gestaltungsgrundsätze (ISO 10075-2:1996)*. Beuth Verlag.
- DIN Deutsches Institut für Normung e. V. (2018). *Ergonomische Grundlagen bezüglich psychischer Arbeitsbelastung—Teil 1: Allgemeine Aspekte und Konzepte und Begriffe (ISO 10075-1:2017); Deutsche Fassung EN ISO 10075-1:2017*. Beuth Verlag GmbH.
- Eilers, K., Nachreiner, F., & Hänecke, K. (1986). Entwicklung und Überprüfung einer Skala zur Erfassung subjektiv erlebter Anstrengung. *Zeitschrift für Arbeitswissenschaft*, 4, 215–224.
- Ethik-Kommission - Automatisiertes und vernetztes Fahren. (2017). *Bericht der Ethik-Kommission*. BMDV. <https://bmdv.bund.de/SharedDocs/DE/Publikationen/DG/bericht-der-ethik-kommission.html>
- Gasser, T. M., Arzt, C., Ayoubi, M., Bartels, A., Bürkle, L., Eier, J., Flemisch, F., Häcker, D., Hesse, T., Huber, W., Lotz, C., Maurer, M., Ruth-Schumacher, S., Schwarz, J., & Vogt, W. (2012). *Rechtsfolgen zunehmender Fahrzeugautomatisierung: Gemeinsamer Schlussbericht der Projektgruppe*. Wirtschaftsverlag NW.

- Gold, C., Damböck, D., Lorenz, L., & Bengler, K. (2013). *Take over! How long does it take to get the driver back into the loop?* 1938–1942. <https://doi.org/10.1177/1541931213571433>
- Gold, C., Naujoks, F., Radlmayr, J., Bellem, H., & Jarosch, O. (2018). Testing scenarios for human factors research in level 3 automated vehicles. In N. A. Stanton (Hrsg.), *Advances in Human Aspects of Transportation* (S. 551–559). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-60441-1_54
- Grier, R., Wickens, C., Kaber, D., Strayer, D., Boehm-Davis, D., Trafton, J. G., & St. John, M. (2008). The red-line of workload: Theory, research, and design. *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*, 52(18), 1204–1208. <https://doi.org/10.1177/154193120805201811>
- Grippenkoven, J., Rodd, J., & Brandenburger, N. (2018). DLR-WAT: Ein Instrument zur Untersuchung des optimalen Beanspruchungsniveaus in hochautomatisierten Mensch-Maschine-Systemen. *AAET Automatisiertes & Vernetztes Fahren*, 199–213. <https://elib.dlr.de/119443/>
- Härmä, M., Sallinen, M., Ranta, R., Mutanen, P., & Müller, K. (2002). The effect of an irregular shift system on sleepiness at work in train drivers and railway traffic controllers. *Journal of Sleep Research*, 11(2), 141–151. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2869.2002.00294.x>
- Hart, S. G., & Staveland, L. E. (1988). Development of NASA-TLX (Task Load Index): Results of Empirical and Theoretical Research. In P. A. Hancock & N. Meshkati (Hrsg.), *Advances in Psychology* (Bd. 52, S. 139–183). North-Holland. [https://doi.org/10.1016/S0166-4115\(08\)62386-9](https://doi.org/10.1016/S0166-4115(08)62386-9)
- Heiß, M.-A. B. F. E. (2021). *Fragebogenbasierte Studie zu Kinetose (Bewegungskrankheit) während des Autofahrens* [Doctoral Dissertation]. Medizinischen Fakultät Charité – Universitätsmedizin Berlin.
- Henninger, F., Shevchenko, Y., Mertens, U. K., Kieslich, P. J., & Hilbig, B. E. (2022). lab.js: A free, open, online study builder. *Behavior Research Methods*, 54(2), 556–573. <https://doi.org/10.3758/s13428-019-01283-5>
- International Organization for Standardization. (2020). *Road vehicles—Human performance and state in the context of automated driving—Part2: Considerations in designing experiments to investigate transition processes (ISO Standard No. 21959-2:2020)*. <https://www.iso.org/standard/73928.html>
- Karasek, R. A. (1979). Job Demands, Job Decision Latitude, and Mental Strain: Implications for Job Redesign. *Administrative Science Quarterly*, 24(2), 285–308. <https://doi.org/10.2307/2392498>

- Körber, M. (2019). Theoretical Considerations and Development of a Questionnaire to Measure Trust in Automation. In S. Bagnara, R. Tartaglia, S. Albolino, T. Alexander, & Y. Fujita (Hrsg.), *Proceedings of the 20th Congress of the International Ergonomics Association (IEA 2018)* (Bd. 823, S. 13–30). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-96074-6_2
- Krüger, H.-P., Grein, M., Kaussner, A., & Mark, C. (2005). *SILAB—A Task Oriented Driving Simulation*. Driving Simulation Conference, North America 2005 (DSC-NA 2005) University of Central Florida, Orlando. <https://trid.trb.org/view/901172>
- Kusch, K., Voigt, A., Harkin, K. A., Helmert, J. R., Wagner, T., & Pannasch, S. (2021). *Die Illusion der Wahrnehmungsbereitschaft: Übernahme aus hochautomatisierter Fahrt ohne Systemwarnung* [Vortrag]. 12. Fachgruppentagung der AOW- und Ingenieurspsychologie, Chemnitz.
- Laborde, S., Mosley, E., & Mertgen, A. (2018). Vagal Tank Theory: The Three Rs of Cardiac Vagal Control Functioning – Resting, Reactivity, and Recovery. *Frontiers in Neuroscience*, 12. <https://www.frontiersin.org/article/10.3389/fnins.2018.00458>
- Lakens, D. (2013). Calculating and reporting effect sizes to facilitate cumulative science: A practical primer for t-tests and ANOVAs. *Frontiers in Psychology*, 4. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2013.00863>
- Laureshyn, A., & Várhelyi, A. (2018). *The Swedish Traffic Conflict Technique: Observer's manual*. https://portal.research.lu.se/portal/files/51195704/TCT_Manual_2018.pdf
- Limesurvey GmbH. (2018). *LimeSurvey: An Open Source survey tool* (3.15.1).
- McDonald, A. D., Alambeigi, H., Engström, J., Markkula, G., Vogelpohl, T., Dunne, J., & Yuma, N. (2019). Toward computational simulations of behavior during automated driving takeovers: A review of the empirical and modeling literatures. *Human Factors*, 61(4), pp 642-688. <https://doi.org/10.1177/0018720819829572>
- Michon, J. A. (1985). A critical view of driver behavior models: What do we know, what should we do? In L. Evans & R. C. Schwing (Hrsg.), *Human behavior and traffic safety* (S. 485–520). Plenum Press.
- Miley-Åkerstedt, A., Kecklund, G., & Åkerstedt, T. (2016). Comparing two versions of the Karolinska Sleepiness Scale (KSS). *Sleep and Biological Rhythms*, 14(3), 257–260. <https://doi.org/10.1007/s41105-016-0048-8>

- Naujoks, F., Befelein, D., Wiedemann, K., & Neukum, A. (2018). A review of non-driving-related tasks used in studies on automated driving. In N. A. Stanton (Hrsg.), *Advances in Human Aspects of Transportation* (Bd. 597, S. 525–537). https://doi.org/10.1007/978-3-319-60441-1_52
- Peng, Q., Wu, Y., Qie, N., & Iwaki, S. (2022). Age-related effects of executive function on takeover performance in automated driving. *Scientific Reports*, *12*(1), Article 1. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-08522-4>
- Pöhler, G., Heine, T., & Deml, B. (2016). Itemanalyse und Faktorstruktur eines Fragebogens zur Messung von Vertrauen im Umgang mit automatischen Systemen. *Zeitschrift für Arbeitswissenschaft*, *70*(3), 151–160. <https://doi.org/10.1007/s41449-016-0024-9>
- R Core Team. (2022). *R: A Language and Environment for Statistical Computing*. R Foundation for Statistical Computing. <https://www.R-project.org/>
- Radlmayr, J., Gold, C., Lorenz, L., Farid, M., & Bengler, K. (2014). How traffic situations and non-driving related tasks affect the take-over quality in highly automated driving. *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*, *58*, 2063–2067. <https://doi.org/10.1177/1541931214581434>
- Salvucci, D. D., & Taatgen, N. A. (2011). *The multitasking mind*. Oxford University Press.
- Schömig, N., Wiedemann, K., Manstetten, D., Wehner, T., & Neukum, A. (2022). PADA-AD Test—A standardized test method for assessing takeover performance of drivers during automated driving. *MethodsX*, *9*, 101901. <https://doi.org/10.1016/j.mex.2022.101901>
- Shi, E., & Bengler, K. (2022a). Overall effects of non-driving related activities' characteristics on takeover performance in the context of SAE Level 3: A meta-analysis. *Human Factors in Transportation*, *60*, 69.
- Shi, E., & Bengler, K. (2022b). Non-driving related tasks' effects on takeover and manual driving behavior in a real driving setting: A differentiation approach based on task switching and modality shifting. *Accident Analysis & Prevention*, *178*, 106844. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2022.106844>
- Straßenverkehrsgesetz (StVG), (2023). <https://www.gesetze-im-internet.de/stvg/StVG.pdf>

- Proposal for a new UN Regulation on uniform provisions concerning the approval of vehicles with regards to Automated Lane Keeping System*, (2020) (testimony of United Nations Economic and Social Council). <https://undocs.org/ECE/TRANS/WP.29/2020/81>
- Proposal for the 01 series of amendments to UN Regulation No. 157 (Automated Lane Keeping Systems), ECE/TRANS/WP.29/2022/59/Rev.1 (2022).
- Voigt, A., Harkin, K., Wagner, T., Helmert, J. R., Pannasch, S., Kusch, K., & Müller, K. (2022). Übernahme aus hochautomatisierter Fahrt bei simuliertem Systemausfall. Welche Rolle spielen Fehlerart, Nebentätigkeit und Persönlichkeit des Fahrenden? *Zeitschrift für Verkehrssicherheit*, 68(3). <https://trid.trb.org/view/2008879>
- Weaver, B. W., & DeLucia, P. R. (2020). A Systematic Review and Meta-Analysis of Takeover Performance During Conditionally Automated Driving. *Human Factors*. Scopus. <https://doi.org/10.1177/0018720820976476>
- Wickens, C. D. (2008). Multiple resources and mental workload. *Human Factors*, 50(3), 449–455. <https://doi.org/10.1518/001872008X288394>
- Wickens, C. D., Hollands, J., Banbury, S., & Parasuraman, R. (2013). *Engineering Psychology and Human Performance* (4th edition). Pearson.
- Wieland, R., & Hammes, M. (2014). Wuppertaler Screening Instrument Psychische Beanspruchung (WSIB) – Beanspruchungsbilanz und Kontrollerleben als Indikatoren für gesunde Arbeit. *Journal Psychologie des Alltagshandelns / Psychology of Everyday Activity*, 7(1), 30–50.
- Winner, H. (2015). Grundlagen von Frontkollisionsschutzsystemen. In H. Winner, S. Hakuli, F. Lotz, & C. Singer (Hrsg.), *Handbuch Fahrerassistenzsysteme: Grundlagen, Komponenten und Systeme für aktive Sicherheit und Komfort* (S. 893–912). Springer Fachmedien. https://doi.org/10.1007/978-3-658-05734-3_47
- Zeelenberg, R., & Pecher, D. (2015). A method for simultaneously counterbalancing condition order and assignment of stimulus materials to conditions. *Behavior Research Methods*, 47(1), 127–133.

Zhang, B., de Winter, J., Varotto, S., Happee, R., & Martens, M. (2019). Determinants of take-over time from automated driving: A meta-analysis of 129 studies. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 64, pp 285-307. <https://doi.org/10.1016/j.trf.2019.04.020>

Zijlstra, R. H. (1995). *Efficiency in Work Behaviour: A Design Approach for Modern Tools* [Doctoral Dissertation]. Technische Universiteit Delft.