
Forschungsbedarf Teleoperation

Berichte der Bundesanstalt für
Straßen- und Verkehrswesen
Fahrzeugtechnik Heft F 166a

Forschungsbedarf Teleoperation

Abschlussbericht der Arbeitsgruppe „Forschungsbedarf Teleoperation“

Die Bundesanstalt für Straßen- und Verkehrswesen (BASt) veröffentlicht ihre Arbeits- und Forschungsergebnisse in der Schriftenreihe Berichte der Bundesanstalt für Straßen- und Verkehrswesen. Die Reihe besteht aus folgenden Unterreihen:

A - Allgemeines
B - Brücken- und Ingenieurbau
F - Fahrzeugtechnik
M - Mensch und Sicherheit
S - Straßenbau
V - Verkehrstechnik

Es wird darauf hingewiesen, dass die unter dem Namen der Verfasser veröffentlichten Berichte nicht in jedem Fall die Ansicht des Herausgebers wiedergeben.

Nachdruck und photomechanische Wiedergabe, auch auszugsweise, nur mit Genehmigung der BASt, Stabsstelle Presse und Kommunikation.

Die Hefte der Schriftenreihe Berichte der Bundesanstalt für Straßen- und Verkehrswesen können direkt bei der Carl Ed. Schünemann KG bezogen werden. Seit 2015 stehen sie zusätzlich als kostenfreier Download im elektronischen BASt-Archiv ELBA zur Verfügung: <https://bast.opus.hbz-nrw.de>

Impressum

Bericht zum Forschungsprojekt 5422002
Forschungsbedarf Teleoperation

Koordination:
Tom Michael Gasser, Alexander Frey

Referat:
Automatisiertes Fahren

Herausgeber:
Bundesanstalt für Straßen- und Verkehrswesen
Brüderstraße 53, D-51427 Bergisch Gladbach
Telefon: (0 22 04) 43 - 0

Redaktion:
Stabsstelle Presse und Kommunikation

Gestaltungskonzept:
MedienMélange:Kommunikation

Druck, Verlag und Produktsicherheit:
Fachverlag NW in der Carl Ed. Schünemann KG
Zweite Schlachtpforte 7, D-28195 Bremen
Telefon: (04 21) 3 69 03 - 0 | E-Mail: kontakt@schuenemann-verlag.de
www.schuenemann-verlag.de

ISSN 0943-9307 | ISBN 978-3-95606-856-0 | <https://doi.org/10.60850/bericht-f166a>

Bergisch Gladbach, Mai 2025

Kurzfassung – Abstract

Forschungsbedarf Teleoperation

Sowohl Personen im Fahrzeug als auch automatisierte und autonome Fahrfunktionen können ein Fahrzeug steuern. Zusätzlich wird es die Möglichkeit geben, Fahrzeuge aus der Ferne zu steuern oder Informationen an ein autonomes Fahrzeug zu senden. Diese neue Steuerungsform heißt übergeordnet *Teleoperation*. Die Zugabe von Informationen an ein autonomes Fahrzeug ist in Deutschland bereits 2021 eingeführt worden: Diese sogenannte Teleassistenz wird nach dem Straßenverkehrsgesetz (StVG) durch die Technische Aufsichtsperson i.S.d. § 1d Abs. 3 StVG wahrgenommen. Der unmittelbare Einfluss auf die Ausführung der Fahrzeugsteuerung, das Telefahren beziehungsweise Fernlenken, ist zum Zeitpunkt der Berichtslegung noch nicht rechtlich geregelt und allenfalls im Rahmen von einzelnen Erprobungsgenehmigungen im öffentlichen Straßenverkehr bislang möglich.

Das Telefahren/Fernlenken umfasst eine große Bandbreite an potenziell möglichen künftigen Anwendungsfällen: Die Verteilung von Carsharing-Fahrzeugen im Verkehrsraum via Telefahren ist darüber ebenso möglich wie auch telegefahrene/ferngelenkte Gütertransporte als „Hub-to-Hub“-Verkehre u.v.a.m. Denkbar ist auch, über das Telefahren/Fernlenken einen unmittelbaren Nutzen im Zusammenhang mit dem autonomen Fahren herzustellen, indem das Fahrzeug in sehr komplexen Fahrtabschnitten gesteuert wird, die eine autonome Steuerungstechnologie noch nicht beherrscht.

Der vorliegende Abschlussbericht formuliert die offenen Forschungsfragen mit Relevanz für die Teleassistenz und das Telefahren/Fernlenken. Maßgeblich ist für eine *gesellschaftlich akzeptierte, verkehrssichere* Einführung dieser neuen Steuerungsform die *funktionssichere Gestaltung der fahrzeugseitigen Technologie*. Weiterhin ist erforderlich, dass die jeweilige Aufgabe durch eine Person auch aus der Ferne gut wahrgenommen werden kann und diese über die entsprechende *personelle Eignung und Befähigung der auszuführenden Aufgaben* verfügt. Die *kommunikationstechnische Verbindung* zwischen Fahrzeug und Leitstand ist essentieller Bestandteil von Teleoperation und somit ebenfalls im Fokus vorliegenden Berichts. Es ergeben sich somit fünf Schwerpunktbereiche, in die sich der vorliegende Abschlussbericht gliedert.

Research Needs in Teleoperation

Today, both in-vehicle human drivers and automated driving systems (ADS) can be in charge of driving the vehicle. In addition, in the near future, it will be possible to drive a vehicle equipped with Level 4 or Level 5 ADS from a remote position, or to provide information to such a vehicle from a remote position. This new form of vehicle motion control is known as *teleoperation*. In 2021, Germany has introduced the possibility to provide information to a Level 4 or Level 5 ADS-equipped vehicle: According to the German Road Traffic Act (StVG), this so-called remote assistance is performed by the technical supervisor within the meaning of §1d (3) StVG. At the time of writing this report, the direct influence on the execution of vehicle motion control, i.e. remote driving, is not legally regulated yet, and has only been possible in the context of individually authorised test drives in public road traffic.

Remote driving covers a wide range of potentially possible future use cases: Examples are the distribution of car-sharing vehicles in public place via remote driving, or transporting goods via remote driving as "hub-to-hub" transport, and much more. It is also conceivable that remote driving adds value to Level 4 or Level 5 ADS-equipped vehicles when they are provided with remote driving to drive through complex trip sections that the ADS cannot handle yet.

This technical report formulates open research questions relevant to remote assistance and remote driving. For a *socially accepted, safe* introduction of this new form of vehicle motion control, the *functionally reliable design of the vehicle technology* is essential. Furthermore, it is crucial that the respective *task* that is to be performed remotely, *can be well performed by a person from a distance*, and that this person has appropriate *skills and fitness to drive for the tasks to be performed*. The *connection via communication technology between* the vehicle and the workstation is a constitutive component of teleoperation, and as such, is also focus of this report. This results in five focus areas into which this report is divided.

Der vorliegende Bericht fasst die Arbeit und die wertvollen Beiträge einer großen Expertengruppe sowie die Vielzahl an konstruktiven Diskussionen im Laufe der Jahre 2022 und 2023 zusammen. Folgende Expertinnen und Experten aus verschiedensten Institutionen haben mit großem Engagement ihre Zeit und Erfahrung eingebracht, wofür allen Beteiligten Dank und Anerkennung gebührt:

- Prof. Dr. Martin Baumann – *Universität Ulm, Institut für Psychologie und Pädagogik*
- Prof. Dr. Klaus Bengler – *TU München, Lehrstuhl für Ergonomie*
- Dr.-Ing. Frank Diermeyer – *TU München, Lehrstuhl für Fahrzeugtechnik*
- Leon Johann Brettin, Prof. Dr.-Ing. Markus Maurer, Nayel Fabian Salem – *TU Braunschweig, Institut für Regelungstechnik*
- Prof. Dr. Wolfgang Fastenmeier – *Psychologische Hochschule Berlin, Professur für Arbeitspsychologie und Psychologie des Verkehrswesens*
- Dr. Torsten Fleischer – *Karlsruher Institut für Technologie, Institut für Technikfolgenabschätzung und Systemanalyse (ITAS)*
- Dr. Tobias Hesse, Dr. Michael Oehl, Andreas Schrank – *Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR), Institut für Verkehrssystemtechnik*
- Prof. Dr.-Ing. Frank Flemisch, Dr. Nicolas Herzberger, Dr. Joscha Wasser – *FKIE, Fraunhofer-Institut für Kommunikation, Informationsverarbeitung und Ergonomie*
- Tobias Harde – *Software Innovation Campus Paderborn / TU Dresden, Chair of Networked Systems Modeling*
- Dr. Manuela Huetten – *Berliner Verkehrsbetriebe*
- Prof. Dr. Meike Jipp – *DLR, Bereichsvorständin für Energie und Verkehr*
- Prof. Dr. Florian Klingler – *TU Ilmenau, Fakultät Informatik und Automatisierung*
- Dr. Viktoriya Kolarova - *DLR, Institut für Verkehrsforschung*
- Dr. Ing. Matthias Kühn – *Unfallforschung der Versicherer, Gesamtverband der Deutschen Versicherungswirtschaft*
- Dr. Christian Maag, Dr. Nora Merkel – *Würzburger Institut für Verkehrswissenschaften GmbH*
- Dr. Viktor Oubaid – *DLR, Institut für Luft- und Raumfahrtmedizin*
- Prof. Gerd Riegelhuth – *Autobahn GmbH des Bundes*
- Prof. Dr. Christoph Sommer – *TU Dresden, Chair of Networked Systems Modeling*
- Prof. Dr.-Ing. Christian Wietfeld – *TU Dortmund, Lehrstuhl für Kommunikationsnetze*
- Dr. Martina Albrecht, Sandro Berndt-Tolmann, Dr. Alexander Frey, Dr. med. Nicole Gräc-mann, Torsten Marx, Lena Plum, Elisabeth Shi – *Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt)*
- Mit Unterstützung des Bundesministeriums für Digitales und Verkehr

Inhalt

1	Einführung	9
1.1	Betrachtung des soziotechnischen Gesamtsystems	9
2	Begriffsbestimmungen	13
2.1	Teleoperation	13
2.1.1	Teleassistenz ($\hat{=}$ SAE J3016 Remote Assistance)	13
2.1.2	Telefahren/Fernlenken ($\hat{=}$ SAE J3016 Remote Driving)	13
2.2	Teleoperierende Person (TOP)	14
2.3	Leitstand	14
2.4	Kontrollzentrum	14
2.5	Teleoperiertes Fahrzeug	14
2.6	Automatisiertes Fahren, autonomes Fahren	14
2.7	Operational Design Domain, festgelegter Betriebsbereich	15
3	Betrachtete Anwendungen der Teleassistenz und des Telefahrens/Fernlenkens	16
3.1	Annahmen für Teleassistenz	16
3.2	Annahmen für Telefahren/Fernlenken	17
3.3	Zusammenspiel der Steuerungsmöglichkeiten	19
4	Forschungsfragen – Clusterspezifisch	22
4.1	Cluster 1: Fahrzeug, Betriebsbereich und Funktionssicherheit	22
4.1.1	Einleitung	25
4.1.2	Forschungsfragen zu Fahrzeug, Betriebsbereich und Funktionssicherheit	29
4.1.3	Teleassistenz	30
4.1.4	Telefahren/Fernlenken, fortwährend	35
4.1.5	Telefahren/Fernlenken, eventbasiert	41

4.2	Cluster 2: Leitstand, Ergonomie und Arbeitsschutz _____	49
4.2.1	Einleitung: Wie gestalten und betreiben wir teleoperierte Systeme verkehrssicher? _____	56
4.2.2	Allgemeine Systemanalyse _____	58
4.2.3	Bewertungsraum _____	61
4.2.4	Gestaltungsraum _____	66
4.2.5	Nutzungsraum _____	73
4.2.6	Fazit zu Cluster 2 _____	78
4.3	Cluster 3: Kommunikationstechnologie _____	80
4.3.1	Einleitung _____	82
4.3.2	Einsatzorte _____	82
4.3.3	Einsatzzwecke _____	84
4.3.4	Messgrößen der Kommunikationstechnik _____	86
4.3.5	Maßnahmen zur Verbesserung der Messgrößen _____	88
4.3.6	Konsequenzen _____	88
4.3.7	Forschungsfragen zu Cluster 3 _____	89
4.4	Cluster 4: Fahreignung, Befähigung und personelle Anforderungen _____	94
4.4.1	Einleitung _____	98
4.4.2	Aufgaben- und Anforderungsanalyse _____	99
4.4.3	Modell der Informationsverarbeitung _____	103
4.4.4	Forschungsfragen zu Cluster 4 _____	104
4.5	Cluster 5: Gesellschaftliche Aspekte, Akzeptanz und Verkehrssicherheit _____	111
4.5.1	Einleitung _____	113
4.5.2	Stand des Wissens _____	115
4.5.3	Forschungsfragen zu Cluster 5 _____	116
4.5.4	Fazit zu Cluster 5 _____	124
5	Clusterübergreifende Forschungsfragen _____	126
5.1	Kurzfristige Forschungsfragen _____	128
5.2	Mittelfristige Forschungsfragen _____	131
5.3	Langfristige Forschungsfragen _____	134
6	Fazit _____	135

Literatur	137
Abbildungen	147
Tabellen	148
Arbeitsgruppe „Forschungsbedarf Teleoperation“	149

1 Einführung

Die Teleoperation als neuartige Steuerungsform von Fahrzeugen erlangt zunehmend Aufmerksamkeit für den Einsatz im öffentlichen Verkehr. Diese Art der Zugabe von Informationen oder Steuerung von Fahrzeugen aus der Ferne wirft Fragen auf, die sich sowohl hinsichtlich der Gestaltung und Umsetzung von Fahrzeugen und Leitständen ergeben als auch die Gesellschaft und Gruppen von Nutzenden betreffen. Um Teleoperation in einem funktionierenden Gesamtsystem zu erreichen, wird im folgenden Bericht der Forschungsbedarf im Themenfeld der Teleoperation anhand aktueller Forschungsstände und spezifischer Leitfragen herausgestellt.

Zum heutigen Zeitpunkt kann die Fahraufgabe von menschlichen Fahrenden im Fahrzeug ausgeführt werden oder von einer Automatisierungsfunktion, die im Fahrzeug verbaut ist. Zwischen diesen beiden Steuerungsmöglichkeiten besteht eine Bandbreite an verschiedenen Formen der Unterstützung der menschlichen Fahrenden durch Assistenzfunktionen, die bis hin zur vollständigen Substitution der menschlichen Fahrenden durch die autonome Fahrfunktion reicht (vgl. SAE Level; SAE International/ISO, 2021).

Mit der Teleoperation ergibt sich eine dritte Steuerungsmöglichkeit für ein Fahrzeug (vgl. Shi & Frey, 2021). Das Prinzip ist hierbei die Fahrzeugsteuerung oder Zugabe von Informationen von außerhalb des Fahrzeugs. Dies kann in unterschiedlicher Form stattfinden. Analog zur Bandbreite, die sich zwischen der Fahrzeugsteuerung durch menschliche Fahrende oder einer autonomen Fahrfunktion ergibt, eröffnet die Teleoperation ebenfalls einen neuen Raum an denkbaren Steuerungsmöglichkeiten.

Aufgrund der dargestellten Bandbreite an denkbaren Steuerungsmöglichkeiten und Steuerungsempfehlungen/-freigaben, die sich durch die Teleoperation ergeben, werden im vorliegenden Bericht grundlegende Forschungsfragen zur Teleoperation auf Basis von definierten Anwendungsfällen für Teleoperation (Kapitel 3) abgeleitet. Die vielfältigen die Teleoperation betreffenden Aspekte werden zunächst in fünf Themenbereichen (sog. Clustern) behandelt (Kapitel 4). Auf den zuvor genannten Anwendungsfällen basierend werden anschließend in einem clusterübergreifenden Kapitel (Kapitel 5) die Forschungsfragen anhand von spezifischen Anwendungsbeispielen der Teleoperation im Zusammenwirken mit einer etwaig vorhandenen autonomen Fahrfunktion oder menschlichen Fahrenden im Fahrzeug betrachtet.

Hieran zeigt sich die breite Anwendbarkeit der zusammengestellten Forschungsfragen auf die konkrete praktische Umsetzung. Dafür müssen aktuelle technische Ansätze zum Telefahren/Fernlenken berücksichtigt werden. So können typgenehmigte Kraftfahrzeuge mit verfügbaren technischen Systemen modifiziert werden, sodass kohärentes Zusammenwirken in einem komplexen soziotechnischen System realisiert wird. Nach der konkreten Umsetzbarkeit der betrachteten Systeme bemisst sich die zeitliche Priorität der zusammengestellten Forschungsfragen.

1.1 Betrachtung des soziotechnischen Gesamtsystems

Mit der Zunahme des Automationsgrades wird das Level des autonomen Fahrens erreicht, in dem laut Definition im SAE-Standard J3016 keine Person für die Fahrzeugführung mehr

im Fahrzeug anwesend sein muss. Die Fahraufgabe wird dann vollständig vom Fahrzeug übernommen und ausgeführt. Da sich diese Fahrzeuge im öffentlichen Verkehrsraum bewegen werden, ist es erforderlich, ihre sichere Fortbewegung sowie die Sicherheit und Akzeptanz der Fahrzeugnutzenden (Mitfahrenden) und anderer Verkehrsteilnehmender zu gewährleisten. Zusätzlich ist für einen wirtschaftlichen Einsatz ein reibungsloser Fahrtverlauf notwendig. An dieser Stelle kann Teleoperation als neuartige Steuerungsfunktion ansetzen, um autonome Fahrfunktionen zu ergänzen, bspw. wenn diese die Grenzen ihres Betriebsbereiches erreichen oder um Problemsituationen aus der Ferne zu lösen. Diese Umsetzung des autonomen Fahrens und der Teleoperation in einem einzelnen Kraftfahrzeug erfordert ein komplexes, vernetztes *System-of-Systems*. Damit ist gemeint, dass die einzelnen Teilsysteme innerhalb und außerhalb des Fahrzeugs, wie zum Beispiel der Leitstand, das Teleoperationssteuergerät, die Sensoren und Aktuatoren für die autonome Fahrfunktion etc. sich durch leistungsfähige Kommunikationssysteme (IT-Schnittstellen) zu einem Gesamtsystem verbinden und in festgelegten Fällen determinierte Informationen austauschen.

Die für die Teleoperation, als Operation eines (sozio-)technischen Systems aus der Ferne, erforderliche Verbindung der Teleoperations-Teilsysteme muss anders betrachtet werden. Das Kriterium "Verfügbarkeit der Kommunikationsverbindung" spielt eine größere Rolle als dies für die automatisierte oder autonome Anwendungen im Fahrzeug der Fall ist. Während ein Wegfall der Verfügbarkeit der Kommunikationsverbindung in der autonomen Anwendung keine oder nur geringe Auswirkungen zur Folge hat, ist die Verbindung zwischen teleoperiertem Fahrzeug und Leitstand eine essentielle Voraussetzung, ohne die der Dienst im Fall der Teleoperation überhaupt nicht angeboten werden kann. Hingegen kann in Abhängigkeit von konkreten Gegebenheiten die Freigabe eines Fahrmanövers schon durch den Austausch geringer Datenmengen erreicht werden, wobei eine kontinuierliche Steuerung unter Verwendung hochauflösender Videostreams dagegen höhere Anforderungen an die Latenz, Bandbreite, IT-Sicherheit und Stabilität der Verbindung stellen wird.

Teleoperation kann mittels Beeinflussungs- und Regelkreisen beschrieben werden, in denen eine Reihe von Faktoren ineinandergreifen müssen: Geeignete Auswahl, ausreichende Involviertheit und Situationsbewusstsein der teleoperierenden Personen, die Übertragungsgüte der Kommunikationstechnologie, eine zuverlässige Sensorik und Aktorik im Fahrzeug sowie eine ausreichende Passung mit der verkehrlichen Umwelt inklusive ungeschützter Verkehrsteilnehmer. Damit wird sichergestellt, dass der spezifizierte Betriebszweck teleoperierter Systeme erreicht und ausreichende Akzeptanz bei Nutzenden, operierenden Personen und in der Gesellschaft ermöglicht wird.

Die Teilsysteme stehen in ständiger Wechselwirkung zueinander und besitzen jeweils für sich eine komplexe Eigendynamik und Zuverlässigkeit. Diese Mechanismen dienen dazu, das teleoperierte Fahrzeug in seiner Fortbewegung in der Verkehrsumgebung (Operational Design Domain; ODD) beziehungsweise im festgelegten Betriebsbereich sicher und effizient zu bewegen. Dies schließt die Interaktion mit anderen Verkehrsteilnehmenden ein. Weiterhin können im Rahmen von Personentransport bis hin zur Güterlogistik verschiedenste Anwendungsfälle verfolgt werden.

Die Kombination aus teleoperiertem Fahren und autonomer Fahrfunktion innerhalb der jeweiligen Funktionsgrenzen der Systeme wird zukünftig viele Anwendungsfälle eröffnen. So kann sich das Fahrzeug autonom innerhalb seiner/s ODD/festgelegten Betriebsberei-

ches fortbewegen und situationsbedingt teleoperiert gesteuert werden. Sind beispielsweise die implementierten Mechanismen zur sicheren Fortbewegung und Kooperation beim autonomen Fahren nicht erfolgreich, wird ein risikominimaler Zustand eingenommen, um etwaige Mitreisende und andere Verkehrsteilnehmende zu schützen. Die autonome Fahrfunktion ist, nachdem der risikominimale Zustand eingenommen wurde, nicht mehr verfügbar und ein menschlicher Operateur kann das Fahrzeug mittels Teleoperation aus dem risikominimalen Zustand fahren.

Ebenfalls besteht die Möglichkeit, dass die sogenannte Teleassistenz von der autonomen Fahrfunktion vorgeschlagene Fahrmanöver freigibt, die die autonome Fahrfunktion innerhalb der/des ODD/festgelegten Betriebsbereiches eigenständig ausführt.

Dieses Prinzip wird bereits 1992 von Sheridan für verschiedene Anwendungen beschrieben. Im weiteren Verlauf werden auch Herausforderungen für dieses Mensch-Maschine System genannt.

“Robot teleoperation allows human operators to make different tasks in remote or hazardous environments. [...] Today, there are many applications for robot teleoperation, including telemedicine, exploration, entertainment, tele-manufacturing, rescue, UAV-teleoperation, and many more [Elhajj et al., 2003; Sanders, 2010; Lam et al., 2009]. However, it is known that the presence of time delay may induce instability or poor performance in a delayed control system [Niculescu, 2001; Richard, 2003; Sheridan, 1995; Sanders, 2009].“ (Slawiński et al., 2012, S. 67)

Für eine erfolgreiche Umsetzung ist es daher ausschlaggebend, dass durch die Gestaltung der Einzelsysteme und ihr Zusammenwirken keine risikoreichen Zustände entstehen. Vielmehr sollen durch geeignete Gestaltung, Parametrierung und Abstimmung der Teilsysteme und Kommunikationswege die notwendige Stabilität erreicht und unnötige risikoreiche Zustände vermieden werden, sowie auftretende Risiken reduziert werden. Diesbezüglich wurden in verschiedenen Wirtschaftsräumen und Verkehrssystemen erste Dokumente veröffentlicht, die grundlegende Anforderungen erkennen lassen. Es liegt also nahe, die Anforderungen an das Gesamtsystem und seine Teilsysteme aus vergleichbaren Anwendungen (Luftfahrt und s.o. Roboter-Teleoperation, einschließlich Telemedizin, Weltraumforschung, Unterhaltung, Telemanufaktur, Verteidigung) herzuleiten, zu denen bereits langfristige Erfahrungen vorliegen. Das mag in der Tendenz gelingen, wird aber im Detail den spezifischen Anforderungen des öffentlichen Straßenverkehrs nicht immer gerecht werden und darf keinesfalls darüber hinwegtäuschen, dass für einen vertretbaren, dauerhaften und breiten Einsatz noch eine Reihe offener Fragen bestehen.

Die Umsetzung und vor allem der dauerhaft erfolgreiche Betrieb verlangen die abgestimmte Beantwortung von Forschungsfragen, sodass ein in sich stabiles und nachweislich überprüfbares Betriebskonzept entsteht. Die Komplexität des System-of-Systems steht dabei als Leitgedanke im Vordergrund, um die Bandbreite des Forschungsbedarfs im Themenfeld der Teleoperation zu beleuchten. Die gewählte Struktur des vorliegenden Berichts spiegelt eben diese Komplexität wider. Das Schaubild stellt die im vorliegenden Bericht betrachteten Cluster 1-5 dar und stellt sie in einen inneren Zusammenhang (Abbildung 1).

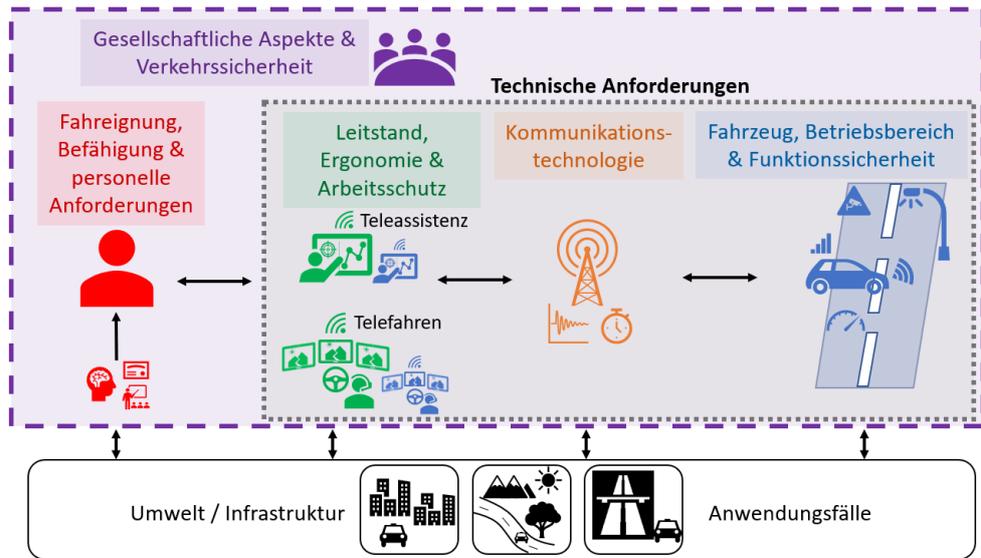


Abbildung 1: Schaubild Teleoperation

Innerhalb jedes sogenannten Clusters wird ein Teilbereich separat betrachtet und der Forschungsbedarf durch die Formulierung spezifischer, detaillierter und konkreter Fragestellungen herausgearbeitet sowie der jeweilige Forschungsstand dargestellt. Aufgrund bestehender komplexer Regelkreise, Abhängigkeiten und Vernetzungen zwischen den Clustern, werden diese zusätzlich übergreifend betrachtet. Im Laufe der Arbeiten wurden clusterübergreifende Aspekte zum Teil anhand sogenannter Edge-Cases diskutiert und erarbeitet, welche an den entsprechenden Stellen näher erläutert sind. Ziel ist es also, den umfangreichen Forschungsbedarf des Themenfeldes Teleoperation zu definieren und die Diskussion zu eröffnen, indem Forschungslücken gezielt angesprochen werden und so Anhaltspunkte und Leitlinien für kommende Forschungsprojekte und Arbeitsgruppen geboten werden.

2 Begriffsbestimmungen

Für den vorliegenden Bericht gelten die nachfolgenden Begriffsbestimmungen.

2.1 Teleoperation

Unter Teleoperation wird die Zugabe von Informationen für den Fahrbetrieb oder die Steuerung des Fahrzeugs von außerhalb des Fahrzeugs verstanden. Die prinzipielle Möglichkeit, einem Fahrzeug aus einem räumlich getrennten Leitstand einzelne Fahrmanöver zu empfehlen wird als *Teleassistenz*, die komplette (Fern-) Steuerung zu übernehmen als *Telefahren/Fernlenken* bezeichnet.

Teleoperation ist neben dem automatisierten oder autonomen Fahren und menschlichen Fahren eine weitere Form der Fahrzeugsteuerung.

2.1.1 Teleassistenz (\triangleq SAE J3016 Remote Assistance)

Die Bezeichnung "Teleassistenz" bezieht sich im vorliegenden Dokument auf den Begriff "Remote Assistance", wie er im SAE International Standard J3016 in der aktuellen Version von 2021 unter 3.23 definiert ist. Darunter wird die Ereignis-getriebene (eventbasierte) Bereitstellung einer Empfehlung oder Information verstanden von einer relativ zum Fahrzeug entfernt positionierten Person an das Fahrzeug, das sich im autonomen Betrieb befindet. Im Unterschied zum SAE Standard J3016 wird im vorliegenden Dokument spezifiziert, dass die teleassistierende Person von ihrer Position aus keine direkte Sicht auf das Fahrzeug hat.

2.1.2 Telefahren/Fernlenken (\triangleq SAE J3016 Remote Driving)

Die Bezeichnung "Telefahren/Fernlenken" bezieht sich im vorliegenden Dokument auf den Begriff "Remote Driving" wie er im SAE International Standard J3016 in der aktuellen Version von 2021 unter 3.24 definiert ist. Darunter wird die teilweise oder vollständige Ausführung der kontinuierlichen Fahraufgabe verstanden von einer Person, die sich in einer relativ zum Fahrzeug entfernten Position befindet. Im Unterschied zum SAE Standard J3016 wird im vorliegenden Dokument spezifiziert, dass die telefahrende/fernlenkende Person von ihrer Position aus keine direkte Sicht auf das Fahrzeug hat.¹

Telefahren/Fernlenken kann dabei sowohl als intendierte primäre Steuerungsform genutzt werden als auch auf Anforderung nach Ausfall eines anderen primären Reglers (menschliche Fahrende oder die autonome Fahrfunktion im Fahrzeug sind in diesem Sinn „primäre Regler“). Das Telefahren/Fernlenken als intendierte primäre Form der Steuerung (vom Fahrtbeginn bis zum verkehrsgerechten Abstellen des Fahrzeugs) wird als *fortwährendes*

¹ Nach SAE J3016 kann die teleoperierende Person sich ebenfalls im Fahrzeug aufhalten und über direkte Sicht auf das Fahrzeug verfügen oder nicht verfügen (vgl. SAE J3016, Definition 3.31.1.2, Note 1). Vergleichbare Spezifikationen zur Position und Sicht gibt es im aktuellen SAE Standard J3016 nicht für die Teleassistenz (vgl. SAE J3016, 3.31.5 und 3.23).

Telefahren/Fernlenken bezeichnet. Das Telefahren/Fernlenken auf Anforderung nach Ausfall einer anderen primären Steuerungsform wird als *eventbasiertes Telefahren/Fernlenken* bezeichnet.

2.2 Teleoperierende Person (TOP)

Person, die je nach Auslegung des Systems, fortwährend oder event-basiert die Fahraufgabe übernimmt und ein Fahrzeug führt (telefahrende/fernlenkende Person), oder eine autonome Fahrfunktion bei Ausfällen oder bei Auftreten von Systemgrenzen unterstützt (Teleassistent) und evtl. auch für weitere Aufgaben verantwortlich ist (z. B. Kommunikation mit Mitfahrenden).

2.3 Leitstand

Der Arbeitsplatz der TOP, der mit den der Aufgabe entsprechenden Bedienelementen (wie zum Beispiel einem Lenkrad, Pedalen und Bildschirmen zur Ansicht der Fahrzeugumgebung) ausgestattet ist. Von hier kann ein Fahrzeug telegefahren/ferngelenkt werden. Für die Teleassistent werden üblicherweise keine klassischen Bedienelemente benötigt, sondern dezidierte Hard- und Software zum Beispiel zur Erstellung und sicheren Versendung von Fahrempfehlungen über ein WAN-Netz an das autonome Fahrzeug.

2.4 Kontrollzentrum

Die Betriebszentrale für die Fahrzeugflotte. Im Kontrollzentrum finden die Übersicht, Zuweisung von Aufgaben, Disposition, Organisation von Wartung und Serviceeinsätze statt. Das Kontrollzentrum umfasst die jeweiligen Leitstände von denen aus Assistenz oder Führung eines Fahrzeuges erfolgt. Fahraufträge werden den jeweiligen Leitständen – ggf. automatisiert - zugeteilt. Im Kontrollzentrum werden die TOP's überwacht und/oder unterstützt.

2.5 Teleoperiertes Fahrzeug

Das zu führende oder zu assistierende Fahrzeug, welches sich in einer separaten Umgebung zum Kontrollzentrum und dem Leitstand befindet. Je nach Anwendungsfall bietet es Interaktionsmöglichkeiten zwischen der TOP und den Mitfahrenden und dem umgebenden Verkehr. Es umfasst Systeme zur Umsetzung des Telefahrens/Fernlenkens und gegebenenfalls auch automatisierte/autonome Fahrfunktionen.

2.6 Automatisiertes Fahren, autonomes Fahren

Der Begriff „autonomes Fahren“ bezeichnet den Betrieb eines Fahrzeugs mittels einer SAE Level 4 oder SAE Level 5 Funktion. Bislang im StVG geregelt ist das autonome Fahren im Level 4.

Der Begriff „automatisiertes Fahren“ bezeichnet den Betrieb eines Fahrzeugs mittels einer SAE Level 3 Funktion. (vgl. www.bast.de/autonomesfahren, Bundesanstalt für Straßenwesen, 2020)

2.7 Operational Design Domain, festgelegter Betriebsbereich

Im vorliegenden Bericht zu Forschungsfragen der Teleoperation werden die Begriffe des Betriebsbereichs und der ODD in Analogie zu heutigen Definitionen zum autonomen Fahren für die Teleoperation verwendet.

Nach Definition durch SAE Standard J3016 bezieht sich die ODD auf die Bedingungen, für die eine automatisierte oder autonome Fahrfunktion konkret ausgelegt worden ist (z. B. alle Autobahnen in einem Mitgliedsstaat der EU).

Analog hierzu kann für die Teleoperation ebenfalls eine ODD beschrieben werden, d. h. Bedingungen, für die Teleoperation konkret ausgelegt worden ist.

Demgegenüber bezeichnet der Betriebsbereich analog zu § 1d Abs. 2 StVG den räumlichen Einsatzbereich des Gesamtfahrzeugs.

Der Bezug des ODD-Begriffs auf die automatisierte oder autonome Fahrfunktion grenzt ihn vom Begriff des Betriebsbereichs im vorliegenden Fall ab: Der Betriebsbereich für das Gesamtfahrzeug schließt den räumlichen Bereich ein, in dem die automatisierte oder autonome Funktion das Fahrzeug steuern kann. Im vorliegenden Fall ist der Betriebsbereich für das Gesamtfahrzeug nicht auf die ODD der automatisierten oder autonomen Fahrfunktion beschränkt, da auch noch die manuelle Fahrzeugsteuerung und insbesondere der teleoperierte Betrieb möglich sind. Es wird erwartet, dass der teleoperierte Betrieb es ermöglicht, den Bereich, in dem das Fahrzeug sich bewegen kann und rechtlich erlaubt ist, zu vergrößern. Teleoperation kann nicht angrenzende ODDs automatisierter oder autonomer Fahrfunktionen überbrücken. Die ODDs der autonomen Funktion und analog der Teleoperation sind damit Teil des Betriebsbereichs des Fahrzeugs.

3 Betrachtete Anwendungen der Teleassistenz und des Telefahrens/Fernlenkens

Die nachfolgend beschriebenen Anwendungsfälle stellen den denkbaren Raum an Möglichkeiten zur Anwendung von autonomen Fahrfunktionen in Kombination mit Teleassistenz und Telefahren/Fernlenken nicht erschöpfend dar. Für den Zweck des vorliegenden Berichts werden schwerpunktmäßig einzelne Anwendungsfälle in den Vordergrund gestellt, denen aktuell eine größere Wahrscheinlichkeit zur Umsetzung im öffentlichen Straßenverkehr beigemessen wird. Ausgehend von diesen nachfolgend beschriebenen Anwendungsfällen werden Forschungsfragen spezifiziert, deren Klärung der Vorbereitung von Anforderungen dient. Diese Forschungsfragen stellen den Kern des vorliegenden Berichts dar.

Die nachfolgende allgemeine Beschreibung der Anwendungsfälle erfolgt aus der Perspektive des Ego-Fahrzeugs. Innerhalb der clusterspezifischen Kapitel wird zwangsläufig eine davon abweichende Perspektive auf ebendiese Anwendungsfälle eingenommen. In einigen Clustern werden darüber hinaus auch Variationen der nachfolgenden Anwendungsfälle betrachtet. Für diese werden weitere Forschungsfragen spezifiziert.

3.1 Annahmen für Teleassistenz

Anwendungsfall A: Assistenz bei Bedarf

Im Anwendungsfall der Teleassistenz wird angenommen, dass das Fahrzeug sich im autonomen Betrieb befindet. Die Steuerungsfähigkeit ist damit fahrzeugseitig bereitgestellt. Die Teleassistenz greift nicht direkt in die Fahrzeugsteuerung ein, sondern erteilt anlassbezogenen Freigaben beziehungsweise stellt Empfehlungen oder Informationen eventbasiert zur Verfügung. Die Entscheidung über sowie die Ausführung dieser Empfehlung durch die Teleassistenz erfolgt durch die autonome Fahrfunktion. Teleassistenz erfolgt dadurch nicht kontinuierlich während des Fahrbetriebs, sondern wird ausgelöst durch ein Event. Teleassistenz erfasst beispielsweise die Freigabe systemseitig vorgeschlagener Trajektorien, das temporäre Vorgeben von Wegpunkten, oder das Modifizieren der Perception (Majstorovic et al., 2022). Hilfsweise kann die Trajektorie durch die Teleassistenz vorgegeben werden. Die fahrzeugseitige Ausführung einer Trajektorie erfolgt stets durch eine sensorreichweitenabhängige, unfallvermeidend wirkende fahrzeugbasierte Steuerungsfunktion.

Tabelle 1: Tabellarische Darstellung des Anwendungsfalls A

Akteur	Fahrzeug
Beschreibung	Ein Fahrzeug mit autonomer Fahrfunktion, das autonom innerhalb eines festgelegten Betriebsbereichs betrieben wird, erfordert nur in Ausnahmesituationen eine Interaktion mit der Teleassistenz Die technische Ausrüstung bzw. die Teleassistenz kann das Fahrzeug in den risikominimalen Zustand versetzen, da die Fortsetzung der Fahrt aufgrund einer Verkehrssituation nicht fortgesetzt werden kann. Das Verlassen des risikominimalen Zustands erfolgt mit Unterstützung der Teleassistenz.
Input	Die autonome Fahrfunktion des Fahrzeugs kann initial der Teleassistenz mögliche Fahrmanöver zur Fortsetzung der Fahrt vorschlagen und ausreichend Daten zur Beurteilung der Situation liefern.
Output	Die Teleassistenz kann ein Fahrmanöver der autonomen Fahrfunktion vorgeben; dieses muss durch die autonome Fahrfunktion validiert werden.
Bemerkung	Die finale Entscheidung zum Verlassen des risikominimalen Zustands liegt bei der autonomen Fahrfunktion.

3.2 Annahmen für Telefahren/Fernlenken

Wie oben beschrieben wird im vorliegenden Bericht für das Telefahren/Fernlenken generell angenommen, dass die Fahrzeugsteuerung von einer Person ausgeführt wird, die sich außerhalb des Fahrzeugs befindet und keine direkte Sicht auf das Fahrzeug hat. Im Folgenden werden zwei Anwendungsfälle des Telefahrens/Fernlenkens unterschieden:

- die vollständige Fahrt wird telegefahren/ferngelenkt (Anwendungsfall B),
- das Telefahren/Fernlenken beschränkt sich auf die Durchführung der Telefahrt nach der Auslösung durch ein Event (Anwendungsfall C).

Anwendungsfall B: Das Fahrzeug wird vom Start bis zum Ziel telegefahren/ferngelenkt.

In diesem Anwendungsfall erstreckt sich das Telefahren/Fernlenken von Fahrtbeginn bis zum verkehrsgerechten Abstellen des Fahrzeugs. Dabei wird das Fahrzeug zu keinem Zeitpunkt in einer anderen Weise bewegt als per Telefahren/Fernlenken. Der fortwährende Betrieb mittels Telefahren/Fernlenken setzt stets eine Ausstattung des Fahrzeuges mit einer unfallvermeidenden oder mindestens Unfallfolgen mindernden Notbremsfunktion nach dem Stand von Wissenschaft und Technik voraus (siehe beispielsweise Euro NCAP, 2016). Darüber gewinnen die maximal gefahrene Geschwindigkeit sowie die Gestaltung des Fahrzeugumfeldes entscheidende Bedeutung. Daraus ergeben sich stabilisierende Faktoren (bspw. die Darstellung von Latenz im Leitstand, die Auswahl von TOPs nach Wahrnehmungs- und Reaktionsleistung).

Tabelle 2: Tabellarische Darstellung des Anwendungsfalls B

Akteur	telegefahrende/ferngelenkende Person
Beschreibung	Das Telefahren/Fernlenken erstreckt sich vom Fahrtbeginn bis zum verkehrsgerechten Abstellen des Fahrzeugs. Dabei wird das Fahrzeug zu keinem Zeitpunkt in einer anderen Weise bewegt als per Telefahren/Fernlenken.

	Der fortwährende Betrieb mittels Telefahren/Fernlenken setzt stets eine Ausstattung des Fahrzeuges mit einer unfallvermeidenden oder mindestens Unfallfolgen mindernden Notbremsfunktion nach dem Stand von Wissenschaft und Technik voraus.
Input	Die telefahrende/fernlenkende Person steuert alle Funktionen zur sicheren Durchführung der Fahraufgabe über die gesamte Fahrstrecke mittels eines Leitstands.
Output	Das Fahrzeug liefert während der vollständigen Fahrt ausreichend Daten zur Beurteilung und zur Durchführung der Fahraufgabe durch die telefahrende/fernlenkende Person.
Bemerkung	Stabilisierende Faktoren, vgl. Analyse des Forschungsbedarfs.

Anwendungsfall C: Telefahren/Fernlenken getriggert durch ein Event

In diesem Anwendungsfall wird angenommen, dass das Fahrzeug sich im autonomen Betrieb befindet. Die Steuerungsfähigkeit ist damit fahrzeugseitig bereitgestellt. Kann die fahrzeugseitig verfügbare autonome Fahrfunktion eine vorliegende Fahrsituation nicht durchfahren, wird eine telefahrende/fernlenkende Person angefordert. Das explizite Anfordern des Telefahrens/Fernlenkens und ihr räumlich und zeitlich beschränkter Einsatz in einer Fahrsituation kennzeichnen das eventbasierte Telefahren/Fernlenken. Im Unterschied zum vorstehenden Anwendungsfall B des fortwährenden Telefahrens/Fernlenkens erfolgt das Telefahren/Fernlenken nicht vom Start bis zum Ziel, sondern beschränkt sich auf einen Fahrabschnitt, der nicht durch die autonome Fahrfunktion gelöst werden kann und damit andernfalls zur Überführung in einen risikominimalen Zustand führt, d. h. die Durchführung eines risikominimalen Manövers. An dieser Stelle bestehen keine restriktiven Annahmen über die Natur der Auslöser für das eventbasierte Telefahren/Fernlenken. Somit können zum Beispiel einmalige, unerwartete Ereignisse, ebenso wie wiederkehrende Ereignisse, zum Beispiel ODD-Limitationen der autonomen Fahrfunktion auf der Wegstrecke, das eventbasierte Telefahren/Fernlenken auslösen. Da das eventbasierte Telefahren/Fernlenken im Gegensatz zum fortwährenden Telefahren/Fernlenken auf Anfrage erfolgt, erfordert das eventbasierte Telefahren/Fernlenken eine gesonderte Betrachtung der zu bewältigenden Komplexität der Fahraufgabe für die telefahrende/fernlenkende Person.

Tabelle 3: Tabellarische Darstellung des Anwendungsfalls C

Akteur	Fahrzeug
Beschreibung	Ein Fahrzeug mit autonomer Fahrfunktion, das autonom innerhalb eines festgelegten Betriebsbereichs betrieben wird, erfordert nur bedarfsweise eine Interaktion mit der telefahrenden/fernlenkenden Person. Die technische Ausrüstung versetzt das Fahrzeug in den risikominimalen Zustand, da die Fahrt aufgrund einer Verkehrssituation nicht fortgesetzt werden kann. Das Verlassen des risikominimalen Zustands erfolgt durch die telefahrende/fernlenkende Person. Bei einer ferngelenkten Fahrt wird das Fahrzeug nur durch die telefahrende/fernlenkende Person gesteuert.
Input	Das Fahrzeug liefert ausreichend Daten zur Beurteilung der Situation und zur Durchführung des Telefahrens/Fernlenkens im angeforderten Abschnitt.

Output	Die telefahrende/fernlenkende Person führt das Fahrmanöver im angeforderten Abschnitt durch und übergibt anschließend wieder an die autonome Fahrfunktion des Fahrzeugs.
Bemerkung	Liegen keine geeigneten Fahrmanöver vor kann das Fahrzeug mittels der telefahrenden/fernlenkenden Person weiter gesteuert werden. Die finale Entscheidung zum Verlassen des risikominimalen Zustands liegt bei der telefahrenden/fernlenkenden Person.

3.3 Zusammenspiel der Steuerungsmöglichkeiten

Das Telefahren/Fernlenken als neuartige Steuerungsfunktion kann angewendet werden, sofern die automatisierte beziehungsweise autonome Fahrfunktion des Fahrzeugs die Grenzen der ODD der automatisierten oder autonomen Fahrfunktion erreicht. In diesem Fall ist die automatisierte beziehungsweise autonome Fahrfunktion des Fahrzeugs deaktiviert. Je nach technischer Ausstattung verfügt das telegefahrene/ferngelenkte Fahrzeug über Assistenzfunktionen entsprechend SAE Level 2, Level 1 oder Level 0. Hierbei muss der Automatismus zum risikominimalen Anhalten gesondert betrachtet werden. Die ordnungsgemäße Umsetzung, sowohl im rechtlichen Kontext als auch im technischen Kontext, von automatisierten beziehungsweise autonomen Fahrfunktionen und des Systems des Telefahrens/Fernlenkens in ein einzelnes Fahrzeug ist notwendig, um diese Fahrzeuge sicher über alle Steuerungsfunktionen separat zu betreiben.

Abbildung 2 zeigt beispielhaft das Zusammenspiel zwischen den einzelnen Steuerungsmöglichkeiten bei einem einzelnen Fahrzeug. Folgende Annahmen liegen der Abbildung zugrunde:

- Das Fahrzeug (1) verfügt über assistierende Fahrfunktionen nach SAE Level 2.
- Das Fahrzeug (2) verfügt über eine automatisierte Fahrfunktion nach SAE Level 3.
- Das Fahrzeug (3) verfügt über ein System zum Telefahren/Fernlenken.

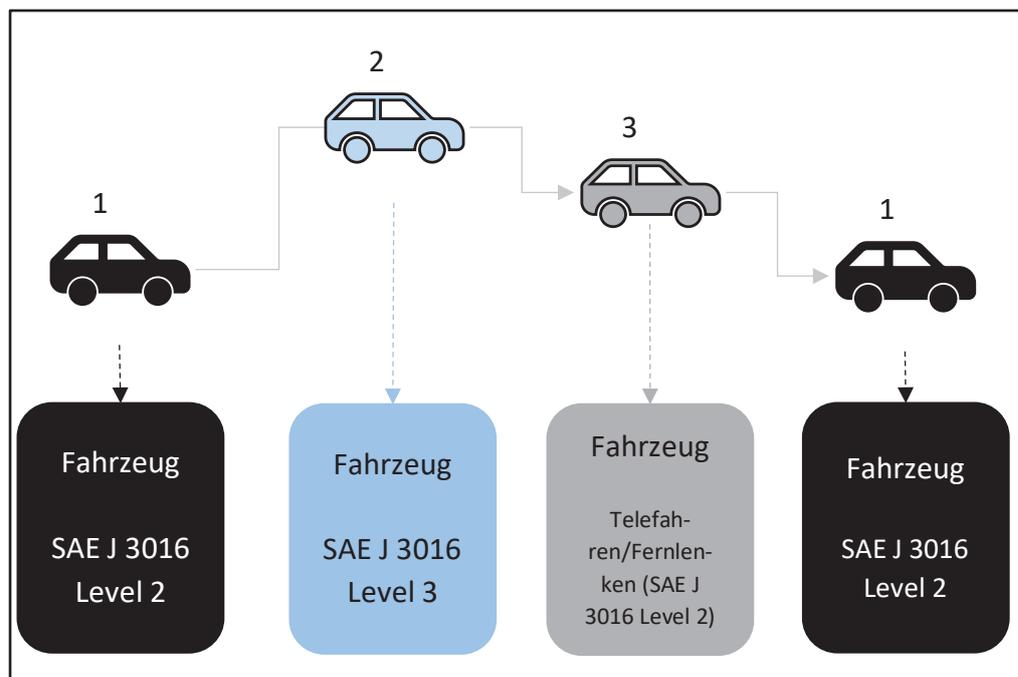


Abbildung 2: Beispielhafte Übergänge zwischen unterschiedlichen Steuerungsmöglichkeiten.

Fahrzeug mit der Bezeichnung 1

Die fahrzeugführende Person hat die gesamte Kontrolle und Verantwortung über das Fahrzeug; die Längs- und Querführung wird von der fahrzeugführenden Person im Fahrzeug durchgeführt. Assistenzsysteme unterstützen die fahrzeugführende Person.

Fahrzeug mit der Bezeichnung 2

Der automatisierte Modus ermöglicht es der fahrzeugführenden Person ihre Fahraufgabe vollständig an die automatisierte Fahrfunktion zu übergeben. Die gesamte Kontrolle und Verantwortung über das Fahrzeug liegen jetzt nicht mehr bei der bislang fahrzeugführenden Person. Dies ist jedoch ausschließlich innerhalb der ODD möglich. Die automatisierte Fahrfunktion erkennt die ODD des Level 3 Systems eigenständig und bietet der bis dahin fahrzeugführenden Person die Aktivierung an. Nachdem die bislang fahrzeugführende Person die automatisierte Fahrfunktion aktiviert hat, übernimmt die Fahrfunktion die gesamte Fahraufgabe vollständig und die bislang fahrzeugführende Person wechselt in die so genannte Rolle des Nutzers. Als Nutzer kann sich der Mensch auf dem Fahrersitz anderen Beschäftigungen zuwenden. Voraussetzung ist, dass die nutzende Person soweit wahrnehmungsbereit bleibt, dass sie nach Aufforderung der automatisierten Fahrfunktion die gesamte Fahraufgabe wieder übernehmen kann. In diesem Beispiel kann angenommen werden, dass die automatisierte Fahrfunktion erkennt, dass die ODD verlassen wird (i.S.v. die Voraussetzungen liegen nicht mehr vor). In diesem Fall fordert die automatisierte Fahrfunktion – angelehnt an UN Regelung 157 – das System des Telefahrens/Fernlenkens mit mindestens zehn Sekunden Vorlaufzeit zur Übernahme der gesamten Fahraufgabe auf. Nach der Übernahme durch Deaktivierung der automatisierten Fahrfunktion übernimmt die telefahrende Person (fahrzeugführende Person befindet sich nun außerhalb des Fahrzeugs) die gesamte Kontrolle und Verantwortung über das Fahrzeug (vgl. remote fallback ready user nach SAE J3016).

Fahrzeug mit der Bezeichnung 3

Die vollständige Ausführung der kontinuierlichen Fahraufgabe wird von einer teleoperierenden Person (fahrzeugführende Person befindet sich nun außerhalb des Fahrzeugs) mithilfe von drahtlosen Technologien (Weitverkehrsnetz-Anbindung (WWAN-Verbindung)) durchgeführt. Im Rahmen des Telefahrens/Fernlenkens übernimmt die fahrzeugführende Person außerhalb des Fahrzeugs die gesamte Kontrolle und Verantwortung über das Fahrzeug. Die vollständige Ausführung der kontinuierlichen Fahraufgabe durch die telefahrende Person kann jederzeit mit mindestens zehn Sekunden Vorlaufzeit zur Übernahme der gesamten Fahraufgabe an die nutzende Person im Fahrzeug übergeben werden. Die nutzende Person wechselt in diesem Fall wieder in die Rolle der fahrzeugführenden Person im Fahrzeug.

Die Umsetzung des Telefahrens/Fernlenkens kann heutzutage mittels vorgefertigter Komponenten (Hardware und Software) erfolgen. Die Akronyme COTS und MOTS bezeichnen verschiedene Klassifizierungen, die jeweils eigene Merkmale und Nutzungsszenarien innehaben. Nachfolgend werden diese näher erläutert:

- Commercial off-the-shelf (COTS)
Kommerzielle, handelsübliche Produkte

- Modifiable off-the-shelf (MOTS)
Modifizierbare Produkte

COTS sind kommerzielle, handelsübliche Komponenten. Diese Komponenten sind nach der Installation sofort einsatzbereit und so konstruiert, dass diese sich leicht in ein bestehendes System integrieren lassen. Office-Programme, Betriebssysteme oder E-Mail-Programme sind klassische Beispiele für COTS-Produkte. Komponenten aus erlassenen Normen fallen in den meisten Fällen ebenfalls in diese Klassifizierung. Die Attraktivität von COTS-Komponenten liegt vor allem in der Verfügbarkeit und dem hohen Technologie-Reifegrad, das heißt die Komponenten sind erprobt und bereit für den vollständigen kommerziellen Einsatz. Attraktiv sind sie auch aufgrund ihrer Erschwinglichkeit (Skalierbarkeit, da Massenproduktion für einen großen Kundenkreis).

MOTS bezeichnet eine COTS-Komponente, wobei zum Beispiel bei einer Software der Quellcode zugänglich mitgeliefert wird. Dadurch können die Komponenten weitreichend angepasst werden, um diese an den Anwendungsfall des neuen Systems abzustimmen. MOTS kombiniert die Vorteile von kommerziellen, handelsüblichen Komponenten mit der Flexibilität, die Komponente an individuelle Bedürfnisse des neuen Systems anzupassen. Im Vergleich zur Entwicklung einer vollständig maßgeschneiderten Lösung von Grund auf kann dieser Ansatz Zeit, Aufwand und Ressourcen sparen.

Da vorgesehen ist, die geeignete technische Ausrüstung zum Telefahren/Fernlenken zum Beispiel in bereits genehmigte Kraftfahrzeuge mit assistierenden Fahrfunktionen nach SAE Level 2 unter Verwendung von kommerziellen, handelsüblichen Komponenten zu etablieren, sollte insbesondere der Schwerpunkt der Forschung in der Interaktion dieser Komponenten liegen. Das kohärente Zusammenwirken der Anforderungen an die Person zur Steuerung des Fahrzeugs, den Anforderungen an die Datenverarbeitung/-übertragung, Anforderung an die Technik in Fahrzeug/Leitstand ist von großer Bedeutung.

4 Forschungsfragen – Cluster-spezifisch

4.1 Cluster 1: Fahrzeug, Betriebsbereich und Funktionssicherheit

Clusterleitung: Prof. Dr.-Ing. Markus Maurer, Leon Johann Brettin

Mitwirkende: Frank Diermeyer, Tobias Hesse, Torsten Marx, Gerd Riegelhuth, Nayel Fabian Salem

Das Kapitel zum Thema Fahrzeug, Betriebsbereich und Funktionssicherheit gliedert sich inhaltlich anhand der vorgestellten Anwendungsfälle der Teleassistent, fortwährendes Telefahren/Fernlenken und eventbasiertes Telefahren/Fernlenken. In Tabelle 4 werden alle clusterspezifischen Forschungsfragen anhand der inhaltlichen Unterkapitel gelistet. Zusätzlich sind die Forschungsfragen kapitelweise nach ihrer zeitlichen Priorisierung sortiert und weichen deshalb in ihrer Reihenfolge leicht vom textlichen Auftreten ab.

Tabelle 4: Forschungsfragen aus Cluster 1 inkl. Zuordnung zum Anwendungsfall und der zeitlichen Priorisierung

Nr.	Fall A	Fall B	Fall C	Verweis	Forschungsfrage	Zeitl. Priorität
1	✓	✓	✓	Allgemeine Fragen	Welche Anforderungen sind an die Teleoperation zu stellen, damit Verkehrsablauf / Verkehrsfluss und Verkehrssicherheit nicht beeinträchtigt beziehungsweise verbessert werden?	m
2	✓	✓	✓	Sicherer Betrieb	Welche fahrzeugseitigen technischen Anforderungen ergeben sich aus der Sicherheitsqualifizierung (ASIL vs. QM) für Teleoperation?	k
3	✓	✓	✓	Sicherer Betrieb	Welche Auswirkungen hat die Funkstrecke auf die Konzeption der fahrzeugseitigen Teleoperation?	k
4	✓	✓	✓	Sicherer Betrieb	Welche bestehenden Sicherheitsnormen aus dem Automobilbereich lassen sich auf die Teleoperation übertragen?	k

Nr.	Fall A	Fall B	Fall C	Verweis	Forschungsfrage	Zeitl. Priorität
5		☑		Sicherer Betrieb	Was sind die funktionalen und sensorischen Minimalanforderungen für Telefahren/Fernlenken?	k
6		☑	☑	Sicherer Betrieb	Welche technischen Anforderungen sind im Hinblick auf das Ziel eines risikominimalen Zustands notwendig?	k
7	☑		☑	Sicherer Betrieb	Inwieweit lassen sich szenarienbasierte Ansätze zur Absicherung automatisierten und autonomen Fahrens auf Teleoperation übertragen?	m
8	☑	☑	☑	Sicherer Betrieb	Welchen Einfluss haben Schwächen der Teilsysteme auf den Regelkreis zwischen Teleoperation und dem Fahrzeug?	m
9		☑		Kontrollierbarkeit	Gibt es aus Gründen der Verkehrssicherheit oder um einen risikominimalen Zustand erreichen zu können eine obere Geschwindigkeitsgrenze?	k
10		☑	☑	Kontrollierbarkeit	Wie kann die Übersteuerung des Telefahrens/Fernlenkens technisch abgesichert werden?	k
11	☑	☑	☑	Kontrollierbarkeit	Wie muss eine Datenschnittstelle vom Fahrzeug zum Leitstand aussehen?	m
12	☑	☑	☑	Kontrollierbarkeit	Sind neue Ansätze zur Gefährdungsidentifikation und Risikobewertung für die Teleoperation notwendig?	l
13		☑	☑	Sichere Degradation	Welche Strategien und Technologien können entwickelt werden, um eine sichere Degradation zu gewährleisten?	m
14	☑	☑	☑	Sicherheitsfragen (Security)	Welche Sicherheitsmechanismen müssen implementiert werden, um Angriffe auf Systeme der Teleoperation zu verringern?	k
15	☑	☑	☑	Sicherheitsfragen (Security)	Wie können Angriffe auf ein System der Teleoperation klassifiziert werden und welche Auswirkungen können solche Angriffe je nach Klasse auf die gesamte Fahrt haben?	m

Nr.	Fall A	Fall B	Fall C	Verweis	Forschungsfrage	Zeitl. Priorität
16	<input checked="" type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>	Anforderungen	Welche Anforderungen müssen an die autonome Fahrfunktion gestellt werden, damit die technische Kommunikation zwischen autonomer Fahrfunktion und Teleoperation durchgeführt werden kann?	k
17	<input checked="" type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>	Anforderungen	Welche Arten von Events können zur Anforderung der Teleoperation führen?	m
18	<input checked="" type="checkbox"/>			Anforderungen	Was passiert, wenn es bei der Teleassistenz zu einer Notfallsituation im Umfeld kommt?	l
19			<input checked="" type="checkbox"/>	Anforderungen	Wie muss eventbasiertes Telefahren/Fernlenken auf die Nutzung bei Katastrophen und in Sonderlagen eingestellt werden?	l

Legende: Fall A: Teleassistenz, Fall B: fortwährendes Telefahren/Fernlenken, Fall C: eventbasiertes Telefahren/Fernlenken; die zeitliche Priorität ist mit k=kurzfristig, m=mittelfristig und l=langfristig gekennzeichnet.

4.1.1 Einleitung

Cluster 1 „Fahrzeug, Betriebsbereich und Funktionssicherheit“ kann, wie im Namen bereits erwähnt, in diese drei Schwerpunkte aufgeteilt werden.

4.1.1.1 Fahrzeug

Das Fahrzeug dient als Grundlage für die Transportaufgabe und als Empfänger der Steuerungsbefehle in der Teleoperation. Wie in der Einleitung des Gesamtdokuments beschrieben, ist das Fahrzeug eines der Teilsysteme eines Gesamtsystems für die Teleoperation, welche in Wechselwirkung miteinander stehen. Dieser Teil dient dazu, Befehle von dem Leitstand über die jeweilige Kommunikationstechnologie entgegenzunehmen und Sensordaten des Fahrzeugs an den Leitstand zurückzuschicken. Durch diesen Austausch können aber in diesem Cluster auch Fragen auftreten, welche sich an den Grenzen des Teilsystems Fahrzeug befinden, da Sie für das System an sich von entscheidender Bedeutung sein können. In diesem Unterkapitel wird dieses Teilsystem vorgestellt.

Um zu verstehen, wie so ein System aussehen kann, kann es hilfreich sein, eine architektonische Einordnung eines solchen Systems vorzunehmen. Dazu werden die Sichten auf die Fahraufgabe, das Fahrzeugsystem und das Gesamtsystem kurz dargestellt.

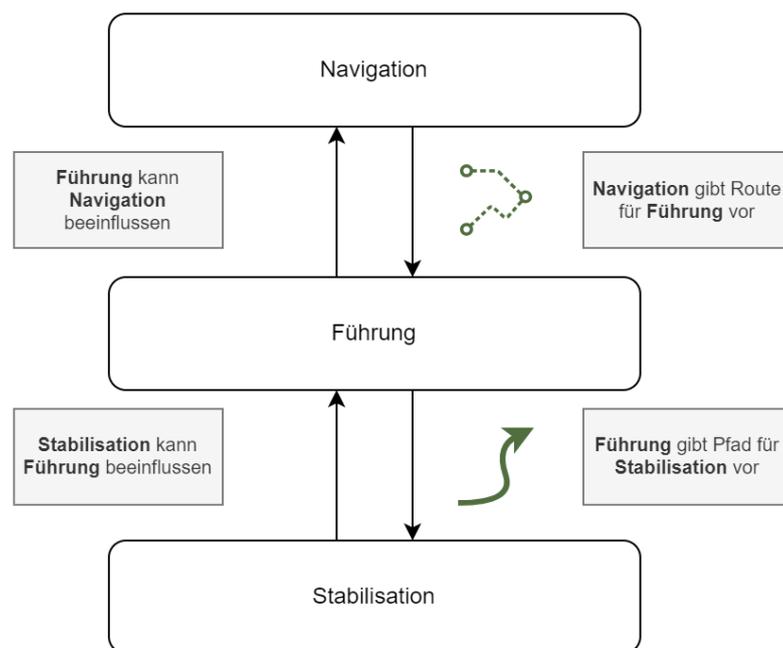


Abbildung 3: Kategorien der Fahraufgabe nach Donges (1999).

Fahraufgabe

Die Fahraufgabe als solche betrifft sowohl menschliche Fahrende als auch eine telefahrende/fernlenkende Person. Nach Donges kann eine Fahraufgabe in die Kategorien Stabilisation, Führung und Navigation unterteilt werden. Die folgenden Ausführungen orientieren sich an den Beschreibungen von Donges (1999; Abbildung 3).

Zum besseren Verständnis wird zunächst auf die Navigation eingegangen: Um eine Fahrt (oder ggf. einen Teil einer Fahrt) antreten zu können, müssen sowohl eine fahrende Person als auch eine telefahrende/fernlenkende Person wissen, wohin überhaupt gefahren

werden soll und wie eine Route dorthin aussieht. Eine solche Routenplanung kann bei Fahrenden entweder implizit erfolgen, indem sie die Route im Kopf planen, oder es wird zur Routenplanung ein System bestehend aus Hard- und Softwarekomponenten zur Hilfe genommen. Wichtig ist hierbei, dass die Route nicht festgelegt sein muss. Unvorhergesehene Ereignisse können dazu führen, dass die Route während der Fahrt neu geplant werden muss. All diese Planungen erfordern im Vergleich zur Stabilisierung und Führung ein besseres Verständnis über die Gesamtroute und Überlegungen, die über einen kurzen Streckenabschnitt hinausgehen.

Ist eine solche Route ausgewählt, kann sie in kleinere Abschnitte unterteilt werden, die befahren werden müssen. Dieses Abfahren, also die dynamische Fahraufgabe, findet nach Donges in den beiden anderen Kategorien Führung und Stabilisierung statt. Bei der Führung wird festgelegt, wie Fahrende diese Teilstrecken abfahren sollen. Es wird entweder gedanklich oder rechnerisch ein Pfad und eine Sollgeschwindigkeit festgelegt, die das Fahrzeug einhalten soll. Ein Beispiel für einen solchen Pfad kann das Hinterherfahren hinter einem Lkw sein, wobei Fahrende versuchen, die Geschwindigkeit des Fahrzeugs so anzupassen, dass es Abstand zum Lkw einhält und gleichzeitig auch in Kurven im Fahrstreifen bleibt.

Diese so generierte Trajektorie wird dann im Bereich der Stabilisierung ausgeführt. Hier wird versucht, die generierte beziehungsweise mentale Trajektorie beizubehalten. Minimale Anpassungen werden automatisch von Fahrenden selbst vorgenommen. Beispiele hierfür sind leichte Korrekturen am Lenkrad oder eine leichte Anpassung des Fahrpedaldrucks, um die in der Führung vorgegebene Trajektorie und Geschwindigkeit zu halten.

Wie in der Abbildung zu sehen ist, beeinflussen sich die Kategorien natürlich auch in umgekehrter Richtung: Die Stabilisierung kann die Führung beeinflussen und die Führung kann die Navigation beeinflussen. Dadurch entsteht ein sogenannter Regelkreis.

Durch ein Verständnis zur Fahraufgabe kann verstanden werden, wie und wo die Kategorien Telefahren/Fernlenken und Teleassistenz einsetzen. So muss beim Telefahren/Fernlenken auch die Stabilisation mit übernommen werden. Diese Kategorie wird bei der Teleassistenz vollständig von der autonomen Fahrfunktion übernommen.

Fahrzeugsystem

Hiermit ist das Fahrzeugführungssystem gemeint, mit dem das Fahrzeug ausgestattet ist. Auch dieses kann wieder in unterschiedliche Blickwinkel beziehungsweise Sichten eingeteilt werden. Gerade im Bereich des automatisierten Fahrens sind Konzepte zu Architektursichten noch aktueller Stand der Forschung und lassen sich beispielsweise bei Bagschik et al. (2018) und Kampmann et al. (2022) finden. Zur groben Übersicht wird hier die Architektur von Ulbrich et al. (2017) vorgestellt, welche in Abbildung 4 zu sehen ist:

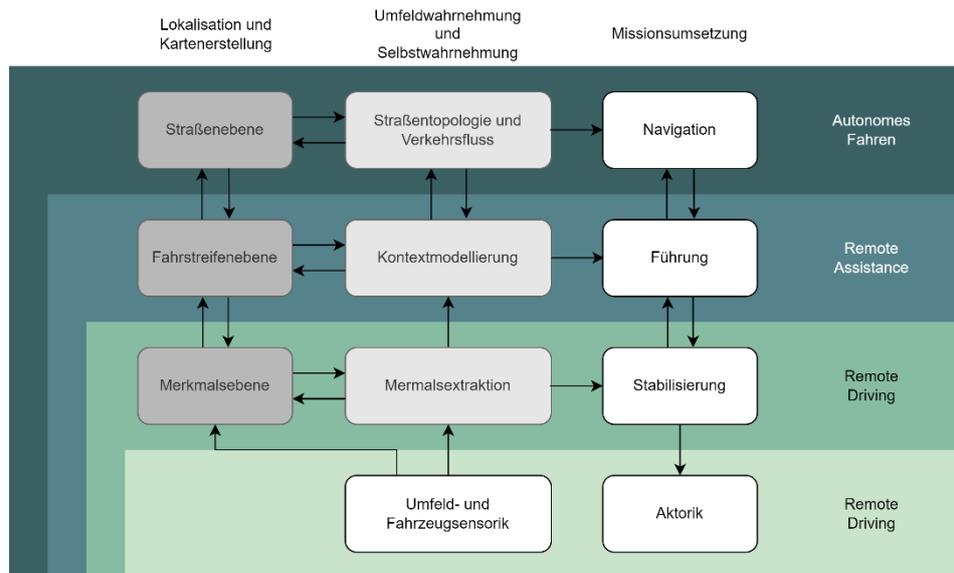


Abbildung 4: Stark vereinfachte Grafik zur Architektur nach Ulbrich et al. (2017), welche farblich beispielhaft mit den Teleoperations- und Automatisierungsmodi belegt ist.

In der Abbildung sind wiederum die zentralen Konzepte der Fahraufgabe von Donges zu erkennen, die rechts unter dem Reiter Missionsumsetzung dargestellt sind. Für die Durchführung einer allgemeinen Fahrt werden weiterhin Informationen benötigt, die sich grob aus Lokalisierungs- und Wahrnehmungsaspekten zusammensetzen. Diese Informationen können je nach Ebene kombiniert und vom System interpretiert werden. So sind auf der obersten Ebene eher Informationen relevant, die sich auf die gesamte Fahrt beziehen, während auf der untersten Ebene eher Informationen interessant sind, die für das Einhalten der Trajektorie notwendig sind.

Was die Abbildung auch beispielhaft zeigen kann, ist, wo ein Betriebsmodus der Teleoperation beginnen kann. So ist es beim Telefahren/Fernlenken ausreichend, wenn die operierende Person Zugriff auf die Aktorik des Fahrzeugs hat, um Steuerbefehle zu senden, und Zugriff auf die Umgebungs- und Fahrzeugsensoren hat, um die Umgebung zu erfassen.

Wenn jedoch beim Telefahren/Fernlenken Steuerungsvorgaben gemacht werden, denen das Fahrzeug folgen soll, müssen mindestens die Stabilisierung und die zugehörigen Messgrößen für die Fahrzeugsteuerung, wie zum Beispiel der Lenkwinkel und ggf. die Fahrzeuggeschwindigkeit, implementiert sein.

Soll das Fahrerassistenzsystem Trajektorien vorgeben oder soll eine Trajektorie durch Wegpunkte für das Fahrzeug durch den Bediener vorgegeben werden, so handelt es sich um Modi der Teleassistenz. Hier werden dem Fahrzeug Trajektorien von der Automatisierung vorgegeben. Zur Generierung dieser Trajektorien werden also auch Informationen aus der Führungsebene benötigt.

Werden alle Konzepte des Diagramms verwendet, so ist zur Vervollständigung der Abbildung an dieser Stelle die Klassifizierung des Betriebs im automatisierten oder autonomen Modus sinnvoll.

4.1.1.1.1 Gesamtsystem (clusterübergreifend)

Allgemein kann als Gesamtsystem die Kombination aus genehmigtem Fahrzeugsystem, ergänzenden technischen Komponenten im Fahrzeug, Breitband-Funkverbindung und der Arbeitsplatz der TOP bezeichnet werden, wie sie auch in der Einführung im Systemschaubild (siehe Kapitel 1.1) beschrieben ist. Da die einzelnen Komponenten des Gesamtsystems in eigenen Clustern in diesem Dokument erwähnt werden, wird hier nur kurz auf diesen Unterpunkt eingegangen. Die Interaktion im Gesamtsystem macht aber einen wichtigen Bestandteil im Systemdesign aus und hat bei der Teleoperation auch Einfluss auf den festgelegten Betriebsbereich, die Betriebsumgebung und die Sicherheitsbetrachtung des Fahrzeugs.

4.1.1.1.2 *Operational Design Domain (ODD) / Betriebsumgebung*

Die ODD, vgl. Einleitung, Kap. 2.7, ist nach SAE Standard J3016 (2021) die Bedingung unter denen ein bestimmtes Fahrassistenzsystem oder ein Feature eines solchen Systems funktionieren soll. Eine Teilmenge der Bedingungen, die in nach SAE Standard J3016 (2021) genannt werden, sind hierbei umweltbedingte, geografische und tageszeitliche Einschränkungen und/oder das Vorhandensein oder Nichtvorhandensein bestimmter Verkehrs- oder Fahrbahnmerkmale.

Die ODD begrenzt nach Irvine et al. (2021) den Entwicklungsbereich für eine solche Funktion und ermöglicht es definierte Grenzen zu haben in denen die Fähigkeiten und Limitationen des Fahrzeugs klar sind.

Ein bekanntes Beispiel für eine Einschränkung der ODD ist zum Beispiel der Typ des befahrbaren Bereichs. Wenn der Betrieb des Fahrzeugs zum Beispiel nur auf der Autobahn erlaubt ist, kann davon ausgegangen werden, dass sich keine Passanten auf der Straße befinden. Weitere Annahmen können sein, dass die Durchschnittsgeschwindigkeit in der Regel knapp über 100 km/h liegt und dass nur sehr wenige Fahrzeuge am Straßenrand stehen. All diese Informationen helfen, die Funktionalität des Systems einzuschränken und die sicherheitskritischen Aspekte einzugrenzen. Außerdem müssen sich Entwicklerinnen und Entwickler der Erkennungsfunktion dann bspw. nicht auf die Erkennung von Fußgängerüberwegen konzentrieren (unter der Voraussetzung, dass keine Rastanlage befahren wird) und kein allumfassendes System entwickeln, sondern können sich auf die Aufgaben in dieser ODD beschränken, was zumeist bereits eine ausreichend große Herausforderung darstellt.

Die Frage, wo und wie Teleoperation eingesetzt werden kann, beinhaltet immer auch die ODD, da diese den Einsatzbereich des Systems definiert. Muss die ODD zu restriktiv gewählt werden, kann es sein, dass die Straßen und die Geschwindigkeit, die ein teleoperiertes Fahrzeug fahren darf, nicht ausreichen, um das System tatsächlich im Straßenverkehr einzusetzen.

4.1.1.1.3 *Sicherheit*

Als dritter Schwerpunkt beschäftigen sich die Forschungsfragen in diesem Cluster mit Fragen der Sicherheit.

Im Bereich des autonomen Fahrens wird Sicherheit anders klassifiziert als im allgemeinen Sprachgebrauch. So wird in der Gesellschaft ein System teilweise als sicher angesehen, wenn es frei von Risiken ist. Da aber das Risiko gefährlicher Ereignisse nicht vollständig ausgeschlossen werden kann, wird ein sicherer Zustand hier etwas anders definiert: Ein System befindet sich in einem sicheren Zustand, wenn das System frei von unzumutbaren

Risiken ist (nach ISO 26262). Das bedeutet, dass ein autonomes System dann als sicher bezeichnet werden kann, wenn das Risiko unterhalb eines gesellschaftlich akzeptierten Schwellwertes liegt (ISO 26262; Maurer et al., 2015).

Für das Telefahren/Fernlenken im öffentlichen Straßenverkehr könnten allerdings andere akzeptierte Schwellwerte gelten als für das autonome Fahren. Die entstehenden Unfälle im herkömmlichen öffentlichen Straßenverkehr scheinen von der Gesellschaft als inhärentes Risiko des Verkehrssystems akzeptiert zu sein. Die Akzeptanz dieses Risikos ist nach Salem et al. (2023), Grunwald (2016), Maurer (2018) und Nolte et al. (2018) das Ergebnis von Verhandlungen zwischen der Verkehrssicherheit und dem Mobilitätsbedürfnis in der Gesellschaft. Diese Verhandlungen haben im Bereich der Teleoperation noch nicht stattgefunden, sodass es eine Forschungsfrage an sich ist zu entscheiden, ab wann Teleoperation als sicher eingestuft werden kann (siehe hierzu Cluster 5).

Konkret geht es bei den Forschungsfragen um Aspekte des *sicheren Betriebs* und der *Beherrschbarkeit* und der *sicheren Degradation* von teleoperierten Fahrzeugen, aber auch um Fragen der Daten- und IT-Sicherheit. Sicherheit ist ein Thema, das gerade wegen der potenziell hohen gesellschaftlichen Erwartungen in diesem Bereich für die Ermöglichung, aber auch für das Verbot dieser Technologie im Straßenverkehr im Regelbetrieb entscheidend sein kann. Viele der Forschungsfragen dieses Clusters adressieren Fragestellungen, die hier konkretere Vorstellungen und Regulierungsmöglichkeiten schaffen können sollen, um einen abgesicherten Betrieb von Teleoperation zu ermöglichen.

4.1.2 Forschungsfragen zu Fahrzeug, Betriebsbereich und Funktionssicherheit

4.1.2.1 Gliederung in unterschiedliche Modi

Die Forschungsfragen werden nachfolgend in drei Kategorien unterteilt: "Teleassistenz", "Fortwährendes Telefahren/Fernlenken" und "eventbasiertes Telefahren/Fernlenken". Hierbei ist als Annahme für das bessere Verständnis der Fragen davon auszugehen, dass beim fortwährenden Telefahren/Fernlenken keine autonome Fahrfunktion im Fahrzeug verbaut ist. Nach Definition durch SAE Standard J3016 bezieht sich das autonome Fahrssystem (engl. Automated driving system (ADS), definiert nach SAE J3016) auf die "Hardware und Software, die gemeinsam in der Lage sind, die gesamte Dynamic Driving Task (Fahrtaufgabe) dauerhaft durchzuführen, unabhängig davon, ob sie auf eine bestimmte ODD beschränkt ist; dieser Begriff wird speziell zur Beschreibung eines Fahrautomatisierungssystems der Stufen 3, 4 oder 5 verwendet." (freie Übersetzung der Autorinnen und Autoren). In Bezug auf Abbildung 4 der Einleitung ist mit Telefahren/Fernlenken ohne autonome Fahrfunktion also nur der Teil des Remote Driving gemeint, der auf die Umfeld- und Fahrzeugsensorik sowie die Aktorik zugreifen kann.

Beim eventbasierten Telefahren/Fernlenken und bei der Teleassistenz kann aufgrund des eventbasierten Charakters davon ausgegangen werden, dass eine autonome Fahrfunktion verbaut ist. Es kann auch argumentiert werden, dass eventbasiertes Telefahren/Fernlenken mit einem System ohne autonome Fahrfunktion möglich ist, zum Beispiel durch ein Ereignis, das das Fahrzeug vom Fahren mit fahrender Person vor Ort in die Teleoperation überführt. Da es jedoch zu Unverständnis führen kann, kann dieses Beispiel in der Kategorisierung als fortwährendes Telefahren/Fernlenken angesehen werden. Dies entspricht auch der Definition in der Einleitung des Gesamtdokuments, in der davon ausgegangen wird, dass beim eventbasierten Telefahren/Fernlenken eine autonome Fahrfunktion aktiv gewesen sein muss.

4.1.2.2 *Weitere Informationen durch Tags*

Es wurde, falls es ähnliche Fragen in allen Kategorien: "Teleassistenz", "fortwährendes Telefahren/Fernlenken" und "eventbasiertes Telefahren/Fernlenken" gibt, der Tag "#kategorieübergreifend" an die Forschungsfrage angehängt, sodass erkannt werden kann, dass sich eine ähnliche Frage in den anderen Kategorien wiederholt.

Darüber hinaus wurde jeder Frage eine Kategorisierung in Bezug auf den Zeitpunkt, zu dem diese Frage relevant werden könnte, mit Hilfe von Tags mit den Bezeichnungen "#kurzfristig", "#mittelfristig" und "#langfristig" zugeordnet.

4.1.2.3 *Gliederung in unterschiedliche Schwerpunkte*

Die Forschungsfragen gliedern sich in die Kategorien „Allgemeine Fragen“, „Sicherheitsfragen (Safety)“, „Sicherheitsfragen (Security)“ und „Anforderungen“.

In der Kategorie „Allgemeine Fragen“ werden Fragestellungen behandelt, die auf Aspekte abzielen, die den Nutzen von Teleoperation ausmachen.

Die Kategorie „Sicherheitsfragen (Safety)“ befasst sich mit Sicherheitsfragen im Sinne von Gefährdungen und Risiken, die von Teleoperation ausgehen können.

Die Kategorie „Sicherheitsfragen (Security)“ befasst sich mit Aspekten des Angriffs auf das Gesamtsystem der Teleoperation.

Das Thema „Anforderungen“ befasst sich mit Anforderungen, die noch nicht von den vorhergehenden Kategorien abgedeckt werden, und umfasst Themen wie Anforderungen an die autonome Fahrfunktion, die verwendete Sensorik und die Arten von auslösenden Events.

4.1.3 **Teleassistenz**

4.1.3.1 *Allgemeine Fragen*

Welche Anforderungen sind an die Teleassistenz zu stellen, damit Verkehrsablauf / Verkehrsfluss und Verkehrssicherheit nicht beeinträchtigt beziehungsweise verbessert werden?

#mittelfristig

Ein autonomes Fahrzeug, das seine Mission nicht mehr selbst oder in Verbindung mit der Teleassistenz erfüllen kann, wird einen risikominimalen Zustand einnehmen, was in bestimmten Fällen ein sicheres Anhalten bedeuten kann. Wie dieser risikominimale Zustand realisiert wird, kann je nach Begleitumständen variieren und hat somit auch unterschiedliche Auswirkungen auf die umliegende Verkehrssituation, zum Beispiel je nach Lage, Geschwindigkeit, inner- oder außerorts gelegenen Straßen usw. und kann eine Behinderung des Verkehrsablaufs bis hin zu einer Gefährdung des Verkehrs darstellen. Teleassistenz kann eingesetzt werden, um autonome Fahrzeuge mit Zusatzinformation zu versorgen. In diesem Zusammenhang stellt sich die Frage, welche Anforderungen an Teleassistenz zu stellen sind, damit Verkehrsablauf / Verkehrsfluss und Verkehrssicherheit nicht negativ beeinflusst oder sogar verbessert werden (siehe auch Cluster 2 Kapitel 4.2.4.3; Cluster 5 Kapitel 4.5.3.2).

4.1.3.2 Sicherheitsfragen (Safety)

In diesem Kapitel werden Fragen der Sicherheit in Hinblick auf Safety behandelt. Mögliche Aspekte zur Unterscheidung der Sicherheit können die Kategorien sicherer Betrieb und Kontrollierbarkeit sein. Um ein Bewusstsein für diese Kategorien zu schaffen, werden diese Aspekte im Folgenden dargestellt und wurden hier zur weiteren Aufgliederung verwendet.

Sicherheit durch sicheren Betrieb bedeutet, dass während des Betriebs des Fahrzeugs Sicherheitsprotokolle und Sicherheitsmaßnahmen verwendet werden, um das Risiko durch einen Ausfall zu minimieren. Diese Kategorie beinhaltet auch die Überwachung der technischen Komponenten sowie den Einsatz von Sicherheitsmechanismen wie Redundanz und Selbstwahrnehmung, um einen möglichst sicheren Betrieb zu gewährleisten.

Sicherheit durch Kontrollierbarkeit bedeutet die Möglichkeit, das Fahrzeug durch Sensorik und Aktorik in einem für die Teleassistenz erwartbaren Maße kontrollieren zu können. Ein kontrollierbares Gesamtsystem ermöglicht es der Teleassistenz, dem Fahrzeug auch in unvorhergesehenen Situationen akkurate Steuerungsempfehlungen zu senden und mögliche Schäden zu vermeiden.

4.1.3.2.1 Sicherer Betrieb

Welche fahrzeugseitigen technischen Anforderungen ergeben sich aus der Sicherheitsqualifizierung (ASIL vs. QM) für die Teleassistenz?

#kurzfristig #kategorieübergreifend

Je nachdem, wie ein System zur Teleassistenz konzeptioniert wird, stellt sich die Frage nach den technischen Anforderungen an ein solches System. Es ergibt sich die Frage, welche technischen Eigenschaften das System zur Teleassistenz je nach Sicherheitsqualifizierung aufweisen muss. Welche Strategien können zur Sicherheitsargumentation verfolgt werden?

Bei der Teleassistenz richten sich die Anforderungen an die Interaktion zwischen autonomer Fahrfunktion und Teleassistenz. Dabei stellt sich einmal die Frage, ob die technischen Anforderungen an die Funkstrecke durch die Ausprägung der Steuerungsfähigkeit eine Teilmenge zu den Anforderungen beim teleassistierten Betrieb bilden.

Falls Teleassistenz als ASIL-qualifiziertes System eingesetzt werden soll, muss genauer erforscht werden, in welchen Anwendungsfällen die Teleassistenz einen Mehrwert bieten kann. Außerdem stellt sich die Forschungsfrage, wann Teleassistenz durch das autonome Fahrzeug angefordert werden sollte und wie genau der Betriebsablauf dann durchgeführt werden sollte (siehe auch Cluster 2 Kapitel 4.2.5.3; Cluster 5 Kapitel 4.5.3.3).

Inwieweit lassen sich Ansätze zur szenarienbasierten Absicherung automatisierten und autonomen Fahrens auf die Teleassistenz übertragen?

#mittelfristig

Für autonome Fahrzeuge gibt es die Möglichkeit, Szenarien zur Entwicklung, Absicherung und Testen zu nutzen (Bagschik et al., 2017; Schuldt, 2017). Da die Teleassistenz in Kombination mit autonomen Fahrzeugen eingesetzt werden kann, könnte der szenarienbasierte

Ansatz des autonomen Fahrens auf solche Systeme übertragen werden, um die Absicherung dieser zu gestalten. Wie genau eine solche Übertragung aussieht und wie viel von den bislang vorliegenden Forschungsergebnissen und dem entwickelten System szenarienbasierten Absicherns übernommen werden kann, könnte in zukünftigen Forschungsarbeiten erarbeitet werden (siehe auch Cluster 2 Kapitel 4.2.2; Cluster 3 Kapitel 4.3.7).

Welche Auswirkungen hat die Funkstrecke auf die Konzeption der fahrzeugseitigen Teleassistentz?

#kurzfristig #kategorieübergreifend

Die Funkstrecke ist als Komponente in der Konzeption des Fahrzeugs und damit für das System der Teleassistentz ein wichtiger Bestandteil. Angesichts des gegebenenfalls sicherheitskritischen Charakters sollte untersucht werden, ob die derzeitigen Sicherheitsstandards im Automobilbereich ausreichen, um die neuartigen Herausforderungen an die Funkverbindung im Bereich der Teleassistentz hinreichend zu adressieren. Aktuelle Sicherheitsstandards im Automobilbereich beschränken sich üblicherweise auf die Nutzung von Bordelektronik zur Bereitstellung sicherheitskritischer Funktionalität. Die Rolle einer Funkverbindung zur Sendung von Steuerungsempfehlungen für ein Fahrzeug ist in diesem Kontext nicht explizit berücksichtigt. Erfahrungen aus anderen Domänen (z. B. ferngesteuerte Flugdrohnen) können hier gegebenenfalls ein Ansatzpunkt für weitere Forschung sein.

Welche bestehenden Sicherheitsnormen aus dem Automobilbereich lassen sich auf die Teleassistentz übertragen?

#kurzfristig #kategorieübergreifend

Die Funkstrecke spielt bei der Teleassistentz eine tragende Rolle. In diesem Zusammenhang stellt sich die Frage, inwieweit sicherheitskritische Funktionalität durch sie bereitgestellt werden kann. Bei konventionellen EE-Systemen im Automobilbereich wird zum Beispiel die ISO 26262 zur Qualifizierung von Sicherheitsanforderungen herangezogen. Daraus resultiert die weiterführende Frage, inwieweit bestehende Sicherheitsnormen auf die Teleassistentz anwendbar sind und ob demnach die Funkstrecke ASIL-qualifizierte oder vergleichbare Sicherheitsanforderungen erfüllen kann?

Welchen Einfluss haben Schwächen der Teilsysteme auf den Regelkreis zwischen Teleassistentz und dem Fahrzeug?

#mittelfristig #kategorieübergreifend

Im Hinblick auf den Regelkreis stellt sich die Frage, inwieweit die Qualität der Teilsysteme im Fahrzeug die sichere Nutzbarkeit dieses Regelkreises beeinflusst. So kann zum Beispiel durch eine verminderte Qualität eines Teilsystems der gesamte Regelkreis beeinflusst werden. Ein Beispiel hierfür wäre eine schlechte Verbindung zum Leitstand, die zu hohen Verzögerungen bei der Ausführung führen kann. Gegebenenfalls können aber andere Teilsysteme, wie zum Beispiel schnelle Rechenkomponenten, als mitigierende Maßnahmen einen positiven Effekt auf den Regelkreis haben.

Darüber hinaus ist die Frage zu stellen, wie eine regelmäßige Überprüfung der Teilsysteme zu gestalten ist, um eine gleichbleibende Qualität dieser Systeme zu gewährleisten.

4.1.3.2.2 Kontrollierbarkeit

Sind neue Ansätze zur Gefährdungsidentifikation und Risikobewertung für die Teleassistenz notwendig?

#langfristig #kategorieübergreifend

Bei Anwendung von Teleassistenz kann es zu Szenarien kommen, in denen durch ein gefährliches Ereignis ein Schaden entsteht. Einzelne Szenarien können eine geringe Auftrittswahrscheinlichkeit, aber eine hohe Schwere aufweisen. Diese relevanten Szenarien müssen für die Teleassistenz identifiziert werden. Solche Szenarien sind im Rahmen der Sicherheitsargumentation daraufhin zu untersuchen, wie die Teleassistenz zu reagieren hat, wie diese Reaktion sichergestellt wird beziehungsweise werden kann und welche technischen Mitigationsmechanismen es bei der Teleassistenz gibt.

Hinsichtlich der technischen Ausstattung sollte ebenfalls untersucht werden, ob und wenn ja, welche fahrzeuggesteuerten Sicherheitssysteme (bspw. Notbremsassistent etc.) vorhanden sein müssen, die in die Steuerung des Fahrzeugs eingreifen können.

Durch den eingeschränkten Handlungsspielraum einer Teleassistenz könnten neue Interaktionskonzepte erdacht werden. Inwieweit könnte also der Einsatz von Teleassistenz zu einer Gefahrensituation führen? Außerdem stellt sich die Frage, wie die technische Kommunikation zwischen autonomer Fahrfunktion und Teleassistenz konzipiert werden muss, wenn es zu einer Gefahrensituation kommt.

Wie muss eine Datenschnittstelle vom Fahrzeug zum Leitstand aussehen?

#mittelfristig #kategorieübergreifend

In Hinblick auf den aktuellen Stand der Entwicklung von Systemen zur Teleassistenz bietet sich die Möglichkeit der gemeinsamen Ausarbeitung einer Richtlinie für eine allgemeine Datenschnittstelle. Je nach Providerkonzept (zentral vs. dezentral) könnte es notwendig sein, jede Teleassistenz auf jedes Fahrzeug zuschalten zu können. Wie kann gegebenenfalls eine solche Datenschnittstelle umgesetzt werden? Kann eine gemeinsame Schnittstelle die Skalierbarkeit erhöhen und damit den Verkehrsablauf verbessern?

4.1.3.3 Sicherheitsfragen (Security)

In diesem Kapitel werden Fragen zum Thema Sicherheit in Hinblick auf die Security gestellt. Diese Fragen können bei der Entwicklung des Gesamtsystems der Teleoperation große Bedeutung haben. Durch Manipulation von Teilsystemen der Teleoperation können erhebliche Schäden entstehen, deren Risiken es zu minimieren gilt. Angriffe beschränken sich bei solchen Systemen nicht nur auf Angriffe zur Übernahme des Systems, sondern können zum Beispiel auch *Jamming* beinhalten oder den gezielten Versuch, die Sicht der Teleassistenz zu stören, der sich potenziell nur über ein Kamerasystem einen Überblick verschaffen kann. Darüber hinaus beeinflusst die Sicherheit implizit auch die Akzeptanz solcher Systeme, was ebenfalls ein Faktor sein kann, der die Berücksichtigung dieses Themas gerade zum jetzigen, frühen Zeitpunkt einer solchen Technologie erfordert.

Wie können Angriffe auf ein System der Teleassistentz klassifiziert werden und welche Auswirkungen können solche Angriffe je nach Klasse auf die gesamte Fahrt haben?

#mittelfristig #kategorieübergreifend

Die Kategorisierung von Angriffen auf Teleassistentz ermöglicht es, eventuelle Schwachstellen und Auswirkungen solcher Angriffsszenarien zu verstehen. Die Auseinandersetzung mit dieser Forschungsfrage ermöglicht es, potenzielle Risiken dieser Technologie aufzuzeigen und Mitigationsmechanismen zu entwerfen.

Je nach Art des Angriffs auf ein solches System können die Auswirkungen auf die Fahrt unterschiedlich sein. Ein besseres Verständnis ist notwendig, um die Entwicklung dieser Technologie voranzutreiben, weswegen weiterführende Untersuchungen und Sicherheitsmaßnahmen erforderlich sind, um mögliche Risiken zu mindern und die Zuverlässigkeit von Systemen der Teleassistentz in Fahrzeugen zu verbessern.

Welche Sicherheitsmechanismen müssen implementiert werden, um Angriffe auf Systeme der Teleassistentz zu verringern?

#kurzfristig #kategorieübergreifend

Zunächst stellt sich die Frage, inwieweit bestehende Sicherheitskonzepte aus verwandten Disziplinen sich auf die Teleassistentz übertragen lassen. Relevant sind die Entwicklung und Umsetzung von Sicherheitsstandards und -maßnahmen, die dem Missbrauch von Systemen der Teleassistentz entgegenwirken und so das Vertrauen in eine solche Technologie stärken.

So kann zum Beispiel eine *Intrusion Detection* als gefordertes System untersucht werden oder die Spezifikation, ab wann, begründet durch einen Angriff, ein risikominimales Manöver vom Fahrzeug durchgeführt werden muss. Ein Beispiel für einen Angriff, der über Angriffe auf der Netzwerkebene hinausgehen kann, ist das Blenden der Kameras der operierenden Person, um die Sicht zu behindern.

Darüber hinaus fallen unter diesen Aspekt auch Forschungsfragen zum Thema Dokumentation und Reporting von Sicherheitsvorfällen.

4.1.3.4 Anforderungen

In diesem Kapitel werden Forschungsfragen zum Thema Anforderungen behandelt, die in den vorhergehenden Kapiteln noch nicht angesprochen wurden. Es handelt sich um allgemeine Anforderungsfragen zu den Themen Automatisierung, Varianten der Teleoperation und Mensch-Maschine-Interaktion.

Welche Anforderungen müssen an die autonome Fahrfunktion gestellt werden, damit die technische Kommunikation zwischen autonomer Fahrfunktion und Teleassistentz durchgeführt werden kann?

#kurzfristig

Bei der Teleassistentz muss es eine technische Kommunikationsschnittstelle zwischen der autonomen Fahrfunktion und dem Leitstand geben, um bei einem Event die Teleassistentz einzuschalten.

Welche Anforderungen müssen an die autonome Fahrfunktion gestellt werden, damit die technische Kommunikation zwischen Automation und Teleoperation durchgeführt werden kann?

Diese Frage wird insbesondere dann kritisch, wenn das Fahrzeug mit Hilfe der Teleassistenz die ODD der autonomen Fahrfunktion verlässt. Im Hinblick auf die Sicherheit (Safety und Security) kann auch die Frage gestellt werden, inwieweit fehlerhafte oder böswillige Bedienung durch die Teleassistenz von der autonomen Fahrfunktion erkannt werden können.

Welche Arten von Events können die autonome Fahrfunktion zur Anforderung von Unterstützung durch die Teleassistenz veranlassen?

#mittelfristig

Die Notwendigkeit der Unterstützung durch eine Teleassistenz wird über ein Event ausgelöst. Was genau ein Event klassifiziert, wie Events spezifiziert sind und welche Arten von Events es gibt, muss zunächst erforscht werden.

Was passiert, wenn es bei der Teleassistenz zu einer Notfallsituation im Umfeld kommt?

#langfristig #kategorieübergreifend

Falls es zu einer Notfallsituation in der Umgebung des Fahrzeugs kommt, dann kann es zu Situationen kommen, in denen das Fahrzeug, welches durch die Teleassistenz Steuerungsempfehlungen erhält, eine Behinderung für den Verkehr darstellen kann. In einer solchen Situation kann die Forschungsfrage gestellt werden, in welcher Weise das Fahrzeug bewegt werden muss, um den Notfallhelfenden nicht im Weg zu stehen und welche Arten von Systemen eingeführt werden müssen, um in einem solchen Fall auch potenziell gegen Regeln des öffentlichen Straßenverkehrs zu verstoßen, um zu gewährleisten, dass die Notfallsituation nicht vom teleoperierten Fahrzeug behindert wird. Hierbei kann auch die Frage gestellt werden, was im Fehlerfall mit einem solchem Fahrzeug passieren muss und es zu einer Notfallsituation kommt, in dem dieses Fahrzeug jetzt den Weg zur Notfallsituation blockiert. Zusätzlich stellt sich die Frage, wie Situationen, in denen ein teleoperiertes Fahrzeug relevante Wege blockiert, verhindert werden kann.

4.1.4 Telefahren/Fernlenken, fortwährend

4.1.4.1 Allgemeine Fragen

Welche Anforderungen sind an das fortwährende Telefahren/Fernlenken zu stellen, damit Verkehrsablauf / Verkehrsfluss und Verkehrssicherheit nicht beeinträchtigt beziehungsweise verbessert werden?

#mittelfristig

Um sicherzustellen, dass der Verkehrsablauf / Verkehrsfluss und die Verkehrssicherheit durch das fortwährende Telefahren/Fernlenken nicht beeinträchtigt, sondern bestenfalls verbessert werden kann, sollte untersucht werden, welche Anforderungen an das fortwährende Telefahren in dieser Hinsicht zu stellen sind. Darunter fällt unter anderem, ob

das fortwährende Telefahren/Fernlenken genauso flüssig im Verkehr stattfinden kann, wie manuelles oder autonomes Fahren. Zudem stellt sich die Frage, ob das fortwährende Telefahren/Fernlenken genauso sicher umgesetzt werden kann und inwieweit Anforderungen an das manuelle und autonome Fahren für Telefahren/Fernlenken abgeleitet werden können. Zusätzlich ist zu untersuchen, ob durch den Einsatz des fortwährenden Telefahrens/Fernlenkens sogar eine Verbesserung des Verkehrsflusses sowie der Verkehrssicherheit erzielt werden kann.

4.1.4.2 Sicherheitsfragen (Safety)

In diesem Kapitel werden Fragen der Sicherheit in Hinblick auf Safety behandelt. Mögliche Aspekte zur Unterscheidung der Sicherheit können die Kategorien sicherer Betrieb und Kontrollierbarkeit sein. Um ein Bewusstsein für diese Kategorien zu schaffen, werden diese Aspekte im Folgenden dargestellt und wurden hier zur weiteren Aufgliederung verwendet.

Sicherheit durch sicheren Betrieb bedeutet, dass während des Betriebs des Fahrzeugs Sicherheitsprotokolle und Sicherheitsmaßnahmen verwendet werden, um das Risiko durch einen Ausfall zu minimieren. Diese Kategorie beinhaltet auch die Überwachung der technischen Komponenten sowie den Einsatz von Sicherheitsmechanismen wie Redundanz und Selbstwahrnehmung, um einen möglichst sicheren Betrieb zu gewährleisten.

Sicherheit durch Kontrollierbarkeit bedeutet die Möglichkeit, das Fahrzeug durch Sensorik und Aktorik in einem für die telefahrende/fernlenkende Person erwartbaren Maße kontrollieren zu können. Ein kontrollierbares Gesamtsystem der Teleoperation ermöglicht es der telefahrenden/fernlenkenden Person, das Fahrzeug auch in unvorhergesehenen Situationen gut zu beherrschen und mögliche Schäden zu vermeiden.

Sicherheit durch sichere Degradation bedeutet, dass das Fahrzeug in einer Fehlersituation noch in einen sicheren Zustand überführt werden kann, obwohl Sensoren und Aktoren, die normalerweise für den Normalbetrieb verwendet werden, ausgefallen sind.

4.1.4.2.1 Sicherer Betrieb

Welche fahrzeugseitigen technischen Anforderungen ergeben sich aus der Sicherheitsqualifizierung (ASIL vs. QM) für das fortwährende Telefahren/Fernlenken?

#kurzfristig #kategorieübergreifend

Je nachdem, wie ein System zum fortwährenden Telefahren/Fernlenken konzeptioniert wird, stellt sich die Frage nach den technischen Anforderungen an ein solches System. Es ergibt sich die Frage, welche technischen Eigenschaften das System zum Telefahren/Fernlenken je nach Sicherheitsqualifizierung aufweisen muss. Welche Strategien können darüber hinaus bei der Sicherheitsargumentation verfolgt werden? (Siehe auch Cluster 2 Kapitel 4.2.5.3; Cluster 5 Kapitel 4.5.3.3)

Was sind die funktionalen und sensorischen Minimalanforderungen für das fortwährende Telefahren/Fernlenken?

#kurzfristig

Mit Blick auf aktuelle prototypische Lösungen für das fortwährende Telefahren/Fernlenken im deutschen Straßenverkehr stellt sich die Forschungsfrage, welche funktionalen Mindestanforderungen an solche Systeme gestellt werden müssen, damit diese zuverlässig am Straßenverkehr teilnehmen können. Die Frage bezieht sich dabei auf den minimal möglichen Einbau bestimmter Sensorik wie Kameras oder Lidar und damit verbunden auf den Einbau redundanter Systeme im Fahrzeug. Die Frage bezieht sich aber auch auf die Geschwindigkeits- und Bandbreitenanforderungen, die erfüllt sein müssen, damit ein Fahrzeug telegefahren/ferngelenkt werden kann.

Es sollte untersucht werden, ob es ausreichend ist, ein System zum fortwährenden Telefahren/Fernlenken (ohne autonome Fahrfunktion) ohne Lidar zu betreiben und welche Auswirkungen eine minimale Ausrüstung zum Beispiel auf die maximal mögliche Fahrgeschwindigkeit haben könnte.

Welche Auswirkungen hat die Funkstrecke auf die Konzeption des fahrzeugseitigen Telefahrens/Fernlenkens?

#kurzfristig #kategorieübergreifend

Die Funkstrecke ist als Komponente in der Konzeption des Fahrzeugs und damit für die Systeme zum fortwährenden Telefahren/Fernlenken ein wichtiger Bestandteil. Angesichts des gegebenenfalls sicherheitskritischen Charakters von solchen Systemen ist es wichtig zu untersuchen, ob die derzeitigen Sicherheitsstandards im Automobilbereich ausreichen, um die neuartigen Herausforderungen an die Funkverbindung im Bereich des fortwährenden Telefahrens/Fernlenkens hinreichend zu adressieren. Aktuelle Sicherheitsstandards im Automobilbereich beschränken sich üblicherweise auf die Nutzung von Bordelektronik zur Bereitstellung sicherheitskritischer Funktionalität. Die Rolle einer Funkverbindung zur Fernsteuerung ist in diesem Kontext nicht explizit berücksichtigt. Erfahrungen aus anderen Domänen (z. B. ferngesteuerte Flugdrohnen) können hier gegebenenfalls ein Ansatzpunkt für weitere Forschung sein.

Welche bestehenden Sicherheitsnormen aus dem Automobilbereich lassen sich auf das fortwährende Telefahren/Fernlenken übertragen?

#kurzfristig #kategorieübergreifend

Die Funkstrecke spielt beim Telefahren/Fernlenken eine tragende Rolle. In diesem Zusammenhang stellt sich die Frage, inwieweit sicherheitskritische Funktionalität durch sie bereitgestellt werden kann. Bei konventionellen EE-Systemen im Automobilbereich wird zum Beispiel die ISO 26262 zur Qualifizierung von Sicherheitsanforderungen herangezogen. Daraus resultiert die weiterführende Frage, inwieweit bestehende Sicherheitsnormen auf das fortwährende Telefahren anwendbar sind und ob demnach die Funkstrecke ASIL-qualifizierte oder vergleichbare Sicherheitsanforderungen erfüllen kann?

Welche technischen Anforderungen sind im Hinblick auf das Ziel eines risikominimalen Zustands notwendig?

#kurzfristig #kategorieübergreifend

Wenn bei einem telegelassenen/ferngesteuerten Fahrzeug die Verbindung zum Leitstand abbricht, stellt sich die Frage, wie mit dieser Situation seitens des Fahrzeugsystems umgegangen wird, um das Ziel eines risikominimalen Zustandes des Fahrzeugs zu erreichen. Zunächst stellt sich die Frage, ob eine Notbremsung ausreicht, um das Fahrzeug nur abzubremsen und in einen risikominimalen Zustand zu versetzen. Wenn dies nicht ausreicht um einen risikominimalen Zustand zu erreichen – insbesondere auf Autobahnen ist davon auszugehen – ist zu fragen, wie weit das System zum Telefahren/Fernlenken automatisiert/autonom sein muss, um einen risikominimalen Halt zu ermöglichen. Wie kann im Gesamtsystem des Telefahrens/Fernlenkens die Notwendigkeit eines risikominimalen Zustands frühzeitig erkannt werden?

Welchen Einfluss haben Schwächen der Teilsysteme auf den Regelkreis zwischen telefahrender/fernlenkender Person und dem Fahrzeug?

#mittelfristig #kategorieübergreifend

Im Hinblick auf den Regelkreis stellt sich die Frage, inwieweit die Qualität der Teilsysteme im Fahrzeug die sichere Nutzbarkeit dieses Regelkreises beeinflusst. So kann zum Beispiel durch eine verminderte Qualität eines Teilsystems der gesamte Regelkreis beeinflusst werden. Ein Beispiel hierfür wäre eine schlechte Verbindung zum Leitstand oder umgekehrt zum Fahrzeug, die zu hohen Verzögerungen bei der Ausführung führen kann. Gegebenenfalls können aber andere Teilsysteme, wie zum Beispiel schnelle Rechenkomponenten, als mitigierende Maßnahmen einen positiven Effekt auf den Regelkreis haben.

Darüber hinaus ist die Frage zu stellen, wie eine regelmäßige Überprüfung der Teilsysteme zu gestalten ist, um eine gleichbleibende Qualität dieser Systeme zu gewährleisten.

4.1.4.2.2 Kontrollierbarkeit

Gibt es aus Gründen der Verkehrssicherheit oder um einen risikominimalen Zustand erreichen zu können eine obere Geschwindigkeitsgrenze?

#kurzfristig

Die Forschungsfrage bezieht sich auf die Einschränkungen in Bezug auf Latenz, Qualität der Datenverbindung, Zuverlässigkeit der Steuerbefehle, Reaktionszeit und mögliche Verbindungsunterbrechungen, die sich für die operierende Person ergeben, wenn ein Fahrzeug telegelassen/ferngesteuert werden soll. Es stellt sich die Forschungsfrage, wie hoch die maximal mögliche Fahrgeschwindigkeit eines solchen Fahrzeugs sein darf, um sicherzustellen, dass das Fahrzeug noch einen risikominimalen Zustand erreichen kann. Die Geschwindigkeit kann von der jeweiligen ODD abhängen. Aus der Forschungsfrage kann sich aber auch ergeben, dass eine Höchstgeschwindigkeit unabhängig von der ODD vorgeschrieben werden muss. Diese Frage impliziert, ob bei zu niedrigen möglichen Höchstgeschwindigkeiten in einer bestimmten ODD überhaupt telegelassen/ferngesteuert werden darf.

Wie kann die Übersteuerung des Telefahrens/Fernlenkens technisch abgesichert werden?

#kurzfristig

Mit dem Zugriff einer telefahrenden/fernlenkenden Person auf ein Fahrzeug muss auch sichergestellt werden, dass die Befehle an das Fahrzeug sicher angenommen und ausgeführt werden. Es muss sichergestellt werden, dass die telefahrende/fernlenkende Person auch die Legitimation hat, das Fahrzeug fernzusteuern, sodass kein Fremdzugriff erfolgen kann. Die technische Umsetzung könnte beispielsweise durch Steer-by-Wire Systeme und/oder mechanische Kapselungen der Steuerungseinrichtungen im Fahrzeug (Lenkrad, Pedale etc.) umgesetzt werden, wenn der Betrieb mit Fahrzeuginsassen während des Telefahrens/Fernlenkens vorgesehen ist.

Sind neue Ansätze zur Gefährdungsidentifikation und Risikobewertung zum fortwährenden Telefahren/Fernlenken notwendig?

#langfristig #kategorieübergreifend

Beim Telefahren/Fernlenken kann es zu Szenarien kommen, in denen durch ein gefährliches Ereignis ein Schaden entsteht. Einzelne Szenarien können eine geringe Auftrittswahrscheinlichkeit, aber eine hohe Schwere aufweisen. Diese relevanten Szenarien müssen für das fortwährende Telefahren/Fernlenken identifiziert werden. Solche Szenarien sind im Rahmen der Sicherheitsargumentation daraufhin zu untersuchen, wie die telefahrende/fernlenkende Person zu reagieren hat, wie diese Reaktion sichergestellt wird beziehungsweise werden kann und welche technischen Mitigationsmechanismen es beim fortwährenden Telefahren/Fernlenken gibt.

Hinsichtlich der technischen Ausstattung sollte ebenfalls untersucht werden, ob und wenn ja, welche fahrzeuggestützte Sicherheitssysteme (bspw. Notbremsassistent etc.) vorhanden sein müssen, die in die Steuerung des Fahrzeugs eingreifen können.

Wie muss eine Datenschnittstelle vom Fahrzeug zum Leitstand aussehen?

#mittelfristig #kategorieübergreifend

In Hinblick auf den aktuellen Stand der Entwicklung von Systemen zum fortwährenden Telefahren/Fernlenken bietet sich die Möglichkeit der gemeinsamen Ausarbeitung einer Richtlinie für eine allgemeine Datenschnittstelle. Je nach Providerkonzept (zentral vs. dezentral) könnte es notwendig sein, jede telefahrende/fernlenkende Person auf jedes Fahrzeug zuschalten zu können. Wie kann gegebenenfalls eine solche Datenschnittstelle umgesetzt werden? Kann die gemeinsame Schnittstelle die Skalierbarkeit erhöhen und damit den Verkehrsablauf verbessern?

[4.1.4.2.3 Sichere Degradation](#)

Welche Strategien und Technologien können entwickelt werden, um eine sichere Degradation zu gewährleisten?

#mittelfristig #kategorieübergreifend

Ein teleoperiertes Fahrzeug kann aus verschiedenen Gründen degradieren. Eine der Hauptursachen kann die Verschlechterung der Verbindung sein, aber eine Degradation kann auch mit der Aktorik oder der Sensorik des Fahrzeugs zusammenhängen. Tritt eine solche Degradation auf, muss das Fahrzeug in einen sicheren Zustand überführt werden.

Es stellt sich jedoch die Frage, wie ein Fahrzeug im teleoperierten Betrieb erkennen kann, dass es sich in einem degradierten Zustand befindet und wie mit einem degradierten System ein risikominimaler Zustand erreicht werden kann.

4.1.4.3 Sicherheitsfragen (Security)

In diesem Kapitel werden Fragen zum Thema Sicherheit in Hinblick auf die Security gestellt. Diese Fragen können bei der Entwicklung vom Gesamtsystem Teleoperation große Bedeutung haben. Durch Manipulation von Teilsystemen können erhebliche Schäden entstehen, deren Risiken es zu minimieren gilt. Angriffe beschränken sich bei solchen Systemen nicht nur auf Angriffe zur Übernahme des Systems, sondern können zum Beispiel auch *Jamming* beinhalten oder den gezielten Versuch, die Sicht der TOP zu stören, die sich potenziell nur über ein Kamerasystem einen Überblick verschaffen kann. Darüber hinaus beeinflusst die Sicherheit implizit auch die Akzeptanz solcher Systeme, was ebenfalls ein Faktor sein kann, der die Berücksichtigung dieses Themas gerade zum jetzigen, frühen Zeitpunkt einer solchen Technologie erfordert.

Wie können Angriffe auf ein System zum fortwährenden Telefahren/Fernlenken klassifiziert werden und welche Auswirkungen können solche Angriffe je nach Klasse auf die gesamte Fahrt haben?

#mittelfristig #kategorieübergreifend

Die Kategorisierung von Angriffen auf Systeme zum fortwährenden Telefahren/Fernlenken ermöglicht es, eventuelle Schwachstellen und Auswirkungen solcher Angriffsszenarien zu verstehen. Die Auseinandersetzung mit dieser Forschungsfrage erlaubt, potenzielle Risiken dieser Technologie aufzuzeigen und Mitigationsmechanismen zu entwerfen.

Je nach Art des Angriffs auf ein solches System können die Auswirkungen auf die Fahrt unterschiedlich sein. Ein besseres Verständnis ist notwendig, um die Entwicklung dieser Technologie voranzutreiben, weswegen weiterführende Untersuchungen und Sicherheitsmaßnahmen erforderlich sind, um mögliche Risiken zu mindern und die Zuverlässigkeit von Systemen zum fortwährenden Telefahren/Fernlenken in Fahrzeugen zu verbessern.

Welche Sicherheitsmechanismen müssen implementiert werden, um Angriffe auf Systeme zum fortwährenden Telefahren/Fernlenken zu verringern?

#kurzfristig #kategorieübergreifend

Zunächst stellt sich die Frage, inwieweit bestehende Sicherheitskonzepte aus verwandten Disziplinen auf das fortwährende Telefahren/Fernlenken übertragen werden können. Relevant ist die Entwicklung und Umsetzung von Sicherheitsstandards und -maßnahmen, die dem Missbrauch von Systemen zum fortwährenden Telefahren/Fernlenken entgegenwirken und so das Vertrauen in eine solche Technologie stärken.

So kann zum Beispiel eine *Intrusion Detection* als gefordertes System untersucht werden oder die Spezifikation, ab wann begründet durch einen Angriff ein risikominimales Manöver vom Fahrzeug durchgeführt werden muss. Ein Beispiel für einen Angriff, der über Angriffe auf der Netzwerkebene hinausgehen kann, ist das Blenden der Kameras der telefahrenden/fernlenkenden Person, um die Sicht zu behindern.

Darüber hinaus fallen unter diesen Aspekt auch Forschungsfragen zum Thema Dokumentation und Reporting von Sicherheitsvorfällen.

4.1.5 Telefahren/Fernlenken, eventbasiert

4.1.5.1 Allgemeine Fragen

Welche Anforderungen sind an das eventbasierte Telefahren/Fernlenken zu stellen, damit Verkehrsablauf / Verkehrsfluss und Verkehrssicherheit nicht beeinträchtigt beziehungsweise verbessert werden?

#mittelfristig

Ein autonomes Fahrzeug, das seine Mission nicht mehr selbst oder in Verbindung mit der telefahrenden/fernlenkenden Person erfüllen kann, wird einen risikominimalen Zustand einnehmen, was in vielen Fällen ein sicheres Anhalten bedeuten kann. Wie dieser risikominimale Zustand realisiert wird, kann je nach den Begleitumständen variieren und hat somit auch unterschiedliche Auswirkungen auf die umliegende Verkehrssituation, zum Beispiel je nach Lage, Geschwindigkeit, inner- oder außerorts gelegenen Straßen usw. und kann eine Behinderung des Verkehrsablaufs bis hin zu einer Gefährdung des Verkehrs darstellen. Eventbasiertes Telefahren/Fernlenken kann eingesetzt werden, um autonome Fahrzeuge zu bewegen, die ihre Aufgabe nicht mehr selbständig erfüllen können. In diesem Zusammenhang stellt sich die Frage, welche Anforderungen an das eventbasierte Telefahren/Fernlenken zu stellen sind, damit Verkehrsablauf / Verkehrsfluss und Verkehrssicherheit nicht negativ beeinflusst oder sogar verbessert werden (siehe auch Cluster 2 Kapitel 4.2.4.3; Cluster 5 Kapitel 4.5.3.2).

4.1.5.2 Sicherheitsfragen (Safety)

In diesem Kapitel werden Fragen der Sicherheit in Hinblick auf Safety behandelt. Mögliche Aspekte zur Unterscheidung der Sicherheit können die Kategorien sicherer Betrieb und Kontrollierbarkeit sein. Um ein Bewusstsein für diese Kategorien zu schaffen, werden diese Aspekte im Folgenden dargestellt und wurden hier zur weiteren Aufgliederung verwendet.

Sicherheit durch sicheren Betrieb bedeutet, dass während des Betriebs des Fahrzeugs Sicherheitsprotokolle und Sicherheitsmaßnahmen verwendet werden, um das Risiko durch einen Ausfall zu minimieren. Diese Kategorie beinhaltet auch die Überwachung der technischen Komponenten sowie den Einsatz von Sicherheitsmechanismen wie Redundanz und Selbstwahrnehmung, um einen möglichst sicheren Betrieb zu gewährleisten.

Sicherheit durch Kontrollierbarkeit meint die Möglichkeit, das Fahrzeug durch Sensorik und Aktorik in einem für die telefahrende/fernlenkende Person erwartbaren Maße kontrollieren zu können. Ein kontrollierbares Gesamtsystem der Teleoperation ermöglicht es der telefahrenden/fernlenkenden Person, das Fahrzeug auch in unvorhergesehenen Situationen gut zu beherrschen und mögliche Schäden zu vermeiden.

Sicherheit durch sichere Degradation bedeutet, dass das Fahrzeug in einer Fehlersituation noch in einen sicheren Zustand überführt werden kann, obwohl Sensoren und Aktoren, die normalerweise für den Normalbetrieb verwendet werden, ausgefallen sind.

Welche fahrzeugseitigen technischen Anforderungen ergeben sich aus der Sicherheitsqualifizierung (ASIL vs. QM) für das eventbasierte Telefahren/Fernlenken?

#kurzfristig #kategorieübergreifend

Je nachdem, wie ein System zum eventbasierten Telefahren/Fernlenken konzeptioniert wird, stellt sich die Frage nach den technischen Anforderungen an ein solches System. Es ergibt sich die Frage, welche technischen Eigenschaften das System zum eventbasierten Telefahren/Fernlenken je nach Sicherheitsqualifizierung aufweisen muss. Welche Strategien können darüber hinaus bei der Sicherheitsargumentation verfolgt werden? (Siehe auch Cluster 2 Kapitel 4.2.5.3; Cluster 5 Kapitel 4.5.3.2)

Beim eventbasierten Telefahren/Fernlenken kann erforscht werden, ob die funktionellen Einschränkungen der autonomen Fahrfunktion durch eine zuverlässige Interaktion mit eventbasiertem Telefahren/Fernlenken aufgelöst werden können. Infolge dessen könnten heutige Sicherheitsanforderungen an das autonome Fahren durch die Kombination von autonomem Fahren und eventbasiertem Telefahren/Fernlenken überbrückt werden. Gleichbleibend zur Teleassistenz stellt sich die Forschungsfrage, ab welchem Moment ein risikominimaler Zustand ausgelöst werden soll und welche Art von genauem Betriebsablauf dann durchgeführt werden sollte. Außerdem sind bei dieser Forschungsfrage die Anforderungen an die Funkstrecke genauer zu betrachten, da diese beim Telefahren/Fernlenken allgemein durch das durchgängige Senden von Befehlen größeren Einfluss auf die Dynamic Driving Task hat.

Falls das eventbasierte Telefahren/Fernlenken mit ASIL qualifiziert werden soll, muss geprüft werden, ob eine telefahrende/fernlenkende Person schnell genug reagieren kann, um beispielsweise als Rückfallebene dienen zu können, oder bis zu welcher Vorlaufzeit eine solche Rückfallebene sinnhaft eingesetzt werden kann. Es stellt sich somit die Frage nach der Kontrollierbarkeit eines solchen Systems. In diesem Zusammenhang ist zu überprüfen, wie eine Übernahme-situation zu gestalten ist, folglich, welche technischen Anforderungen sich ergeben, wenn die telefahrende/fernlenkende Person die Fahrzeugführung nach der Überführung in den risikominimalen Zustand übernimmt, oder während des laufenden Betriebes („on-the-fly“).

Zudem ist zu untersuchen, inwieweit eventbasierte Übernahmen durch die telefahrende/fernlenkende Person möglich sind, wenn von einer menschlichen fahrenden Person im Fahrzeug die Steuerung übergeben wird.

Inwieweit können bestehende szenarienbasierte Absicherungen aus dem Automobilbereich auf eventbasiertes Telefahren/Fernlenken übertragen werden?

#mittelfristig

Für autonome Fahrzeuge gibt es die Möglichkeit, Szenarien zur Entwicklung, Absicherung und zum Testen zu nutzen (Bagschik et al., 2017; Schuldt, 2017). Da das eventbasierte Telefahren/Fernlenken in ähnlichen Anwendungsfällen wie autonome Fahrzeuge eingesetzt werden können, könnte der szenarienbasierte Ansatz auf solche Systeme übertragen werden, um die Absicherung dieser zu gestalten. Wie genau eine solche Übertragung aussieht

und wie viel von den bisher entwickelten Forschungsergebnissen und entwickelten Systemen zum szenarienbasierten Absichern übernommen werden kann, könnte in zukünftigen Forschungsarbeiten untersucht werden.

Beim eventbasierten Telefahren/Fernlenken kann erforscht werden, inwieweit die aktuell schon genutzten Ansätze für automatisiertes und autonomes Fahren auch auf das Telefahren/Fernlenken übertragen werden können oder inwieweit diese angepasst werden müssen. Außerdem können neue Szenarien speziell für das eventbasierte Telefahren/Fernlenken entwickelt werden (siehe auch Cluster 2 Kapitel 4.2.2; Cluster 3 Kapitel 4.3.7).

Welche Auswirkungen hat die Funkstrecke auf die Konzeption des fahrzeugseitigen Telefahrens/Fernlenkens?

#kurzfristig #kategorieübergreifend

Die Funkstrecke ist als Komponente in der Konzeption des Fahrzeugs und damit für die Systeme zum eventbasiertem Telefahren/Fernlenken ein wichtiger Bestandteil. Angesichts des gegebenenfalls sicherheitskritischen Charakters von solchen Systemen ist es wichtig zu untersuchen, ob die derzeitigen Sicherheitsstandards im Automobilbereich ausreichen, um die neuartigen Herausforderungen an die Funkverbindung im Bereich des eventbasierten Telefahrens/Fernlenkens hinreichend zu adressieren. Aktuelle Sicherheitsstandards im Automobilbereich beschränken sich üblicherweise auf die Nutzung von Bordelektronik zur Bereitstellung sicherheitskritischer Funktionalität. Die Rolle einer Funkverbindung zur Fernsteuerung ist in diesem Kontext nicht explizit berücksichtigt. Erfahrungen aus anderen Domänen (z. B. ferngesteuerte Flugdrohnen) können hier gegebenenfalls ein Ansatzpunkt für weitere Forschung sein.

Welche bestehenden Sicherheitsnormen aus dem Automobilbereich lassen sich auf das eventbasierte Telefahren/Fernlenken übertragen?

#kurzfristig #kategorieübergreifend

Die Funkstrecke spielt beim Telefahren/Fernlenken eine tragende Rolle. In diesem Zusammenhang stellt sich die Frage, inwieweit sicherheitskritische Funktionalität durch sie bereitgestellt werden kann. Bei konventionellen EE-Systemen im Automobilbereich wird zum Beispiel die ISO 26262 zur Qualifizierung von Sicherheitsanforderungen herangezogen. Daraus resultiert die weiterführende Frage, inwieweit bestehende Sicherheitsnormen auf die Teleassistenz anwendbar sind und ob demnach die Funkstrecke ASIL-qualifizierte oder vergleichbare Sicherheitsanforderungen erfüllen kann?

Welche technischen Anforderungen sind im Hinblick auf das Ziel eines risikominimalen Zustands notwendig?

#kurzfristig #kategorieübergreifend

Wenn bei einem telegeführten/ferngelenkten Fahrzeug die Verbindung zum Leitstand abbricht, stellt sich die Frage, wie mit dieser Situation seitens des Fahrzeugsystems umgegangen wird, um das Ziel eines risikominimalen Zustandes des Fahrzeugs zu erreichen. Zunächst stellt sich die Frage, ob eine Notbremsung ausreicht, um das Fahrzeug nur abzubremsen und in einen risikominimalen Zustand zu versetzen. Wenn dies nicht ausreicht um einen risikominimalen Zustand zu erreichen – insbesondere auf Autobahnen ist davon

auszugehen – ist zu fragen, wie weit das System zum Telefahren/Fernlenken automatisiert/autonom sein muss, um einen risikominimalen Halt zu ermöglichen. Wie kann im Gesamtsystem des Telefahrens/Fernlenkens die Notwendigkeit eines risikominimalen Zustands frühzeitig erkannt werden?

Welchen Einfluss haben Schwächen der Teilsysteme auf den Regelkreis zwischen telefahrender/fernlenkender Person und dem Fahrzeug?

#mittelfristig #kategorieübergreifend

Im Hinblick auf den Regelkreis stellt sich die Frage, inwieweit die Qualität der Teilsysteme im Fahrzeug die sichere Nutzbarkeit dieses Regelkreises beeinflusst. So kann zum Beispiel durch eine verminderte Qualität eines Teilsystems der gesamte Regelkreis beeinflusst werden. Ein Beispiel hierfür wäre eine schlechte Verbindung zum Leitstand, die zu hohen Verzögerungen bei der Ausführung führen kann. Gegebenenfalls können aber andere Teilsysteme, wie zum Beispiel schnelle Rechenkomponenten, als mitigierende Maßnahmen einen positiven Effekt auf den Regelkreis haben.

Darüber hinaus ist die Frage zu stellen, wie eine regelmäßige Überprüfung der Teilsysteme zu gestalten ist, um eine gleichbleibende Qualität dieser Systeme zu gewährleisten.

4.1.5.2.2 Kontrollierbarkeit

Wie kann die Übersteuerung des Telefahrens/Fernlenkens technisch abgesichert werden?

#kurzfristig

Mit dem Zugriff einer telefahrenden/fernlenkenden Person auf ein Fahrzeug muss auch sichergestellt werden, dass die Befehle an das Fahrzeug sicher angenommen und ausgewertet werden. Zum einen muss sichergestellt werden, dass die telefahrende/fernlenkende Person auch die Legitimation hat, das Fahrzeug fernzusteuern, sodass kein Fremdzugriff erfolgen kann. Die technische Umsetzung könnte beispielsweise durch Steer-by-Wire Systeme und/oder mechanische Kapselungen der Steuerungseinrichtungen im Fahrzeug (Lenkrad, Pedale etc.) umgesetzt werden, wenn der Betrieb mit Fahrzeuginsassen während des Telefahrens/Fernlenkens vorgesehen ist.

Sind neue Ansätze zur Gefährdungsidentifikation und Risikobewertung zum eventbasierten Telefahren/Fernlenken notwendig?

#langfristig #kategorieübergreifend

Beim eventbasierten Telefahren/Fernlenken kann es zu Szenarien kommen, in denen durch ein gefährliches Ereignis ein Schaden entsteht. Einzelne Szenarien können eine geringe Auftrittswahrscheinlichkeit, aber eine hohe Schwere aufweisen. Diese relevanten Szenarien müssen für das eventbasierte Telefahren/Fernlenken identifiziert werden. Solche Szenarien sind im Rahmen der Sicherheitsargumentation daraufhin zu untersuchen, wie die telefahrende/fernlenkende Person zu reagieren hat, wie diese Reaktion sichergestellt wird beziehungsweise werden kann und welche technischen Mitigationsmechanismen es beim fortwährenden Telefahren/Fernlenken gibt.

Hinsichtlich der technischen Ausstattung sollte ebenfalls untersucht werden, ob und wenn ja, welche fahrzeugbasierten Sicherheitssysteme (bspw. Notbremsassistent etc.) vorhanden sein müssen, die in die Steuerung des Fahrzeugs eingreifen können.

Wie muss eine Datenschnittstelle vom Fahrzeug zum Leitstand aussehen?

#mittelfristig #kategorieübergreifend

In Hinblick auf den aktuellen Stand der Entwicklung von Systemen zum eventbasierten Telefahren/Fernlenken bietet sich die Möglichkeit der gemeinsamen Ausarbeitung eines Standards für eine allgemeine Datenschnittstelle. Je nach Providerkonzept (zentral vs. dezentral) könnte es notwendig sein, jede telefahrende/fernlenkende Person auf jedes Fahrzeug zuschalten zu können. Wie kann gegebenenfalls eine solche Datenschnittstelle umgesetzt werden? Kann die gemeinsame Schnittstelle die Skalierbarkeit erhöhen und damit den Verkehrsablauf verbessern?

4.1.5.2.3 Sichere Degradation

Welche Strategien und Technologien können entwickelt werden, um eine sichere Degradation zu gewährleisten?

#mittelfristig #kategorieübergreifend

Ein teleoperiertes Fahrzeug kann aus verschiedenen Gründen degradieren. Eine der Hauptursachen kann die Verschlechterung der Verbindung sein, aber eine Degradation kann auch mit der Aktorik oder der Sensorik des Fahrzeugs zusammenhängen. Tritt eine solche Degradation auf, muss das Fahrzeug in einen sicheren Zustand überführt werden. Es stellt sich jedoch die Frage, wie ein Fahrzeug im teleoperierten Betrieb erkennen kann, dass es sich in einem degradierten Zustand befindet und wie mit einem degradierten System ein sicherer Zustand erreicht werden kann.

4.1.5.3 Sicherheitsfragen (Security)

In diesem Kapitel werden Fragen zum Thema Sicherheit in Hinblick auf die Security gestellt. Diese Fragen können bei der Entwicklung von Teleoperationssystemen große Bedeutung haben. Durch Manipulation von Teilsystemen können erhebliche Schäden entstehen, deren Risiken es zu minimieren gilt. Angriffe beschränken sich bei solchen Systemen nicht nur auf Angriffe zur Übernahme des Systems, sondern können zum Beispiel auch *Jamming* beinhalten oder den gezielten Versuch, die Sicht der TOP zu stören, der sich potenziell nur über ein Kamerasystem einen Überblick verschaffen kann. Darüber hinaus beeinflusst die Sicherheit implizit auch die Akzeptanz solcher Systeme, was ebenfalls ein Faktor sein kann, der die Berücksichtigung dieses Themas gerade zum jetzigen, frühen Zeitpunkt einer solchen Technologie erfordert.

Wie können Angriffe auf ein System zum eventbasierten Telefahren/Fernlenken klassifiziert werden und welche Auswirkungen können solche Angriffe je nach Klasse auf die gesamte Fahrt haben?

#mittelfristig #kategorieübergreifend

Die Kategorisierung von Angriffen auf Systeme zum eventbasierten Telefahren/Fernlenken ermöglicht es, eventuelle Schwachstellen und Auswirkungen solcher Angriffsszenarien zu verstehen. Die Auseinandersetzung mit dieser Forschungsfrage ermöglicht es, potenzielle Risiken dieser Technologie aufzuzeigen und Mitigationsmechanismen zu entwerfen.

Je nach Art des Angriffs auf ein solches System können die Auswirkungen auf die Fahrt unterschiedlich sein. Ein besseres Verständnis ist notwendig, um die Entwicklung dieser Technologie voranzutreiben, weswegen weiterführende Untersuchungen und Sicherheitsmaßnahmen erforderlich sind, um mögliche Risiken zu mindern und die Zuverlässigkeit von Systemen zum eventbasierten Telefahren/Fernlenken in Fahrzeugen zu verbessern.

Welche Sicherheitsmechanismen müssen implementiert werden, um Angriffe auf Systeme zum eventbasierten Telefahren/Fernlenken zu verringern?

#kurzfristig #kategorieübergreifend

Zunächst stellt sich die Frage, inwieweit bestehende Sicherheitskonzepte aus verwandten Disziplinen auf das eventbasierte Telefahren/Fernlenken übertragen werden können. Relevant ist die Entwicklung und Umsetzung von Sicherheitsstandards und -maßnahmen, die dem Missbrauch von Systemen zum eventbasierten Telefahren/Fernlenken entgegenwirken und so das Vertrauen in eine solche Technologie stärken.

So kann zum Beispiel eine *Intrusion Detection* als gefordertes System untersucht werden oder die Spezifikation, ab wann begründet durch einen Angriff ein risikominimales Manöver vom Fahrzeug durchgeführt werden muss. Ein Beispiel für einen Angriff, der über Angriffe auf der Netzwerkebene hinausgehen kann, ist das Blenden der Kameras der operierenden Person, um die Sicht zu behindern.

Darüber hinaus fallen unter diesen Aspekt auch Forschungsfragen zum Thema Dokumentation und Reporting von Sicherheitsvorfällen.

4.1.5.4 Anforderungen

In diesem Kapitel werden Forschungsfragen zum Thema Anforderungen behandelt, die in den vorhergehenden Kapiteln noch nicht angesprochen wurden. Es handelt sich um allgemeine Anforderungsfragen zu den Themen Automatisierung, Varianten der Teleoperation und Mensch-Maschine-Interaktion.

Welche Anforderungen müssen an die autonome Fahrfunktion gestellt werden, damit die technische Kommunikation zwischen autonomer Fahrfunktion und Leitstand durchgeführt werden kann?

#kurzfristig

Beim eventbasierten Telefahren/Fernlenken muss es eine technische Rechen-/ und Kommunikationsschnittstelle zwischen der autonomen Fahrfunktion und dem Leitstand geben, um bei einem Event das Telefahren/Fernlenken einzuleiten und die Steuerung des Fahrzeugs übergeben zu können. Beispielsweise greifen autonome Fahrfunktion und teleoperierende/fernlenkende Person auf dieselbe Sensorik im Fahrzeug zu. Die Steuerung muss sicher an den Leitstand übergeben werden können und umgekehrt. Beispielsweise muss das risikominimale Anhalten von der autonomen Fahrfunktion durchgeführt werden, wenn es einen Verbindungsabbruch bei der Teleoperationsfunktion gibt.

Es stellt sich somit die Forschungsfrage, welche Anforderungen an die autonome Fahrfunktion gestellt werden müssen, damit die technische Kommunikation zwischen Automation und Teleoperation durchgeführt werden kann. Diese Frage wird insbesondere dann kritisch, wenn das Fahrzeug mit Hilfe der Teleoperation die ODD der autonomen Fahrfunktion verlässt und in eine potenzielle ODD der Teleoperation eintritt. Im Hinblick auf die Sicherheit (Safety und Security) kann auch die Frage gestellt werden, inwieweit die Systeme gekapselt werden müssen und inwieweit eine Notfalltrennung zwischen Fahrzeug und TOP bei fehlerhafter oder böswilliger Bedienung implementiert werden muss. Dazu zählt auch, inwieweit eine Fähigkeit zum risikominimalen Anhalten vom System vorausgesetzt werden muss und wie diese umsetzbar ist.

Welche Arten von Events können einen Zugriff der telefahrenden/fernlenkenden Person zur Übernahme der autonomen Fahrfunktion auslösen?

#mittelfristig

Beim eventbasierten Telefahren/Fernlenken wird der Zugriff der telefahrenden/fernlenkenden Person über ein Event ausgelöst. Was genau ein Event klassifiziert, wie Events spezifiziert sind und welche Arten von Events es gibt, muss zunächst erforscht werden.

Wie muss eventbasiertes Telefahren/Fernlenken auf die Nutzung in Katastrophen und Sonderlagen eingestellt werden?

#langfristig

In Krisen-/Katastrophensituationen wie Überschwemmungen, Chemieunfällen, Erdbeben, Stürmen, Waldbränden o.ä. besteht die Gefahr, dass autonome Fahrzeuge (die z. B. den ÖPNV bedienen) genau dann ausfallen, wenn sie besonders benötigt werden, weil die ODD systematisch verletzt wird, zum Beispiel durch mangelnde Sicht auf die Fahrbahnoberfläche bei Überschwemmung oder sensorische Einschränkungen durch Rauch oder Ruß. Eventbasiertes Telefahren/Fernlenken kann hier Abhilfe schaffen, wenn die Systeme für diese Situationen ausgelegt sind. Eine gute Ortskenntnis der telefahrenden/fernlenkenden Person kann dabei sehr hilfreich sein, um sich auch bei schlechten Sichtverhältnissen orientieren zu können. Die Fahrzeuge sollten in einer solchen Situation durch Kriseneinsatzkräfte oder einen Einsatzleiter koordiniert und disponiert werden können und für koordinierte Personen- und Gütertransporte einsetzbar sein.

Generell stellt sich die Forschungsfrage, was notwendig ist, damit sowohl autonome als auch nicht autonome Fahrzeuge in Krisen- oder anderen Ausnahmesituationen mittels eventbasiertem Telefahren/Fernlenken aktiviert und zum Transport von Personen und Gütern eingesetzt werden können.

In Bezug auf die Kommunikation kann gefragt werden, welche Kommunikationsschnittstellen unterstützt werden müssen (bei Teilausfällen von Netzen kann ggf. eine Satellitenkommunikation oder mobile Ad-hoc-Netze mit punktueller Satellitenkommunikation eingerichtet werden).

Für das Management in Krisensituationen ist zu untersuchen, wie telefahrende/ferngeleitete Fahrzeuge durch ein zentrales Versorgungs- und Dispositionssystem verwaltet werden können, wie gut die Skalierbarkeit der verfügbaren teleoperierenden/fernlenkenden

Personen in bestimmten Geo-Bereichen ist und ob gegebenenfalls eine gezielte Sprechverbindung zu verfügbaren teleoperierenden/fernlenkenden Personen erforderlich ist. Weiterhin muss die Ausgestaltung einer möglicherweise erforderlichen Schnittstelle zum Straßenbetreiber betrachtet werden, um über Besonderheiten, die Einfluss nehmen könnten, informiert zu sein. Über diese Schnittstelle würde auch eine aktuelle Information/Kommunikation einer bspw. temporären Stornierung der Freigabe eines Betriebsbereichs erfolgen können.

4.2 Cluster 2: Leitstand, Ergonomie und Arbeitsschutz

Clusterleitung: Prof. Dr.-Ing. Frank Flemisch

Mitwirkende: Martin Baumann, Klaus Bengler, Nicolas Herzberger, Christian Maag, Nora Merkel, Michael Oehl, Lena Plum, Andreas Schrank, Elisabeth Shi, Joscha Wasser

Das Kapitel zum Thema Leitstand, Ergonomie und Arbeitsschutz gliedert sich inhaltlich anhand einer Systemanalyse teleoperierter Systeme sowie der Unterteilung und Beschreibung des Bewertungsraumes, Gestaltungsraumes und des Nutzungsraumes. In Tabelle 5 werden alle clusterspezifischen Forschungsfragen anhand der inhaltlichen Unterkapitel gelistet. Zusätzlich sind die Forschungsfragen kapitelweise nach ihrer zeitlichen Priorisierung sortiert und weichen deshalb in ihrer Reihenfolge leicht vom textlichen Auftreten ab.

Tabelle 5: Forschungsfragen aus Cluster 2 inkl. Zuordnung zum Anwendungsfall und der zeitlichen Priorisierung

Nr.	Fall A	Fall B	Fall C	Verweis	Forschungsfrage	Zeitl. Priorität
1	☑	☑	☑	Allgemeine Systemanalyse	Übergeordneter Forschungsbereich „Systemanalyse und -verständnis“: Wie können teleoperierte Systeme inkl. Menschen, Organisation und Umwelt, hier insbesondere Leitstand, interne & externe HMIs und Regelkreise, überhaupt analysiert und so verstanden werden, dass sie gut gestaltet sind, kontrollierbar bleiben und gut genutzt werden können?	k
2	☑	☑	☑	Allgemeine Systemanalyse	Welche Methoden der Systemanalyse sind für welche Stakeholder besonders geeignet?	k
3	☑	☑	☑	Allgemeine Systemanalyse	Welche Methoden der Systemanalyse können das gemeinsame Systemverständnis aller beteiligten Stakeholder stärken?	k
4	☑	☑	☑	Allgemeine Systemanalyse	Welche Analysemethoden können wie und aus welchen Domänen, zum Beispiel aus der Luft- und Raumfahrt, auf Teleoperation übertragen werden?	m
5	☑	☑	☑	Allgemeine Systemanalyse	Wie kann die Analysefähigkeit zu System-of-Systems, insbesondere zu emergenten Effekten ausreichend gestärkt werden?	m

Nr.	Fall A	Fall B	Fall C	Verweis	Forschungsfrage	Zeitl. Priorität
6	☑	☑	☑	Zeitliche Dimensionen von Systemanalyse und Synthese	Wie kann die Agilität des soziotechnischen Systems, insbesondere in der Analyse und Entwicklung sichergestellt werden?	k
7	☑	☑	☑	Zeitliche Dimensionen von Systemanalyse und Synthese	Wie wird das System nicht nur für den Normalbereich, sondern auch für Grenzbereiche und Ausfälle (System limit, system failure) gestaltet und genutzt?	k-m
8	☑	☑	☑	Zeitliche Dimensionen von Systemanalyse und Synthese	Wie kann insbesondere die echtzeitfähige Reaktionsfähigkeit des Gesamtsystems auf Störungen oder Degradierungen von Unter- oder Teilsystemen so organisiert und orchestriert werden, dass das Gesamtsystem sicher auf solche Störungen reagieren kann? Brauchen wir insbesondere ein hersteller- und länderübergreifendes Benachrichtigungssystem vergleichbar der NOTAMs der Luftfahrt?	k-m
9	☑	☑	☑	Zeitliche Dimensionen von Systemanalyse und Synthese	Wie kann die Resilienz des soziotechnischen Systems, d. h. die kurzfristig stabilisierenden sowie mittelfristig lernende Reaktion gegenüber störenden oder gefährlichen Ereignissen lang-/ mittel- und kurzfristig sichergestellt werden?	k-m-l
10	☑	☑	☑	Zeitliche Dimensionen von Systemanalyse und Synthese	Wie kann die Analysefähigkeit zur System-Migration, insbesondere zur zeitlichen Entwicklung der mentalen Modelle aller Beteiligten gestärkt werden?	k-m-l
11	☑	☑	☑	Zeitliche Dimensionen von Systemanalyse und Synthese	Wie kann das soziotechnische System lang-/ mittel- und kurzfristig genutzt werden und welche Unterschiede bestehen hinsichtlich der Nutzungsdauer?	m-l
12	☑	☑	☑	Bewertungsraum	Übergeordneter Forschungsbereich „Bewertung & Anforderungen“: Wie, d. h. mit welchen Kriterien und Methoden, können für das teleoperierte System, hier insbesondere Leitstand, interne & externe HMIs und Regelkreise, Anforderungen formuliert und bewertet werden, damit das soziotechnische System sicher, effizient und ergonomisch sinnvoll genutzt wird und von den Stakeholdern als gut bewertet wird?	k
13	☑	☑	☑	Bewertungsraum	Welche Stakeholder haben welche Anforderungen an das Gesamtsystem und wie werden sie ganzheitlich gewichtet (z. B. Leistung, Sicherheit, Transparenz, Akzeptanz, Trust – siehe erweitertes Teufelsquadrat/Engelsdiamant)?	k

Nr.	Fall A	Fall B	Fall C	Verweis	Forschungsfrage	Zeitl. Priorität
14	☑	☑	☑	Bewertungsraum	Welche Bewertungskriterien spielen insbesondere bei der Auslegung des Kontrollzentrums und des Leitstandes (Anzeige- und Bedienkonzept, Transitionen, Monitoring, etc. der TOP) eine Rolle?	k
15	☑	☑	☑	Bewertungsraum	Welche Intentionen/Motivationen verfolgen die Interessensvertretungen (Nutzende, Mitreisende, Fahrzeugführende und TOPs) bei der Verwendung des soziotechnischen Systems und seiner Bestandteile?	k
16	☑	☑	☑	Bewertungsraum	Wie können die Anforderungen an ergonomische Grundprinzipien wie Gebrauchstauglichkeit, Joy of Use, Transparenz und Kontrollierbarkeit in den F&E-Prozess eingebracht werden? Wie können sie gemessen werden? Welche Methoden, die heute bereits aus anderen Domänen bekannt sind, lassen sich übertragen?	k
17	☑	☑	☑	Bewertungsraum	Wie lassen sich (ggf. vorgeschriebene) Mitigationsmaßnahmen bezogen auf die Verkehrssicherheit evaluieren und was müssen diese abdecken?	k
18	☑	☑	☑	Bewertungsraum	Welche Anforderungssets („Protokolle“) werden für verschiedene ODDs benötigt (z. B. verschiedene Bewertungskriterien für Einsatz in der Stadt und auf der Autobahn)? Können Anforderungssets ODD-übergreifend quantifiziert werden?	k
19	☑	☑	☑	Bewertungsraum	Wie schafft eine Mensch-Maschine-Schnittstelle gegenüber Nutzenden ausreichend Transparenz bezüglich der mit Teleoperation in Verbindung stehenden Prozesse?	k-m
20	☑	☑	☑	Bewertungsraum	Wie können die Anforderungen so formuliert und in den F&E-Prozess eingebracht werden, dass sie bei der Entwicklung, Einführung und Betrieb möglichst effizient zur Anwendung kommen?	m
21	☑	☑	☑	Bewertungsraum	Kann insbesondere Künstliche Intelligenz zum Beispiel in Form von Assistenzfunktionen für die TOP die F&E Prozesse verbessern und beschleunigen?	m
22	☑	☑	☑	Bewertungsraum	Welche Anforderungen und Bedürfnisse (z. B. interne/externe HMIs, Joy of Use) müssen vom soziotechnischen System für die Nutzung von Fahrzeuginsassen (Mitreisende oder Fahrzeugführende) im Vergleich zu TOPs erfüllt werden und welche Auswirkungen hat dies auf die Akzeptanz?	m

Nr.	Fall A	Fall B	Fall C	Verweis	Forschungsfrage	Zeitl. Priorität
23	☑	☑	☑	Gestaltungsraum	Übergeordneter Forschungsbereich „Gestaltung“: Wie, d. h. mit welcher System-Gestaltung (System Design) und mit welchen Methoden, kann das teleoperierte System, hier insbesondere Leitstand, interne & externe HMIs und Regelkreise, gestaltet werden, damit das soziotechnische System sicher, effizient und ergonomisch genutzt werden kann und von den Interessenvertretungen als gut bewertet wird?	k
24	☑	☑	☑	Gestaltungsraum	Wie muss ein Leitstand gestaltet sein (z. B. bezüglich Funktionalität, Anzeige- und Bedienkonzept, Bedieninstrumente, Informations- und Statusdarstellung), damit eine TOP ein Fahrzeug sicher und effizient unterstützen beziehungsweise steuern kann?	k
25		☑	☑	Gestaltungsraum	Welche Gestaltung ist insbesondere bei Transitionen, d. h. bei Übergaben und Übernahmen der Fahrzeugsteuerung notwendig?	k
26	☑	☑		Gestaltungsraum	Welchen Einfluss haben Bewegungshinweise sowie die Geräuscharstellung auf Fahreindruck, -performanz und Workload? Sind diese Modalitäten für eine sichere Teleoperation notwendig?	k
27	☑	☑	☑	Gestaltungsraum	Welche Aspekte des Arbeitsschutzes müssen bereits bei der Gestaltung des Arbeitsplatzes der TOP mitbetrachtet werden? Sind die bestehenden Vorgaben zu Monitorarbeitsplätzen auch in diesem Kontext anwendbar und relevant?	k
28	☑	☑	☑	Gestaltungsraum	Wie muss das Kontrollzentrum für eine sichere und effiziente Teleoperation gestaltet werden (Bedienkonzept, Darstellung, Kommunikation der verschiedenen betrieblichen Rollen untereinander)?	k
29	☑	☑	☑	Gestaltungsraum	Wie muss die Teleoperation betrieblich geregelt werden (z. B. Allokation von Aufgaben und Rollenverteilung, Transitionen zwischen dem autonomen und manuellem Betrieb inkl. Übernahmeaufforderungen und -konzept, Vorgehen bei Kommunikationsverschlechterung bis hin zum Verbindungsabbruch), damit sie sicher und effizient umgesetzt werden kann?	k
30	☑	☑	☑	Gestaltungsraum	Wie muss der Regelkreis des Gesamtsystems der Teleoperation gestaltet werden, um eine sichere, effiziente und komfortable Nutzung zu ermöglichen?	k

Nr.	Fall A	Fall B	Fall C	Verweis	Forschungsfrage	Zeitl. Priorität
31	☑	☑	☑	Gestaltungsraum	Wie wirkt sich die Qualität der Untersysteme, wie zum Beispiel die Latenz oder Bandbreite der Datenübertragung, auf die sichere Nutzbarkeit dieses Regelkreises aus? Inwieweit und auf welche Weise sollte die TOP über die Qualität informiert werden?	k
32	☑	☑	☑	Gestaltungsraum	Welche (Mitigations-) Maßnahmen sind nötig, um ein Mindestniveau an Sicherheit des Systems zu gewährleisten?	k
33	☑	☑	☑	Gestaltungsraum	Wie wird das Betriebskonzept gestaltet, zum Beispiel die tägliche Inbetriebnahme, Übergaben/Übernahmen (z. B. Inbetriebnahme und Überwachung)?	k
34	☑	☑	☑	Gestaltungsraum	Welche Unterstützungs- und Kompensationsmöglichkeiten (z. B. prädiktive Darstellungen, die die aktuelle Latenz bei der Visualisierung der Umgebung simulieren), können einer TOP das Telefahren/Fernlenken beziehungsweise die Teleasistenz erleichtern?	k
35	☑	☑	☑	Gestaltungsraum	Welchen Einfluss haben verschiedene Gestaltungsaspekte der Leitstände, die Kommunikation zwischen Kontrollzentrum und Fahrzeug (z. B. Latenz) sowie Unterstützung und Kompensationsysteme auf die Performanz und Sicherheit des Betriebs sowie den Workload, die Situation Awareness und die Telepräsenz der TOP?	k
36	☑	☑	☑	Gestaltungsraum	Wie muss die Interaktion zwischen den Mitreisenden und der TOP gestaltet werden, damit subjektive Sicherheit und Vertrauen entsteht und Teleoperation akzeptiert wird?	k
37	☑	☑	☑	Gestaltungsraum	Welche Interaktions- und Kommunikationsmöglichkeiten (z. B. interne und externe HMIs) sind notwendig (zwischen TOP, Servicepersonal, Mitfahrenden, Dritten, Kontrollzentrum), damit auch in besonderen Situationen (z. B. unerwartete Ereignisse, Unfälle, Pannen) die Sicherheit und Effizienz des teleoperierten Fahrbetriebs aufrechterhalten werden kann und die Akzeptanz nicht beeinträchtigt wird?	k
38	☑	☑	☑	Gestaltungsraum	Sind innovative Bildschirmkonzepte sinnvoll und welchen Einfluss haben sie auf die TOP und die Teleoperation (z. B. Einfluss HMD auf Konzentration und Müdigkeit der TOP)?	m

Nr.	Fall A	Fall B	Fall C	Verweis	Forschungsfrage	Zeitl. Priorität
39	☑	☑	☑	Gestaltungsraum	Kann Augmented Reality eingesetzt werden, um der TOP ein möglichst vollständiges Abbild der Verkehrssituation zu liefern?	m
40	☑	☑	☑	Gestaltungsraum	Ist eine räumliche Trennung von Kontrollzentrum und Leitstand sicher umsetzbar und kann dies einen dezentralen Aufbau des Leitstandes ermöglichen (Beispiel: Können bei ausreichender Verbindungsqualität Leitstände auch im privaten Umfeld/Home-Office aufgebaut werden?)	m
41	☑	☑		Gestaltungsraum	Kann durch die Integration von Fahrassistenzsystemen (z. B. eine aktive Spurführung) und/oder die Verwendung von Ansätzen der Künstlichen Intelligenz die Systemsicherheit signifikant verbessert werden und wie würde das sich auf die Gestaltung des Leitstandes und der Kontrollzentren auswirken?	m
42	☑	☑		Gestaltungsraum	Welche Modi sind sinnvoll und welche Transitionen sollten die Assistenz- und Automationssysteme leisten, sodass sie leicht und richtig verstanden werden können.	m
43	☑	☑	☑	Gestaltungsraum	Kann, durch eine aktive Interaktion oder Führung durch die TOP, das Systemvertrauen gezielt verändert werden?	m
44	☑	☑	☑	Gestaltungsraum	Inwieweit muss das Fahrzeuginnere bei teleoperierten Systemen überwacht werden? Inwiefern können Vertrauen, Systemakzeptanz und Sicherheitsüberwachung mit dem Wunsch zur Privatsphäre in Einklang gebracht werden?	m
45	☑	☑	☑	Gestaltungsraum	Wie muss das System gestaltet sein, damit Menschen mit unterschiedlichen Erfahrungen (z. B. Novizen vs. Heavy User) das System nach ihren unterschiedlichen Anforderungen gut nutzen können?	m
46	☑	☑	☑	Gestaltungsraum	Inwieweit beeinflussen teleoperierte Fahrzeuge im Rahmen des Mischverkehrs andere Verkehrsteilnehmende (z. B. bzgl. Interaktionsverhalten) und welche Interaktionen sind nötig?	m
47	☑	☑	☑	Nutzungsraum	Inwieweit ist es sinnvoll, für die Gestaltung der Mensch-Maschine-Schnittstellen Informationen des (physiologischen) Zustandsmonitorings zu nutzen?	k
48	☑	☑	☑	Nutzungsraum	Wie wird das soziotechnische System von den Gruppen von Nutzenden mit unterschiedlichen Erfahrungen (Novizen vs. Heavy User) genutzt?	k

Nr.	Fall A	Fall B	Fall C	Verweis	Forschungsfrage	Zeitl. Priorität
49	☑	☑	☑	Nutzungsraum	Welche Herausforderungen der Nutzung werden in unterschiedlichen Betriebsbereichen erwartet?	k
50	☑	☑	☑	Nutzungsraum	Wie kann dafür gesorgt werden, dass HMIs bestimmungsmäßig genutzt werden und Misuse sowie Disuse als sicherheitskritische Aspekte verhindert werden?	k
51	☑	☑	☑	Nutzungsraum	Welche Arten von Misuse können erdacht werden, und wie können diese verhindert werden?	k
52	☑	☑	☑	Nutzungsraum	Wie kann und wie wird das soziotechnische System, hier insbesondere Leitstand, interne & externe HMIs und Regelkreise, von Nutzenden und Operierenden genutzt werden?	m
53	☑	☑	☑	Nutzungsraum	Wie kann und wie wird das soziotechnische System, hier insbesondere Leitstand, interne & externe HMI und Regelkreise von unterschiedlichen Gruppen von Nutzenden genutzt werden?	m
54	☑	☑	☑	Nutzungsraum	Welche Informationen liefern und benötigen die jeweiligen Gruppen von Nutzenden und Rollen im Gesamtsystem der Teleoperation in Abhängigkeit vom jeweiligen Use Case?	m
55	☑	☑	☑	Nutzungsraum	Von welchen Faktoren hängen die im Use Case gelieferten beziehungsweise benötigten Informationen ab?	m
56	☑	☑	☑	Nutzungsraum	Wie sollen die benötigten Informationen im Gesamtsystem der Teleoperation dargestellt werden, um eine möglichst effektive, effiziente und handhabbare Mensch-Maschine-Schnittstelle (HMI) zwischen den jeweiligen Gruppen von Nutzenden und dem teleoperierten Fahrzeug zu schaffen?	m
57	☑	☑	☑	Nutzungsraum	Wie kann und wie wird das soziotechnische System, hier insbesondere Leitstand, interne & externe HMI und Regelkreise in unterschiedlichen Betriebsbereichen genutzt?	m
58	☑	☑	☑	Nutzungsraum	Wie kann das soziotechnische System im Logistikverkehr im Vergleich zum Personenverkehr genutzt werden?	m
59	☑	☑	☑	Nutzungsraum	Wie kann das soziotechnische System im öffentlichen Personenverkehr im Vergleich zum Individualverkehr genutzt werden?	m
60	☑	☑	☑	Nutzungsraum	Wie kann das soziotechnische System im privaten im Vergleich zum öffentlichen Raum genutzt werden?	m

Nr.	Fall A	Fall B	Fall C	Verweis	Forschungsfrage	Zeitl. Priorität
61	☑	☑	☑	Nutzungsraum	Wie kann und wie wird das soziotechnische System, hier insbesondere Leitstand, interne & externe HMI und Regelkreise im Vergleich von Telefahren/Fernlenken und Teleassistenz genutzt werden?	m
62	☑	☑	☑	Nutzungsraum	Ergeben sich aus Misuse-Fällen neue Anwendungsfälle beziehungsweise neue Arten der Nutzung?	m

Legende: Fall A: Teleassistenz, Fall B: fortwährendes Telefahren/Fernlenken, Fall C: Eventbasiertes Telefahren/Fernlenken. Die zeitliche Priorität ist mit k=kurzfristig, m=mittelfristig und l=langfristig gekennzeichnet.

4.2.1 Einleitung: Wie gestalten und betreiben wir teleoperierte Systeme verkehrssicher?

Das Cluster 2 „Leitstand, Ergonomie und Arbeitssicherheit“ adressiert die wichtigsten Forschungsfragen der sicheren und ergonomischen Gestaltung des teleoperierten Betriebs, mit dem zentralen Fokus auf die TOP und deren Arbeitsumgebung und betrachtet dabei die Fragestellungen der Gestaltung und Überprüfung von Leitständen, HMI innerhalb und außerhalb von Fahrzeugen, und ihrer Auswirkung auf Systemqualitäten wie Leistung, Sicherheit (z. B. in Form von Kontrollierbarkeit), Gebrauchstauglichkeit und individueller Akzeptanz.

Die Vorgehensweise zur Identifikation der Forschungsfragen ist dabei wie folgt: Ausgehend vom in Kapitel 1.1 beschriebenen soziotechnischen Systemmodell des teleoperierten Betriebs werden die für dieses Cluster entscheidenden Untersysteme und ihre Beziehungen identifiziert. Beispiele für Untersysteme sind Personen, Leitstände und HMIs (Abbildung 5). Beispiele für Beziehungen sind Regelkreise, die die dynamische Beziehung zwischen Personen, Leitständen, Datenanbindung, Fahrzeug-Systemen, Infrastruktur und Umwelt beschreiben. Diese Untersysteme und Beziehungen spannen einen ersten Gestaltungsraum auf, welcher iterativ angepasst und erweitert werden kann. Daraus resultieren zunächst die folgenden übergeordneten Forschungsbereiche:

Übergeordneter **Forschungsbereich „Systemanalyse und -verständnis“**: Wie können teleoperierte Systeme inkl. Menschen, Organisation und Umwelt, hier insbesondere Leitstand, interne & externe HMIs und Regelkreise, überhaupt analysiert und so verstanden werden, dass sie gut gestaltet sind, kontrollierbar bleiben und gut genutzt werden können?

Ausgehend von einem Systemverständnis können Systeme gestaltet, bewertet und Anforderungen an diese Systeme formuliert werden. Während in der Realität Systeme oft ohne ausreichende Anforderungen und Bewertungsmaßstäbe bereits gestaltet werden oder sich ändern, erhöht es die Chancen auf bessere Systeme, wenn vor der Gestaltung bereits erste Bewertungen und Anforderungen klar sind:

Übergeordneter **Forschungsbereich „Bewertung & Anforderungen“**: Wie, d. h. mit welchen Kriterien und Methoden, können für das teleoperierte System, hier insbesondere

Leitstand, interne & externe HMIs und Regelkreise, Anforderungen formuliert und bewertet werden, damit das soziotechnische System sicher, effizient und ergonomisch sinnvoll genutzt wird und von den Interessenvertretungen als gut bewertet wird?“

Wichtiger Teil des Forschungsbereichs „Bewertung & Anforderungen“ sind gesellschaftliche Akzeptanz und Anforderungen. Die gesellschaftliche Perspektive, wie zum Beispiel die Anforderungen, die durch die Kommunen oder Städte die als potenzielle Betreiber in Frage kommen, werden im Cluster 5 (Kapitel 4.5) näher betrachtet. Auch die Anforderungen, die potenziellen Kapitalgeber an ein solches System stellen, werden in Cluster 5 vertieft. Eine wichtige Schnittstelle zwischen einem teleoperierten System und der Gesellschaft, in der Form anderer Verkehrsteilnehmender und von Mitfahrenden, sind die HMIs. Sowohl das externe HMI zur Kommunikation in komplexen Verkehrsszenarien als auch die Interne Kommunikation zur Betreuung von Mitreisenden, werden in Cluster 5 thematisiert.

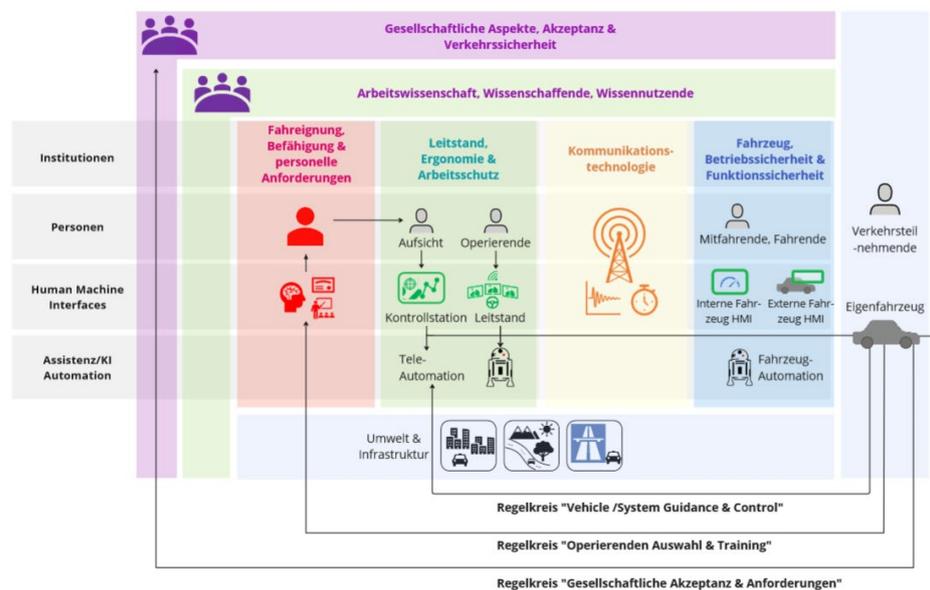


Abbildung 5: Systemschaubild der Teleoperation, mit Fokus auf Ergonomie & Arbeitsschutz (abgeleitet von Flemisch et al., 2021; Herzberger et al., 2022; BAST, 2023).

Übergeordneter **Forschungsbereich „Gestaltung“**: Wie, d. h. mit welcher System-Gestaltung (System Design) und mit welchen Methoden, kann das teleoperierte System, hier insbesondere Leitstand, interne & externe HMIs und Regelkreise, gestaltet werden, damit das soziotechnische System sicher, effizient und ergonomisch genutzt werden kann und von den Interessenvertretungen als gut bewertet wird? Die Frage der Datenanbindung wird technisch in Cluster 3 (Kapitel 4.3) behandelt, hat ergonomisch aber starke Auswirkungen auf Cluster 2, da die Qualität der Datenanbindung (z. B. Latenz und Auflösung) in hohem Maß mit der ergonomischen Qualität der Leitstände und HMIs interagiert. Die Frage der Anforderungen an die TOPs, die das System bedienen (z. B. als telefahrende/fernlenkende oder teleassistierende Person), wird in Cluster 4 (Fahreignung, Befähigung und personelle Anforderungen; Kapitel 4.4) diskutiert.

Gestaltungs- und Bewertungsraum erschließen sich erst durch die Nutzung des soziotechnischen Systems. Dieser Fragenkomplex lässt sich durch Beschreibung von Nutzungssituationen und Fällen strukturieren, die einen Nutzungsraum aufspannen. Dazu lässt sich folgende übergeordnete Forschungsfrage formulieren:

Übergeordnete Forschungsfrage „Nutzung“: „Wie kann und wie wird das soziotechnische System, hier insbesondere Leitstand, interne & externe HMIs und Regelkreise, von Nutzenden und Operierenden genutzt werden?“ – diese Forschungsfrage kann mit den oben beschriebenen Nutzungsfällen Teleassistenz und Telefahren/Fernlenken und den ausgewählten identifizierten Edge-Cases weiter strukturiert werden.

Gestaltung, Bewertung und Nutzung weisen bereits darauf hin, dass zeitliche Faktoren eine wichtige Rolle spielen können, die als übergeordnete Forschungsfrage formuliert werden können.

4.2.2 Allgemeine Systemanalyse

Die Betrachtung teleoperierter Systeme inklusive Organisation(en), Menschen und Umwelt ist vielschichtig. Die Analyse bestehender und zukünftiger teleoperierter Verkehrssysteme ist einerseits ein wichtiger Ausgangspunkt für ein gutes Verständnis und Handeln möglichst aller beteiligter Interessenvertretungen, und ist andererseits durch eine im Vergleich zum nicht-teleoperierten, nicht-automatisierten Einzelfahrzeug höhere Komplexität und höhere Zahl von Beteiligten und Stakeholder alles andere als trivial. Die Analyse versucht das Ganze zum Beispiel durch Beschreibung von Einzelteilen und ihren Beziehungen verstehbar zu machen, und steht im Spannungsfeld zur entgegengesetzten Denk- und Handlungsrichtung der Synthese, die – hoffentlich auf einem guten Verständnis aufsetzend – Einzelteile und Beziehungen zusammensetzt und verändert. Beispiele für Analyse von Verkehrssystemen sind die Systemanalysen von Einzelfahrzeugen auf Straßen, von Verkehrsströmen in einer Verkehrsinfrastruktur, oder auch der Beziehung von Verkehrssystemen zu Metasystemen wie Gesellschaft und Umwelt. Beispiele für Synthese von Verkehrssystemen ist die Gestaltung, Entwicklung und Bau von Fahrzeugen, Straßennetzen, intelligenter Verkehrsnetzwerke etc.

4.2.2.1 *Stand von Wissenschaft und Technik*

Einerseits setzt der derzeitige Stand von Wissenschaft und Technik von teleoperierten Systemen auf der Analyse komplexer Systeme auf, zu der es ausgehend von der Kybernetik und Systemwissenschaft der 1960er Jahre über das eher technisch orientierte Systems Engineering (Haberfellner et al., 2021) und die bereits Mensch, Technik und Organisation integrierende Schwesterdisziplin Human Systems Integration / Human Factors Integration (z. B. O Rippy, 2021) weitreichende Grundlagen gibt. Weiterhin gibt es einen reichen Fundus aus den wissenschaftlichen Communities der Arbeitswissenschaft (Schlick et al., 2010), Human Factors und Ergonomie. Während die tatsächliche Implementierung und der Betrieb in der Domäne des Straßenverkehrs noch in den Kinderschuhen stecken, gehört sie in anderen Domänen wie der Raumfahrt seit Jahrzehnten, sowie der militärischen Luft- und Seefahrt seit mehr als einer Dekade zum Standard, jedoch ohne, dass hier alle Probleme gelöst wurden. Insbesondere ist die Schulung und Anwendung von existierenden Systemtechniken, insbesondere der Systemanalyse, in vielen Domänen noch entwicklungsfähig. Weiterhin wurden bereits in systemisch gut erschlossenen Domänen Lücken in der Methodik identifiziert, zum Beispiel zu System-of-Systems, in denen ständig neue Kombinationen von Systemen neue emergente Effekte produzieren, die praktisch nicht von den Einzelsystemen vorausgesagt werden können. Eine weitere Lücke besteht in dem

gemeinsamen Systemverständnis aller Stakeholder, was zum Beispiel zu mentalen Modellen von Teams gerade in der Forschung auftaucht (z.B. Casakin & Badke-Schaub, 2013) aber noch weit von der praktischen Umsetzung entfernt ist.

4.2.2.2 *Annahmen und deren Konsequenzen*

Wir nehmen an, d. h. wir haben begründeten Anlass zur Hoffnung, dass

- 1) es bis auf Weiteres **keine zu große Lücke in der Theorie** der Systemanalyse gibt, d. h. dass bestehende System- und Analysetechniken sich so aus anderen Domänen auf teleoperierte Verkehrssysteme übertragen lassen, dass sich mit der richtigen Geschwindigkeit und Sorgfalt bereits ausreichend sichere und gebrauchstaugliche Systeme entwerfen, entwickeln, implementieren und betreiben lassen.
- 2) die **Übertragung und Anwendung** der Analysemethoden auf teleoperierte Systeme **nicht trivial** sind, sondern selbst Forschungsfragen aufwerfen, gerade was ein auch interdisziplinär stabiles Grundverständnis von Verkehrssystemen angeht,
- 3) bestehende „kleinere“ aber wichtige Lücken wie „System-of-Systems“, mentale Modelle und Migration sich bei ausreichender Forschung rechtzeitig geschlossen werden können, bevor fehlende Analyse- und Verständnisfähigkeiten zu Problemen führen.

Als Konsequenz ergeben sich die nachfolgend aufgeführten offenen Forschungsfragen.

4.2.2.3 *Offene Forschungsfragen*

Welche Analysemethoden können wie und aus welchen Domänen, zum Beispiel aus der Luft- und Raumfahrt, auf Teleoperation übertragen werden?

#mittelfristig

Welche Methoden der Systemanalyse sind für welche Stakeholder besonders geeignet?

#kurzfristig

Welche Methoden der Systemanalyse können das gemeinsame Systemverständnis aller beteiligten Stakeholder stärken?

#kurzfristig

Wie kann die Analysefähigkeit zu System-of-Systems, insbesondere zu emergenten Effekten ausreichend gestärkt werden?

#mittelfristig

4.2.2.4 *Zeitliche Dimensionen von Systemanalyse und Synthese*

Wie kann die Agilität des soziotechnischen Systems, insbesondere in der Analyse und Entwicklung sichergestellt werden?

#kurzfristig

Bei der Betrachtung des Forschungsbedarfes spielt nicht nur die erstmalige Analyse, Entwicklung und Einführung des Systems, sondern auch die fortlaufende Weiterentwicklung, Anwendung und Qualitätssicherung eine Rolle. Es macht demnach Sinn, den Forschungsbedarf nicht nur für das „Hier und Jetzt“ zu beschreiben, sondern auch in der zeitlichen Dynamik, denn alle Systeme unterliegen einem ständigen und stetigen technischen sowie gesellschaftlichen Wandel, der fortlaufende Wartung und Anpassung aller Teilsysteme erforderlich macht. Langfristig könnten sich neuartige oder unerwartete Herausforderungen mit Blick auf Ergonomie und Design im Langzeitgebrauch von Leitständen oder HMIs erkennen lassen. Zugleich werden sich mit dem kontinuierlichen Einsatz der Systeme, neue Abläufe etablieren und möglicherweise zunächst angenommene Mechanismen wie zum Beispiel Trainingshinweise überflüssig werden. Folglich soll das Gesamtsystem proaktiv auf Veränderungen Bezug nehmen und flexibel auf neue Anforderungen reagieren können. Zugleich ist das Ziel dieses Berichts eine fortlaufende Entwicklung zu fördern, die auf einem bereits sicheren Betrieb aufbaut. Die Agilität des Systems wird also vorausgesetzt (Bendel, 1993). Auch bezüglich der Leistung und Sicherheit können sich mit fortschreitender Zeit der Systemanwendung vielfältige, neue Fragestellungen ergeben oder Hindernisse auftreten, wenn sich etwa Bedürfnisse von Gesellschaft, Umwelt und Nutzenden verändern.

Wie wird das System nicht nur für den Normalbereich, sondern auch für Grenzbereiche und Ausfälle (System limit, system failure) gestaltet und genutzt?

#kurzfristig #mittelfristig

Die Agilität des Systems impliziert die Gestaltung des Gesamtsystems nicht nur für die Nutzung im Normalzustand, sondern auch für Systemgrenzen und Systemausfälle. Da die Gestaltung gerade von Grenzbereichen und Ausfällen unmittelbar sicherheitsrelevant ist, muss dies bereits sehr kurzfristig, von Anfang an mitgedacht werden.

Wie kann die Resilienz des soziotechnischen Systems, d. h. die kurzfristig stabilisierenden sowie mittelfristig lernende Reaktion, gegenüber störenden oder gefährlichen Ereignissen lang-/ mittel- und kurzfristig sichergestellt werden?

#kurzfristig #mittelfristig #langfristig

Ebenfalls können neue Erkenntnisse zu Arbeitsschutz und Arbeitssicherheit gewonnen werden, die eine Anpassung von Systemen erforderlich machen. Diese zeitlichen Aspekte sollten frühzeitig mitgedacht werden, um den relevanten Forschungsbedarf zum richtigen Zeitpunkt zu identifizieren. Dies beinhaltet, die Resilienz des Systems bei der Entwicklung in den Vordergrund zu stellen. Hinsichtlich kurzfristiger Ausfälle oder Störungen, muss das soziotechnische System der Teleoperation also in der Lage sein, wichtigste Prozesse aufrechtzuerhalten und nicht vollständig zu versagen. Von einem langfristig resilienten System wird erwartet, neue Systemzustände realisieren zu können, die eine Verbesserung im Vergleich zum Ausgangszustand darstellen (Scharte & Thoma, 2016).

Wie kann insbesondere die echtzeitfähige Reaktionsfähigkeit des Gesamtsystems auf Störungen oder Degradierungen von Unter- oder Teilsystemen so organisiert und orchestriert werden, dass das Gesamtsystem sicher auf solche Störungen reagieren kann? Brauchen wir insbesondere ein Hersteller- und Länderübergreifendes Benachrichtigungssystem vergleichbar der NOTAMs der Luftfahrt?

#kurzfristig #mittelfristig

Ein wichtiger Beitrag zur Resilienz liegt in der echtzeitfähigen Reaktion des Gesamtsystems auf kritische Ereignisse in Unter- und Teilsystemen. Ein Beispiel dafür ist das automatisierte Fahren, das durch Wettbewerber wie Tesla Inc. in eine noch weiter beschleunigte Entwicklung brachte, die zum Beispiel durch Online-Monitoring aller sicherheitsrelevanten Aktivitäten mit zum Beispiel Updates über Nacht dynamisch stabilisiert wird. Entscheidend für diese dynamische Stabilisierung ist ein kontinuierliches Feedback über den Systemzustand an die relevanten Interessenvertretungen, die eine zeitnahe Reaktion auf kritische Ereignisse erlaubt. Ein Beispiel dafür ist das in der Luftfahrt etablierte System der NOTAMS, zeitkritische Informationen über kritische Zustände oder Ereignisse an Flughäfen, die praktisch in Echtzeit an alle Verkehrsteilnehmenden verteilt werden. Solche zeitkritischen Informationssysteme fehlen im Verkehrsbereich weitgehend.

Wie kann die Analysefähigkeit zur System-Migration, insbesondere zur zeitlichen Entwicklung der mentalen Modelle aller Beteiligten gestärkt werden?

#mittelfristig #langfristig

Noch weitgehend unerforscht ist die zeitliche Entwicklung von komplexen Systemen inkl. des Menschen und ihrer Schnittstellen zur Technik/zum HMI, wie dies zum Beispiel Mensch-System-Migration beschrieben wird (z. B. Obrenović, 2011; Flemisch et al., 2011). Es wäre fatal, wenn wir zwar die technische Weiterentwicklung der teleoperierten Systeme, hier der HMI verstehen und vorantreiben, aber die damit einhergehende Entwicklung der mentalen Modelle zum Beispiel der Nutzenden und anderer Verkehrsteilnehmenden, zum Beispiel von vulnerablen Verkehrsteilnehmenden vernachlässigen würden, und dadurch schwere Unfälle verursachen würden.

Wie kann das soziotechnische System lang-/ mittel- und kurzfristig genutzt werden und Unterschiede bestehen hinsichtlich der Nutzungsdauer?

#kurzfristig #mittelfristig #langfristig

Eine weitere Forschungsfrage ergibt sich in der Herausforderung, den Forschungsbedarf kurz-, mittel- und langfristig zu beschreiben. Übergeordnetes Ziel sollte sein, durch Maßnahmen zur kurz-, mittel- und langfristigen Qualitätssicherung hinsichtlich Überwachung, Überprüfung und Überarbeitung für das teleoperierte System, so zu gestalten und aufrecht zu halten, dass das soziotechnische System sicher, effizient und ergonomisch sinnvoll genutzt und von den Interessenvertretungen als gut bewertet wird.

4.2.3 Bewertungsraum

Nach der Systemanalyse und -gestaltung ist die wichtigste Frage der Anforderungen und Systembewertung: **Was macht ein gutes System aus** - hier ein teleoperiertes System mit seinen Leitständen und HMIs? Bewertungsmaßstäbe und Bewertungs-Entitäten, zum Beispiel Stakeholder wie Nutzende oder Zulassende, spannen den Anforderungs- und Bewertungsraum auf. Was auf den ersten Blick als triviale Frage mit einer objektiven Antwort erscheint, entpuppt sich beim näheren Hinsehen als komplexes Wechselspiel aus subjektiven und objektiven Bewertungsmaßstäben sowie verschiedener Stakeholder, die Anforderungen und Bewertungen unterschiedlich vornehmen können. Systemische Herausforderungen und Spannungsfelder sind dabei:

- **Subjektiv und objektiv:** Während ein Teil der Forschungs- und Entwicklungsgemeinschaft nach einer möglichst hohen Objektivität von Anforderungs- und Bewertungskriterien strebt, ist 1.) erkenntnistheoretisch klar, dass eine eindeutige Objektivität ein nicht zu erreichendes Ideal darstellt, und 2.) mittlerweile breit anerkannt, dass die subjektive Beurteilung von Stakeholder, zum Beispiel zur wahrgenommenen Qualität bei der Systemnutzung, ebenfalls ihre Berechtigung hat. Darüber hinaus werden 3.) in der Human Systems Integration Methoden bereitgestellt, die subjektive Einschätzungen objektivieren können.
- **Quantitativ und qualitativ:** Auch hier strebt ein Teil der Forschungs- und Entwicklungsgemeinschaft in Nachahmung der Physik des 19ten Jahrhunderts nach einer möglichst präzisen Quantifizierbarkeit von Sachverhalten, gleichzeitig ist mittlerweile in der Human Systems Integration gesicherter Wissensstand, dass gerade komplexe Sachverhalte mit Menschen sich nur unzureichend quantifizieren lassen, und qualitative Beschreibungen ebenfalls ihren Platz haben und idealerweise mit quantitativen Methoden balanciert werden (z.B. als Döring & Bortz, 2016).
- **Daten, Information, Wissen und Handlung:** Was auf den ersten Blick ein einfacher Zusammenhang aus Beobachtung und Bewertung „Das ist ein gutes/weniger gutes System“ erscheint, wird bei komplexen Systemen ein vergleichbar komplexes Geflecht aus Zusammenhängen, in denen Daten generiert werden, die zu Information und Wissen verdichtet werden, aus denen dann Stakeholder wieder Handlungen ableiten und schließlich – hoffentlich richtig und entschlossen – handeln (siehe Abbildung 6). Diese Ketten beschreiben zum Beispiel Weick (1995) als „Sensemaking“, wobei eine zunehmende Kluft aus Wissen und Handeln wahrgenommen wird (Mandl & Gerstenmaier, 2000).

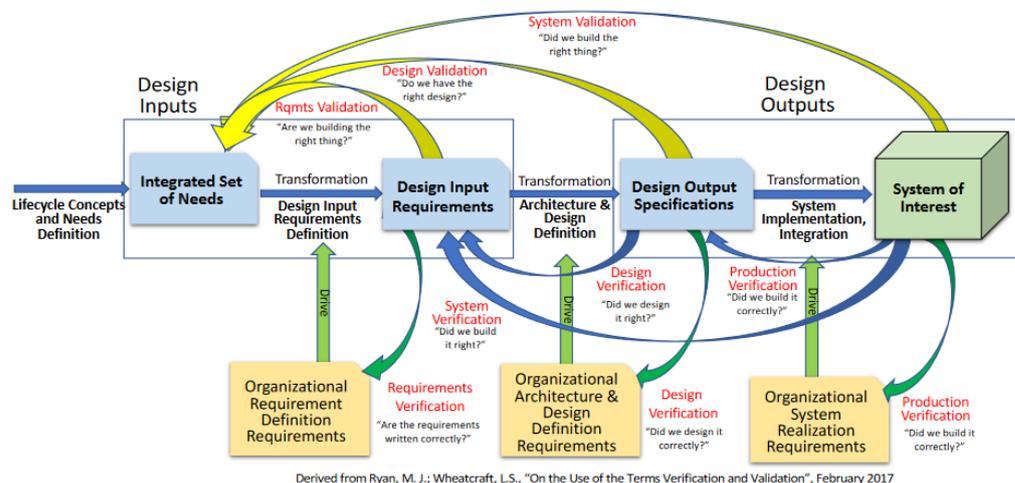


Abbildung 6: Auszug aus dem IncoSe Guide for requirements (INCOSE, 2022).

4.2.3.1 Stand von Wissenschaft und Technik:

Anforderungsanalyse, insbesondere von Anforderungen von Nutzenden, ist seit mehreren Dekaden Gegenstand der Forschung, zum Beispiel unter dem Leitmotiv des User Centered System Design (z. B. Lindgaard et al., 2006; ausgehend von Norman, 1986). Insbesondere im Systems Engineering gibt es eine Reihe von Guidelines, zum Beispiel das „Needs and

Requirements Manual“ von INCOSE (Ryan et al., 2015) oder *VDI 3780: Technikbewertung Begriffe und Grundlagen*, 2000), was sich auch auf Mensch-Technik-Systeme übertragen lässt.

Für die Anforderungen an die Ergonomie gibt es eine Vielzahl von Konzepten und Dokumenten, von denen hier nur eine kleine Auswahl beschrieben werden kann:

- Systemsicherheit: Funktionale Sicherheit, „Safety Integrity Levels“ aus ISO 26262
- Usability: Nielsen (1994), Brooke (1996)
- User Centered System Design: Shneiderman (1998), Endsley und Jones (2012), Norman (2013)
- *Situation Awareness* (Situationsbewusstsein): Endsley (1995), Baumann und Krens (2007), Endsley (2021), Baumann et al. (2022)
- Vertrauen: Calibrated Trust: Lee and See (2004), Hoff and Bashir (2015), Kraus et al. (2020)
- Workload: Wickens (2002), Parasuraman et al. (2008)
- Transparenz: Walch et al. (2016), Hoc (2000), Chen et al. (2020), Zang and Jeon (2022)
- Kontrollierbarkeit: Meaningful Human Control (Flemisch et al., 2023)

Bereits mit der Vielfalt von ergonomischen Anforderungen wird deutlich, dass sie nicht alle gleichermaßen erfüllbar sind. Aufgrund der besonderen Herausforderung hat die balancierende Handhabung von Zielkonflikten besonderen Eingang ins Projektmanagement gefunden, zum Beispiel ausgehend von dem sog. „Magischen Dreieck“ aus Zeit, Kosten und Funktionen, das „Teufelsquadrat“ mit der zusätzlichen Dimension Qualität (Sneed, 1987) sowie unter Einbeziehung der Nachhaltigkeit der „Engels-Diamant“ (Abbildung 7).

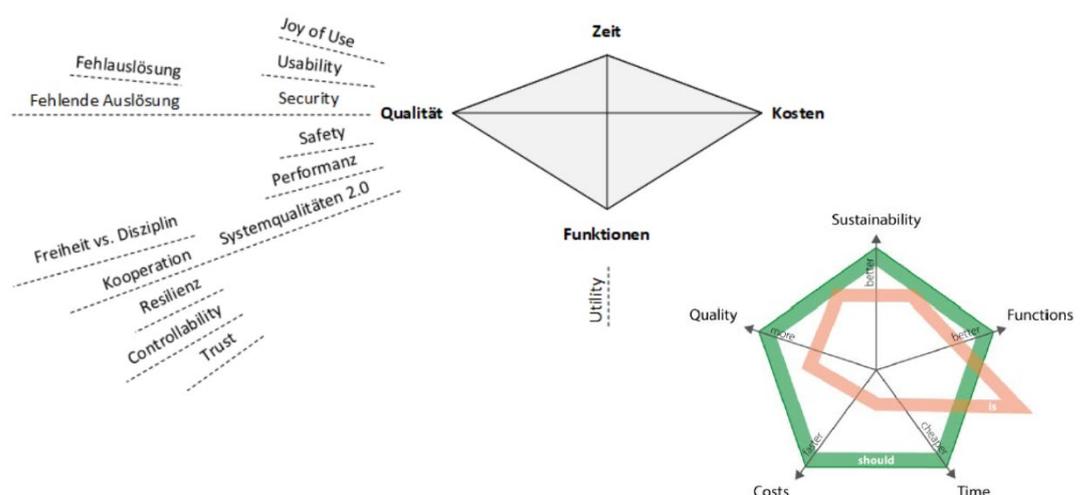


Abbildung 7: Links: Erweitertes Teufelsquadrat der Systemanforderungen (Flemisch et al., 2019), basierend auf Sneed (1987). Rechts: „Engels-Diamant“ mit der zusätzlichen Dimension Nachhaltigkeit für die Systemanalyse komplexer Systeme (Flemisch et al., 2023).

Die besondere Herausforderung von Zielkonflikten bei der Systemanalyse und Gestaltung hat über eine Reihe von DFG- und EU-Projekten auch zu Vorgehensparadigmen wie der Balanced Analysis geführt, in der durch Methodenkombination eine möglichst gute Abdeckung der verschiedenen Anforderungen erreicht werden soll (Abbildung 8).

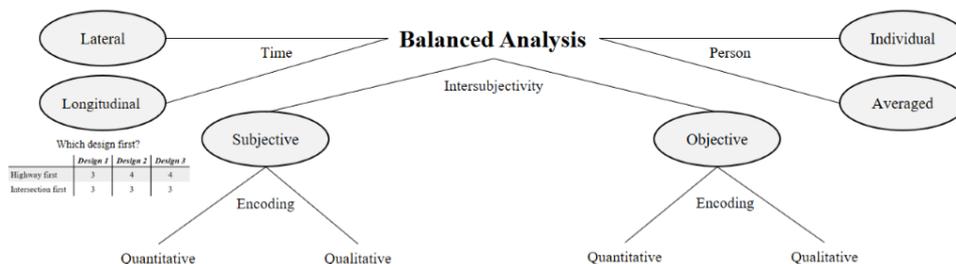


Abbildung 8: Balanced Analysis of Systems (Usai et al., 2023; Flemisch et al., 2021; ausgehend von Döring & Bortz, 2016).

4.2.3.2 Annahmen und deren Konsequenzen:

1. Ähnlich wie bei der Systemanalyse schätzen wir, dass ausreichend Theorie zu Qualitäten und Anforderungen vorhanden ist, um teleoperierte Systeme anfänglich zu entwickeln, einführen und betreiben zu können, dass aber
2. die praktische Anwendung der Theorie insbesondere auf komplexe Verkehrssysteme wie teleoperierte Systeme, und insbesondere auf Ergonomie und Arbeitsschutz, noch weit von ihrem eigentlichen Potenzial entfernt ist, so dass bereits jetzt **gefährliche Lücken** entstehen. Da andere Domänen wie die Luftfahrt bereits gezeigt haben, dass die Umsetzung von Theorie in die Praxis selbst bei besten Vorsätzen Zeit und Geld braucht, könnte dies bei rascher Einführung der Teleoperation zu stark negativen Effekten in der individuellen und öffentlichen Akzeptanz führen, die nur schwer wieder aufzufangen sein werden. Ein aktuelles Beispiel aus dem Automobilbereich sind die Sicherheitsprobleme mit sogenannten Autopiloten eines U.S.-amerikanischen Herstellers, die von den europäischen OEMs mit großer Besorgnis gesehen und aktiv bekämpft werden.
3. Neben der Identifikation von Lücken, wie hier in diesem Bericht, ein regelmäßiges Monitoring von Bedarf an Grundlagen- und angewandter Forschung nötig sein wird.

4.2.3.3 Offene Forschungsfragen:

Welche Stakeholder haben welche Anforderungen an das Gesamtsystem und wie werden sie ganzheitlich gewichtet (z. B. Leistung, Sicherheit, Transparenz, Akzeptanz, Trust – siehe erweitertes Teufelsquadrat)?

#kurzfristig

Diese grundlegende Frage ist alles andere als trivial, insbesondere das gemeinsame Verständnis von minimalen Anforderungen der jeweils anderen Gruppe von Stakeholder, zum Beispiel juristische Anforderungen (z. B. Genehmigungsfähigkeit), die oft von den eher technisch orientierten Stakeholder unzureichend verstanden werden.

Welche Bewertungskriterien spielen insbesondere bei der Auslegung des Kontrollzentrums und der Leitstände (Anzeige- und Bedienkonzept, Transitionen, Monitoring der operierenden Person etc.) eine Rolle?

#kurzfristig

Wie können die Anforderungen so formuliert und in den F&E-Prozess eingebracht werden, dass sie bei der Entwicklung, Einführung und Betrieb möglichst effizient zur Anwendung kommen?

#mittelfristig

Welche Intentionen/Motivationen verfolgen die Stakeholder (Nutzende, Mitreisende, Fahrzeugführende und TOPs) bei der Verwendung des soziotechnischen Systems und seiner Bestandteile?

#kurzfristig

Kann insbesondere KI zum Beispiel in Form von Assistenzfunktionen für die TOP die F&E Prozesse verbessern und beschleunigen?

#mittelfristig

Wie können die Anforderungen an ergonomische Grundwerte wie Gebrauchstauglichkeit, Joy of Use, Transparenz und Kontrollierbarkeit in den F&E-Prozess eingebracht werden? Wie können sie gemessen werden? Welche Methoden, die wir heute bereits aus anderen Domänen kennen, lassen sich übertragen?

#kurzfristig

Wie lassen sich (ggf. vorgeschriebene) Mitigationsmaßnahmen bezogen auf die Verkehrssicherheit evaluieren und was müssen diese abdecken?

#kurzfristig

Welche Anforderungen und Bedürfnisse (z. B. interne/externe HMIs, Joy of Use) müssen vom soziotechnischen System für die Nutzung von Fahrzeuginsassen (Mitreisende oder Fahrzeugführende) im Vergleich zu TOPs erfüllt werden und welche Auswirkungen hat dies auf die Akzeptanz?

#mittelfristig

Wie schafft eine Mensch-Maschine-Schnittstelle gegenüber Nutzenden ausreichend Transparenz bezüglich der mit Teleoperation in Verbindung stehenden Prozesse?

#kurzfristig #mittelfristig

Welche Anforderungssets („Protokolle“) werden für verschiedene ODDs benötigt (z. B. verschiedene Bewertungskriterien für Einsatz in der Stadt und auf der Autobahn)? Können Anforderungssets ODD-übergreifend quantifiziert werden? Ein Beispiel dafür wäre eine Quantifizierung, bei der 60/100 Punkten darf auf der Autobahn gefahren werden, bei 90/100 auf der Landstraße)?

#kurzfristig

4.2.4 Gestaltungsraum

Systemsynthese und Gestaltung können als konsequente Fortsetzung der Systemanalyse gesehen werden, wobei Verstehen und Gestalten nicht wasserfallartig aufeinander folgen, sondern oft verzahnt sind: Ausgehend von einem ausreichenden Grundverständnis des Systems können Gestalten und Testen der Auswirkungen die Analysefähigkeit und damit das Systemverständnis deutlich erhöhen. Emergente Effekte können oft nicht vorab erkannt werden, sondern erscheinen erst in neuen Kombinationen von Untersystemen und Beziehungen.

Die Freiheitsgrade zum Gestalten, Entwickeln, Implementieren etc. können als Gestaltungsraum beschrieben werden, dessen Dimensionen nicht beliebig, aber doch erstaunlich vielfältig miteinander kombiniert werden können. Die Dimensionen stellen verschiedene Gestaltungsoptionen dar, die zunächst ohne Bewertung oder konkrete Anwendung aufgelistet werden. So soll verhindert werden, dass potenzielle Lösungsansätze unbeabsichtigt nicht betrachtet werden. Verschiedene Systemkombinationen können innerhalb des Gestaltungsraums exploriert, mit Hilfe des Bewertungsraumes bewertet und dokumentiert werden.

4.2.4.1 *Stand von Wissenschaft und Technik*

Die Frage der Gestaltung betrifft verschiedene Teilsysteme des Gesamtsystems der Teleoperation (inkl. der beteiligten Menschen, der technischen Komponenten und der organisatorischen Bedingungen) sowie die Regelkreise dazwischen. Die maßgeblichen Teilsysteme wurden bereits in Kapitel 2 vorgestellt, diese sind der Übersicht halber hier noch einmal zusammengefasst:

- **Teleoperierende Person (TOP):** Person, die je nach Auslegung des Systems, dauerhaft oder temporär die Fahraufgabe übernimmt und ein Fahrzeug führt (telefahrende/fernlenkende Person), oder eine autonome Fahrfunktion bei Ausfällen oder bei Auftreten von Systemgrenzen unterstützt (Teleassistenz) und evtl. auch für weitere Aufgaben verantwortlich ist (z. B. Kommunikation mit Mitfahrenden).
- **Leitstand:** Der Arbeitsplatz der TOP, der mit den der Aufgabe entsprechenden Bedienelementen wie zum Beispiel einem Lenkrad, Pedalen und Bildschirmen zur Ansicht der Umgebung ausgestattet ist. Von hier kann ein Fahrzeug telegefahren/ferngelenkt beziehungsweise teleassistiert werden.
- **Kontrollzentrum:** Die Betriebszentrale für die Fahrzeugflotte. Im Kontrollzentrum findet die Übersicht, Zuweisung von Aufgaben, Disposition, Organisation von Wartung und Serviceeinsätzen statt. Das Kontrollzentrum umfasst keine Bedienelemente, die die direkte Führung oder Assistenz eines Fahrzeugs zulassen. Stattdessen können Fahraufträge den jeweiligen Leitständen zugewiesen werden und die TOPs überwacht oder unterstützt werden.
- **Teleoperiertes Fahrzeug:** Das zu führende oder assistierende Fahrzeug, welches sich in einer separaten Umgebung zum Kontrollzentrum und dem Leitstand befindet. Je nach Anwendungsfall, bietet es Interaktionsmöglichkeiten zwischen der TOP und den Mitfahrenden und dem umgebenden Verkehr. Es umfasst Systeme zur Datenerfassung und Konnektivität zum Leitstand über das Kontrollzentrum.

Weitere Teilsysteme, deren Umsetzung und Qualität ebenfalls relevant für eine sichere, effiziente und ergonomischen Teleoperation sind, sind unter anderem die Verkehrsumwelt (z. B. Infrastruktur, Verkehrsteilnehmende) und die Kommunikationsschnittstellen.

Diese unterliegen teilweise ebenfalls Gestaltungsmöglichkeiten (z. B. Road-Side Units, Information von Verkehrsteilnehmenden).

Die Frage der Gestaltung betrifft damit folgende zentrale Interaktionselemente:

- HMI des Leitstandes
- HMI des Kontrollzentrums

Die ergonomische Gestaltung hängt dabei in großem Maße vom umgesetzten Teleoperati-
onskonzept (Majstorovic et al., 2022) und den jeweiligen (Fahr-)Aufgaben der TOP ab.

4.2.4.1.1 Leitstand

Die Gestaltung der Arbeitsplätze für telefahrende/fernlenkende Personen ähnelt dabei häufig statischen Fahrsimulatoren mit einer unbeweglichen Stützkonstruktion, die einen Sitz trägt und zur Fixierung von Pedalerie und Lenkrad dient (Chucholowski, 2016; Gnatzig, 2015, 2015; Hofbauer et al., 2020; siehe Abbildung 9). Die Sichten des realen Fahrzeugs werden auf einer horizontal angeordneten Reihe von handelsüblichen Computermonitoren dargestellt, wobei einige Gestaltungsansätze auf einen weiteren Bildschirm setzen, um dort zusätzliche Informationen darzustellen (z. B. Navigationsinformationen oder Informationen über das Fahrzeug und den Fahrzeugstatus, das Kommunikationsnetzwerk oder den Kunden beziehungsweise die transportierte Ware). Bei den Sichten wird mit der Picture-in-Picture Methode gearbeitet, sodass zusätzliche Sichten wie zum Beispiel die Rückspiegel oder die Geschwindigkeitsanzeige, die Sicht nach vorne überlagern. Die Größe der Bildschirme variiert und damit auch die Perspektiven und Details, die angezeigt werden können. Auch die Platzierung der Kameras hat darauf einen Einfluss. So sind zum Beispiel in einem System die Kameras auf der vorderen Dachkante eines PKWs platziert und bieten so einen höheren Blickwinkel als ein anderes System, in dem die Kameras innerhalb des Fahrzeugs platziert sind und so eine klassische Perspektive der fahrenden Person darstellen.

Bei der Teleassistenz findet die Auswahl beziehungsweise Eingabe von Trajektorien und/oder Wegpunkten meist über Eingabeinstrumente wie Tastatur, Touchdisplay beziehungsweise Maus an einem Büroarbeitsplatz statt, der ebenfalls über mehrere Bildschirme die Verkehrsumwelt darstellt (vgl. Buchholz et al., 2020; Kettwich, Schrank, & Oehl, 2021; Schrank et al., 2024).

Beschreibungskategorien von Leitständen umfassen somit Sichtdarstellung (z. B. Medium, Sichtbereich, Aufnahmemittel), Geräuschdarstellung (z. B. Medium, Lokalisierbarkeit von Geräuschquellen, Aufnahmemittel), Fahrstand (z. B. Mockup, primäre und sekundäre Bedienelemente) und Bedienkonzept (z. B. Bedienoberfläche, Eingabeinstrumente, dargestellte Informationen, Funktionalität). Weitere Aspekte sind die eventuelle Überwachung der TOP (z. B. im Hinblick auf die Aufmerksamkeit) und die kontinuierliche Dokumentation relevanter Fahr- und Bediendaten, die Kommunikationsverbindung mit ihren Funktionalitäten sowie die möglichen Teleoperationsmodi und evtl. Assistenz(-systeme) für die telefahrende/fernlenkende Person.

Die grundsätzliche Anforderung an die Teleoperation sind ausreichende Fahrperformanz und Sicherheitsniveau (jeweils vergleichbar zum Fahren von Fahrzeugen mit im Fahrzeug anwesender fahrzeugführender Person). Dabei stellen sich zum Beispiel folgende Herausforderungen:

- Veränderte sensorische Wahrnehmung (z. B. Bildschirmdarstellung der Verkehrssituation, latenzbehaftete Darstellung, Fehlen propriozeptiver Informationen, anderes Sichtfeld; Chen et al., 2007; Lu et al., 2019; Neumeier et al., 2019; Tang Chen, 2015).
- Zusatzaufgaben (Login, Übernahme/Rückgabe der Fahrzeugkontrolle, Fern-Kommunikation mit Betriebspersonen oder Mitfahrenden, Technikcheck und Abfahrproben, veränderte Kommunikation mit anderen Verkehrsteilnehmenden)
- Aufbau einer angemessenen Situation Awareness vor Unterstützung beziehungsweise Steuerung des teleoperierten Fahrzeugs, d. h. die mentale Repräsentation der aktuellen Fahrsituation für die telefahrende/fernlenkende Person (nach Endsley, 1988) besteht Situation Awareness aus den drei Ebenen Wahrnehmung, Verstehen und Antizipation der Situation (siehe auch Hosseini & Lienkamp, 2016; Tang Chen, 2015).
- Telepräsenz (kognitiv und emotional) trotz physischer Abwesenheit (so können z. B. Latenzen das Wahrnehmen der virtuellen Umgebung als realistische Verkehrssituation sowie das Präsenzerleben reduzieren), Perspektivenübernahme bzgl. Komfort und Sicherheit sowie Verhinderung von Cyber-Sickness (vgl. Sheridan, 1992; Huang & Alessi, 1999)
- Aufrechterhalten der Aufmerksamkeit und Vigilanz der telefahrenden/fernlenkenden Person sowie Verhinderung von Ablenkung und zu großem Workload (v. a. wenn die telefahrende/fernlenkende Person als Rückfallebene für automatisierte oder autonome Fahrfunktionen dient; vgl. Lu et al., 2019; Neumeier et al., 2019)

Durch die rapide Entwicklung im Bereich der Teleoperation führen bereits einige Anbieter mit prototypischen Systemen erste Versuche im öffentlichen Straßenverkehr durch.



Abbildung 9: Leitstand auf dem Final Event des Projekts UNICARagil. (Bild: Lena Plum)

4.2.4.1.2 Kontrollzentrum

Die TOP ist räumlich, organisatorisch und personell in einem Kontrollzentrum beziehungsweise in einen übergreifenden Teleoperationsbetrieb eingebunden. Kettwich, Schrank, Avsar, and Oehl (2021) unterscheiden in diesem Zusammenhang unterschiedliche Rollen, die Mitarbeitende in Kontrollzentren einnehmen können (neben der TOP z. B. koordinierende Personen, die den Betrieb überwachen oder Servicefunktionen für die technische Infrastruktur und die betriebenen Fahrzeuge wahrnehmen). Schließlich ergeben sich weitere Aufgabengebiete und Rollen aus den übergeordneten, organisationalen Strukturen (z. B. Mitarbeitende für Personalauswahl und -ausbildung der TOP beziehungsweise der weiteren Mitarbeitenden im Kontrollzentrum; Cummings et al., 2021).

4.2.4.1.3 Andere Domänen

In anderen Domänen wird Teleoperation bereits militärisch oder kommerziell verwendet. Neben der teleoperierten Steuerung von Flugdrohnen werden zum Beispiel seit einem Jahrzehnt in Minen schwere Transport-LKWs und andere Maschinen eingesetzt, mit dem Ziel eine höhere Sicherheit im Einsatzgebiet zu erreichen. Der signifikanteste Unterschied dabei ist jedoch oftmals der Nutzungsraum. Dieser ist im Anwendungsfall „Mine“ ein enger gefasster Bereich, in dem die Netzwerkverbindung, anderer Verkehr und die Umgebung sehr genau kontrolliert werden kann. Dabei besteht der Leitstand aus einer Kombination von traditionellen Computerbildschirmen und den Bedienelementen, die auch in den realen Fahrzeugen eingesetzt werden. Durch eine einheitliche Bedieneinheit können verschiedene Fahrzeuge von einem Leitstand bedient werden. Unterstützt wird die Bedienung durch einen hohen Grad der Automation, die auch in traditionell bedienten Maschinen verfügbar ist.

4.2.4.2 Annahmen und deren Konsequenzen

Grundsätzlich sollte die Technik, die für den Aufbau einer sicheren und leistungsfähigen Teleoperation gebraucht wird, vorhanden sein. Dennoch sind in Zukunft weitere relevante Entwicklungen vorstellbar:

Darstellung der Fahrumgebung: Gerade im Bereich der Darstellung der Kamerasicthen können neuartige Technologien eine signifikante Veränderung herbeiführen. So können zum Beispiel Head Mounted Displays (HMDs) die Bildschirme eines Leitstandes ersetzen und zugleich noch umfangreichere Sichten anbieten. In Kombination mit verschiedenen Kamerasystemen hat die Darstellung der Fahrumgebung einen großen Einfluss auf die Benutzbarkeit und sichere Bedienbarkeit der Leitstände. Technische Lösungen im Bereich der virtuellen oder erweiterten Realität (Augmented Reality) könnten helfen, der TOP ein möglichst vollständiges Abbild der Verkehrssituation zu vermitteln; auf diese Weise wird es für die TOP leichter, sich in die Situation hineinzusetzen beziehungsweise wird es möglich, zusätzliche Informationen zu geben, die den Umgang mit den Herausforderungen erleichtern (nach Dix et al., 2021). Negative Auswirkungen auf den Workload beziehungsweise das Wohlbefinden der TOP (Cybersickness) sind zu vermeiden.

Künstliche Intelligenz: Auch die möglichen Verwendungszwecke und Implikationen von Methoden der Künstlichen Intelligenz bei der Teleoperation sind zum jetzigen Zeitpunkt noch offen.

Konzepte für Betrieb und Kontrollzentrum: Die zukünftige Gestaltung von Kontrollzentren der Teleoperation ist zum aktuellen Zeitpunkt noch in der Konzeptionierungsphase. Entsprechend wird deren genaue Funktion und Rolle noch ausgearbeitet. Es kann angenommen werden, dass Kontrollzentren nicht zwangsläufig physische Entitäten sind, sondern vielmehr eine digitale Plattform, die Fahraufträge und freie TOPs vermittelt und so als eine Kontaktoberfläche für Nutzende und Fahrende fungiert. Verschiedene Funktionen, wie eine Übersicht über die im System angemeldeten Fahrzeuge und TOPs, ein Buchungssystem und eine Sicherheitsüberwachung sollten entsprechend implementiert werden.

Interaktion mit Nutzenden: Im Fall des Teleoperierens eines Fahrzeugs mit Personen an Bord (öffentliche Personenbeförderung oder Anwesende im Fahrzeug mit autonomer Fahrfunktion), befürworten Mitfahrende in der Regel Informationen über ihre gebuchte Fahrt und – je nach Präferenz und Erfahrungsstand – eine Kommunikationsverbindung zur TOP, die die Fahrt begleitet. In einer Notfallsituation ist eine direkte Verbindung notwendig, die es beiden Parteien ermöglicht miteinander zu kommunizieren, um sicherheitsrelevante Anweisungen oder Informationen auszutauschen. In aktuellen Systemen besteht dazu häufig eine direkte Sprechverbindung, die über das Telekommunikationsnetz aufgebaut wird. Während des Teleoperationsbetriebs beziehungsweise auch bei Störungen und Vorfällen ist demnach ein HMI am/im Fahrzeug notwendig, um mit Mitfahrenden, service-technischen Fachkräften oder Einsatzkräften zu kommunizieren. Gerade in der Einführungsphase solcher Systeme ist die Möglichkeit der Kommunikation mit den Mitfahrenden und weiteren Verkehrsteilnehmenden notwendig, um so das Fahrzeugverhalten transparent zu kommunizieren.

Automatisierungs- und Unterstützungssysteme: Die rapide Entwicklung von Fahrassistenz- und Automationsfunktionen spielten auch im Kontext der Teleoperation eine signifikante Rolle für die Gestaltung der Leitstände. Bei Fahrzeugen, die lediglich über Assistenzsysteme des SAE Level 2 verfügen, muss ein Leitstand Lenkrad und Pedalerie umfassen, da hier noch aktiv und dauerhaft die Fahraufgabe übernommen wird (Telefahren/Fernlenken). Sollte die Entwicklung der Funktionen dazu führen, dass Fahrzeuge mit Automatisierungsfunktionen eines höheren Automationsgrad (L3 aufwärts) teleoperiert werden, kann auf die in den Fahrzeugen verbaute Automation zurückgegriffen werden. In diesem Fall könnte ein Leitstand auf eine Eingabeeinheit reduziert werden, durch die keine aktive Fahraufgabe übernommen wird, sondern die Automation durch die TOP nur noch bei Entscheidungen assistiert wird (Teleassistenz). Weiterhin könnte eine telefahrende/fernlenkende Person durch Unterstützungs- und Assistenzsysteme (z. B. Spurhalteassistent oder adaptive Geschwindigkeitsregelung) signifikant entlastet und ein höheres Sicherheitsniveau erreicht werden.

Arbeitsschutz: Die Leitstände sollten ein menschengerechtes Arbeiten ermöglichen. Dafür müssen die vier Humankriterien „Ausführbarkeit“, „Schädigungslosigkeit“, „Beeinträchtigungsfreiheit“ und „Persönlichkeitsförderlichkeit“ gegeben sein (Kriterien nach Hacker, 1986). Zudem sollte eine Gefährdungsbeurteilung im Kontext des betrieblichen Arbeits- und Gesundheitsschutzes (vgl. § 5 ArbSchG) eingeplant beziehungsweise durchgeführt werden.

4.2.4.3 Offene Forschungsfragen

- Gestaltung Leitstand

Wie muss ein Leitstand gestaltet sein (z. B. bezüglich Funktionalität, Anzeige- und Bedienkonzept, Bedieninstrumente, Informations- und Statusdarstellung), damit eine TOP ein Fahrzeug sicher und effizient steuern beziehungsweise unterstützen kann?

#kurzfristig

Welche Gestaltung ist insbesondere bei Transitionen, Übergaben und Übernahmen notwendig?

#kurzfristig

Welchen Einfluss haben Bewegungs-Cues sowie die Geräuscharstellung auf Fahreindruck, -performanz und Workload? Sind diese Sensormodalitäten für eine sichere Teleoperation notwendig?

#kurzfristig

Welche Aspekte des Arbeitsschutzes müssen bereits bei der Gestaltung der Leitstände mitbetrachtet werden, was bedeutet in diesem Kontext die Prämisse „menschengerechtes Arbeiten“? Sind die bestehenden Vorgaben zu Monitorarbeitsplätzen auch in diesem Kontext anwendbar und relevant?

#kurzfristig

Sind innovative Bildschirmkonzepte sinnvoll und welchen Einfluss haben sie auf die telefahrende/fernlenkende Person und die Fahrzeugsteuerung (z. B. Einfluss von Head-Mounted-Displays auf Konzentration und Müdigkeit der telefahrenden/fernlenkenden Person)?

#mittelfristig

Kann Augmented Reality eingesetzt werden, um der TOP ein möglichst vollständiges Abbild der Verkehrssituation zu liefern?

#mittelfristig

- Gestaltung Kontrollzentrum:

Wie muss das Kontrollzentrum für eine sichere und effiziente Teleoperation gestaltet werden (Bedienkonzept, Darstellung, Kommunikation der verschiedenen betrieblichen Rollen untereinander)?

#kurzfristig

Ist eine räumliche Trennung von Kontrollzentrum und Leitstand sicher umsetzbar und kann dies einen dezentralen Aufbau des Leitstandes ermöglichen (Beispiel: Können bei ausreichender Verbindungsqualität Leitstände auch im privaten Umfeld/Home-Office aufgebaut werden?)

#mittelfristig

Wie muss die Teleoperation betrieblich geregelt werden (z. B. Allokation von Aufgaben und Rollenverteilung, Transitionen zwischen autonomem und manuellem Betrieb inkl. Übernahmeaufforderungen und -konzept, Vorgehen bei Kommunikationsverschlechterung bis hin zum Verbindungsabbruch), damit sie sicher und effizient umgesetzt werden kann?

#kurzfristig

- Gestaltung Regelkreis:

Wie muss der Regelkreis eines Gesamtsystems der Teleoperation gestaltet werden, um eine sichere, effiziente und komfortable Nutzung zu ermöglichen?

#kurzfristig

Wie wirkt sich die Qualität der Untersysteme, wie zum Beispiel die Latenz oder Bandbreite der Datenübertragung, auf die sichere Nutzbarkeit dieses Regelkreises aus? Inwieweit und auf welche Weise sollte die TOP über die Qualität informiert werden?

#kurzfristig

Welche (Mitigations-)Maßnahmen sind nötig, um ein Mindestniveau an Sicherheit des Systems zu gewährleisten?

#kurzfristig

Wie wird das Betriebskonzept gestaltet, zum Beispiel die tägliche Inbetriebnahme, Übergaben/Übernahmen (z. B. Inbetriebnahme und Überwachung)?

#kurzfristig

- Gestaltung Assistenz- und Automationssysteme:

Welche Unterstützungs- und Kompensationsmöglichkeiten (z. B. prädiktive Darstellungen, die die aktuelle Latenz bei der Visualisierung der Umgebung simulieren), können einer TOP das Telefahren/Fernlenken beziehungsweise die Teleassistenz erleichtern?

#kurzfristig

Welchen Einfluss haben verschiedene Gestaltungsaspekte der Kontrollzentren, die Kommunikation zwischen Leitständen und Fahrzeugen (z. B. Latenz) sowie Unterstützungs- und Kompensationssysteme auf die Performanz und Sicherheit des Betriebs sowie den Workload, die Situation Awareness und die Telepräsenz der TOP?

#kurzfristig

Kann durch die Integration von Fahrassistenzsystemen (z. B. eine aktive Spurführung) und/oder die Verwendung von Ansätzen der Künstlichen Intelligenz die Systemsicherheit signifikant verbessert werden und wie würde das sich auf die Gestaltung der Leistände und Kontrollzentren auswirken?

#mittelfristig

In welche Modi und welche Transitionen können diese Assistenz- und Automationssysteme gestaltet werden, so dass sie von allen Interessenvertretungen leicht und richtig verstanden werden können.

#mittelfristig

- Gestaltung der Interaktion:

Wie muss die Interaktion zwischen den Mitreisenden und der TOP gestaltet werden, damit subjektive Sicherheit und Vertrauen entsteht und Teleoperation akzeptiert wird?

#kurzfristig

Kann durch eine aktive Interaktion oder Führung durch die TOP das Systemvertrauen gezielt verändert werden?

#mittelfristig

Inwieweit muss das Fahrzeuginnere bei teleoperierten Systemen überwacht werden? Inwiefern können Vertrauen, Systemakzeptanz und Sicherheitsüberwachung mit dem Wunsch zur Privatsphäre in Einklang gebracht werden?

#mittelfristig

Wie muss das System gestaltet sein, damit Menschen mit unterschiedlichen Erfahrungen (z. B. Novizen vs. Heavy User) das System nach ihren unterschiedlichen Anforderungen gut nutzen können?

#mittelfristig

Welche Interaktions- und Kommunikationsmöglichkeiten (z. B. interne und externe HMIs) sind notwendig (zwischen TOP, Servicepersonal, Mitfahrenden, Dritten, Kontrollzentrum), damit auch in besonderen Situationen (z. B. unerwartete Ereignisse, Unfälle, Pannen) die Sicherheit und Effizienz des teleoperierten Fahrbetriebs aufrechterhalten werden kann und die Akzeptanz nicht beeinträchtigt wird?

#kurzfristig

Inwieweit beeinflussen teleoperierte Fahrzeuge im Rahmen des Mischverkehrs andere Verkehrsteilnehmende (z. B. bzgl. Interaktionsverhalten) und welche Interaktionen sind nötig?

#mittelfristig

4.2.5 Nutzungsraum

Wie einleitend beschrieben werden in diesem Unterkapitel Forschungsfragen zur Nutzung der Teleoperation herausgearbeitet. Übergeordnete Leitfrage ist „Wie kann und wie wird das soziotechnische System, hier insbesondere Leitstand, interne & externe HMI und Regelkreise, von Nutzenden und Operierenden genutzt werden?“. Die Art der Nutzung des soziotechnischen Systems und die sich daraus ergebenden Konsequenzen für Regelkreise stehen also im Vordergrund.

Der Nutzungsraum beschreibt einen multidimensionalen Raum, der sich aus den Dimensionen Nutzenden (Gruppen von Nutzenden), Orten der Nutzung (Betriebsbereichen) und Nutzungsgelegenheiten (Anwendungsfällen) aufspannt. Hierzu werden konkrete Forschungsfragen zu den Nutzungsfällen der Teleassistenz und des Telefahren/Fernlenkens basierend auf dem aktuellen Stand von Wissenschaft und Technik hergeleitet.

4.2.5.1 Stand von Wissenschaft und Technik:

Eine wichtige Grundlage für die Erforschung von Nutzungsbedingungen und daraus resultierenden Verhaltens von Nutzenden von technischen Systemen ist das Technology Acceptance Model 3 (TAM3; Venkatesh & Bala, 2008). Das Modell stammt aus dem Bereich der Arbeits- und Organisationstechnologie. Ursprünglich wurde es entwickelt, um die individuelle Akzeptanz und Nutzung von Informationstechnologien am Arbeitsplatz zu beschreiben und Zusammenhänge vor der Einführung neuer Technologien vorhersagen zu können.

Darüber hinaus findet das Modell auch in nicht -arbeitsbezogenen Kontexten zur Erforschung von Akzeptanz und Verhalten von Nutzenden Anwendung. In Bezug auf die TOP als Beruf, könnte das TAM hier sogar gänzlich Anwendung finden. Das TAM3 ist die dritte Erweiterung des ursprünglichen Modells von Davis (1989). Im TAM werden zwei grundlegende Komponenten beschrieben, die bedingen, ob eine Technologie genutzt wird: wahrgenommene Nützlichkeit und wahrgenommene Einfachheit der Nutzung. Es wird erläutert, dass der Einfluss, welchen externe Variablen auf die Verhaltensintention haben, durch die wahrgenommene Einfachheit der Nutzung sowie die wahrgenommene Nützlichkeit mediiert wird. Die Verhaltensintention führt dann direkt zum Verhalten von Nutzenden. Externe Einflussfaktoren können beispielsweise Systemeigenschaften oder bestimmte förderliche Rahmenbedingungen sein. Das erweiterte TAM3 umfasst zudem sogenannte Anker- und Anpassungsvariable, welche als Erweiterung oder Verfeinerung der zuvor beschriebenen externen Variablen gesehen werden können. Dazu zählen individuelle Eigenschaften der Nutzenden, wie Computer-Selbstwirksamkeit und wahrgenommenes Vergnügen bei der Nutzung. Der Einfluss weiterer Variablen wird durch die wahrgenommene Nützlichkeit mediiert, wozu unter anderem das Image einer Technologie zählt. Auch die Expertise von Nutzenden, die Freiwilligkeit der Nutzung und der Einfluss subjektiver Normen wird im TAM3 berücksichtigt. Insgesamt zeigen das TAM und seine Erweiterungen die Komplexität des Verhaltens von Nutzenden auf und verdeutlicht die Vielfältigkeit der Einflussfaktoren auf die Akzeptanz und tatsächliche ordnungsgemäße Nutzung einer neuartigen Technologie. Obgleich das TAM es aus einem anderen Kontext stammt, liefern die Komponenten des Modells viele Anhaltspunkte für die Erforschung von Bedingungen der Nutzung und das daraus möglicherweise resultierende Verhalten der Nutzenden.

Für die Betrachtung des soziotechnischen Systems sind jedoch nicht nur Endnutzende interessant, sondern auch Mitarbeitende und Betreibende des Kontrollzentrums. Kettwich, Schrank, Avsar, and Oehl (2021) spezifizierten Anforderungen an Mitarbeitende in Remote Operation Centers und unterschieden zwischen zentralen und peripheren Rollen. Zu den *zentralen* Rollen, die für den operativen Betrieb unmittelbar nötig sind, zählen Remote Coordinator, Remote Driving Operator und Remote System Operator. Der Remote Coordinator sichtet eingehende Meldungen vom überwachten Fahrzeug und delegiert diese an weitere Mitarbeitende, beispielsweise Remote Driving Operators. Diese stellen die Unterstützungsleistung für das überwachte Fahrzeug bereit. Der Remote System Operator ist für die Konfiguration und Instandhaltung des Remote-Operation-Systems verantwortlich. Dazu kommen *periphere* Rollen, die für den operativen Betrieb nicht unmittelbar kritisch sind, jedoch langfristig für reibungslose Operationen sorgen. Ein Beispiel für eine periphere Rolle ist der Service Technician, der sich mit Fehlfunktionen im Zusammenspiel zwischen dem überwachten Fahrzeug und dem Remote Operation Center beschäftigt, die den laufenden Betrieb nicht elementar behindern. Ferner fallen Disponierende, Bereitstellende von Daten Mitreisender sowie Mitarbeitende zur Reparatur und Reinigung der Fahrzeuge und zur Aufrechterhaltung der Sicherheit der Mitfahrenden in diese Kategorie.

Bezüglich der Betriebsbereiche des soziotechnischen Systems zeigen Forschungsergebnisse, dass auch kurze Delays in der Übertragung von Daten des Fahrzeugs zur telefahrenden/fernlenkenden Person gerade bei höheren Geschwindigkeiten zu Abweichungen von Fahrstreifen oder Schwierigkeiten, gleichmäßige Geschwindigkeiten zu halten, führten (Musicant et al., 2023). Diese Abweichungen vom Fahrstreifen wären möglicherweise bei kurzen Delays und langsameren Geschwindigkeiten nicht zu erwarten. Zudem könnten Verkehrsflüsse, Bebauungen und andere Eigenschaften der Verkehrsumgebung herrschen.

Solche und andere Forschungsergebnisse deuten darauf hin, dass verschiedene Betriebsbereiche beispielsweise im Stadt-/ Land- oder Autobahnverkehr oder die Kombination dieser, unterschiedliche Herausforderungen für die Nutzung des soziotechnischen Systems stellen, die untersucht und bewältigt werden müssen. Bisher wurden bereits umfangreiche Szenariensammlungen erstellt, welche abbilden, in welchen spezifischen Fällen Teleoperation erforderlich sein oder genutzt werden könnte (Kettwich et al., 2022), die es dabei zu berücksichtigen gilt.

Forschungsprojekte zur Teleassistenz von autonomen L4 Shuttles haben unter anderem bereits prototypische HMIs zur Verwendung in öffentlichen Verkehrsmitteln entwickelt und erprobt (Kettwich, Schrank, & Oehl, 2021). Da das soziotechnische System für diverse Anwendungsfälle genutzt werden soll, müssen aktuelle Forschungsergebnisse auf weitere Anwendungsfälle, wie fortwährendes und eventbasiertes Telefahren/Fernlenken, ausgedehnt und deren Übertragbarkeit erprobt werden.

4.2.5.2 Annahmen und deren Konsequenzen:

Es bestehen bereits hinreichende Modelle zur Untersuchung des Verhaltens und der Akzeptanz von Nutzenden. Übrig bleibt daher zu beurteilen, wie sich dies im Umgang mit teleoperierten Systemen fortlaufend entwickelt und im realen Einsatz darstellen wird. Zudem scheint die Beschreibung verschiedener Rollen im teleoperierten Bereich bereits fortgeschritten. Dies impliziert eine erleichterte zukünftige Erforschung der Interaktionen dieser Gruppen von Nutzenden. Bisher ist wenig erforscht, welche Möglichkeiten und Kombinationen für Betriebsbereiche des soziotechnischen Systems infrage kommen. Auch wenn einige Testmodelle (siehe Vay-Modell z. B. Wittler, 2021) schon auf dem Markt sind, ist unklar, inwieweit sich diese kombinieren oder erweitern lassen. Anschließend bleibt offen, wie die tatsächliche Nutzung und Nutzungshäufigkeit dieser Betriebsbereiche letztendlich ausfallen. Auch hinsichtlich bestehender Konzepte für HMIs und Anwendungsfälle in bestimmten Betriebsbereichen ist anzunehmen, dass die Forschung weiterführend betrachten muss, inwieweit sich die Nutzung der Konzepte in die Realität und andere Bereiche übertragen lässt sowie, ob die fortwährende Nutzung abgesichert werden kann beziehungsweise wie sich diese entwickeln wird.

4.2.5.3 Offene Forschungsfragen:

Als **Gruppen von Nutzenden** des soziotechnischen Systems der Teleoperation kann zwischen unmittelbaren Nutzenden und mittelbaren Nutzenden unterschieden werden. Unter unmittelbaren Nutzenden werden vorrangig Insassen des zu steuernden Kraftfahrzeugs, einschließlich potenzieller Fahrender und etwaige Mitreisende sowie alle Mitarbeitenden des Kontrollzentrums, inkl. TOPs, verstanden. Zu mittelbaren Nutzenden gehören übergeordnet ebenfalls Betreiber und Provider (z. B. Verkehrsgesellschaften) sowie alle Schnittstellen innerhalb wie außerhalb des Betreibers, beispielsweise ÖPNV-Leitstellen, Verkehrsleitzentralen zum Verkehrsmanagement, Notfalldienste, Wartungs- und Reinigungsdienste. Für unterschiedliche Gruppen von Nutzenden ergibt sich die übergeordnete Forschungsfrage: „Wie kann und wie wird das soziotechnische System, hier insbesondere Leitstand, interne & externe HMI und Regelkreise von unterschiedlichen Gruppen von Nutzenden genutzt werden?“.

Welche Informationen liefern und benötigen die jeweiligen Gruppen von Nutzenden und Rollen im Gesamtsystem der Teleoperation in Abhängigkeit vom jeweiligen Use Case ?

#mittelfristig

Von welchen Faktoren hängen die im Use Case gelieferten beziehungsweise benötigten Informationen ab?

#mittelfristig

Wie sollen die benötigten Informationen im Gesamtsystem der Teleoperation dargestellt werden, um eine möglichst effektive, effiziente und handhabbare Mensch-Maschine-Schnittstelle (HMI) zwischen dem jeweiligen Gruppen von Nutzenden und dem überwachten Fahrzeug zu schaffen?

#mittelfristig

Inwieweit ist es sinnvoll, für die Gestaltung der Mensch-Maschine-Schnittstellen Informationen des (physiologischen) Zustandsmonitorings zu nutzen?

#kurzfristig

Wie wird das soziotechnische System von den Gruppen von Nutzenden mit unterschiedlichen Erfahrungen (Novizen vs. Heavy User) genutzt?

#kurzfristig

Alle Gruppen von Nutzenden bringen individuelle Anforderungen und Bedürfnisse mit, die durch das soziotechnische System berücksichtigt und abgedeckt werden sollten. Personen auf dem Sitz des Fahrenden (eines multi-mode-Fahrzeugs) könnten beispielsweise andere Informationen durch die Anzeige eines internen HMIs benötigen im Vergleich zu Mitreisenden eines reinen L4-Shuttles, bei dem keine Möglichkeit besteht, etwa die Fahrzeugführung übernehmen zu können. Dabei spielt zudem eine Rolle, ob und wie HMIs und der Aufbau des Leitstands zur Kommunikation zwischen der TOP und Mitfahrenden verwendet werden kann und soll. Die Nutzung könnte sich zudem darin unterscheiden, welche Expertiselevel/Erfahrungen und Motivationen die einzelnen Nutzenden in die Interaktion mit dem soziotechnischen System mitbringen und welche Intention sie im Einzelnen verfolgen. Unterschiedliche Expertiselevel könnten somit Anforderungen an das Design von HMIs, Leitwarte oder Regelkreise stellen. Letztlich hängt der Erfolg der Nutzung auch davon ab, ob und wie die Bestandteile des soziotechnischen Systems akzeptiert werden.

Die Orte der Nutzung beziehen sich auf die zugelassenen **Betriebsbereiche** teleoperierter Systeme. Hier können unterschiedliche Umgebungen wie Stadt, Land und Autobahnverkehr betrachtet werden, sowie variabel große Betriebsbereiche, für die sich die Forschungsfrage ergibt: „Wie kann und wie wird das soziotechnische System, hier insbesondere Leitstand, interne & externe HMI und Regelkreise in unterschiedlichen Betriebsbereichen genutzt?“.

Welche Herausforderungen der Nutzung werden in unterschiedlichen Betriebsbereichen erwartet?

#kurzfristig

Wie kann das soziotechnische System im Logistik- im Vergleich zum Personenverkehr genutzt werden?

#mittelfristig

Wie kann das soziotechnische System im öffentlichen Personenverkehr im Vergleich zum Individualverkehr genutzt werden?

#mittelfristig

Wie kann das soziotechnische System im privaten im Vergleich zum öffentlichen Raum genutzt werden?

#mittelfristig

Durch die Festlegung von Betriebsbereichen für Teleoperation ergeben sich unterschiedliche Anforderungen an Regelkreise, Leitstand und HMIs, je nach Herausforderung, die sich für die TOP und auch die Mitfahrenden des Fahrzeugs ergeben. So könnten Unterschiede zwischen dem privaten und dem öffentlichen Raum bestehen, die sich einerseits nach Gesetzgebungen und Regulationen richten und andererseits auch spezielle Nutzungsmöglichkeiten hervorrufen. Im privaten Raum könnten beispielsweise andere Informationen für Insassen und TOPs relevant sein, die den Nutzungskontext verändern würden. Ebenso könnte das soziotechnische System andere Nutzungsumstände mit sich bringen, wenn es im Logistik- oder im Personenverkehr genutzt wird. Da durch die An- oder Abwesenheit von Mitreisenden andere Anforderungen an die TOP bestehen, Aufgaben hinzukommen oder wegfallen, ergeben sich unterschiedliche Nutzungsvoraussetzungen und -möglichkeiten des soziotechnischen Systems. Auch zwischen dem Personenverkehr und Individualverkehr können Unterschiede in der Nutzung erwartet werden, unter anderem, weil Intentionen der Nutzung sich hier unterscheiden können. Es stellt sich die Frage, welche Kombinationen an Nutzungsmöglichkeiten aber auch -herausforderungen sich ergeben, wenn ein System hinsichtlich HMIs und Leitstand auf die Anforderungen von Stadt-/Land- und Autobahnverkehr ausgelegt sein muss.

Die Nutzungsgelegenheiten, sprich **Anwendungsfälle**, betreffen Unterschiede zwischen Teleassistenz und Telefahren/Fernlenken (durchgängig und eventbasiert). Übergeordnet stellt sich für die Anwendungsfälle die Forschungsfrage: „Wie kann und wie wird das soziotechnische System, hier insbesondere Leitstand, interne & externe HMI und Regelkreise im Vergleich von Telefahren/Fernlenken und Teleassistenz genutzt?“.

Hier rücken vor allem Zeitpunkte der Nutzung in den Vordergrund. Einerseits betrifft dies Herausforderungen und Anforderungen von lang-/mittel- und kurzfristiger Nutzungen des soziotechnischen Systems. Andererseits müssen spezifische Zeitpunkte der Nutzung betrachtet werden, denn die Gegebenheiten und Umstände, die beispielsweise zu einer Anwendung der Teleoperation geführt haben, können in unterschiedlicher Weise Anforderungen an das gesamte System inklusive Leitstand, externe und interne HMIs stellen. In diesem Zusammenhang wird dann ebenfalls relevant, wofür genau das System im Einzelnen verwendet wird.

Aus der Kombination aller drei Dimensionen des **Nutzungsraums** ergeben sich Handlungsspielräume, die direkten Einfluss auf den Gebrauch des soziotechnischen Systems haben, wobei unter anderem die Dauer, Häufigkeit, Langfristigkeit, der Zweck sowie die Korrektheit der Nutzung beschreiben, wie das System genutzt wird. Aus der Art der Nutzung erge-

ben sich wiederum Auswirkungen auf Sicherheits- und andere Gestaltungsaspekte des soziotechnischen Systems. Für den gesamten Nutzungsraum, sprich das Zusammenspiel der Gruppen von Nutzenden, Betriebsbereiche und Anwendungsfälle, ergibt sich die Notwendigkeit, den bestimmungsgemäßen Gebrauch des soziotechnischen Systems hinsichtlich aller Komponenten zu betrachten. Darunter fällt die Erforschung von Misuse- und Disusefällen, aus denen sich sicherheitskritische Bedingungen ergeben könnten, wenn etwa Leitstand oder HMIs inkorrekt, zum falschen Zweck oder gar nicht verwendet wird. Disuse und Misuse soll zunächst verhindert werden, um bestimmungsgemäßen und sicheren Gebrauch gewährleisten zu können (siehe auch Cluster 1 Kapitel 4.1.3.3; Kapitel 4.1.4.2; Kapitel 4.1.5.3). Die Analyse solcher Fälle könnte zudem Hinweise auf neuartige Anwendungsfälle und Nutzungsarten geben, die zur Erweiterung und Verbesserung der Nutzung des soziotechnischen Systems beitragen könnten.

Wie kann dafür gesorgt werden, dass HMIs bestimmungsmäßig genutzt werden und Misuse sowie Disuse als sicherheitskritische Aspekte verhindert werden?

#kurzfristig

Welche Arten von Misuse können erdacht werden, und wie können diese verhindert werden?

#kurzfristig

Ergeben sich aus Misuse-Fällen neue Anwendungsfälle/ neue Arten der Nutzung?

#mittelfristig

4.2.6 Fazit zu Cluster 2

Die auf den ersten Blick naheliegende Abfolge von Systemanalyse, Systemgestaltung und Bewertung offenbart auf den zweiten Blick ein komplexes Spannungsfeld aus Verstehen, Bewerten und Handeln unterschiedlicher Interessenvertretungen.

Dafür werden Brückenmethoden zwischen Gestaltung-, Bewertungs- und Nutzungsraum benötigt. Überbrückende Methoden sollen diese unterschiedlichen Denk- und Handlungsrichtungen der unterschiedlichen Stakeholder so zusammenbringen, dass gute Systeme entstehen, stabilisiert und weiterentwickelt werden können. Dies hat nur dann Aussicht auf Erfolg, wenn diese konstruktive Herangehensweise kombiniert wird mit einer kritischen Perspektive, welche die Antithese, dass Systeme auch schlecht, d. h. unsicher oder gebrauchsuntauglich sein können, nicht als Defätismus begreift, sondern als unverzichtbarer Teil einer insgesamt funktions- und handlungsfähigen Gesellschaft.

Die Sichtung der vorhandenen Konzepte und Methoden ermutigt uns einerseits zu der Einschätzung, dass ein Großteil der Theorie solcher komplexen soziotechnischen Systeme bereits vorhanden ist, dass aber auch kleinere Lücken zum Beispiel zum System-of-Systems-Verständnis auf jeden Fall geschlossen werden sollten. Größere Lücken bestehen bei der Anwendung von bestehender Theorie auf teleoperierte Systeme, zum Beispiel durch Übersetzung von anderen Domänen wie der Luftfahrt oder der Verteidigung in den Kontext der Teleoperation. Diese Lücken sollten so bald wie möglich geschlossen werden, um Risiken

zu minimieren. Darüber hinaus sollte gerade bei halbwegs erfolgreichen Erstimplementierungen von teleoperierten Systemen eine der Luftfahrt vergleichbare mittel- und langfristige Begleitforschung aufgesetzt werden, um auf technologische, organisatorische oder soziale Weiterentwicklungen, oder aber auf die sich durch den Klimawandel sich kontinuierlich oder, wesentlich wahrscheinlicher, in katastrophalen Schüben verändernde Situation reagieren zu können.

4.3 Cluster 3: Kommunikationstechnologie

Clusterleitung: Prof. Dr. Christoph Sommer

Mitwirkende: Sandro Berndt-Tolzmann, Tobias Harges, Florian Klingler, Christian Wietfeld

Das Kapitel zum Thema Kommunikationstechnologie gliedert sich inhaltlich in Einsatzorte, Einsatzzwecke, Messgrößen der Kommunikationstechnik, Maßnahmen zur Verbesserung der Messgrößen sowie deren Konsequenzen. In der nachfolgenden Tabelle werden alle clusterspezifischen Forschungsfragen anhand der inhaltlichen Unterkapitel gelistet. Zusätzlich sind die Forschungsfragen kapitelweise nach ihrer zeitlichen Priorisierung sortiert und weichen deshalb in ihrer Reihenfolge leicht vom textlichen Auftreten ab.

Tabelle 6: Forschungsfragen aus Cluster 3 inkl. Zuordnung zum Anwendungsfall und der zeitlichen Priorisierung

Nr.	Fall A	Fall B	Fall C	Verweis	Forschungsfrage	Zeitl. Priorität
1		☑	☑	4.3.7 Forschungsfragen zu Cluster 3	Wie hängen klassische Messgrößen wie Datenrate/Latenz/Jitter mit der Quality of Experience für TOP und/oder Nutzenden zusammen?	k
2		☑	☑	4.3.7 Forschungsfragen zu Cluster 3	Wie viel Latenz/Jitter ist für ein vollständiges Kreuzprodukt von Telefahnen/Fernlenken und Teleassistenz auf Autobahnen, Schnellstraßen und Stadtstraßen tolerierbar?	k
3		☑	☑	4.3.7 Forschungsfragen zu Cluster 3	Wie können Techniken zur Bestimmung der maximal tolerierbaren Latenz/Jitter entwickelt und validiert werden?	k
4	☑	☑	☑	4.3.7 Forschungsfragen zu Cluster 3	Wie modelliert und simuliert man Fernsteuerung/-assistenz für Computersimulationen?	k
5	☑	☑	☑	4.3.7 Forschungsfragen zu Cluster 3	Kann das Konzept der ODDs auf die Anforderungen für die verfügbaren Kommunikationsdienste erweitert werden?	k
6	☑	☑	☑	4.3.7 Forschungsfragen zu Cluster 3	Mit welchen Qualitätssicherungsmaßnahmen kann die Leistungsfähigkeit der für die Teleoperation genutzten Netze kontinuierlich überwacht und für die Systembetreiber der Teleoperation bereitgestellt werden?	k
7	☑	☑	☑	4.3.7 Forschungsfragen zu Cluster 3	Wie können Versorgungslücken bei bestehenden Technologien (z. B.	m

Nr.	Fall A	Fall B	Fall C	Verweis	Forschungsfrage	Zeitl. Priorität
					3GPP) geschlossen werden, ohne die Leistung zu beeinträchtigen?	
8	☑	☑	☑	4.3.7 Forschungsfragen zu Cluster 3	Können Multi-Link-Ansätze zur Stabilisierung der Netzkonnektivität beitragen?	m
9	☑	☑	☑	4.3.7 Forschungsfragen zu Cluster 3	Wie lassen sich die drei möglichen Dimensionen von Handover (Fernsteuerung/Unterstützung, horizontal von Basis zu Basis, vertikal technologieübergreifend) nutzen?	m
10		☑	☑	4.3.7 Forschungsfragen zu Cluster 3	Hängt die tolerierbare Latenz/der tolerierbare Jitter von der Genauigkeit/Auflösung des übertragenen Bildes ab? Kann diese Genauigkeit/Auflösung angepasst werden, um Latenz/Zittern zu kompensieren?	m
11		☑	☑	4.3.7 Forschungsfragen zu Cluster 3	Hängt die tolerierbare Latenz/der tolerierbare Jitter von der mikroskopischen Fahrsituation ab – und wenn ja, können wir dies vorhersagen?	m
12		☑	☑	4.3.7 Forschungsfragen zu Cluster 3	Wie können Latenz/Jitter durch Reservierung von Netzkapazitäten reduziert und/oder stabilisiert werden?	m
13		☑	☑	4.3.7 Forschungsfragen zu Cluster 3	Wie kann die Latenz beziehungsweise der Jitter durch zusätzliche Infrastrukturelemente reduziert beziehungsweise stabilisiert werden?	m
14	☑	☑	☑	4.3.7 Forschungsfragen zu Cluster 3	Wie kann QoE vorhergesagt werden?	m
15	☑	☑	☑	4.3.7 Forschungsfragen zu Cluster 3	Wie lassen sich Kommunikationsdaten sicher aufzeichnen und speichern (in einer Blackbox für die Unfallforschung)?	l
16	☑	☑	☑	4.3.7 Forschungsfragen zu Cluster 3	Wie lassen sich die Ziele von Leistung und Sicherheit mit Schutzziele der Privatsphäre in Einklang bringen?	l

Legende: Fall A: Teleassistenz, Fall B: fortwährendes Telefahren/Fernlenken, Fall C: Eventbasiertes Telefahren/Fernlenken. Die zeitliche Priorität ist mit k=kurzfristig, m=mittelfristig und l=langfristig gekennzeichnet.

4.3.1 Einleitung

Kommunikation ist ein zentraler Aspekt der Teleoperation, da sie zur Übertragung von Daten und Steuersignalen zwischen dem Fahrzeug und der teleoperierenden Person oder dem Leitstand zwingend erforderlich ist. Um die Sicherheit und Zuverlässigkeit eines Teleoperations-Systems zu gewährleisten sind eine Vielzahl von Aspekten der Kommunikation zu berücksichtigen: Einsatzorte, Einsatzzwecke, Messgrößen und Maßnahmen zur Verbesserung dieser. Diese Aspekte sollen im Folgenden kurz beleuchtet und aus ihnen Forschungsfragen zu Kommunikationstechnologien abgeleitet werden.

4.3.2 Einsatzorte

Es ist von Bedeutung wo beziehungsweise in welcher Umgebung die Teleoperation durchgeführt wird, um die kommunikationsspezifischen Anforderungen eines Teleoperations-Systems bestimmen zu können. Hinsichtlich der Orte von Teleoperation gilt es drei grobe Klassen zu unterscheiden. Sie sind im Folgenden genauer ausgeführt und in Tabelle 7 kurz zusammengefasst.

Tabelle 7: Einsatzumgebungen und Randbedingungen von Teleoperation

	Autobahn	Stadt	Land
Straßeninfrastruktur	☑ gut	☑ gut	● herausfordernd
Kommunikationsinfrastruktur	☑ gut	☑ gut	● oft lückenhaft
Straßenführung	☑ einfach	● komplex	● komplex
Sichthindernisse	☑ wenige	● viele	● viele
Funkhindernisse	☑ wenige	● viele	● viele
Fahrsituationen	☑ einfach	● komplex	● komplex
Verkehrsfluss	● schnell	☑ langsam	● schnell

4.3.2.1 Autobahn

Autobahnen sind im Wesentlichen durch schnellen Verkehr, gute infrastrukturelle Erschließung (sowohl hinsichtlich Fahrbahnbelag und Markierungen als auch verfügbarer Kommunikationsinfrastruktur), kreuzungsfrei geführten Verkehr, gerade Straßenführung, definierte Zufahrten und wenige angrenzende Gebäude, einfache Sicht- und Kommunikationsbeziehungen sowie übersichtliche Fahrsituationen gekennzeichnet. In konkreten Einzelfällen kann es dennoch zu spontanen Fahrbahnsperren, Tagesbaustellen oder ähnlichem kommen, auch ist die Kommunikationsinfrastruktur nicht lückenlos verfügbar.

Bei der Richtgeschwindigkeit von 130 km/h wird jedoch auch in einer Sekunde eine Strecke von knapp 36 Metern zurückgelegt, das heißt, hohe Latenzzeiten etc. wirken sich hier

entsprechend stark aus. Auch bewirkt die vergleichsweise geringe Bebauung entlang der Autobahn einen starken Anstieg der Interferenz, unter der Funkverbindungen leiden.

4.3.2.2 *Stadtstraßen*

Städtische Gebiete stellen hinsichtlich der Kommunikationsanforderungen in vielen Aspekten das Gegenteil von Autobahnen dar: der Verkehr fließt vergleichsweise langsam, die Straßenführung ist verwinkelt und Gebäude erschweren Sicht- und Kommunikationsbeziehungen. In zwei wesentlichen Aspekten sind sie jedoch Autobahnen sehr ähnlich: die infrastrukturelle Erschließung hinsichtlich Fahrbahnbelag und Markierungen sowie der verfügbaren Kommunikationsinfrastruktur ist nur selten eingeschränkt.

Städtische Gebiete stellen so besondere Herausforderungen und Chancen für Teleoperation dar, da sie in der Regel komplexere und dynamischere Umgebungen mit einer hohen Dichte an Fußgängern, Fahrzeugen und Gebäuden aufweisen. Die Navigation in städtischen Gebieten erfordert hochentwickelte Sensoren und fortschrittliche Algorithmen, um in oft dichtem Verkehr durch die komplexen Straßen der Stadt zu navigieren.

Im Gegensatz zu einer Autobahn gibt es hier wesentlich mehr Aspekte, die die drahtlose Kommunikation beeinflussen. Dazu gehören insbesondere Gebäude und weitere Hindernisse wie geparkte Fahrzeuge, Bäume oder andere störende Elemente.

Eine direkte Kommunikation zwischen zwei Verkehrsteilnehmenden ist nicht unbedingt gegeben. Entsprechend sind hier andere Kommunikationstechniken und -protokolle notwendig. Das Vorhandensein anderer Verkehrsteilnehmender neben einem Kraftfahrzeug erfordert zudem die Fähigkeit, besonders schnell und flexibel zu reagieren.

4.3.2.3 *Landstraßen*

Landstraßen bilden hinsichtlich ihrer Kommunikationsanforderungen nicht etwa, wie vielleicht zu vermuten wäre, das Mittel zwischen Stadtstraßen und Autobahnen.

Landstraßen stellen vielmehr neben Stadtstraßen und Autobahnen ein drittes Profil mit ganz eigenen Anforderungen dar.

Landstraßen sind gekennzeichnet durch komplexe Straßenführung (wenn auch weniger komplex als Stadtstraßen), viele Sicht- und Funkhindernisse und übersichtlichen Fahrsituationen, wie zum Beispiel Überholmanöver bei stark eingeschränkten Sensorbedingungen und/oder undefinierte Zufahrten. Auch ist das Geschwindigkeitsniveau höher als auf Stadtstraßen, doch sind die infrastrukturelle Erschließung sowie der Straßenzustand oft unzureichend (sowohl hinsichtlich Fahrbahnbelag und Markierungen als auch hinsichtlich der verfügbaren Kommunikationsinfrastruktur).

Im Detail werden im ländlichen Bereich vielfach Mobilfunkzellen mit größeren Abdeckungsbereich verwendet, bei welchem sich eine größere Anzahl von Netzwerkteilnehmenden die verfügbaren Kommunikationsressourcen teilen müssen. Dies führt dazu, dass die zu erwartende Datenrate pro Anwender sinkt, und dadurch teilweise die Latenz bei der Kommunikation durch Buffering-Effekte steigt. Weiterhin kann durch „Packet-Loss“ der erwartbare Jitter steigen, welcher auf die Qualität und Sicherheit der Teleoperation einen großen Einfluss haben kann.

Gerade in ländlichen Gebieten können jedoch autonome Fahrfunktionen, die durch Teleassistenz gestützt sind, die Realisierung von autonomen Bedarfsverkehren, ggf. auch in

kleineren Fahrzeugen, und mit dem Ziel der Herstellung lückenloser Mobilitätsketten frühzeitig ermöglichen.

4.3.3 Einsatzzwecke

Ähnlich wie der Einfluss des geplanten Einsatzorts der Teleoperation auf die Anforderungen hinsichtlich Kommunikation gibt auch der geplante Einsatzzweck stark unterschiedliche Anforderungen vor. Einige beispielhafte Einsatzzwecke der Teleoperation sind in Tabelle 8 zusammengefasst und werden im Folgenden kurz diskutiert.

Tabelle 8: Beispielhafte Einsatzzwecke der Teleoperation

	Transport von	Route	Komfort	Schnelligkeit	Planbarkeit	Einsatzort
Taxis	Personen	frei	wichtig	wichtig	unwichtig	Stadt/Land
Shuttles	Personen	fest	unwichtig	unwichtig	wichtig	Stadt/Land
Güternahverkehr	Gütern	frei	unwichtig	unwichtig	unwichtig	Stadt/Land
Güterfernverkehr	Gütern	fest	unwichtig	unwichtig	unwichtig	Autobahn
Erprobungsfahrten	nichts	fest	unwichtig	unwichtig	unwichtig	Stadt
Remote Hailing	nichts	frei	unwichtig	wichtig	unwichtig	Stadt
Remote Parking	nichts	frei	unwichtig	unwichtig	unwichtig	Stadt
Landwirtschaft	Gütern	fest	unwichtig	unwichtig	unwichtig	Land
Straßenbetriebsdienst	nichts	fest	unwichtig	wichtig	wichtig	Stadt, Land, Autobahn

4.3.3.1 Taxis

Taxis (hier: teleoperierte Taxis) dienen primär dem Personentransport in der Stadt. Sie folgen keinen festen Routen. Komfort, Flexibilität und kurze Reisezeiten sind die primären Ansprüche der Nutzenden an diesen Dienst.

4.3.3.2 *Shuttles*

Shuttles ähneln Taxis, transportieren die Mitfahrenden jedoch auf vorgegebenen Routen. Planbarkeit der Reisedauer spielt hier eine größere Rolle als kurze Reisezeiten.

4.3.3.3 *Güternahverkehr*

Güternahverkehr, Lieferverkehr auf der letzten Meile, ähnelt Shuttles, dient jedoch dem Transport von Waren statt Personen und hat dadurch noch geringere Anforderungen an Reisezeiten – im Fall multimodaler Lieferketten jedoch sehr wohl an Planbarkeit.

4.3.3.4 *Güterfernverkehr*

Güterfernverkehr hat durch die langen Strecken die wohl geringsten Anforderungen hinsichtlich Komforts, Reisezeit und Planbarkeit, wohl aber an die Zuverlässigkeit des Gesamtsystems.

4.3.3.5 *Werkverkehr*

Werkverkehr stellt geringere Anforderungen an Komfort und Reisezeit, jedoch sehr hohe Ansprüche an die Zuverlässigkeit.

4.3.3.6 *Erprobungsfahrten*

Noch geringere Anforderungen stellen Erprobungsfahrten neuer Fahrzeugklassen – etwa zur Homologation von autonomen Fahrzeugen – dar. Hier wird lediglich geschultes Bedienpersonal, das sonst als Begleitfahrende im Fahrzeug sitzen müsste, in den Leitstand verschoben.

4.3.3.7 *Remote Hailing und Parking*

Remote Hailing und Parking erweitert klassischen Personen-Individualverkehr um die Möglichkeit, das Fahrzeug nicht dort abstellen zu müssen, wo die eigene Fahrt beginnt oder endet. Vielmehr wird das Fahrzeug (hier: durch eine telefahrende/fernlenkende Person) von einem potenziell weiter entfernten Großparkplatz zum beziehungsweise vom Start- beziehungsweise Zielort verbracht. Entsprechend werden hier nur wenige Anforderungen an den Komfort während des Telefahrens/Fernlenkens gestellt (findet diese doch ohne Personen im Fahrzeug statt), doch stehen Aspekte wie hohe Planbarkeit stark im Vordergrund.

4.3.3.8 *Landwirtschaft*

Ferngesteuerte Fahrsysteme können auch in der Landwirtschaft eingesetzt werden, um Aufgaben wie Pflanzung, Bewässerung und Ernte sowie Erntetransporte zu automatisieren, die Effizienz zu steigern und den Bedarf an manueller Arbeit zu verringern. Ihr Anforderungsprofil entspricht weitgehend dem von Güterfernverkehr, doch müssen derartige Systeme vielerorts mit suboptimalen Einsatzbedingungen hinsichtlich nicht nur Sensorik, sondern auch hinsichtlich Netzabdeckung umgehen können.

4.3.3.9 *Straßenbetriebsdienst*

Autonom fahrende und telegefahrene/ferngelenkte Fahrsysteme können auch im Straßenbetriebsdienst, vorzugsweise auf Autobahnen, eingesetzt werden. Dies empfiehlt sich vor allem dort, wo Personen bei der Durchführung von Arbeiten bei der Straßenunterhaltung beziehungsweise beim Straßenbetrieb vor dem fließenden Verkehr geschützt werden müssen und es zielführend ist, wenn die zur Baustellensicherung eingesetzten Fahrzeuge ohne fahrende Person im Fahrzeug unterwegs sein sollen.

4.3.4 Messgrößen der Kommunikationstechnik

Die Anforderungen der Teleoperation an Kommunikation lassen sich in den üblichen Größen Datenrate, Goodput, Latenz, Jitter, Signalstärke, Signal to Noise and Interference Ratio (SNIR) und Quality of Experience (QoE) ausdrücken. Im Folgenden werden diese Größen kurz erläutert und auf deren Einfluss auf Teleoperation eingegangen.

4.3.4.1 Datenrate und Goodput

Datenrate bezeichnet die Geschwindigkeit, mit der digitale Daten vom und zum Fahrzeug übertragen werden können. Sie ist im Wesentlichen von der verwendeten Übertragungstechnik und der genutzten Bandbreite abhängig. Doch gibt die Datenrate keineswegs an, wie schnell tatsächlich Informationen ausgetauscht werden können. Die ausgetauschten digitalen Daten enthalten nicht nur Nutzdaten, das heißt die eigentlich zu übertragende Information, sondern oft auch zusätzliche Kontroll- und Steuerdaten. Auch die verwendete Übertragungstechnik an sich führt dazu, dass ein Teil der Datenrate nicht zur Übertragung von Information nutzbar ist. Zusätzlich machen es Störungen im Funkkanal oft nötig, Übertragungen zu wiederholen. Die Bezeichnung Goodput bezeichnet daher in Abgrenzung an die Datenrate die Geschwindigkeit, mit der tatsächlich Nutzdaten erfolgreich zwischen Quelle und Ziel übertragen werden, das heißt, mit der tatsächlich Informationen gesendet werden. Sie liegt oft deutlich, bei schlechten Bedingungen teilweise um eine Größenordnung, unter der Datenrate – oftmals erzielt gerade bei suboptimalen Bedingungen eine niedrigere Datenrate einen höheren Goodput.

Es ist daher essentiell, bei der Abschätzung erreichbarer Leistung nicht blind auf die technisch mögliche ("Brutto"-)Datenrate der eingesetzten Technologie, sondern situations- und ortsspezifisch den tatsächlich erreichbaren Goodput zu ermitteln.

Der erreichbare Goodput spielt eine zentrale Rolle in der Kommunikation mit teleoperierten Fahrzeugen. Davon ausgehend, dass Video- und Sensordaten vom Fahrzeug mit einer gewissen Updaterate bei der TOP vorliegen sollen, so gibt der Goodput direkt vor, wie umfangreich diese Daten sein können – etwa wie hoch aufgelöst das Videobild sein kann. Andersherum ausgehend von einer festen Auflösung des Videobildes, so gibt der Goodput unmittelbar vor, wie oft neue Bilder bei der telefahrenden/fernlenkenden Person vorliegen. Ein zu geringer Goodput würde also unmittelbar bedeuten, dass das Bild entweder unscharf oder nicht ruckelfrei dargestellt wird.

4.3.4.2 Latenz und Aol (Age of Information)

Latenz bezeichnet die Zeit, die vergeht, bevor Information von der Quelle zum Ziel gelangt. Sie wird durch zahlreiche Faktoren bestimmt. Ausschlaggebend ist hier aber nicht nur die Entfernung zwischen Quelle und Ziel – elektromagnetische Wellen breiten sich in Luft und in Kabeln nicht schneller als Lichtgeschwindigkeit aus (für typische Kabelverbindungen im Bereich von Millisekunden pro hundert Kilometer). Auch die eingesetzte Verarbeitungstechnik führt oft nur zu kurzen Verzögerungen. Im Fall geteilter Netzkapazität auf der Übertragungsstrecke aber auch in der Verarbeitungstechnik führt Mehrfachnutzung dagegen häufig zu erheblichen zusätzlichen Verzögerungen.

Ähnlich wie schon die Datenrate spielt die Latenz eine zentrale Rolle in der Kommunikation mit teleoperierten Fahrzeugen. Schließlich bestimmt sie, mit welcher Verzögerung einer TOP Informationen über das Geschehen am Fahrzeug zur Verfügung gestellt werden und mit welcher Verzögerung das Fahrzeug auf Kommandos der TOP reagieren kann. Eine

zu hohe Latenz würde also unmittelbar bedeuten, dass die telefahrende/fernlenkende Person Entscheidungen auf veralteten Informationen (z. B. die Distanz zu einem Fußgänger) basiert, beziehungsweise dass das Fahrzeug Steuerbefehle (z. B. einen Bremsbefehl) zu stark verzögert ausführt.

Die Messgröße „Age of Information“ (Aoi) ist eng mit der Latenz verwandt, fokussiert jedoch nicht auf die unmittelbare Verzögerung einzelner Datenpakete, sondern auf das Alter von Information an sich. Sie bildet so auch Effekte ab wie etwa, dass mehrere Informationsbruchteile, die nur gemeinsam Sinn ergeben, erst beide übertragen sein müssen – und im Fall verloren gegangener Bruchteile erst alle wiederholt sein müssen – bevor neue Information beim Ziel vorliegt. Andersherum trägt die (wenn auch schnelle) Übertragung veralteter oder redundanter Information nicht zu einer Senkung des Aoi bei. Diese Messgröße bildet damit Anwendungseffekte unmittelbarer ab.

4.3.4.3 Jitter

Jitter bezeichnet streng genommen eine Vielzahl von Maßen, die das Ausmaß der Schwankungen in der Latenz einer Übertragungsstrecke quantifizieren. Oftmals wird jedoch schlicht der Unterschied der Latenzen zweier aufeinanderfolgender Übertragungen als Jitter angegeben (IETF RFC 4689; Poretsky, S. et al., 2006). Jitter entsteht im Wesentlichen durch die zeitliche Veränderung der Faktoren, die die Latenz (siehe dort) beeinflussen; insbesondere schlechte Netzabdeckung, Paketverluste und Überlastung rufen daher extremen Jitter hervor.

Jitter spielt eine zentrale Rolle in der Kommunikation mit teleoperierten Fahrzeugen, da viele Algorithmen zwar relativ leicht Latenzen – selbst hohe Latenzen – kompensieren können, nicht jedoch unvorhergesehene Anstiege. Hoher Jitter bedeutet jedoch ohne weiteres Wissen genau solche unvorhergesehenen Anstiege der Latenz.

4.3.4.4 Signalstärke und Signal to Noise and Interference Ratio (SNIR)

Die Signalstärke bezeichnet den Leistungspegel eines drahtlosen Nutzsymbols, der an einem bestimmten Punkt im Raum gemessen wird. Sie wird in der Regel in Dezibel-Milliwatt (dBm) gemessen. Entscheidend für die Qualität des Telefahrens/Fernlenkens jedoch nicht unmittelbar die absolute Signalstärke, sondern vielmehr das Verhältnis der Leistungspegel von Nutzsymbols und den Pegeln von Störsymbolen und Rauschen, was als „Signal to Noise and Interference Ratio“ (SNIR) bezeichnet wird. Zu beachten ist hierbei, dass bei schlechter Kanaltrennung das Nutzsymbols eines Fahrzeugs gleichzeitig als Störsymbol aller anderen Fahrzeuge wirken kann. Eine reine Erhöhung der Sendeleistung am Sender oder eine Verdichtung der Infrastruktur erhöht dann zwar die Signalstärke eines einzelnen Empfängers, senkt jedoch die SNIR aller anderen Teilnehmenden.

Die Signalstärke und damit einhergehend die SNIR ist eine wichtige Kennzahl für die drahtlose Kommunikation, da sie einen erheblichen Einfluss auf die Qualität und Zuverlässigkeit der drahtlosen Kommunikation haben kann. Eine starke Signalstärke gewährleistet, dass die drahtlosen Geräte mit einer hohen Datenrate und einer niedrigen Fehlerrate kommunizieren können, während eine schwache Signalstärke eine schlechte Kommunikationsqualität, Paketverluste und damit einhergehend hohe Latenzen beziehungsweise hohen Jitter verursachen kann.

4.3.4.5 QoE (Quality of Experience)

Anders als die „physikalisch“ unmittelbar messbaren Größen Goodput, Latenz/Aoi, Jitter und SNIR bezeichnet der Begriff Quality of Experience (QoE) eine für die Anwendung und

die Nutzenden spezifische Größe für die Zufriedenheit, die sich aus den vorgenannten nur mittelbar ergibt.

Häufig erfordert ihre Ermittlung die Durchführung von Feldversuchen mit Probanden – teilweise auch mit dem Ziel, einen anwendungsspezifischen Zusammenhang zwischen den vorgenannten Größen und der QoE im Sinne einer "Umrechnungsformel" zu ermitteln.

Die QoE im Sinne der Zufriedenheit der Benutzenden ist insbesondere für neue Anwendungen wie Teleoperation damit nicht a priori aus Maßzahlen des Netzes abzuleiten, sondern erfordert Voruntersuchungen.

4.3.5 Maßnahmen zur Verbesserung der Messgrößen

Die theoretisch verfügbare Datenrate lässt sich durch den Einsatz fortschrittlicher Funktechnologien erhöhen, doch muss dazu oft proportional die Infrastruktur nachverdichtet beziehungsweise zusätzliche Kapazität im Kernnetz bereitgestellt werden.

Latenz (und damit Jitter) lässt sich mit Maßnahmen zur Wahrung der Dienstgüte (Quality of Service, QoS) reduzieren, die in Netzen mit geteilten Ressourcen wichtigeren Datenströmen höhere Priorität einräumen können. Dies umfasst zum Beispiel vorrangige Bearbeitung an Netzelementen, Überlasterkennung, dedizierte Kapazitäten nur für wichtige Datenströme (z. B. 5G-Netz-Slicing). All diesen ist jedoch gemein, dass derartige Kapazitäten natürlich bereitstehen müssen, das Netz also stärker ausgebaut ist als unmittelbar nötig. Zusätzlich kann die Latenz verringert werden, indem Paketfehler unwahrscheinlicher gemacht werden. Dies kann mit Hilfe von Vorwärtsfehlerkorrekturmaßnahmen (FEC, Forward Error Correction) vorgenommen werden, jedoch löst ein FEC-Verfahren auch erhöhten Ressourcenbedarf aus, da redundante Information in das Nutzsignal eingefügt werden. Somit ist die bedarfsgerechte Verwendung von FEC immer ein Kompromiss von der zu erwartenden Paketfehlerrate und dem verursachten Overhead durch die Redundanz-Informationen.

Die Signalstärke lässt sich unmittelbar durch Verringern der Distanz zwischen Sender und teleoperiertem Fahrzeug verbessern, zum Beispiel durch Verdichten der Infrastruktur oder Einsatz von Mesh-Networking-Techniken in WLAN oder 6G. Auch der Einsatz von neuen Verfahren zur Kommunikation, zum Beispiel Intelligent Reflecting Surfaces kann die Signalstärke verbessern.

All diese Maßnahmen zusammen sorgen dann für eine Verbesserung der Quality of Experience (QoE).

4.3.6 Konsequenzen

Wesentliche Konsequenzen aus den diskutierten Annahmen zu Einsatzorten, Einsatzzwecken, Messgrößen und Maßnahmen zur Verbesserung dieser sind:

Die konkreten Einsatzorte wie Autobahn, Stadt und Land weisen ein erheblich unterschiedliches Anforderungsprofil auf; das Land hat das wohl herausforderndste Profil.

Verschiedene Einsatzzwecke – von Taxis über Werkverkehr bis hin zur Landwirtschaft – tragen eine zusätzliche Dimension von sehr heterogenen Anforderungen bei.

Klassische Messgrößen können bei der Bewertung von Kommunikationstechnologien helfen, jedoch mit zahlreichen Einschränkungen: so gibt es erhebliche Unterschiede zwischen Theorie und Praxis möglicher Übertragungsgeschwindigkeiten und Latenzen sowie deren

Variabilität. Auch ist zum konkreten Zusammenhang von Messgrößen und Dienstgüte bisher nur wenig bekannt.

Zahlreiche Maßnahmen können die Eignung von Kommunikationstechnologien verbessern, jedoch sind fallweise Untersuchungen, die den konkreten Einsatzort und den konkreten Einsatzzweck Teleoperation abdecken, nötig.

4.3.7 Forschungsfragen zu Cluster 3

Wie hängen klassische Messgrößen wie Datenrate/Latenz/Jitter mit der Quality of Experience für die telefahrende/fernlenkende Person und/oder Nutzende zusammen?

#kurzfristig

Während in anderen Bereichen die Zusammenhänge zwischen klassischen Messgrößen und der daraus resultierenden Quality of Experience (QoE) gut erforscht sind, ist dies für Teleoperation noch nicht der Fall.

Dabei ist deutlich von der QoE für Mitfahrende im Fahrzeug und von der QoE für TOPs zu unterscheiden.

Wie viel Latenz/Jitter ist für ein vollständiges Kreuzprodukt von Telefahren/Fernlenken und Teleassistenz auf Autobahnen, Schnellstraßen und Stadtstraßen tolerierbar?

#kurzfristig

Es ist wahrscheinlich, dass die tolerierbare Latenz beziehungsweise der tolerierbare Jitter für verschiedene Fahrsituationen unterschiedlich ist. Das Ausmaß der Unterschiede ist noch nicht bekannt. Bei Autobahnfahrten (hohe Geschwindigkeit, lange Strecke, aber wenige Hindernisse und einfache Geometrie) und bei Fahrten in der Stadt (niedrige Geschwindigkeit und kurze Strecke, dafür aber viele Hindernisse und komplexe Geometrie) ist die tolerierbare Latenz/der tolerierbare Jitter wahrscheinlich anders als bei Landstraßenfahrten (hohe Geschwindigkeit und lange Strecke und gleichzeitig viele Hindernisse und komplexe Geometrie). Die Toleranzschwelle für Latenz/Jitter muss sowohl im Hinblick auf die QoE der TOPs als auch im Hinblick auf die Sicherheit des betriebenen Fahrzeugs erforscht werden.

Wie können Techniken zur Bestimmung der maximal tolerierbaren Latenz/Jitter entwickelt und validiert werden?

#kurzfristig

Da bei der Teleoperation auch der menschliche Faktor miteinbezogen werden muss, ist für die Bestimmung von maximal tolerierbaren Latenzen/Jitter im Kommunikationssystem eine empirische Evaluation (Schüler et al., 2022) unumgänglich. Unter Umständen kann das menschliche Gehirn mit gewissen Fehlinformationen (verursacht durch verspätetes Eintreffen von Datenpaketen) zu einem gewissen Grad umgehen beziehungsweise sogar diese Information zu gewissen teilen extrapolieren. Hier ist ein interdisziplinärer Umgang mit dieser Forschungsfrage wünschenswert.

Wie kann eine Fernsteuerung/-assistenz für Computersimulationen modelliert und simuliert werden?

#kurzfristig

Sehr gut erforscht ist bereits die Simulation von Aspekten des autonomen Fahrens sowie Aspekte der Kommunikation von Fahrzeugen untereinander oder miteinander. Das Verhalten des Gesamtsystems aus TOP, Funkstrecke und teleoperiertem Fahrzeug ist jedoch bisher nur in isolierten Simulationsumgebungen abgebildet. Grundpfeiler künftiger Forschung wären hier offene Simulationswerkzeuge des Gesamtsystems mit allgemein verfügbaren Eingangsdaten und Modellen von Fahrzeugdynamik, Verkehr, Steuerungssystemen und Mensch-Maschine-Schnittstelle(n). Ebenfalls nötig sind einheitliche Szenariendatenbanken zur Erforschung besonders typischer aber auch besonders außergewöhnlicher Fahrsituationen.

Kann das Konzept der ODDs auf die Anforderungen für die verfügbaren Kommunikationsdienste erweitert werden?

#kurzfristig

Das im Bereich des autonomen Fahrens gut etablierte Konzept der ODDs soll durch die Teleoperation erweitert werden, das heißt, durch den Einsatz von Teleoperation sollen gegebenenfalls Streckenabschnitte überbrückt werden, die die ODD-Anforderungen nicht erfüllen. Zur Umsetzung der Teleoperation ist dann aber wiederum insbesondere das Kriterium der angemessenen Verfügbarkeit von Mobilfunkdiensten zu erfüllen. Insofern ist zu hinterfragen, ob es nicht sinnvoll ist, spezifische Betriebsumgebungen, in denen das Teleoperieren möglich ist, unter Einbeziehung der oben genannten Qualitätsparameter der Netze, zu definieren. Welche quantitativen Anforderungen an die Teleoperation in Bezug auf Datendurchsatz, Latenz, Jitter etc. zu stellen sind, ist eine ungelöste Forschungsfrage. Die Überwachung der so festgelegten Qualitätsprofile der Netze führt zur nachfolgenden Forschungsfrage.

Mit welchen Qualitätssicherungsmaßnahmen kann die Leistungsfähigkeit der für die Teleoperation genutzten Netze kontinuierlich überwacht und für die Systembetreiber der Teleoperation bereit gestellt werden?

#kurzfristig

Die für die Teleoperation genutzten Netze unterliegen einer ständigen Weiterentwicklung beziehungsweise Veränderung, zum Beispiel durch Ausbaumaßnahmen, Technologieevolution etc.). Punktuelle Messungen der Mobilfunkqualität für eine zu befahrende Strecke sind daher nicht ausreichend, um einen Streckenabschnitt aus Sicht der Mobilfunknetzqualität für die Teleoperation zu qualifizieren. Vielmehr ist eine kontinuierliche und flächendeckende Erfassung des Zustands der Netze notwendig. Das im vom BMDV geförderten VIZIT-Projekt entwickelte Konzept „Data-Driven Digital Mobile Network Twin Enabling Mission-Critical Vehicular Applications“ (Schippers et al., 2023) illustriert beispielhaft die Umsetzung eines vollständigen Prozesses zur Bestimmung von Verkehrsbereichen, in denen die dort verfügbaren Mobilfunknetze in der Lage sind, die für eine sichere Teleoperation notwendigen Leistungsindikatoren wie Mindestdatenrate und maximale Latenz zu erfüllen. Der vorgestellte und beispielhaft erprobte Prozess beinhaltet zunächst die systematische passive und aktive Erfassung von Leistungsindikatoren der verfügbaren Mobilfunknetze unter Nutzung von regelmäßig verkehrenden Fahrzeugen (hier einer Flotte von

Abfallentsorgungsfahrzeugen). Die daraus abgeleitete Forschungsfrage ist, ob und wie ein solcher Ansatz für die Teleoperation genutzt werden könnte. Hierbei stellen sich Fragen nach den Methoden der Datensammlung und der flächendeckenden Skalierung eines entsprechenden Systems.

Wie können Versorgungslücken bei bestehenden Technologien (z. B. 3GPP) geschlossen werden, ohne die Leistung zu beeinträchtigen?

#mittelfristig

Mobile Broadband ist von Natur aus kein kontinuierlicher Dienst, sondern ein Dienst, der Versorgungslücken unterliegt. Dies gilt insbesondere für ländliche Gebiete, in denen Versorgungslücken – insbesondere bei Technologien mit hohem Datendurchsatz – häufig sind. Diese Versorgungslücken können durch den Einsatz von alternativen Technologien geschlossen werden. Mögliche Ansätze sind hier etwa Mesh-Netzwerke, die Fahrzeuge auch untereinander verbinden (wobei insbesondere der Kompromiss zwischen weniger Paketverlust und höherem Jitter sowie höherer Netzlast erforscht werden muss), die Einbeziehung von Satellitenkommunikation oder Multi-Technologie-Ansätze (Harden & Sommer, 2023).

Können Multi-Link-Ansätze zur Stabilisierung der Netzkonnektivität beitragen?

#mittelfristig

Die Aufrechterhaltung mehrerer redundanter drahtloser Verbindungen, die entweder dieselbe Technologie oder auch gezielt eine andere Kommunikationstechnologie verwenden, könnte bei kurzen Ausfällen und Lastverschiebungen helfen. Im Bereich der Teleoperation von Robotiksystemen zeigen aktuell Forschungsarbeiten (Gebauer et al., 2023) die grundsätzliche Machbarkeit von Multilinkprotokollen auch in heterogenen Funkumgebungen. Es besteht jedoch noch erheblicher weiterer Forschungsbedarf, dies für die erhöhten Anforderungen der Teleoperation im Straßenverkehr umzusetzen.

Wie lassen sich die drei möglichen Dimensionen von Handovern (Fernsteuerung/Unterstützung, horizontal von Basis zu Basis, vertikal technologieübergreifend) nutzen?

#mittelfristig

Während die Kombination von horizontalen und vertikalen Handovern in der Vergangenheit gut erforscht ist, kommt bei der Teleoperation eine zusätzliche Dimension hinzu: Der Wechsel des Fahrzeugs von kompletter Fernsteuerung zu einer lediglichen Unterstützung von autonomen Fähigkeiten des Fahrzeugs selbst.

Hängt die tolerierbare Latenz/der tolerierbare Jitter von der Genauigkeit/Auflösung des übertragenen Bildes ab? Kann diese Genauigkeit/Auflösung angepasst werden, um Latenz/Jitter zu kompensieren?

#mittelfristig

Es ist wahrscheinlich, dass die TOP stärker belastet werden, wenn sowohl die Latenzzeit/der Jitter hoch als auch die Genauigkeit/Auflösung des entfernten Bildes niedrig ist,

obwohl ein Ausweg darin bestehen könnte, die Genauigkeit/Auflösung des entfernten Bildes anzupassen – entweder zu reduzieren, um die Netzwerklast zu verringern, um die Latenz/den Jitter zu verbessern, oder zu erhöhen, um die mentale Belastung zu verringern.

Hängt die tolerierbare Latenz/der tolerierbare Jitter von der mikroskopischen Fahrsituation ab - und wenn ja, können wir dies vorhersagen?

#mittelfristig

Zusätzlich zu den makroskopischen Fahrsituationen (z. B. Autobahn, Landstraße, Stadt) ist es wahrscheinlich, dass mikroskopische Fahrsituationen (z. B. dichtes Auffahren, Überholen, komplexe Wendemanöver) unterschiedliche tolerierbare Latenzzeiten/Jitter aufweisen, wobei das Ausmaß dieser Unterschiede noch erforscht werden muss. Wenn die tolerierbare Latenzzeit/der tolerierbare Jitter tatsächlich von der mikroskopischen Fahrsituation abhängt, stellt sich die Frage, ob eine solche Situation vorhergesagt werden kann, so dass Maßnahmen ergriffen werden können, um entweder Ressourcen von einer Fahrsituation auf eine andere zu verlagern oder mehr Ressourcen speziell für die Bewältigung solcher mikroskopischen Fahrsituationen einzusetzen.

Wie können Latenz/Jitter durch Reservierung von Netzkapazitäten reduziert und/oder stabilisiert werden?

#mittelfristig

Viele Netze bieten die Möglichkeit, bestimmte Netzkapazitäten für bestimmte Anwendungen zu reservieren, zum Beispiel über Priorisierung über QoS-Klassen oder auch zukünftig über 5G Network Slicing. Mit der gezielten Entwicklung von Kommunikationsprotokollen lassen sich Reservierungs-Schemata für den Kanalzugriff und Netzkapazität bewerkstelligen. Dies lässt sich zu gewissen Teilen auch in Ad-Hoc basierten Netzwerken durchführen und erfordert nicht ausschließlich zelluläre Kommunikationssysteme (z. B. 5G). Erste Forschungsergebnisse (Overbeck et al., 2022) belegen die Machbarkeit von Network Slicing, jedoch besteht noch ein erheblicher Forschungsbedarf, um das Konzept des Network Slicing effizient flächendeckend für die Teleoperation umzusetzen.

Wie kann die Latenz beziehungsweise der Jitter durch zusätzliche Infrastrukturelemente reduziert beziehungsweise stabilisiert werden?

#mittelfristig

Bereits gut erforscht sind unmittelbare Verbesserungen der Kommunikationsverbindung wie zum Beispiel Verfahren für Modulation, Coding, FEC. Der Einfluss zusätzlicher Infrastrukturelemente auf die QoE von Teleoperation ist dagegen deutlich weniger gut erforscht. Solche Infrastrukturelemente könnten zum Beispiel Edge Clouds sein, die Prädiktions- und Pufferaufgaben übernehmen.

Wie kann QoE vorhergesagt werden?

#mittelfristig

Die Kenntnis der QoE auf einem bestimmten Straßenabschnitt im Voraus würde eine proaktive Anpassung der Fernsteuerung/Unterstützung ermöglichen, zum Beispiel durch Verringerung der Höchstgeschwindigkeit oder durch Umschalten von einer auf die andere Art. Es ist anzumerken, dass die spezifischen Lösungen vom Anwendungsfall und der Anwendung abhängen und eine Kombination dieser Lösungen erforderlich sein kann. Daher müssen die wichtigsten Messgrößen (z. B. Goodput, Latenz, Jitter, ...) ermittelt werden und deren Einfluss auf die QoE untersucht werden. Insbesondere muss jedoch auch ermittelt werden, zu welchem Grad sich das Verhalten der Messgrößen (und damit der QoE) auf bekannten wie unbekanntem Routen vorhersagen lässt, um Aussagen zur Verlässlichkeit der Teleoperation auf dieser Route treffen zu können. In Vorarbeiten (u. a. im vom BMDV geförderten Projekt VIZIT; (Schippers et al., 2023)) wurden erste Ergebnisse zu Methoden vorgestellt, Datendurchsatz und Latenz auf der Basis von passiv gemessenen Qualitätsindikatoren des Netzes vorherzusagen. Auch wenn die ersten Ergebnisse vielversprechend sind, besteht noch ein umfassender Forschungsbedarf, um die Vorhersagen spezifisch für die Anforderungen der Teleoperation mit hoher Zuverlässigkeit realisieren zu können.

Wie lassen sich Kommunikationsdaten sicher aufzeichnen und speichern (in einer Blackbox für die Unfallforschung)?

#langfristig

Sicherheitskritische Systeme werden oft zu Zwecken der Unfallforschung oder der Beweisführung mit einer Blackbox ausgestattet, die kontinuierlich und vor Änderungen geschützt das Verhalten wichtiger Komponenten aufzeichnet. Mit der Teleoperation ist nun der Aspekt der Off-Board-Kommunikation ein integraler Bestandteil des sicherheitskritischen Systems geworden. Daraus ergibt sich unmittelbar die Frage, wie sich wichtige Messgrößen des Funkkanals (z. B. Goodput, Latenz, Jitter, ...) zuverlässig und vor Manipulation geschützt zur Aufzeichnung ermitteln lassen. Noch weiter greift die Frage, ob sich Aussagen zum Grund einer Degradation einzelner Messgrößen treffen lassen.

Wie lassen sich die Ziele von Leistung und Sicherheit mit Schutzziele der Privatsphäre in Einklang bringen?

#langfristig

Bei zu später Betrachtung im Entwurfsprozess von Systemen stehen Schutzziele der Privatsphäre – etwa das der Nichtverfolgbarkeit von Bewegungen durch nicht-autorisierte Personen (Sommer, 2021) – von Nutzenden oft im direkten Widerspruch zu hoher Leistung oder hoher Sicherheit. Große Fortschritte wurden zu diesem Thema im Umfeld unmittelbarer Fahrzeug-Fahrzeug-Kommunikation gemacht. Nur wenig erforscht ist bisher allerdings die Übertragbarkeit dieser Lösungen in das Gebiet der Teleoperation.

4.4 Cluster 4: Fahreignung, Befähigung und personelle Anforderungen

Clusterleitung: Prof. Dr. Wolfgang Fastenmeier

Mitwirkende: Nicole Gräcman, Manuela Huetten, Viktor Oubaid

Das Kapitel zum Thema Fahreignung, Befähigung und personelle Anforderungen gliedert sich inhaltlich anhand der Aufgaben- und Anforderungsanalyse als Basis zur Bestimmung von Eignungs- und Befähigungsvoraussetzungen der Teleoperation, der Fahraufgabe, der Frage danach, welche Fahraufgaben es gibt, dem Modell der Informationsverarbeitung und der letztendlichen Darstellung offener Forschungsfragen dieses Themas. In Tabelle 9 werden alle clusterspezifischen Forschungsfragen anhand der inhaltlichen Unterkapitel gelistet. Zusätzlich sind die Forschungsfragen kapitelweise nach ihrer zeitlichen Priorisierung sortiert und weichen deshalb in ihrer Reihenfolge leicht vom textlichen Auftreten ab.

Tabelle 9: Forschungsfragen aus Cluster 4 inkl. Zuordnung zum Anwendungsfall und der zeitlichen Priorisierung

Nr.	Fall A	Fall B	Fall C	Verweis	Forschungsfrage	Zeitl. Priorität
1	☑	☑	☑	Aufgaben- und Anforderungsanalyse	Grundlegend: Wie sehen zumindest punktuell fahraufgabenbezogene Aufgaben- und Anforderungsanalysen für TOP aus?	k
2	☑	☑	☑	Aufgaben- und Anforderungsanalyse	Grundlegend: Welche arbeitsplatzbezogenen Qualifikationen und Eignungsmerkmale können aus der Aufgaben- und Anforderungsanalyse bezogen auf die Tätigkeit von TOP ermittelt werden?	k
3	☑	☑	☑	Aufgaben- und Anforderungsanalyse	Wie können Tätigkeitsprofile und „Rollen“ von der TOP definiert und ermittelt werden?	k
4	☑	☑	☑	Aufgaben- und Anforderungsanalyse	Welche Anforderungen sind an eine gegebenenfalls erforderliche Überprüfung ihrer Eignung, Befähigung und Zuverlässigkeit zu stellen (z. B. ärztliches und/oder medizinisch-psychologisches Eignungsgutachten)?	k

Nr.	Fall A	Fall B	Fall C	Verweis	Forschungsfrage	Zeitl. Priorität
5	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Aufgaben- und Anforderungsanalyse	Welcher Zeitraum zur wiederkehrenden Überprüfung von Eignung/Befähigung der TOP ist angemessen?	k
6	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Aufgaben- und Anforderungsanalyse	Welche Anforderungen sind hinsichtlich mitzubringender Qualifikationen zu stellen (Fahrerlaubnis, Fahrerfahrung)?	k
7	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Aufgaben- und Anforderungsanalyse	Welche Art/Form von Trainings wird benötigt (z. B. in Bezug auf Kenntnisse zum autonomen Fahren oder Übernahmen der Fahrzeugsteuerung)?	k
8	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Aufgaben- und Anforderungsanalyse	Welche Art/Form von fortlaufenden Trainings wird benötigt?	k
9	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Aufgaben- und Anforderungsanalyse	Welche mentalen Modelle bildet die TOP über Teleoperationsfunktionen? Wie können diese geformt werden?	k
10	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Aufgaben- und Anforderungsanalyse	Welche Art/Form von Prüfung wird benötigt (z. B. Fahrprobe o.ä.)?	k
11		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Aufgaben- und Anforderungsanalyse	Genügen vorläufig die Anforderungen an die physische und psychische Eignung, die für die Fahrerlizenzen der Gruppe 2 definiert sind, für telefahrende/fernlenkende Personen?	k
12	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Aufgaben- und Anforderungsanalyse	Wie unterscheiden sich die Anforderungen zwischen Teleassistenz und Telefahren/Fernlenken?	k
13	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Aufgaben- und Anforderungsanalyse	Wie unterscheiden sich Aufgaben und Anforderungen einer TOP zu denen einer fahrenden Person im Fahrzeug?	k
14	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Aufgaben- und Anforderungsanalyse	Welche Personenmerkmale und deren notwendige Intensität können anhand von empirischen Anforderungsprofilen für jede Rolle identifiziert werden?	k

Nr.	Fall A	Fall B	Fall C	Verweis	Forschungsfrage	Zeitl. Priorität
15	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Aufgaben- und Anforderungsanalyse	Welche diagnostischen Methoden können zur Beurteilung von Personen entlang der Anforderungsprofile abgeleitet werden?	k
16	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Aufgaben- und Anforderungsanalyse	Welche Grenzwerte können für jedes Personenmerkmal empfohlen werden, sodass eine tragfähige Prognose über die zukünftige Bewährung und Erfüllung der Anforderungen gewährleistet werden kann?	k
17	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Aufgaben- und Anforderungsanalyse	Wann gelten die Vorgaben für die Berufskraftfahrerausbildung beziehungsweise wann sollten sie gelten (ggf. mit welchen Besonderheiten)?	k
18	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Aufgaben- und Anforderungsanalyse	Unterscheiden sich die Anforderungen an die TOP je nach Fahrzeugklasse, insbesondere hinsichtlich der Befähigung? Sind die Anforderungen an Teleoperation insbesondere hinsichtlich der Befähigung von Bussen, Lkw und Pkw (ggf. auch Pkw mit Personenbeförderung und ohne) dieselben?	m-l
19	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Verhalten	Ist eine Überwachung der TOP (durch „Supervision“) erforderlich und wenn ja, welche Möglichkeiten gibt es, sowohl die physische und psychische „Ausgangslage“ als auch die situative/gegenwärtige Lage der TOP zu erkennen, und falls erforderlich, von außen einzugreifen?	k
20	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Verhalten	Wie kann sichergestellt werden, dass die Aufmerksamkeit bewusst auf die situativ relevanten Informationen gelenkt wird und die Aufmerksamkeit während der Tätigkeit auch erhalten bleibt?	k
21		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Verhalten	Weisen Telefahrende/Fernlenkende eine erhöhte Fehleranfälligkeit im Vergleich zu Fahrenden auf?	k

Nr.	Fall A	Fall B	Fall C	Verweis	Forschungsfrage	Zeitl. Priorität
22		☑	☑	Verhalten	Reagieren Telefahrende/Fernlenkende ebenso zuverlässig wie eine fahrende Person im Fahrzeug? Welche sicherheitsfördernden Persönlichkeitsfaktoren sind notwendig?	k
23		☑	☑	Verhalten	Wie kommunizieren TOPs mit schwächeren, nichtmotorisierten Verkehrsteilnehmenden?	k
24	☑	☑	☑	Latenzeinfluss	Welche Auswirkungen haben Latenzen auf die Leistung der TOP?	k
25	☑	☑	☑	Latenzeinfluss	Verändern Latenzen die adäquate Gefahrenwahrnehmung der TOP?	k
26		☑	☑	Latenzeinfluss	Bei welchen Latenzen kommt es zu Kinetosen/Pseudokinetosen bei der TOP?	k
27	☑	☑	☑	Räumliche Entkopplung	Führt die räumliche Entkopplung von der Fahraufgabe beziehungsweise vom Fahrzeug zu schlechteren Orientierungsleistungen der TOP?	m
28	☑	☑	☑	Räumliche Entkopplung	Führt die räumliche Entkopplung von der Fahraufgabe beziehungsweise vom Fahrzeug zu schlechterer Geschwindigkeits- und Abstandsschätzung der TOP?	m
29	☑	☑	☑	Räumliche Entkopplung	Führt die räumliche Entkopplung von der Fahraufgabe beziehungsweise vom Fahrzeug zu einem schlechteren Verständnis der Verkehrsumgebungsbedingungen?	m
30	☑	☑	☑	Räumliche Entkopplung	Führt die räumliche Entkopplung der TOP von der Fahraufgabe beziehungsweise vom Fahrzeug zu Out-of-the-Loop-Phänomenen?	m
31	☑	☑	☑	Situationsbewusstsein	Ist ein verringertes Situationsbewusstsein der TOP zu erwarten? Geht dies mit Reaktionsverzögerungen einher?	m
32		☑	☑	Aufgabenverschiebung	Welche Aufgaben der Fahrenden werden automatisiert, welche neuen Aufgaben	m

Nr.	Fall A	Fall B	Fall C	Verweis	Forschungsfrage	Zeitl. Priorität
					verbleiben bei TOPs und welche Aufgaben entstehen neu?	
33	☑	☑	☑	Aufgabenverschiebung	Welche Komplexität haben die Aufgaben der TOP und welche möglichen Fehlhandlungen ergeben sich evtl. durch die Komplexität der verbleibenden/neuen Aufgaben der TOP?	m
34	☑	☑	☑	Besondere Herausforderungen	Führt Mischverkehr zu erhöhten Anforderungen bei der TOP? Welche Folgen resultieren, wenn regelkonformes Verhalten der TOP auf regelwidriges oder informell durchgesetztes Fahrverhalten trifft?	m
35	☑	☑	☑	Besondere Herausforderungen	Welche psychophysischen Leistungsgrenzen bei der TOP müssen beachtet werden (z. B. hinsichtlich Schichtarbeit)?	m

Legende: Fall A: Teleassistenz, Fall B: fortwährendes Telefahren/Fernlenken, Fall C: Eventbasiertes Telefahren/Fernlenken. Die zeitliche Priorität ist mit k=kurzfristig, m=mittelfristig und l=langfristig gekennzeichnet.

4.4.1 Einleitung

Im vorliegenden Bericht wird als Basis zur Definition der Teleoperation der SAE-Standard J3016 herangezogen. Daraus werden zwei grundlegende Betriebsweisen abgeleitet, wie sie in Kapitel 1 dieses Dokuments beschrieben sind:

- Teleassistenz ($\hat{=}$ SAE J3016 Remote Assistance)
- Telefahren/Fernlenken ($\hat{=}$ SAE J3016 Remote Driving) mit den beiden Ausprägungen „Eventbasiertes Telefahren/Fernlenken“ und „Fortwährendes Telefahren/Fernlenken“.

Es ist davon auszugehen, dass sich Teleassistenz einerseits und Telefahren/Fernlenken andererseits hinsichtlich der Aufgaben, Anforderungen sowie möglicher kritischer Bereiche unterscheiden werden. Im Mittelpunkt der Betrachtung steht im vorliegenden Kapitel das Telefahren/Fernlenken als bisher nur unzureichend beschriebener Anwendungsfall. Für Teleassistenz bestehen dagegen bereits rechtliche Vorgaben. Im folgenden Text wird bei Bedarf auf Unterschiede zwischen den beiden Betriebsweisen Teleassistenz und Telefahren/Fernlenken hingewiesen.

4.4.2 Aufgaben- und Anforderungsanalyse

Ziel dieser Analyse ist es, zunächst eine Basis zur Bestimmung von Eignungs- und Befähigungsvoraussetzungen der Teleoperation zu schaffen. Bislang ist das konkrete Tätigkeitsfeld der Teleoperation mit vermutlich unterschiedlichen Aufgabenbereichen beziehungsweise „Rollen“ nur unzureichend beschrieben. Es lässt offen, welche Verantwortlichkeiten einer TOP zugewiesen werden, welche Aufgaben konkret übernommen werden sollen und damit auch mit welcher Aufgabenkomplexität eine TOP konfrontiert sein wird. Die telefahrende Person sitzt zwar nicht im Fahrzeug, sie kann aber dennoch Fahrzeugführungsaufgaben ausführen; eine teleassistierende Person sitzt zwar nicht im Fahrzeug, sie kann aber entscheidungsrelevante Informationen an das autonome Fahrzeug geben. Deshalb gibt es für die Teleoperation zwei Stränge der Aufgaben- und Anforderungsanalyse:

- Fahraufgabenbezogen
- Arbeitsplatzbezogen

Das Führen eines Kraftfahrzeuges stellt eine Tätigkeit dar, die in den Verkehrs- und Arbeitswissenschaften als Arbeit verstanden wird. Dies gilt gleichermaßen für Berufskraftfahrende wie für alle anderen Kraftfahrzeugführenden, die sich im Straßenverkehr bewegen. Sowohl Fahrverhalten als auch Arbeitsverhalten können als Leistung unter spezifischen situativen Bedingungen betrachtet werden. Begriffe wie Arbeitsaufgaben, Anforderungen, Arbeitsumgebung, verfügbare Arbeitsmittel sind für das Führen eines Kraftfahrzeuges ebenso gültig wie für jeden anderen Arbeitsplatz. Darunter fällt also auch das Telefahren/Fernlenken.

4.4.2.1 Die Fahraufgabe

Verkehr spielt sich in einem komplexen System mit den Komponenten Verkehrslenkung, Verkehrssituation, Verkehrsteilnehmenden und Fahrzeugen ab. Aus verhaltenswissenschaftlicher Sicht muss darin die *Aufgabe des Menschen als fahrende Person im Straßenverkehr*, kurz die „Fahraufgabe“ im Rahmen des sicheren Transports von Menschen modelliert werden. Sie sollte in kleineren Einheiten analysiert werden, die wir als Mensch-Maschine-System (MMS) „Fahrende-Fahrzeug-Straße“ bezeichnen. In diesem Zusammenhang erfreut sich in den Verkehrswissenschaften das hierarchische 3-Ebenen-Modell des Führens von Kraftfahrzeugen großer Wertschätzung (Abbildung 10).

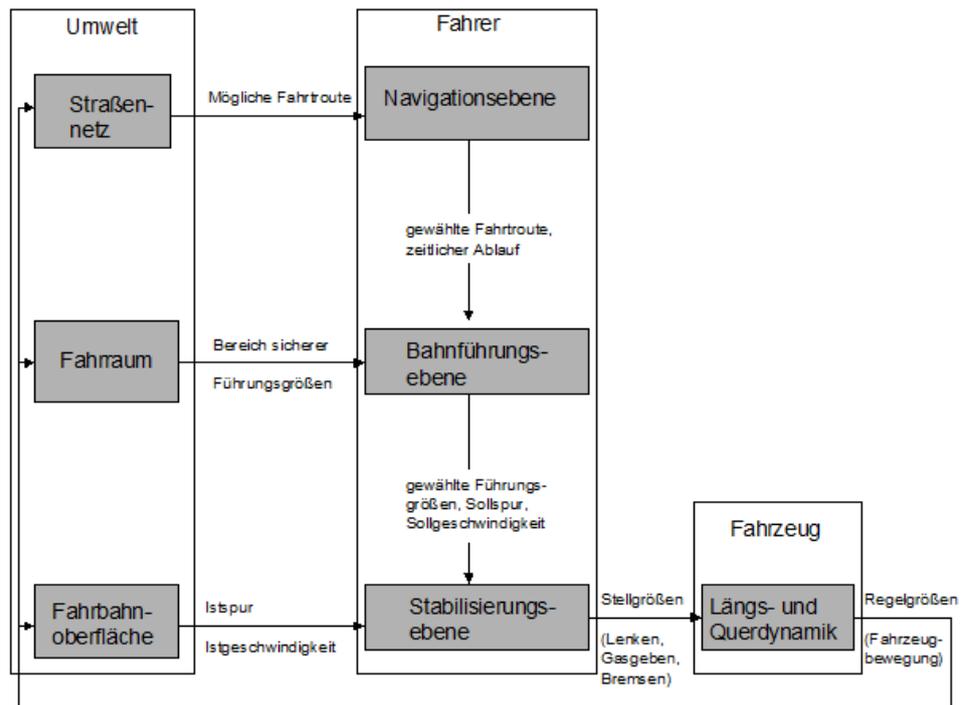


Abbildung 10: Hierarchisches 3-Ebenen-Modell der Fahraufgabe (grundlegend nach Allen et al., 1971, beziehungsweise Alexander & Lunenfeld, 1979; hier in der Darstellung von Gstalter, 1988).

Dabei bilden Navigation, Bahnführung und Stabilisierung in hierarchischer Stufenleiter die typischen Anforderungsformen der Fahraufgabe, denen auf der Bewältigungsseite der Fahrzeugführung die Organisation, Koordination und Regelung gegenüberstehen. Auf Grundlage dieses heuristischen 3-Ebenen-Modells abstrakt formuliert: Die Fahrenden wählen sich eine Route aus dem Verkehrsnetz aus und versuchen auf dieser Route ihr Fahrziel zu erreichen. Sie erledigen auf dieser Ebene also eine Navigationsaufgabe. Auf der Bahnführungsebene orientieren sie sich im engeren Fahrraum. Dabei wählen sie Manöver aus, die der übergeordneten Navigationsebene entsprechen, und führen diese Manöver durch (Beispiel: fahrende Person biegt am nächsten Knotenpunkt links ab). Zur konkreten Realisierung dieser Manöver sind Sollfahrstreifen und Sollgeschwindigkeit hinreichend genau zu wählen und durch geeignete fertigkeitbasierte Operationen (Lenken, Pedalbedienung) als Stellgrößen an das Fahrzeug zu übermitteln. Dieser Teil der Fahrzeugführung wird als Stabilisierung bezeichnet.

Jede dieser drei Fahraufgabenebenen besitzt verschiedene Zeithorizonte und auch unterschiedliche Prioritäten etwa für die Informationsdarbietung, die zur Fahraufgabenerfüllung befriedigt werden müssen. Probleme auf einer Ebene haben unter Umständen Einfluss auf Entscheidungen auf der nächsthöheren Ebene, zum Beispiel beeinflussen Schwierigkeiten bei der Spurhaltung Entscheidungsprozesse beim Überholen, oder dichter Verkehr führt zu einer anderen Routenwahl, um den Bestimmungsort zu erreichen. Umgekehrt gilt das Gleiche: Entscheidungen auf höherer Aufgabenebene beeinflussen die darunter liegenden Ebenen. Wenn zum Beispiel Zeitdruck besteht, einen bestimmten Zielort zu erreichen, bedeutet das, mehr Überholmanöver zu versuchen; gleichzeitig werden höhere Anforderungen an das Steuerverhalten während solcher Manöver gestellt.

Aus der Fahraufgabe entstehen für die Fahrenden *Anforderungen*. Angefordert werden mentale und psychomotorische Leistungen, mit denen die jeweiligen Fahraufgaben bewältigt werden können. Anforderungen sind *Soll-Werte*, denen mit einem gewissen Handlungsspielraum genügt werden kann, die aber zur Aufrechterhaltung eines angemessenen Sicherheitsstandards nicht unterschritten werden dürfen. Aus der Wechselbeziehung zwischen der Fahraufgabe und den Leistungsmöglichkeiten der *geeigneten und befähigten* Fahrenden resultiert ein *anforderungsgerechtes* Verhalten (Darstellung in diesen Abschnitten in Anlehnung an Fastenmeier (1995) sowie Fastenmeier et al. (2023)).

Eignung und Befähigung umfassen verkehrsmedizinische, verkehrspsychologische und pädagogisch/didaktische Aspekte. Geeignet zum Führen von Kraftfahrzeugen ist, wer die dafür notwendigen geistigen, charakterlichen und körperlichen Anforderungen erfüllt. Erforderlich sind also jeweils zu definierende physische und psychische Fähigkeiten (z. B. in Bezug auf das Sehvermögen oder bestimmte Aufmerksamkeitsfunktionen), die für die Eignung zur Fahrzeugführung unabdingbar sind. Die Befähigung umfasst theoretische und praktische Anteile, wie sie zum Beispiel in der Fahrausbildung vermittelt, aber auch durch Erfahrung weiterentwickelt und vertieft werden. Hierzu zählen unter anderem Kenntnisse der entsprechenden Vorschriften, technische Kenntnisse sowie die Bedienung und Beherrschung des Fahrzeugs unter verschiedenen Bedingungen.

4.4.2.2 Welche Fahraufgaben gibt es?

Die aktuelle Darstellung bezieht sich auf Fastenmeier et al. (2023). Wird ausgegangen vom 3-Ebenen Modell der Fahraufgabe, dann können die Navigations- und die Stabilisierungsaufgaben zu einer „*Grundfahraufgabe*“ zusammengefasst werden: In allen Situationen einer Fahrt sind diese Teilaufgaben zu bewältigen und somit als eine Daueraufgabe anzusehen, die jeweils situationsspezifisch „überformt“ ist, d. h. in jedem Fahrtabschnitt situativ zu präzisieren ist.

Kurzcharakteristik Grundfahraufgabe:

- Navigationsebene: Erreichen eines definierten Zieles im Verkehrsnetz und Übersetzung in geeignete Bahnführung, also auch inklusive Fahrstreifenwahl und evtl. -wechsel.
- Stabilisierungsebene: Erkennen und Einhalten von Sollfahrstreifen und Sollgeschwindigkeit (inkl. Horizontal- und Vertikalverlauf).

Weitere Daueraufgaben:

- Kontrolle des Fahrzeugzustandes, evtl. Reaktion auf fahrzeugseitige Anzeigen/Meldungen

- Kontrolle des Eigenzustandes (z. B. Müdigkeit)
- Steuerung der selektiven Aufmerksamkeit:
 - zur visuellen Kontrolle des Fahrkorridors inkl. Gegenverkehr;
 - Suche nach möglichen Gefahren;
 - Sichern nach hinten;
 - Kontrolle der Verkehrsregelung;
 - Beachten und Einhalten von Vorschriften;
 - Ignorieren von Ablenkungen.

Alle anderen Fahraufgaben gehören auf die *situative Ebene* (Bahnführungs- oder Manöverbene), d. h. für ihre Beschreibung sind die Merkmale der Verkehrssituationen entscheidend. Dabei wird in ähnlicher Weise wie bei McKnight und Adams (1970a) und McKnight und Adams (1970b) nach Aufgaben im Längsverkehr („tasks related to traffic conditions“) und Aufgaben in Knotenpunkten („tasks related to roadway characteristics“) unterschieden. Diese situativen Merkmale sind im *Längsverkehr* (kreuzungsfreien Verkehr) in erster Linie die anderen Fahrzeuge, also deren zeitlich-räumliche Konstellation um das betrachtete Fahrzeug herum. Im Verkehrsablauf an *Knotenpunkten* verhält es sich anders; hier wird die jeweilige Aufgabe stärker durch situative Merkmale der Verkehrsanlagen und die Art der Verkehrsregelung (sowie weitere Parameter des Betriebsablaufes) bestimmt als durch die aktuelle Fahrzeugkonstellation.

Es gibt weitere Fahraufgaben, die aus verschiedenen Gründen nicht zu der Trennung Längsverkehr vs. Kreuzung passen. Es handelt sich dabei entweder um „Sondersituationen“ oder um Aufgaben, die jeweils optional mit den Aufgaben im Längsverkehr beziehungsweise kreuzenden Verkehr mitgedacht beziehungsweise mitmodelliert werden können. Es ist zu prüfen, welche dieser weiteren Fahraufgaben relevant für die Teleoperation sind.

Liste 1: Fahraufgaben mit querendem Verkehr außerhalb von Kreuzungen

- Bahnübergänge
- Furten und Querungshilfen für zu Fußgehende
- Kleine Einmündungen, Einfahrten, Feldwege

Liste 2: Befahren von besonderen Streckenabschnitten

- Brücken
- Tunnels
- Parkhäuser
- Fähren, Züge
- Zahlstellen, Grenzkontrollen
- Starkes Gefälle, starke Steigungen
- Baustellen
- Fahrstreifenverengungen, Reißverschluss

Liste 3: Sondersituationen

- Einsatzwagen
- Unfälle
- Plötzliche Hindernisse
- Pannen
- Wenden
- Rückwärtsfahren
- Ein- und Ausparken

Liste 4: Fahren bei besonderen Sichtverhältnissen und Fahrbahnverhältnissen

- Nachtfahrten
- Fahrten im dichten Nebel
- Schneeglätte
- Glatteis
- Fahrten in starkem Regen

4.4.3 Modell der Informationsverarbeitung

Eine Aufgaben- und Anforderungsanalyse kommt nicht ohne eine Modellvorstellung zu den Informationsverarbeitungsprozessen aus, die bei Fahrenden während der Bewältigung der Fahraufgabe eine Rolle spielen. Ohne ein solches Modell wäre die Auswahl von Anforderungsgruppen willkürlich und könnte nicht auf Vollständigkeit geprüft werden (Abbildung 11).

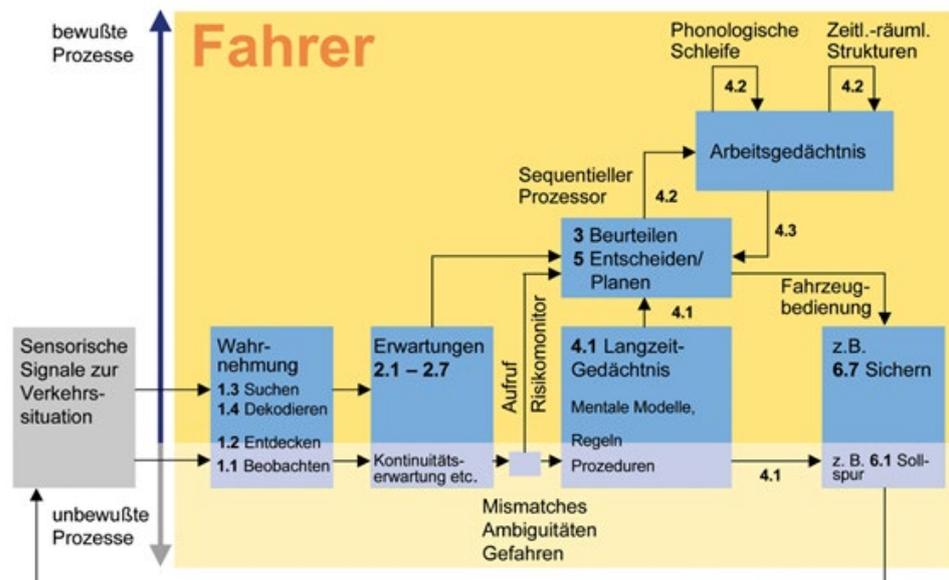


Abbildung 11: Informationsverarbeitungsmodell zur Ableitung von Anforderungen aus der Fahraufgabe aus Fastenmeier und Gstalter (2003) und Fastenmeier und Gstalter (2007) modifiziert nach Rasmussen (1986); die Zahlen in den Kästen beziehen sich auf die jeweiligen Kapitel einer Aufgaben- und Anforderungsanalyse mit SAFE (Fastenmeier & Gstalter, 2003, 2007).

Als grundlegendes Ausgangsmodell menschlicher Informationsverarbeitung dient ein Modell von Rasmussen (1986). Das Modell hat sich in verschiedenen Anwendungsgebieten der Ingenieurpsychologie als heuristisch fruchtbar erwiesen. Für den Zweck der Anforderungsanalyse liefert es einerseits die gewünschten Gruppen von psychischen Anforderungen, die die einzelnen Kapitel der Anforderungsanalyse strukturieren. Andererseits verdeutlicht es die Zusammenhänge zwischen diesen Strukturen, aus denen sich ebenfalls Anforderungen an die Fahrtätigkeit ableiten lassen. Sehr wichtig für diesen Anwendungszusammenhang ist auch die durchgängige Trennung von kontrollierten (bewussten) und automatisierten Verarbeitungsprozessen, die bei jeder einzelnen Anforderung berücksichtigt werden sollte.

Modifiziert wurde das Modell in zweierlei Hinsicht. Erstens sind Strukturen entfallen, die zu längerfristigen Veränderungen führen und nicht so sehr zur situativen Analyse passen. Dafür wurde eine Rückkoppelungsschleife eingeführt, die zeigen soll, wie das Fahrhandeln die zu bewältigende Situation mit schafft, die dann wieder als Eingangsgröße in das Modell zurückführt. Dadurch wird berücksichtigt, dass es sich um ein System aus fahrender Person, Fahrzeug und dessen Umgebung handelt.

Im Unterschied zu anderen Modellen der Informationsverarbeitung, die in die Ingenieurpsychologie Eingang gefunden haben (z. B. Wickens et al., 2022), aber in Übereinstimmung mit gängiger theoretischer und empirischer Erkenntnis geht das dargestellte Modell von zwei unterscheidbaren Verarbeitungssystemen aus. Das System der bewussten, kontrollierten Informationsverarbeitung ist durch einen sequentiell arbeitenden Prozessor begrenzter Kapazität gekennzeichnet, der die Informationsverarbeitung vor allem in solchen Situationen bestimmt, die logisches Denken, Symbolverarbeitung, Entscheidungen und Beurteilungsleistungen verlangen. Dieses System steuert und überwacht das zweite, im Modell unten angesiedelte Teilsystem. Dieses automatisierte System ist als verteiltes, parallel arbeitendes System konzipiert. Es leistet auf der Basis von Wahrnehmungsinhalten und einem „internen Weltmodell“ (so die Bezeichnung bei Rasmussen, 1986; in dieser Version im Langzeitgedächtnis angesiedelt) eine kontinuierliche dynamische Simulation der Umgebung und der eigenen Situation darin. Im Zusammenspiel mit verschiedenen Koordinationsfunktionen des motorischen Systems, das als integraler Bestandteil des verteilten Prozessors angesehen wird, werden so auf die Umgebung abgestimmte Bewegungen und Handlungen ermöglicht. Während die in diesem System ablaufenden Prozesse selbst nicht bewusst werden, können die Verarbeitungsergebnisse in gewissem Umfang durch das erste System überwacht und kontrolliert werden. Alle Gruppen von fahraufgabenbezogenen Anforderungen können diesem Modell zugeordnet werden.

4.4.4 Forschungsfragen zu Cluster 4

4.4.4.1 Aufgaben- und Anforderungsanalyse

Grundlegend: Wie sehen zumindest punktuell Aufgaben- und Anforderungsanalysen für TOP aus? Welche arbeitsplatzbezogenen Qualifikationen und Eignungsmerkmale können aus der Aufgaben- und Anforderungsanalyse bezogen auf die Tätigkeit von TOP ermittelt werden? Wie können Tätigkeitsprofile und „Rollen“ von der TOP definiert und ermittelt werden?

#kurzfristig

Die Tätigkeitsprofile der TOP müssen einer arbeitsplatzbezogenen (z. B. auf den Leitstand bezogenen) Aufgaben- und Anforderungsanalyse unterzogen werden, woraus sich nachvollziehbar anforderungsbezogene Qualifikationen/Eignungsmerkmale sowie im Weiteren auch Trainings- und Unterstützungsmaßnahmen ableiten lassen. Zu diesem Zweck können etablierte Arbeitsanalyseverfahren eingesetzt werden.

Fahraufgabenbezogene Aufgaben- und Anforderungsanalysen sollten zumindest punktuell für als kritisch einzustufende Bereiche durchgeführt werden. Die Umsetzung könnte entweder mit Hilfe beziehungsweise in Anlehnung an existierende Verfahren erfolgen (z. B. SAFe, Fastenmeier & Gstalter, 2007). Alternativ wäre auch ein auf den Verkehr adaptiertes arbeitsplatzbezogenes Arbeitsanalyseverfahren oder ein speziell für TOP entwickeltes Verfahren denkbar.

Welche Anforderungen sind an eine gegebenenfalls erforderliche Überprüfung ihrer Eignung, Befähigung und Zuverlässigkeit zu stellen (z. B. ärztliches und/oder medizinisch-psychologisches Eignungsgutachten, polizeiliches Führungszeugnis, Auszug aus dem Fahreignungsregister)? Welcher Zeitraum zur wiederkehrenden Überprüfung von Eignung/Befähigung der TOP ist angemessen?

#kurzfristig

Welche Anforderungen sind hinsichtlich mitzubringender Qualifikationen zu stellen (Fahrerlaubnis, Fahrerfahrung)?

#kurzfristig

Welche Art/Form von Trainings wird benötigt (z. B. in Bezug auf Kenntnisse zum autonomen Fahren oder Übernahmen der Fahrzeugsteuerung)? Welche Art/Form von fortlaufenden Trainings wird benötigt? Welche mentalen Modelle bildet die TOP über Systemfunktionen? Wie können diese geformt werden?

#kurzfristig

Trainings- und Qualifizierungsmaßnahmen erscheinen sowohl zu Beginn der Tätigkeit als TOP als auch periodisch wiederkehrend sinnvoll, zum Beispiel Training im Bereich autonomes Fahren (für Teleassistenten) beziehungsweise Training von Übernahmeprozessen (für teleführende/fernlenkende Personen).

Welche Art/Form von Prüfung wird benötigt (z. B. Fahrprobe o.ä.)?

#kurzfristig

Ein ergänzender Einsatz von Arbeits- und Fahrproben zur Überprüfung der Eignung erscheint sinnvoll.

Womit lässt sich das Tätigkeitsfeld der TOP vergleichen (Fahrerlaubnis Gruppe 2, Berufskraftfahrende, Fluglotsen, Drohnenpilotinnen oder -piloten, Triebfahrzeugführende etc...), um einen ersten Anhaltspunkt zu Eignungsvoraussetzungen zu haben? Sind solche Vergleiche überhaupt sinnvoll? Wie unterscheiden sich die Anforderungen zwischen Teleassistenten und Teleführen/Fernlenken?

#kurzfristig

Ein Transfer aus dem Bereich der Triebfahrzeugführenden scheidet eher aus, da schienengebundener Verkehr mit geringen Freiheitsgraden und geringer situativer Varianz verbunden ist. Ähnlich ließe sich zu Flugpilotinnen und -piloten argumentieren. Auf den ersten Blick naheliegender erscheinen Fluglotsen und Drohnenpilotinnen und -piloten. Aber auch hier gibt es erhebliche Unterschiede zur (wie auch immer gearteten) Fahrzeugführung im Straßenverkehr: Die TOP weist durch die Teilnahme am beziehungsweise Involviertheit im öffentlichen Verkehr eine deutlich höhere situative Varianz auf, besitzt kürzere Distanzen zu anderen Verkehrsteilnehmenden, hat geringere Zeitintervalle zum Entscheiden und Handeln und ggfs. fehlt ein menschlicher Kommunikations- und Kooperationspartner vor Ort.

Vorläufig erscheint demnach die Orientierung an der Fahrzeugführung sinnvoll: Annahme der Leistungsvoraussetzungen zur Erlangung der Fahrerlaubnis nach Gruppe 2 für Teleführende/Fernlenkende.

Sofern ein Bewerber die Ersterteilung oder Verlängerung einer Fahrerlaubnis zur Beförderung Mitreisender anstrebt, müssen besondere Anforderungen hinsichtlich Belastbarkeit, Orientierungsleistung, Konzentrationsleistung, Aufmerksamkeitsleistung und Reaktionsfähigkeit erfüllt sein. Neben diesen Anforderungen an die psychofunktionale Leistungsfähigkeit kommen die Aspekte gesundheitliche Konstitution und persönliche Zuverlässigkeit dazu.

In Anforderungsanalysen in sicherheitskritischen Arbeitsfeldern (Luftfahrt, Medizin etc.) erweist sich die Regelerorientierung (=Bereitschaft nach Regeln und in Strukturen zu arbeiten) immer wieder als sehr bedeutsame Persönlichkeitseigenschaft (Oubaid & Graefe zu Baringdorf, 2014; Oubaid, 2019; Oubaid & Anheuser, 2020).

Die Regelerorientierung ist deshalb von großer Bedeutung für Operierende/Beteiligte in Verkehrssystemen, da bereits die Arbeitssituation durch ihre (technische) Gestaltung den Spielraum für den Menschen vorgibt. Effektives und effizientes Verhalten des Menschen kann also nur innerhalb dieser Vorgaben stattfinden. Das menschliche Verhalten wird seinerseits durch die Ausprägung von Persönlichkeitseigenschaften und Leistungsfähigkeiten maßgeblich bestimmt. Es ist also von erheblicher Bedeutung, Personen mit den „passenden“ Persönlichkeitseigenschaften und Leistungspotenzialen zu identifizieren.

Da die Anforderungsanalysen für andere Tätigkeitsbereiche erstellt wurden, besteht Forschungsbedarf hinsichtlich der Thematik der Teleoperation. In den relevanten Verordnungen wird der Begriff der „charakterlichen Zuverlässigkeit“ verwendet, welcher in psychologische Merkmale und psychodiagnostische Messungen übersetzt werden muss, sodass letztlich anhand von solchen Messergebnissen festgestellt werden kann, ob charakterliche Zuverlässigkeit im Einzelfall gegeben ist.

Der Forschungsbedarf besteht hier mindestens aus folgenden Unterfragen:

Wie unterscheiden sich Aufgaben- und Anforderungen einer TOP von denen einer fahrenden Person im Fahrzeug?

Welche Personenmerkmale und deren notwendige Intensität können anhand von empirischen Anforderungsprofilen für jede Rolle identifiziert werden?

Welche diagnostischen Methoden können zur Beurteilung von Personen entlang der Anforderungsprofile abgeleitet werden?

Welche Grenzwerte können für jedes Personenmerkmal empfohlen werden, sodass eine tragfähige Prognose über die zukünftige Bewährung und Erfüllung der Anforderungen gewährleistet werden kann?

Wann gelten die Vorgaben für die Berufskraftfahrerausbildung beziehungsweise wann sollten sie gelten (ggf. mit welchen Besonderheiten)?

#kurzfristig

4.4.4.2 Verhalten

Ist eine Überwachung („Supervision“) der TOP erforderlich und wenn ja, welche Möglichkeiten gibt es, sowohl die physische und psychische „Ausgangslage“ als auch die situative/gegenwärtige Lage der telefahrenden Person zu erkennen, und falls erforderlich, von außen einzugreifen?

#kurzfristig

Wie kann sichergestellt werden, dass die Aufmerksamkeit bewusst auf die situativ relevanten Informationen gelenkt wird und die Aufmerksamkeit während der Tätigkeit auch erhalten bleibt?

#kurzfristig

Kann ein Gleichklang zwischen der telefahrenden/fernlenkenden Person und Fahrenden in einem Fahrzeug erreicht werden? Dies betrifft folgende Unterfragen:

#kurzfristig

Weisen Telefahrende/Fernlenkende eine erhöhte Fehleranfälligkeit im Vergleich zu Fahrenden auf?

Reagieren Telefahrende/Fernlenkende ebenso zuverlässig wie eine fahrende Person im Fahrzeug? Welche sicherheitsfördernden Persönlichkeitsfaktoren sind notwendig?

Wie kommunizieren TOPs mit schwächeren, nichtmotorisierten Verkehrsteilnehmenden?

4.4.4.3 Latenzeinfluss

Welche Auswirkungen haben Latenzen auf die Leistung der TOP? Verändern Latenzen die adäquate Gefahrenwahrnehmung der TOP? Bei welchen Latenzen kommt es zu Kinetosen/Pseudokinetosen bei der TOP?

#kurzfristig

Die räumliche Entkoppelung der TOP von der Fahraufgabe beziehungsweise vom Fahrzeug in Kombination mit der tendenziell fehleranfälligen technischen Kommunikation kann zu erschwerter oder reduzierter Informationsaufnahme sowie zu Latenz zwischen Handlung und Rückmeldungen für die TOP führen. Inwieweit beispielsweise die bisher verfügbaren technischen Lösungen den dynamischen Prozess der menschlichen Gefahrenwahrnehmung und -vermeidung auf allen Entfernungsstufen, Sichtachsen von Fahrenden und damit verknüpften Fixationsverläufen adäquat simulieren können, ist bislang nicht belegt (Dix et al., 2021). Die in vielen Aspekten reduzierten Informationen, die einer TOP bereitgestellt werden können, bergen zudem das Risiko eines fehlenden Embodiments, d. h. die

TOP wird die Bedeutung ihrer Handlungen ähnlich wie in einem Computerspiel nicht fühlen können (Mutzenich et al., 2021). Dies kann mit einem reduzierten Verantwortungsgefühl einhergehen, vor allem aber zu Missverständnissen durch Fehleinschätzung der Bedeutung einzelner Informationen führen. Beispielsweise wird Bewegungswahrnehmung durch die Limitierung auf durch Kameras erfasste visuelle Informationen kombiniert mit abstrakten Parametern wie Geschwindigkeitsangaben bedeutsam erschwert. Auch kann eine fehlende Rückmeldung über akustische Informationen aus der Umwelt – ähnlich wie bei zu lauter Musik für Fahrende im Fahrzeug – zum Übersehen relevanter Informationen führen (Dix et al., 2021). Ein weiteres Problem, das vor allem im Zusammenhang mit Latenzeinflüssen steht, sind Kinetosen (Fehlableich zwischen Vestibularorgan und Seheindruck) sowie Widersprüche in der Sinneswahrnehmung (z. B. visueller Bewegungseindruck ohne tatsächliche Bewegung/Pseudokinetosen), in diesem Kontext auch Motionsickness oder Cybersickness genannt.

4.4.4.4 Räumliche Entkopplung

Führt die räumliche Entkopplung von der Fahraufgabe beziehungsweise vom Fahrzeug zu schlechteren Orientierungsleistungen, zu schlechterer Geschwindigkeits- und Abstandsschätzung, zu einem schlechteren Verständnis der Verkehrsumgebungsbedingungen und zu Out-of-the-Loop-Phänomenen?

#mittelfristig

Die Entkopplung von der Aufgabe kann zum Out-of-the-Loop-Phänomen führen. Dies betrifft einerseits das eventbasierte Telefahren/Fernlenken, kann sich andererseits auch bei Teleassistenz zeigen. Während Fahrende im Fahrzeug fortlaufend Informationen zum Verkehrsgeschehen aufnehmen und verarbeiten, wird die TOP möglicherweise plötzlich mit einem Problem konfrontiert. Dies erfolgt mit selektivem Informationsangebot, welches sich quantitativ, qualitativ und in der zeitlich-dynamischen Entwicklung von aktiven Kraftfahrenden unterscheidet.

Die TOP wird sich vermutlich an relativ abstrakten Parametern orientieren und muss auf fehlende Informationen und Ereignisse schließen. Dies macht die Informationsverarbeitung der TOP fehleranfällig (Dix et al., 2021). Fehleinschätzungen der TOP können zum Beispiel die Fahrgeschwindigkeit betreffen. Die Beurteilung der Geschwindigkeit anderer Fahrzeuge aus dem Gegenverkehr durch Kraftfahrzeugführende schwankt erheblich. Grundsätzlich werden niedrige Geschwindigkeiten eher unterschätzt, im mittleren Bereich (je nach Literatur 50-100 km/h) unterschätzt bis relativ korrekt eingeschätzt, höhere Geschwindigkeiten werden eher überschätzt. Je nachdem, ob der Beobachter eine Entfernungsschätzung aus dem Innenraum eines Pkw oder aus einer Leitstelle vornimmt, können die Schätzungen beträchtlich differieren (z. B. Bubb, 1977; Klebelsberg, 1982). Eine derartig potenziell fehlerhafte Nutzung von Informationen, d. h. Orientierungsfehler oder Fehleinschätzungen (z. B. des Abstands oder der Geschwindigkeit), ist als sicherheitskritisch zu sehen.

Räumliche Entkoppelung von der eigentlichen Fahraufgabe beziehungsweise dem Fahrzeug bei Teleoperation: Verständnis und Interpretation objektiver Bedingungen einer Fahraufgabe folgenden oben gezeigten Stufen der menschlichen Informationsverarbeitung und hängen wesentlich von der aktuellen Wahrnehmung, dem Feedback während der Verhaltensaussführung sowie von Erfahrungen und Erwartungen der TOP ab. Inkorrekte, undifferenzierte und lückenhafte Repräsentationen die Handlungsregulation beeinträchtigen das Mensch-Maschine-Umwelt-Systemverständnis.

4.4.4.5 *Situationsbewusstsein*

Ist ein verringertes Situationsbewusstsein der TOP zu erwarten? Geht dies mit Reaktionsverzögerungen einher?

#mittelfristig

Studien zum Situationsbewusstsein bei Übernahme-situationen durch Fahrende im automatisierten Fahrzeug zeigen insgesamt eine deutliche Reaktionsverzögerung (z. B. Vollrath & Krems, 2011) – dies dürfte bei Teleassistenz und eventbasiertem Telefahren/Fernlenken noch deutlich verschärft werden.

4.4.4.6 *Aufgabenverschiebung*

Aufgabenverschiebung: Welche Aufgaben der Fahrenden werden automatisiert, welche neuen Aufgaben verbleiben bei TOPs und welche Aufgaben entstehen neu? Welche Komplexität haben die Aufgaben der TOP und welche möglichen Fehlhandlungen ergeben sich evtl. durch die Komplexität der verbleibenden/neuen Aufgaben der TOP?

#mittelfristig

Die Erkenntnisse zu den sog. „Ironien der Automation“ (Bainbridge, 1983) sollten hierbei berücksichtigt werden: Die technisch machbaren, meist „leichteren“ Aufgaben werden automatisiert, übrig bleiben Aufgabenteile mit hoher Komplexität, die dann nicht mehr von Fahrenden im Fahrzeug, sondern fortan von TOPs erfüllt werden müssen. Mögliche Fehlhandlungen, die aus der Aufgabenverschiebung resultieren, müssen durch den Einsatz der TOP ausgeglichen werden, die wiederum neuen Fehlerquellen ausgesetzt ist.

Belastung/Beanspruchung: Vigilanzproblematik: Eine aktivierte TOP bewältigt eine zusätzliche Anforderung besser als eine wenig beschäftigte, unterforderte TOP (z. B. Fastenmeier, 2021). Kapazitätseinbußen durch Unterforderung können zu Überforderungsszenarien führen, wenn bei Teleassistenz oder eventbasiertem Telefahren/Fernlenken plötzlich Leistung angefordert wird. Es besteht die Gefahr, dass die Arbeitssituation einer TOP genau diese Merkmale aufweisen wird: Zum Beispiel Unterforderung in ruhigen Zeiten verbunden mit Spitzen, in denen mehrere Fahrzeuge gleichzeitig abgefertigt und Probleme mit unterschiedlicher Priorisierung gelöst werden müssen.

4.4.4.7 *Besondere Herausforderungen*

Führt Mischverkehr zu erhöhten Anforderungen bei der TOP? Welche Folgen resultieren, wenn regelkonformes Verhalten der TOP auf regelwidriges oder informell durchgesetztes Fahrverhalten trifft?

#mittelfristig

Welche psychophysischen Leistungsgrenzen bei der TOP müssen beachtet werden (z. B. hinsichtlich Schichtarbeit)?

#mittelfristig

Schichtarbeit und mögliche Fehlbeanspruchungen: Die Tätigkeiten der TOP werden vermutlich professionell und in Schichtarbeit (sowohl tagsüber als auch nachts) ausgeübt werden. Schichtarbeit belastet den zirkadianen Rhythmus und kann zu Müdigkeit sowie

verminderter Leistungsfähigkeit führen (z. B. Reinberg & Ashkenazi, 2008). Beeinträchtigungen der Leistungsfähigkeit erhöhen unter anderem die Wahrscheinlichkeit von Leistungsschwankungen, Fehlhandlungen, verminderter psychomotorischer Wachsamkeit und Konzentrationsmängeln. Insbesondere diese Leistungskriterien sind für den Tätigkeitsbereich der TOP von grundlegender Bedeutung für die zuverlässige Aufgabenbearbeitung. Hierzu sind auch psychophysische Leistungsgrenzen von TOPs bestimmen.

4.5 Cluster 5: Gesellschaftliche Aspekte, Akzeptanz und Verkehrssicherheit

Clusterleitung: Dr. Viktoriya Kolarova

Mitwirkende: Torsten Fleischer, Alexander Fry, Meike Jipp, Matthias Kühn

Das Kapitel zum Thema Gesellschaftliche Aspekte, Akzeptanz und Verkehrssicherheit gliedert sich inhaltlich anhand des Stands der Wissenschaft und Forschungsfragen zu gesellschaftlichen Aspekten, Akzeptanz und Verkehrssicherheit. In Tabelle 10 werden alle clusterspezifischen Forschungsfragen anhand der inhaltlichen Unterkapitel gelistet. Zusätzlich sind die Forschungsfragen kapitelweise nach ihrer zeitlichen Priorisierung sortiert und weichen deshalb in ihrer Reihenfolge leicht vom textlichen Auftreten ab.

Tabelle 10: Forschungsfragen aus Cluster 5 inkl. Zuordnung zum Anwendungsfall und der zeitlichen Priorisierung

Nr.	Fall A	Fall B	Fall C	Verweis	Forschungsfrage	Zeitl. Priorität
1	☑	☑	☑	Determinanten der individuellen Akzeptanz von Teleoperation im Allgemeinen	Welche Anforderungen an die Gestaltung der Kommunikation zwischen Menschen und teleoperierten Fahrzeugen ergeben sich aus der Analyse der Akzeptanzbedingungen?	k
2			☑	Determinanten der individuellen Akzeptanz von Teleoperation im Allgemeinen	Wird die Akzeptanz durch Übernahmen der telefahrenden/fernlenkenden Person moduliert, wenn hierdurch der Verkehrsablauf beeinflusst wird?	k
3	☑	☑	☑	Determinanten der individuellen Akzeptanz von Teleoperation im Allgemeinen	Welche Faktoren beeinflussen die individuelle Akzeptanz von Teleassistenz und Telefahren/Fernlenken im Allgemeinen?	k-m
4	☑		☑	Determinanten der individuellen Akzeptanz von Teleoperation im Allgemeinen	Erhöht die Möglichkeit zur Teleoperation mittels einer menschlichen TOP die Akzeptanz von autonomen Systemen?	k-m
5		☑	☑	Determinanten der individuellen Akzeptanz von Teleoperation im Allgemeinen	Wie beeinflusst die Anwendung des Telefahrens/Fernlenkens im Mischverkehr deren Akzeptanz, insbesondere vor dem Hintergrund der in diesem Falle höheren Komplexität der Interaktion eines Verkehrsteilnehmenden mit einer Mischung an unterschiedlichen Techniken (telegefahrenes/ferngelenktes Fahrzeug, manuell gefahrenes Fahrzeug, autonomes Fahrzeug)?	m

Nr.	Fall A	Fall B	Fall C	Verweis	Forschungsfrage	Zeitl. Priorität
6	☑	☑	☑	Determinanten der wahrgenommenen Sicherheit und des wahrgenommenen Risikos und ihre Implikationen	Welche Faktoren beeinflussen die wahrgenommene Sicherheit/ das Sicherheitsempfinden der Nutzenden?	k
7	☑	☑	☑	Determinanten der wahrgenommenen Sicherheit und des wahrgenommenen Risikos und ihre Implikationen	Welche Faktoren beeinflussen die wahrgenommene Sicherheit/ das Sicherheitsempfinden der anderen Verkehrsteilnehmenden?	k
8		☑	☑	Determinanten der wahrgenommenen Sicherheit und des wahrgenommenen Risikos und ihre Implikationen	Wie unterscheidet sich das Vertrauen in eine telefahrende/fernlenkende Person von dem Vertrauen in autonome Fahrfunktionen?	m
9	☑	☑	☑	Potenzielle (auch weitreichende) gesellschaftliche Auswirkungen und ihre Analyse	Was ist der gesellschaftliche Mehrwert der Teleoperation?	k
10	☑	☑	☑	Potenzielle (auch weitreichende) gesellschaftliche Auswirkungen und ihre Analyse	Welche Chancen ergeben sich für den beruflichen Wandel und gegen den Fachkräftemangel durch Teleoperation?	k
11	☑	☑	☑	Potenzielle (auch weitreichende) gesellschaftliche Auswirkungen und ihre Analyse	Mit welchen Kosten und Risiken ist bei der Einführung und dem Einsatz von Teleoperation zu rechnen?	k
12	☑	☑	☑	Potenzielle (auch weitreichende) gesellschaftliche Auswirkungen und ihre Analyse	Welche Methoden sind für die Analyse der potenziellen Auswirkungen der Technik auf die Gesellschaft geeignet? Welcher Bedarf ergibt sich im Bereich der Wirkungsanalysemethoden?	k-m
13		☑	☑	Potenzielle (auch weitreichende) gesellschaftliche Auswirkungen und ihre Analyse	Welche Chancen bietet Telefahren/Fernlenken für die Etablierung neuer Mobilitätsformen, bspw. im ländlichen Raum?	k-m
14	☑	☑	☑	Thematische und strategische Ziele und Schwerpunkte eines gesellschaftlichen Dialogs und seine Gestaltung	Welches Narrativ ist als Vorbereitung für eine erfolgreiche Einführung der Technik am besten geeignet?	k
15	☑	☑	☑	Thematische und strategische Ziele und Schwerpunkte eines gesellschaftlichen Dialogs und seine Gestaltung	Wie lässt sich ein Bild einer TOP am besten vermitteln und welche Rolle spielt es für die Akzeptanz der Technik?	k-m
16	☑	☑	☑	Thematische und strategische Ziele und Schwerpunkte eines gesellschaftlichen Dialogs und seine Gestaltung	Wie sollte die Ausgestaltung eines gesellschaftlichen Dialogs zum Thema Teleoperation aussehen?	k-m

Nr.	Fall A	Fall B	Fall C	Verweis	Forschungsfrage	Zeitl. Priorität
17	☑	☑	☑	Einführungsstrategien, Hemmnisse und fördernde Faktoren für die Marktdurchdringung (Diffusion) der Technik	Welche Einführungsstrategien sind denkbar und welche Hemmnisse und fördernde Faktoren für die Marktdurchdringung (Diffusion) der Technik lassen sich identifizieren?	m
18	☑	☑	☑	Einführungsstrategien, Hemmnisse und fördernde Faktoren für die Marktdurchdringung (Diffusion) der Technik	Wie sieht eine Kosten/Nutzen-Abwägung in der Gesellschaft aus?	m
19	☑	☑	☑	Einführungsstrategien, Hemmnisse und fördernde Faktoren für die Marktdurchdringung (Diffusion) der Technik	Inwieweit ist die Teleoperation eine Strategie zur Kompensation (und des Eingestehens; temporärer) technischer Unzulänglichkeiten des autonomen Fahrens? Inwieweit kann es ein Enabler neuer Geschäftsmodelle für das Car Sharing sein?	l
20	☑	☑	☑	Einführungsstrategien, Hemmnisse und fördernde Faktoren für die Marktdurchdringung (Diffusion) der Technik	Inwieweit unterscheidet sich der Marktdurchdringungsprozess von Teleoperation von dem vom autonomen Fahren beziehungsweise der Kombination beider?	l
21			☑	Einführungsstrategien, Hemmnisse und fördernde Faktoren für die Marktdurchdringung (Diffusion) der Technik	Wie kann in risikoreichen Situationen entschieden werden, ob die Fahrzeugführung durch eine autonome Fahrfunktion oder eine telefahrende/fernlenkende Person eine geringere Gefährdung für Mitreisende zur Folge hat?	l

Legende: Fall A: Teleassistentz, Fall B: fortwährendes Telefahren/Fernlenken, Fall C: Eventbasiertes Telefahren/Fernlenken. Die zeitliche Priorität ist mit k=kurzfristig, m=mittelfristig und l=langfristig gekennzeichnet.

4.5.1 Einleitung

Die Einführung jedweder Technik bringt Chancen für die Gesellschaft, birgt allerdings auch Risiken. Darüber hinaus sind vor allem in der Anfangsphase der Einführung einer Technik in den unmittelbaren Lebensbereich von Bürgerinnen und Bürgern Vorbehalte bei einem Teil der potenziell Nutzenden sowie insgesamt in der Gesellschaft zu erwarten. Das betrifft entsprechend auch Teleoperation.

Die Betrachtung von gesellschaftlichen Aspekten einer Technik im Sinne von Potenzialen zur Lösung gesellschaftlicher Herausforderungen, den Faktoren für ihre (weitreichende) Adoption beziehungsweise Diffusion sowie die Reflexion über und Auseinandersetzung mit den potenziellen Auswirkungen der Technik auf die Gesellschaft ist heute ein zentraler Baustein modernen Innovationshandelns von wissenschaftlichen, wirtschaftlichen und politischen Innovationsbeteiligten. Diesbezügliche Untersuchungen tragen maßgeblich zur Sicherstellung einer sicheren und den gesellschaftlichen Bedürfnissen entsprechenden Entwicklung und Betrieb bei, können den Marktdurchdringungsprozess beschleunigen und

Innovationskonflikte frühzeitig identifizieren und – problemadäquates Handeln vorausgesetzt – auch reduzieren oder ausräumen.

Die gesellschaftlichen Aspekte, die dabei betrachtet werden, sind vielfältig.

Erstens, neben dem technischen beziehungsweise objektiven Risiko und der Sicherheit der Technik, ist für die Akzeptanz in der Gesellschaft vor allem die durch die potenziellen Nutzenden sowie weitere Zivilgesellschaft *subjektiv* wahrgenommene Sicherheit der Teleoperation entscheidend. In diesem Kontext stellt sich die Frage, unter welchen Bedingungen die Technik als *sicher genug* empfunden beziehungsweise bewertet wird, welche Toleranzen zu erwarten sind und welche Implikationen die Erkenntnisse zu den Anforderungen der Gesellschaft an die Sicherheit der Technik, an die Entwicklung der Technik, und an die Kommunikation über die Leistungsfähigkeit und Grenzen der Technik in der Gesellschaft haben.

Zweitens stellt sich die Frage, welcher Mehrwert für einzelne potenzielle Nutzende und für die Gesellschaft von der Technik zu erwarten ist und welche Rolle dieser bei der Förderung der gesellschaftlichen Akzeptanz der Technik spielt. Teleoperation hat das Potenzial, den Straßenverkehr insgesamt sicherer zu machen, eine Lösung für Probleme wie Mangel an Berufskraftfahrenden anzubieten oder eine mögliche Grundlage für ökologisch nachhaltigere Mobilitätsalternativen im Verkehrsbereich zu sein. Gleichzeitig – wenn wir uns auf das Thema Mangel an Berufskraftfahrenden fokussieren – ist zu erwarten, dass nur eine kleine Gruppe von Nutzenden einen direkten Nutzen aus dem Einsatz der Technik in der Einführungsphase haben wird. Damit die Technik eine Akzeptanz in der breiten Gesellschaft erfährt, bedarf es möglicherweise einer Einsicht in gesamtgesellschaftliche Probleme beziehungsweise gesellschaftliche Notwendigkeiten bei Individuen und gesellschaftlichen Gruppen, die direkt oder indirekt davon betroffen sind (bspw. andere Verkehrsteilnehmende) ohne einen direkten Nutzen von der Technik zu haben.

Drittens, die Teleoperation schafft potenziell neue Berufsbilder. Damit verbunden sind die Themen Berufsbild- und Arbeitsgestaltung, Arbeitsplatzgestaltung sowie gesellschaftliche Anforderungen und Erwartungen in Bezug auf diese.

Viertens und zusammenfassend über alle genannten Aspekte hinaus, stellt sich die Frage, welche Rahmenbedingungen zu schaffen wären, um die Einführung und erfolgreiche Marktdurchdringung der Technik beziehungsweise die Entfaltung der Potenziale der Technik zu ermöglichen.

Ebenfalls über alle Aspekte hinaus stellt sich die Frage, welche Parallelen es zum autonomen Fahren (SAE Level 4) gibt beziehungsweise welche Unterschiede und Gemeinsamkeiten sich in der Erforschung der gesellschaftlichen Implikationen und der Akzeptanzbedingungen zwischen beiden Technikentwicklungen feststellen lassen.

Fünftens ergibt sich die explizite Frage, welchen messbaren Einfluss Teleoperation auf die Verkehrssicherheit haben wird und wie sich diese in einem Mischverkehr mit anderen Arten der Fahrzeugsteuerung (menschlich, autonom) „verträgt“. Das beinhaltet auch Fragen zu bestmöglichen Einführungsstrategien des teleoperierten Fahrens. Allgemein ist ein Werkzeugkasten zu entwickeln, der Effekte im Vor- und Nachlauf der Einführung der neuen Technologie messbar macht und Ableitungen zulässt. So sind unter anderem Simulationsumgebungen und validierte Verhaltensmodelle von Fahrenden zu schaffen, ohne die eine prospektive Aussage zum Verkehrssicherheitseinfluss nicht möglich sein wird. Des Weiteren sind zwar zeitnah erhobene Unfall- und Verkehrsdaten weiterhin notwendig und sinnvoll, sie kommen aber für Einführungsstrategien etc. zu spät. Grundsätzlich bestehen

hier Synergien zu allen Formen des automatisierten und vernetzten Fahrens und die Frage, wo sich Teleoperation in bereits etablierten Prozessen einordnet/ wiederfindet.

Vor diesem Hintergrund werden in diesem Cluster unterschiedliche Forschungsthemen unter anderem zu den gesellschaftlichen Anforderungen und Auswirkungen der vorgestellten Anwendungsszenarien formuliert.

4.5.2 Stand des Wissens

„Akzeptanz“ (von Technik) ist ein in der wissenschaftlichen und öffentlichen Diskussion häufig verwendeter, leider aber oft unterschiedlich definierter beziehungsweise mit verschiedenen, eher intuitiv konstruierten Bedeutungen versehener Begriff. Vermutlich am weitesten verbreitet ist die Lesart, Akzeptanz als (positive) Einstellung von Individuen in Bezug auf eine Technik beziehungsweise als Bereitschaft von Individuen, eine Technik zu nutzen (Spezialfall: zu erwerben), zu verstehen.

In bestimmten Konstellationen bringt eine solche Perspektive auch ertragreiche Einsichten und sie ist empirisch vergleichsweise einfach zu erschließen. Für eine systematische Analyse der Adoptions- beziehungsweise Diffusionsprozesse in soziotechnischen Systemen (STS) – und das Mobilitätssystem kann als ein solches gelten – stößt sie jedoch schnell an Grenzen. So ist beispielsweise lange bekannt, dass Einstellungen gegenüber einer Technik beziehungsweise *ex ante* angegebene Nutzungsbereitschaften nur bedingt als Prädiktoren für tatsächliche Techniknutzung dienen können (Bhattacharjee & Sanford, 2009; bsp.: Trotz positiver Einstellung wird eine Technik nicht genutzt, weil sie der Person aus wirtschaftlichen oder raumzeitlichen Bedingungen de facto nicht zur Verfügung steht; trotz eher skeptischer Einstellung wird eine Technik dennoch genutzt, weil individuelle Nichtnutzung mit der Gefahr sozialer Exklusion verbunden wäre). Technikbezogene Einstellungen richten sich nicht nur an eine Technik selbst, sie sind immer wieder auch verbunden mit Vorstellungen über die Rolle und Relevanz dieser Technik in „imaginaries“ soziotechnischer Zukünfte und deren individueller Bewertung (Fleischer et al., 2022). Weiterhin liegt die Möglichkeit, Diffusionsbedingungen zu gestalten, im Unterschied zu einfachen Konsumgütern bei technischen Innovationen in STS in der Regel nicht in der Hand eines oder weniger Innovationsbeteiligter. Vielmehr bedarf es dafür des koordinierten Zusammenwirkens von Beteiligten aus unterschiedlichen Sphären der Gesellschaft. Schon diese Koordination selbst ist anspruchsvoll und – rollenbedingt – beladen mit Kontroversen (Meyer, 2016). Kompliziert wird sie zudem dadurch, dass diese Beteiligten eigene, verschiedene, aber dennoch spezifisch handlungsleitende Ideen davon haben, was für ihre Interaktionspartner jeweils akzeptabel sein könnte.

Eine weitere Herausforderung erwächst aus der Erwartung, eine angenommene Technikakzeptanz (im Sinne des oben angeführten Begriffsverständnisses) bereits in der Design- und Entwicklungsphase neuer Techniken berücksichtigen zu können. Durch prospektiv-antizipative Ansätze sollte herausgefunden werden, ob und in welcher „Darreichungsform“ eine Technik faktisch wohl akzeptiert werden würde, um daraus einen Entwurfsrahmen oder eine Art Lastenheft für Entwicklerinnen und Entwickler ableiten zu können. Das Einlösen solcher Erwartungen ist mit weitreichenden methodischen und konzeptionellen Schwierigkeiten konfrontiert (u. a. hohe Komplexität (s.o.) sowie mangelnde Prognostizier- oder Extrapolierbarkeit des Akzeptanzverhaltens, situative und zeitliche Instabilität der Technikakzeptanz, Unmöglichkeit der widerspruchsfreien Aggregation von Präferenzstrukturen (Gloede, 1987; Grunwald, 2005). Teile der Forschung und der Entwicklungspraxis wandten sich im Zuge der so genannten „prozeduralen Wende“ (Simonis, 1999) stärker

beteiligungsorientierten Verfahren zu. Trotzdem steht auch heute noch regelmäßig die Hoffnung im Raum, so auftretende oder vermutete technikbezogene Kontroversen und Konflikte (eine zweite Lesart von Technikakzeptanz, hier im Sinne ihres Ausbleibens) vermeiden oder befrieden zu können. Entsprechende Forschung kann wertvolle Hinweise für Technologieentwicklung, Politikgestaltung und Regulierungsdesign liefern – eine Garantie für schnelle, unumstrittene und widerstandsfreie Adoptions- und Diffusionsprozesse ist sie allerdings nicht.

In Kenntnis dieser grundsätzlichen Erwägungen ist es Ziel dieses Kapitels, übergreifende Forschungsthemen in Bezug auf gesellschaftliche Aspekte, Akzeptanz und (vor allem wahrgenommene und erwartete) Verkehrssicherheit bei der Teleoperation darzustellen sowie konkretisierende Fragestellungen zum jeweiligen Forschungsthema zu erarbeiten.

4.5.3 Forschungsfragen zu Cluster 5

Gesellschaftliche Themen in Bezug auf die Entwicklung, Einführung und Einsatz der Technik werden anwendungsfallübergreifend diskutiert. Anwendungsspezifische Annahmen und ihre Implikationen werden an relevanten Stellen aufgegriffen.

4.5.3.1 *Determinanten der individuellen Akzeptanz von Teleoperation im Allgemeinen*

Wird Teleoperation aus Sicht der Nutzenden betrachtet, steht im Fokus der Untersuchungen, welche Faktoren (Nutzen und Hemmnisse) die Nutzungsbereitschaft für die Technik beeinflussen und in welchem Ausmaß sie dieses tun.

Welche Faktoren beeinflussen die individuelle Akzeptanz von Teleoperation im Allgemeinen?

#kurz- und mittelfristig

In der Akzeptanzforschung werden in der Regel insgesamt drei Gruppen von Faktoren betrachtet, die die Nutzungsbereitschaft potenzieller Nutzender für eine Technik beeinflussen: Individuelle Charakteristiken (z. B. Soziodemographie, individuelle Erfahrungen mit ähnlicher Technik, Risikoeinstellungen etc.), technikbezogene Charakteristiken (z. B. wahrgenommene Vorteile wie Effizienz, Komfort etc., Akzeptanzbarrieren wie wahrgenommenes Risiko oder hohe Komplexität der Technik etc.) sowie kontextspezifische Charakteristiken. Zu Letzterem zählen beispielsweise der geographische Kontext, in dem die Technik eingesetzt wird, der spezifische Einsatzbereich einer Technik (wie z. B. Autobahnfahrt oder Art der Mobilitätsdienstleistung (individuelle Fahrzeugnutzung, Sharing, Kollektivverkehr)) oder auch normative Vorstellungen über ein „gutes“ Verkehrs- und Mobilitätssystem.

Es ist zu untersuchen, welche spezifischen Akzeptanzbedingungen und Einflussfaktoren sich für Teleassistenz und Telefahren/Fernlenken identifizieren lassen und inwieweit sich diese zwischen den drei Anwendungsszenarien unterscheiden.

Erhöht die Möglichkeit zur Teleoperation mittels einer menschlichen TOP die Akzeptanz von autonomen Systemen?

#kurz- und mittelfristig

Bisherige Untersuchungen im Bereich Akzeptanzforschung des autonomen Fahrens fokussieren sich auf die Wahrnehmung der Technik und ihrer Eigenschaften durch die potenziellen Nutzenden. Bei der Teleassistenz bringt die Einflussmöglichkeit beziehungsweise Notwendigkeit eines Menschen eine zusätzliche Betrachtungsebene mit sich: Es geht dabei nicht nur um die Analyse des Vertrauens in die Technik, sondern auch in das Vertrauen in eine weitere Person beziehungsweise in die Zuverlässigkeit der Zusammenarbeit zwischen Mensch und Maschine, die nicht in der Kontrolle der Nutzenden liegt. Die Fragen, die sich hier stellen, sind, inwieweit die Möglichkeit der menschlichen Teleassistenz beim autonomen Fahren die Akzeptanz vom System beeinflusst.

Gleichfalls kann für das eventbasierte Telefahren/Fernlenken gefragt werden, wie sich die Akzeptanz des autonomen Systems verändert, wenn es eine menschliche Rückfallebene gibt, die die gesamte Fahrzeugsteuerung übernehmen kann. Vertrauen Menschen hier einem Menschen mehr als einer Maschine? Gilt das Ergebnis auch in kritischen Fällen? Inwieweit werden Fehler eines Menschen eher verziehen als die einer Maschine (s. auch Thema Risikowahrnehmung und Sicherheit)? An dieser Stelle stellt sich auch die Frage, welche Verteilung zwischen dem autonomen Fahren (beziehungsweise Fahren ausschließlich durch das System) und dem Telefahren/Fernlenken für die Nutzenden und für die Gesellschaft gewünscht oder akzeptabel ist. Lässt sich eine Mindestanforderung dabei ableiten (z. B. mind. 60% autonom)?

Wie beeinflusst die Anwendung der Teleoperation im Mischverkehr deren Akzeptanz, insbesondere vor dem Hintergrund der in diesem Falle höheren Komplexität der Interaktion eines Verkehrsteilnehmenden mit einer Mischung an unterschiedlichen Techniken (telegefahrenes/ferngelenktes Fahrzeug, manuell gefahrenes Fahrzeug, autonomes Fahrzeug)?

#mittelfristig

Unter der Annahme, dass unterschiedliche Anwendungsszenarien von Teleoperation sowie autonomen Fahren auf der Straße eingeführt werden, ist zu erwarten, dass es über einen längeren Zeitraum hinweg einen Mischverkehr geben wird. Das bringt Herausforderungen in der Kommunikation zwischen den unterschiedlichen Verkehrsteilnehmenden mit sich, insbesondere wenn davon ausgegangen wird, dass sie unterschiedliches Fahrverhalten und Kommunikationsarten mit anderen Verkehrsteilnehmenden haben werden. Angenommen, dass die Komplexität in der Interaktion zwischen Verkehrsteilnehmenden steigt, stellen sich folgende Fragen:

Wie verändert sich das Kommunikationsverhalten und das Verkehrsgeschehen durch Teleoperation?

Wie komplex darf/ sollte die Interaktion und das mentale Modell zur Interaktion mit den anderen, unterschiedlichen Verkehrsteilnehmenden sein? Inwieweit wird diese Komplexität einen negativen Einfluss auf die Akzeptanz der Technik haben? (siehe auch Themenbereich Auswirkungen).

Welche Anforderungen an die Gestaltung der Kommunikation zwischen Menschen und teleoperierten Fahrzeugen ergeben sich aus der Analyse der Akzeptanzbedingungen?

#kurzfristig

Es ist zu erwarten, dass die Komplexität in der Interaktion zwischen unterschiedlichen Verkehrsteilnehmenden aufgrund der steigenden Zahl an Arten von Fahrzeugen (z. B. telegefahren/fern gelenkt, autonom etc.) steigt. Gleichzeitig muss die Kommunikation sowohl zwischen dem Nutzenden und dem teleoperierten Fahrzeug (inkl. TOP) also auch von nicht-Teleoperation-nutzenden Verkehrsteilnehmenden in der Umgebung des Fahrzeuges mit dem Fahrzeug und der TOP ebenso neugestaltet werden. Eine erfolgreiche Kommunikation zwischen den Verkehrsteilnehmenden ist auf der einen Seite eine wichtige Bedingung für einen sicheren Mischverkehr und auf der anderen Seite eine wichtige Akzeptanzbedingung. Daraus ergeben sich folgende Forschungsfragen:

- Welcher Kommunikationsbedarf zwischen Menschen (Teleoperation nutzende Person oder andere Verkehrsteilnehmende) und einem teleoperierten Fahrzeug entsteht? Welche Kommunikationsform und -art (Audio, Video, Chatbot zu allgemeinen Fragen etc.) ist notwendig, geeignet, und/oder gewünscht? Diese Fragen beziehen sich sowohl auf die internen als auch auf die externen Mensch-Maschine-Schnittstellen.
- Was macht eine hohe Qualität der Kommunikation zwischen Verkehrsteilnehmenden und teleoperierten Fahrzeugen aus und wie lässt sich diese sicherstellen?
- Inwieweit sollten beziehungsweise müssen teleoperierte Fahrzeuge gekennzeichnet werden? Beträfe die Kennzeichnung das Fahrzeug selbst und/oder auch den jeweiligen Betriebsbereich? Welche Formen der Kennzeichnung wären geeignet?
- Inwieweit sollten die Kommunikationsschnittstellen zwischen (fahrzeuginternen und -externen) Verkehrsteilnehmenden und der Teleassistenz/ telefahrender/fernlenkender Person geschaffen werden? Wie sollten diese gestaltet werden?

Wird die Akzeptanz durch Übernahmen der telefahrenden/fernlenkenden Person moduliert, wenn hierdurch der Verkehrsablauf beeinflusst wird?

#kurzfristig

Teleoperiertes Fahren kann unter Umständen bisher bekannte und „eingeübte“ Muster des Verkehrsablaufs verändern. Beispielsweise könnte im Zuge einer sichereren Übernahme durch die telefahrende/fernlenkende Person folgende Situation vorkommen: Das System eines teleoperierbaren Fahrzeugs muss an die telefahrende/fernlenkende Person übergeben und verringert hierfür zur Erhöhung der Sicherheit seine Geschwindigkeit („on-the-fly“) und hält am Fahrbahnrand an. Anschließend übernimmt die telefahrende/fernlenkende Person und fährt das Fahrzeug weiter. In diesem Zusammenhang stellt sich die Frage, inwieweit das Verhalten des Fahrzeugs die Akzeptanz der Technik von Nutzenden und anderen Verkehrsteilnehmenden beeinflusst beziehungsweise auch, welche Diskrepanzen zwischen dem erwarteten und dem tatsächlichen Verhalten der Fahrzeuge entstehen.

Dazu stellt sich auch die Frage, welche zusätzlichen Wartezeiten und veränderten Geschwindigkeiten vom Umfeld und von Nutzenden akzeptiert werden. Dabei kann ein Vergleich mit Bewegungsplanung in autonomen Fahrzeugen aufgestellt werden, bei der nach

Nolte et al. (2018) eine Schwierigkeit darin besteht, die Bewegung der Fahrzeuge so zu gestalten, dass er zwar sicher für die Reisenden/Mitfahrenden ist, aber gleichzeitig auch nicht zu störend.

4.5.3.2 *Determinanten der wahrgenommenen Sicherheit und des wahrgenommenen Risikos und ihre Implikationen*

Das wahrgenommene Risiko ist ein wichtiger Einflussfaktor für die Akzeptanz der Nutzenden neuer Technik im Allgemeinen. Dabei kann sich das objektiv gemessene beziehungsweise nachgewiesene Risiko beziehungsweise die Sicherheit der Technik stark von dem Sicherheitsempfinden der Nutzenden der Technik beziehungsweise vom wahrgenommenen Risiko unterscheiden. Aufgrund des hohen Stellenwertes des Themas Sicherheit ist es sinnvoll und notwendig, den Zusammenhang zwischen funktionaler und wahrgenommener Sicherheit separat und differenzierter zu betrachten.

Welche Faktoren beeinflussen die wahrgenommene Sicherheit/ das Sicherheitsempfinden der Nutzenden?

#kurzfristig

Erste Hypothesen in Bezug auf potenzielle Faktoren, die die wahrgenommene Sicherheit und das wahrgenommene Risiko der Technik beeinflussen, lassen sich aus Erkenntnissen im Bereich Risikowahrnehmungsforschung ableiten. Beispielsweise spielt die wahrgenommene Kontrollierbarkeit des Risikos eine wichtige Rolle: Wenn Menschen das Gefühl haben, den Ausgang der Situation, in der ein Risiko entsteht, kontrollieren zu können (wie bspw. beim manuellen Fahren), dann schätzen sie das Risiko als geringer ein (z. B. Slovic, 1988; Ropeik, 2002). Zudem gibt es in der Technikakzeptanzforschung an zahlreichen Beispielen nachgewiesene soziodemografische Effekte (etwa alters- oder bildungsbezogene), die auch für die Teleoperation plausibel angenommen werden können, die aber dennoch fallspezifischer empirischer Belege bedürfen, um als gesichert gelten zu können. Fragen in diesem Bereich sind daher:

- Wie schätzen Personen oder auch bestimmte Personengruppen das Risiko beziehungsweise die Sicherheit der Teleoperation ein?
- Welche Faktoren beeinflussen die Risikowahrnehmung von Personen, die in ihrem Verkehrsalltag als Nichtnutzende mit einem solchen Fahrzeug interagieren?
- Welche Implikationen für die Gestaltung der Teleoperation lassen sich aus den Erkenntnissen zu den Einflussfaktoren auf die Risikowahrnehmung ableiten?

Welche Faktoren beeinflussen die wahrgenommene Sicherheit/ das Sicherheitsempfinden der anderen Verkehrsteilnehmenden?

#kurzfristig

Die Risikowahrnehmung in der Gesellschaft wurde bisher ebenso in der Fachliteratur häufig untersucht. Neben den Faktoren, die die individuelle Risikowahrnehmung der Nutzenden der Technik bedingen, sollte in künftigen Untersuchungen ebenso die Analyse der Determinanten der Risikowahrnehmung beziehungsweise die Bewertung der Technik in der Gesellschaft stehen.

Wie unterscheidet sich das Vertrauen in eine telefahrende/fernlenkende Person von dem Vertrauen in eine autonome Fahrfunktion?

#mittelfristig

Bisherige Untersuchungen im Bereich des automatisierten Fahrens haben gezeigt, dass das Vertrauen in die Technik ein wichtiger Einflussfaktor auf die Akzeptanz der Technik ist. Die Fragen an dieser Stelle sind:

- Inwieweit unterscheidet sich das Vertrauen in die Technik von dem Vertrauen in die telefahrende/fernlenkende Person als menschliche Rückfallebene (oder in das Gesamtsystem der Teleoperation, das aus dem Kommunikationssystem im Fahrzeug und der telefahrenden/fernlenkenden Person besteht)?
- Inwieweit und in welchem Umfang werden auch potenziell sehr seltene Unfälle mit Beteiligung von telefahrenden/ferngelenkten Fahrzeugen hingegenommen?

4.5.3.3 Potenzielle (auch weitreichende) gesellschaftliche Auswirkungen und ihre Analyse

Was ist der gesellschaftliche Mehrwert der Teleoperation?

#kurzfristig

Inwiefern spielt zum Beispiel die Ermöglichung neuer Dienstleistungen, die Schaffung neuer Arbeitsplätze und Komfort eine Rolle?

Welche Chancen ergeben sich für den beruflichen Wandel und gegen den Fachkräftemangel durch die Teleoperation?

#kurzfristig

- Welche neuen Berufsbilder entstehen durch die Einführung der Technik? („Homeoffice“ für Berufskraftfahrende? Ist Gaming-Erfahrung attraktiver als heute? Entstehen neue technische Berufe bei Technischen Diensten o.ä. Arbeitgebern?). Es können sich auch neue Fragen an Prüfverfahren ergeben.
- Welche Transformationen der Berufsbilder ergeben sich?
- Inwieweit kann der Beruf eines Lkw-Fahrenden durch Teleoperation attraktiver werden?

Mit welchen Kosten und Risiken ist bei der Einführung und dem Einsatz von Teleoperation zu rechnen?

#kurzfristig

- Wie teuer wird die Infrastruktur für TOPs? Wer trägt die Kosten?
- Wie hoch ist die Gefahr des Missbrauchs von teleoperierten Fahrzeugen?

Welche Methoden sind für die Analyse der potenziellen Auswirkungen der Technik auf die Gesellschaft geeignet? Welchen Bedarf gibt es im Bereich der Wirkungsanalysemethoden?

#kurz- und mittelfristig

- Gibt es prospektive Werkzeuge zur Abschätzung des Einflusses auf die Verkehrssicherheit und zur Ableitung von entsprechenden Einführungsstrategien? Können bestehende Instrumente genutzt werden oder gibt es hier fallbezogenen Anpassungsbedarf?
- Wie kann der Einfluss von Teleoperation auf die Verkehrssicherheit gemessen werden?
- Wie können Simulationsumgebungen und Verhaltensmodelle von Fahrenden eingesetzt werden, um prospektive Bewertungen vornehmen zu können?
- Welche KPIs müssen erfüllt sein, um eine nächste Einführungsstufe freizugeben?
- Wie muss die bestehende In-Depth Unfalldatenanalyse (z. B. GIDAS) angepasst werden, um Verkehrssicherheitseffekte von Teleoperation retrospektiv messen zu können?

Welche Auswirkungen hat Telefahren/Fernlenken auf das Mobilitätsverhalten?

#kurz- und mittelfristig

- Inwieweit ist durch eine breite Diffusion von teleoperierten Fahrzeugen beziehungsweise die darauf aufbauenden Verkehrsdienstleistungen eine Änderung des Mobilitätsverhalten anderer Verkehrsteilnehmender zu erwarten?
- Inwieweit würden sich beispielsweise nicht-motorisierte Verkehrsteilnehmende unsicherer fühlen, wenn vermehrt Fahrzeuge ohne Insassen (telefahrende/fern gelenkte Fahrzeuge) auf den Straßen fahren würden?
- Hätte teleoperiertes Fahren auch Einfluss auf bestehende und neue Angebotsformen im Güterverkehr, etwa im Bereich der sogenannten KEP-Dienste oder für die City-Logistik?

4.5.3.4 Die thematischen und strategischen Ziele und Schwerpunkte eines gesellschaftlichen Dialogs und seine Gestaltung

Dialogische oder partizipative Verfahren unter der Beteiligung von Bürgerinnen und Bürgern sowie Stakeholdern sind seit den 1980er-Jahren immer mehr zum etablierten Instrument in der Politikberatung und in der Innovationsbegleitung bei – zumindest antizipiert kontroversenträchtigen – Technologien geworden. Sie dienen vor allem der Inklusion von unterschiedlichen Werten, Interessen und Perspektiven, aber auch von zusätzlichen Wissensbeständen und haben dadurch eine legitimatorische und eine epistemologische Funktion (Grunwald, 2019). Transparenz, Anschlussfähigkeit und – im Idealfall – Integration von verschiedenen Abwägungen und Bewertungen können zur sozialen Legitimation von Ergebnissen und darauf basierenden Entscheidungen beitragen, zudem können Wissensbestände lokaler und/oder außerwissenschaftlicher Beteiligter Resultate epistemisch robuster machen (Grunwald & Saretzki, 2020). Auch für eine breite Einführung der Teleoperation könnte die Organisation eines gesellschaftlichen Dialogs erwogen werden. Seine Aufgabe wäre, ähnlich wie im Kontext des automatisierten und vernetzten Fahrens, unter an-

derem eine gemeinsame Zielvision für den Einsatz der Technik zu entwickeln, beziehungsweise Bedingungen eines für alle akzeptablen Einsatzes zu eruieren, auszuhandeln und dabei unterschiedliche Anforderungen zu berücksichtigen.

Welches Narrativ ist als Vorbereitung für eine erfolgreiche Einführung der Technik am besten geeignet?

#kurzfristig

Für das automatisierte Fahren als eine neue Technik im Verkehrsbereich hat sich vor allem das folgende Narrativ bisher durchgesetzt: Wesentliche Treibende hinter der Einführung der Technik sind die Potenziale zur Erhöhung der Sicherheit, Komfort und Effizienz im Verkehr. Bei der Teleoperation stellen sich daher folgende Fragen:

- Welche Geschichten beziehungsweise überzeugende Erzählungen über die Einführung der Teleassistenz und des Telefahrens/Fernlenkens gibt es aktuell und welche können eine erfolgreiche Einführung der Technik begünstigen? Was ist das Einführungsnarrativ? Welche Resonanz findet es in der Bevölkerung?
- Wie könnten am einfachsten die Unterschiede und Gemeinsamkeiten zwischen den Anwendungsszenarien kommuniziert werden?
- Wie lässt sich die Verbindung zum autonomen Fahren herstellen? Ist die Technik als Substitut, Ergänzung oder Parallelentwicklung anzusehen? Braucht es eine Unterscheidung zwischen autonom fahrenden Fahrzeugen und teleoperierten Fahrzeugen (insbesondere bei Fahrzeugen ohne Fahrende und Mitfahrende)?
- Wie lässt sich das Thema ODD am einfachsten der Gesellschaft vermitteln?
- Wie kann ein realistisches Erwartungsmanagement beziehungsweise Kommunikationsmanagement zur Teleoperation aussehen? (Annahme: „Menschen bemerken es, wenn sie zu optimistische Prognosen vorgestellt bekommen.“)
- Inwieweit hilft es bei der Akzeptanz der Technik, wenn der Mangel an Fahrenden als Argument in die Debatte integriert wird? (z. B. „Wir brauchen Lkw-Fahrende und bestimmte Anwendungsszenarien können eine Lösung für den Mangel an Fahrenden sein.“)

Wie lässt sich ein Bild einer TOP am besten vermitteln und welche Rolle spielt es für die Akzeptanz der Technik?

#kurz- und mittelfristig

- Inwieweit ist es akzeptanzförderlich, Transparenz über die Arbeit und Aufgaben einer TOP zu schaffen?
- Wie lassen sich die neuen Berufsbilder einer Teleassistenz beziehungsweise telefahrenden/fernlenkenden Person in der Gesellschaft platzieren? Inwieweit kann das fördernd für die Akzeptanz und Marktdurchdringung sein? Inwieweit kann das bei der Gewinnung an Fachkräften in diesem Bereich beitragen?

Wie sollte die Ausgestaltung eines gesellschaftlichen Dialogs zum Thema Teleoperation aussehen?

#kurz- und mittelfristig

- Wie kann im Rahmen eines Dialogs eine gemeinsame Vision zur Teleoperation entwickelt werden?
- Welche Unterschiede, Gemeinsamkeiten und Schnittstellen gibt es zwischen dem gesellschaftlichen Dialog zum autonomen Fahren und dem Dialog zur Teleoperation?
- Welche Implikationen für die Kommunikation in der Öffentlichkeit (Fachöffentlichkeit und breite Öffentlichkeit) ergeben sich aus den Analysen der Akzeptanzbedingungen der Technik?
- Wie kann ein gemeinsamer Lernprozess durch Kommunikation und Dialog mitgestaltet werden?

4.5.3.5 *Einführungsstrategien, Hemmnisse und fördernde Faktoren für die Marktdurchdringung (Diffusion) der Technik*

In diesem Forschungsthemenbereich werden offene Fragen zu Einführungsstrategien der unterschiedlichen Anwendungsszenarien sowie Fragen, die mit dem Einführungsprozess zusammenhängen, gebündelt.

Welche Einführungsstrategien sind denkbar und welche Hemmnisse und fördernde Faktoren für die Marktdurchdringung (Diffusion) der Technik lassen sich identifizieren?

#mittelfristig

Inwieweit unterscheidet sich der Marktdurchdringungsprozess von Teleoperation von dem des autonomen Fahrens beziehungsweise der Kombination beider?

#langfristig

- Wie hängen die Fragen mit dem Anwendungsszenario „privater Pkw“ und „Mobility as a Service“ (MaaS) zusammen?

Inwieweit ist die Teleoperation eine Strategie zur Kompensation (und des Eingestehens; zumindest temporärer) technischer Unzulänglichkeiten des autonomen Fahrens? Inwieweit kann es ein Enabler neuer Geschäftsmodelle für das Car Sharing sein?

#langfristig

- Ist die Teleoperation als Brückentechnologie anzusehen? Integrieren wir eine „unreife“ Lösung in eine andere „unreife“ Lösung? Wo werden Schwierigkeiten addiert, wo werden Schwierigkeiten subtrahiert?
- Welche Kenntnisse haben wir a priori und was müssen wir im Prozess der Entwicklung und Einführung lernen?
- Wie viel Experimentieren und gesellschaftliches Lernen zu Teleoperation (und zum autonomen Fahren) will die Gesellschaft und lässt sie zu?
- Gibt es eine zeitliche Reihenfolge bei der Einführung unterschiedlicher Anwendungsfälle der Teleoperation?
- Inwieweit ist eine stufenweise Einführung der Technologie sinnvoll, um die Verkehrssicherheit nicht zu gefährden?

- Inwieweit müsste eine maximale Durchdringungsrate eingeführt werden (falls z. B. die ODD nur 5% telegefahrene Fahrzeuge verträgt). Dies ist nicht nur technisch, sondern auch aus gesellschaftlicher Perspektive als relevant zu betrachten.

Wie sieht eine Kosten-Nutzen-Abwägung in der Gesellschaft aus?

#mittelfristig

- Inwieweit wäre die Gesellschaft (und insbesondere betroffene Anwohnende und andere Verkehrsteilnehmende) bereit, potenzielle Risiken durch die Teleoperation in Kauf zu nehmen, wenn zum Anfang der Einführung nur wenige gesellschaftliche Beteiligte beziehungsweise ein kleiner Teil der Bevölkerung einen unmittelbaren Nutzen aus der Technik ziehen kann (z. B. im Kontext von Lieferdiensten, Nutzende von On-Demand-Mobilitätsangeboten)?
- Wie kann eine Gesellschaft vorbereitet werden, um mit Risiko umzugehen? Was ist ein akzeptables Risiko? Wie kann ein akzeptables Risiko darstellbar gemacht werden? (Hier kann ein Vergleich mit Flugpiloten und -pilotinnen sowie Flugsystemen gezogen werden, bei denen Werte über Unfallquoten im Verlauf der Jahre verfügbar sind und die Änderungen durch die Verbesserungen des Systems darstellbar sind).

Wie kann in risikoreichen Situationen entschieden werden, ob die Fahrzeugführung durch eine autonome Fahrfunktion oder eine telefahrende/fernlenkende Person eine geringere Gefährdung für Mitreisende zur Folge hat?

#Langfristig

Unter der Annahme, dass das eventbasierte Telefahren/Fernlenken die ODD der autonomen Fahrfunktion erweitern soll und eine telefahrende/fernlenkende Person die Kontrolle über die Fahraufgabe übernimmt, wenn die autonome Fahrfunktion diese nicht mehr ausführen kann, dann kann es zu Situationen kommen, in denen es ein inhärentes Risiko gibt, bei dem ein Schaden von Mitreisenden nicht ausgeschlossen werden kann. Veranschaulichend hierfür kann der Defekt eines Sensors angeführt werden, durch welchen die telefahrende/fernlenkende Person das Fahrzeug noch bewegen kann, die autonome Fahrfunktion die Fahraufgabe aber nicht durchführen kann. Es stellt sich erstens die Frage, ob in einem solchen Fall die Bewegung des Fahrzeugs mit Hilfe der telefahrenden/fernlenkenden Person ein geringeres Risiko darstellt als das Stehenbleiben des Fahrzeugs. Zweitens stellt sich die Frage, ob die Anforderungen an die Fahrzeugbewegung durch eine telefahrende/fernlenkende Person auch mit Defekt eines Sensors erfüllt sind. Abstrakter stellt sich die Frage, wie Risiken zwischen Teleoperation und autonomer Fahrfunktion zu vergleichen sind.

4.5.4 Fazit zu Cluster 5

Insgesamt ist festzuhalten, dass sich mit der Einführung von Teleoperation, ähnlich wie bei der Einführung jedweder neuen Technik, eine Reihe von Fragestellungen in Bezug auf ihren gesellschaftlichen Mehrwert und die Risiken ergeben.

Viele der Fragen wurden bisher bereits im Kontext des automatisierten und vernetzten Fahrens adressiert (z. B. über Akzeptanzbedingungen und zur Gestaltung eines gesellschaftlichen Dialogs zur Lösung von Zielkonflikten bei der Entwicklung und Einführung der Technik). Gleichzeitig wird beim Thema Teleoperation die Komplexität durch die zusätzliche (menschliche) Instanz in der Fahrzeugoperation oder -unterstützung (nämlich die TOP) erhöht. Insbesondere stellt sich die Frage, wie Individuen und die Gesellschaft mit potenziellen durch Menschen „aus der Ferne“ verursachten Fehlern (bei Teleoperation) im Vergleich zu den durch ein System bedingten Fehlern (beim autonomen Fahren) umgehen. Darüber hinaus ergeben sich eine Reihe von Fragen, die mit den Anforderungen der Gesellschaft an die Teleoperation als System und die TOPs als wichtiger Teil dieses Systems einhergehen.

Festzuhalten ist ebenso, dass zwar Parallelen in den Forschungsthemen zu Teleassistenz beziehungsweise Telefahren/Fernlenken und zum autonomen und vernetzten Fahren bestehen, der Stand des Wissens aufgrund einer erheblich höheren Zahl an Untersuchungen im Kontext des autonomen Fahrens viel ausgeprägter ist als im Bereich der Teleoperation.

5 Clusterübergreifende Forschungsfragen

Zusammenstellung: Dr. Alexander Frey

Mitwirkende: Alle Autorinnen und Autoren

Jedes Cluster für sich und in Kombination mit anderen hat Einfluss auf die Verkehrssicherheit. Die (prädizierte) Verkehrssicherheit wiederum ist eine Art Gütekriterium zur Gesamtsystembewertung, die sich wie ein roter Faden durch alle Cluster zieht. Schließlich soll das Gesamtsystem „in Balance“ gehalten werden. Idee dieses Kapitels ist es daher, anhand von ausgewählten Forschungsfragen Clusterverbindungen aufzuzeigen. Wo zuvor noch jedes Cluster mit seinen spezifischen Themen im Fokus stand, soll hier Raum für Themen und Forschungsfragen gegeben werden, um Verbindungen, Abhängigkeiten, stabilisierende und destabilisierende Faktoren für das Gesamtsystem zu identifizieren. Die nachfolgenden, clusterübergreifenden Forschungsfragen sind analog zu den vorab aufgeworfenen hinsichtlich ihrer Forschungspriorität sortiert. Zusätzlich sind die inhaltlich betroffenen Cluster und die sinnvolle Anwendbarkeit auf die zuvor definierten Anwendungsfälle von Teleoperation (assistiert (A), fortwährendes Telefahren/Fernlenken (B) eventbasiertes Telefahren/Fernlenken (C)) kenntlich gemacht. In Tabelle 11 werden alle clusterübergreifenden Forschungsfragen gelistet.

Tabelle 11: Clusterübergreifende Forschungsfragen inkl. Zuordnung der zeitlichen Priorisierung

Nr.	Fall A	Fall B	Fall C	Forschungsfrage	Zeitl. Priorität
1		☑	☑	Welche Anforderungen gibt es für die Übermittlung von Daten vom Fahrzeug an die TOP zur besseren Unterstützung?	k
2		☑	☑	Was sind die menschlichen Auswirkungen von erhöhter Latenz und erhöhtem Jitter, von Änderungen der Latenz, und/oder von verringerter Wiedergabetreue?	k
3	☑	☑	☑	Welche Daten im „Gesamtsystem Teleoperation“ können übertragen werden?	k
4	☑	☑	☑	Welche Daten benötigt die TOP in welcher Qualität? Welche Abstufung, welche Priorisierung gibt es? Ist dies vom Anwendungsfall oder der Geschwindigkeit abhängig?	k
5	☑	☑	☑	Was sind die Auswirkungen von Latenz etc. auf die TOP? Wie hoch ist der mentale Workload?	k

Nr.	Fall A	Fall B	Fall C	Forschungsfrage	Zeitl. Priorität
6	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Welche Anforderungen an TOP Monitoring im Leitstand muss es geben?	k
7		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Wie ist mit einem Notfall (z. B. Herzinfarkt) der TOP umzugehen?	k
8		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Wie muss das risikominimale Manöver ausgestaltet sein?	k
9	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Welche Rahmenbedingungen müssen bei einer Aufgaben- und Anforderungsanalyse für TOP berücksichtigt werden?	k
10		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Auf welcher Entscheidungsbasis erfolgt die Festlegung eines Betriebsbereichs für Telefahrten?	k
11	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Inwieweit braucht es die Vermittlung des Arbeitsplatzes von TOPs sowie weitere relevante Arbeitsbedingungen (beispielsweise die Sicherheitsstandards und die Verantwortungszuständigkeiten) in die Gesellschaft?	k
12	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Müssen teleassistierte und telegefahrene Fahrzeug gekennzeichnet werden und wenn ja, wie soll die Kennzeichnung der Fahrzeuge aussehen?	k
13	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Welche Rolle spielt Teleoperation bei der schrittweisen Markteinführung von autonomen Fahrzeugen?	m
14		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Kann eine telefahrende/fernlenkende Person angegeben, wann es sicher ist, das Fahrzeug an einen Computer zu übergeben?	m
15			<input checked="" type="checkbox"/>	Wie sieht ein potenzieller Steuerungswechsel aus? Sollte dieser – im Hinblick auf die Verkehrssicherheit – während der Fahrt („on-the-fly“) oder im Stillstand durchgeführt werden? Ist eine Kombination beider denkbar oder ist dies abhängig von der Umgebung?	m
16	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Wie sollte das Berufsbild einer TOP in der Gesellschaft vermittelt werden und welche Rolle spielt die Vermittlung vom Berufsbild einer TOP?	m
17	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Inwieweit sollen Anforderungen an die Expertise von TOPs in die Gesellschaft vermittelt werden und welche zusätzlichen Anforderungen der Gesellschaft an die Expertise von TOPs sind zu erwarten?	m
18	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Inwieweit beeinflusst der Arbeitsort von TOPs (Deutschland vs. Ausland) die Akzeptanz von Teleassistenz und Telefahrten/Fernlenken in der Gesellschaft?	m
19	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Welche Anforderungen an die Schulung von TOPs und welche Anforderungen an tagesaktuelle Prüfung des Zustandes einer TOP entstehen insbesondere mit Blick auf potenzielle Edge-Cases/ Notfall beziehungsweise Ausnahmesituationen?	m

Nr.	Fall A	Fall B	Fall C	Forschungsfrage	Zeitl. Priorität
20	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Inwieweit ist eine Kommunikation zwischen der TOP und nicht-motorisierten Verkehrsteilnehmenden erforderlich beziehungsweise in welchen Situationen und auf welche Art und Weise? Inwieweit trägt eine solche Kommunikationsmöglichkeit zu einer höheren Akzeptanz der Technik bei?	m
21		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Wie sind die Schnittstellen von Teleoperation in andere Systeme auszugestalten?	l
22		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Können Funktionen der Teleoperation auf verschiedene Subsysteme beliebig verteilt oder auch zentralisiert verortet sein?	l

Legende: Fall A: Teleassistent, Fall B: fortwährendes Telefahren/Fernlenken, Fall C: Eventbasiertes Telefahren/Fernlenken. Die zeitliche Priorität ist mit k=kurzfristig, m=mittelfristig und l=langfristig gekennzeichnet.

5.1 Kurzfristige Forschungsfragen

1. Welche Anforderungen gibt es für die Übermittlung von Daten vom Fahrzeug an die TOP zur besseren Unterstützung?

Cluster: 1, 2, 3, 4

Anwendungsfälle: B, C

Es liegt nahe, der telefahrenden/fernlenkenden Person einen möglichst realistischen Eindruck der Fahrsituation zu bieten. Hier spielen Aspekte wie Bild- und Tonqualität, jedoch auch Bildwiederholrate, Latenz und Zuverlässigkeit eine Rolle. Von diesem realistischen Eindruck kann jedoch in zwei Richtungen abgewichen werden: Zum einen kann es der Kommunikationskanal nötig machen, abstraktere Darstellungen als in der Realität zu verwenden. Zum anderen stehen durch die Vielzahl von Sensoren eines modernen Fahrzeugs wesentlich mehr Informationen zur Verfügung, als ein simples Bild kommuniziert – etwa zur Relativgeschwindigkeit der anderen Verkehrsteilnehmenden oder zu der hinter Sicht Hindernissen (Regentropfen, Vegetation) befindlichen Szenerie. Die Auswirkungen derartiger Informationsabstraktion, -knappheit oder -fülle sind jedoch in großen Teilen unerforscht.

2. Was sind die menschlichen Auswirkungen von erhöhter Latenz und erhöhtem Jitter, von Änderungen der Latenz, und/oder von verringerter Wiedergabetreue?

Cluster: 2, 3, 4

Anwendungsfälle: B, C

Während die technischen Auswirkungen schlechter Funkkommunikation (und insbesondere wechselhafter Qualität) in der Kommunikationstechnik wohlbekannt sind, kann selbiges nicht ohne Einschränkungen für die Auswirkungen auf TOP gesagt werden. Dies gilt schon bei kurzen Fahrten, jedoch umso mehr bei längeren oder wiederholten Fahrten im Lauf eines Arbeitstages.

3. Welche Daten im „Gesamtsystem Teleoperation“ können übertragen werden?

Cluster: 1, 2, 3, 4

Anwendungsfälle: A, B, C

Hier geht es darum zu klären, welche Daten überhaupt technisch übertragen werden können. Wie zuverlässig kann bspw. die aktuell vorherrschende Latenz einer TOP zur Verfügung gestellt werden? Welche Restriktionen gibt es im Hinblick auf die Fahrdynamik? Womöglich gibt es hierbei auch Unterschiede zwischen verschiedenen TO-Anbietern, die beim Wechsel von einer TOP zwischen mehreren Leitständen und bei Fahrzeugwechsel auftreten können.

4. Welche Daten benötigt die TOP in welcher Qualität? Welche Abstufung, welche Priorisierung gibt es? Ist dies vom Anwendungsfall oder der Geschwindigkeit abhängig?

Cluster: 1, 2, 3, 4

Anwendungsfälle: A, B, C

Muss vom Optimum der zu übertragenden Daten abgewichen werden, so stellt sich die Frage, welche Daten in welcher Qualität übertragen werden müssen. So kann etwa ein hochauflösendes Bild mit hoher Latenz schlechter sein als ein niedrigauflösendes Bild mit geringer Latenz. Dies ist insbesondere auch vor dem Hintergrund verschiedener Anwendungsfälle und Fahrsituationen zu betrachten.

5. Was sind die Auswirkungen von Latenz etc. auf die TOP? Wie hoch ist der mentale Workload?

Cluster: 2, 3, 4

Anwendungsfälle: A, B, C

Neben der Quality of Experience im Sinne der Leistung des Systems ist der weniger technische Aspekt von Quality-Metriken hinsichtlich der Belastung der TOP von besonderer Bedeutung.

So wäre es zum Beispiel denkbar, dass sich TOPs zwar weitgehend an höhere Latenzen gewöhnen können, nicht jedoch an höhere Jitter.

6. Welche Anforderungen an TOP Monitoring im Leitstand muss es geben?

Cluster: 1, 2, 3, 4

Anwendungsfälle: A, B, C

Dies betrifft bspw. die technische Detektion von Ablenkung und Ermüdung. Auch muss gegebenenfalls für eine menschliche Rückfallebene gesorgt werden, i.S. von Supervision am Leitstand und die Ausstattung des Teleoperations-Personals muss auskömmlich sein.

7. Wie ist mit einem Notfall (z. B. Herzinfarkt) der TOP umzugehen?

Cluster: 1, 2, 4, 5

Anwendungsfälle: B, C

Grundsätzlich sind technische Lösungen, wie der Einsatz eines „Next Generation E-Call“ denkbar. Jedoch muss diese Frage auch im gesellschaftlichen Dialog beleuchtet werden.

8. Wie muss das risikominimale Manöver ausgestaltet sein?

Cluster: 1, 2, 3, 4, 5

Anwendungsfälle: B, C

Ein risikominimales Manöver wird vermutlich bei Verbindungsabbrüchen zum Einsatz kommen oder wenn die telefahrende/fernlenkende Person (ggf. aus gesundheitlichen Gründen) ausfällt. In jedem Fall entsteht dann ein kritischer Fall für die Verkehrssicherheit; die Situation muss bestmöglich aufgelöst werden. Ist bspw. ein Anhalten im Fahrstreifen in bestimmten Situationen einem Anhalten am rechten Fahrbahnrand vorzuziehen? Auch hier kann ein gesellschaftlich akzeptiertes Verhalten zusätzlich eine Rolle spielen.

9. Welche Rahmenbedingungen müssen bei einer Aufgaben- und Anforderungsanalyse für TOP berücksichtigt werden?

Cluster: 1, 2, 3, 4, 5

Anwendungsfälle: A, B, C

Hier gilt es einerseits die Passung zwischen Person und Aufgabe, andererseits die Passung zwischen Person und Umwelt zu betrachten. Welche Qualifikation wird für welches Berufsbild benötigt? Hiernach richtet sich auch die Aus- und Fortbildung sowie die Ausgestaltung von Trainings.

10. Auf welcher Entscheidungsbasis erfolgt die Festlegung eines Betriebsbereichs für Telefahrten?

Cluster: 1, 2, 3, 4, 5

Anwendungsfälle: B, C

Hierbei wird wohl die Netzabdeckung eine entscheidende Rolle spielen. Aber auch unterschiedliche Anwendungsfälle der TO können Einfluss nehmen. Nicht zuletzt kann die Ausweisung eines Telefahr-Betriebsbereichs von gesellschaftlicher Akzeptanz maßgeblich mitbestimmt werden.

11. Inwieweit braucht es die Vermittlung des Arbeitsplatzes von TOPs sowie weitere relevante Arbeitsbedingungen (beispielsweise die Sicherheitsstandards und die Verantwortungszuständigkeiten) in die Gesellschaft?

Cluster: 2, 5

Anwendungsfälle: A, B, C

In Zusammenhang mit Verantwortung ergeben sich auch weitere gesellschaftlich relevante Fragen wie:

- Inwieweit ist der Umgang mit einer Situation anders, wenn teleoperiert/ digital gesteuert wird vs. vor Ort (Verantwortung aus der Distanz, psychische Belastung aus der Distanz; bspw. auch als Fahrende eigene Verletzungsgefahr)?
- Haftungsfragen? Umgang mit Schuld? Eigenverantwortung und Verantwortung der Arbeitgeber, wenn teleoperiert? Gelten bei Teleoperation die gleichen Verantwortungsanforderungen im Vergleich mit Fahrenden im Fahrzeug?

12. Müssen teleassistierte und telegefahrene Fahrzeug gekennzeichnet werden und wenn ja, wie soll die Kennzeichnung der Fahrzeuge aussehen?

Cluster 1, 2, 4, 5

Anwendungsfälle: A, B, C

- Wie müssen die Fahrzeuge gekennzeichnet sein, damit bekannt ist, dass das Fahrzeug teleoperiert wird (sichtbar für die Außenstehenden)?
- Soll es die Möglichkeit geben, dass Außenstehende Kontakt zur TOP aufnehmen (zusätzliche Anforderungen an TOPs)?

5.2 Mittelfristige Forschungsfragen

13. Welche Rolle spielt Teleoperation bei der schrittweisen Markteinführung von autonomen Fahrzeugen?

Cluster: 1, 5

Anwendungsfälle: A, B, C

Teleoperation ist ein verpflichtender Teil eines autonomen Fahrzeugs und es besteht die Annahme, dass ihre ODD die ODD der autonomen Fahrfunktion ergänzen kann. Diese könnte somit eine Funktion darstellen, welche einen großen Einfluss auf die Missionserfüllung hat. Außerdem besteht die Annahme und Forschungsfrage, ob Teleoperation das Vertrauen in autonome Fahrzeuge erhöhen können.

Aus diesen beiden Annahmen kann die Forschungsfrage abgeleitet werden, ob und welche Rolle Teleoperation bei der schrittweisen Markteinführung von autonomen Fahrzeugen spielt.

14. Kann eine telefahrende/fernlenkende Person angeben, wann es sicher ist, das Fahrzeug an einen Computer zu übergeben?

Cluster: 2, 4

Anwendungsfälle: B, C

Die Entscheidung, die Kontrolle über ein autonomes Fahrzeug an einen Menschen abzugeben, wird in der Regel auf der Grundlage einer Kombination von Faktoren getroffen und ist wohl erforscht. Die umgekehrte Entscheidung hat bisher weniger Aufmerksamkeit erfahren.

15. Wie sieht ein potenzieller Steuerungswechsel aus? Sollte dieser – im Hinblick auf die Verkehrssicherheit – während der Fahrt („on-the-fly“) oder im Stillstand durchgeführt werden? Ist eine Kombination beider denkbar oder ist dies abhängig von der Umgebung?

Cluster: 1, 2, 3, 4, 5

Anwendungsfälle: C

Ein Wechsel während des Stillstands weist andere technische und menschliche Anforderungen auf als ein Wechsel während der Fahrt. Auch könnten derartige Erwägungen von der aktuellen Fahrsituation oder Umgebung abhängen, etwa von der Geschwindigkeit oder der Anzahl der Verkehrsteilnehmenden. Eine besondere Rolle könnte hier auch Mischverkehr aus manuell betriebenen, autonomen und telefahrenden/ferngelenkten Fahrzeugen spielen. Möglicherweise stellt der vorherige Involviertheitszeitraum der TOP eine entscheidende Kenngröße dar.

16. Wie sollte das Berufsbild einer TOP in der Gesellschaft vermittelt werden und welche Rolle spielt die Vermittlung vom Berufsbild einer TOP?

Cluster: 2, 5

Anwendungsfälle: A, B, C

Bei der Ausarbeitung von Aufgaben und Anforderungen an die TOP stellt sich die Frage, inwieweit und welche Aspekte dieses Berufsbildes genau in die Gesellschaft transportiert werden sollten, um Akzeptanz der Mobilitätsangebote, die auf Teleoperation basieren, bei potenziellen Nutzenden und Betroffenen zu fördern. Das kann auch den Beruf attraktiv für potenzielle Arbeitnehmende machen. Konkret lassen sich die folgenden Fragen ableiten:

- Inwieweit soll in die Gesellschaft vermittelt werden, wie Arbeitsplätze beziehungsweise die Arbeit und die Aufgaben von Teleassistenten / telefahrenden/ferngelenkten Personen aussehen? Welche Effekte kann das auf die Akzeptanz der Technik und des Berufes in der Gesellschaft haben?
- Inwieweit trägt das für die Steigerung der Attraktivität des Berufsbildes TOP bei potenziellen Arbeitnehmenden bei?
- Was ist das Profil einer TOP (das „Bild“ davon) das in der Gesellschaft herrscht?
- Potenziale der Teleoperation als Narrativ in der Gesellschaft: Welcher Mehrwert kann in Teleoperation gesehen werden und was sind die wesentlichen Gründe, damit Teleoperation auf den Straßen eingeführt beziehungsweise eingesetzt wird?

17. Inwieweit sollen Anforderungen an die Expertise von TOPs in die Gesellschaft vermittelt werden und welche zusätzlichen Anforderungen der Gesellschaft an die Expertise von TOPs sind zu erwarten?

Cluster: 4, 5

Anwendungsfälle: A, B, C

- Inwieweit sollen die Anforderungen an die TOP in der Gesellschaft vermittelt werden?

An dieser Stelle sollte einerseits Wert auf die Sicherheit gelegt werden, aber auch eine realistische Vorstellung entstehen, was eine TOP leisten sollte und welche Kompetenzen dafür notwendig sind. Es ist davon auszugehen, dass eine iterative Entwicklung des Bildes einer TOP in der Gesellschaft notwendig sein wird. Erwarten Personen bspw. „Fluglotsen“ oder sind geringere beziehungsweise gegebenenfalls auch ganz andere Anforderungen/Qualifikationen erforderlich?

- Was sollte in die Gesellschaft vermittelt beziehungsweise wie sollte die Teleoperation für die Öffentlichkeit vorgestellt werden, damit Personen sie bewerten können?
- Was ist die gesellschaftlich akzeptierte Schwelle der Expertise einer TOP?
- Unterscheiden sich die Erwartungen der Expertinnen und Experten und der Gesellschaft in Bezug auf die Fahreignung?
- Was wiegt in der Bewertung einer TOP beziehungsweise einer Bewertung teleoperierter Fahrzeuge und Mobilitätsangebote durch Gesellschaft schwerer: Ausbildung und Fähigkeiten der TOPs oder die Ausstattung und wie Teleoperation technisch und operativ funktioniert? Was sind die Vorstellungen, Erwartungen und Bedenken diesbezüglich?
- Wie könnte sichergestellt werden, dass TOPs das gleiche Verantwortungsbewusstsein haben wie Fahrende auf der Straße? Durch das Vorhandensein welcher charakterlichen Merkmale kann sichergestellt werden, dass die TOPs stets verantwortungsvoll agieren?

18. Inwieweit beeinflusst der Arbeitsort von TOPs (Deutschland vs. Ausland) die Akzeptanz von Teleassistenten und Telefahren/Fernlenken in der Gesellschaft?

Cluster: 2, 3, 4, 5

Anwendungsfälle: A, B, C

An dieser Stelle können unterschiedliche Aspekte eine Rolle spielen, zum Beispiel: Inwieweit unterscheidet sich die Verkehrskultur des Landes, in dem die TOPs angestellt sind (wenn außerhalb Deutschlands), von der Verkehrskultur in Deutschland? Inwieweit ist die Betroffenheit von TOPs geringer, wenn sie keine emotionale Verbindung zu dem Land, in dem sie die Fahrzeuge steuern, haben. Weiter stellt sich die Frage wie in diesem Fall die Überwachung der TOP (Befähigung, Eignung, Fahrtüchtigkeit während des Führens des Kfz etc.) sichergestellt wird, wenn die TOP außerhalb von Deutschland ansässig ist?

19. Welche Anforderungen an die Schulung von TOPs und welche Anforderungen an tagesaktuelle Prüfung des Zustandes einer TOP entstehen insbesondere mit Blick auf potenzielle Edge-Cases/ Notfall beziehungsweise Ausnahmesituationen?

Cluster: 3, 4

Anwendungsfälle: A, B, C

Die Ausbildung von TOPs wird voraussichtlich neben täglichen Aufgaben, Verantwortlichkeiten und Wissen auch zusätzlich Schulung(en) zur Vorbereitung auf Ausnahmesituationen beinhalten. Beispielsweise damit TOPs entsprechende vorbeugende Maßnahmen bei potenziellen Netzstörungen („Funklöcher“) auf der Strecke einleiten können, besteht der

Bedarf an Verankerung des Umgangs mit solchen Situationen in das Gesamtschulungskonzept, und zwar nicht nur in der Grundausbildung, sondern auch in kurzfristige, tagesaktuelle Anweisungen bei Sondersituationen. Hier stellt sich auch die Frage: Nach welchen Prozeduren, die die TOP kennen sollte, sollte vorgegangen werden?

Zusätzlich ist es für einen sicheren Betrieb zu untersuchen, welche tagesaktuelle Prüfungen/ Check-Ups notwendig sind und welcher Informationsbedarf dadurch entsteht. Dabei wird davon ausgegangen, dass der Einsatz einer TOP mit einer Abfrage startet, ob er/sie Besonderheiten für die Strecke beziehungsweise den Einsatzbereich zu erwarten hat. Eine Voraussetzung dafür, dass tagesaktuelle Check-Ups der Strecke gemacht werden können, ist die Verfügbarkeit von Informationen in Echtzeit sowie von einer umfangreichen aktuellen Datenbank über die Netzabdeckung. Bei tagesaktuellen Check-Ups ist nicht nur die TOP selbst im Fokus (z. Bsp. Fahrtüchtigkeit während der Fahrt: Übermüdung, Alkohol, Drogen etc.), sondern auch das teleoperierte Fahrzeug (z. Bsp. Lkw: Ladungssicherheit etc.).

20. Inwieweit ist eine Kommunikation zwischen der TOP und nicht-motorisierten Verkehrsteilnehmenden erforderlich beziehungsweise in welchen Situationen und auf welche Art und Weise? Inwieweit trägt eine solche Kommunikationsmöglichkeit zu einer höheren Akzeptanz der Technik bei?

Cluster: 1, 2, 5

Anwendungsfälle: A, B, C

Diese Frage bezieht sich auf die Analyse der Anforderungen von betroffenen Personen an die Teleoperation sowie darauf, inwieweit eine Kommunikationsmöglichkeit die Akzeptanz der Technik erhöhen würde. Die Beantwortung dieser Frage hat unmittelbare Implikationen zum einen auf die Gestaltung der Technik und zum anderen auf die Anforderungen an TOPs. Vertiefende Fragen zu unterschiedlichen sehr konkreten Ausgestaltungsmöglichkeiten sind in den entsprechenden Clustern adressiert.

5.3 Langfristige Forschungsfragen

21. Wie sind die Schnittstellen von Teleoperation in andere Systeme auszugestalten?

Cluster: 1, 2, 3

Anwendungsfälle: B, C

Hier geht es um Intermodalität, die Einrichtung von Ad-hoc-Netzwerken und Systemen, sowie die Einbeziehung von Mobilitätsdaten (Mobilithek). Besonderer Bedeutung kommt hier der Ressourcenteilung im Hinblick auf die Daten, den Verkehrsraum insgesamt und möglichen Sektor-Kopplungen zu.

22. Können Funktionen der Teleoperation auf verschiedene Subsysteme beliebig verteilt oder auch zentralisiert verortet sein?

Cluster: 1, 2, 3

Anwendungsfälle: B, C

Welche Architekturen sind dabei vorzuhalten, welche Rolle spielen digitale Zwillinge?

6 Fazit

Im vorliegenden Bericht wurde der Forschungsbedarf im Themenfeld der Teleoperation von Fahrzeugen im öffentlichen Straßenverkehr dargelegt. Dabei wurden drei spezifische Anwendungsfälle betrachtet: Die Teleassistenz als Unterstützung von autonomen Fahrzeugen durch Zugabe von Steuerungsempfehlungen oder Informationen, das fortwährende Telefahren/Fernlenken und das eventbasierte Telefahren/Fernlenken als direkte Übernahmen der Steuerung von Fahrzeugen aus der Ferne. Mit dem Ziel, die Absicherung von autonomem Fahren zu unterstützen und neue Mobilitätskonzepte, neue Technologien und neue Steuerungsformen gebrauchstauglich, sicher und effizient in den bestehenden Verkehr zu integrieren, sollte die Forschung frühzeitig strukturiert und Bedarfe ermittelt werden. Dabei steht nicht die Technik im Mittelpunkt. Es soll ein komplexes soziotechnisches System in Balance ermöglicht werden, indem stabilisierende und destabilisierende Faktoren identifiziert werden, deren Zusammenhänge und Interaktionen es zu untersuchen gilt. Zur Bedarfsanalyse dieses komplexen Forschungsbereiches wurden fünf grundlegende Ebenen ermittelt, welche den Bericht inhaltlich gliedern und als Cluster bezeichnet wurden: „Fahrzeug, Betriebsbereich und Funktionssicherheit“, „Ergonomie und Arbeitsschutz“, „Kommunikationstechnologie“, „Fahreignung, Befähigung und personelle Anforderungen“ sowie „Gesellschaftliche Aspekte und Verkehrssicherheit“. Diese Ebenen, ihre spezifische thematische Bandbreite sowie ihre (komplexe) Verzahnung untereinander zeigen den multidimensionalen Charakter des Forschungsgebietes Teleoperation auf. Forschungsförderung könnte hier ansetzen, um das Themenfeld entsprechend interdisziplinär und ganzheitlich voranzutreiben. Für jede Ebene wurden auf Grundlage der drei Anwendungsfälle der Stand der Wissenschaft und Technik umfassend herausgestellt und anschließend Forschungslücken und Anforderungen durch die Formulierung konkreter und detaillierter Forschungsfragen erarbeitet. Die Sichtung des aktuellen Forschungsstandes zeigte grundlegend auf, wie rudimentär sich die Forschungslage im Bereich Teleoperation zum Zeitpunkt der vorliegenden Berichtsabfassung im Automobilbereich noch darstellt.

Insgesamt wurden 174 Forschungsfragen ermittelt, die sich sowohl spezifisch nur in einzelnen Clustern bewegen als auch clusterübergreifend aufgestellt sind. Entscheidend dabei ist, dass neben einer Reihe von Einzelfragen, die in den jeweiligen Forschungsgebieten zu adressieren sind, auch eine Reihe von Systemfragen identifiziert wurden, die für teleoperierte Systeme aufgrund ihres hohen Vernetzungsgrades besonders relevant sind. Diese Forschungsfragen lassen sich am besten als Ineinandergreifen unterschiedlicher Beeinflussungs- und Regelkreise berücksichtigen. Am „scharfen Ende“ eines teleoperierten Systems ist dabei der Regelkreis zwischen Leitstand, Kontrollstation, TOP, Kommunikationstechnologie, Fahrzeug und Umwelt zu erforschen. Eine Degradierung oder eine Fehlfunktion dieses Regelkreises würde unmittelbar zu Risiken für Menschen und Organisationen führen. Aber auch am „stumpfen Ende“ der Teleoperation sind Beeinflussungs- und Regelkreise, beispielsweise zur Auswahl und Training von Teleoperatoren oder zur Erhebung der gesellschaftlichen Anforderungen und Herstellung einer Akzeptanz, die ausreichend wissenschaftlich verstanden werden müssen, um teleoperierte Systeme mittelbar überhaupt erfolgreich entwickeln, betreiben und nutzen zu können.

Anhand der zeitlichen Relevanz (langfristig, mittelfristig, kurzfristig) ergab sich eine Priorisierung der Inhalte. Das Gesamtdokument bietet abschließend einen detaillierten Überblick über die aktuelle Forschungslage, eröffnet, strukturiert und ermutigt zukünftige Forschungsarbeiten.

Literatur

- Alexander, G. J [Gerson J.] & Lunenfeld, H. (1979). A Users' Guide to Positive Guidance in Highway Control. *Proceedings of the Human Factors Society Annual Meeting*, 23(1), 452–455.
<https://doi.org/10.1177/1071181379023001114>
- Allen, T. M., Lunenfeld, H. & Alexander, G. J [G. J.] (1971). Driver information needs. *Highway research record*, 366, 102–115.
- Bagschik, G., Menzel, T., Reschka, A. & Maurer, M. (2017). Szenarien für Entwicklung, Absicherung und Test von automatisierten Fahrzeugen. In 11. *Workshop Fahrerassistenzsysteme und automatisiertes Fahren*.
- Bagschik, G., Nolte, M., Ernst, S. & Maurer, M. (2018). A system's perspective towards an architecture framework for safe automated vehicles. In 2018 21st *International Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC)* (S. 2438–2445). IEEE. <https://doi.org/10.1109/ITSC.2018.8569398>
- Bainbridge, L. (1983). Ironies of automation. In G. Mancini, G. Johannsen & L. Martensson (Hrsg.), *Analysis, design and evaluation of man–machine systems* (S. 129–135). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-029348-6.50026-9>
- Baumann, M. & Krems, J. F. (2007). Situation awareness and driving: a cognitive model. In P. C. Cacciabue (Hrsg.), *Modelling driver behaviour in automotive environments* (S. 253–265). Springer London.
https://doi.org/10.1007/978-1-84628-618-6_14
- Baumann, M., Krems, J. & Heinrich, L. K. (2022). Automation, situation awareness and mental workload. In A. Riener, M. Jeon & I. Alvarez (Hrsg.), *Studies in Computational Intelligence. User experience design in the era of automated driving* (Bd. 980, S. 3–27). Springer International Publishing.
https://doi.org/10.1007/978-3-030-77726-5_1
- Bendel, O. (1993). *Definition: Was ist „Agilität“?* GABLER WIRTSCHAFTSLEXIKON.
- Bhattacharjee, A. & Sanford, C. (2009). The intention–behaviour gap in technology usage: the moderating role of attitude strength. *Behaviour & Information Technology*, 28(4), 389–401.
<https://doi.org/10.1080/01449290802121230>
- Brooke, J. (1996). SUS: a 'quick and dirty' usability scale. In P. W. Jordan, B. Thomas, B. A. Weerdmeester & I. L. McClelland (Hrsg.), *Usability evaluation in industry* (1. Aufl.). Taylor and Francis.
- Bubb, H. (1977). Analyse der Geschwindigkeitswahrnehmung im Kraftfahrzeug. *Zeitschrift für Arbeitswissenschaft*(31), 103–111.
- Buchholz, M., Gies, F., Danzer, A., Henning, M., Hermann, C., Herzog, M., Horn, M., Schön, M., Rexin, N., Dietmayer, K., Fernandez, C., Janosovits, J., Kamran, D., Kinzig, C., Lauer, M., Molinos, E., Stiller, C., Ackermann, S., Homolla, T., . . . Siepenkötter, N. (2020). Automation of the UNICARagil vehicles. 29th *Aachen Colloquium Sustainable Mobility*, 2, 1531–1560.
<https://doi.org/10.18725/OPARU-34024>

- Bundesanstalt für Straßenwesen. (2020). *Nutzerkommunikation: Was heißt eigentlich autonomes Fahren?* Federal Highway Research Institute (BAST). https://www.bast.de/BAST_2017/EN/Automotive_Engineering/Subjects/f4-user-communication.html?nn=1844934 [26.02.2024]
- Casakin, H. & Badke-Schaub, P. (2013). Measuring sharedness of mental models in architectural and engineering design teams. In *DS / The Design Society: Bd. 7. Design for harmonies: ICED 13, the 19th International Conference on Engineering Design, 19th - 22nd August 2013, Sungkyunkwan University (SKKU), Seoul, Korea*. Design Society.
- Chen, J. Y. C., Flemisch, F. O., Lyons, J. B. & Neerincx, M. A. (2020). Guest editorial: agent and system transparency. *IEEE Transactions on Human-Machine Systems*, 50(3), 189–193. <https://doi.org/10.1109/THMS.2020.2988835>
- Chen, J. Y. C., Haas, E. C. & Barnes, M. J. (2007). Human performance issues and user interface design for teleoperated robots. *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics, Part C (Applications and Reviews)*, 37(6), 1231–1245. <https://doi.org/10.1109/TSMCC.2007.905819>
- Chucholowski, F. E. (2016). *Eine vorausschauende Anzeige zur Teleoperation von Straßenfahrzeugen*. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.36709.29929>
- Cummings, M., Li, S., Seth, D., Seong, M. & Duke University. (2021, 1. Mai). *Concepts of operations for autonomous vehicle dispatch operations* (CSCRS-R9). Collaborative Sciences Center for Road Safety. <https://rosap.ntl.bts.gov/view/dot/56823> [26.02.2024]
- Davis, F. D. (1989). Perceived usefulness, perceived ease of use, and user acceptance of information technology. *MIS Quarterly*, 13(3), 319. <https://doi.org/10.2307/249008>
- Dix, A., Helmert, J. R., Wagner, T. & Pannasch, S. (2021). Autonom und unfallfrei – Betrachtungen zur Rolle der Technischen Aufsicht im Kontext des autonomen Fahrens. *Journal Psychologie des Alltagshandelns / Psychology of Everyday Activity*, 14(2), 5–18.
- Donges, E. (1999). A conceptual framework for active safety in road traffic. *Vehicle System Dynamics*, 32(2-3), 113–128. <https://doi.org/10.1076/vesd.32.2.113.2089>
- Döring, N. & Bortz, J. (2016). *Forschungsmethoden und Evaluation in den Sozial- und Humanwissenschaften*. Springer Berlin Heidelberg. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-41089-5>
- Elhajj, I., Xi, N., Fung, W. K., Liu, Y.-H., Hasegawa, Y. & Fukuda, T. (2003). Supermedia-enhanced internet-based telerobotics. *Proceedings of the IEEE*, 91(3), 396–421. <https://doi.org/10.1109/JPROC.2003.809203>
- Endsley, M. R. (1988). Situation awareness global assessment technique (SAGAT). In *Proceedings of the IEEE 1988 National Aerospace and Electronics Conference* (S. 789–795). IEEE. <https://doi.org/10.1109/NAECON.1988.195097>
- Endsley, M. R. (1995). Toward a theory of situation awareness in dynamic systems. *Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society*, 37(1), 32–64. <https://doi.org/10.1518/001872095779049543>

- Endsley, M. R. (2021). Situation awareness. In G. Salvendy & W. Karwowski (Hrsg.), *Handbook of human factors and ergonomics* (S. 434–455). Wiley. <https://doi.org/10.1002/9781119636113.ch17>
- Endsley, M. R. & Jones, D. G. (2012). *Designing for situation awareness: An approach to user-centered design* (2. Aufl.). CRC Pr. <http://site.ebrary.com/lib/alltitles/docDetail.action?docID=10517999> [26.02.2024]
- Euro NCAP. (2016). *Top of the stops - AEB makes an impact*. <https://euroncap.newsmarket.com/LATEST-RELEASE/safety-in-a-united-euro-ncap/s/c9aeb8f2-395d-4adb-b369-3a090eec93db> [26.02.2024]
- Fastenmeier, W. (1995). Autofahrer und Verkehrssituation: Neue Wege zur Bewertung von Sicherheit und Zuverlässigkeit moderner Straßenverkehrssysteme. In *Mensch - Fahrzeug - Umwelt: Bd. 33*. VERLAG TUEV RHEINLAND GMBH. <https://trid.trb.org/view/997243> [26.02.2024]
- Fastenmeier, W. (2021). Die schöne neue Welt des automatisierten und autonomen Fahrens - Der Mensch als Störfaktor? In W. Fastenmeier, U. Ewert, J. Kubitzki & H. Gсталter (Hrsg.), *Die kleine Psychologie des Straßenverkehrs – Mythen, Vorurteile, Fakten* (S. 11–29). Hogrefe.
- Fastenmeier, W. & Gсталter, H. (2003). Entwicklung und Anwendung einer neuen Methodik zur Fahreraufgabenanalyse/ Development and application of a new tool in driver task analysis. In *VDI-Berichte: Bd. 1768. Der Fahrer im 21. Jahrhundert: Anforderungen, Anwendungen, Aspekte für Mensch-Maschine-Systeme; Tagung Braunschweig, 2. und 3. Juni 2003* (Nichtred. Manuskriptdr). VDI-Verl.
- Fastenmeier, W. & Gсталter, H. (2007). Driving task analysis as a tool in traffic safety research and practice. *Safety Science*, 45(9), 952–979. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2006.08.023>
- Fastenmeier, W., Plewka, M., Gсталter, H., Gaster, K. & Gehlert, T. (2023). *Weiterentwicklung und Evaluation einer Rückmeldefahrt für Senior:innen*. Mensch - Verkehr - Umwelt, Institut für Angewandte Psychologie; Unfallforschung der Versicherer. Forschungsbericht / Gesamtverband der Deutschen Versicherungswirtschaft. <https://edocs.tib.eu/files/e01fn23/1844754596.pdf> [26.02.2024]
- Fleischer, T., Schippl, J. & Puhe, M. (2022). Autonomes Fahren und soziale Akzeptanz: konzeptionelle Überlegungen und empirische Einsichten. *Journal für Mobilität und Verkehr*(12), 9–23. <https://doi.org/10.34647/jmv.nr12.id80>
- Flemisch, F. O., Baltzer, M., Abbink, D., Siebert, I. C, van Diggelen, J, Herzberger, N., Draper, M., Boardman, M., Pacaux-Lemoine, M. & Wasser, J. (2023). Towards a dynamic balance between humans and AI-based systems. In *Multidisciplinary Research Handbook on Meaningful Human Control over Artificial Intelligence Systems*. Edward Elgar Publishing.
- Flemisch, F. O., Meyer, R., Baltzer, M. & Sadeghian, S. (2019). Arbeitssysteme interdisziplinär analysieren, bewerten und gestalten am Beispiel der automatisierten Fahrzeugführung. *Frühjahrskongress 2019, Dresden Arbeit interdisziplinär analysieren – bewerten – gestalten*.
- Flemisch, F. O., Preutenborbeck, M., Baltzer, M., Wasser, J., Meyer, R., Herzberger, N., Bloch, M., Usai, M. & Lopez, D. (2021). Towards a balanced analy-

- sis for a more intelligent human systems integration. In D. Russo, T. Ahram, W. Karwowski, G. Di Bucchianico & R. Taiar (Hrsg.), *Advances in Intelligent Systems and Computing. Intelligent human systems integration 2021* (Bd. 1322, S. 31–37). Springer International Publishing.
https://doi.org/10.1007/978-3-030-68017-6_5
- Flemisch, F. O., Schieben, A., Schoemig, N., Strauss, M., Lueke, S. & Heyden, A. (2011). Design of human computer interfaces for highly automated vehicles in the EU-Project HAVEit. In C. Stephanidis (Hrsg.), *Lecture Notes in Computer Science: Bd. 6767, Universal access in human-computer interaction: 6th international conference, UAHCI 2011, held as part of HCI International 2011, Orlando, FL, USA, July 9-14, 2011; proceedings* (S. 270–279). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-642-21666-4_30
- Gebauer, T., Patchou, M. & Wietfeld, C. (2023). SEAMLESS: Radio metric aware multi-link transmission for resilient rescue robotics. In *2023 IEEE International Conference on Safety, Security, and Rescue Robotics (SSRR)*, Fukushima, Japan.
- Gloede, F. (1987). Vom Technikfeind zum gespaltenen Ich. In K. Lompe (Hrsg.), *Beiträge zur sozialwissenschaftlichen Forschung: Bd. 105. Techniktheorie · Technikforschung Technikgestaltung* (S. 233–266). VS Verlag für Sozialwissenschaften. https://doi.org/10.1007/978-3-322-88692-7_9
- Gnatzig, S. (2015). *Trajektorienbasierte Teleoperation von Straßenfahrzeugen auf Basis eines Shared-Control-Ansatzes* [Dissertation, Technische Universität München]. [mediatum.ub.tum.de. https://mediatum.ub.tum.de/1253158](https://mediatum.ub.tum.de/1253158) [26.02.2024]
- Grunwald, A. (2005). Zur Rolle von Akzeptanz und Akzeptabilität von Technik bei der Bewältigung von Technikkonflikten. *TATuP - Zeitschrift für Technikfolgenabschätzung in Theorie und Praxis*, 14(3), 54–60.
<https://doi.org/10.14512/tatup.14.3.54>
- Grunwald, A. (2016). Societal risk constellations for autonomous driving. Analysis, historical context and assessment. In M. Maurer, J. C. Gerdes, B. Lenz & H. Winner (Hrsg.), *Autonomous driving* (S. 641–663). Springer Berlin Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-662-48847-8_30
- Grunwald, A. (2019). Digitalisierung als Prozess. Ethische Herausforderungen inmitten allmählicher Verschiebungen zwischen Mensch, Technik und Gesellschaft. *Zeitschrift für Wirtschafts- und Unternehmensethik*, 20(2).
<https://doi.org/10.5771/1439-880X-2019-2>
- Grunwald, A. & Saretzki, T. (2020). Demokratie und Technikfolgenabschätzung. *TATuP (Zeitschrift für Technikfolgenabschätzung in Theorie und Praxis)*, 29(3), 10–55. <https://doi.org/10.14512/tatup.29.3.10>
- Gstalter, H. (1988). Transport und Verkehr. In D. Frey, C. Graf Hoyos & D. Stahlberg (Hrsg.), *Angewandte Psychologie* (S. 317–337). Psychologie Verlagsunion.
- Haberfellner, R., Weck, O. L. de, Fricke, E. & Vössner, S. (2021). *Systems engineering: Fundamentals and applications* (Korrigierte Auflage). Birkhäuser.
- Hacker, W. (1986). *Arbeitspsychologie: Psychische Regulation von Arbeitstätigkeiten* (Neufassung von „Allgemeine Arbeits- und Ingenieurpsychologie“). *Schriften zur Arbeitspsychologie: Bd. 41*. Huber.

- Hardes, T. & Sommer, C. (2023). Opportunistic airborne virtual network infrastructure for urban wireless networks. *Computer Communications*, 208, 220–230. <https://doi.org/10.1016/j.comcom.2023.06.003>
- Herzberger, N., Usai, M. & Flemisch, F. O. (2022). Confidence horizon for a dynamic balance between drivers and vehicle automation: first sketch and application. In *AHFE International, Human Factors in Transportation*. AHFE International. <https://doi.org/10.54941/ahfe1002431>
- Hoc, J.-M. (2000). From human-machine interaction to human-machine cooperation. *Ergonomics*, 43(7), 833–843. <https://doi.org/10.1080/001401300409044>
- Hofbauer, M., Kuhn, C. B., Petrovic, G. & Steinbach, E. (2020). TELECARLA: an open source extension of the CARLA simulator for teleoperated driving research using off-the-shelf components. In *2020 IEEE Intelligent Vehicles Symposium (IV)* (S. 335–340). IEEE. <https://doi.org/10.1109/IV47402.2020.9304676>
- Hoff, K. A. & Bashir, M. (2015). Trust in automation: integrating empirical evidence on factors that influence trust. *Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society*, 57(3), 407–434. <https://doi.org/10.1177/0018720814547570>
- Hosseini, A. & Lienkamp, M. (2016). Enhancing telepresence during the teleoperation of road vehicles using HMD-based mixed reality. In *2016 IEEE Intelligent Vehicles Symposium (IV)* (S. 1366–1373). IEEE. <https://doi.org/10.1109/IVS.2016.7535568>
- Huang, M. P. & Alessi, N. E. (1999). Presence as an emotional experience. In *Medicine Meets Virtual Reality* (S. 148–153). IOS Press. <https://doi.org/10.3233/978-1-60750-906-6-148>
- INCOSE. (2022). *INCOSE guide to writing requirements V3.1 – summary sheet*. https://www.incose.org/docs/default-source/working-groups/requirements-wg/rwg_products/incose_rwg_gtwr_summary_sheet_2022.pdf?sfvrsn=a95a6fc7_2 [26.02.2024]
- Irvine, P., Zhang, X., Khastgir, S., Schwalb, E. & Jennings, P. (2021). A two-level abstraction ODD definition language: part I. In *2021 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics (SMC)* (S. 2614–2621). IEEE. <https://doi.org/10.1109/SMC52423.2021.9658751>
- ISO 26262 (2018). *Road Vehicles – Functional Safety*. ISO/TS 26262:2018(en).
- Kampmann, A., Mokhtarian, A., Kowalewski, S. & Alrifaae, B. (2022). ASOA - A dynamic software architecture for software-defined vehicles. In *31st Aachen Colloquium Sustainable Mobility 2022*.
- Kettwich, C., Schrank, A., Avsar, H. & Oehl, M. (2021). What if the automation fails? – A classification of scenarios in teleoperated driving. In *13th International Conference on Automotive User Interfaces and Interactive Vehicular Applications* (S. 92–96). ACM. <https://doi.org/10.1145/3473682.3480271>
- Kettwich, C., Schrank, A., Avsar, H. & Oehl, M. (2022). A helping human hand: relevant scenarios for the remote operation of highly automated vehicles in public transport. *Applied Sciences*, 12(9), 4350. <https://doi.org/10.3390/app12094350>

- Kettwich, C., Schrank, A. & Oehl, M. (2021). Teleoperation of highly automated vehicles in public transport: user-centered design of a human-machine interface for remote-operation and its expert usability evaluation. *Multimodal Technologies and Interaction*, 5(5), 26.
<https://doi.org/10.3390/mti5050026>
- Klebensberg, D. (1982). *Verkehrspsychologie*. Springer Berlin Heidelberg.
<https://doi.org/10.1007/978-3-642-47507-8>
- Kraus, J., Scholz, D., Stiegemeier, D. & Baumann, M. (2020). The more you know: trust dynamics and calibration in highly automated driving and the effects of take-overs, system malfunction, and system transparency. *Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society*, 62(5), 718–736. <https://doi.org/10.1177/0018720819853686>
- Lam, T. M., Boschloo, H. W., Mulder, M. & van Paassen, M. M. (2009). Artificial Force Field for Haptic Feedback in UAV Teleoperation. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics - Part A: Systems and Humans*, 39(6), 1316–1330. <https://doi.org/10.1109/tsmca.2009.2028239>
- Lee, J. D. & See, K. A. (2004). Trust in automation: designing for appropriate reliance. *Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society*, 46(1), 50–80. https://doi.org/10.1518/hfes.46.1.50_30392
- Lindgaard, G., Dillon, R., Trbovich, P., White, R., Fernandes, G., Lundahl, S. & Pinamaneni, A. (2006). User needs analysis and requirements engineering: theory and practice. *Interacting with Computers*, 18(1), 47–70.
<https://doi.org/10.1016/j.intcom.2005.06.003>
- Lu, S., Zhang, M. Y., Ersal, T. & Yang, X. J. (2019). Workload management in teleoperation of unmanned ground vehicles: effects of a delay Compensation Aid on Human Operators' Workload and Teleoperation Performance. *International Journal of Human-Computer Interaction*, 35(19), 1820–1830.
<https://doi.org/10.1080/10447318.2019.1574059>
- Majstorovic, D., Hoffmann, S., Pfab, F., Schimpe, A., Wolf, M.-M. & Diermeyer, F. (2022). Survey on teleoperation concepts for automated vehicles. In *2022 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics (SMC)* (S. 1290–1296). IEEE. <https://doi.org/10.1109/SMC53654.2022.9945267>
- Mandl, H. & Gerstenmaier, J. (Hrsg.). (2000). *Die Kluft zwischen Wissen und Handeln: Empirische und theoretische Lösungsansätze*. Hogrefe Verlag für Psychologie.
- Maurer, M. (2018). Hochautomatisiertes und vollautomatisiertes Fahren. In 56. *Deutscher Verkehrsgerichtstag 2018: Veröffentlichung der auf dem 56. Deutschen Verkehrsgerichtstag vom 24. bis 26. Januar 2018 in Goslar gehaltenen Vorträge, Referate und erarbeiteten Empfehlungen*. Luchterhand Verlag.
- Maurer, M., Gerdes, J. C., Lenz, B. & Winner, H. (2015). *Autonomes Fahren*. Springer Berlin Heidelberg. <https://doi.org/10.1007/978-3-662-45854-9>
- McKnight, A. J. & Adams, B. B. (1970a). *Driver education task analysis. Vol I. Task descriptions. Final report*. <https://trid.trb.org/view/114083> [26.02.2024]
- McKnight, A. J. & Adams, B. B. (1970b). *Driver education task analysis. Volume II: Task analysis methods. Final report*. <https://eric.ed.gov/?id=ed075624> [26.02.2024]

- Meyer, U. (2016). Evolution und Institutionalisierung Komplexer Technologie. In U. Meyer (Hrsg.), *Innovationspfade* (S. 179–206). Springer Fachmedien Wiesbaden. https://doi.org/10.1007/978-3-531-93159-3_4
- Musicant, O., Botzer, A. & Shoval, S. (2023). Effects of simulated time delay on teleoperators' performance in inter-urban conditions. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 92, 220–237. <https://doi.org/10.1016/j.trf.2022.11.007>
- Mutzenich, C., Durant, S., Helman, S. & Dalton, P. (2021). Updating our understanding of situation awareness in relation to remote operators of autonomous vehicles. *Cognitive research: principles and implications*, 6(1), 9. <https://doi.org/10.1186/s41235-021-00271-8>
- Neumeier, S., Wintersberger, P., Frison, A.-K., Becher, A., Facchi, C. & Riener, A. (2019). Teleoperation. In *Proceedings of the 11th International Conference on Automotive User Interfaces and Interactive Vehicular Applications* (S. 186–197). ACM. <https://doi.org/10.1145/3342197.3344534>
- Niculescu, S.-I. (2001). *Delay effects on stability: A robust control approach*. Engineering online library: Bd. 269. Springer.
- Nielsen, J. (1994). *Usability engineering*. Morgan Kaufmann.
- Nolte, M., Ernst, S., Richelmann, J. & Maurer, M. (2018). Representing the unknown – impact of uncertainty on the interaction between decision making and trajectory generation. In *2018 21st International Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC)* (S. 2412–2418). IEEE. <https://doi.org/10.1109/ITSC.2018.8569490>
- Norman, D. A. (Hrsg.). (1986). *User centered system design: New perspectives on human-computer interaction* (9. Aufl.). Erlbaum.
- Norman, D. A. (2013). *The design of everyday things* (Überarbeitete und erweiterte). Basic Books. <http://swb.ebib.com/patron/FullRecord.aspx?p=1167019> [26.02.2024]
- O Rippy, L. (2021, 11. Januar). *NASA human systems integration handbook* (NASA/SP-20210010952). <https://ntrs.nasa.gov/citations/20210010952> [26.02.2024]
- Obrenović, Ž. (2011). Design-based research. *Interactions*, 18(5), 56–59. <https://doi.org/10.1145/2008176.2008189>
- Oubaid, V. (Hrsg.). (2019). *Der Faktor Mensch: Personalmanagement und Patientensicherheit*. Medizinisch Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft.
- Oubaid, V. & Anheuser, P. (2020, 24. September). *Risikoreduktion durch differentialpsychologische Analyse von medizinischen Berufsanforderungen*. Eingeladener Vortrag auf dem 72. Kongress der Deutschen Gesellschaft für Urologie e. V., Virtueller Kongress. www.dgu-kongress.de [26.02.2024]
- Oubaid, V. & Graefe zu Baringdorf, J. (2014). Job requirements of instructor pilots. In *EAAP31 Proceedings of the 31st Conference Aviation Psychology: Facilitating Change(s)* (S. 159–164). EAAP. <https://elib.dlr.de/94919/> [26.02.2024]

- Overbeck, D., Wagner, N. A., Kurtz, F. & Wietfeld, C. (2022). Proactive resource management for predictive 5G uplink slicing. In *GLOBECOM 2022 - 2022 IEEE Global Communications Conference* (S. 1000–1005). IEEE.
<https://doi.org/10.1109/GLOBECOM48099.2022.10001244>
- Parasuraman, R., Sheridan, T. B. & Wickens, C. D. (2008). Situation awareness, mental workload, and trust in automation: viable, empirically supported cognitive engineering constructs. *Journal of Cognitive Engineering and Decision Making*, 2(2), 140–160.
<https://doi.org/10.1518/155534308X284417>
- Poretsky, S.; Perser, J.; Erramilli, S.; Khurana, S. (Oktober 2006). *Terminology for Benchmarking Network-layer Traffic Control Mechanisms* (RFC 4689).
<https://www.rfc-editor.org/info/rfc4689> [26.02.2024]
- Rasmussen, J. (1986). Information processing and human-machine interaction. *An Approach to Cognitive Engineering*.
<https://cir.nii.ac.jp/crid/1570854175295938432> [26.02.2024]
- Reinberg, A. & Ashkenazi, I. (2008). Internal desynchronization of circadian rhythms and tolerance to shift work. *Chronobiology International*, 25(4), 625–643. <https://doi.org/10.1080/07420520802256101>
- Richard, J.-P. (2003). Time-delay systems: an overview of some recent advances and open problems. *Automatica*, 39(10), 1667–1694.
[https://doi.org/10.1016/S0005-1098\(03\)00167-5](https://doi.org/10.1016/S0005-1098(03)00167-5)
- Ropeik, D. (2002). Understanding factors of risk perception. *Nieman Reports*, 56(4), 52.
- Ryan, M. J., Wheatcraft, L. S., Dick, J. & Zinni, R. (2015). On the definition of terms in a requirements expression. *INCOSE International Symposium*, 25(1), 169–181. <https://doi.org/10.1002/j.2334-5837.2015.00055.x>
- SAE International/ISO (2021). *Taxonomy and definitions for terms related to driving automation systems for on-road motor vehicles* (SAE J3016). SAE International. https://www.sae.org/standards/content/j3016_201806/ [26.02.2024]
- Salem, N. F., Kirschbaum, T., Nolte, M., Lalitsch-Schneider, C., Graubohm, R., Reich, J. & Maurer, M. (2023). *Risk management core - towards an explicit representation of risk in automated driving*.
- Sanders, D. (2009). Analysis of the effects of time delays on the teleoperation of a mobile robot in various modes of operation. *Industrial Robot: An International Journal*, 36(6), 570–584.
<https://doi.org/10.1108/01439910910994641>
- Sanders, D. (2010). Comparing ability to complete simple tele-operated rescue or maintenance mobile-robot tasks with and without a sensor system. *Sensor Review*, 30(1), 40–50. <https://doi.org/10.1108/02602281011010781>
- Scharte, B. & Thoma, K. (2016). Resilienz – Ingenieurwissenschaftliche Perspektive. In R. Wink (Hrsg.), *Multidisziplinäre Perspektiven der Resilienzforschung* (S. 123–150). Springer Fachmedien Wiesbaden.
https://doi.org/10.1007/978-3-658-09623-6_6
- Schippers, H., Böcker, S. & Wietfeld, C. (2023). Data-driven digital mobile network twin enabling mission-critical vehicular applications. In *2023 IEEE 97th Ve-*

- hicular Technology Conference (VTC2023-Spring) (S. 1–7). IEEE. <https://doi.org/10.1109/VTC2023-Spring57618.2023.10200830>
- Schlick, C., Bruder, R., Luczak, H., Mayer, M. & Abendroth, B. (Hrsg.). (2010). *Arbeitswissenschaft* (3., vollst. überarb. und erw. Aufl.). Springer.
- Schrank, A., Walocha, F., Brandenburg, S. & Oehl, M. (2024). Human-centered design and evaluation of a workplace for the remote assistance of highly automated vehicles. *Cognition, Technology & Work*. Vorab-Onlinepublikation. <https://doi.org/10.1007/s10111-024-00753-x>
- Schuldt, F. (2017). *Ein Beitrag für den methodischen Test von automatisierten Fahrfunktionen mit Hilfe von virtuellen Umgebungen* [, Universitätsbibliothek Braunschweig]. DataCite.
- Schüler, C., Gebauer, T., Patchou, M. & Wietfeld, C. (2022). QoE evaluation of real-time remote operation with network constraints in a system-of-systems. In *2022 IEEE International Systems Conference (SysCon)* (S. 1–8). IEEE. <https://doi.org/10.1109/SysCon53536.2022.9773943>
- Sheridan, T. B. (1992). *Telerobotics, automation, and human supervisory control*. MIT Press.
- Sheridan, T. B. (1995). Teleoperation, telerobotics and telepresence: a progress report. *Control Engineering Practice*, 3(2), 205–214. [https://doi.org/10.1016/0967-0661\(94\)00078-U](https://doi.org/10.1016/0967-0661(94)00078-U)
- Shi, E. & Frey, A. T. (2021). Theoretical substitution model for teleoperation. In T. Bertram (Hrsg.), *Proceedings. Automatisiertes Fahren 2021* (S. 69–81). Springer Fachmedien Wiesbaden. https://doi.org/10.1007/978-3-658-34754-3_6
- Shneiderman, B. (1998). *Designing the user interface: Strategies for effective human-computer interaction*. Pearson/Addison-Wesley.
- Simonis, G. (1999). Die Zukunftsfähigkeit von Innovationen: das Z-Paradox. In D. Sauer (Hrsg.), *Veröffentlichungen aus dem Institut für Sozialwissenschaftliche Forschung e.V., ISF München. Paradoxien der Innovation: Perspektiven sozialwissenschaftlicher Innovationsforschung* (S. 149–173). Campus-Verl. https://www.researchgate.net/profile/georg-simonis/publication/370342014_georg_simonis_die_zukunftsfahigkeit_von_innovationen_das_z-paradox [26.02.2024]
- Slawiński, E., Mut, V., Salinas, L. & García, S. (2012). Teleoperation of a mobile robot with time-varying delay and force feedback. *Robotica*, 30(1), 67–77. <https://doi.org/10.1017/S0263574711000427>
- Slovic, P. (1988). Risk Perception. In C. C. Travis (Hrsg.), *Contemporary Issues in Risk Analysis, Sponsored by the Society for Risk Analysis: Bd. 3. Carcinogen Risk Assessment* (S. 171–181). Springer US. https://doi.org/10.1007/978-1-4684-5484-0_13
- Sneed, H. M. (1987). *Software management*. Müller GmbH.
- Sommer, C. (2021). User Tracking and Reidentification. In S. Jajodia, P. Samarati & M. Yung (Hrsg.), *Encyclopedia of cryptography, security and privacy* (3. Aufl.). Springer Berlin Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-642-27739-9_1536-1

- Tang Chen, T. L. (2015). *Methods for improving the control of teleoperated vehicles* [, Technische Universität München]. [mediatum.ub.tum.de](https://mediatum.ub.tum.de/1236115). <https://mediatum.ub.tum.de/1236115> [26.02.2024]
- Ulbrich, S., Reschka, A., Rieken, J., Ernst, S., Bagschik, G., Dierkes, F., Nolte, M. & Maurer, M. (2017). *Towards a functional system Architecture for automated vehicles*. <https://doi.org/10.48550/arXiv.1703.08557>
- UN Regulation No. 157, <https://unece.org/sites/default/files/2022-05/ECE-TRANS-WP.29-2022-59r1e.pdf> (2022). <https://un-docs.org/ECE/TRANS/WP.29/2020/81> [26.02.2024]
- Usai, M., Herzberger, N., Yu, Y. & Flemisch, F. O. (2023). Confidence Horizons: Dynamic Balance of Human and Automation control ability in cooperative automated driving. In C. Stiller, M. Althoff, B. Deml, L. Eckstein & F. O. Flemisch (Hrsg.), *Cooperatively Interacting Vehicles*. Springer.
- VDI 3780: *Technikbewertung Begriffe und Grundlagen*. (2000).
- Venkatesh, V. & Bala, H. (2008). Technology acceptance model 3 and a research agenda on interventions. *Decision Sciences*, 39(2), 273–315. <https://doi.org/10.1111/j.1540-5915.2008.00192.x>
- Vollrath, M. & Krems, J. F. (2011). *Verkehrspsychologie: Ein Lehrbuch für Psychologen, Ingenieure und Informatiker* (1. Auflage). Kohlhammer Standards Psychologie. W. Kohlhammer GmbH. <https://doi.org/10.17433/978-3-17-029561-2>
- Walch, M., Sieber, T., Hock, P., Baumann, M. & Weber, M. (2016). Towards cooperative driving: Involving the Driver in an Autonomous Vehicle's Decision Making. In P. Green, S. Boll, J. Gabbard, S. Osswald, G. Burnett, S. S. Borjoni, A. Löcken & A. Pradhan (Hrsg.), *Proceedings of the 8th International Conference on Automotive User Interfaces and Interactive Vehicular Applications* (S. 261–268). ACM. <https://doi.org/10.1145/3003715.3005458>
- Weick, K. E. (1995). *Sensemaking in organizations* (3. Aufl.). *Foundations for organizational science*. SAGE.
- Wickens, C. D. (2002). Multiple resources and performance prediction. *Theoretical Issues in Ergonomics Science*, 3(2), 159–177. <https://doi.org/10.1080/14639220210123806>
- Wickens, C. D., Helton, W. S., Hollands, J. G. & Banbury, S. (2022). *Engineering psychology and human performance* (5. Aufl.). Routledge Taylor & Francis Group. <https://www.taylorfrancis.com/books/mono/10.4324/9781003177616/engineering-psychology-human-performance-christopher-wickens-justin-hollands-simon-banbury-william-helton> <https://doi.org/10.4324/9781003177616>
- Wittler, M. (10. Oktober 2021). Neuer Carsharing-Dienst Ferngesteuert durch die City. *Spiegel Mobilität*, 2021. <https://www.spiegel.de/auto/fahrkultur/vay-carsharing-dienst-ferngesteuert-durch-hamburg-a-229c7128-259d-4613-b8dc-f9bc6d549d99> [26.02.2024]
- Zang, J. & Jeon, M. (2022). The effects of transparency and reliability of in-vehicle intelligent agents on driver perception, Takeover Performance, Workload and Situation Awareness in Conditionally Automated Vehicles. *Multi-modal Technologies and Interaction*, 6(9), 82. <https://doi.org/10.3390/mti6090082>

Abbildungen

Abbildung 1: Schaubild Teleoperation

Abbildung 2: Beispielhafte Übergänge zwischen unterschiedlichen Steuerungsmöglichkeiten

Abbildung 3: Kategorien der Fahraufgabe nach Donges (1999)

Abbildung 4: Stark vereinfachte Grafik zur Architektur nach Ulbrich et al. (2017), welche farblich beispielhaft mit den Teleoperations- und Automatisierungsmodi belegt ist.

Abbildung 5: Systemschaubild der Teleoperation, mit Fokus auf Ergonomie & Arbeitsschutz (abgeleitet von Flemisch et al., 2021; Herzberger et al., 2022; BAST, 2023).

Abbildung 6: Auszug aus dem IncoSe Guide for requirements (INCOSE, 2022).

Abbildung 7: Links: Erweitertes Teufelsquadrat der Systemanforderungen (Flemisch et al., 2019), basierend auf Sneed (1987). Rechts: „Engels-Diamant“ mit der zusätzlichen Dimension Nachhaltigkeit für die Systemanalyse komplexer Systeme (Flemisch et al., 2023).

Abbildung 8: Balanced Analysis of Systems (Usai et al., 2023; Flemisch et al., 2021; ausgehend von Döring & Bortz, 2016)

Abbildung 9: Leitstand auf dem Final Event des Projekts UNICARagil. (Bild: Lena Plum)

Abbildung 10: Hierarchisches 3-Ebenen-Modell der Fahraufgabe (grundlegend nach Allen et al., 1971, beziehungsweise Alexander & Lunenfeld, 1979; hier in der Darstellung von Gstalder, 1988)

Abbildung 11: Informationsverarbeitungsmodell zur Ableitung von Anforderungen aus der Fahraufgabe aus Fastenmeier und Gstalder (2003) und Fastenmeier und Gstalder (2007) modifiziert nach Rasmussen (1986); die Zahlen in den Kästen beziehen sich auf die jeweiligen Kapitel einer Aufgaben- und Anforderungsanalyse mit SAFe (Fastenmeier & Gstalder, 2003, 2007).

Tabellen

Tabelle 1: Tabellarische Darstellung des Anwendungsfalls A

Tabelle 2: Tabellarische Darstellung des Anwendungsfalls B

Tabelle 3: Tabellarische Darstellung des Anwendungsfalls C

Tabelle 4: Forschungsfragen aus Cluster 1 inkl. Zuordnung zum Anwendungsfall und der zeitlichen Priorisierung

Tabelle 5: Forschungsfragen aus Cluster 2 inkl. Zuordnung zum Anwendungsfall und der zeitlichen Priorisierung

Tabelle 6: Forschungsfragen aus Cluster 3 inkl. Zuordnung zum Anwendungsfall und der zeitlichen Priorisierung

Tabelle 7: Einsatzumgebungen und Randbedingungen von Teleoperation

Tabelle 8: Beispielhafte Einsatzzwecke der Teleoperation

Tabelle 9: Forschungsfragen aus Cluster 4 inkl. Zuordnung zum Anwendungsfall und der zeitlichen Priorisierung

Tabelle 10: Forschungsfragen aus Cluster 5 inkl. Zuordnung zum Anwendungsfall und der zeitlichen Priorisierung

Tabelle 11: Clusterübergreifende Forschungsfragen inkl. Zuordnung der zeitlichen Priorisierung

Arbeitsgruppe „Forschungsbedarf Teleoperation“

Koordination:

Tom Michael Gasser

Alexander Frey

Mitglieder in alphabetischer Reihenfolge entsprechend der Nachnamen:

Martin Baumann

Klaus Bengler

Sandro Berndt-Tolzmann

Leon Johann Brettin

Frank Diermeyer

Wolfgang Fastenmeier

Torsten Fleischer

Frank Flemisch

Alexander Frey

Nicole Gräcmann

Tobias Hardes

Nicolas Herzberger

Tobias Hesse

Manuela Huetten

Florian Klingler

Meike Jipp

Viktoriya Kolarova

Matthias Kühn

Christian Maag

Torsten Marx

Markus Maurer

Nora Merkel

Michael Oehl

Viktor Oubaid

Lena Plum

Gerd Riegelhuth

Nayel Fabian Salem

Andreas Schrank

Elisabeth Shi

Christoph Sommer

Joscha Wasser

Christian Wietfeld

Schriftenreihe

Berichte der Bundesanstalt für Straßen- und Verkehrswesen Unterreihe „Fahrzeugtechnik“

2023

F 150: Fahrerassistenzsysteme für die Geschwindigkeitsreduzierung bei schlechten Bedingungen

Pohle, Günther, Schütze, Trautmann

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

F 151: Integration von öffentlichem und privatem Parkraummanagement

Höpping, Jonas, Becker, Krüger, Freudenstein, Krampe, Godschachner, Inninger, Scholz, Hüttner, Grötsch, Stjepanovic

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

F 152: On-Board-Diagnose (OBD) – Analyse der OBD in Bezug auf zukünftig verfügbare Emissionsdaten für die Periodische Technische Inspektion (PTI)

Hausberger, Matzer, Lipp, Blassnegger, Hametner, Prosenec

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

2024

F 153: Zusammenstellung geeigneter Sicherheitsindikatoren für die Bewertung der Mensch-Maschine-Interaktion von Level 3 Systemen

Yan, Pichen, Schmitz, Sklorz, Baumann

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

F 153b: Compilation of suitable safety indicators for the evaluation of Human-Machine Interaction of level 3 systems

Yan, Pichen, Schmitz, Sklorz, Baumann

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

F 154: Systematisierung geeigneter fahrfremder Tätigkeiten für automatisiertes Fahren von schweren Güterkraftfahrzeugen

Flämig, Beck, Hoffmann, Tjaden, Höger, Brandt, Haase, Wolter, Müller, Damer, Hettich, Schnücker

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

F 155: Handbuch Rollstuhlbeförderung bei Ausschreibungen

Boenke, Deuster

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

F 156: Entwicklung eines Konzepts und Lastenheftes für eine Szenariendatenbank zur Bewertung der Sicherheitswirkung hochautomatisierter Fahrfunktionen

Klinge, Krampitz, Ehrich, Siemon, Wiegand, Lassowski, Stavesand, Simon

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

F 157: Statistischer und methodischer Ansatz zur Erhebung vertiefter Verkehrsunfalldaten

Bäumer, Hautzinger, Pfeiffer

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

F 158: Wissenschaftliche Begleitung der Teilnahme von Elektrokleinstfahrzeugen am Straßenverkehr

Unger, Grosche, Rößler, Uhlenhof, Bierbach, Huster, Panwinkler, Straßgütli, Suing, Zelazny

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

F 159: Pilotprojekt zu Emissionsmessungen mittels Remote Sensing Devices

Hager, Kathmann, Brandt, Roggendorf, Scharrenbroich, Borken-Kleefeld

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

2025

F 160: Verbesserte Unfallrekonstruktion durch zusätzliche Anknüpfungstatsachen und KI

Breitlauch, Erbsmehl, Schramm, Urban, Hauck, Sinen, Espig, Walter, Jänsch

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

F 161: Datenverknüpfung zur Erfassung von Fahrzeugausstattungen in GIDAS

Rößler, Uhlenhof

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

F 162: Motorrad Kurven-ABS MOKABS

Erlinger, Kraut, Tomasch, Ausserer, Rieß, Kaufmann

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

F 163a: Anhänger mit elektrisch angetriebener Unterstützungssachse

Seiniger, Bierbach, Bartels, Gail

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

F 163b: Trailers with an electrically powered support axle

Seiniger, Bierbach, Bartels, Gail

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

F 164: Methodenstudie zur Konzeption der Fahrleistungserhebung 2026

Bäumer, Pfeiffer, Kathmann, Müller, Wyrich, Eisenmann, Nobis

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

F 165: Prognose des Kraftschlusspotenzials bei schweren Güterkraftfahrzeugen (> 12 t zGG.)

Büteröwe, Müller

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

F 166a: Forschungsbedarf Teleoperation

Arbeitsgruppe „Forschungsbedarf Teleoperation“

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

Fachverlag NW in der Carl Ed. Schünemann KG

Zweite Schlachtpforte 7 · 28195 Bremen

Telefon (04 21) 3 69 03 - 0 · E-Mail: kontakt@schuenemann-verlag.de

Alternativ können Sie alle lieferbaren Titel auch auf unserer Website finden und bestellen.

www.schuenemann-verlag.de

Alle Berichte, die nur in digitaler Form erscheinen, können wir auf Wunsch als »Book on Demand« für Sie herstellen.



ISSN 0943-9307
ISBN 978-3-95606-856-0
<https://doi.org/10.60850/bericht-f166a>

www.bast.de