
Zusammenstellung geeigneter Sicherheits- indikatoren für die Bewertung der Mensch-Maschine- Interaktion von Level 3 Systemen

Berichte der Bundesanstalt
für Straßenwesen
Fahrzeugtechnik Heft F 153

Zusammenstellung geeigneter Sicherheits- indikatoren für die Bewertung der Mensch-Maschine- Interaktion von Level 3 Systemen

von

Fei Yan, Jürgen Pichen, Sven Schmitz
Kai Sklorz, Martin Baumann

Institut für Psychologie und Pädagogik
Universität Ulm

Berichte der Bundesanstalt
für Straßenwesen
Fahrzeugtechnik Heft F 153

Die Bundesanstalt für Straßenwesen veröffentlicht ihre Arbeits- und Forschungsergebnisse in der Schriftenreihe Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen. Die Reihe besteht aus folgenden Unterreihen:

A - Allgemeines
B - 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 Bundesanstalt für Straßenwesen, Stabsstelle Presse und Kommunikation.

Die Hefte der Schriftenreihe Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen können direkt bei der Carl Ed. Schünemann KG, Zweite Schlachtpforte 7, D-28195 Bremen, Telefon: (04 21) 3 69 03 - 53, bezogen werden.

Über die Forschungsergebnisse und ihre Veröffentlichungen wird in der Regel in Kurzform im Informationsdienst Forschung kompakt berichtet. Dieser Dienst wird kostenlos angeboten; Interessenten wenden sich bitte an die Bundesanstalt für Straßenwesen, Stabsstelle Presse und Kommunikation.

Die Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt) stehen zum Teil als kostenfreier Download im elektronischen BASt-Archiv ELBA zur Verfügung. <https://bast.opus.hbz-nrw.de>

Impressum

Bericht zum Forschungsprojekt 82.0768
Zusammenstellung geeigneter Sicherheitsindikatoren
für die Bewertung der MMI von Level 3 Systemen

Fachbetreuung:
André Wiggerich

Referat:
Automatisiertes Fahren

Herausgeber:
Bundesanstalt für Straßenwesen
Bruderstraße 53, D-51427 Bergisch Gladbach
Telefon: (0 22 04) 43 - 0

Redaktion:
Stabsstelle Presse und Kommunikation

Gestaltungskonzept:
MedienMélange:Kommunikation

Druck und Verlag:
Fachverlag NW in der Carl Ed. Schünemann KG
Zweite Schlachtpforte 7, D-28195 Bremen
Telefon: (04 21) 3 69 03 - 53 | Telefax: (04 21) 3 69 03 - 48
www.schuenemann-verlag.de

ISSN 0943-9307 | ISBN 978-3-95606-770-9

Bergisch Gladbach, Januar 2024

Kurzfassung - Abstract

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

Mit dem Ziel, geeignete Indikatoren und Kriterien für die Bewertung der sicheren Mensch-Maschine-Interaktion für SAE Level 3 Systeme bis 60 km/h im Kontext des automatisierten Fahrens zu identifizieren, wurde dieses Forschungsprojekt mit einem Fokusgruppeninterview begonnen, um relevante Publikationskanäle und eine Liste von Schlüsselwörtern bezüglich Indikatoren für die Bewertung der Mensch-Maschine-Interaktion auf SAE Level 3 zu identifizieren. Basierend auf der identifizierten Liste von Schlüsselwörtern wurde eine Literaturrecherche durchgeführt, um relevante Publikationen aus den identifizierten Publikationskanälen zu extrahieren. Anhand der definierten Ein- und Ausschlusskriterien wurden 38 Arbeiten ausgewählt und für eine Meta-Analyse verwendet, um den Einfluss verschiedener Übernahme-situationen auf die Übernahmeleistung zu untersuchen. Die Ergebnisse der Meta-Analyse haben gezeigt, dass die Übernahmeleistungen der Fahrer, gemessen an den Kategorien Übernahmezeit, Übernahmequalität und subjektive Arbeitsbeanspruchung, in statischen und dynamischen Situationen unterschiedlich sind. Anschließend wurden Experteninterviews mit sechs internationalen Experten durchgeführt, um die Ergebnisse der Metaanalyse zu interpretieren und Checklisten-elemente zu entwickeln. Am Ende wurden 16 Checklistenpunkte entwickelt, die sechs Kategorien von Systemanforderungen zugeordnet sind und von internationalen Experten zur Bewertung der Sicherheit der Mensch-Maschine-Interaktion von SAE Level 3 Systemen bis zu 60 km/h in Serienfahrzeugen verwendet werden können. Diese Checkliste wurde zu einer Online-Anwendung weiterentwickelt, die als einfach zu implementierendes und effizientes Bewertungsverfahren in Bezug auf die verkehrssicherheitsrelevante Interaktionsqualität der Systeme genutzt werden kann.

Compilation of suitable safety indicators for the evaluation of Human-Machine Interaction of level 3 systems

With the aim of identifying suitable indicators and criteria for evaluating the safe human-machine interaction for SAE level 3 systems up to 60 km/h in the context of automated driving, this research project has started with a focus group interview to identify relevant publication channels and list of keywords regarding indicators for the evaluation of human-machine interaction at SAE Level 3. Based on the identified list of keywords, literature reviews have been conducted to extract relevant publications from the identified publication channels. According to the defined inclusion and exclusion criterion, 38 papers have then been selected and used for meta-analysis to study the influence of different takeover situations on takeover performances. The results of meta-analysis have indicated that drivers' takeover performances measured by the categories of takeover time, takeover quality and subjective workload are different in static and dynamic situations. After that, expert interviews have been conducted with six international experts to help interpret the results of meta-analysis and develop checklist items. In the end, 16 checklist items assigned in six categories of system requirements have been developed and can be used by international experts to evaluate the safety of the human-machine interaction of SAE Level 3 systems up to 60 km/h in production vehicles. This checklist has been further developed to an online application, which can be used as an easy-to-implement and efficient evaluation procedure in relation to the traffic safety relevant interaction quality of the system.

Summary

Compilation of suitable safety indicators for the evaluation of Human-Machine Interaction of level 3 systems

Task Description

As SAE Level 2 systems were already available in production vehicles, relevant criteria for evaluating the safety of human-machine interaction were compiled in the previous BAST projects. Explicit criteria for higher automation levels (SAE Level 3 and 4) have not been considered due to the lack of vehicle technology regulations at UN ECE level.

From 2021, the first vehicle systems for highly automated driving up to 60 km/h (Automated Lane Keeping System, ALKS) receive the necessary international regulatory framework for approval. It is expected that different manufacturers will implement the specific design of human-machine interaction within the regulatory framework with different concepts. A comprehensive evaluation of SAE Level 3 systems that takes into account all safety-relevant aspects has not been possible to achieve due to the lack of a holistic evaluation system. However, as more and more vehicle manufacturers in Germany are seeking road approval for their SAE Level 3 vehicles, a uniform evaluation of the human-machine interaction of SAE Level 3 systems is necessary.

Approach

The goal of the project is to develop a checklist which is able to evaluate the safety of human machine interaction at SAE level 3 in the context of automated driving. Also, there will be a concept for the digital solution of the checklist to evaluate the safety of SAE 3 level vehicles efficiently in practical application. To achieve this, a six-step approach will be applied. In work package 1 about Identification of publication channels, public channels will be identified with regard to safety indicators for the evaluation of the human-machine interaction of SAE Level 3 systems. Within the identified publication channels, a first sample of about 30 publications will be generated based on an initial list of keywords. In work package 2 of Literature search, publication channels will be systematically queried and relevant publications will be extracted based on the list of keywords. In work package 3 of Meta-analysis, a meta-analysis about the influence of different takeover situations on takeover performances will be carried out based on the relevant publications. The results of each publication will be summarized statistically and the effect size for each safety indicator will be calculated. In work package 4: Create checklist, a checklist to evaluate the safety of the human-machine interaction of SAE Level 3 System will be created based on the results of the meta-analysis and expert interviews. This checklist has been further developed into a web-based application, which can be used for the evaluation of human-machine interaction at SAE Level 3. Finally, a final scientific report will be prepared, where the results and the methodological approach will be summarized and integrated (work package 5: Communication with BAST). During the whole project, regular meeting will be arranged between Ulm university and BAST to present and discuss the results (work package 6: Documentation).

Results

At the beginning, a focus group interview with human factors experts in the automobile domain has been conducted to explore the publication channels and key words related to the evaluation of safe human-machine interaction at SAE Level 3 in the context of

automated driving. In addition, a sample of 33 relevant papers have been selected and used to update the list of keywords and publication channels from the focus group. In the end, a first version of keywords and publication channels has been provided in the work package 1. Based on these identified publication channels and list of keywords, relevant publications with regard to indicators that influence the safe interaction between driver and SAE level 3 systems has been extracted in work package 2.

After the literature selection, 38 relevant publications have been selected for the meta-analysis in the work package 3. In work package 3, a meta-analysis about the influences of different takeover situations on the takeover performances has been conducted. The results of meta-analysis show that the classified static or dynamic situation triggering takeover request has a significant effect on takeover timing, takeover quality and subjective measurement. These results can be interpreted based on the conducted expert interviews. Regarding takeover timing, it can be seen that although it takes driver longer to regain the steering wheel in dynamic situation, their takeover time overall is less than static situation. Considering longer Hands-on time in dynamic situations, experts explained that drivers needed more time to analyze the complex situation and make a decision with the first motor action. For the possible reasons of shorter takeover time in dynamic situations, experts mentioned that drivers in dynamic situations could perceive relevant objects more quickly due to the dynamic movements and therefore reacted more quickly than in static situations. Concerning takeover quality, it can be summarized that drivers brake more heavily in dynamic situations than static situations. In addition, time to collision is shorter in dynamic situations than in static situations. With regard to the faster and stronger braking actions in dynamic situations, experts found that drivers' needs to get more time were higher in dynamic situations than static situations, therefore they started faster with the braking action by decreasing speeds to save more time for final correct decisions. Regarding shorter TTC in dynamic situations, experts explained that as drivers needed more time to make decisions in dynamic situations. When time was running out, they still had to brake harder and hence had a short TTC. Regarding measurement of subjective workload, it can be seen that driver have higher workload in static situations than dynamic situations, which is opposite as expected. An alternative explanation by experts could be that some static objects created more uncertainty, and drivers needed additional effort to identify and assess the object, which led to higher workload.

Expert interviews have been conducted with six international experts to help interpret the results of meta-analysis and develop checklist items for evaluating safe human-machine interaction at SAE Level 3. In the end, totally 16 checklist items which can be divided into six categories have been developed:

- 1 Requirements for driving at SAE Level 3
 - 1.1 System checks the responsibility of the driving task at any moment
 - 1.2 System provides the driver with a permanent display of the traffic situation (e.g. birds eye view or using light display to show where the vehicle is going and where obstacles are dangerously close using a red light)
- 2 Requirements for system's takeover request
 - 2.1 System announces a takeover request at least 10 seconds prior to the takeover
 - 2.2 System informs the driver of the urgency of the situation
 - 2.3 System provides multi-modal warnings (e.g. auditory, visual, tactile)

- 2.4 The numbers of warning modalities increase with the urgency of the situation (single modality for non-urgent situations and multi-modals for urgent situations)
- 3 Requirements for interaction design for Takeover assistance
 - 3.1 Interaction strategies used for takeover process should be standardized in terms of implementation (e.g. modalities of takeover request and driver's confirmation)
 - 3.2 System detects and informs the driver whether the surrounding obstacle moves or not (e.g. flashing lights for static obstacle, light with moving patterns for dynamic obstacle)
 - 3.3 System highlights the relevant obstacles (e.g. flags, marks in the left side mirror or flashing ambient lights in the front of the vehicle such as A-pillar or dashboard)
 - 3.4 System explains the reason (e.g. error code) for the transfer of control in a clear way to the driver, e.g. with a visual display or auditory information
 - 3.5 System suggests possible manoeuvres to the driver (e.g. visual display in urgent situations)
- 4 Additional requirements for assistance in takeover situations with Dynamic movement
 - 4.1 System gives warnings to the driver in a simple, noticeable and adequate way (e.g. manufacturers style guides)
 - 4.2 System displays the trajectory movement of the obstacle and predicts the potential conflict of points of collisions on real time to the driver, e.g. with light display highlighting all the potential obstacles
- 5 Requirement for the driver's mutual understandability to the Takeover request
 - 5.1 The takeover request from the system can be fully perceived and understood by the driver
 - 5.2 The driver expresses that he/she is ready and able to take back control in a clear way according to UN-R157,6.2.5.2
- 6 Requirements for assistance after driver's takeover
 - 6.1 System checks the driver's steering performance to achieve steering stabilization by adaptive steering similar to Active Front Steering (e.g. BMW AFS)

Furthermore, these finalized checklist items have been transferred into a web-based application, which is hosted on a private GitLab Pages site (https://uulm_humanfactors.gitlab.io/bastapp/), so that the evaluation of human-machine interaction at SAE Level 3 can be efficient and reliable.

Conclusion for practice

First, experts' professional interpretations on driver's different takeover performance in different takeover situations and their concerns about implementation of some automated functions in the car series can be taken into account for the development of assistance systems for SAE Level 3 in the future. Secondly, the finalized checklist items provide important insights into the development of advanced driver assistance systems and evaluation for the safe human-machine interaction in the context of automated driving at SAE Level 3. Furthermore, the suggested important issues addressing the human-machine interaction at SAE Level 3 from expert interviews and checklist items can be used to help develop vehicle technology regulations at UN ECE level. It provides a uniform evaluation of human-machine interaction for SAE Level 3 systems for different car manufacturers,

who are able to implement specific designs of human-machine interaction within the regulatory framework with different concepts. Besides, the digital application of checklist is intended to support experts and developers in evaluating current systems with regard to safety-relevant aspects, identifying safety-relevant aspects of existing prototypes of human-machine interaction, and selecting design proposals for further developments that sufficiently fulfill safety criteria.

Inhalt

1	Hintergrund und Fragestellung	10
1.1	SAE Level 3: Bedingte Fahrautomatisierung	10
1.1.1	Probleme von SAE Level 3 in Europa	11
2	Überblick über das Projekt	12
2.1	Zielsetzung und Forschungsfrage	12
2.2	Forschungsansatz	12
3	Arbeitspaket 1: Identifizierung von Publikationskanälen	14
3.1	Zielsetzung von Arbeitspaket 1	14
3.2	Fokusgruppe	14
3.2.1	Teilnehmer	14
3.2.2	Fragen für das Interview	14
3.2.3	Ergebnisse	14
3.3	Beispielpublikationen	16
3.4	Erste Version der Liste der Schlüsselwörter und der identifizierten Publikationskanäle	16
3.5	Zusammenfassung	17
4	Arbeitspaket 2: Literaturrecherche und Literaturauswahl	18
4.1	Ziel des Arbeitspakets 2	18
4.2	Literaturquellen und Suchstrategie	18
4.3	Einschlusskriterien	18
4.4	Literaturauswahl und Ausschlusskriterium	19
4.5	Zusammenfassung	19
5	Arbeitspaket 3: Meta-Analyse	20
5.1	Zielsetzung des Arbeitspakets 3	20

5.2	Bisherige Reviews und Meta-Analysen	20
5.3	Forschungsfrage	20
5.4	Klassifizierung der Szenarien, die TOR auslösen	20
5.5	Kategorie der Sicherheitsindikatoren	21
5.6	Vorbereitung des Datensatzes	21
5.7	Analyse und Ergebnisse	22
5.7.1	Übernahme-Timing	22
5.7.2	Übernahmequalität	24
5.7.3	Subjektive Messung: Arbeitsbeanpruchung	25
5.8	Zusammenfassung	26
6	Arbeitspaket 4: Entwicklung einer Checkliste	27
6.1	Ziel von Arbeitspaket 4	27
6.2	Experteninterview	27
6.2.1	Leitfaden des Experteninterviews	27
6.2.2	Auswahl der Experten	28
6.2.3	Durchführung der Expertenbefragung	28
6.2.4	Analyse und Ergebnisse der Expertenbefragung	29
6.3	Entwicklung der Checkliste	33
6.3.1	Vorgehensweise	33
6.3.2	Struktur der Checkliste	33
6.3.3	Kategorien der Systemanforderungen	34
6.3.4	Checklist Items	35
6.3.5	Anwendung der Checkliste Items	36
6.4	Checkliste zur Bewertung der Mensch-Maschine-Interaktion auf SAE Level 3	38
6.5	Zusammenfassung	41
7	Schlussfolgerung	42
	Literatur	43
	Bilder	45
	Tabellen	46

1 Hintergrund und Fragestellung

Mit der Entwicklung der Automatisierungstechnik im Automobilbereich in den letzten Jahrzehnten erhält das automatisierte oder autonome Fahren allmählich Zugang zum Alltag der Menschen. Es wird erwartet, dass die Verkehrssicherheit durch die Verringerung menschlicher Fehler und die Entlastung der Fahrer durch die Ausführung verschiedener Fahraufgaben erhöht wird (National Highway Traffic Safety Administration, 2017).

Laut SAE International (2018) gibt es sechs Stufen bzw. Level der Fahrautomatisierung, von keiner Fahrautomatisierung (Stufe 0) bis zur vollständigen Fahrautomatisierung (Stufe 5), wie in Bild 1-1 dargestellt. Von SAE Level 0 bis SAE Level 2 muss der Fahrer gleichzeitig fahren und die Unterstützungsfunktionen überwachen, während einige Fahrerunterstützungsfunktionen aktiviert sind. Bei SAE Level 2 beispielsweise muss der Fahrer weiterhin die Straße überwachen und bei kritischen Ereignissen auch die Fahraufgabe übernehmen. Derzeit haben viele Automobilhersteller SAE Level 2 (Teilautomatisierung) durch die Einführung von Fahrerassistenzfunktionen ermöglicht, wie z. B. Autopilot von Tesla, Stauassistent von Audi, Fahrerassistenz Plus von BMW (TEOH, 2020). Ab SAE Level 3 braucht der Fahrer nicht mehr selbst zu fahren und die Verkehrssituation zu überwachen, sondern greift nur noch ein, wenn das automatisierte System dies verlangt. Es zeigt sich, dass das automatisierte Fahren erst auf SAE Level 3 wirklich erreicht wird. In diesem Projekt werden wir uns auf die Indikatoren konzentrieren, die eine sichere Mensch-Maschine-Interaktion (MMI) auf SAE Level 3 beschreiben (siehe Bild 1-1, rot markiert).

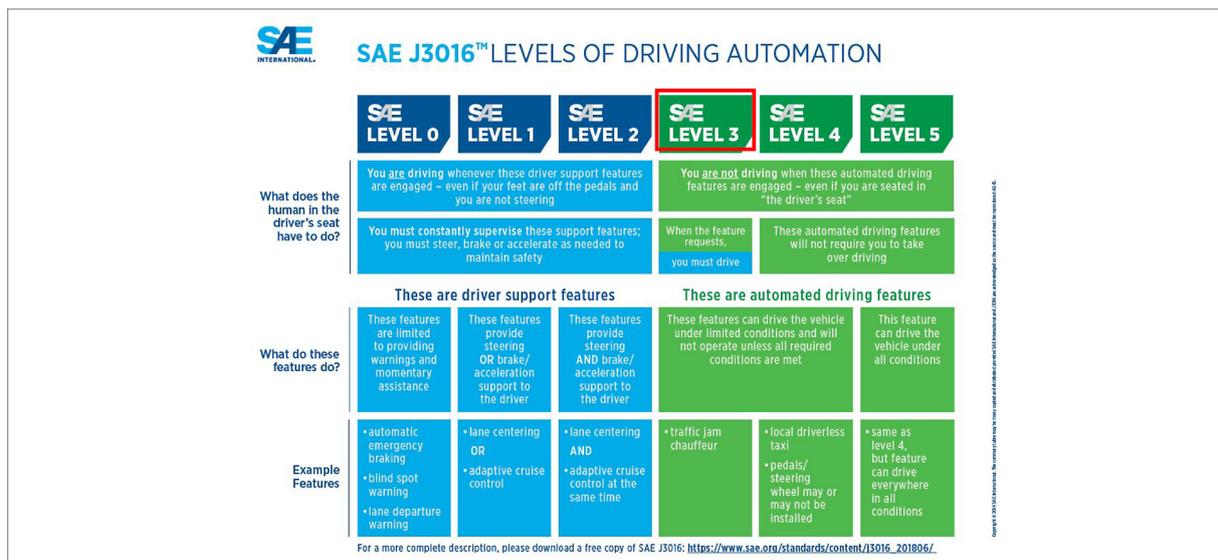


Bild 1-1: Die von der SAE definierten sechs Stufen der Fahrautomatisierung

1.1 SAE Level 3: Bedingte Fahrautomatisierung

Nach der von der SAE definierten Taxonomie der Fahrautomatisierung ändert sich die Rolle des Menschen mit zunehmendem Automatisierungsgrad. Auf SAE Level 3 müssen Fahrautomatisierungssysteme die gesamte dynamische Fahraufgabe übernehmen, sodass der Fahrer dies nicht tun muss und sich mit fahrfremden Tätigkeiten beschäftigen kann. Es wird jedoch erwartet, dass der Fahrer die Fahraufgabe übernimmt, wenn ein Systemfehler auftritt oder wenn das Fahrautomatisierungssystem im Begriff ist, seinen betrieblichen Gestaltungsbereich zu verlassen. Dann wird erwartet, dass der Fahrer mit einer entsprechenden

Vorlaufzeit in der Lage ist, die Fahraufgabe wiederaufzunehmen, wenn er gewarnt wird (SAE, 2021). Ein System der SAE Level 3 führt beispielsweise automatisch die Quer- und Längsregelung durch und ist auch in der Lage, ein langsames Fahrzeug auf einer mehrspurigen Autobahn mit einer Geschwindigkeit von 120 km/h zu überholen. In bestimmten Situationen muss der Fahrer mit einer entsprechenden Vorlaufzeit wieder die Kontrolle über die Fahraufgabe übernehmen, wenn das automatisierte Fahrsystem die Fahrsituation aufgrund situativer Faktoren (z. B. verschmutzte Fahrbahnmarkierungen) nicht ausführen kann.

Obwohl viele Automobilhersteller in letzter Zeit angekündigt haben, höhere Stufen der Fahrautomatisierung (SAE Level 3 oder höher) einzuführen, hat Mercedes-Benz als erster Automobilhersteller der Welt im Dezember 2021 eine international gültige Systemzulassung für hochautomatisiertes Fahren (SAE Level 3) erhalten. Darüber hinaus hat Honda ein Fahrzeug mit einer zugelassenen Selbstfahrfunktion der SAE Level 3, nämlich „Traffic Jam Pilot“. Diese ist jedoch nur für den japanischen Markt, im Jahr 2021, freigegeben worden. Das System führt automatisch die Quer- und Längssteuerung durch und überwacht dabei die Umgebung des Fahrzeugs, indem es Daten von hochauflösenden Karten und externen Sensoren nutzt.

1.1.1 Probleme von SAE Level 3 in Europa

Da SAE Level 2 Systeme in vielen Serienfahrzeugen vorhanden sind, gibt es bereits relevante Kriterien zur Bewertung der sicheren Mensch-Maschine-Interaktion, die im BAST-Projekt FE 82.0708/2017 „Entwicklung und Simulation von Szenarien und kontinuierlichen Automatisierungsfunktionen zur Bewertung der Sicherheit der Mensch-Maschine-Interaktion“ und FE 82.0709/2017 „Entwicklung eines Checklistenverfahrens zur Bewertung der Sicherheit der Mensch-Maschine-Interaktion von kontinuierlichen Automatisierungsfunktionen“ untersucht und berichtet wurden. Explizite Kriterien für höhere Automatisierungsstufen (SAE Level 3 und 4) wurden jedoch nicht entwickelt, da es keine fahrzeugtechnischen Regelungen auf UN ECE-Ebene gab.

Mit der verabschiedeten UN-Regelung Nr. 157 - Automated Lane Keeping Systems (ALKS) (United Nations, 2021) erhalten die ersten Fahrzeugsysteme für hochautomatisiertes Fahren bei Geschwindigkeiten bis 60 km/h den notwendigen internationalen Regelungsrahmen für ihre Zulassung. Obwohl die Gestaltungsmöglichkeiten der Mensch-Maschine-Interaktion aufgrund der detaillierten fahrzeugtechnischen Anforderungen weitgehend standardisiert sein werden, ist zu erwarten, dass verschiedene Automobilhersteller ihre spezifischen Gestaltungsvorschläge der Mensch-Maschine-Interaktion mit unterschiedlichen Konzepten innerhalb des regulatorischen Rahmens definieren werden. Um potenziell bessere Mensch-Maschine-Interaktionskonzepte im Rahmen des Verbraucherschutzes zu fördern, werden geeignete Indikatoren und Kriterien zur Bewertung der sicheren Mensch-Maschine-Interaktion für diese Systeme in Erweiterung der bestehenden Kriterien für SAE Level 2 Systeme benötigt.

2 Überblick über das Projekt

2.1 Zielsetzung und Forschungsfrage

Mit klaren Regelungen für den Betrieb von automatisierten Fahrzeugen des SAE Level 3 auf UN ECE Ebene ist es nun möglich, Sicherheitskriterien für die Mensch-Maschine-Interaktion zu entwickeln. Die Forschungsfrage dieses Projekts ist daher die Identifizierung geeigneter Indikatoren und Kriterien für die Bewertung der Sicherheit der Mensch-Maschine-Interaktion für erste SAE Level 3 Systeme bis 60 km/h auf der Grundlage einer Literaturübersicht.

Ziel des Projektes ist es, eine Checkliste zu entwickeln, die in der Lage ist, die Sicherheit der Mensch-Maschine-Interaktion bei automatisierten Fahrzeugen auf SAE Level 3 zu bewerten. Außerdem soll ein Konzept für die digitale Lösung der Checkliste erstellt werden, um die Sicherheit von SAE Level 3 Fahrzeugen in der Praxis effizient bewerten zu können.

2.2 Forschungsansatz

Um die Forschungsfrage in diesem Projekt zu beantworten, wird ein sechsstufiger Ansatz angewandt (siehe Bild 2-1). Zu Beginn werden öffentliche Kanäle im Hinblick auf Sicherheitsindikatoren für die Bewertung der MMI von SAE Level 3 Systemen identifiziert. Innerhalb der identifizierten Veröffentlichungskanäle wird eine erste Stichprobe von etwa 30 Veröffentlichungen auf der Grundlage einer ersten Liste von Schlüsselwörtern erstellt. Anhand dieser Stichproben kann dann eine Liste von Kriterien für die Klassifizierung der Veröffentlichungen erstellt werden. Dies wird hauptsächlich im Rahmen von Arbeitspaket 1 geschehen.

In Arbeitspaket 2 werden die Publikationskanäle systematisch abgefragt und relevante Publikationen auf der Grundlage der Liste der Schlüsselwörter extrahiert. Eine Stichprobe von 10 - 20 % aller identifizierten Publikationen wird zufällig ausgewählt. Bei Bedarf werden die Schlagwortliste und der Kriterienkatalog um weitere Aspekte ergänzt.

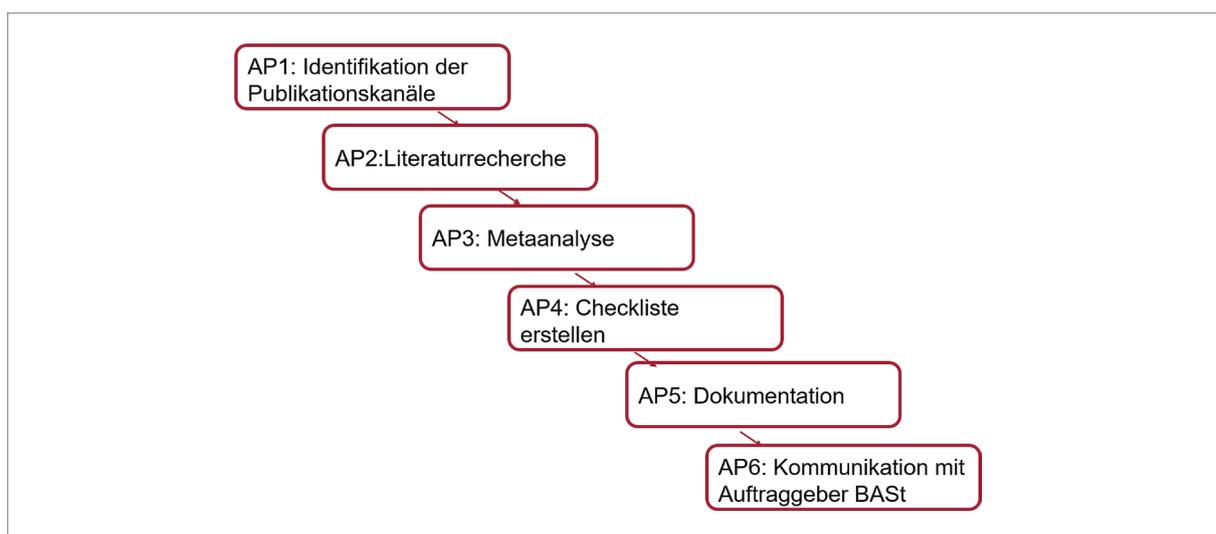


Bild 2-1: Überblick über den Ansatz des BAST-Projekts

In Arbeitspaket 3 wird dann auf Basis der relevanten Publikationen eine Meta-Analyse durchgeführt. Die Ergebnisse der einzelnen Publikationen werden statistisch zusammengefasst und die Effektgröße für jeden Sicherheitsindikator berechnet.

In Arbeitspaket 4 wird auf der Grundlage der Ergebnisse der Literaturrecherche und der Meta-Analyse eine Checkliste zur Bewertung der Sicherheit des MMI von SAE Level 3 Systemen erstellt. Die Ergebnisse werden in Form von Experteninterviews weiter ausgewertet.

Während des gesamten Projekts werden regelmäßige Treffen zwischen der Universität Ulm und der BASt organisiert, um die Ergebnisse zu präsentieren und zu diskutieren (Arbeitspaket 5). Schließlich wird ein wissenschaftlicher Abschlussbericht erstellt, in dem die Ergebnisse und das methodische Vorgehen zusammengefasst und integriert werden (Arbeitspaket 6).

3 Arbeitspaket 1: Identifizierung von Publikationskanälen

3.1 Zielsetzung von Arbeitspaket 1

Ziel des Arbeitspakets 1 ist es, eine erste Version der identifizierten Publikationskanäle und Schlüsselwörter im Zusammenhang mit der Bewertung der sicheren Mensch-Maschine-Interaktion auf SAE Level 3 im Kontext des automatisierten Fahrens auf der Grundlage der Fokusgruppe mit Domänenexperten zu erstellen.

3.2 Fokusgruppe

3.2.1 Teilnehmer

Zwei Moderatoren leiteten die Fokusgruppe mit Experten aus dem Bereich Human Factors. Insgesamt gab es 12 Teilnehmer. Das Bildungsniveau der zwölf Experten für Verkehrsforschung war mindestens ein Master-Abschluss und 4 von ihnen hatten einen Dokortitel. 8 Frauen und 4 Männer nahmen teil, wobei einer der Experten ein externer Experte war und 11 aus der Abteilung Human Factors der Universität Ulm stammten. Der Altersdurchschnitt lag bei etwa 30 Jahren.

3.2.2 Fragen für das Interview

Während der Fokusgruppe wurden drei Hauptfragen gestellt, wobei die Möglichkeit bestand, zusätzliche Kommentare zum Prozess und zum Ansatz zur Erreichung der Projektziele hinzuzufügen. Zunächst wurden die Projektziele und der Prozess zu deren Erreichung vorgestellt. Danach wurden die Fragen gestellt, für deren Beantwortung jeweils ein Zeitrahmen von etwa 10 Minuten zur Verfügung stand. Die drei Fragen, die anschließend gestellt wurden, lauteten wie folgt:

- Q1: Welcher Publikationskanal könnte für die sichere Interaktion zwischen dem Fahrer und SAE Level 3 Systemen relevant sein?
- Q2: Welche Szenarien oder Anwendungsfälle sind sicherheitskritisch für eine MMI auf SAE Level 3?
- Q3: Basierend auf dem sicherheitskritischen Szenario, welche Schlüsselwörter sind für die sichere Interaktion zwischen Fahrer und SAE Level 3 Systemen relevant?

Während der Beantwortungsphase konnten die Teilnehmer ihre Ideen und Einschätzungen zu den Publikationskanälen und -situationen anonym in Papierform und in einer Wortwolke über einen Online-Dienst zur dritten Frage (Q3) niederschreiben. Die von den Experten vorgeschlagenen Antworten zu jeder Frage wurden von einem Moderator gesammelt und anschließend in der Fokusgruppe diskutiert.

3.2.3 Ergebnisse

Zu Frage 1: Welche Publikationskanäle könnten für die sichere Interaktion zwischen Fahrer und SAE Level 3 Systemen relevant sein?, nannten die Experten zunächst die internationalen und nationalen Normen, wie ISO TC22 und die UN-Regelung Nr. 157 „Automated Lane Keeping Systems“. Als zweiten Publikationskanal nannten die Experten Literaturdatenban-

ken (z. B. ebsco), Zeitschriften aus den Bereichen Verkehrspsychologie, Ingenieurpsychologie und Human Factors (z. B. Accident Analysis and Prevention, Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour, Human Factors) sowie das FESTA-Handbuch zum automatisierten Fahren. Darüber hinaus erwähnten die Experten auch die einschlägigen Ergebnisse des EU-Projekts SHAPE-IT (Supporting the interaction of Humans and Automated vehicles: Preparing for the Environment of Tomorrow) und ACM- oder IEEE-Konferenzen (z. B. Conference on Human Factors in Computing Systems, ACM Conference on Automotive User Interfaces and Interactive Vehicular Applications, IEEE Intelligent Vehicles Symposium, IEEE International Conference on Intelligent Transportation Systems).

Zu Frage 2: Welche Szenarien oder Anwendungsfälle sind auf SAE Level 3 sicherheitskritisch für die Mensch-Maschine-Interaktion? sind die von Experten genannten kritischen Szenarien auf SAE Level 3 in Tabelle 3-1 aufgelistet, darunter auch Szenarien mit schlechten Wetterbedingungen oder defekten Sensoren usw. Insbesondere das Szenario 6 wird von den meisten Experten vorgeschlagen, also das unerwartete oder unvorhergesehene Ereignis in Bezug auf Verkehrssituationen oder andere Verkehrsteilnehmer, bei dem die Automatisierung nicht in der Lage ist, das neue Problem in unerwarteten Situationen zu lösen und der Fahrer die Fahraufgabe übernehmen muss.

Kritische Szenarien auf SAE Level 3	
1.	Durchfahrt durch eine schmale Passage mit Straßenschäden.
2.	Unfall voraus / Baustelle voraus / liegengebliebenes Fahrzeug hat Panne / Stau
3.	Wetterlage / Schlechtes Wetter übernehmen / Wetterzustand / Schlechtes Wetter / Wetterwechsel
4.	es gelten keine Verkehrsregeln (unbefestigte Straße)
5.	Defekt oder Fehlfunktion / Witterungseinflüsse / Systemausfall (TOTB < 10 s und Fahrer ist abgelenkt)
6.	unerwartete Änderungen / unvorhersehbares Verhalten anderer Verkehrsteilnehmer / ungeplante Ereignisse / unvorhergesehene Ereignisse (fehlende Fahrspur / unerwartete Ereignisse werden den Fahrzeugen nicht mitgeteilt)
7.	Krankenwagen/Polizei/Feuerwehr
8.	Interaktion mit gefährdeten Verkehrsteilnehmern, z. B. Radfahrern
9.	Fehlende Verkehrsschilder oder beschädigt / unlesbar durch AV / fehlende Fahrbahnmarkierungen
10.	Situationen, in denen der Fahrer plötzlich das Steuer übernimmt
11.	Zustand des Fahrers / Situation, in der eine Übernahme durch einen Menschen möglich ist
12.	Mietwagen, bei denen der Fahrer keine Ahnung über den Automatisierungsgrad des Fahrzeugs hat

Tab. 3-1: Vorgeschlagene kritische Szenarien auf SAE Level 3 in der Fokusgruppe

Zu Frage 3: Welche Schlüsselwörter sind auf der Grundlage des sicherheitskritischen Szenarios für die sichere MMI auf SAE Level 3 der Fahrautomatisierung relevant? wurde jeder Experte gebeten, die relevanten Schlüsselwörter in ein Online-Tool (<https://www.menti.com/wzohe885w7>) einzugeben. Es handelt sich um einen interaktiven Prozess, d. h. nach der Eingabe jedes Schlüsselworts kann jeder Experte die Ergebnisse der anderen gleichzeitig sehen. Außerdem durften sie das gleiche Schlüsselwort auch von anderen eingeben, wenn sie es ebenfalls für relevant hielten. Nachfolgend finden Sie eine Übersicht der von den Experten vorgeschlagenen Schlüsselwörter (siehe Bild 3-1), und je größer die Schriftgröße des Schlüsselworts ist, desto häufiger wird es genannt. Es ist zu erkennen, dass Situationsbewusstsein von den Experten am häufigsten vorgeschlagen wird, gefolgt von Ablenkung. Daneben werden auch Übernahme oder Übernahmezeit sehr häufig vorgeschlagen.



Bild 3-1: Vorgeschlagene Schlüsselwörter im Zusammenhang mit der Bewertung der sicheren Mensch-Maschine-Interaktion bei SAE Level 3

3.3 Beispielpublikationen

Die Auswahl der Beispielpublikationen basiert hauptsächlich auf zwei Referenzen. Zum einen wurden die von den Experten in der Fokusgruppe vorgeschlagenen Veröffentlichungskanäle und Schlüsselwörter berücksichtigt. Zum anderen wurden zwei Übersichtsarbeiten (ZHANG et al., 2019; WEAVER & DELUCIA, 2020) zu Übernahmeszenarien berücksichtigt, die eine gute Bandbreite und Referenz für die Auswahl der Beispielarbeiten darstellen. Insgesamt wurde von Experten, die über fundierte Kenntnisse des Forschungsthemas im Fachbereich verfügen, eine Stichprobe mit 33 Beispielpublikationen zu Übernahmeszenarien auf SAE Level 2 und SAE Level 3 ausgewählt.

Auf der Grundlage der gesammelten Beispielarbeiten wurde die Liste der Schlüsselwörter überarbeitet und bei Bedarf ergänzt. Sowohl diese Schlagwortliste als auch die Liste der relevanten Publikationskanäle wurden dem Expertengremium erneut zur Diskussion und Ergänzung vorgelegt.

3.4 Erste Version der Liste der Schlüsselwörter und der identifizierten Publikationskanäle

Die Liste der Schlüsselwörter, die aus der Fokusgruppe und auch aus den Beispielpublikationen extrahiert wurden, wurde zu einer Liste zusammengeführt, die den Ausgangspunkt für die umfangreiche Literaturrecherche im nächsten Schritt bildet. Die Liste enthält die Schlüsselwörter mit ihrer Häufigkeit und auch die entsprechenden Publikationskanäle. Es zeigen sich häufig genannte Schlüsselwörter, die mit dem Forschungsgebiet zusammenhängen, wie automatisiertes Fahren (18), Mensch-Automatisierungs-Interaktion (5), Fahrerverhalten (6) und Fahrsimulator (6), die relevantesten und häufigsten Schlüsselwörter im Inhalt (Fahrer-) Übernahme (12), Situationsbewusstsein (4), Reaktionszeit (3), Ablenkung (3), fahrfremde Aufgaben (3). Zufälligerweise stimmen sie fast mit den von den Experten in der Fokusgruppe vorgeschlagenen Stichwörtern überein.

Darüber hinaus wurden die identifizierten Publikationskanäle auch im vorherigen Fortschrittsbericht des Arbeitspakets 1 neben den Schlüsselwörtern aufgelistet, und es lässt

sich zusammenfassen, dass der Elsevier-Verlag mit den Zeitschriften Accident Analysis and Prevention, Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour und der Zeitschrift Human Factors die drei wichtigsten Publikationskanäle sind, die für unser Projektthema relevant sind.

3.5 Zusammenfassung

Es wurde eine Fokusgruppenbefragung mit Human-Factors-Experten aus dem Automobilbereich durchgeführt, um die Publikationskanäle und Schlüsselwörter im Zusammenhang mit der Bewertung der sicheren Mensch-Maschine-Interaktion auf SAE Level 3 im Kontext des automatisierten Fahrens zu untersuchen. Darüber hinaus wurde eine Stichprobe von 33 relevanten Artikeln ausgewählt und zur Aktualisierung der Liste der Schlüsselwörter und Publikationskanäle aus der Fokusgruppe verwendet. Am Ende des Arbeitspakets 1 wurde eine erste Version der Schlüsselwörter und Publikationskanäle bereitgestellt.

4 Arbeitspaket 2: Literaturrecherche und Literaturauswahl

4.1 Ziel des Arbeitspakets 2

In Arbeitspaket 1 wurde die erste Version der identifizierten Publikationskanäle und Schlüsselwörter bereitgestellt. Darauf aufbauend zielt das Arbeitspaket 2 auf die systematische Suche und Auswahl relevanter Publikationen zu Indikatoren, die die sichere Interaktion zwischen Fahrer und SAE Level 3 Systemen beeinflussen.

4.2 Literaturquellen und Suchstrategie

Zunächst wurden die im Arbeitspaket 1 vorgeschlagenen Schlüsselwörter für die Literatursuche verwendet, wie z. B. automatisiertes Fahren, Übernahme, Mensch-Automatisierungs-Interaktion, Fahrerverhalten und Fahrsimulator. Die Publikationskanäle wurden in diesem Projektzeitraum aktualisiert und umfassen hauptsächlich Datenbanken wie PsycINFO (APA), PsycArticles (APA), PSYINDEX, Web of Science) sowie die gewünschten Zeitschriften (Accident Analysis and Prevention, Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour, Human Factors) und Konferenzberichte (Conference on Human Factors in Computing Systems, ACM Conference on Automotive User Interfaces and Interactive Vehicular Applications, IEEE Intelligent Vehicles Symposium, IEEE International Conference on Intelligent Transportation Systems).

Auf Grundlage dieser vorgeschlagenen Schlüsselwörter wurden die identifizierten Publikationskanäle systematisch abgefragt und die relevante Literatur extrahiert. Eine Stichprobe von 10 - 20 % aller identifizierten Veröffentlichungen wurde nach dem Zufallsprinzip ausgewählt und zur Aktualisierung der Liste der Schlüsselwörter verwendet. Außerdem wurden die für die Meta-Analyse ausgewählten Artikel aus zwei Übersichtsarbeiten von ZHANG et al. (2019) und WEAVER & DELUCIA (2020) berücksichtigt, die fast alle relevanten Publikationen abdecken, die sich mit der Übernahme auf SAE Level 2 oder Level 3 aus den Jahren 2012 bis 2020 befassen. Darüber hinaus wurden Referenzpapier, die die Übersichtsarbeiten von ZHANG et al. (2019) und WEAVER & DELUCIA (2020) zitiert haben, von 2019 bis 2021 durchsucht.

4.3 Einschlusskriterien

Es wurde ein Einschlusskriterium definiert, um die Auswahl geeigneter Veröffentlichungen zu erleichtern:

1. Die Studie musste einen Übergang vom bedingten oder hochautomatisierten Fahren (d. h. SAE Level 3 und höher) zum manuellen Fahren beinhalten.
2. Die Studie musste einen Übergang vom automatisierten zum manuellen Fahren durch einen Menschen beinhalten (z. B. Bremsen, Lenken, Knopfdruck).
3. Die Studie musste einen Übergang als Reaktion auf eine TOR oder ein kritisches Ereignis in der Umgebung beinhalten.
4. Die Studie musste eine mittlere Übernahmezeit (TOT) oder Variablen, die die Übernahmequalität widerspiegeln, wie die Zeit bis zur Kollision (TTC) und die maximale Be-

schleunigung, angeben. Zumindest sollte es möglich sein, diese Werte auf der Grundlage der gemeldeten Informationen zu berechnen.

4.4 Literatursauswahl und Ausschlusskriterium

Nach einer ersten Suche und Filterung wurden insgesamt 168 relevante Publikationen gefunden und mit Titel, Autor und Jahr, Versuchsaufbau, Messung und der nicht fahrbezogenen Aufgabe (NDRT) dokumentiert. In der ersten Runde wurde die Bandbreite der gefundenen Publikationen durch die Auswahl repräsentativer Stichproben für die Meta-Analyse eingegrenzt. Zu diesem Zweck wurden zunächst 38 gemeinsame Arbeiten ausgewählt, die sowohl von ZHANG et al. (2019) als auch von WEAVER & DELUCIA (2020) in ihren Übersichtsarbeiten zur Übernahmeaufforderung ausgewählt wurden. Außerdem wurden 34 Referenzpapier seit 2019 ausgewählt, die die ausgewählten gemeinsamen Arbeiten von ZHANG et al. (2019) und WEAVER & DELUCIA (2020) ergänzen. Somit verbleiben in dieser Runde 72 Publikationen. In der zweiten Runde wurden die vorausgewählten Arbeiten auf ihre Eignung überprüft. 34 Arbeiten wurden aufgrund der Ausschlusskriterien ausgeschlossen (siehe Bild 4-1). Letztendlich wurden 38 relevante Publikationen für die Meta-Analyse im Arbeitspaket 3 berücksichtigt. Für jeden ausgewählten Artikel sind der Titel, der Autor und das Jahr, die Stichprobencharaktere, das Versuchsdesign und die unabhängigen Variablen, die Messung, die Modalität der NDRT, die Modalität der Übernahmeaufforderung (TOR), die Klassifizierung der Situation, die die TOR auslöst, und die Genauigkeit des Fahrmodulators im vorherigen Fortschrittsbericht von Arbeitspaket 2 und Arbeitspaket 3 dokumentiert.

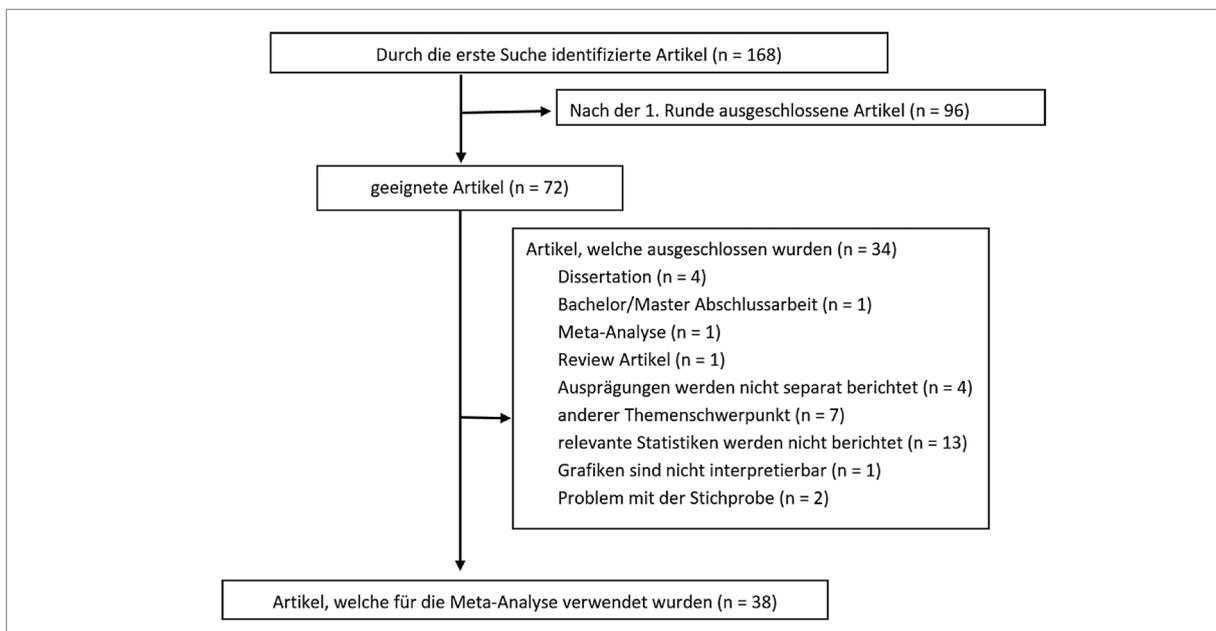


Bild 4-1: Flussdiagramm für die Aufnahme und den Ausschluss von Artikeln

4.5 Zusammenfassung

In Arbeitspaket 2 wurden relevante Veröffentlichungen zu Indikatoren, die die sichere Interaktion zwischen Fahrer und Assistenzsystemen auf SAE Level 3 beeinflussen, auf der Grundlage der identifizierten Publikationskanäle und der Liste der Schlüsselwörter extrahiert. Nach der Literatursauswahl wurden 38 relevante Publikationen für die Meta-Analyse im Arbeitspaket 3 ausgewählt.

5 Arbeitspaket 3: Meta-Analyse

5.1 Zielsetzung des Arbeitspakets 3

Die in Arbeitspaket 2 ausgewählte Literatur wird anschließend zur Durchführung der Meta-Analyse in Arbeitspaket 3 verwendet. Die Ergebnisse der einzelnen Publikationen werden statistisch zusammengefasst und die Effektgröße für jeden Sicherheitsindikator berechnet.

5.2 Bisherige Reviews und Meta-Analysen

Es gibt einige Übersichtsarbeiten zu Übernahme im Zusammenhang mit automatisiertem Fahren aus den Jahren 2014 bis 2017, in denen die Ergebnisse von Fachleuten zusammengefasst werden (ERIKSSON & STANTON, 2017; KÖRBER & BENGLER, 2014; RADLMAYR & BENGLER, 2015). Einige Übersichtsarbeiten haben jedoch viele Einschränkungen, z. B. sind die Erklärungen für widersprüchliche Ergebnisse und Entscheidungen zu subjektiv. Um dies zu verhindern, wurden Meta-Analysen in Betracht gezogen, die über quantitative Verfahren verfügen und die sich auf die Effektgröße anstelle der statistischen Signifikanz konzentrieren (ROSENTHAL & DIMATTEO, 2001). Die beiden repräsentativen Übersichten für Übernahmeszenarien sind ZHANG et al. (2019) und WEAVER & DELUCIA (2020). ZHANG et al. (2019) konzentrierten sich nur auf die Messung der Übernahmezeit und stellten fest, dass der Fahrer schneller übernahm, wenn ihm ein kurzes Zeitbudget zur Verfügung stand, er eine Freisprecheinrichtung verwendete, eine nicht visuelle NDRT durchführte, vor dem Experiment Erfahrung mit der Übernahme hatte und eine akustische oder vibrotaktile Übernahmeaufforderung erhielt. WEAVER & DELUCIA (2020) ergänzte die Untersuchung von ZHANG et al. (2019), indem er z. B. auch die Messung der Übernahmequalität berücksichtigte und die Auswirkungen des Zeitbudgets, der fahrfremden Aufgabe und der Informationsunterstützung auf das Timing und die Qualität der Übernahme untersuchte. Sie fanden heraus, dass der Einsatz von NDRT die Übernahmeleistung verschlechtert, insbesondere wenn sich die Ressourcenanforderungen zwischen NDRT und Fahraufgabe überschneiden.

5.3 Forschungsfrage

Im Gegensatz zu den erwähnten Übersichten von ZHANG et al. (2019) und WEAVER & DELUCIA (2020) konzentriert sich diese Meta-Analyse auf den Einfluss der Situation oder des Szenarios, welches die Übernahmeaufforderung auslöst, auf die Übernahmeleistung, was bisher noch nicht untersucht wurde. Die Forschungsfrage kann wie folgt formuliert werden: Beeinflussen die Szenarien, die die Übernahmeanträge auslösen, die Übernahmeleistung der Fahrer?

5.4 Klassifizierung der Szenarien, die TOR auslösen

In den ausgewählten 38 Publikationen gibt es viele Arten von Situationen, die eine Übernahmeaufforderung auslösen. Tabelle 5-1 gibt einen Überblick über die Arten von Übernahmeszenarien und die entsprechenden Studien. Eine Kategorie von Übernahmeszenarien (A) ist die Straßensperrung aufgrund von Straßenbauarbeiten, liegengebliebenen oder angehaltenen Fahrzeugen oder verblassten Fahrbahnmarkierungen vor dem Fahrzeug. Die zweite Kategorie von Übernahmeszenarien (B) ist das Bremsen oder die langsame Bewe-

Übernahmeszenario	Paper ID
A. Straßensperre: stehendes Fahrzeug; verunglückte Fahrzeuge; angehaltenes oder liegengebliebenes Fahrzeug, Hindernis	2, 6, 8, 10, 11, 12, 13, 18, 19, 20, 21, 23, 25, 26, 27, 28, 32, 33, 34, 35, 37
B. Das vorausfahrende Fahrzeug bremsst plötzlich oder fährt langsam; das Fahrzeug nähert sich von hinten	3,4, 7, 9, 15, 31, 32, 38
C. Automatisierung erreicht Grenzen oder Systemstörung	7, 14, 24, 32, 36, 37, 38
D. Anfrage zum Eingriff	1, 5, 16, 17, 25

Tab. 5-1: Klassifizierung der Szenarien, die TOR auslösen

gung des vorausfahrenden Fahrzeugs oder das sich plötzlich von hinten annähernde Fahrzeug. Außerdem kann auch eine Systemstörung (C) durch eine Übernahmeaufforderung ausgelöst werden. In der letzten Kategorie (D) wird kein Szenario beschrieben, sondern nur eine Übernahmeaufforderung gegeben.

Für die Durchführung der Meta-Analyse müssen diese Arten von Übernahmeszenarien in zwei vergleichbare Kategorien eingeteilt werden. Daher werden zwei Kategorien von Übernahmeszenarien definiert: Statische Übernahmesituationen und dynamische

Übernahmesituationen. Statische Übernahmesituationen beziehen sich hauptsächlich auf die Kategorie A, bei der die Übernahmeaufforderung in der Regel durch ein statisches Objekt vor dem Fahrzeug verursacht wird. Im Gegensatz dazu bezieht sich die dynamische Übernahmesituation auf die Kategorie B, bei der sich das Objekt, das die Übernahmeanforderung auslöst, nach vorne oder von hinten bewegt. Für die Kategorien C und D wurde das Übernahmeszenario nicht explizit beschrieben und eine weitere Betrachtung der entsprechenden Übernahmesituation in den Artikeln durchgeführt, die dazu beiträgt, die Übernahmeszenarien in statische und dynamische Situationen zu klassifizieren.

5.5 Kategorie der Sicherheitsindikatoren

Um die Übernahmeleistung zu messen, wurden Sicherheitsindikatoren berücksichtigt, die eine sichere Interaktion zwischen Fahrer und automatisiertem System messen können. In der Meta-Analyse werden insgesamt drei Kategorien von Sicherheitsindikatoren berücksichtigt. Die erste Kategorie ist das Übernahme-Timing, das hauptsächlich die Hands-on-Zeit (GOLD et al., 2016), die Zeit zum Lenken, die Zeit zum Bremsen und die Übernahmezeit umfasst. Die zweite Kategorie ist die Übernahmequalität, z. B. die Zeit bis zur Kollision (TTC) und die maximale Beschleunigung (GOLD et al., 2016). In der letzten Kategorie geht es um die subjektive Messung der Übernahmeleistung, z. B. die Arbeitsbeanspruchung. Einen Überblick über die Sicherheitsindikatoren für die Übernahmeleistung finden Sie in Tabelle 5-2.

Kategorie der Sicherheitsindikatoren	Maßnahme
Zeit der Übernahme	Hands-on Zeit, Zeit zum Lenken, Zeit zum Bremsen, Zeit der Übernahme
Qualität der Übernahme	Zeit bis zur Kollision, Maximale Beschleunigung
Subjektiver Indikator	Arbeitsbeanspruchung

Tab. 5-2: Ein Überblick über die Sicherheitsindikatoren zur Übernahmeleistung

5.6 Vorbereitung des Datensatzes

Um die Forschungsfrage nach dem Einfluss von Situationen, die zu Übernahmeforderungen führen, auf Sicherheitsindikatoren zu untersuchen, wurde eine Meta-Analyse gewählt. Zur Vorbereitung des Datensatzes für die Durchführung der Meta-Analyse wurden relevante

statistische Maße (Mittelwert, Standardabweichung) aus den ausgewählten Arbeiten extrahiert und in Excel zusammengefasst, so dass die rohe mittlere Differenz oder die Effektgröße berechnet werden kann. Es wurde festgestellt, dass in einigen Arbeiten die Mittelwerte oder Standardabweichungen direkt angegeben wurden. In einigen Arbeiten wurden diese relevanten Werte jedoch nicht im Text erwähnt und nur Zahlen zu Mittelwerten und Standardabweichungen angegeben. In diesem Fall wurden die Mittelwerte und

Standardabweichungen aus den entsprechenden Diagrammen mit Hilfe eines Tools namens WebPlotDigitizer geschätzt. Die Daten für jeden Indikator würden dann separat für die Meta-Analyse aufbereitet, wenn für jeden Indikator mindestens vier Studien vorlagen. Außerdem sollte mindestens eine Studie für die Kategorie der statischen Situation und eine für die dynamische Situation verfügbar sein.

5.7 Analyse und Ergebnisse

Für die Meta-Analyse wurde die Software R (Version 4.1.1) mit dem Paket meta verwendet. Da mehr als zwei Studien pro Indikator-kategorie vorlagen, wurde ein Modell mit zufälligen Effekten für die Berechnung der Effektgrößen verwendet. Außerdem wurden die relevanten Statistiken (Mittelwert und Standardabweichung) auf der Grundlage des Stichprobenumfangs für jede ausgewählte Arbeit gewichtet.

Für das Ergebnis der Meta-Analyse wurden die rohe Mittelwertdifferenz und Cohen's d berücksichtigt. Die rohe Mittelwertdifferenz quantifiziert die Effektgröße in den ursprünglichen Einheiten, was angemessen ist, wenn das abhängige Maß gleiche und aussagekräftige Einheiten hat. Cohen's d hingegen quantifiziert die Effektgröße auf einer standardisierten Skala, die sinnvoll ist, wenn die Messungen unterschiedliche Einheiten haben. Da alle Indikatoren pro Kategorie in den ausgewählten Arbeiten dieselben Einheiten haben, werden sowohl die rohe mittlere Differenz als auch Cohen's d angegeben. Die Ergebnisse der Meta-Analyse für jeden Sicherheitsindikator werden nachstehend mit den entsprechenden Walddiagrammen (LEWIS & CLARKE, 2001) angegeben, die eine grafische Beschreibung der Daten der Meta-Analyse enthalten.

5.7.1 Übernahme-Timing

5.7.1.1 Übernahmezeit

Die Übernahmezeit bezieht sich auf die Zeit bis zum Beginn des eigentlichen Fahrmanövers, Lenkwinkel $> 2^\circ$ oder Bremspedaldruck $> 10\%$ (KERSCHBAUM, LORENZ & BENGELER, 2015). In dieser Analyse wird untersucht, ob diese beiden dynamischen und statischen Situationsauslöser die Gesamtübernahmezeit beeinflussen. Die Effektgröße wurde als statischer Situationsauslöser minus dynamischer Situationsauslöser berechnet (und für Cohen's d durch die Standardabweichung geteilt). Das Ergebnis der rohen Mittelwertdifferenz ist in Bild 5-1 dargestellt: Die durch den statischen Auslöser induzierte Übernahmezeit hat einen Gesamtmittelwert von 2,49 s (SD = 0,78), der dynamische Auslöser dagegen

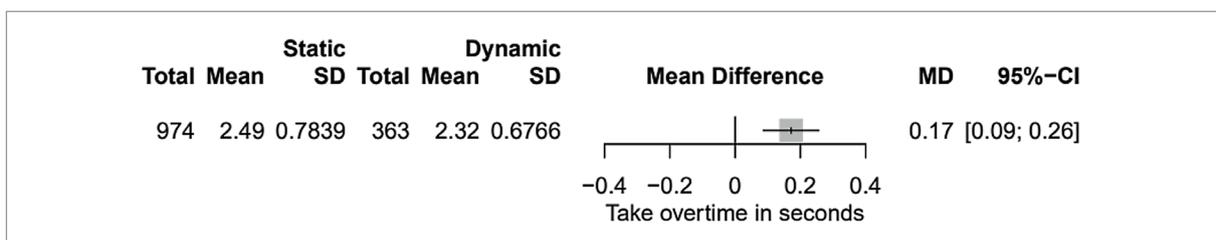


Bild 5-1: Mittlere Differenz der Übernahmezeit

einen Gesamtmittelwert von 2,32 s (SD = 0,68). Darüber hinaus wurde untersucht, ob es einen signifikanten Unterschied zwischen dem dynamischen Trigger und dem statischen Trigger gibt, indem ein z-Test mit einem Alpha-Niveau von 0,05 durchgeführt wurde. Die rohe mittlere Differenz (MD) zwischen ihnen beträgt 0,17 s und Cohen's d 0,23 ($p < 0,01$), was darauf hinweist, dass der Situationsauslöser einen signifikanten Einfluss auf die Übernahmezeit hat. Außerdem benötigen Fahrer in statischen Situationen mehr Zeit für die Übernahme als Fahrer in dynamischen Situationen.

5.7.1.2 Hands-on-Zeit

Die Hands-on-Zeit bezieht sich auf die Zeit, bis der Fahrer die linke oder rechte Hand am Lenkrad hat (KERSCHBAUM, LORENZ & BENGLER, 2015). In dieser Analyse wird die Wirkung von dynamischen und statischen Situationsauslösern auf die Hands-on-Zeit untersucht. Die Effektgröße wurde als statischer Situationsauslöser minus dynamischer Situationsauslöser berechnet (und für Cohen's d durch die Standardabweichung geteilt). Das Ergebnis der rohen Mittelwertdifferenz ist in Bild 5-2 dargestellt: Die durch den statischen Auslöser ausgelöste Hands-on-Zeit hat einen Gesamtmittelwert von 1,8 s (SD=0,72), der dynamische Auslöser dagegen einen Gesamtmittelwert von 2,31 s (SD = 0,95). Der rohe Mittelwertunterschied (MD) zwischen den beiden beträgt -0,51 und Cohen's d -0,61 ($p < 0,01$), was darauf hindeutet, dass der Situationsauslöser eine signifikante und moderate Auswirkung auf die Hands-On-Zeit hat. Außerdem benötigen Fahrer in dynamischen Situationen mehr Zeit, um ihre Hände ans Lenkrad zu legen, als Fahrer in statischen Situationen.

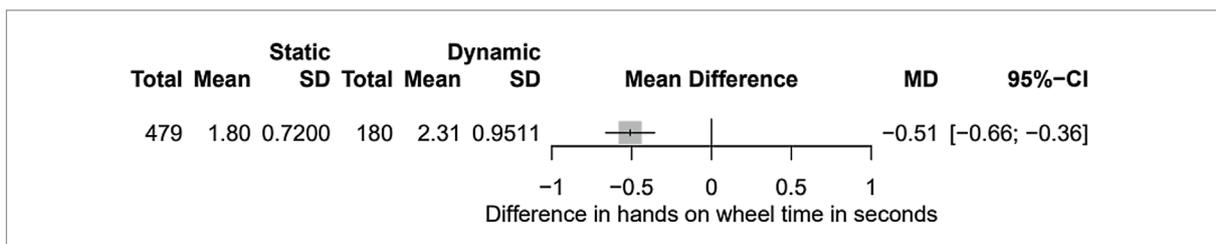


Bild 5-2: Mittlere Differenz der „Hands on wheel“ Zeit

5.7.1.3 Zeit bis zum Bremsen

Die Zeit bis zum Bremsen bezieht sich auf die Zeit zwischen dem Zeitpunkt, an dem der Fahrer die linke oder rechte Hand am Lenkrad hat, und dem Zeitpunkt, an dem er bremst. In dieser Analyse wird die Auswirkung von dynamischen und statischen Situationsauslösern auf die Zeit bis zum Bremsen untersucht. Die Effektgröße wurde als statischer Situationsauslöser minus dynamischer Situationsauslöser berechnet (und durch die Standardabweichung für Cohen's d geteilt). Das Ergebnis der rohen Mittelwertdifferenz ist in Bild 5-3 dargestellt: Die durch den statischen Auslöser induzierte Zeit bis zum Bremsen hat einen Gesamtmittelwert von 3,7 s (SD = 1,01), während der dynamische Auslöser einen Gesamtmittelwert von 3,18 s (SD = 0,88) aufweist. Der rohe Mittelwertunterschied (MD) zwischen den beiden beträgt 0,51 und Cohen's d 0,55 ($p < 0,01$), was darauf hindeutet, dass der Si-

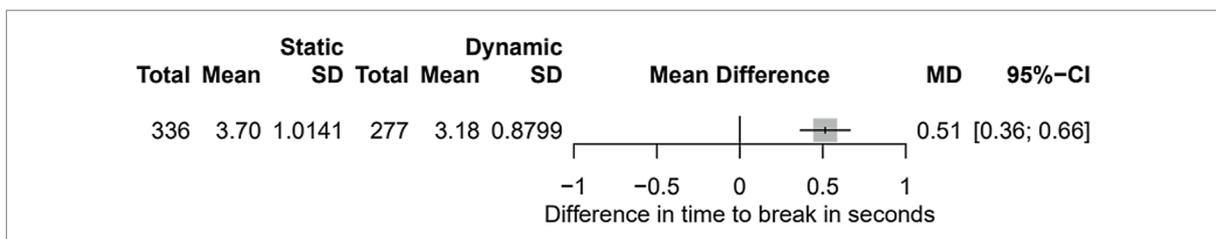


Bild 5-3: Mittlere Differenz der Zeit bis zum Bremsen

tuationsauslöser eine signifikante und moderate Auswirkung auf die Zeit bis zum Bremsen hat. Darüber hinaus benötigen Fahrer in dynamischen Situationen weniger Zeit, um eine Bremsung einzuleiten, als Fahrer in statischen Situationen.

5.7.1.4 Zeit bis zum Lenken

Unter Lenkzeit versteht man die Zeit zwischen dem Zeitpunkt, zu dem der Fahrer die linke oder rechte Hand am Lenkrad hat, und dem Zeitpunkt, zu dem er nach links oder rechts lenkt. In dieser Analyse wird die Auswirkung von dynamischen und statischen Situationsauslösern auf die Lenkzeit untersucht. Die Effektgröße wurde als statischer Situationsauslöser minus dynamischer Situationsauslöser berechnet (und durch die Standardabweichung für Cohen's d geteilt). Das Ergebnis der rohen Mittelwertdifferenz ist in Bild 5-4 dargestellt: Die durch den statischen Auslöser ausgelöste Lenkzeit hat einen Gesamtmittelwert von 3,24 s (SD = 0,72), der dynamische Auslöser dagegen einen Gesamtmittelwert von 4,59 m (SD = 1,53). Der rohe Mittelwertunterschied (MD) zwischen beiden beträgt -1,35 und Cohen's d -1,1 ($p < 0,01$), was darauf hinweist, dass der Situationsauslöser einen signifikanten und großen Einfluss auf die Lenkzeit hat. Außerdem benötigen Fahrer in dynamischen Situationen mehr Zeit, um mit dem Lenken zu beginnen, als Fahrer in statischen Situationen.

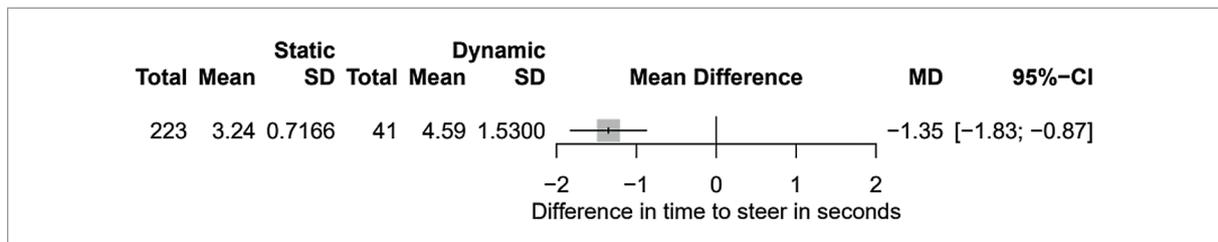


Bild 5-4: Mittlere Differenz der Zeit bis zum Lenken

5.7.2 Übernahmequalität

5.7.2.1 Maximale Beschleunigung

Die maximale Beschleunigung umfasst die maximale Querbeschleunigung und die maximale Längsbeschleunigung. Da in den ausgewählten Arbeiten nur über die Längsbeschleunigung berichtet wurde, wird in dieser Analyse die Wirkung von dynamischen und statischen Situationsauslösern auf die maximale Längsbeschleunigung untersucht. Die Effektgröße wurde als statischer Situationsauslöser minus dynamischer Situationsauslöser berechnet (und durch die Standardabweichung für Cohen's d geteilt). Das Ergebnis der rohen Mittelwertdifferenz ist in Bild 5-5 dargestellt: Die durch den statischen Auslöser hervorgerufene maximale Beschleunigung hat einen Gesamtmittelwert von 4,4 m/s² (SD = 2,6), während

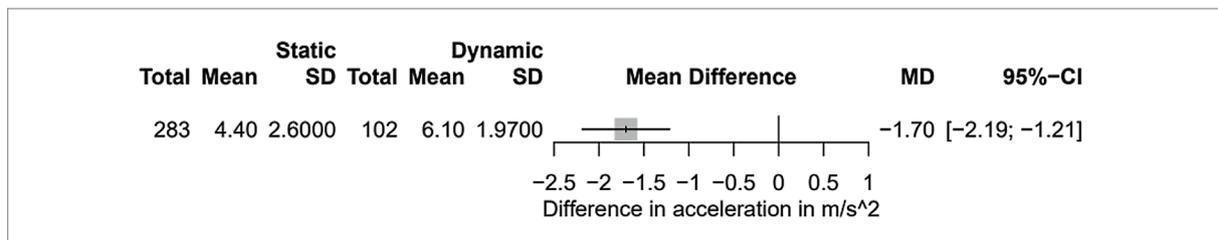


Bild 5-5: Mittlere Differenz der maximalen Beschleunigung

der dynamische Auslöser einen Gesamtmittelwert von 6,1 m/s² (SD = 1,97) aufweist. Die rohe mittlere Differenz (MD) zwischen beiden beträgt -1,7 und Cohen's d 0,74 ($p < 0,01$), was darauf hindeutet, dass der Situationsauslöser einen signifikanten und großen Einfluss

auf die maximale Längsbeschleunigung hat. Außerdem bremsen die Fahrer in den dynamischen Situationen stärker als die Fahrer in den statischen Situationen.

5.7.2.2 Zeit bis zur Kollision

In dieser Analyse wird die Wirkung von dynamischen und statischen Situationsauslösern auf die Zeit bis zur Kollision (TTC) untersucht. Die Effektgröße wurde als statischer Situationsauslöser minus dynamischer Situationsauslöser berechnet (und durch die Standardabweichung für Cohen's d geteilt). Das Ergebnis der rohen Mittelwertdifferenz ist in Bild 5-6 dargestellt: Die Zeit bis zur Kollision, die durch den statischen Auslöser verursacht wird, hat einen Gesamtmittelwert von 3,29 s (SD = 1,24), während der dynamische Auslöser einen Gesamtmittelwert von 2,39 s (SD = 0,88) hat. Der rohe Mittelwertunterschied (MD) zwischen den beiden beträgt 0,91 und Cohen's d 0,84 ($p < 0,01$), was darauf hinweist, dass der Situationsauslöser einen signifikanten und großen Einfluss auf die Zeit bis zur Kollision hat. Außerdem haben Fahrer in dynamischen Situationen eine geringere TTC als Fahrer in statischen Situationen.

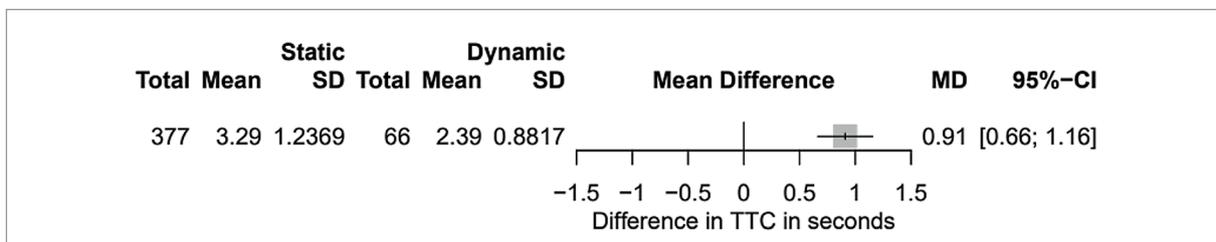


Bild 5-6: Mittlere Differenz der Zeit bis zur Kollision

5.7.3 Subjektive Messung: Arbeitsbeanspruchung

Um den Unterschied in der wahrgenommenen Arbeitsbeanspruchung zu untersuchen, wurde die Gesamtskala des NASA-TLX (HART & STAVENLAND, 1988) verwendet. Die Bewertung misst sechs Dimensionen der Arbeitsbeanspruchung: geistige Anforderung, körperliche Anforderung, zeitliche Anforderung, Leistung, Anstrengung und Frustration. In dieser Analyse wird die Auswirkung von dynamischen und statischen Situationsauslösern auf die subjektive Arbeitsbeanspruchung untersucht. Die Effektgröße wurde als statischer Situationsauslöser minus dynamischer Situationsauslöser berechnet (und durch die Standardabweichung für Cohen's d geteilt). Das Ergebnis der rohen Mittelwertdifferenz ist in Bild 5-7

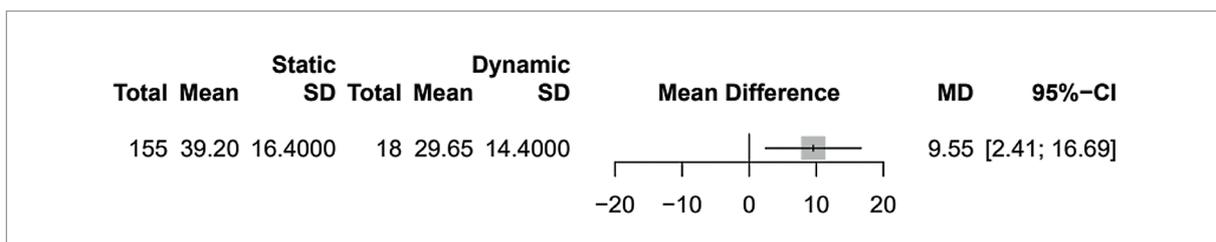


Bild 5-7: Mittlere Differenz der subjektiven Arbeitsbeanspruchung

dargestellt: Der durch den statischen Auslöser hervorgerufene Wert der subjektiven Arbeitsbeanspruchung hat einen Gesamtmittelwert von 39,2 (SD = 16,4), der dynamische Auslöser dagegen einen Gesamtmittelwert von 29,65 (SD = 14,4). Die rohe Mittelwertdifferenz (MD) zwischen beiden beträgt 9,55 und Cohen's d 0,62 ($p < 0,01$), was darauf hinweist, dass der Situationsauslöser einen signifikanten und großen Einfluss auf die subjektive Arbeitsbeanspruchung hat. Darüber hinaus haben Fahrer in statischen Situationen eine höhere Arbeitsbeanspruchung als Fahrer in dynamischen Situationen.

5.8 Zusammenfassung

Auf der Grundlage der Ergebnisse der obigen Meta-Analyse kann der Schluss gezogen werden, dass die klassifizierte statische oder dynamische Situation, die die Übernahmeanfrage auslöst, einen signifikanten Einfluss auf den Übernahmezeitpunkt, die Übernahmequalität und die subjektive Bewertung hat. Insbesondere ist die Effektgröße von Cohen's d für die Indikatoren, die die Übernahmequalität widerspiegeln, groß.

Hinsichtlich des Übernahmezeitpunkts ist festzustellen, dass der Fahrer in einer dynamischen Situation zwar länger braucht, um das Lenkrad wieder zu ergreifen, die Übernahmezeit insgesamt aber kürzer ist als in einer statischen Situation. Dies könnte darauf zurückzuführen sein, dass die Fahrer den Auslöser der dynamischen Situation als kritischer empfinden und daher dazu neigen, das Steuer schneller zu übernehmen. Für eine weitere Interpretation muss jedoch auch das Zeitbudget berücksichtigt werden. Außerdem benötigen Fahrer in dynamischen Situationen mehr Zeit, um mit dem Lenken zu beginnen, als zum Bremsen, während Fahrer in statischen Situationen mehr Zeit zum Bremsen als zum Lenken benötigen. Dies kann dahingehend interpretiert werden, dass Fahrer in dynamischen Situationen stark bremsen und in statischen Situationen stark lenken können. Die maximale Beschleunigung muss berücksichtigt werden, um sie zu verstehen.

In Bezug auf die Übernahmequalität lässt sich zusammenfassen, dass die Fahrer in dynamischen Situationen stärker bremsen als in statischen Situationen, was einerseits darauf hindeutet, dass die dynamische Situation kritischer ist als die statische Situation. Andererseits bestätigt dies die Schlussfolgerung bezüglich der Zeit bis zum Bremsen in dynamischen Situationen, wonach die Fahrer in dynamischen Situationen stark und schnell bremsen. Darüber hinaus ist die Zeit bis zur Kollision in dynamischen Situationen kürzer als in statischen Situationen. Da die TTC ein Maß ist, welches beschreibt wie kritisch eine Verkehrssituation ist, kann davon ausgegangen werden, dass der Auslöser einer dynamischen Situation kritischer ist als der Auslöser einer statischen Situation.

Bei der Messung der subjektiven Arbeitsbeanspruchung zeigt sich, dass die Fahrer in statischen Situationen eine höhere Arbeitsbeanspruchung haben als in dynamischen Situationen, was den Erwartungen widerspricht. Ein möglicher Grund dafür könnte der Einfluss der NDRT sein, welcher weiter untersucht werden muss.

6 Arbeitspaket 4: Entwicklung einer Checkliste

6.1 Ziel von Arbeitspaket 4

Basierend auf den Ergebnissen der Literaturrecherche in Arbeitspaket 2 und der Meta-Analyse in Arbeitspaket 3 wird eine zusammenfassende Übersicht über Sicherheitsindikatoren erstellt, um eine Checkliste für die Bewertung der Sicherheit der Mensch-Maschine-Interaktion auf SAE Level 3 zu entwickeln. Diese Ergebnisse werden in umfassenden Experteninterviews ausgewertet, um die Checkliste weiterzuentwickeln. Die fertiggestellte Checkliste wird in eine digitale Anwendungssoftware überführt, die eine effiziente und zuverlässige Bewertung der Mensch-Maschine-Interaktion auf SAE Level 3 ermöglicht.

6.2 Experteninterview

Um die Ergebnisse der Meta-Analyse im Arbeitspaket 3 zu interpretieren und die Checkliste für die Bewertung der Sicherheit der Mensch-Maschine-Interaktion auf SAE Level 3 weiterzuentwickeln, wurden Experteninterviews mit 6 Experten durchgeführt.

6.2.1 Leitfaden des Experteninterviews

Um eine umfassende Bewertung in den Experteninterviews zu erreichen, wurde ein entsprechender Experteninterview-Leitfaden entwickelt. Zunächst wurde ein Entwurf des Experteninterview-Leitfadens mit der BAST im Vorfeld diskutiert, um erste Rückmeldungen und Anregungen zu sammeln. Auf dieser Grundlage wurde der Entwurf des Experteninterviewleitfadens angepasst und mit einem Experten getestet. Die Ergebnisse des Testinterviews wurden dann mit Auftraggeber BAST besprochen, um das endgültige Feedback einzuholen und den Leitfaden für die Experteninterviews fertig zu stellen.

Vor Beginn des Interviews werden einige grundlegende Informationen zu Namen und Geschlecht des Experten, Fachwissen und Datum notiert. Zu Beginn des Interviews werden die Interviewerin selbst und der Hintergrund des Kooperationsprojekts zwischen BAST und Universität Ulm kurz vorgestellt. Danach beginnt der Hauptteil des Interviews mit den folgenden 6 Interviewfragen:

- Q1: Wenn es ein System gibt, das Fahrer bei der Übernahme unterstützt, denken Sie, dass sich das Unterstützungssystem in verschiedenen Übernahmesituationen unterscheiden sollte?
- Q2: Wenn ja, in welchen Übernahmesituationen erwarten Sie diesen Unterschied? Können Sie ein Beispiel nennen?
- Q3: Wir haben eine Meta-Analyse durchgeführt, um den Einfluss der Art der Übernahmesituation auf die Übernahmeleistung zu untersuchen. Wir haben die Übernahmesituationen in statische und dynamische Situationen eingeteilt: Statische Übernahmesituationen beziehen sich auf Situationen, in denen das Hindernis vor dem Fahrzeug statisch ist (z. B. ein liegengebliebenes Auto vor dem Fahrzeug), während in dynamischen Situationen das umgebende Hindernis eine dynamische Bewegung aufweist (z. B. das führende Fahrzeug bremst plötzlich). Nach einer Meta-Analyse haben wir festgestellt, dass:

- a. In dynamischen Situationen ist die Übernahmezeit des Fahrers insgesamt kürzer und die Bremsreaktion erfolgt schneller als in statischen Situationen.
- b. Fahrer in dynamischen Situationen benötigen mehr Zeit, um die Hände ans Lenkrad zu legen und auch mehr Zeit zum Lenken als in statischen Situationen.
- c. Die Fahrer bremsen in dynamischen Situationen stärker und die TTC ist kürzer als in statischen Situationen.
- d. Die Arbeitsbeanspruchung des Fahrers ist in einer statischen Situation höher als in einer dynamischen Situation.

Was denken Sie über die Gründe für diese Ergebnisse?

Q4: Wie kann ein System den Fahrer in verschiedenen Situationen unterstützen?

Q5: Versuchen Sie bitte, eine Checkliste zu formulieren, um die sichere Interaktion zwischen einem Fahrer und automatisierten Fahrzeugen zu bewerten.

Q6: Haben Sie ein bestimmtes System im Sinn, das bereits auf dem Markt erhältlich ist? Welche Funktionen möchten Sie in naher Zukunft berücksichtigen? Welche Funktionen sollten von den Fahrzeugherstellern beachtet werden? Welche Funktionen werden bei der Produktion von Serienfahrzeugen nicht berücksichtigt? Wann oder wie weit in der Zukunft können sie in Serienfahrzeugen eingesetzt werden?

Es ist ersichtlich, dass die ersten beiden Fragen (Q1, Q2) darauf abzielen, herauszufinden, ob Experten es für notwendig halten, in verschiedenen Übernahme-situationen unterschiedliche Unterstützung zu leisten. Die dritte Frage (Q3) bezieht sich auf die wichtigsten Ergebnisse der Meta-Analyse, die von den Experten interpretiert werden müssen, um diese Ergebnisse zu verstehen. Q4 zielt darauf ab, die Meinungen der Experten über spezifische Unterstützung in verschiedenen Übernahme-situationen zu sammeln. In Frage 5 werden die Experten gebeten, Checklistenpunkte für die Bewertung der sicheren Interaktion zwischen Fahrer und SAE Level 3 vorzuschlagen. Die letzte Frage (Q6) erwartet von den Experten, dass sie ihre Überlegungen und Visionen zur zukünftigen Implementierung auf SAE Level 3 darlegen.

6.2.2 Auswahl der Experten

Die Auswahl der Experten für die Interviews erfolgt nach zwei Gesichtspunkten. Zum einen basiert sie auf dem breiten Netzwerk an relevanten Experten, das in der Abteilung Human Factors der Universität Ulm durch zahlreiche Kooperationen mit Universitäten, wissenschaftlichen Einrichtungen und Industriepartnern vorhanden ist. Zum anderen werden auch Autoren relevanter Publikationen zum Projektthema berücksichtigt.

Insgesamt wurden 6 national und international anerkannte Experten aus den Disziplinen Psychologie, Informatik und Ingenieurwissenschaften aus den Bereichen automatisiertes Fahren, Verkehrssicherheit und Human Factors ausgewählt. Sie haben alle einen Dokortitel und einer von ihnen ist Professor. Darüber hinaus verfügen sie alle über Fachwissen zur Interaktion zwischen Fahrer und Fahrzeug, insbesondere zum automatisierten Fahren auf SAE Level 3. Einer von ihnen (Experte 1) ist weiblich und die Hälfte von ihnen kommt aus der Industrie, während die anderen an Universitäten in Europa arbeiten.

6.2.3 Durchführung der Expertenbefragung

Die Experteninterviews wurden zwischen dem 10. März 2022 und dem 3. Mai 2022 durchgeführt. Die Experten wurden online befragt, mit Ausnahme des ersten Experten-

interviews. Vor der Durchführung der Interviews wurde Anfang März 2022 eine E-Mail-Einladung an die ausgewählten Experten versandt, um einen möglichen Termin für jeden Experten zu finden. In der E-Mail stellte der Interviewer den Experten im Allgemeinen den Hintergrund des Projekts und das Schwerpunktthema des Interviews vor. Die konkreten Interviewfragen wurden jedoch nicht genannt. Nach der Bestätigung der Experten zum Interview wurde den Experten ein Online-Zoom-Link mit den entsprechenden Terminen zugesandt. Es gab eine Ausnahme: Zwei Experten aus der Automobilindustrie waren nicht in der Lage, die Zoom-Software zu nutzen. Als Alternative wurde dann einmalig Microsoft Teams für die Interviews genutzt. Die Dauer eines jeden Interviews betrug zwischen 40 und 50 Minuten und zwei der Interviews wurden auf Deutsch geführt, während die anderen vier Interviews auf Englisch geführt wurden.

Zu Beginn des Interviews begrüßte die Interviewerin die Experten und stellte sich vor. Dann wurde eine kurze Einführung in den Hintergrund und die Forschungsfrage des Projekts gegeben, indem die Folien gleichzeitig mit den Experten geteilt wurden. Den Experten wurde außerdem mitgeteilt, dass ihre Antworten auf die Interviewfragen anonymisiert und zur Entwicklung einer Checkliste für die Bewertung der Sicherheit der Mensch-Maschine-Interaktion auf SAE Level 3 verwendet werden. Wenn sie damit einverstanden waren und sie keine weiteren Fragen hatten, begann der Hauptteil des Interviews. Bevor der Interviewer die erste Frage stellte, fragte er die Experten, ob sie damit einverstanden waren, dass der Interviewer in diesem Moment eine Videoaufnahme machte, damit nach dem Interview ein detailliertes Protokoll erstellt werden konnte. Die Interviewfragen wurden den Experten per Folie zur Verfügung gestellt, so dass sie jederzeit einen Blick auf die Fragen werfen konnten. Der Interviewer machte auch einige Notizen während des Interviews und leitete den Experten an, sich auf die gegebene Interviewfrage zu konzentrieren, wenn eine Abweichung des Expertenfokus auftrat. Nachdem der Experte die letzte Interviewfrage beantwortet hatte, wurde das Interview beendet und die Videoaufzeichnung gestoppt und gespeichert.

6.2.4 Analyse und Ergebnisse der Expertenbefragung

Insgesamt wurden 6 Experteninterviews entweder online oder offline durchgeführt. Die Audios und Videos der Online-Sitzungen wurden aufgezeichnet und für die weitere Analyse verwendet. Bei den Face-to-Face-Interviews stand nur die Audiodatei für die Datenanalyse zur Verfügung. Die Aufzeichnungen der Experteninterviews wurden zunächst von Mitarbeitern der Universität Ulm ohne Transkriptionssoftware transkribiert und für die weitere Auswertung als Word-Dokument gespeichert. Die Ergebnisse der Experteninterviews wurden im Folgenden zusammengefasst:

In Bezug auf die erste Frage Q1: Wenn es ein System gibt, das Fahrer bei der Übernahme unterstützt, denken Sie, dass sich das Unterstützungssystem in verschiedenen Übernahme-situationen unterscheiden sollte?, stimmten alle Experten darin überein, dass es eine Unterscheidung der Unterstützung durch das System in verschiedenen Übernahme-situationen geben sollte.

Zu der Frage Q2: Wenn die Antwort ja lautet, in welchen Übernahme-situationen erwarten Sie diesen Unterschied? Könnten Sie ein Beispiel nennen?“

Alle Experten antworteten, dass der größte Unterschied bei der Systemunterstützung in kritischen und unkritischen Übernahme-situationen, die Zeit bis zur Benachrichtigung sein sollte. Experte 2 betonte, dass es eine Mindestzeit geben sollte, in der das System den Fahrer auffordert, die Kontrolle zu übernehmen. Außerdem erwähnte Experte 2, dass sich durch den Übergang von SAE Level 3 zu SAE Level 2 die Verantwortung des Fahrers ge-

ändert hat, wodurch sich auch die erforderlichen Informationen in der Mensch-Maschine-Interaktion für die Aufforderung zur Übernahme geändert haben.

Ein Experte (E1) erwähnte, dass das System eine andere Art von Unterstützung hinsichtlich des Dringlichkeitsgrades in Übernahme-situationen bieten sollte. Dieser Dringlichkeitsgrad könnte über eine Leuchtanzeige kommuniziert werden. Mit zunehmender Dringlichkeit kann das Fahrzeug mit verschiedenen Farben, verschiedenen Darstellungsmustern und verschiedenen Phasen der Dringlichkeit der Situation kommunizieren. Zum Beispiel beträgt die Zeit für die Übernahme in einer nicht dringenden Situation 10 Sekunden, wenn eine gelbe Lichtanzeige mit einer langsamen Lichtbewegung verwendet wird; in dringenden Übernahme-situationen, in denen nur 5 Sekunden zur Verfügung stehen, kann rotes Licht für eine kritische Warnung verwendet werden. Ähnlich wie Experte 1 nannte auch Experte 3 das Beispiel einer entsprechenden Unterstützung in kritischen Situationen durch eine große rote Anzeige und multimodale Warnungen, wie z. B. akustische Hinweise oder taktische Hinweise, während in nicht kritischen Situationen nur visuelle Hinweise mit nicht so vielen Farben verwendet werden können.

Sowohl Experte 4 als auch Experte 5 wiesen auf die Wichtigkeit einer frühzeitigen Übernahmeankündigung hin. Experte 5 vertrat die Auffassung, dass die ALKS-Vorschriften zwar 10 Sekunden für die Erstmeldung der Übernahme und 6 Sekunden für die dringende Übernahmeaufforderung vorsehen, dass aber in unkritischen Situationen die Meldung viel früher als vorgeschrieben erfolgen sollte. Experte 4 fand, dass der Automatisierte Modus permanent angezeigt werden sollte (z. B. das Lenkrad leuchtet permanent blau). Im Falle einer Baustelle, bei der man weiß, dass in naher Zukunft ein Hindernis kommt, kann die Beleuchtung des Lenkrads geändert oder mit Impulsen angezeigt werden, um den Fahrer bei der Vorbereitung der späteren Übernahmeaufforderung zu unterstützen. In kritischen Situationen sollte sichergestellt werden, dass der Fahrer noch genügend Zeit zum Überholen hat, und die Meldung sollte den Fahrer nicht erschrecken. Daher ist es wichtig, mehr und klarere Informationen zu geben, wie z. B. eine räumliche Warnung (z. B. vor einem Hindernis, auf das Sie reagieren müssen). Dies kann durch ein rotes Licht vor dem Fahrer unterstützt werden, dass seine Aufmerksamkeit in die richtige Richtung lenkt und mit akustischen Hinweisen kombiniert wird. Experte 6 erklärte, dass die Unterstützung in geplanten Übernahme-situationen anders sein sollte als in unerwarteten Situationen.

Bei der Frage Q3 zu den vier Hauptergebnissen der Meta-Analyse über den Einfluss verschiedener Übernahme-situationen auf die Sicherheitsindikatoren waren alle Experten der Ansicht, dass die ersten drei Punkte zusammenpassen, der vierte Punkt jedoch überraschend war.

Hinsichtlich der längeren Hands-on-Zeit in dynamischen Situationen erklärten Experte 1, Experte 4 sowie Experte 5, dass die Fahrer mehr Zeit benötigten, um die komplexe Situation zu analysieren und mit der ersten motorischen Aktion eine Entscheidung zu treffen. Experte 3 war der Meinung, dass die längere Hands-on-Zeit damit zusammenhängt, dass sich die Fahrer auf das Bremsen konzentrieren müssen. Experte 6 wies darauf hin, dass die unterschiedliche Hands-on-Zeit in verschiedenen Übernahme-situationen mit NDRT oder der Wahrnehmung der Situation zusammenhängen könnte.

Für die kürzere Übernahmezeit in dynamischen Situationen erklärte Experte 4, dass die Fahrer sich mehr Zeit für die Vorbereitung ließen. Dennoch bremsten und lenkten sie in dynamischen Situationen intensiv und die Übernahmezeit war daher kürzer. Experte 6 erwähnte, dass Fahrer in dynamischen Situationen aufgrund der dynamischen Bewegungen relevante Objekte schneller wahrnehmen und daher schneller auf sie reagieren können als auf ein statisches Objekt.

Hinsichtlich der schnelleren und stärkeren Bremsvorgänge in dynamischen Situationen kamen Experte 2, Experte 3 und Experte 5 zu einer ähnlichen Interpretation. Experte 2 stellte fest, dass die Fahrer in dynamischen Situationen, insbesondere wenn die Zeit für die Übernahme des Fahrzeugs knapp war oder das Systemlimit erreicht wurde, mehr Zeit benötigten als in statischen Situationen, weshalb sie schneller mit der Bremsung begannen, indem sie die Geschwindigkeit verringerten, um mehr Zeit für endgültige richtige Entscheidungen zu gewinnen. Experte 3 erwähnte auch, dass die Fahrer mehr Flexibilität brauchten, um auf die komplexe Situation zu reagieren, daher mussten sie schnell sein, und durch schnelles und starkes Bremsen konnten sie mehr Freiheit haben, um auf Unsicherheiten zu reagieren. Experte 1 und Experte 6 betonten, dass das Bremsen intuitiv sei, ein Verteidigungsmechanismus und eine unbewusste Reaktion auf schwierige Situationen.

Bezüglich der kürzeren TTC in dynamischen Situationen erklärten Experte 1 und Experte 4, dass dies damit zusammenhängt, dass die Fahrer in dynamischen Situationen mehr Zeit brauchen, um Entscheidungen zu treffen. Wenn die Zeit ablief, mussten sie trotzdem stärker bremsen und hatten daher eine kürzere TTC.

Bei den Ergebnissen zur Arbeitsbeanspruchung gaben alle Experten an, dass sie das Gegenteil erwartet hätten. Eine alternative Erklärung von Experte 1, Experte 2 und Experte 6 könnte darin bestehen, dass einige statische Objekte mehr Unsicherheit verursachen und die Fahrer zusätzliche Anstrengungen unternehmen müssen, um das Objekt zu identifizieren und zu bewerten, was zu einer höheren Arbeitsbeanspruchung führt. Experte 4 war außerdem der Meinung, dass der Fahrer vielleicht nicht mehr Zeit benötigt, um sich in der dynamischen Situation zu orientieren.

Zur Frage Q4: Wie kann das System die Fahrer in verschiedenen Situationen unterstützen? gaben die Experten ihre Vorschläge zur Unterstützung in statischen und dynamischen Übernahmesituationen ab. Experte 1 begann mit dem Vorschlag, Lichtanzeigen zu verwenden, die zunächst helfen könnten, statische und dynamische Objekte zu unterscheiden: statische Objekte könnten mit blinkenden Lichtern und dynamische Objekte mit Lichtern mit sich bewegendem Mustern markiert werden. Außerdem könnte das System die Position des Objekts (z. B. mit Licht) und auch den Sicherheitsabstand zu ihm anzeigen. In dynamischen Situationen könnte das System die Bewegung des umgebenden Hindernisses berechnen. Bei statischen Objekten im Vordergrund könnte die Warnung in Form eines drohenden Tons erfolgen. Ähnlich wie Experte 1, jedoch nicht auf die Verwendung von Lichtanzeigen beschränkt, schlug Experte 3 vor, in dynamischen Situationen die potenziellen Kollisionspunkte in Echtzeit anzuzeigen, indem multimodale Warnungen, wie z. B. akustische oder taktile Hinweise, verwendet werden, während in statischen Situationen visuelle Hinweise ausreichen, um dem Fahrer zu zeigen, wo sich die relevanten Hindernisse befinden. Experte 4 schlug ebenfalls die Verwendung einer Lichtanzeige vor, um den Fahrer in Übernahmesituationen zu unterstützen, und betonte die Bedeutung einer permanenten Lichtanzeige, die räumlich anzeigt, wohin sich das Fahrzeug in der nächsten Sekunde bewegt, was in der dynamischen Situation hervorgehoben werden muss. Experte 5 äußerte eine ähnliche Anregung, dass das System den Fahrer unterstützen sollte, indem es ihn frühzeitig auf die Verkehrssituation hinweist, so dass er das Verkehrsgeschehen in der Umgebung wahrnehmen kann, z. B. mit Hilfe der Vogelperspektive, und auch auf dynamische Situationen besser vorbereitet ist. Experte 6 schlug vor, multimodale Warnungen zu verwenden, um Hilfe zu leisten.

Experte 2 betonte den Aspekt des Timings bei der Unterstützung der Fahrer in verschiedenen Situationen. Experte 2 sagte, dass es in dynamischen Situationen wichtig ist, zu wissen, wie unmittelbar die Aktion erforderlich ist und welche Fähigkeit das System hat,

eine Aktion früh genug vorzubereiten. Die typischen Übernahmezeiten, die für Level 3-Systeme erforderlich sind, betragen in dynamischen Situationen mindestens 4 bis 5 Sekunden. In statischen Situationen kann die Mensch-Maschine-Schnittstelle viel mehr erklärbare Aspekte enthalten, wenn das statische Hindernis weit vom Fahrer entfernt ist. Das System kann dem Fahrer beispielsweise die umliegenden Fahrzeuge und Hindernisse über die Mensch-Maschine-Schnittstelle anzeigen und entsprechende Maßnahmen vorschlagen, die nicht unmittelbar erforderlich sind und dem Fahrer helfen können, auf das bevorstehende dringende Ereignis zu reagieren (z. B. ein Reifen des Führungsfahrzeugs ist abgefallen). Experte 5 wies auch darauf hin, dass es wichtig ist, den Fahrern die Gründe für die Übernahme zu erklären, um sie zu motivieren, zu reagieren. Experte 6 schlug vor, in dynamischen Situationen schneller Hilfe zu leisten als in statischen Situationen. Darüber hinaus kann der Detaillierungsgrad der Hilfeleistung unterschiedlich sein, entweder mit allgemeinen oder detaillierten Informationen.

Zu Frage Q5: „Bitte versuchen Sie, eine Checkliste zu formulieren, um die sichere Interaktion zwischen Fahrer und automatisiertem Fahrzeug zu bewerten.“ Experte 1 und Experte 3 schlugen beide vor, die Dringlichkeit der Situation mit multimodalen Hinweisen darzustellen, wobei die Anzahl der Modalitäten mit der Dringlichkeit der Situation steigen sollte. Experte 2 und Experte 5 erwähnten, dass die Verfügbarkeit des Fahrers kontinuierlich auf einer zweiten Ebene verfolgt werden müsse. Darüber hinaus wiesen sie darauf hin, dass die Mensch-Maschine-Schnittstelle so gestaltet sein muss, dass die Reaktionsfähigkeit des Fahrers zu jedem Zeitpunkt gewährleistet ist und die Vorbereitung des Fahrers auf die Übernahme der Kontrolle klar vermittelt wird, damit er sich bereit fühlt, die Kontrolle wieder zu übernehmen. Experte 2 erwähnte, dass die Mensch-Maschine-Schnittstelle für die Aufforderung zur Übernahme der Kontrolle besonders einfach und auffällig sein sollte in dynamischen Situationen, da die Fahrer möglicherweise eine höhere Arbeitsbeanspruchung haben und eine einfachere Mensch-Maschine-Schnittstelle benötigen, die schnell wahrgenommen und interpretiert werden kann.

Experte 3, Experte 4 und Experte 6 betonten, dass die Übernahmewarnung für den Fahrer deutlich wahrnehmbar sein sollte. Experte 4 betonte außerdem, dass die Warnung nicht zu intensiv sein sollte und es möglich sein sollte, eine Warnung mit einer Reaktionszeit von unter einer Sekunde zu entwickeln. Außerdem sollte das System einen Überholvorgang so früh wie möglich ankündigen. Experte 5 schlug vor, das Lenkverhalten nach dem Übernahmeprozess zu überprüfen, um eine Lenkstabilisierung zu erreichen. Warnsymbole und Interaktionsstrategien mit verschiedenen Kombinationen von Modalitäten, die für den Übernahmeprozess verwendet werden, sollten standardisiert werden, um ein Umlernen von Systemen verschiedener Hersteller zu vermeiden. Experte 6 betonte, dass die vom System übertragenen Informationen, wie z. B. der Systemzustand und die Erwartungen an den Fahrer, klar kommuniziert werden sollten, damit der Fahrer stets über den Systemzustand informiert ist, um Verwirrung zu vermeiden und auf Aktionen vorbereitet zu sein.

Zur Frage Q6: „Haben Sie ein bestimmtes System im Sinn, das bereits auf dem Markt verfügbar ist? Wann oder wie weit in der Zukunft kann es in Serienfahrzeugen eingesetzt werden?“, erwähnte Experte 3, dass Honda und Mercedes-Benz ihr SAE Level 3-System angekündigt haben und dass BMW seinen Stau-Pilot im nächsten Jahr herausbringen wird. Experte 4 und Experte 5 erwähnten beide, dass Mercedes ein SAE Level 3-System für den Mercedes EQS auf den Markt bringen wird. Experte 5 erklärte, dass es sich nicht nur um einen Stauassistenten handeln wird, sondern um einen Autobahnpielen, der in der Lage sein wird, Spurwechsel durchzuführen und auch mit höheren Geschwindigkeiten zu fahren. Experte 4 hatte eine Fahrerfahrung mit einem Tesla-Fahrzeug mit allen Funktionen des assistierten Fahrens. Er wies darauf hin, dass das Tesla-System zwar oft als SAE Level 3 an-

gepriesen wird, aber nur Merkmale der SAE Level 2 aufweist. Er stellte auch fest, dass das Tesla-Auto oft falsche Entscheidungen traf, was das Vertrauen des Fahrers in das Tesla-Auto stark beeinträchtigte. Experte 2 und Experte 6 äußerten, dass Honda zwar angab, über ein SAE Level 3 System mit einigen spezifischen Funktionen [auf dem japanischen Markt] zu verfügen, diese Autopilot-Funktionen aber immer noch als Assistenz der SAE Level 2 betrachtet wurden. Dennoch gibt es auf dem Markt eindeutige Maßnahmen, die in diese Richtung gehen, und die Funktionalität beginnt eindeutig mit einem Stau-Piloten.

Im Hinblick auf die Funktionen, die in Zukunft berücksichtigt werden sollten und inwieweit sie in Serienfahrzeugen implementiert werden können, äußerten sowohl Experte 3 als auch Experte 5, dass es wichtig wäre, den Fahrern die Einschränkungen des Operational Design Domain (ODD) zu vermitteln. Experte 2 erwähnte, dass Stau-Piloten in der Lage sein sollten, Spurwechsel vorzunehmen. Ohne diese Funktion ist die Entwicklung automatisierter Fahrzeuge weit davon entfernt, ein System auf den städtischen Markt zu bringen. Darüber hinaus sagte Experte 2, dass ein Level 3 System zuverlässiger sein sollte, um eine reale dynamische Situation bei einer Geschwindigkeit von 120 km/h bewältigen zu können. Vertrauen in das System sei wichtig, aber dieses Vertrauen müsse realistisch sein und dürfe nicht auf unrealistischen Erwartungen an das System beruhen. Experte 6 war der Meinung, dass SAE Level 3 Systeme nicht in den nächsten zwei Jahren, sondern vielleicht erst in 5 oder 10 Jahren verfügbar sein werden. Sie werden zunächst in spezifischen Szenarien wie z. B. beim Parken eingesetzt werden.

6.3 Entwicklung der Checkliste

Auf der Grundlage der Ergebnisse der Meta-Analyse und der Experteninterviews wurde eine Checkliste für die Bewertung der Sicherheit der Mensch-Maschine-Interaktion auf SAE Level 3 entwickelt.

6.3.1 Vorgehensweise

Basierend auf den Notizen der durchgeführten Experteninterviews wurde ein Entwurf der Checklistenpunkte erstellt, insbesondere anhand der Expertenmeinungen zu Q4 und Q5, die für die Entwicklung der Checklistenpunkte von großer Bedeutung sind. In diesem Entwurf der Checkliste wurden die Antworten der Experten zu Q4 und Q5 unter Berücksichtigung der Anforderungen an Assistenzsysteme, die den Übernahmeprozess des Fahrers auf SAE Level 3 unterstützen können, zu Checklistenpunkten formuliert. Aus den Ergebnissen der Experteninterviews wurden zunächst 21 Checklistenpunkte abgeleitet. Diese Punkte wurden intern in der Abteilung Human Factors der Universität Ulm überprüft. Nachdem ein Arbeitsblatt mit allen wichtigen Aussagen der einzelnen Experten erstellt wurde, wurde zunächst nach ähnlichen Aussagen verschiedener Experten gesucht. Wenn es Überschneidungen zwischen den Checklistenpunkten gab, werden die ähnlichen Punkte zu einem Punkt zusammengefasst. Es kam auch vor, dass ein Checklistenpunkt mit hoher Relevanz nur einmal vorkam. In diesem Fall wurde die Plausibilität der Aussage von Mitarbeitern der Universität Ulm überprüft. Nach der Überprüfung und Integration blieben 16 Checklistenpunkte für die Endfassung übrig. Diese Checklistenpunkte wurden weiter in sechs Kategorien unterteilt, wobei jede Kategorie den gleichen Aspekt der Systemanforderungen für die Bewertung der sicheren Mensch-Maschine-Interaktion auf SAE Level 3 anspricht.

6.3.2 Struktur der Checkliste

Die Checkliste beginnt mit einigen grundlegenden Informationen, die für die Bewertung der sicheren Mensch-Maschine-Interaktion auf SAE Level 3 benötigt werden, wie z. B.

Datum, Uhrzeit, Name des Experten, bewertetes Fahrzeug oder System. Es folgen die Kategorien mit den entsprechenden Checklistenpunkten. Jeder Punkt der Checkliste kann mit ja oder nein oder mit nicht anwendbar beantwortet werden. Die Option von nicht zutreffend kann gewählt werden, wenn der entsprechende Punkt aufgrund der fehlenden Funktionalität des Systems oder einschlägiger Erfahrungen der Experten nicht bewertet werden kann.

Nach der Bewertung der relevanten Punkte in einer Kategorie kann eine zusammenfassende Bewertung mit drei Optionen abgegeben werden: Erfüllt, Zufriedenstellend, Nicht akzeptabel, basierend auf dem Response Code of Practice (Response Consortium, 2006) oder der Checkliste von NAUJOKS et al. (2019). Die Option von Erfüllt kann gewählt werden, wenn alle Items dieser Kategorie mit Ja bewertet werden, während die Option von Zufriedenstellend für die Bewertung geeignet ist, bei der höchstens ein Item mit Nein beantwortet wird. Die Option von Nicht akzeptabel wird verwendet, wenn mehr als ein Item in dieser Kategorie mit nein bewertet wird. Neben diesen drei Optionen kann auch für jede Anforderungskategorie eine Bemerkung gemacht werden, so dass ein Urteil vermerkt werden kann.

Nach der Bewertung aller Punkte in der Checkliste muss eine abschließende Bewertung für die Systemevaluation von sehr gut bis nicht akzeptabel abgegeben werden:

- Sehr gut: keine Verbesserungen erforderlich
- Annehmbar mit geringen Verbesserungsmöglichkeiten: Zufriedenstellend mit geringen Verbesserungsmöglichkeiten
- Annehmbar mit großen Verbesserungsmöglichkeiten: Zufriedenstellend mit wichtigen Verbesserungsmöglichkeiten
- Nicht akzeptabel: Nicht zufriedenstellend

6.3.3 Kategorien der Systemanforderungen

Die 16 Punkte der Checkliste wurden auf der Grundlage der Systemanforderungen für die Bewertung der sicheren Mensch-Maschine-Interaktion auf SAE Level 3 in sechs Kategorien unterteilt.

Die erste Kategorie ist Anforderungen an das Fahren auf SAE Level 3, die aus 2 Checklistenpunkten besteht. Diese Kategorie soll die wichtigen Anforderungen wie die Verfügbarkeit des Fahrers oder die Verantwortung für die Steuerung des automatisierten Fahrens auf SAE Level 3 im Allgemeinen zusammenfassen.

Die zweite Kategorie ist Anforderungen für die Übernahmeanforderung des Systems, die 4 Checklistenpunkte umfasst. Da eine Übernahmesituation ein oft kritisches Manöver für das automatisierte Fahren der SAE Level 3 ist, zielt diese Kategorie auf die spezifischen Anforderungen an die Übernahmeaufforderungen des Systems in Bezug auf den Zeitpunkt, die Dringlichkeit der Situation und die Modalitäten der Warnungen ab.

Die dritte Kategorie Anforderungen an die Interaktionsgestaltung für die Übernahmehilfe umfasst insgesamt 5 Checklistenpunkte. Sie liefert Gestaltungsvorschläge für die Übernahmeunterstützung unter Berücksichtigung von Standardisierung, Hervorhebung, Erläuterung, Erkennung von Hindernissen in der Umgebung und Manöर्वorschlägen.

Die vierte Kategorie ist Zusätzliche Anforderungen an die Unterstützung in Übernahmesituationen mit dynamischer Bewegung mit 2 Checklistenpunkten, die darauf abzielen, Unterstützung in den klassifizierten dynamischen Übernahmesituationen zu bieten.

Die fünfte Kategorie Anforderungen an das gegenseitige Verständnis des Fahrers für die Übernahmeanforderung umfasst 2 Checklistenpunkte, die auf die Anforderungen zur Unterstützung des gegenseitigen Verständnisses zwischen Fahrern und Systemen abzielen.

Die sechste Kategorie Anforderungen an die Unterstützung nach der Übernahme durch den Fahrer enthält einen Punkt und befasst sich mit den Anforderungen nach Abschluss des Übernahmeprozesses.

6.3.4 Checklist Items

Die sechs Kategorien der Systemanforderungen mit den entsprechenden 16 Checklistenpunkten sind im Kapitel 6.4 aufgeführt. Ein Screenshot der Checklistenpunkte der zweiten Kategorie ist in Bild 6-1 zu sehen.

1	Requirements for driving at SAE Level 3	Yes	No	n/a			
2.1	System checks the responsibility of the driving task at any moment	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>			
2.2	System provides the driver with a permanent display of the traffic situation (e.g., birds eye view or using light display to show where the vehicle is going and where obstacles are dangerously close using a red light)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>			
<table border="1" style="margin: auto;"> <tr> <td style="padding: 5px;">Fulfilled</td> <td style="padding: 5px;">Satisfactory</td> <td style="padding: 5px;">Not-acceptable</td> </tr> </table>					Fulfilled	Satisfactory	Not-acceptable
Fulfilled	Satisfactory	Not-acceptable					
Comments:							

Bild 6-1: Beispiel einer Checkliste zur Bewertung der Mensch-Maschine-Interaktion auf SAE Level 3

Von diesen 16 Punkten der Checkliste wurden 5 von mehr als drei Experten genannt. Drei Punkte der Checkliste wurden hauptsächlich von vier Experten vorgeschlagen. Dabei handelt es sich um die Punkte 2.3: Das System bietet multimodale Warnungen (z. B. auditiv, visuell, taktil), 4.2: Das System zeigt dem Fahrer die Bewegungsbahn des Hindernisses an und prognostiziert potenzielle Kollisionspunkte in Echtzeit, z. B. mit einer Lichtanzeige, die alle potenziellen Hindernisse hervorhebt und 5.1: Die Übernahmeaufforderung des Systems kann vom Fahrer vollständig wahrgenommen und verstanden werden (erwartetes hohes Situationsbewusstsein des Fahrers gemessen an der Fehlerquote). Die Checkliste 2.3 und 5.1 sind miteinander verbunden, was bedeutet, dass die meisten Experten vorschlagen, multimodale Warnungen für Übernahmeaufforderungen zu verwenden, um die Wahrnehmung und das Verständnis der Übernahmeaufforderungen durch den Fahrer zu verbessern. Darüber hinaus haben die Experten betont, wie wichtig es ist, die dynamischen Bewegungen der relevanten Hindernisse und mögliche Kollisionen in dynamischen Übernahmesituationen anzuzeigen.

Zwei Punkte der Checkliste wie 2.2: Das System informiert den Fahrer über die Dringlichkeit der Situation (z. B. eine Warnung in roter Farbe 5 Sekunden vor einer dringenden Situation und in oranger Farbe 10 Sekunden vor einer nicht dringenden Situation) und 3.3: Das System hebt die relevanten Hindernisse hervor (z. B. durch Flaggen, Markierungen im linken Außenspiegel oder blinkende Umgebungslichter an der Vorderseite des Fahrzeugs wie der A-Säule oder dem Armaturenbrett) wurden von der Hälfte der Experten vorgeschlagen. Dies zeigt, dass die Hälfte aller Experten der Meinung ist, dass die Hervorhebung der relevanten Hindernisse und die Information über die Dringlichkeit der Situation den Übernahmeprozess des Fahrers unterstützen könnte.

6.3.5 Anwendung der Checkliste Items

Der Hauptzweck dieser Anwendung ist die Vereinfachung des Bewertungsprozesses eines neuen Fahrzeugkonzepts, das von internationalen Experten für die Bewertung der Mensch-Maschine-Interaktion auf SAE Level 3 im Kontext des automatisierten Fahrens genutzt werden kann. Dieser Service wird online und plattformübergreifend in einer benutzerfreundlichen Umgebung angeboten. Zum Umfang der Anwendung gehört neben einer kurzen Beschreibung der Nutzung auch die Bewertung anhand der Checkliste, die im Rahmen dieses Projekts entwickelt wurde, sowie eine Seite für zusätzliche Kommentare, die dann an einen Server oder einen beliebigen Empfänger gesendet werden. Die Anwendung kann als Prototyp einer Anwendung beschrieben werden, die einen Vorschlag für die Online-Bereitstellung der Checkliste für jeden Kunden darstellt.

Die Anwendung ist webbasiert und verwendet HTML, ein CSS-Stylesheet und eine Javascript-Datei mit dem JQuery-Paket. Das JQuery-Paket wurde verwendet, um die Benutzerfreundlichkeit der Anwendung zu verbessern, kann aber für das Endprodukt entfernt werden. Wie bereits erwähnt, schlagen wir vor, dass die Anwendung drei Funktionen hat: (1) die Beschreibung der Anwendung, (2) die Hauptbewertung der sechs Checklistenkategorien und (3) ein Feld für zusätzliche Kommentare, falls während der Bewertung etwas unklar war.

Zum jetzigen Zeitpunkt wird diese Anwendung auf einer privaten GitLab Pages Seite (https://uulm_humanfactors.gitlab.io/bastapp/) gehostet. Der Quellcode wird zusammen mit den Ergebnissen dieses Projekts zur weiteren Verwendung übergeben. Die Anwendung befindet sich in einem prototypischen Zustand und soll entsprechend den Möglichkeiten vordefiniert werden. Im oberen Teil der Anwendung schlagen wir eine Navigationsleiste vor, die den Fortschritt anzeigt und in welcher Kategorie sich der Benutzer gerade befindet (siehe Bild 6-2).



Bild 6-2: Navigation und Fortschrittsanzeige

Es gibt eine Schaltfläche von Zurück und Weiter, um durch die Seiten zu navigieren (siehe Bild 6-3). Die vom Benutzer eingegebenen Informationen werden sofort gespeichert und



Bild 6-3: Navigationstasten

gehen beim Hin- und Herblättern nicht verloren. Daher kann der Benutzer zu jeder vorherigen Kategorie zurückkehren, ohne dass der Fortschritt verloren geht.

Auf der Anleitungssseite (siehe Bild 6-4) wird beschrieben, wie die Anwendung zu verwenden ist und welchen Zweck sie hat. Die derzeitige Anwendung sollte nur ein Vorschlag sein, wie sie zu implementieren ist. Wir schlagen daher vor, sie zu überarbeiten und möglicherweise weitere grundlegende Informationen hinzuzufügen, falls erforderlich.

Bild 6-4: Anleitungssseite der Webanwendung

Nach der Instruktions- und Basisinformationsseite können die sechs Kategorien der Checkliste von Experten bewertet werden. Die Interaktion ist für die Nutzung auf einem Computer oder einem Touch-Gerät, wie einem Tablet oder Mobiltelefon, optimiert. Um die benötigten Informationen auszufüllen, müssen die Nutzer die Frage auf einer 3-Punkte-Likert-Skala mit den Antwortmöglichkeiten von ja, nein und N/A (nicht zutreffend) bewerten (siehe Bild 6-5).

Bild 6-5: Checklistenpunkte in Kategorie vier „Interaktionsdesign“

Nach der Bewertung aller entsprechenden Punkte in einer Kategorie können eine Gesamtbewertung dieser Kategorie (erfüllt, befriedigend, nicht akzeptabel) (siehe Bild 6-6) und zusätzliche Kommentare unter dieser Checkliste angegeben werden.

Bild 6-6: Gesamtbewertung dieser Kategorie

Nach der Bewertung der sechs Kategorien kann der Benutzer das gesamte System bewerten und hat die Möglichkeit, weitere Kommentare anzugeben und die Ergebnisse (siehe Bild 6-7) sowie die bereitgestellten Informationen der Bewertung an eine noch festzulegende Serveradresse zu senden.

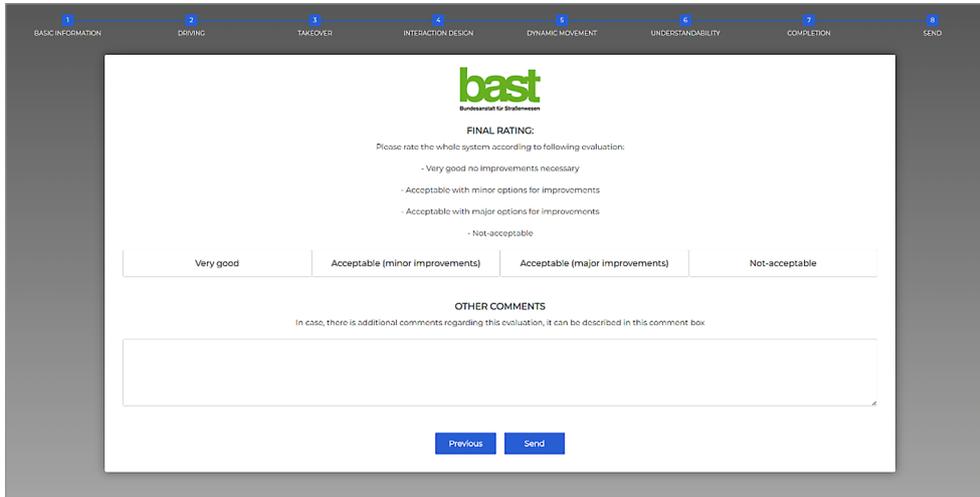


Bild 6-7: Abschlusseite und Sendeoption

6.4 Checkliste zur Bewertung der Mensch-Maschine-Interaktion auf SAE Level 3

Please fill in the following questions:

1. Date: _____ 2. Time: _____ 3. Expert's name: _____ 4. Vehicle/system: _____

1	Requirements for driving at SAE Level 3	Yes	No	n/a			
1.1	System checks the responsibility of the driving task at any moment (mode awareness)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>			
1.2	System provides the driver with a permanent display of the traffic situation (e.g. birds eye view or using light display to show where the vehicle is going and where obstacles are dangerously close using a red light)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>			
<table border="1" style="width: 100%; text-align: center;"> <tr> <td style="width: 33%;">Fulfilled</td> <td style="width: 33%;">Satisfactory</td> <td style="width: 33%;">Not-acceptable</td> </tr> </table>					Fulfilled	Satisfactory	Not-acceptable
Fulfilled	Satisfactory	Not-acceptable					
Comments:							

2	Requirements for system's takeover request	Yes	No	n/a			
2.1	System announces a takeover within 10 seconds	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>			
2.2	System informs the driver of the urgency of the situation (e.g. a warning with red colour with 5 s in advance for urgent situations and orange colour with 10 s for non-urgent situations)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>			
2.3	System provides multi-modal warnings (e.g. auditory, visual, tactile)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>			
2.4	The numbers of warning modalities increase with the urgency of the situation (single modality for non-urgent situations and multi-modals for urgent situations)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>			
<table border="1" style="width: 100%; text-align: center;"> <tr> <td style="width: 33%;">Fulfilled</td> <td style="width: 33%;">Satisfactory</td> <td style="width: 33%;">Not-acceptable</td> </tr> </table>					Fulfilled	Satisfactory	Not-acceptable
Fulfilled	Satisfactory	Not-acceptable					
Comments:							

3	Requirements for interaction design for Takeover assistance	Yes	No	n/a			
3.1	Interaction strategies used for takeover process should be standardized in terms of implementation (e.g. modalities of takeover request and driver's confirmation)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>			
3.2	System detects and informs the driver whether the surrounding obstacle moves or not (e.g. flashing lights for static obstacle, light with moving patterns for dynamic obstacle)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>			
3.3	System highlights the relevant obstacles (e.g. flags, marks in the left side mirror or flashing ambient lights in the front of the vehicle such as A-pillar or dashboard)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>			
3.4	System explains the reason (e.g. error code) for the transfer of control in a clear way to the driver e.g. with a visual display or auditory information	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>			
3.5	System suggests possible maneuvers to the driver (e.g. visual display in urgent situations)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>			
<table border="1" style="width: 100%; text-align: center;"> <tr> <td style="width: 33%;">Fulfilled</td> <td style="width: 33%;">Satisfactory</td> <td style="width: 33%;">Not-acceptable</td> </tr> </table>					Fulfilled	Satisfactory	Not-acceptable
Fulfilled	Satisfactory	Not-acceptable					
Comments:							

4	Additional requirements for assistance in takeover situations with Dynamic movement	Yes	No	n/a			
4.1	System gives warnings to the driver in a simple, noticeable and adequate way (e.g. manufacturers style guides)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>			
4.2	System displays the trajectory movement of the obstacle and predicts the potential conflict of points of collisions on real time to the driver, e.g. with light display highlighting all the potential obstacles	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>			
<table border="1" data-bbox="248 546 1019 651"> <tr> <td data-bbox="248 546 505 651">Fulfilled</td> <td data-bbox="505 546 762 651">Satisfactory</td> <td data-bbox="762 546 1019 651">Not-acceptable</td> </tr> </table> <p data-bbox="197 741 316 770">Comments:</p>					Fulfilled	Satisfactory	Not-acceptable
Fulfilled	Satisfactory	Not-acceptable					

5	Requirement for the driver's mutual understandbility to the Takeover request	Yes	No	n/a			
5.1	The takeover request from the system can be fully perceived and understood by the driver (expected high situation awareness of the driver measured by the error rate)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>			
5.2	The driver expresses that he/she is ready and able to take back control in a clear way according to UN-R157,6.2.5.2	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>			
<table border="1" data-bbox="248 1346 1019 1451"> <tr> <td data-bbox="248 1346 505 1451">Fulfilled</td> <td data-bbox="505 1346 762 1451">Satisfactory</td> <td data-bbox="762 1346 1019 1451">Not-acceptable</td> </tr> </table> <p data-bbox="197 1496 316 1525">Comments:</p>					Fulfilled	Satisfactory	Not-acceptable
Fulfilled	Satisfactory	Not-acceptable					

6	Requirements for assistance after driver's takeover	Yes	No	n/a
6.1	System checks the driver's steering performance to achieve steering stabilization by adaptive steering similar to Active Front Steering (e.g. BMW AFS)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Comments:				

Final Rating:

	very good – no improvements necessary
	acceptable with minor options for improvement
	acceptable with major options for improvement
	not acceptable

6.5 Zusammenfassung

Auf der Grundlage der Ergebnisse der Metaanalyse und der Experteninterviews wurden 16 Checklistenpunkte entwickelt, die in sechs Kategorien eingeteilt wurden, um die Sicherheit der Mensch-Maschine-Interaktion auf SAE Level 3 zu bewerten. Darüber hinaus wurden diese Checklistenpunkte zu einer prototypischen Anwendung weiterentwickelt, um eine leicht zugängliche Online-Version der Checkliste für die Bewertung der Mensch-Maschine-Interaktion auf SAE Level 3 im Kontext des automatisierten Fahrens bereitzustellen.

7 Schlussfolgerung

Mit dem Ziel, geeignete Indikatoren und Kriterien für die Bewertung der sicheren Mensch-Maschine-Interaktion für SAE Level 3 Systeme bis 60 km/h im Kontext des automatisierten Fahrens zu identifizieren, wurde dieses Forschungsprojekt mit einem Fokusgruppeninterview begonnen, um relevante Publikationskanäle und eine Liste von Schlüsselwörtern in Bezug auf Indikatoren für die Bewertung der Mensch-Maschine-Interaktion auf SAE Level 3 zu identifizieren. Auf der Grundlage der identifizierten Liste von Schlüsselwörtern wurden Literaturrecherchen durchgeführt, um relevante Veröffentlichungen aus den identifizierten Publikationskanälen zu extrahieren. Diese ausgewählten Arbeiten wurden dann für eine Meta-Analyse verwendet, um den Einfluss verschiedener Übernahme-situationen auf die Übernahmeleistung, gemessen an den Kategorien Übernahmezeit, Übernahmequalität und subjektive Arbeitsbeanspruchung, zu untersuchen. Die Ergebnisse der Meta-Analyse zeigen, dass die Übernahmeleistung der Fahrer in statischen und dynamischen Situationen unterschiedlich ist. Es wurden Experteninterviews durchgeführt, um die Ergebnisse der Metaanalyse zu interpretieren und Checklisten-elemente zu entwickeln. Am Ende wurden 16 Checklistenpunkte entwickelt, die sechs Kategorien von Systemanforderungen zugeordnet sind und von internationalen Experten verwendet werden können, um die Sicherheit der Mensch-Maschine-Interaktion von SAE Level 3 Systemen bis zu 60 km/h in Serienfahrzeugen zu bewerten. Diese Checkliste wurde zu einer Online-Anwendung weiterentwickelt, die als einfach zu implementierendes und effizientes Bewertungsverfahren in Bezug auf die verkehrssicherheitsrelevante Interaktionsqualität der Systeme genutzt werden kann.

Die internationalen Experten haben wertvolle und professionelle Stellungnahmen zum Verständnis der Übernahmeleistung des Fahrers in verschiedenen Übernahme-situationen abgegeben und auch ihre Bedenken hinsichtlich der Möglichkeit und des Zeitpunkts der Umsetzung einiger automatisierter Funktionen in Serienfahrzeugen geäußert, die bei der Entwicklung von Assistenzsystemen für SAE Level 3 in der Zukunft berücksichtigt werden können. Die Inhalte der Checkliste liefern wichtige Erkenntnisse für die Entwicklung fortschrittlicher Fahrerassistenzsysteme und die Bewertung der sicheren Mensch-Maschine-Interaktion im Rahmen des automatisierten Fahrens auf SAE Level 3. Darüber hinaus können die aus den Experteninterviews und den Punkten der Checkliste vorgeschlagenen wichtigen Themen zur Mensch-Maschine-Interaktion auf SAE Level 3 zur Entwicklung von Fahrzeugtechnologieregelungen auf UN ECE-Ebene genutzt werden.

Literatur

ERIKSSON, A. & STANTON, N. A. (2017): Takeover time in highly automated vehicles: Non-critical transitions to and from manual control. *Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society*, 59, 689–705.

GOLD, C.; KÖRBER, M.; LECHNER, D.; & BENGLER, K. (2016): Taking over control from highly automated vehicles in complex traffic situations: the role of traffic density. *Human factors*, 58(4), 642-652

HART, S. G. & STAVELAND, L. E. (1988): Development of NASA-TLX (Task Load Index): Results of empirical and theoretical research. In P. A. Hancock and N. Meshkati (Eds.) *Human Mental Workload*, Amsterdam: North Holland Press

KERSCHBAUM, P.; LORENZ, L. & BENGLER, K. (2015): A transforming steering wheel for highly automated cars. In 2015 IEEE intelligent vehicles symposium, 1287-1292

KOEHN, P. & ECKRICH, M. (2004): Active steering-the BMW approach towards modern steering technology (No. 2004-01-1105), SAE technical paper

KÖRBER, M. & BENGLER, K. (2014): Potential individual differences regarding automation effects in automated driving. In C. S. González González (Ed.). *Proceedings of the XV international conference on human computer interaction*, Association for Computing Machinery, 1-7

LEWIS, S. & CLARKE, M. (2001): Forest plots: Trying to see the wood and the trees. *British Medical Journal*, 322, 1479–1480

National Highway Traffic Safety Administration (2017): *Automated driving systems 2.0: A vision for safety*. U.S. Department of Transportation

NAUJOKS, F.; WIEDEMANN, K.; SCHÖMIG, N.; HERGETH, S.; & KEINATH, A. (2019): Towards guidelines and verification methods for automated vehicle HMIs. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 60, 121-136

RADLMAYR, J. & BENGLER, K. (2015): *Literaturanalyse und Methodenauswahl zur Gestaltung von Systemen zum hochautomatisierten Fahren*. FAT Schriftenreihe, 276

Response Consortium (2006): *Code of Practice for the Design and Evaluation of ADAS*. RESPONSE 3: A PReVENT Project

ROSENTHAL, R. & DIMATTEO, M. R. (2001): Meta-analysis: Recent developments in quantitative methods for literature reviews. *Annual Review of Psychology*, 52, 59–82

SAE International (2018): *Taxonomy and Definitions for Terms Related to Driving Automation Systems for On-Road Motor Vehicles (J3016)*

SAE International (2021): *Taxonomy and Definitions for Terms Related to Driving Automation Systems for On-Road Motor Vehicles (J3016)*

TEOH, E. R. (2020): What's in a name? Drivers' perceptions of the use of five SAE Level 2 driving automation systems. *Journal of safety research*, 72, 145-151

UN Regulation No. 157 (2021): *Uniform provisions concerning the approval of vehicles with regard to Automated Lane Keeping Systems*. United Nations

WEAVER, B. W. & DELUCIA, P. R. (2020): A systematic review and meta-analysis of takeover performance during conditionally automated driving. *Human factors*

ZHANG, B.; DE WINTER, J.; VAROTTO, S.; HAPPEE, R. & MARTENS, M. (2019): Determinants of take-over time from automated driving: A meta-analysis of 129 studies. *Transportation research part F: traffic psychology and behaviour*, 64, 285-307

Bilder

Bild 1-1: Die von der SAE definierten sechs Stufen der Fahrautomatisierung	10
Bild 2-1: Überblick über den Ansatz des BAST-Projekts	12
Bild 3-1: Vorgeschlagene Schlüsselwörter im Zusammenhang mit der Bewertung der sicheren Mensch-Maschine-Interaktion bei SAE Level 3.....	16
Bild 4-1: Flussdiagramm für die Aufnahme und den Ausschluss von Artikeln.....	19
Bild 5-1: Mittlere Differenz der Übernahmezeit	22
Bild 5-2: Mittlere Differenz der „Hands on wheel“ Zeit	23
Bild 5-3: Mittlere Differenz der Zeit bis zum Bremsen.....	23
Bild 5-4: Mittlere Differenz der Zeit bis zum Lenken.....	24
Bild 5-5: Mittlere Differenz der maximalen Beschleunigung	24
Bild 5-6: Mittlere Differenz der Zeit bis zur Kollision	25
Bild 5-7: Mittlere Differenz der subjektiven Arbeitsbeanspruchung	25
Bild 6-1: Beispiel einer Checkliste zur Bewertung der Mensch-Maschine-Interaktion auf SAE Level 3.....	35
Bild 6-2: Navigation und Fortschrittsanzeige	36
Bild 6-3: Navigationstasten	36
Bild 6-4: Anleitungseite der Webanwendung	37
Bild 6-5: Checklistenpunkte in Kategorie vier „Interaktionsdesign“	37
Bild 6-6: Gesamtbewertung dieser Kategorie	37
Bild 6-7: Abschlusseite und Sendeoption.....	38

Tabellen

Tab. 3-1: Vorgeschlagene kritische Szenarien auf SAE Level 3 in der Fokusgruppe.....	15
Tab. 5-1: Klassifizierung der Szenarien, die TOR auslösen.....	21
Tab. 5-2: Ein Überblick über die Sicherheitsindikatoren zur Übernahmeleistung.....	21

Schriftenreihe

Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen Unterreihe „Fahrzeugtechnik“

2020

- F 132: Handbuch Barrierefreiheit im Fernbuslinienverkehr**
Boenke, Grossmann, Nass, Schäfer € 17,50
- F 133: Lkw-Notbremsassistenzsysteme**
Seiniger, Heint, Bühne, Gail € 15,50
- F 134: Stationär-Geräusch von elektrisch angetriebenen Fahrzeugen**
Altinsoy, Lachmann, Rosenkranz, Steinbach € 19,00
- F 135: Abweichungen von der akzeptierten Fahrleistungsschwelle in automatisierten Fahrsituationen**
Voß, Schwalm € 18,00

2021

- F 136: Kamera-Monitor-Systeme als Fahrerinformationsquelle**
Leitner, Oehme, de Silva, Blum, Berberich, Böhm
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.
- F 137: Konzept für die Erzeugung eines ISO-konformen UML-Modells und Generierung eines GML-Applikationsschemas für DATEX II zur Verbesserung der Interoperabilität**
Lauber, Steiger, Kopka, Lapolla, Freudenstein, Kaltwasser
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.
- F 138: Grundlagen zur Kommunikation zwischen automatisierten Kraftfahrzeugen und Verkehrsteilnehmern**
Schaarschmidt, Yen, Bosch, Zwicket, Schade, Petzold € 16,50
- F 139: Einfluss von Notbremssystemen auf die Entwicklung von Lkw-Auffahrunfällen auf Bundesautobahnen**
Straßgütl, Sander € 14,50
- F 140: Reibwertprognose als Assistenzsystem**
Leschik, Sieron, Gregull, Müller, Trapp, Brandenburg, Haalman, Terpstra
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.
- F 141: Methoden für die Bewertung der Mensch-Maschine-Interaktion beim teilautomatisierten Fahren**
Schömig, Wiedemann, Julier, Neukum, Wiggerich, Hoffmann € 18,00
- F 142: Schräglagenangst**
Scherer, Winner, Pleß, Will, Neukum, Stanglmayr, Bäumler, Siebke, Prokop € 14,50

2022

- F 143: Unfallverletzungen in Fahrzeugen mit Airbags**
Holtz, Heidt, Müller, Johannsen, Jänsch, Hammer, Büchner
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.
- F 144: Entwicklung eines Verfahrens zur Generierung eines Safety Performance Indikators aus der Bewertung von Euro NCAP**
Bäumer, Hautzinger, Pfeiffer
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.
- F 145: Regeneration von Partikelfiltern bei Benzin- und Dieselmotorkraftfahrzeugen**
Langwald
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

F 146: Analysis of options for the creation of safety-related traffic information based on vehicle-generated data

Margalith, Sickenberger, Wohak

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

F 147: Automatische Notbremssysteme für Motorräder

Merkel, Pleß, Winner, Hammer, Schneider, Will

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

F 148: Analyse glättebedingter Unfälle von Güterkraftfahrzeugen mit mehr als 12 t zulässigem Gesamtgewicht

Müller, Thüring, Jänsch, Epple, Kretschmer, Gottwald, Oehring, Winkenbach

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

F 149: Evidenzorientierte Ableitung von sicherheitsrelevanten Grundscenarien für die Fahrdomäne Bundesautobahn

Weber, Eckstein, Tenbrock, König, Bock, Zlocki

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

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.

Fachverlag NW in der Carl Ed. Schünemann KG

Zweite Schlachtpforte 7 · 28195 Bremen · Tel.+(0)421/3 69 03-53 · Fax +(0)421/3 69 03-48

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 978-3-95606-770-9

www.bast.de