GDV
Unfallforschung
der Versicherer

FORSCHUNGSBERICHT NR. 100

Assistierte Fahrfunktionen auf Landstraßen

Hatun Atasayar
Maria Scheibmayr
Florian Schneider
Jasmin Zimmermann
Markus Deublein
Matthias Kühn
Jenö Bende

GDV
Unfallforschung
der Versicherer

im Auftrag der Unfallforschung der Versicherer (UDV)
Forschungsbericht Nr. 100

Assistierte Fahrfunktionen auf Landstraßen
-Eignung und Entwicklung repräsentativer Testszenarien sowie Bewertung des Fahrverhaltens-

Bearbeitet durch:
Kuratorium für Verkehrssicherheit (KFV) - Österreich
Beratungsstelle für Unfallverhütung (bfu) - Schweiz
Unfallforschung der Versicherer (UDV) - Deutschland-

Hatun Atasayar
Maria Scheibmayr
Florian Schneider
Jasmin Zimmermann
Markus Deublein
Matthias Kühn
Jenö Bende

Arno Eichberger; Zoltan Magosi - Technische Universität Graz, Institut für Fahrzeugtechnik (FTG)
Robert Niedergrottenthaler; Dr. Steffan - Datentechnik (DSD)
Elisabeth Füssl; Clemens Kaufmann - (FACTUM)

Projektleitung bei der UDV:
Dr. Matthias Kühn
Dipl.-Ing. Jenö Bende

Herausgeber
Gesamtverband der Deutschen Versicherungswirtschaft e.V.
Unfallforschung der Versicherer
Wilhelmstraße 43 / 43 G, 10117 Berlin
Postfach 08 02 64, 10002 Berlin
Tel. 030 / 20 20 - 50 00, Fax 030 / 20 20 - 60 00
www.gdv.de, berlin@gdv.de
www.udv.de, unfallforschung@gdv.de
www.youtube.com/unfallforschung

Redaktion
Dipl.-Ing. Jenö Bende

Bildnachweis
Die Nutzungsrechte der in dieser Broschüre abgebildeten Fotos liegen bei der Unfallforschung der Versicherer

Erschienen
01/2025

ISBN-Nr.:
978-3-948917-31-9

Alle Ausgaben
auf UDV.de

Disclaimer
Die Inhalte wurden mit der erforderlichen Sorgfalt erstellt. Gleichwohl besteht keine Gewährleistung auf Vollständigkeit, Richtigkeit, Aktualität oder Angemessenheit der darin enthaltenen Angaben oder Einschätzungen.

Begriff	Beschreibung
Adaptive Cruise Control (ACC)	Regelt die Geschwindigkeit des Fahrzeugs und hält einen festgelegten Abstand zum vorausfahrenden Fahrzeug.
Intelligente ACC	Passt die Wunschgeschwindigkeit der ACC automatisch an die geltenden Geschwindigkeitsbegrenzungen und den Straßenverlauf (z.B. Kurven, Kreisverkehr) an.
Autonomous Emergency Braking (AEB)	Reagiert automatisch auf potenzielle Kollisionen, indem es das Fahrzeug selbstständig abbremst.
Curve Speed Assist	Reduziert die Geschwindigkeit des Fahrzeugs in Kurven für eine komfortable und sichere Durchfahrt (Bestandteil der Intelligent ACC).
Driver Engagement	Einbindung der Fahrer:innen in die Fahraufgabe trotz aktivierter L2-Fahrfunktionen; Situationsbewusstsein.
Ego-Fahrzeug	Ist das Fahrzeug, das in verschiedenen Sicherheitsszenarien getestet wird und mit den zu prüfenden Systemen ausgestattet ist.
Emergency Lane Keeping Support	Führt das Fahrzeug zurück in die zuvor befahrene Fahrspur, wenn der:die Fahrer:in nicht reagiert (Bestandteil der L2-Fahrfunktionen).
Advanced Driver Assistance System (ADAS)	Fahrerassistenzsystem
Human-Machine-Interface (HMI)	Bezeichnet Bedien- und Anzeige-Elemente in einem Fahrzeug.
Mensch-Maschine-Interaktion (MMI)	Bezieht sich auf die Kommunikation und Zusammenarbeit zwischen Menschen und technischen Systemen.
Kreisverkehrsassistenz	Erkennt die Annäherung an einen Kreisverkehr und reduziert die Geschwindigkeit für eine sichere Durchfahrt (Bestandteil der Intelligent ACC).
Kreuzungsassistenz	Erkennt Kreuzungen und reduziert die Geschwindigkeit bei Annäherung.
Lane Centering Assist (LC)	Hält das Fahrzeug in der Fahrbahnmitte durch aktive Querführung (Bestandteil der L2-Fahrfunktion).
Lane Change Assist (LCA)	Erkennt bei aktivierter L2-Fahrfunktion, wenn ein Fahrstreifenwechsel möglich ist und unterstützt während des Fahrstreifenwechsels. Der Grad der Unterstützung variiert.
L2-Fahrfunktion	Assistiertes Fahrzeugführungssystem nach SAE J 3016 Level 2 [4]; Übernahme von Quer- und Längsführung, Verantwortung liegt beim Fahrer bzw. bei der Fahrerin.
Mode Confusion	Bezieht sich auf eine Situation, in der der:die Fahrer:in bei einem automatisierten Fahrsystem nicht mehr erkennt, in welchem Betriebsmodus sich das System gerade befindet. Das bedeutet, dass der:die Fahrer:in nicht genau weiß, ob das Fahrzeug gerade assistiert fährt oder komplett manuell bedient werden muss.
Naturalistic Driving Study	Forschungsmethode, bei der das Fahrverhalten von Personen im realen Straßenverkehr unter alltäglichen Bedingungen beobachtet wird. Dabei werden Fahrzeuge mit Kameras und Sensoren ausgestattet, um das natürliche Verhalten der Fahrer:innen, die Interaktion mit dem Fahrzeug und die Reaktion auf Verkehrssituationen ohne Eingriff von außen aufzuzeichnen.
Operational Design Domain (ODD)	Vom Hersteller vorgesehener Einsatzbereich eines Fahrzeugsystems
SAE	Society of Automotive Engineers
Target-Fahrzeug	Ein Fahrzeug in der Umgebung des Ego-Fahrzeugs, das oft als Zielobjekt betrachtet wird, mit dem das Ego-Fahrzeug interagiert, zum Beispiel bzgl. Abstands- oder Spurhaltung.
Triggerereignis	Ein Triggerereignis ist eine sicherheitskritische Fahrsituation, die eine Reaktion auslöst; eine Situation, in der der:die Testfahrer:in eingreifen muss, das System versagt und eine Übernahme fordert, oder eine ungewöhnliche Situation, die bei inaktivem System anders gelöst werden würde.

Inhaltsverzeichnis

ZUSAMMENFASSUNG **5**

EXECUTIVE SUMMARY **6**

1. EINLEITUNG **7**

1.1. AUSGANGSLAGE 7
1.2. MOTIVATION 8
1.3. ZIELSETZUNG 8

2. RECHTLICHE UND THEORETISCHE EINORDNUNG **9**

3. METHODIK **11**

3.1. FUNKTIONALITÄTSTESTS IM REALVERKEHR 11
3.2. ENTWICKLUNG DER TESTSZENARIEN 17
3.3. FUNKTIONALITÄTSTESTS AUF DEM TESTGELÄNDE 20

4. ERGEBNISSE **27**

4.1. FUNKTIONALITÄTSTESTS IM REALVERKEHR 27
4.2. ENTWICKLUNG DER TESTSZENARIEN 29
4.3. FUNKTIONALITÄTSTESTS AUF DEM TESTGELÄNDE 32

5. ZENTRALE ERKENNTNISSE UND EMPFEHLUNGEN **36**

5.1. EINSATZ VON L2-FAHRFUNKTIONEN AUF LANDSTRAßEN UND FAHRZEUGMODELLSPEZIFISCHE AUSSAGEN 36
5.2. ABLEITUNG UND UMSETZUNG VON TESTSZENARIEN FÜR L2-FAHRFUNKTIONEN AUF LANDSTRAßEN 37
5.3. ANWENDBARKEIT EINER METHODE ZUR BEWERTUNG DES DRIVER ENGAGEMENTS 38

6. WEITERER FORSCHUNGSBEDARF **40**

Zusammenfassung

Der Einsatz von assistierten Fahrfunktionen nach SAE-L2 birgt Sicherheitsrisiken, insbesondere wenn die Systeme die Fahrer:innen über längere Zeiträume bei der Längs- und Querführung unterstützen, ohne sie ausreichend in die Fahraufgabe einzubinden. Eine verminderte aktive Beteiligung (**Driver Engagement**) kann dazu führen, dass Fahrer:innen bei technischen Einschränkungen oder Systemgrenzen nicht mehr in der Lage sind, rechtzeitig und angemessen einzugreifen.

L2-Fahrfunktionen wurden primär für den Einsatz auf autobahnähnlichen Straßen konzipiert. Allerdings unterliegen sie keinen gesetzlichen Einschränkungen hinsichtlich ihres Einsatzbereichs, was bedeutet, dass sie prinzipiell auch auf **Landstraßen** genutzt werden können. Landstraßen zeichnen sich jedoch durch eine Vielzahl infrastruktureller Herausforderungen aus, die besondere Anforderungen an diese Technologien stellen. Diese Aspekte werfen die grundlegende Frage auf, ob und inwieweit L2-Fahrfunktionen für den Einsatz auf Landstraßen geeignet sind und wie ein sicherer Betrieb unter diesen Bedingungen gewährleistet werden kann.

Das Forschungsprojekt verfolgte zwei **Ziele**: die Leistungsfähigkeit und Sicherheit von L2-Fahrfunktionen auf Landstraßen zu untersuchen sowie deren Einfluss auf das Driver Engagement näher zu beleuchten. Dazu wurden die Funktionen im realen Verkehr und anschließend unter kontrollierten Bedingungen anhand neu entwickelter und für Landstraßen repräsentativer Testszenarien auf dem Testgelände geprüft.

Die **Ergebnisse** zeigen, dass eine dauerhaft zuverlässige Funktion der getesteten Quer- und Längsführungssysteme auf Landstraßen mit infrastrukturellen Mängeln und den für Landstraßen typischen komplexeren Verkehrssituationen nicht gewährleistet ist.

Sicherheitskritische Situationen aus dem Realverkehr konnten in repräsentative **Testszenarien** für den Einsatz auf der Teststrecke überführt werden. Dies ermöglicht es, aus den Testergebnissen auf der Teststrecke Rückschlüsse auf typische Landstraßensituationen zu ziehen und bietet eine fundierte Grundlage für die Bewertung der Systemleistung unter kontrollierten Bedingungen.

Die eingesetzte **Methode zur Analyse des Driver Engagements**, basierend auf Schömig et al. [9], erlaubte eine vergleichende Bewertung des Fahrverhaltens nach Testszenarien und Fahrzeugen. Mit dieser Methode lassen sich indirekt Rückschlüsse auf das Driver Engagement ziehen. Spezifische Aussagen zur Beteiligung der Fahrer:innen sowie zu Art und Ausmaß der Einbindung durch die L2-Systeme lassen sich nicht treffen.

Executive Summary

The use of assisted driving functions in accordance with SAE-L2 harbours safety risks, especially if they support drivers in longitudinal and lateral guidance over longer periods of time without involving them sufficiently in the driving task. Reduced active participation (**driver engagement**) can lead to drivers no longer being able to intervene appropriately and in good time in the event of technical restrictions or system limits.

L2 driving functions were primarily designed for use on roads similar to motorways. However, they are not subject to any legal restrictions regarding their area of application, which means that they can also be used on rural roads. However, **rural roads** are characterised by a number of infrastructural challenges that place special demands on these technologies. These aspects raise the fundamental question of whether and to what extent L2 driving functions are suitable for use on rural roads and how safe operation can be guaranteed under these conditions.

The research project pursued **two objectives**: to analyse the performance and safety of L2 driving functions on rural roads and to investigate their influence on driver engagement. To this end, the functions were tested in real traffic and then under controlled conditions using newly developed test scenarios representative of rural roads on the proving ground.

The **results** show that the tested lateral and longitudinal guidance systems connot be guaranteed to function reliably in the long term on rural roads with infrastructural deficiencies and the more complex traffic situations typical of rural roads.

Safety-critical situations from real traffic could be transferred to representative **test scenarios** on the test track. This makes it possible to draw typical road situations from the test results on the test track and provides a solid basis for evaluating system performance under controlled conditions.

The **method used to analyse driver engagement**, based on Schömig et al. [9], allowed a comparative evaluation of driving behaviour according to the test scenarios and vehicles. This method allows indirect conclusions to be drawn about driver engagement. Specific statements on driver engagement and the type and extent of involvement by the L2 systems cannot be made.

1. Einleitung

1.1. Ausgangslage

Die Europäische Kommission verfolgt seit dem Jahr 2000 das Ziel, die Zahl der im Straßenverkehr Getöteten alle zehn Jahre zu halbieren. Bis 2050 soll kein Mensch mehr im Straßenverkehr getötet werden (Vision Zero). Während dieses Ziel Anfang der 2000er Jahre noch erreichbar schien, flachte der erfreuliche Trend speziell in den Jahren 2015 bis 2020 ab [1]. Es wird vermutet, dass die Wirkung der seit der Jahrtausendwende stark verbesserten passiven Sicherheit auf die Verkehrssicherheit vermehrt von Unfällen durch erhöhte Ablenkung von Fahrer:innen überlagert wird [2,3].

Die reduzierte Einbindung der Fahrer:innen in die Fahraufgabe (infolge der zunehmenden Unterstützung durch L2-Fahrfunktionen gemäß UNECE R79[1]) könnte dieses Problem weiter verschärfen. Dies weil damit die Gefahr verbunden ist, dass Fahrer:innen sich immer weniger aktiv an der Fahraufgabe beteiligen (Driver Engagement), aber in sicherheitskritischen Momenten, wenn die Technik an ihre Grenzen stößt, unmittelbar eingreifen müssen. Die Technologie heutiger L2-Fahrfunktionen basiert auf der Integration verschiedener fortgeschrittener Fahrerassistenzsysteme (ADAS, z.B. Abstandsregeltempomat, Spurverlassenswarner und Notbremsassistent). Solche L2-Fahrfunktionen unterstützen den:die Fahrer:in bei der Längs- und Querführung des Fahrzeugs, erfordern jedoch, dass die Hände stets am Lenkrad bleiben und der:die Fahrer:in die Systemfunktionen kontinuierlich überwacht. Im Falle einer Fehlfunktion oder wenn das System an seine Grenzen stößt, muss der:die Fahrer:in rechtzeitig eingreifen. Ein rechtzeitiges und sicheres Eingreifen setzt ein angemessenes Maß an Situationsbewusstsein voraus, was wiederum bedingt, dass der:die Fahrer:in aktiv in die Fahraufgabe eingebunden bleibt.

L2-Fahrfunktionen wurden für den Einsatz auf autobahnähnlichen Straßen entwickelt, unterliegen aber keinen gesetzlichen räumlichen Einschränkungen: Sie können also grundsätzlich auch auf Landstraßen eingesetzt werden. Landstraßen stellen jedoch aufgrund ihrer vielfältigen infrastrukturellen Herausforderungen besondere Anforderungen an diese Technologien. Der (sichere) Einsatz von L2-Fahrfunktionen auf Landstraßen wirft daher die grundsätzliche Frage auf, ob L2-Fahrfunktionen für den Einsatz auf Landstraßen geeignet sind oder nicht.

Durch die General Safety Regulation (EU) 2019/2144 [5] sind bestimmte ADAS zur Erhöhung der Verkehrssicherheit seit 2022 für Neufahrzeuge und seit 2024 für alle neu zugelassenen Fahrzeuge vorgeschrieben. Dies dürfte auch die Marktdurchdringung von L2-Fahrfunktionen, die primär zur Erhöhung des Fahrkomforts entwickelt wurden, bewirken. Anders als die heute auf dem Markt befindlichen L2-Fahrfunktionen, die nach UNECE R79[2] zugelassen sind, sind bereits neue technische Regeln für weiterentwickelte Systeme in Kraft getreten (UNECE R171 (DCAS)[3]).

[1] Automatisierungsstufe 2 nach der Terminologie der American Society of Automotive Engineers (SAE J6013, 4)
[2] Die Regelung UNECE R79 befasst sich mit den einheitlichen Vorschriften für die Genehmigung von Fahrzeugen hinsichtlich der Lenkungsausrüstung, einschließlich der Anforderungen an automatisierte Lenksysteme.
[3] Die Regelung UNECE R171 definiert DCAS als Systeme, die den:die Fahrer:in bei der Kontrolle der Längs- und Querbewegung des Fahrzeugs dauerhaft unterstützen, ohne jedoch die gesamte Fahraufgabe zu übernehmen.

Aktuell bewertet die Verbrauchertestorganisation Euro NCAP L2-Fahrfunktionen nach einem Protokoll, das neben technischen Anforderungen u.a. auch die Einbindung des Fahrers:der Fahrer:in in die Fahraufgabe beurteilt [6].

1.2. Motivation

Das assistierte Fahren nach L2 bringt neben positiven Sicherheitseffekten (z. B. bessere/konstantere Abstandsregelung, Spurhaltung) auch zahlreiche neue Herausforderungen mit sich, die die Verkehrssicherheit beeinträchtigen können (vgl. Kapitel 2). Diese Problematik wurde bereits 2019 von den drei Forschungsinstituten – dem Kuratorium für Verkehrssicherheit (KFV), der Beratungsstelle für Unfallverhütung (bfu) und der Unfallforschung der Versicherer (UDV) – in einem gemeinsamen Positionspapier dargelegt [7]. Grundsätzlich wird darin die Ansicht vertreten, dass der Mensch entweder dauerhaft selbst mit Unterstützung modernster Fahrerassistenzsysteme fahren oder aber durch eine autonome Fahrfunktion gefahren werden soll. Alle dazwischen liegenden Entwicklungen bergen Gefahren für die Verkehrssicherheit, die durch technische Maßnahmen verhindert werden müssen. Dass die Verkehrssicherheit am stärksten von Fahrerassistenzsystemen profitiert, hat die UDV bereits in Analysen gezeigt [8].

Das Konsortium hat daher ein Forschungsprojekt ausgeschrieben, um die Leistungsfähigkeit und Sicherheit heutiger L2-Fahrfunktionen auf Landstraßen sowie den Einfluss der Fahrfunktionen auf das Driver Engagement zu untersuchen.

1.3. Zielsetzung

Das Forschungsprojekt hatte zwei Hauptziele:

(1) Untersuchung der Leistungsfähigkeit und Sicherheit heutiger L2-Fahrfunktionen auf Landstraßen
(2) Untersuchung des Einflusses von L2-Fahrfunktionen auf das Driver Engagement

Um diese Ziele effektiv zu erreichen, wurde die Funktionalität der L2-Fahrfunktionen zunächst im realen Verkehr und anschließend unter kontrollierten Testbedingungen auf dem Testgelände getestet (vgl. Kapitel 3 Methodik). Für die Funktionalitätstests wurden drei für Landstraßen repräsentative kritische Testszenarien entwickelt.

2. Rechtliche und theoretische Einordnung

Fahrzeuge mit L2-Fahrfunktionen sind auf den Straßen Europas und damit auch in Österreich, Deutschland und der Schweiz zugelassen. Diese Systeme werden als Zusatzpaket von den Fahrzeugherstellern angeboten. Die Systemausprägungen sind somit im Rahmen der bisher geltenden UNECE R79 und der zukünftigen Regelung 171 der UNECE vom jeweiligen Hersteller abhängig. Die Aktivierbarkeit der Systeme hinsichtlich des Einsatzbereichs unterliegt keinen gesetzlichen Einschränkungen. Sie können also grundsätzlich auch auf Landstraßen aktiviert werden. L2-Fahrfunktionen werden von Fahrzeugherstellern als Komfortsysteme vermarktet und dienen auch in erster Linie diesem Zweck. Es wird damit gerechnet, dass Fahrzeuge mit L2-Fahrfunktionen zunehmend den Fahrzeugbestand in Europa durchdringen, so dass in absehbarer Zeit ein bedeutender Anteil der Fahrzeugflotte auf unseren Straßen diese Funktionen verbaut haben werden. Umso wichtiger ist es, die daraus resultierenden Herausforderungen für die Verkehrssicherheit rechtzeitig zu identifizieren und konsequent durch geeignete Maßnahmen gegenzusteuern.

Die Herausforderungen des assistierten Fahrens lassen sich in drei zentrale Bereiche unterteilen:

(1) Grundlegende unerwünschte Effekte, die mit der Automatisierung als solcher verbunden sind, sowie daraus resultierende kritische Verhaltensanpassungen seitens der Nutzer:innen
(2) Die optimale Gestaltung der Mensch-Maschine-Interaktion (MMI), die eine sichere und effiziente Kooperation zwischen Fahrer:in und System sicherstellen soll
(3) Die für den Einsatz dieser Technologien nur bedingt geeignete Infrastruktur von Landstraßen, die eine sichere Nutzung dieser Technologien erschwert

Zu den infrastrukturellen Herausforderungen von Landstraßen zählen neben engen Kurvenradien oder komplexeren Verkehrsverhältnissen auch die zum Teil stark variierenden Fahrbahnmarkierungen. Diese können von vollständigen Markierungen – wie Begrenzungslinien rechts und einer Leitlinie zur Trennung der Fahrtrichtungen links – bis hin zu Straßen mit nur teilweise vorhandenen oder gänzlich fehlenden Markierungen reichen. Die Aktivierung von L2-Fahrfunktionen auf einer Landstraße, z.B. ohne Fahrtrichtungstrennung durch eine Leitlinie, ist zwar rechtlich und technisch möglich, stellt aber in diesem Fall für die Nutzung der Systeme ein Sicherheitsrisiko dar, da das Fahrzeug mittig auf der Fahrbahn ausgerichtet wird.

Zu den grundlegenden Herausforderungen auf Seiten der Nutzer:innen, die mit der Automatisierung als solcher verbunden sind, zählen beispielsweise mangelnde Kenntnis über die Funktionsweise und den Funktionsumfang, Ermüdung durch die kontinuierliche Überwachung der Fahrfunktion, oder Übervertrauen in die Fahrfunktionen, wenn diese über längere Zeit zuverlässig funktionieren. Während das System aktiv ist, ist der:die Fahrer:in durch seine:ihre passive Rolle als „Überwacher:in“ unterfordert. Diese Tatsache und ein mögliches Übervertrauen können dazu führen, dass sich Lenker:innen vermehrt fahrfremden Tätigkeiten zuwenden, was eine missbräuchliche Verwendung der Systeme darstellt. Eine Folge davon ist der Verlust des Situationsbewusstseins, was letztlich zu Überforderung führt, wenn die L2-Fahrfunktionen an ihre systembedingten Grenzen stoßen oder nicht mehr sachgemäß funktionieren, der:die Fahrer:in aber effektiv – d. h. schnell und angemessen – eingreifen muss. Eine angemessene Einbindung der Fahrer:innen in die dynamische Fahraufgabe ist daher entscheidend, um potenziell negative

Auswirkungen von L2-Fahrfunktionen zu minimieren. Angemessene Einbindung bedeutet in diesem Kontext, dass ein gewisser Komfortgewinn durch die Systeme zwar aufrechterhalten wird, der:die Fahrer:in aber regelmäßig und intensiv genug Teile der Fahraufgabe gemeinsam mit dem Fahrzeugsystem kooperativ ausführen muss. Denn der:die Fahrer:in muss nach wie vor permanent das Fahrzeugsystem und die Umgebung überwachen, um beim Erreichen der Systemgrenzen die Fahrzeugsteuerung vollständig übernehmen zu können. Der:die Fahrer:in bleibt technisch und rechtlich voll in der Verantwortung für die Fahraufgabe und dient dem System nach wie vor als sicherheitstechnische Rückfallebene. Das Ziel dieser systemischen Einbindung der Fahrer:innen ist es, dass sie sich trotz aktivierter L2-Fahrfunktionen weiterhin aktiv an der Fahraufgabe beteiligen. Dieses Konzept wird als „Driver Engagement“ bezeichnet und stellt eine zentrale Herausforderung für die optimale Gestaltung der Mensch-Maschine-Interaktion (MMI) bei der Nutzung von L2-Fahrfunktionen dar.

Etablierte Testinstitutionen wie zum Beispiel Euro NCAP haben die Relevanz des Driver Engagements erkannt und in die jüngste Generation von Testprotokollen [6] eingebettet. Neben den rein fahrzeugtechnischen Funktionalitäts- und Sicherheitstests wird auch das Driver Engagement beurteilt und fließt in die Sicherheitsbewertung einer assistierten Fahrfunktion ein. Diese Bewertungsmethode beschränkt sich in erster Linie auf Checklisten und wird zukünftig neben Testszenarien mit autobahnähnlichem Charakter auch auf Landstraßen erweitert.

Seitens der Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt) wird der Einfluss des Driver Engagements auf die sichere Nutzung von Fahrzeugen mit L2-Systemen ebenfalls als zentrales Element der Verkehrssicherheit betrachtet. Die BASt hat eine Testmethodik entwickelt, die auf die Beurteilung der Effizienz und Sicherheit der Mensch-Maschine-Interaktion bei der Nutzung teilautomatisierter Fahrfunktionen ausgerichtet ist. Dazu wurden Prüfkriterien definiert, die die Erfüllung der notwendigen Anforderungen an die Vermittlung von adäquatem Systemwissen, adäquater System- und Situationswahrnehmung, einfacher Systembedienung und sicherer Fahrer:innenreaktion beim Eintreten von Systemgrenzen bewerten [9]. Der Anknüpfungspunkt der vorliegenden Studie liegt darin, auf Grundlage der bestehenden Ansätze von Euro NCAP und der BASt-Testmethodik realitätsnahe Untersuchungen zum sicheren Betrieb von L2-Fahrfunktionen auf Landstraßen durchzuführen und dabei das Driver Engagement zu beurteilen.

3. Methodik

Das Forschungsprojekt gliederte sich in drei Phasen. Im Rahmen der ersten Projektphase wurden Funktionalitätstests im realen Straßenverkehr durchgeführt, um die Leistungsfähigkeit von L2-Fahrfunktionen auf Landstraßen zu beurteilen. Das Hauptziel bestand darin, kritische Fahrsituationen zu identifizieren.

Auf der Grundlage der Ergebnisse aus Phase 1 wurden in der zweiten Phase drei für Landstraßen repräsentative, sicherheitskritische Testszenarien entwickelt. Diese Szenarien dienten in der dritten Phase dazu, die Leistungsfähigkeit und den Einfluss von L2-Fahrfunktionen auf das Driver Engagement unter kontrollierten Bedingungen auf der Teststrecke zu untersuchen (vgl. Abbildung 1).

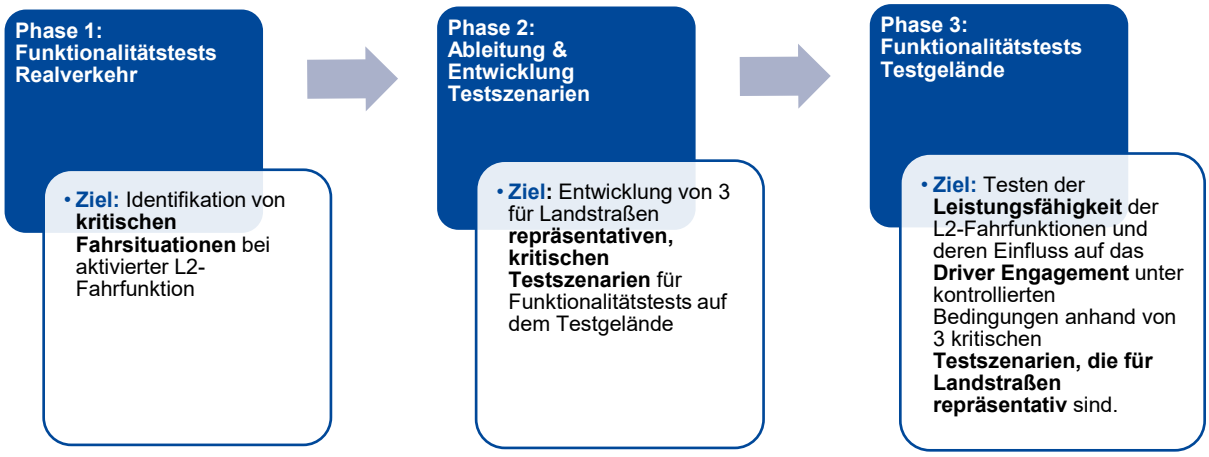


Abbildung 1: Die drei Phasen des Forschungsprojekts

Sowohl die Funktionalitätstests im Realverkehr als auch jene auf dem Testgelände wurden gemäß den Vorgaben der Ethikkommission der Technischen Universität Graz umgesetzt. Die genaue Vorgehensweise wird in den folgenden Kapiteln beschrieben.

3.1. Funktionalitätstests im Realverkehr

3.1.1. Auswahl der Teststrecke

Um länderspezifische Unterschiede in Topografie, Fahrbahnmarkierungen und Verkehrszeichen zu berücksichtigen und somit aussagekräftige Ergebnisse länderübergreifend zu erzielen, führte die Teststrecke durch Österreich, Deutschland und die Schweiz. Die Auswahl der Streckenabschnitte konzentrierte sich auf Landstraßen, die eine Aktivierung und dauerhafte Nutzung von L2-Fahrfunktionen ermöglichten.

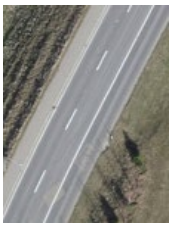
In einem ersten Schritt wurden potenzielle Fahrstrecken mit Hilfe von Geoinformationssystemen (GIS) identifiziert. Da die Funktionalität der automatisierten Querführung bzw. die

Lenkunterstützung im Wesentlichen von der Fahrbahnmarkierung abhängt, wurden die Streckenabschnitte in einem zweiten Schritt nach der Qualität der Fahrbahnmarkierungen in fünf Kategorien unterteilt (vgl. Tabelle 1 und 2) und die Eignung der Strecken für L2-Fahrfunktionen bewertet.

Tabelle 1: Kategorisierung der Streckenabschnitte

Kategorie	Beschreibung	Bewertung
1	Fahrbahnen mit vollständiger Markierung (Begrenzungslinie rechts, Trennung der Fahrtrichtungen durch Leitlinie links)	**Gut geeignet**
2	Fahrbahnen mit nur Begrenzungslinien rechts und links (ohne Leitlinie)	**Bedingt geeignet**
3	Fahrbahnen mit Leitlinie, aber ohne Begrenzungslinie	
4	Fahrbahnen ohne Markierungen	**Ungeeignet**
5	Unbefestigte Fahrbahnen ohne Markierungen	

Tabelle 2: Beispiele für Streckenabschnitte der Kategorien 1 bis 5

Kategorie 1	Kategorie 2	Kategorie 3	Kategorie 4	Kategorie 5
Gut geeignet	**Bedingt geeignet**		**Ungeeignet**	
				

Kategorie 1 wurde als gut geeignet für den Einsatz von L2-Fahrfunktionen identifiziert, da eine zuverlässige Aktivierung der L2-Fahrfunktionen möglich ist. In Kategorie 2 und 3 ist die Funktionalität der Querführungssysteme teilweise eingeschränkt, da die kamerabasierte Sensorik Schwierigkeiten hat, die Fahrbahnmitte zu erfassen. In Kategorie 4 und 5 wurde eine Aktivierung der L2-Fahrfunktionen als nicht möglich bewertet.

In Tabelle 3 sind die Anteile von Landstraßen, Autobahnen und Ortsgebieten sowie die Verteilung der drei Streckenabschnittskategorien 1 bis 3 der ausgewählten Teststrecke zusammengefasst. In Abbildung 2 ist die ausgewählte Strecke grafisch dargestellt.

Tabelle 3: Merkmale des Rundkurses

	Total	Kategorie 1	Davon erlaubt Geschwindigkeit von mind. 60 km/h	Kategorie 2	Kategorie 3	Davon erlaubt Geschwindigkeit von mind. 60 km/h	Kategorie 4	Kategorie 5	Davon erlaubt Geschwindigkeit von mind. 60 km/h
Freiland (km)	**154,7**	**145**	**139,5**	**6,7**	**1,8**	**3,5**	**1,3**	**0**	**0,9**
Anteil bezogen auf Total Freiland km (%)	100%	93,7%	90,1%	4,3%	1,2%	2,3%	0,8%	0%	0,6%
Anteil bezogen auf Total (%)	66,7%	62,5%	60,1%	2,9%	0,8%	1,5%	0,6%	0%	0,4%
Autobahn (km)	**33,5**	-	-	-	-	-	-	-	-
Anteil bezogen auf Total (%)	14,4%	-	-	-	-	-	-	-	-
Ortsgebiet (km)	**43,7**	**22,7**	**2,5**	**2,6**	**11,8**	**1,6**	**6,6**	**0**	**0**
Anteil bezogen auf Total (%)	18,8%	9,8%	1,1%	1,1%	5,1%	0,7%	2,8%	0%	0%
Total (km)	**231,9**								

Insgesamt entfielen 66,7 % der Gesamtdistanz von 231,9 km auf Landstraßen (Freiland), 14,4 % auf Autobahnen und 18,8 % auf Ortsgebiete. Von der Gesamtstrecke verliefen 58 km (25 %) durch die Schweiz, 130 km (56 %) durch Deutschland und 44 km (19 %) durch Österreich.

Der gewählte Rundkurs wies auf 60,1 % der gesamten Strecke Streckenabschnitte der Kategorie 1 mit einem Tempolimit von mehr als 60 km/h auf. Damit konnte mehr als die Hälfte der Teststrecke dem Versuchsziel direkt zugeordnet werden.

Rund 9,8 % der Gesamtstrecke bestanden aus Ortsgebieten mit Streckenabschnitten der Kategorie 1, auf denen die L2-Fahrfunktionen aktiviert werden konnten. Der Anteil von Streckenabschnitten der Kategorie 2 und 3 war relativ gering und betrug rund 9,9 % (3,7 % Landstraße, 6,2 % Ortsgebiet). Dies ermöglichte es, einen Eindruck davon zu gewinnen, wie sich L2-Fahrfunktionen unter diesen Bedingungen verhalten. Insgesamt 90,1 % der Landstraßen waren Streckenabschnitte der Kategorie 1 mit einem Tempolimit von über 60 km/h, wodurch ein großer Teil der Landstraßenabschnitte ideal für den Betrieb von L2-Fahrfunktionen geeignet war.



Abbildung 2: Ausgewählte Teststrecke – Rundkurs um den Bodensee

3.1.2. Testfahrzeuge

Zur Gewährleistung der Vergleichbarkeit wurden für die Funktionalitätstests im Realverkehr Fahrzeuge mit L2-Fahrfunktionen ausgewählt, die die in Tabelle 4 aufgeführten Teilfunktionen bieten, verschiedene Fahrzeugsegmente (Volumenmodelle, Premiumsegment, technologische Vorreiter) abdecken und ein aktuelles Euro NCAP-Rating, einschließlich der Euro NCAP Assisted Driving Bewertung (sofern vorhanden), aufweisen.

L2-Fahrfunktionen übernehmen die Längs- und Querführung des Fahrzeugs in einer bestimmten Operational Design Domain (ODD[4]), wobei Fahrzeuglenker:innen das Verkehrsgeschehen weiterhin überwachen müssen. L2-Fahrfunktionen bestehen aus einer Kombination von im Laufe der Zeit eingeführten und weiterentwickelten Einzelsystemen, die hauptsächlich für den Einsatz auf Straßen mit regelkonformer Infrastruktur (z. B. Verkehrszeichen, Fahrbahnmarkierungen) konzipiert wurden, wie sie insbesondere auf Autobahnen zu finden ist.

[4] Laut SAE J03016 beschreibt die ODD die Bedingungen, unter denen das System vom Hersteller für den Betrieb entwickelt wurde.

Tabelle 4: Auswahl des Funktionsumfangs der Testfahrzeuge (Mindestanforderungen); fett markiert: Umfang der L2-Funktionen

Längsführung	Querführung
• **Intelligente ACC** • **Anpassung an das Tempolimit** • **Curve Speed Assist (CSA)** • **Kreisverkehrsassistent** • Autonomous Emergency Braking (AEB)	• **Emergency Lane Keeping Support (ELKS)** • **Lane Centering Assist (LC)** • **Lane Change Assist (LCA)**

Es wurde je ein Fahrzeugmodell aus dem Premiumsegment, der Kompakt- und Mittelklasse gewählt:

- Fahrzeug A (Premiumsegment)
- Fahrzeug B (Kompaktklasse)
- Fahrzeug C (Mittelklasse)

Alle Testfahrzeuge hatten einen elektrischen Antrieb.

3.1.3. Messtechnik

In Phase 1 wurden zwei getrennte Messtechniksysteme eingesetzt:

- Video-/Audio-Messtechnik: Drei Kameras erfassten unterschiedliche Perspektiven, um Eingriffe der Lenker:innen, HMI-Statusanzeigen und Aufnahmen für die nachträgliche videobasierte Auswertung aufzuzeichnen.
- Dynamic Ground Truth System (DGTS): Dieses System, bestehend aus Lidar-, Radar- und Kamerasensoren[5], erfasst die Fahrzeugbewegungen in 360-Grad-Perspektive und dient als Referenzmesstechnik. Die Daten wurden hochpräzise GNSS-gestützt und nachträglich analysiert, um die Position und Bewegung des Fahrzeugs sowie von anderen Verkehrsteilnehmenden zu bestimmen. Das DGT-System (im Folgenden DGTS genannt) wurde zeitlich mit der Video-/Audio-Messtechnik synchronisiert.

3.1.4. Testfahrer:innen

Aufgrund des nicht abschätzbaren Sicherheitsrisikos wurde gemäß den Vorgaben der Ethikkommission auf Tests mit freiwilligen Versuchspersonen im Realverkehr verzichtet. Stattdessen wurden zwei erfahrene Mitarbeitende des Instituts für Fahrzeugtechnik der Technischen Universität Graz ausgewählt (männlich, 24 Jahre, durchschnittliche jährliche Fahrleistung 11.500 km; weiblich, 40 Jahre, durchschnittliche jährliche Fahrleistung 5.000 km).

[5] Um zu vermeiden, dass personenbezogene Daten erfasst werden, kam ausschließlich Lidar zum Einsatz.

Beide hatten umfangreiche Erfahrung mit Naturalistic Driving Studies sowie in der Beurteilung von Fahrzeugfunktionen.

Die Testfahrerin und der Testfahrer wurden vorab instruiert. Die Instruktion umfasste folgende Informationen und Vorgaben:

- Erläuterung des Versuchsziels
- Vermeidung kritischer Situationen durch „Provozieren“ der L2-Fahrfunktionen
- Aktivierung der L2-Fahrfunktion, wenn möglich und unkritisch
- Genaue Überwachung der Fahrzeugführung (Beibehalten eines hohen Driver Engagements)
- Kennenlernen der Fahrzeugfunktionen durch Lesen der Systembeschreibung und Fahrten im Realverkehr vor der Versuchsdurchführung
- Training der Reaktion auf sicherheitskritische Fahrsituationen, markiert durch den Ausruf „Trigger“ in den Messdaten

3.1.5. Identifikation kritischer Fahrsituationen

Eine kritische Fahrsituation (im Folgenden „Triggerereignis“ genannt) wurde in erster Linie durch die Testfahrerin bzw. den Testfahrer mündlich während der Fahrt mit dem Wortlaut „Trigger“ identifiziert, wenn sie mindestens eines der folgenden Charakteristika aufwies:

1. Erforderlicher Eingriff: Die Testfahrerin bzw. der Testfahrer muss aktiv in das Fahrgeschehen eingreifen, sei es durch Bremsen, Lenken oder eine Korrektur des Systems.
2. Systemausfall: Das System funktioniert nicht ordnungsgemäß und gibt die Fahrzeugkontrolle ab.
3. Ungewöhnliche Situationen: Dies umfasst Situationen, in denen die Testfahrerin bzw. der Testfahrer anders gehandelt hätte, wenn die L2-Fahrfunktion nicht aktiv gewesen wäre.

Der Zeitpunkt jedes Triggerereignisses wurde durch einen im Fahrzeug anwesenden technischen Versuchsleiter im Messcomputer erfasst, sodass diese Ereignisdaten post-hoc in den Videos klar identifiziert werden konnten.

3.1.6. Bewertung der Kritikalität eines Triggerereignisses durch Testfahrer:in

Die subjektive Bewertung der Situationskritikalität wurde pro identifiziertem Triggerereignis anhand einer Frage („Wie kritisch war die Situation?“) auf einer 11-stufigen Skala mündlich durch den:die Testfahrer:in bewertet. Der Bereich von 0 bis 3 galt als „unkritische Situation“, der Bereich von 4 bis 6 als „mäßig kritisch“ und der Bereich von 7 bis 10 als „kritische Situation“.

Für jedes Triggerereignis wurden zusätzlich Kriterien zur Beschreibung des Ereignisses festgehalten (z. B. Witterung). Eine Übersicht über die Kriterien findet sich in Anhang A.

Die subjektive Bewertung der Situationskritikalität ist Teil der Methode zur „Bewertung der Mensch-Maschine-Interaktion beim teilautomatisierten Fahren“ [9]. Die Methodik beinhaltet auch

die Bewertung der Bewältigungsqualität von Triggereignissen. Diese wurde im Realverkehr– im Gegensatz zu den Funktionalitätstests auf dem Testgelände – aufgrund der spezifischen Rahmenbedingungen der Testsituation nicht durchgeführt. Die Bewertung wurde als nicht sinnvoll erachtet, da die geschulte Testperson am Steuer im Sinne des Projektziels instruiert war, stets aufmerksam zu sein und die Fahrsituation kontinuierlich zu überwachen, um Triggerereignisse zu erkennen. Darüber hinaus trugen die Testfahrer:innen die Verantwortung gegenüber Mitfahrer:innen und den eingesetzten Leihfahrzeugen.

Die Bewertung der Bewältigungsqualität wird ausführlich in Kapitel 3.3.6 beschrieben.

3.1.7. Qualitative Befragung

Nach jeder Fahrt wurde ein leitfadengestütztes, qualitatives Interview mit der Testfahrerin bzw. dem Testfahrer geführt.

Ziel des Interviews war es, ergänzende Informationen zu den Triggerereignissen zu sammeln, die für die Auswahl der Testszenarien für die Funktionalitätstests auf dem Testgelände (vgl. Kapitel 3.2) genutzt werden konnten. Die Interviewfragen umfassten folgende Themen:

- Welche dieser Situationen empfanden Sie als am kritischsten?
- Wie zufrieden waren Sie mit der Funktionsweise des Systems, insbesondere hinsichtlich der Handhabung, der Warnungen und des automatischen Eingreifens?
- War das System aus Ihrer Sicht leicht oder schwer zu bedienen (z. B. bei der Aktivierung)?
- Fühlten Sie sich durch die Nutzung des Systems in irgendeiner Weise abgelenkt?

3.1.8. Versuchsdurchführung

Die Funktionalitätstests im Realverkehr wurden in der Kalenderwoche 21 im Jahr 2023 durchgeführt. Nach einem Vorbereitungstag fanden täglich zwei Testfahrten mit einer Testfahrerin bzw. einem Testfahrer statt, um Umbauarbeiten der DGT-Messtechnik zu minimieren. Am ersten Tag wurde das Messsystem installiert und eine Schulung der Abläufe zur Erfassung von Triggerereignissen durchgeführt. Die Fahrten wurden sowohl bei Nacht als auch bei Tag durchgeführt, um unterschiedliche Lichtverhältnisse zu erfassen. Während ein Fahrzeug mit DGT-Messsystem ausgestattet war und getestet wurde, wurden die zwei anderen Fahrzeuge ohne Messtechnik eingesetzt. Am vierten Tag wurden zusätzlich Videoaufnahmen gemacht.

3.2. Entwicklung der Testszenarien

Ziel war es, drei sicherheitskritische, realitätsnahe und für Landstraßen repräsentative, konkrete Szenarien für die Funktionalitätstests auf dem Testgelände zu entwickeln, um das Driver Engagement vergleichend zu bewerten. Das Vorgehen basierte auf dem szenarienbasierten Ansatz von Menzel et al. [10], der einen methodischen Rahmen für die systematische Prüfung und Validierung automatisierter Fahrfunktionen bietet.

Der Ansatz beruht auf der Definition und Durchführung von Testszenarien, die reale Verkehrssituationen simulieren und in verschiedenen Detaillierungsstufen organisiert sind. Er umfasst drei Hauptschritte:

1. Definition funktionaler Szenarien**:** Zunächst werden funktionale Szenarien identifiziert und definiert. Diese beschreiben eine Fahrsituation oder eine Fahraufgabe allgemein auf einer hohen Abstraktionsebene.
2. Ableitung logischer Szenarien: Aus den funktionalen Szenarien werden logische Szenarien abgeleitet. Diese enthalten konkrete Parameter wie beispielsweise Fahrgeschwindigkeit oder Kurvenradien und beschreiben damit eine testbare Situation.
3. Überführung in konkrete Szenarien: Schließlich werden die logischen Szenarien in konkrete Szenarien überführt. Hier werden alle Parameter, spezifisch auf die Testumgebung und die Versuchsanordnung abgestimmt, exakt festgelegt.

Eine detaillierte Beschreibung des jeweiligen Vorgehens findet sich in den nachfolgenden Kapiteln.

3.2.1. Herleitung und Auswahl funktionaler Szenarien

Die Sammlung funktionaler Szenarien erfolgte in einem zweistufigen Prozess: Zunächst wurden auf Basis einer Literaturrecherche und unter Einbeziehung von Expertenwissen insgesamt 26 funktionale Szenarien identifiziert (siehe Anhang B), die typischerweise im Realverkehr auftreten können. Anschließend wurden die während der Funktionalitätstests aufgetretenen Triggerereignisse anhand dieser 26 Szenarien klassifiziert und geprüft, ob eine Ergänzung der Szenarien erforderlich ist.

Die endgültige Auswahl der funktionalen Szenarien basierte auf mehreren Kriterien, darunter die Häufigkeit ihres Auftretens in den Funktionalitätstests im Realverkehr, ihre subjektiv bewertete Kritikalität, die Durchführbarkeit der Szenarien auf der Teststrecke sowie die Anwendbarkeit des Bewältigungsratings (siehe Kapitel 3.3.6). Diese Kriterien wurden von Expert:innen aus der Fahrzeugtechnik, von erfahrenen Teststreckenbetreiber:innen und Fachkräften der Verkehrspsychologie im Rahmen einer Nutzwertanalyse gewichtet und bewertet, um die Auswahl nicht nur quantitativ, sondern auch qualitativ abzustützen.

3.2.2. Ableitung logischer Szenarien

In den logischen Szenarien wurde der Parameterraum (z. B. für die Fahrgeschwindigkeit und den Kurvenradius) definiert, so dass diese auf der Teststrecke umgesetzt werden können.

Die Grundlage bildeten die Messdaten aus dem Dynamic Ground Truth System (DGTS) sowie die Geoinformationsdaten (GIS). Das DGTS misst Relativabstände und Geschwindigkeiten vom Testfahrzeug (folgend Ego-Fahrzeug genannt) zum vorausfahrenden Fahrzeug (im Folgenden Target-Fahrzeug genannt), Kurvenradien und die Position des Ego-Fahrzeugs auf der Fahrbahn. Die GIS-Daten lieferten grafische Hinweise auf die Kurvenraden.

Zunächst wurden die während der Funktionalitätstests identifizierten Triggerereignisse den funktionalen Szenarien zugeordnet. Insgesamt konnten 15 auswertbare Triggerereignisse

zugeordnet werden. In einem zweiten Schritt erfolgte die Extraktion und Auswertung der Messdaten der Triggerereignisse. Dabei wurden die gefahrene Geschwindigkeit, der Kurvenradius (sowohl grafisch gemittelt als auch aus der Polynomfunktion berechnet), die Krümmung (ebenfalls aus der Polynomfunktion berechnet) sowie die Querbeschleunigung analysiert.

3.2.3. Überführung in konkrete Szenarien

Die Überführung der logischen Szenarien in konkrete Szenarien erfolgte in einem zweistufigen Prozess: Zunächst wurde die Durchführbarkeit der drei ausgewählten logischen Szenarien (vgl. Tabelle 8) mit Hilfe der Simulationssoftware IPG CarMaker [11] und basierend auf dem Streckenlayout (vgl. Kapitel 3.3.2) geprüft. Die Ergebnisparameter aus der Simulation wurden anschließend in Vorversuchen erneut geprüft.

Eine zeitliche Synchronisation zwischen dem Ego-Fahrzeug und dem entgegenkommenden Fahrzeug erlaubte die Festlegung der Versuchsparameter für die Versuche auf der Teststrecke. Die Fahrtrajektorien wurden simuliert und freigegeben. Auch die Trajektorie der UFO-Plattform [12], die das entgegenkommende Global Vehicle Target (GVT) [13] Fahrzeug bewegte, ließ sich so vorausberechnen und ersetzte aufwendige Vorversuche. Die Geschwindigkeit des GVT-Fahrzeugs wurde auf 25 km/h festgelegt, um im Falle einer Kollision Beschädigungen zu minimieren.

Um ein Kurvendesign zu erhalten, das realen Gegebenheiten entspricht, wurde basierend auf Richtlinien und Vorschriften für das Straßenwesen (RVS[6]) aus Österreich zwischen einer Geraden und einer Kurve jeweils eine Klothoide (spiralförmiger Übergangsbogen) ausgeführt.

Eine Klothoide verhindert ein ruckartiges Einlenken und einen sprunghaften Anstieg in der Querbeschleunigung in einer Kurve. Sie weist eine kontinuierliche Änderung des Krümmungsradius über die Länge der Kurve auf und ermöglicht eine fließende und komfortable Fahrzeugbewegung.

Die Parameter der Klothoiden sind in Abbildung 3 dargestellt. V_p steht für die projektierte Geschwindigkeit und entspricht einer Geschwindigkeitsvorgabe, die eine sichere Befahrung der Kurve ermöglicht. A_{Kloth} steht für den Klothoidenparameter, der beschreibt, wie stark sich die Krümmung der Klothoide entlang ihrer Länge ändert. Je größer der Wert, desto sanfter ist der Übergang zwischen Gerade und Kurve. Die entsprechenden Fahrbahnmarkierungen wurden mit Hilfe eines Markierungsroboters auf der Teststrecke angebracht.

[6] http://www.fsv.at/cms/default.aspx?ID=9815dd09-f5a8-41a8-9fb5-b1197ffb1cd2, abgerufen am 16.1.2024

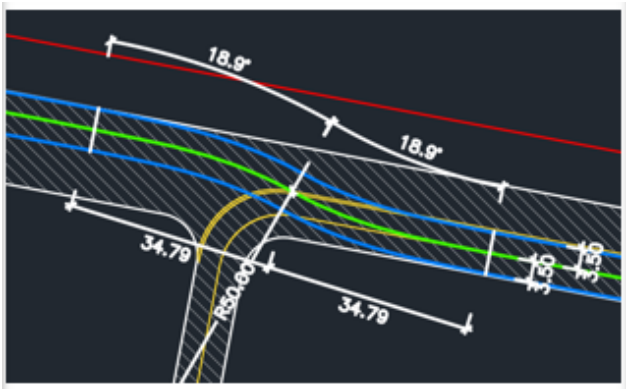


Abbildung 3: Klothoidenparameter für das Kurvendesign
Beschreibung: Klothoide 50/35; Länge = 34,8 m; Radius = 50 m; V_p = 60-65 km/h; A_{Kloth} = 41,7; A_{Min} = 16,7; A_{Max} =50

Die Parameter für die Klothoiden basieren auf den Ergebnissen der Simulation und der Vorversuche. Die Klothoide 50/35 erlaubte reproduzierbare Situationen mit allen Fahrzeugen.

3.3. Funktionalitätstests auf dem Testgelände

3.3.1. Testgelände

Die Funktionalitätstests wurden auf dem DSD-Versuchsgelände in Hofkirchen, Österreich, durchgeführt (siehe Abbildung 4). Das Testgelände ist für Euro NCAP-Versuche zur aktiven Sicherheit zertifiziert und erfüllt damit die erforderlichen Standards hinsichtlich der Fahrbahnbeschaffenheit.



Abbildung 4: Ausschnitt der Teststrecke mit verwendeten Fahrstreifenmarkierungen (Quelle: DSD)

3.3.2. Streckenlayout

In Abbildung 5 ist das Streckenlayout auf dem Versuchsgelände dargestellt. Um ein reduziertes Driver Engagement zu provozieren, verlief die Strecke entlang eines Rundkurses, der es ermöglichen sollte, über einen längeren Zeitraum ohne Unterbrechung mit aktivierter L2-Fahrfunktion zu fahren.

Mit Ausnahme der engen Kurven war die Längsführung ohne Deaktivierung der L2-Fahrfunktion für alle Fahrzeuge möglich.

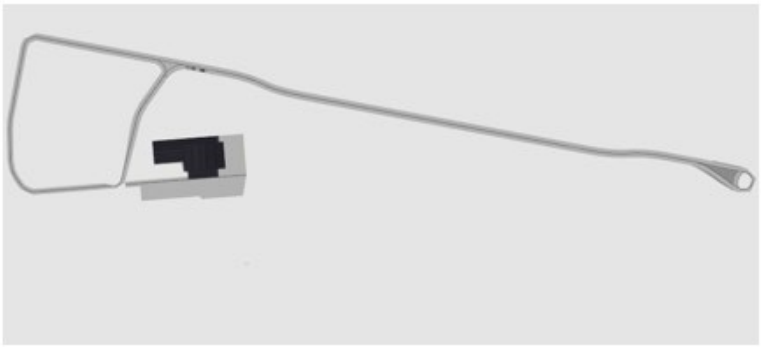


Abbildung 5: Streckenlayout (Quelle: DSD)

3.3.3. Testfahrzeuge

Die Testfahrzeuge waren dieselben wie in den Funktionalitätstests im Realverkehr (vgl. Kapitel 3.1.2 Testfahrzeuge).

3.3.4. Messtechnik

Mit Ausnahme des DGTS, das aufgrund der langen Umbauzeit auf dem Testgelände nicht verwendet wurde, war die Messtechnik identisch mit jener in den Funktionalitätstests im Realverkehr (vgl. Kapitel 3.1.3 Messtechnik).

3.3.5. Probanden

Die Rekrutierung der Proband:innen erfolgte über den Proband:innen-Pool des Instituts für Fahrzeugtechnik (TU Graz) und Factum sowie über das Netzwerk der DSD.

Insgesamt nahmen 24 Personen an den Funktionalitätstests auf dem Testgelände teil, darunter sechs Frauen und 18 Männer. Vier Testpersonen waren unter 35 Jahre alt, neun zwischen 36 und 55 und elf über 55 Jahre. Das Durchschnittsalter war 53 Jahre, mit einer Standardabweichung von 13 Jahren. Die durchschnittliche persönliche Fahrleistung pro Jahr betrug zwischen 10.000 und 20.000 Kilometer. Fünf Teilnehmer:innen hatten vor den Testfahrten keinerlei Erfahrung mit L2-Fahrfunktionen. Erfahrungen mit Fahrzeug A hatte eine Testperson, mit Fahrzeug B waren zwei Testpersonen und mit Fahrzeug C drei Testpersonen vertraut.

3.3.6. Bewertung der Mensch-Maschine-Interaktion

Die Methode „Bewertung der Mensch-Maschine-Interaktion (MMI) beim teilautomatisierten Fahren“ [9], auch *Bewältigungsrating* genannt, zielt darauf ab, die Effizienz und Sicherheit der MMI durch spezifische Prüfkriterien zu bewerten. Die Kriterien bewerten die Qualität des Bedienverhaltens während der Systemaktivierung, die Qualität der Fahrzeugführung in der Testsituation (insbesondere die Reaktion auf das Systemverhalten bei unerwarteten „Triggerereignissen“) sowie die Qualität des Monitorings (d. h. die Einhaltung der Hand-am-Steuer-Anforderung). Die Methode bietet Ansatzpunkte für Rückschlüsse auf das Driver Engagement, in erster Linie durch die Analyse des Monitorings und der Fahrzeugführung, da diese Aspekte die aktive Beteiligung und Aufmerksamkeit der Fahrer:innen in der Fahrsituation reflektieren.

Das Bewältigungsrating umfasst zwei Teile:

1) Bewertung des Verhaltens der Proband:innen durch zwei geschulte Beobachter:innen während der Aktivierung der Systeme und des Durchfahrens der Szenarien.
2) Bewertung des durchfahrenen Szenarios und des Triggerereignisses durch die Proband:innen selbst, direkt nach dem Funktionalitätstest auf dem Testgelände mittels Fragebogen.

Die zwei Teile des Bewältigungsratings werden im Folgenden genauer erläutert.

3.3.6.1. Bewertung der MMI durch geschulte Beobachter:innen (Teil 1)

Die standardisierte, szenarienbasierte Beobachtung der MMI durch geschulte Beobachter:innen fand während der Funktionalitätstests auf dem Testgelände statt und konzentrierte sich auf die Bewertung des *Bedienverhaltens*, der *Fahrzeugführung* und des *Überwachungsverhaltens (Monitoring)* der Proband:innen. Diese Aspekte werden durch spezifische Beobachtungsvariablen operationalisiert (vgl. Tabelle 5).

Tabelle 5: Übersicht über die Beobachtungsvariablen

	Variable	Beschreibung
Bedienverhalten	**Unsicher**	Die Testperson ist unsicher bei der Aktivierung des L2-Systems, sucht nach Knöpfen oder Hebeln, wendet dafür den Blick von der Straße ab.
	Verzögert	Die Testperson aktiviert die L2-Systeme erst nach einer Weile und nicht wie vorgegeben ab einem bestimmten Zeitpunkt.
	Hilfestellung	Die Testperson benötigt Hilfe bei der Aktivierung des L2-Systems, z. B. einen Hinweis, welche Knöpfe oder Hebel gedrückt werden müssen.
	Bedienfehler	Die Testperson drückt einen falschen Knopf oder betätigt einen Hebel nicht richtig.
Fahrzeugführung	**Keine Reaktion**	Die Testperson zeigt keinerlei Reaktion in der Testsituation und sie bremst weder noch lenkt sie.
	Unzureichend gesichert	Bei einem Überholmanöver erfolgt kein Blick in den Rückspiegel zur Sicherung.
	Spurabkommen	Das Fahrzeug verlässt in der Testsituation die Spur und überfährt die Bodenmarkierungen entweder links oder rechts.
	Verzögerte Reaktion	Die Testperson reagiert verzögert, entweder durch Bremsen oder Lenken.
	Zu starke Reaktion	Die Testperson reagiert zu stark; ein zu starker Lenkeingriff führt zu einem Verlassen des Fahrstreifens und/oder es wird zu stark gebremst.
	Gefährdung	Die Testperson gefährdet andere Verkehrsteilnehmende, in dem sie entweder zu stark auffährt, der Abstand zum entgegenkommenden Fahrzeug oder der Seitenabstand beim Überholen zu gering ist.
Monitoring	**Hands-off-Warnung**	Das L2-System warnt, dass die Hände wieder aufs Lenkrad gelegt werden müssen.

Auf der Grundlage des beobachteten Verhaltens, bezogen auf Bedienprobleme, Fahrzeugführung und Monitoring (Beobachtungsvariablen in Tabelle 5), erfolgte das abschließende Versuchsleiterrating (für die Aktivierung der Systeme (VLA) und für das Durchfahren der Szenarien (VLR)) auf einer Skala von 0 bis 10, wobei 0 eine „perfekte Bewältigung“ und 10 eine „nicht akzeptable Bewältigung“ repräsentiert (vgl. Tabelle 6).

Tabelle 6: Bewertungsskala des VLR

Perfekt bewältigt	Gut bewältigt			Fehlerhaft bewältigt			Nicht akzeptabel bewältigt			Nicht bewältigt
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	**10**

Bei der Bewertung wurde sowohl die Anzahl der in Tabelle 5 aufgeführten beobachteten Verhaltensvariablen pro Kategorie als auch die Schwere der jeweiligen Ausprägung berücksichtigt (vgl. Tabelle 7).

Tabelle 7: Beobachtungsvariablen und Einteilung in die VLR-Kategorien (angelehnt an [9])

Bereich	Bewältigung				
	Perfekt	Gut	Fehlerhaft	Nicht akzeptabel	Nicht bewältigt
Bedienverhalten	Keine Fehler	Unsicher / verzögert	Fehlbedienung und/oder unangemessene Bedienung oder erfolglose Bedienung	Erfolgreiche Bedienung nach Hilfestellung	Erfolglose Bedienung trotz Hilfestellung
Fahrverhalten	Keine Fehler	Fahrfehler Spurschwankung od. unzureichendes Sichern	Verzögerte oder zu starke Reaktion, v.a. in Bezug auf Bremsverhalten und/oder Spurabkommen	Keine od. verzögerte Reaktion und dadurch Gefährdung des Verkehrs	Kollision mit Fahrzeug
Monitoring	Keine Fehler	Unsicherheiten im Überwachungsverhalten, unsicher, ob Hände am Lenkrad gelassen werden müssen	Eindeutige Anzeichen für unaufmerksames Fahren, mind. eine Hands-off-Warnung Stufe 1	Mehr als eine Hands-off-Warnung und/oder eine Hands-off-Warnung Stufe 2	Hands-off-Warnung Stufe 3: Abschaltung der Querführung wegen Nichtbeachtens der Hands-off-Warnungen

Anmerkung: Stufe 1 = Mono-sensorische Warnung (z.B. visuell ODER akustisch), Stufe 2 = Multi-sensorische Warnung (z.B. visuell UND akustisch), Stufe 3 = Systemdeaktivierung

Die Grundlage für die beobachtungsbasierte Bewertung der Bewältigungsqualität der Proband:innen auf dem Testgelände war die Annahme eines „erwarteten“ (korrekten) Verhaltens pro Szenario (vgl. Tabelle 8), wobei Abweichungen davon mittels der in Tabelle 7 beschriebenen Beobachtungsvariablen festgehalten wurden.

Tabelle 8: Erwartete(s) Verhalten / Reaktion pro konkretem Szenario

Szenario	Beschreibung	Erwartete(s) Verhalten / Reaktion
1	Verlassen des Fahrstreifens in einer Rechtskurve mit Gegenverkehr	• Erkennen der Situation und Durchfahren der S-Kurve ohne Abkommen und mit genügend Abstand zum entgegenkommenden Fahrzeug • *Bremsen und/oder Lenkeingriff*
2	Verlassen des Fahrstreifens in einer Linkskurve auf den Fahrbahnrand	• Erkennen der Situation und Durchfahren der S-Kurve ohne Abkommen • *Bremsen und/oder Lenkeingriff*
3	Ausweichmanöver in Reaktion auf ein plötzlich auftauchendes Hindernis	• Erkennen der Situation und entweder Anhalten hinter Fahrrad und/oder Überholen mit genügend Seitenabstand und Sicherung • *Bremsen und/oder Überholen mit Blick in Spiegel und genügend Seitenabstand*

Während jeder Fahrt wurden zwei Bewertungen (Ratings) durch die Beobachter:innen durchgeführt. Die erste Bewertung erfolgte auf Basis des beobachteten Verhaltens bei der erstmaligen Aktivierung der assistierten Fahrfunktion (Versuchsleiterrating Aktivierung, VLA). Hierbei wurden insbesondere die Variablen der Kategorie Bedienverhalten verwendet. Die zweite Bewertung erfolgte auf Basis des Verhaltens der Proband:innen in den jeweiligen Testszenarien (vgl. Tabelle 7). Hier wurden vor allem die Variablen der Kategorien Fahrverhalten und Monitoring verwendet, um ein Versuchsleiterrating beim Durchfahren der Szenarien (VLR) zu ermöglichen.

Um zu prüfen, wie konsistent und übereinstimmend (zuverlässig) verschiedene Beurteiler:innen dieselben Beobachtungsdaten bewerten, wurde die Interrater-Reliabilität berechnet (gewichtetes Cohen's Kappa). Cohen's Kappa wurde zum einen für das Aktivieren des Systems bewertet und zum anderen für die verschiedenen sicherheitskritischen Fahrszenarien. Für die Aktivierung des Systems wurde ein Kappa von κ=0,83 ($p<.001$) und für die verschiedenen sicherheitskritischen Szenarien ein Kappa von κ=0,74 ($p<.001$) erzielt. Diese Werte entsprechen einer „sehr guten" bzw. „guten" Übereinstimmung nach Altman (1990) und deuten auf eine hohe Bewertungsreliabilität hin.

3.3.6.2. Subjektive Bewertung durch Testfahrer:innen nach jedem Szenario (Teil 2)

Die subjektive Bewertung der MMI wurde am Ende jedes Szenarios entlang von vier Fragen (vgl.Tabelle 9) jeweils auf einer 7-stufigen Skala von -3 bis +3 bewertet, wobei 0 „weder noch" bedeutete. Die fünfte Frage nach der Situationskritikalität wurde auf einer 11-stufigen Skala bewertet.

Tabelle 9: Fragen zur subjektiven Bewertung eines Triggerereignisses inkl. Bewertungsskala

Kategorie	Frage	Bewertungsskala
Klarheit	Wie klar war Ihnen, was zu tun ist?	(-3) sehr unklar bis (+3) sehr klar
Nachvollziehbarkeit	Wie nachvollziehbar war das Systemverhalten in der Situation?	(-3) nicht nachvollziehbar bis (+3) sehr nachvollziehbar
Verständlichkeit	Wie verständlich waren die Systemausgaben in der Situation?	(-3) sehr unverständlich bis (+3) sehr verständlich
Sicherheit	Wie war das Sicherheitsempfinden in der Situation?	(-3) sehr unsicher bis (+3) sehr sicher
Situationskritikalität	Wie kritisch war die Situation?	(0 – 3) unkritisch (4 – 6) mäßig kritisch (7 – 10) kritisch

3.3.7. Versuchsdurchführung

Die Funktionalitätstests auf dem Testgelände wurden an vier aufeinanderfolgenden Tagen durchgeführt. Der zeitliche Ablauf war an allen Tagen identisch. Die Testtage begannen mit einer Einführung und der Gewöhnung der ersten Testperson an das erste Fahrzeug. Zur Familiarisierung absolvierte die Testperson eine 20- bis 25-minütige Fahrt im Realverkehr auf einer gut ausgebauten Landstraße. Anschließend fand die Testfahrt statt, während parallel die zweite Testperson die Einschulung und das Familiarisieren im Realverkehr auf der Landstraße absolvierte. Dieser Ablauf wiederholte sich, bis alle sechs Testpersonen des jeweiligen Tages Testfahrten mit jedem der drei Fahrzeuge durchgeführt hatten.

Der Versuchsplan war so gestaltet, dass jede Testperson mit jedem der drei Fahrzeuge ein anderes Szenario durchfuhr. Um Reihenfolgeeffekte zu vermeiden, wurde sichergestellt, dass die Reihenfolge der Szenarien sowie der Fahrzeuge für jede Testperson variierte. Darüber hinaus wurde der Ablauf über die vier Tage hinweg so angepasst, dass die Testfahrten täglich mit einem anderen Fahrzeug und einem anderen Szenario begannen.

Insgesamt wurden während der vier Testtage 72 Fahrten durchgeführt, wobei jedes der drei Fahrzeuge 24-mal zum Einsatz kam und jedes der drei Szenarien ebenfalls 24-mal durchfahren wurde. Somit wurde jedes Fahrzeug in Kombination mit jedem Szenario insgesamt achtmal getestet.

4. Ergebnisse

In den folgenden Abschnitten werden die Hauptergebnisse der Funktionalitätstests im Realverkehr und der Testfahrten auf dem Testgelände beschrieben.

4.1. Funktionalitätstests im Realverkehr

In Phase 1 des Projekts wurden Funktionalitätstests im Realverkehr durchgeführt. Die Fahrversuche fanden unter realen Bedingungen im öffentlichen Straßenverkehr statt.

Die Ergebnisse zeigten, dass L2-Fahrfunktionen bei ausreichenden Fahrbahnmarkierungen auf allen getesteten Streckenabschnitten aktiviert werden konnten. Im Durchschnitt kam es alle fünf Minuten zu einem Triggerereignis (insgesamt 262 Ereignisse, davon 139 auf der Landstraße, bei einer ausgewerteten Testzeit von etwa 24 Stunden), das einen Eingriff des Lenkers:der Lenkerin erforderte.

Triggerereignisse traten hauptsächlich aufgrund von mangelhafter Querführung und Fehlern in der Geschwindigkeitswahl auf, wobei das Driver Engagement der Fahrer:innen in diesen Situationen eine entscheidende Rolle spielte. Besonders häufig zeigten sich:

- Unzulänglichkeiten in der Querführung: Sowohl in Kurven als auch auf geraden Streckenabschnitten neigten die Fahrzeuge dazu, die Fahrbahn zu verlassen oder in den Gegenverkehrsbereich zu geraten. Solche Spurhalteprobleme traten auf, wenn sich der Lane Centering Assist in einer Kurve deaktivierte (teilweise ohne Information), aber auch wenn die Bodenmarkierungen nicht erkannt wurden und das System in die Straßenmitte einlenkte.
- Fehler bei der Geschwindigkeitswahl: Diese zeigten sich insbesondere bei der Anpassung der Geschwindigkeit an die Straßenführung in Kurven oder an Kreuzungen sowie beim konkreten Erkennen von Tempolimits.
- Widersprüchliche Brems- und Beschleunigungsvorgänge: Diese traten insbesondere auf, wenn dem System eindeutige Referenzpunkte zur Regulierung der eigenen Geschwindigkeit fehlten, was vor allem in Situationen beobachtet wurde, in denen das vorausfahrende Fahrzeug abbog oder nach dem Durchfahren eines Kreisverkehrs.

Testfahrer:innen berichteten, dass eine Eingewöhnungszeit erforderlich ist, um die Systemgrenzen von L2-Fahrfunktionen vollständig zu verstehen. Zudem wurden qualitative Unterschiede in der Gestaltung der Cockpitdisplays als visuelle Informationsquellen hervorgehoben, die Einfluss auf die Nutzerfreundlichkeit und Ablenkungspotenziale haben können. Dabei wurden Aspekte wie eine Überfrachtung mit Informationen, die Unklarheit über den aktuellen Systemstatus (z. B. Aktivität des L2-Systems) sowie die Platzierung der Informationen (Head-Up-Display, zentrales Display oder Kombiinstrument) kritisch betrachtet. Schlussendlich wurde die verzögerte Kommunikation über die Deaktivierung von L2-Funktionen, die erst unmittelbar im Moment des Abschaltens erfolgt, als kritischer Aspekt bewertet. Dieses Verhalten führte wiederholt zu Überraschungsmomenten bei den Testfahrer:innen.

Fazit Zielsetzung 1: Leistungsfähigkeit und Sicherheit heutiger L2-Fahrfunktionen auf Landstraßen

Die Funktionalitätstests haben gezeigt, dass L2-Fahrfunktionen auf Landstraßen in komplexeren Verkehrssituationen nicht uneingeschränkt genutzt werden sollten. Die Nutzung ist zudem abhängig von den jeweiligen Ausbaustandards der Landstraße (siehe Tabelle 2). Übergeordnet zeigt sich, dass die Gestaltung des Human-Machine-Interface (HMI) eine wichtige Rolle spielt. Eine klare und intuitive Darstellung von Systeminformationen, insbesondere des Systemstatus, sowie eine rechtzeitige und präzise Kommunikation zwischen System und Fahrer:in sind entscheidend, um die sichere und effektive Nutzung von L2-Funktionen zu gewährleisten.

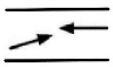
Basierend auf den in Phase 1 gewonnenen Daten wurden geeignete Testszenarien für die Teststrecke entwickelt.

4.2. Entwicklung der Testszenarien

Die 139 im Rahmen der Funktionalitätstests im Realverkehr identifizierten Triggerereignisse wurden den funktionalen Szenarien zugeordnet, die im Rahmen der Literaturrecherche identifiziert wurden (vgl. 3.2.1 und Anhang B) und typischerweise im Realverkehr auftreten. Tabelle 10 zeigt die zehn Szenarien, in denen Triggerereignisse am häufigsten auftraten sowie die durch die Testfahrer:innen subjektiv bewertete Kritikalität dieser Ereignisse im Realverkehr.

Die Bewertung erfolgte auf der Grundlage der fünf Kriterien nach Schömig et al. [9] (Klarheit, Nachvollziehbarkeit, Verständlichkeit, Sicherheit und Kritikalität, siehe Tabelle 10).

Tabelle 10: Triggerereignisse der Realfahrten auf der Landstraße, gereiht nach Häufigkeit des Auftretens, Top 10

Nr.	Funktionales Szenario (englische Bezeichnungen)	ICON	Anzahl Triggerereignisse	Häufigkeit	Kritikalität
1	Same Trafficway / Opposite Direction Forward Impact-Head On Road Curve		24	17,3 %	5,4
2	Single Driver Left / Right Roadside Departure Curve		24	17,3 %	4,7
3	Speed Not Adapted to Road Features		19	13,7 %	5,1
4	Deceleration of System In A Trigger Event		12	8,6 %	3,6
5	Removal Speed Limit Not Detected, Set Speed Too Low		12	8,6 %	1,6
6	Speed Limit Sign Not Detected, Change of Set Speed Too Late		10	7,2 %	3,4
7	Same Trafficway/ Opposite Direction Forward Impact-Head On Road Straight		8	5,8 %	3,6
8	Free Travel Trigger Event, Overruling/ Self Deactivation		6	4,3 %	2,3
9	Target Vehicle Leaves Traffic Way, Ego Vehicle Brakes Inappropriately		5	3,6 %	2,8
10	Car-to-Car Rear Stationary CCRs		3	2,2 %	3,5

Die Auswahl der drei Testszenarien für die Funktionalitätstests auf dem Testgelände basierte auf den Ergebnissen der Nutzwertanalyse, in der alle durch die Literaturrecherche identifizierten, funktionalen Szenarien (einschließlich den in Tabelle 10 genannten) hinsichtlich Umsetzbarkeit auf

der Teststrecke, Häufigkeit im Realverkehr, Kritikalität und Durchführbarkeit des Bewältigungsratings bewertet wurden.

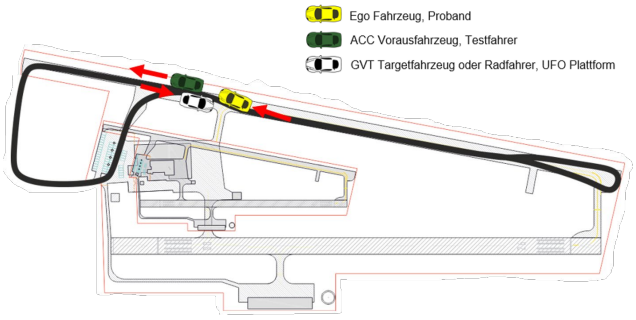
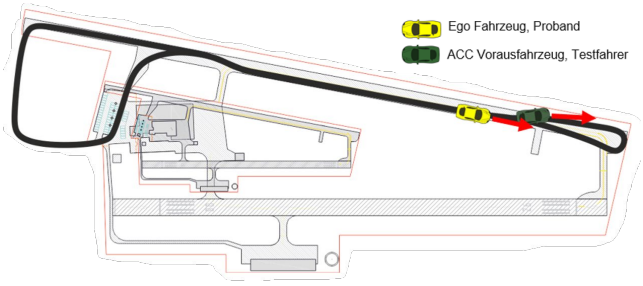
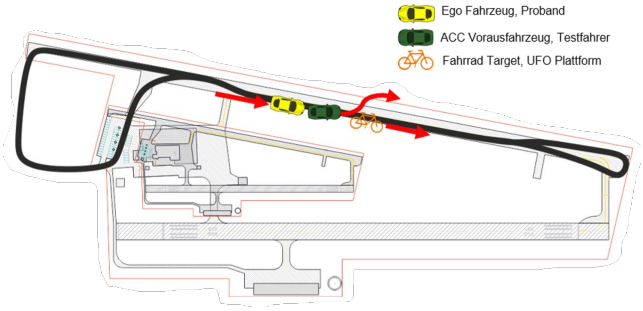
Tabelle 11 beschreibt die ausgewählten Szenarien 1 bis 3. Szenario 1 und 2 entsprechen den Szenarien mit den häufigsten und als am sicherheitskritischsten bewerteten Triggerereignissen aus Tabelle 10. Obwohl Szenario 3 im Realverkehr nicht zu den am häufigsten beobachteten Szenarien zählte, belegte es aufgrund seiner hohen Kritikalität den dritten Platz in der Nutzwertanalyse. Zusätzlich unterstreicht es die allgemein hohe Bedeutung dieses Szenarios für die Verkehrssicherheit. Unfallanalysen zeigen beispielsweise, dass auf deutschen Landstraßen jeder dritte Radfahrunfall verzeichnet wird und jeder vierte getötete Radfahrende bei einem Unfall auf freier Strecke verunglückt. Dabei fährt der Pkw meistens auf das Rad auf [14].

Tabelle 11: Ausgewählte funktionale Szenarien für die Funktionalitätstests auf der Teststrecke

Szenario	Beschreibung	
	Englische Originalbezeichnung	**Deutsche Übersetzung**
1	Same Trafficway / Opposite Direction Forward Impact-Head On Road Curve	Verlassen des Fahrstreifens in einer Rechtskurve mit Gegenverkehr
2	Single Driver Left / Right Roadside Departure Curve	Verlassen des Fahrstreifens in einer Linkskurve zum Fahrbahnrand
3	Cut-Out Fully Blocking	Ausweichmanöver in Reaktion auf ein plötzlich auftauchendes Hindernis

Die drei funktionalen Szenarien aus Tabelle 11 wurden gemäß Methodik durch die Festlegung von Parametern in logische Szenarien und anschließend in konkrete Szenarien überführt. In Tabelle 12 sind die drei konkreten Szenarien dargestellt und beschrieben.

Tabelle 12: Beschreibung und Illustration der konkreten Szenarien

Konkretes Szenario	Beschreibung	Illustration
1: Verlassen des Fahrstreifens in einer Rechtskurve mit Gegenverkehr	• Ego- folgt Target-Fahrzeug mit aktivierter, assistierter Fahrfunktion, Schleife wird ca. 15-mal befahren (v = 60 km/h). • Event: Geschwindigkeit wird auf 70 km/h erhöht (auf der Geraden davor). Das Fahrzeug gerät teilweise auf die Gegenfahrbahn. Der Treffpunkt mit dem **GVT-**Fahrzeug im Scheitelpunkt. Proband:in reagiert je nach Driver Engagement.	
2: Verlassen des Fahrstreifens in einer Linkskurve zum Fahrbahnrand	• Ego- folgt Target-Fahrzeugmit aktivierter, assistierter Fahrfunktion, Schleife wird ca. 15-mal befahren (v = 60 km/h). • Event: Geschwindigkeit wird auf 75 km/h erhöht (auf Gerade davor). Fahrzeug verlässt teilweise die Fahrbahn. Proband:in reagiert je nach Driver Engagement.	
3: Ausweich-manöver in Reaktion auf ein plötzlich auftauchendes Hindernis	• Ego- folgt Target-Fahrzeug mit aktivierter, assistierter Fahrfunktion, Schleife wird ca. 15-mal befahren (v = 70 km/h). • Event: Fahrrad fährt auf Fahrbahn, ACC-Fahrzeug reagiert im letzten Moment. Proband:in reagiert je nach Driver Engagement.	

Für die Abstandsregelung wurde jeweils eine mittlere Zeitlücke gewählt. Beim Triggerereignis erhöhte das Target-Fahrzeug die Geschwindigkeit jeweils, um (in Szenario 1 und 2) das Verlassen des Fahrstreifens durch das Ego-Fahrzeug zu provozieren. Die Parameter des konkreten Szenarios wurden also so gewählt, dass ein Eingreifen der Proband:innen notwendig war, um ein Triggerereignis zu meistern.

Diese Szenarien helfen dabei, zu bewerten, wie gut die L2-Fahrfunktion sowohl die Längs- als auch die Querführung des Fahrzeugs kontrollieren kann und wie effektiv der:die Fahrer:in in gefährlichen Situationen eingreift. Sie sind auch wichtig für die Funktionalitätstests auf dem Testgelände, um Unterschiede im Verhalten der drei verschiedenen Fahrzeuge zu erkennen.

4.3. Funktionalitätstests auf dem Testgelände

Im Rahmen der Funktionalitätstests auf dem Testgelände wurde die Methode von Schömig et al. [9] angewendet, um die Qualität des Bedienverhaltens bei der Systemaktivierung (VLA), die Qualität der Fahrzeugführung in der Testsituation (die Reaktion auf das Systemverhalten bei einem unerwarteten sicherheitskritischen Ereignis) sowie das Monitoring (zusammen VLR) zu bewerten und die subjektive Wahrnehmung der Proband:innen über das Systemverhalten in diesen sicherheitskritischen Situationen zu erfassen. Auf Grundlage der Ergebnisse in puncto Fahrzeugführung und Monitoring werden Rückschlüsse auf das Driver Engagement gezogen.

Bewertung der MMI und der Bewältigungsqualität (VLA & VLR)

Bewertung der Systemaktivierung (VLA)

Abbildung 9 zeigt die Häufigkeitsverteilung der Qualität der Systemaktivierung durch die Proband:innen in den drei Fahrzeugen. Diese Gesamtbewertung basiert auf den Beobachtungen der vier Variablen: „Unsicherheit bei der Aktivierung“, „verzögerte Aktivierung“, „Bedienfehler“ und „Hilfestellung“ (vgl. Tabelle 5).

Die Ergebnisse zeigen, dass die Mehrheit der Proband:innen die Systemaktivierung in allen Fahrzeugen entweder gut oder perfekt bewältigt hat, wobei die Bewertung „Gute Bewältigung“ am häufigsten vergeben wurde (eine grafische Darstellung der Ergebnisse, einschließlich einer Aufschlüsselung in die vier genannten Kategorien, ist in Anhang C zu finden).

Versuchsleiterrating (VLR)

Auf Grundlage des beobachteten Verhaltens der Proband:innen, bezogen auf die Fahrzeugführung und das Monitoring (vgl. Tabelle 7), wurde eine Gesamtbewertung, das Versuchsleiterrating (VLR), vorgenommen (vgl. Abbildung 6; die Ergebnisse aufgeschlüsselt nach den einzelnen Beobachtungsvariablen sind in Anhang C zu finden). Das VLR spiegelt die Qualität des Bewältigungsverhaltens der Proband:innen in der Testsituation wider.

Insgesamt zeigten in allen drei Szenarien jeweils deutlich mehr als die Hälfte der Proband:innen eine zumindest fehlerhafte Bewältigung (Sz_1: 57 %, Sz_2: 79 %, Sz_3: 65 %). Verzögerte Reaktionen und Spurabweichungen traten dabei am häufigsten auf, insbesondere in Szenario 2 (vgl. Anhang C). Das Monitoring-Verhalten entsprach mit zwei Ausnahmen in Szenario 2 den Anforderungen der Systeme, was durch die Abwesenheit von Hands-off-Warnungen angezeigt wird. Szenario 1 wurde am besten bewältigt (vgl. Abbildung 6). Die Bewältigungsqualität war bei Fahrzeug A am häufigsten zumindest gut, während bei Fahrzeug C die Bewältigung am häufigsten zumindest fehlerhaft ausfiel. Insgesamt sind die Unterschiede zwischen den Fahrzeugen jedoch gering.

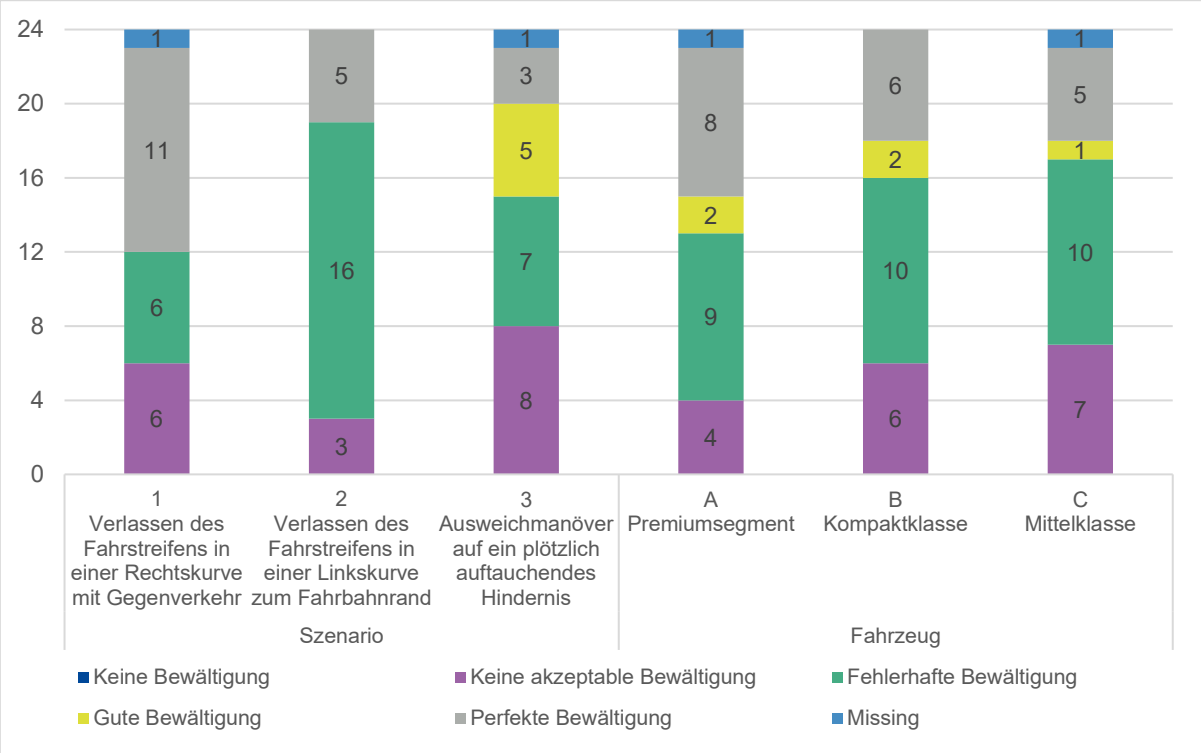


Abbildung 6: Versuchsleiterrating nach Szenario und Fahrzeug (n=24, eigene Darstellung)

Rückschlüsse auf das Driver Engagement

Vom Monitoring-Verhalten und vom Bewältigungsverhalten in der Testsituation lassen sich Aussagen über das Driver Engagement ableiten. Das Monitoring-Verhalten entsprach überwiegend den Anforderungen der Systeme (indiziert durch die geringe Anzahl an Hands-off-Warnungen), was auf ein angemessenes Engagement während der Fahrten hinweist. Gleichzeitig weist das fehlerhafte Bewältigungsverhalten, z. B. durch aufgetretene verzögerte Reaktionen und Spurabweichungen, insbesondere in Szenario 2, auf eine kurzzeitige Überforderung der Proband:innen in der Testsituation hin, was zumindest theoretisch eine Folge von vermindertem Engagement sein könnte.

Auf Grundlage der vorliegenden Beobachtungsdaten können, abgesehen vom Nachweis des Monitorings, keine weiterführenden oder detaillierten Aussagen zum Engagement der Proband:innen während der Fahrt oder zu Art und Ausmaß ihrer Einbindung durch die Systeme getroffen werden.

Subjektive Einschätzung der Proband:innen

Nach den Testfahrten wurden die Proband:innen dazu befragt, wie sie die Situation und das Systemverhalten in den verschiedenen Szenarien subjektiv wahrgenommen haben. Abbildung 7 zeigt die Ergebnisse zur wahrgenommenen *Klarheit* bezüglich der notwendigen Handlungen in der

jeweiligen Situation, zur *Nachvollziehbarkeit* des Systemverhaltens, zur *Verständlichkeit* der Systemausgaben sowie zum empfundenen *Sicherheitsgefühl*, jeweils differenziert nach Fahrzeug (die Ergebnisse nach Szenario sind in Anhang C zu finden).

In allen *Szenarien* war der Mehrheit der Proband:innen klar, was zu tun ist, und auch die subjektiv empfundene Sicherheit wurde mehrheitlich als vorhanden bewertet (eine detaillierte Ergebnisdarstellung findet sich in Anhang C). Dennoch waren das Systemverhalten und die Systemausgaben der *Fahrzeuge* nicht immer vollständig nachvollziehbar oder verständlich (vgl. Abbildung 7). In Bezug auf die Situationskritikalität zeigte sich, dass Szenario 3 (Ausweichmanöver in Reaktion auf ein plötzlich auftauchendes Hindernis) subjektiv als am kritischsten wahrgenommen wurde (detaillierte Ergebnisdarstellung in Anhang C).

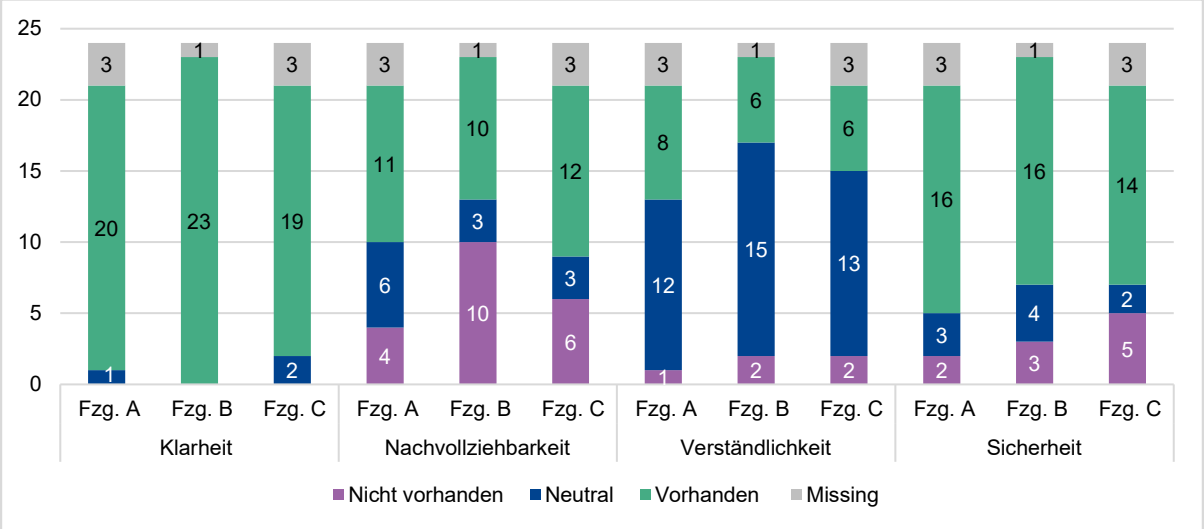


Abbildung 7: Häufigkeitsverteilung der subjektiven Situationsbeurteilung in allen Szenarien nach Fahrzeug (Fzg.)

Aussagen zu Unterschieden nach Geschlecht und nach Erfahrung mit L2-Fahrfunktionen können aufgrund der Stichprobengröße und der stark differierenden Gruppengrößen nicht getroffen werden. Unter den 24 Proband:innen waren nur 6 Frauen und lediglich 5 Personen ohne L2-Erfahrung vertreten.

Fazit Zielsetzung 2: Untersuchung des Einflusses von L2-Fahrfunktionen auf das Driver Engagement

Sowohl das Systemverhalten als auch die Systemausgaben waren nicht in jedem Fall klar nachvollziehbar oder verständlich.

Trotz angemessenen Monitoring-Verhaltens zeigten in allen drei Szenarien jeweils deutlich mehr als die Hälfte der Proband:innen eine zumindest fehlerhafte Bewältigung: Proband:innen reagierten häufig zeitverzögert, und es kam mehrfach zu Spurabweichungen.

Rückschlüsse auf das Driver Engagement sind indirekt eingeschränkt möglich. Um divergierende Befunde wie in der vorliegenden Untersuchung zu präzisieren bzw. fundierte Aussagen zu ermöglichen, ist eine Weiterentwicklung der Methode erforderlich.

5. Zentrale Erkenntnisse und Empfehlungen

5.1. Einsatz von L2-Fahrfunktionen auf Landstraßen und fahrzeugmodellspezifische Aussagen

Die Auswertung von insgesamt 262 Triggerereignissen ergab 139 Fahrsituationen auf der Landstraße, aus denen anschließend 10 funktionale Szenarien abgeleitet und kategorisiert wurden. Neben der Häufigkeit in Prozent wurde auch der Mittelwert der Kritikalität angegeben, der von den Testfahrer:innen je Triggerereignis subjektiv bewertet wurde.

Die Auswertung der Szenarien im Hinblick auf deren Kritikalität lässt folgende zwei Schwerpunkte für die bewerteten assistierten Fahrfunktionen der drei Fahrzeuge erkennen:

- Probleme mit der Spurhaltung/Querführung hauptsächlich in Kurven, aber auch auf Geraden mit und ohne Gegenverkehr sowie
- eine unangepasste Geschwindigkeitswahl in Bezug auf Streckenelemente der Infrastruktur (z. B. Ortseingänge).

Als besonders häufig stellten sich dabei Fehler in der Spurhaltung heraus, indem die Fahrzeuge dazu tendierten, die Fahrbahn zu verlassen oder auf die Gegenfahrbahn zu geraten. Dies passierte sowohl auf der Geraden als auch in der Kurve. Die Fehler bezüglich der Geschwindigkeitswahl der L2-Fahrfunktion (z. B. bei Kurven) und des Intelligent Speed Assists zeigten sich daran, dass Tempolimits nicht korrekt oder zu spät auf die ACC übertragen wurden. Außerdem kam es zu unpassenden Abbremsungen und Beschleunigungen.

Es zeigt sich also, dass wenn die L2-Fahrfunktionen an ihre Systemgrenzen stoßen, dies vor allem die Fahrstreifenmarkierungen (Querführung) und die Geschwindigkeitswahl (Längsführung) betrifft. Länderspezifische Besonderheiten wurden dabei nicht beobachtet.

Aus den Auswertungen der Funktionalitätstest im Realverkehr und auf der Teststrecke lassen sich hinsichtlich technischer und HMI-Auslegung der L2-Fahrfunktionen folgende Erkenntnisse und Forderungen ableiten:

- **Hands-on-Überwachung mit einer Fahrerzustandsüberwachung kombinieren**
  Bei den Testfahrten zeigte sich, dass deutlich mehr als die Hälfte der Testpersonen die Szenarien nicht fehlerfrei bewältigen konnten. Heutige L2-Fahrfunktionen überwachen die notwendige Lenkradberührung mittels kapazitiver Sensoren. Eine zusätzliche Fahrerzustandsüberwachung in puncto Blick- und Kopfbewegungen wäre auch für Fahrzeuge mit L2-Fahrfunktion empfehlenswert.
- **Nur moderate Lenkunterstützung durch die Fahrfunktion**
  Während der Funktionalitätstests auf dem Testgelände wurden Auslegungsunterschiede zwischen den Fahrzeugen in Bezug auf die Fahrereinbindung in die Fahraufgabe erkennbar. Um Fahrer:innen dauerhaft im Loop zu halten und ihnen das Gefühl der

Einbindung in die Fahraufgabe zu geben, ist es notwendig, dass die Spurhaltung der L2-Fahrfunktion nur moderat – also dem kooperativen Gedanken folgend – unterstützt.

- **Deutlichere Anzeigen im Cockpitdisplay zu aktivierten L2-Fahrfunktionen und Vereinheitlichung der Symbole**
  Dies dient der besseren Ablesbarkeit der teilweise sehr klein eingeblendeten Symbole und vereinfacht somit die Handhabung der Systeme, speziell bei häufigem Fahrzeugwechsel oder für Fahranfänger:innen. Außerdem führt eine klare, über alle Fahrzeuge hinweg gleich gestaltete Symbolsprache zu weniger „Mode Confusion“ und mehr Klarheit.
- **Systemwarnungen bei Erreichen der Systemgrenzen notwendig**
  Seitens der Testfahrer:innen wurde während der Testfahrten im Realverkehr berichtet, dass es einiger Zeit bedarf, um sich an die Systemfunktionalität und ihre Systemgrenzen zu gewöhnen. Eine Warnung, die frühzeitig und deutlich verständlich auf das Erreichen der Systemgrenzen (z.B. Querbeschleunigung in Kurven) hinweist, ist notwendig. Diese Problematik ist ein wichtiger Aspekt bei assistierten Fahrfunktionen und wurde bereits in einer früheren Studie aufgegriffen [7].
- **Vermeidung von Mode Confusion zwischen manuellem und assistiertem Fahren**
  Es wurde teilweise Mode Confusion bei den Proband:innen auf dem Testgelände festgestellt, da sie annahmen, sie hätten die Fahrverantwortung an das System abgegeben, dann aber bei Triggerereignissen dennoch überraschend eingreifen mussten. Auch dieser Aspekt ist ein Schlüsselmerkmal für assistierte Fahrfunktionen [7].

Es bleibt festzuhalten, dass keines der getesteten L2-Systeme in der derzeitigen Ausführung für den durchgehend sicheren Einsatz auf allen Arten von Landstraßen geeignet ist, da die Systeme einerseits die infrastrukturellen Herausforderungen auf Landstraßen häufig nicht adäquat adressierten (z. B. Spurhaltung und Geschwindigkeitsanpassung) und andererseits das richtige Maß an Einbindung der Fahrer:innen in die Fahraufgabe (und damit die Aufrechterhaltung des Driver Engagements) durch die Systeme nicht ausreichend sichergestellt war.

Die Frage, ob heutige L2-Fahrfunktionen generell auf Landstraßen genutzt werden sollten, lässt sich daher mit einem klaren „Nein“ beantworten. Ähnlich gut wie auf Autobahnen einsetzbar sind die L2-Systeme nur auf Landstraßen mit einem hohen infrastrukturellen Ausbaustandard. Auf Landstraßen mit infrastrukturellen Mängeln und den für Landstraßen typischen komplexeren Verkehrssituationen konnte eine dauerhaft zuverlässige Funktion der bewerteten Quer- und Längsführungssysteme nicht beobachtet werden.

5.2. Ableitung und Umsetzung von Testszenarien für L2-Fahrfunktionen auf Landstraßen

Im Projekt konnte erfolgreich gezeigt werden, dass die identifizierten, sicherheitskritischen Fahrsituationen im Realverkehr durch die Anpassung wesentlicher Parameter, wie Kurvenradien oder Geschwindigkeiten, und den Einsatz von entsprechenden Testtargets in Testszenarien überführt und auf Teststrecken umgesetzt werden können.

Dabei entsprechen die Testszenarien in ihren Eigenschaften (Kurvenradien, Geschwindigkeiten, Markierungen) den in der ersten Projektphase ermittelten funktionalen Szenarien oder

Grundszenarien. Damit sind prinzipiell auch Rückschlüsse von im Test ermittelten Ergebnissen auf die Landstraße möglich.

Als durchführbare Testszenarien, die kritische Situationen bei der L2-Nutzung auf der Landstraße repräsentieren, wurden Szenarien identifiziert, bei denen ein Verlassen des Fahrstreifens droht, und Szenarien, bei denen die Fahrer:innen auf ein unvermittelt auftretendes Ereignis reagieren müssen. Diese sind (vgl. Tabelle 12 und Kapitel 3.2.3):

- **Testszenario 1:**
  Das Ego-Fahrzeug folgt einem vorausfahrenden Target-Fahrzeug. Durch entsprechende Wahl der Fahrgeschwindigkeit (49-78 km/h) und Gestaltung der Kurve (Kurvenradius 50-243 m) kommt es zu einem Verlassen des Fahrstreifens in einer Rechtskurve bei Gegenverkehr, was einen Eingriff durch die Fahrer:innen erfordert.

- **Testszenario 2:**
  Das Ego-Fahrzeug folgt einem vorausfahrenden Target-Fahrzeug. Durch entsprechende Wahl der Fahrgeschwindigkeit (49-78 km/h) und Gestaltung der Kurve (Kurvenradius 50-243 m) kommt es zu einem Verlassen des Fahrstreifens in einer Linkskurve, was einen Eingriff durch die Fahrer:innen erfordert.

- **Testszenario 3:**
  Das Ego-Fahrzeug folgt einem vorausfahrenden Target-Fahrzeug mit einer vorbestimmten Geschwindigkeit. Dieses weicht einem Radfahrenden unvermittelt aus und gibt die Sicht für das Ego-Fahrzeug frei, was einen Eingriff durch die Fahrer:innen bzw. das AEB erfordert. Ein derartiges Manöver wurde auch bei der Entwicklung des Bewältigungsratings von (Schömig et al. 2021) verwendet.

5.3. Anwendbarkeit einer Methode zur Bewertung des Driver Engagements

Eine standardisierte Methode zur Bewertung des Driver Engagements für komplexe Verkehrsumgebungen auf Landstraßen ist derzeit noch nicht verfügbar.

Anwendung im Realverkehr

Anhand der Methode Schömig et al. ist es möglich, Fahrten mit unterschiedlichen Testfahrzeugen und Testszenarien vergleichend zu bewerten. Für komplexe Verkehrsumgebungen mit unterschiedlichen Geschwindigkeitslimits, wie auf Landstraßen üblich, bedarf die Anwendung dieser Methode einer Anpassung der Beobachtungsvariablen. Die im Projekt verwendeten Variablen sind nach den drei Kategorien „Bedienprobleme“, „Fahrzeugführung“ und „Monitoring“ aufgelistet. Eine Anpassung bedeutet hier, die Methode um Variablen zu erweitern, die es erlauben, differenzierter den Aspekt des Rollenverständnisses (manuelles Fahren vs. assistiertes Fahren) abzudecken und so einer Ergebnisverzerrung vorzubeugen. Im Projekt hatte sich die Methode als wenig sensitiv erwiesen bezüglich

- der Erhebung des Verständnisses der Testpersonen hinsichtlich ihrer Fahrverantwortung (Mode Confusion) und
- des bewussten Ausreizens der Systeme durch die Testpersonen.

Anwendung auf der Teststrecke und Rückschlüsse auf das Driver Engagement

Der gewählte Versuchsablauf und das allgemein gewählte Testsetting waren auf der Teststrecke umsetzbar. Das Bewältigungsrating als eine Methode zur Bewertung der MMI bei der Nutzung assistierter Fahrfunktionen erlaubt indirekte Rückschlüsse auf das Driver Engagement. Dies geschieht durch die Erfassung der Qualität des (motorischen) Monitoring-Verhaltens („Hände am Steuer“) sowie durch die beobachtete Qualität der Fahrzeugführung (d. h. wie Fahrer:innen auf unerwartete Ereignisse reagieren). Diese Aspekte können Hinweise darauf geben, ob das Driver Engagement angemessen oder unzureichend ist (z. B. Probleme bei der Fahrzeugsteuerung wie „Spurabkommen“).

Auf Basis der erhobenen Daten und der Methode nach Schömig lassen sich jedoch keine spezifischen Aussagen zu Art und Ausmaß der Einbindung durch die L2-Systeme treffen. Eine Weiterentwicklung der Methode, die eine detailliertere Erfassung der Systemeinbindung ermöglicht, wird als wertvoll erachtet. Dazu können beispielsweise Aspekte wie das Blickverhalten einbezogen werden, um über das Monitoring-Verhalten (z. B. Hands-off-Warnungen) hinaus umfassendere Aussagen zum Driver Engagement treffen zu können.

6. Weiterer Forschungsbedarf

Die Ergebnisse der durchgeführten Untersuchung zeigen, dass die Nutzung heutiger L2-Fahrfunktionen auf Landstraßen grundsätzlich nicht empfohlen werden kann. Die L2-Systeme sind zwar auf Landstraßen mit einem hohen infrastrukturellen Ausbaustandard großteils funktionstüchtig, jedoch nicht uneingeschränkt nutzbar und einsetzbar, da sie eine fehlerhafte Performance aufweisen. Daraus ergeben sich mindestens zwei zukünftige Aufgaben: Erstens sollte geprüft werden, ob die kritischen Situationen auch zu entsprechenden Unfällen führen. Wenn ja, dann sollten die genauen Ursachen identifiziert und behoben werden. Zweitens ist zu prüfen, ob zukünftige L2-Fahrfunktionen nach UNECE R171 allgemein, aber im Besonderen auf Landstraßen, nun sicherer funktionieren und die hier ermittelten Schwächen nicht aufweisen. Zusätzlich werden weitere Funktionalitäten die L2-Fahrfunktion zumindest aus Komfortsicht aufwerten. Hier ist das Fahren ohne Hände am Lenkrad (hands-off) ein wichtiger Aspekt, da er die Grenze zum automatisierten Fahren (L3) für den Fahrer verschwimmen lässt und die Herausforderung der Mode Confusion" auf eine neue, kritischere Stufe hebt. Aber auch Funktionen, die beim Spurwechsel assistieren, sind im Feld zu prüfen und gegebenenfalls in ihrem Betriebsbereich neu zu bewerten.

Eine weitere wichtige Forschungsfrage ist die Untersuchung der langfristigen Auswirkungen der Nutzung von L2-Fahrfunktionen auf das Fahrverhalten und die Einbindung der Fahrer:innen in die Fahraufgabe. Während die vorliegende Studie sich auf unmittelbare Reaktionen konzentriert hat, zeigen erste Studien, dass sich das Verhalten der Fahrer:innen während der Fahrt mit aktivierten L2-Fahrfunktionen verändert und Fahrer:innen oft bewusst die Grenzen der Systeme ausreizen [15,16]. Inwieweit dieses Verhalten zu mehr Unfällen führt, muss in diesem Zusammenhang ebenfalls geklärt werden.

Anhang A: Übersicht Kriterien

Tabelle 13: Kriterien zur Beschreibung der Triggerereignisse

Kriterium	Beschreibung
Allgemein	• Videoname • Name der Fahrerin / des Fahrers • Fahrt am Vormittag oder am Nachmittag • Uhrzeit bei Eintreten des Triggerereignisses
Ort	• Ort • Landstraße oder Autobahn
Witterung	• Tag / Dämmerung / Nacht • Regen (ja/nein) • Zustand der Straße (nass, feucht, trocken)
Umstände	• Gegenlicht / Blendung (ja/nein) • Tempolimit (tatsächlich) • Tempolimit (durch das System erkannt) • Geschwindigkeit bei Triggerereignis • Vorhandensein und Anzahl der Fahrbahnmarkierungen • Auslöser für Triggerereignis • Reaktion der Fahrerin / des Fahrers
Systemzustand	• Betrachtetes System für die Beurteilung des Systemverhaltens • System aktiv bei Ereignis • Übernahmeaufforderung (ja/nein) • Systemdeaktivierung (ja/nein)
Systemverhalten	• Beurteiltes System (ACC, ELKS etc.) • True positive: Das System greift ein (positive), die Situation ist dafür angemessen (true). Dieses Verhalten ist für die Systemauslegung erwünscht. Im Regelfall stellt dies kein Triggerereignis im Rahmen des Projekts dar. • True negative: Das System greift nicht ein (negative), die Situation ist dafür angemessen (true). Dieses Verhalten ist für die Systemauslegung erwünscht, stellt den Normalfall im Betrieb dar und wird demnach nicht als Triggerereignis auftauchen. • False positive: Das System greift ein (positive), die Situation ist dafür nicht angemessen (false). Dieses Verhalten ist für die Systemauslegung gänzlich unerwünscht und wird bei AEB-Systemen manchmal auch als Bremsen auf Geisterobjekte bezeichnet. • False negative: Das System greift nicht ein (negative), die Situation ist dafür nicht angemessen (false). Dieses Verhalten ist für die Systemauslegung unerwünscht, aber bei L2-Systemen weniger kritisch als False/Positives, da die Fahrer:innen noch in die Fahrzeugführung eingebunden sind.

Anhang B: Funktionale Szenarien aus der Literaturrecherche

Tabelle 14: Übersicht über die 26 identifizierten funktionalen Szenarien

Kategorie	Beschreibung
Single driver	• Crossing Pedestrian (SP_ALKS) • CCRs (Euro-NCAP) • CBLA (Euro-NCAP) • Forward Impact-Pedestrian Animal (FARS) • Left / Right Roadside Departure-Drive Off Road (FARS) • Left / Right Roadside Departure-Avoid Collision with Vehicle, Pedestrian (FARS) • Forward Impact-Parked Vehicle (FARS) • Forward Impact-End Departure (FARS) • Turning around a corner (ISO 22737)
Same trafficway / same direction	• Cut-Out Fully Blocking (SP_ALKS) • Multiple Blocking Targets (SP_ALKS) • Follow Lead Vehicle Comfortable (SP_ALKS) • Partially Blocking Targets (SP_ALKS) • CCRm (Euro NCAP) • CCRb (Euro NCAP) • CCRs (Euro NCAP • Analge /SideSwipe (FARS)
Same trafficway / opposite direction	• CCFhos (Euro-NCAP) • CCFhol (Euro-NCAP) • Forward Impact-Avoid Collision with Vehicle (FARS) • AngleSideSwipe (FARS)
Change trafficway / vehicle turning	• CCFtap (Euro-NCAP) • Turn across Path-Same Direction (FARS) • Turn into Path opposite Direction (FARS)
Intersect paths / straight paths	• CCCscp (Euro-NCAP)

Anhang C: Häufigkeiten Beobachtungsvariablen (Grundlage VLA & VLR)

Beobachtete Verhaltensweisen zur Systemaktivierung und VLA

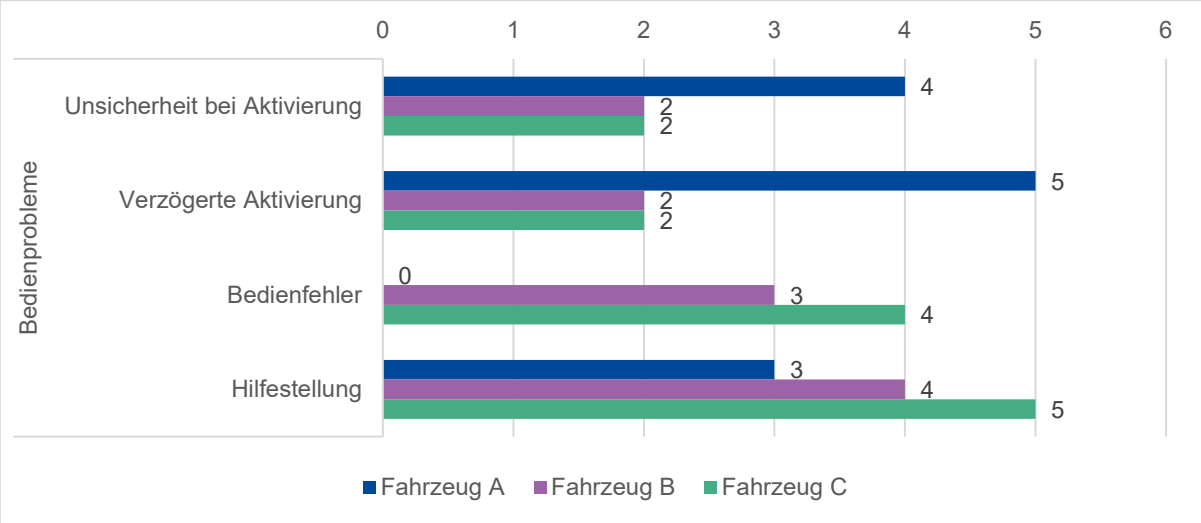


Abbildung 8: Häufigkeit der beobachteten Verhaltensweisen bei der Aktivierung der L2-Systeme nach Fahrzeug (n=24, eigene Darstellung)

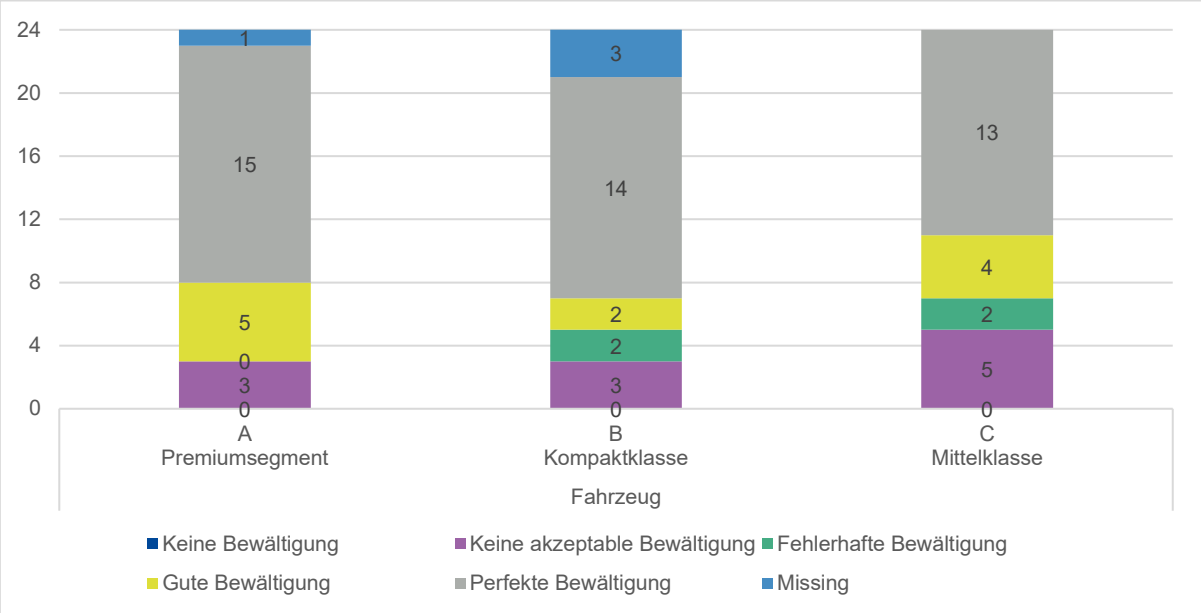


Abbildung 9: Versuchsleiterrating der Systemaktivierung nach Fahrzeug (n=24, eigene Darstellung)

Beobachtete Verhaltensweisen (Grundlage VLR)

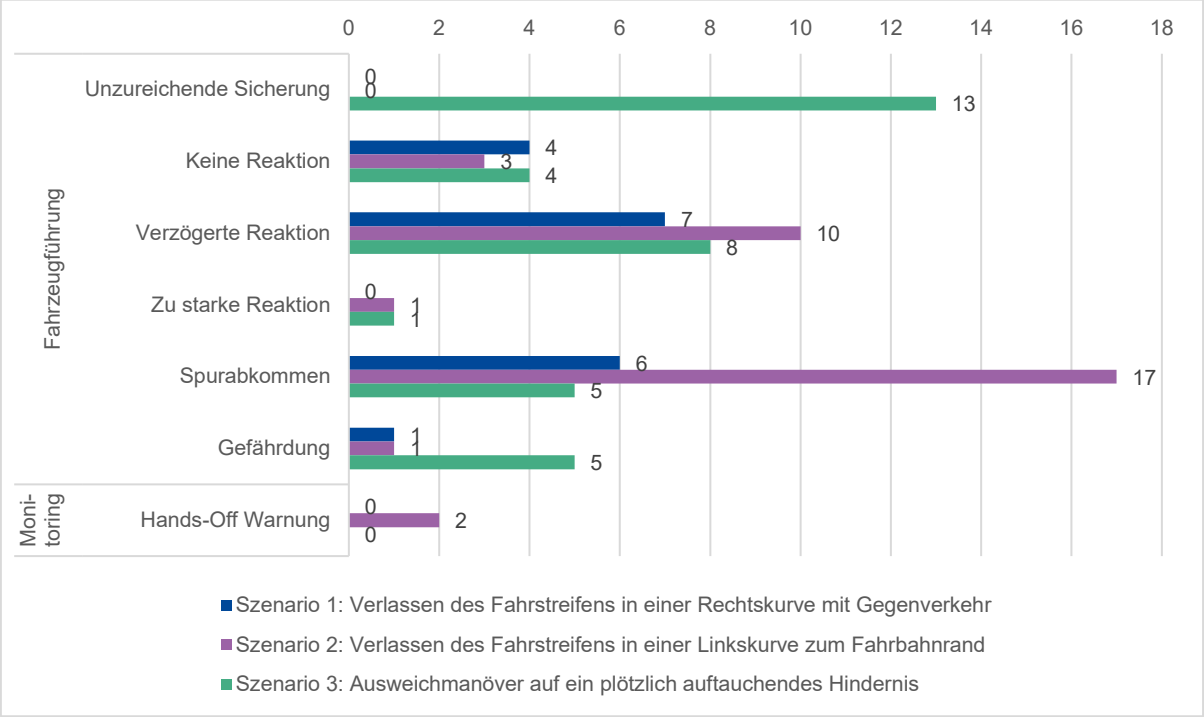


Abbildung 10: Häufigkeit der beobachteten Verhaltensweisen nach Szenario (n=24, eigene Darstellung)

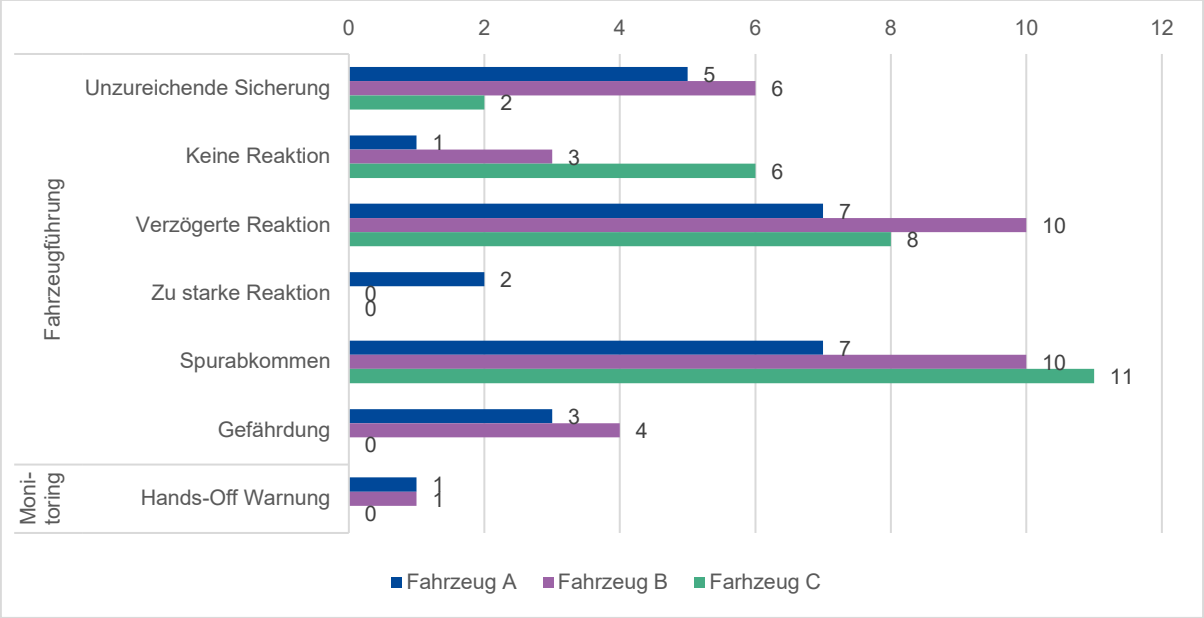


Abbildung 11: Häufigkeit der beobachteten Verhaltensweisen nach Fahrzeug (n=24, eigene Darstellung)

Subjektive Beurteilung der Proband:innen

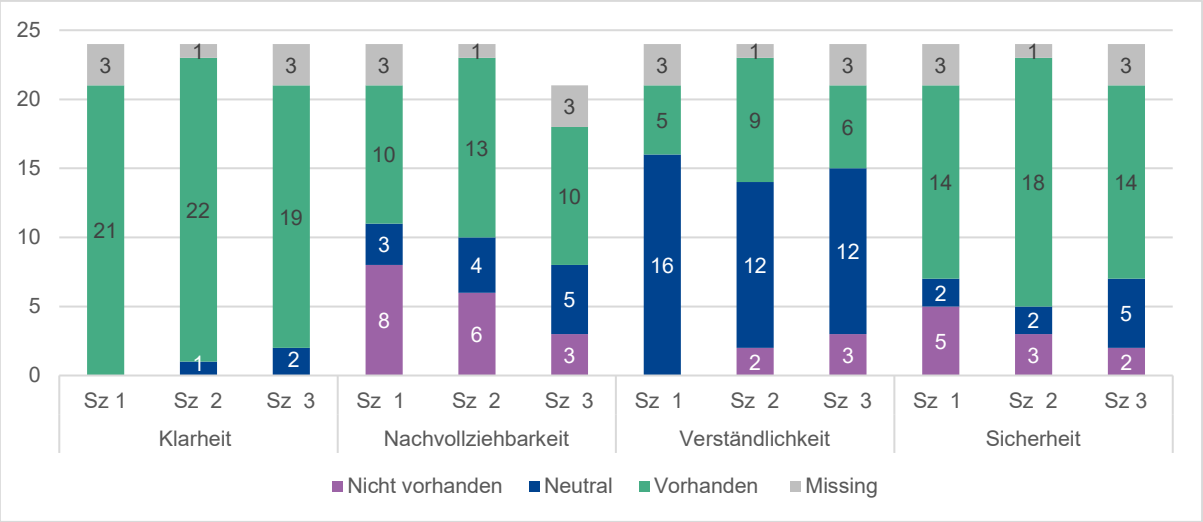


Abbildung 12: Häufigkeitsverteilung der subjektiven Situationsbeurteilung Szenario (Sz)

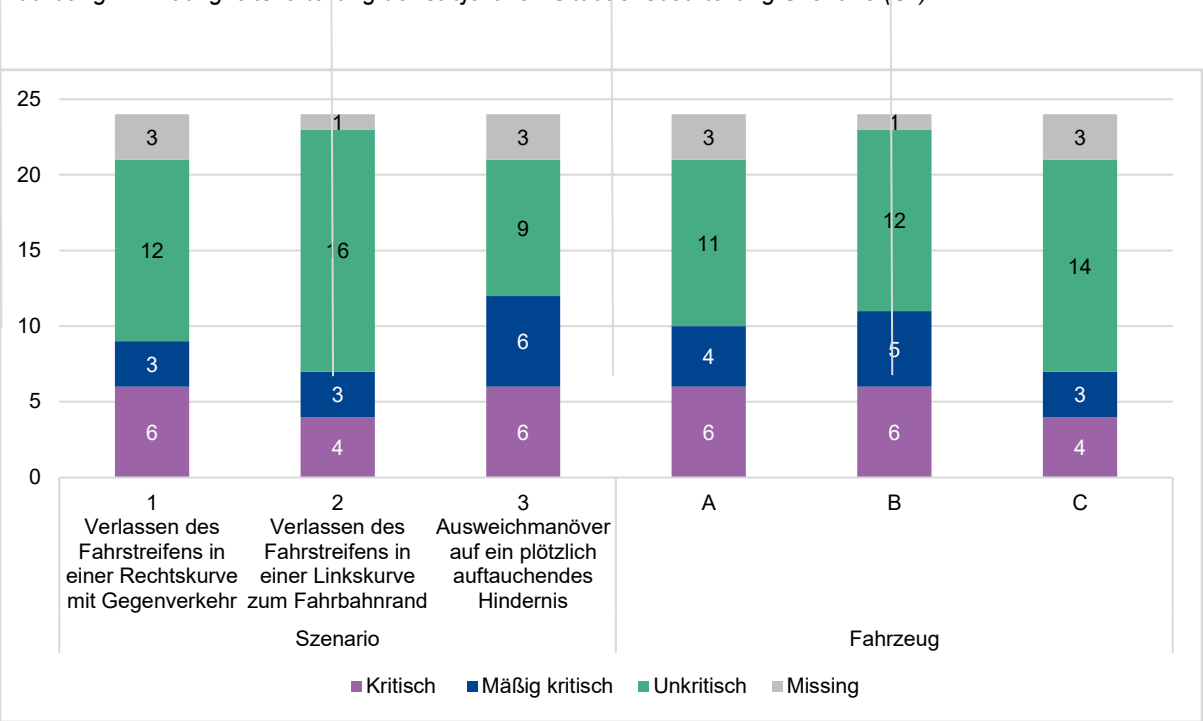


Abbildung 13: Häufigkeitsverteilung Situationskritikalität pro Szenario und Fahrzeug

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Kategorisierung der Streckenabschnitte....12
Tabelle 2: Beispiele für Streckenabschnitte der Kategorien 1 bis 5....12
Tabelle 3: Merkmale des Rundkurses....13
Tabelle 4: Auswahl des Funktionsumfangs der Testfahrzeuge (Mindestanforderungen); fett markiert: Umfang der L2-Funktionen....15
Tabelle 5: Übersicht über die Beobachtungsvariablen....23
Tabelle 6: Bewertungsskala des VLR....24
Tabelle 7: Beobachtungsvariablen und Einteilung in die VLR-Kategorien (angelehnt an [9])....24
Tabelle 8: Erwartete(s) Verhalten / Reaktion pro konkretem Szenario....25
Tabelle 9: Fragen zur subjektiven Bewertung eines Triggerereignisses inkl. Bewertungsskala..26
Tabelle 10: Triggerereignisse der Realfahrten auf der Landstraße, gereiht nach Häufigkeit des Auftretens, Top 10....29
Tabelle 11: Ausgewählte funktionale Szenarien für die Funktionalitätstests auf der Teststrecke 30
Tabelle 12: Beschreibung und Illustration der konkreten Szenarien....31
Tabelle 13: Kriterien zur Beschreibung der Triggerereignisse....41
Tabelle 14: Übersicht über die 26 identifizierten funktionalen Szenarien....42

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Die drei Phasen des Forschungsprojekts 11
Abbildung 2: Ausgewählte Teststrecke – Rundkurs um den Bodensee 14
Abbildung 3: Klothoidenparameter für das Kurvendesign 20
Abbildung 4: Ausschnitt der Teststrecke mit verwendeten Fahrstreifenmarkierungen (Quelle: DSD) 21
Abbildung 5: Streckenlayout (Quelle: DSD) 21
Abbildung 6: Versuchsleiterrating nach Szenario und Fahrzeug (n=24, eigene Darstellung) 33
Abbildung 7: Häufigkeitsverteilung der subjektiven Situationsbeurteilung in allen Szenarien nach Fahrzeug (Fzg.) 34
Abbildung 8: Häufigkeit der beobachteten Verhaltensweisen bei der Aktivierung der L2-Systeme nach Fahrzeug (n=24, eigene Darstellung) 43
Abbildung 9: Versuchsleiterrating der Systemaktivierung nach Fahrzeug (n=24, eigene Darstellung) 43
Abbildung 10: Häufigkeit der beobachteten Verhaltensweisen nach Szenario (n=24, eigene Darstellung) 44
Abbildung 11: Häufigkeit der beobachteten Verhaltensweisen nach Fahrzeug (n=24, eigene Darstellung) 44
Abbildung 12: Häufigkeitsverteilung der subjektiven Situationsbeurteilung Szenario (Sz) 45
Abbildung 13: Häufigkeitsverteilung Situationskritikalität pro Szenario und Fahrzeug 45

Literaturverzeichnis

[1] European Commission. *2021 road safety statistics: what is behind the figures?: Figure 1: Downward trend in the number of road traffic fatalities in the EU.* European Commission, Hg. https://transport.ec.europa.eu/background/2021-road-safety-statistics-what-behind-figures_en. 09.10.2024.

[2] U.S. Centers for Disease Control and Prevention CDC. *Distracted Driving*; 2024. https://www.cdc.gov/distracted-driving/about/index.html. 09.10.2024.

[3] National Highway Traffic Safety Administration NHTSA. *Distracted Driving 2019*. Washington DC. U.S. Department of Transportation, Hg; 2021. 09.10.2024.

[4] SAE International. *Taxonomy and Definitions for Terms Related to Driving Automation Systems for On-Road Motor Vehicles*. USA; 2021. J3016_202104.

[5] European Union. Regulation (EU) 2019/2144 of the European Parliament and of the Council.

[6] Euro NCAP. *Assisted Driving Highway & Interurban Assist Systems: Test & Assessment Protocol.* Version 2.1: Euro NCAP; 2024.

[7] Schweizerische Beratungsstelle für Unfallverhütung bfu, Kuratorium für Verkehrssicherheit KFV, Unfallforschung der Versicherer UDV. *Technische Aspekte des automatisierten Fahrens und Verkehrssicherheit: Gemeinsames Positionspapier*. Berlin: BFU; KFV; UDV; 2018. Unfallforschung kompakt Nr. 84.

[8] Kühn M, Bende J. *Automated cars on motorways: Active and passive safety aspects*: Unfallforschung der Versicherer UDV; 2020. Compact accident research No. 99.

[9] Schömig N, Wiedemann K, Julier R et al. *Methoden für die Bewertung der Mensch-Maschine-Interaktion beim teilautomatisierten Fahren*. Bremen: Fachverlag NW in der Carl Ed. Schünemann KG; 2021. Berichte der Bundesanstalt für Strassenwesen BASt, Fahrzeugtechnik F 141.

[10] Menzel T, Bagschik G, Maurer M. Scenarios for Development, Test and Validation of Automated Vehicles. In: *2018 IEEE Intelligent Vehicles Symposium (IV)*: IEEE; 2018. DOI:10.1109/ivs.2018.8500406.

[11] *CarMaker:* IPG Automotive GmbH. https://www.ipg-automotive.com/de/produkte-loesungen/software/carmaker/. 09.10.2024.

[12] Humanetics. *UFOpro (Ultra-Flat Overrunable Robot Platform)*; 2023. https://www.humaneticsgroup.com/products/active-safety-test-equipment/ufopro-ultra-flat-overrunable-robot-platform/ufopro-standard. 19.04.2024.

[13] Euro NCAP. *Global Vehicle Target Specification*; 2018. https://cdn.euroncap.com/media/39159/tb-025-global-vehicle-target-specification-for-euro-ncap-v10.pdf. 19.04.2024.

[14] Bakaba JE. Unfallanalyse von getöteten Radfahrenden auf Landstraßen. In: *Unfallforschung kompakt Nr.131 / Compact accident research Nr. 131*; UDV, 2024.

[15] Reagan IJ, Cicchino JB, Teoh ER et al. *Rinse and repeat: behavior change associated with using partial automation among three samples of drivers during a 4-week field trial*. Arlington, VA; 2024.

[16] Mueller, Alexandra S., Gershon P., Haus, Samantha H., et al. *Finding windows of opportunity: how drivers adapt to partial automation safeguards over time*. Arlington, VA; 2024.



GDV
Unfallforschung
der Versicherer

Gesamtverband der Deutschen Versicherungswirtschaft e. V.
Wilhelmstraße 43 / 43 G, 10117 Berlin
Postfach 08 02 64, 10002 Berlin
Tel. 030 2020-5000, Fax 030 2020-6000
www.gdv.de, berlin@gdv.de