GDV
Unfallforschung
der Versicherer

UNFALLFORSCHUNG KOMPAKT NR. 136

Assistierte Fahrfunktionen auf Landstraßen

Eignung und Entwicklung repräsentativer Testszenarien sowie Bewertung des Fahrverhaltens



GDV
Unfallforschung
der Versicherer

Gesamtverband der Deutschen Versicherungswirtschaft e. V.
Unfallforschung der Versicherer (UDV)
Wilhelmstraße 43 / 43 G, 10117 Berlin
Postfach 08 02 64, 10002 Berlin
Tel. 030 2020–5821, Fax 030 2020–6633
www.udv.de, www.gdv.de, unfallforschung@gdv.de

Redaktionsschluss
31.01.2025

Redaktion
Dr. Matthias Kühn, Jenö Bende (UDV)
Hatun Atasayar, Maria Scheibmayr
(Kuratorium für Verkehrssicherheit, KFV)
Markus Deublein, Jasmin Zimmermann
(Beratungsstelle für Unfallverhütung, bfu)

Realisation
zwoplus, Berlin

Bildnachweis
Titel: shutterstock / fotandy
Die Nutzungsrechte der übrigen Bilder und Grafiken in dieser Broschüre liegen bei der Unfallforschung der Versicherer.

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.

Inhalt

1. Einleitung 04

2. Methodik 06

2.1. Funktionalitätstests im Realverkehr 06
2.2. Entwicklung der Testszenarien 09
2.3. Funktionalitätstests auf dem Testgelände 10

3. Ergebnisse 11

3.1. Funktionalitätstests im Realverkehr 11
3.2. Entwicklung der Testszenarien 12
3.3. Funktionalitätstests auf dem Testgelände 14

4. Zentrale Erkenntnisse und Empfehlungen 15

4.1. Einsatz von L2-Fahrfunktionen auf Landstraßen und fahrzeugmodell-spezifische Aussagen 15
4.2. Ableitung und Umsetzung von Testszenarien für L2-Fahrfunktionen auf Landstraßen 17
4.3. Anwendbarkeit einer Methode zur Bewertung des Driver Engagements 18

5. Weiterer Forschungsbedarf 19

Literaturverzeichnis 20

© GDV 2025

1. Einleitung

Die vorliegende Unfallforschung kompakt basiert auf den Ergebnissen aus dem Forschungsbericht Nr. 100 der UDV: „Assistierte Fahrfunktionen auf Landstraßen – Eignung und Entwicklung repräsentativer Testszenarien sowie Bewertung des Fahrverhaltens“.

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 könnte dieses Problem weiter verschärfen. Mit dieser verringerten Einbindung ist die Gefahr verbunden, dass die 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 [4] 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 Eigenschaften besondere Anforderungen an diese Technologien. Es stellt sich daher die 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 (Advanced Driver Assistance Systems) zur Erhöhung der Verkehrssicherheit seit 2022 für Neufahrzeuge und seit 2024 für alle neu zugelassenen Fahrzeuge vorgeschrieben. Dies dürfte zu einer schnellen Marktdurchdringung von L2-Fahrfunktionen, die primär zur Erhöhung des Fahrkomforts entwickelt wurden, führen. Anders als die heute auf dem Markt befindlichen L2-Fahrfunktionen, die nach UNECE R79 zugelassen sind, sind bereits neue technische Regeln für weiterentwickelte Systeme in Kraft getreten (UNECE R171 (DCAS)). Aktuell bewertet die Verbrauchertestorganisation Euro NCAP L2-Fahrfunktionen nach einem Protokoll,

© GDV 2025

das neben technischen Anforderungen u. a. auch die Einbindung des Fahrers bzw. der Fahrerin in die Fahraufgabe beurteilt [6].

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 drei Forschungsinstituten, nämlich 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].

Die vorliegende Studie ist eine Zusammenarbeit zwischen dem Kuratorium für Verkehrssicherheit (KFV), der Beratungsstelle für Unfallverhütung (bfu) und der Unfallforschung der Versicherer (UDV). Das Konsortium hat ein Forschungsprojekt ausgeschrieben, um die Leistungsfähigkeit und Sicherheit heutiger L2-Fahrfunktionen auf Landstraßen sowie den Einfluss der Fahrfunktionen auf das Driver Engagement zu untersuchen.

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. Für die Funktionalitätstests wurden drei für Landstraßen repräsentative kritische Testszenarien entwickelt.

© GDV 2025

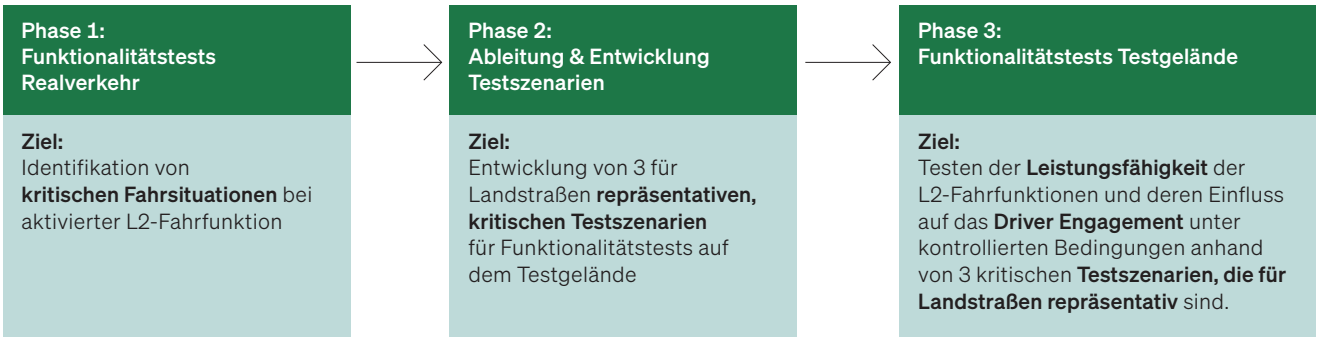
2. Methodik

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).

Das Projekt führte in drei Phasen von der Identifikation kritischer Fahrsituationen hin zur Entwicklung von Testszenarien

Abbildung 1 · Die drei Phasen des Forschungsprojekts



2.1. Funktionalitätstests im Realverkehr

Auswahl der Teststrecke

Um länderspezifische Unterschiede in Topografie, Fahrbahnmarkierungen und Verkehrszeichen zu berücksichtigen und somit länderübergreifend aussagekräftige Ergebnisse 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 die Eignung der Strecken für L2-Fahrfunktionen wurde bewertet.

© GDV 2025

Nur Strecken mit Fahrbahnen mit vollständiger Markierung wurden als gut geeignet eingestuft

Tabelle 1 · Kategorisierung der Streckenabschnitte

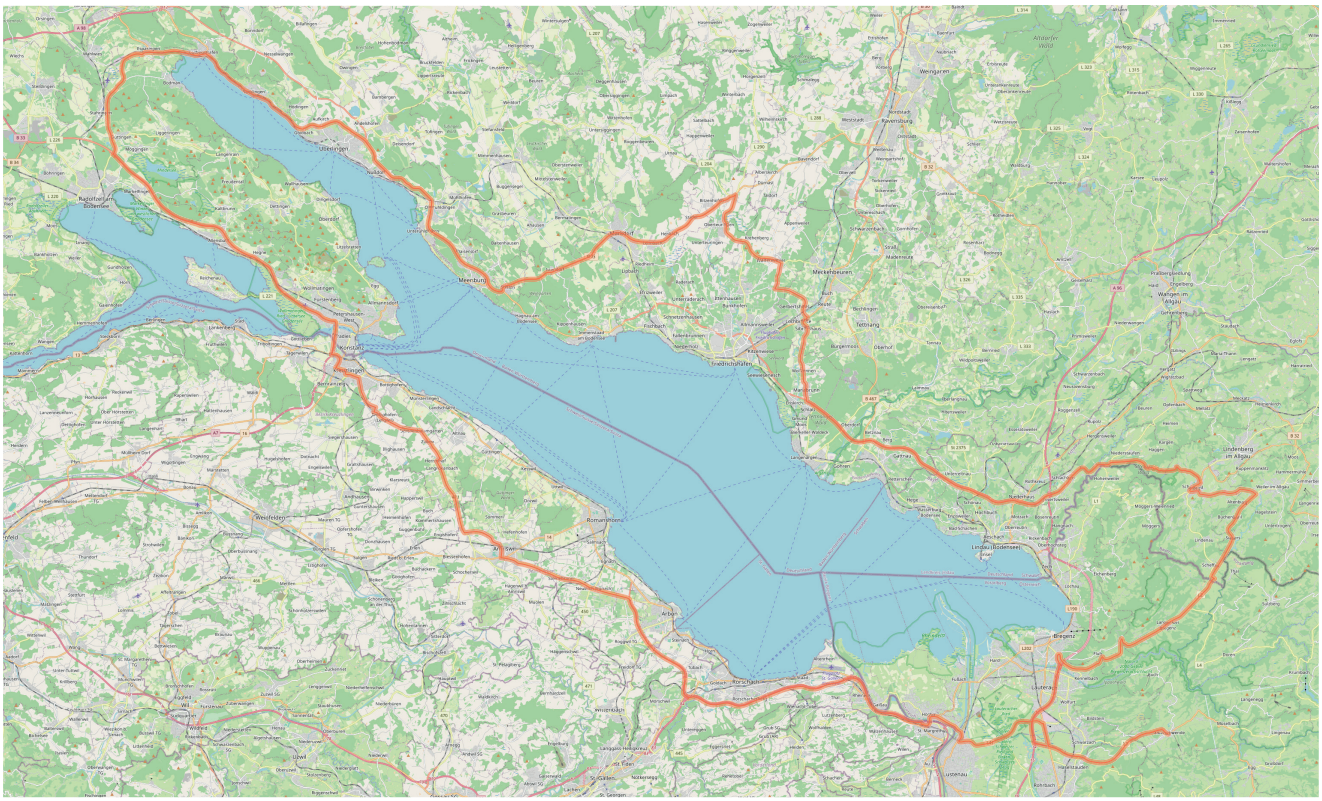
Kategorie	Beschreibung	Bewertung
1	Fahrbahnen mit vollständiger Markierung (Begrenzungslinie rechts, Trennung der Fahrtrichtungen durch Leitlinie links)	**Gut geeignet**
2	Fahrbahnen mit nur Begrenzungslinien rechts und links (ohne Leitlinie)	**Bedingt geeignet**
3	Fahrbahnen mit Leitlinie, aber ohne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

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.

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 (siehe Abbildung 2) wies auf 60,1 % der gesamten Strecke Abschnitte 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.

Der Rundkurs führte durch Österreich, Deutschland und die Schweiz

Abbildung 2 · Ausgewählte Teststrecke – Rundkurs um den Bodensee



© GDV 2025

Testfahrzeuge

Zur Gewährleistung der Vergleichbarkeit wurden für die Funktionalitätstests im Realverkehr Fahrzeuge mit L2-Fahrfunktionen ausgewählt, welche die in Tabelle 2 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), 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.

Moderne Assistenzsysteme gehörten zum Funktionsumfang der Testfahrzeuge

Tabelle 2 · Auswahl des Funktionsumfangs der Testfahrzeuge (Mindestanforderungen); fett markiert: Umfang der L2-Funktionen

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

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.

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.

© GDV 2025

3. **Ungewöhnliche Situationen:** Dies umfasst Situationen, in denen die Testfahrerin bzw. der Testfahrer anders gehandelt hätte, wenn die L2-Fahrfunktion nicht aktiv gewesen wäre.

Bewertung der Kritikalität eines Triggerereignisses durch den/die 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 des Forschungsberichtes Nr. 100 der UDV.

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

2.2. 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.

© GDV 2025

2.3. Funktionalitätstests auf dem Testgelände

Testgelände

Die Funktionalitätstests wurden auf dem DSD-Versuchsgelände in Hofkirchen, Österreich, durchgeführt (siehe Abbildung 3). Das Testgelände ist für Euro-NCAP-Versuche zur aktiven

Sicherheit zertifiziert und erfüllt damit die erforderlichen Standards hinsichtlich der Fahrbahnbeschaffenheit.

Teststrecke mit Zertifizierung nach Euro-NCAP-Vorgaben

Abbildung3 · Ausschnitt der Teststrecke mit verwendeten Fahrstreifenmarkierungen (Quelle: DSD)



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.

© GDV 2025

3. Ergebnisse

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

3.1. 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 bzw. 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 Nutzer/-innenfreundlichkeit 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.

© GDV 2025

3.2. 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 und typischerweise im Realverkehr auftreten. Tabelle 3 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).

Die häufigsten Triggerereignisse

Tabelle 3 · 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	17,30 %	5,4
2	Single Driver Left / Right Roadside Departure Curve		24	17,30 %	4,7
3	Speed Not Adapted to Road Features		19	13,70 %	5,1
4	Deceleration of System In A Trigger Event		12	8,60 %	3,6
5	Removal Speed Limit Not Detected, Set Speed Too Low		12	8,60 %	1,6
6	Speed Limit Sign Not Detected, Change of Set Speed Too Late		10	7,20 %	3,4
7	Same Trafficway/ Opposite Direction Forward Impact-Head On Road Straight		8	5,80 %	3,6
8	Free Travel Trigger Event, Overruling/ Self Deactivation		6	4,30 %	2,3
9	Target Vehicle Leaves Traffic Way, Ego Vehicle Brakes Inappropriately		5	3,60 %	2,8
10	Car-to-Car Rear Stationary CCRs		3	2,20 %	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 Tabelle3 genannten) hinsichtlich Umsetzbarkeit auf der Teststrecke, Häufigkeit im Realverkehr, Kritikalität und Durchführbarkeit des Bewältigungsratings bewertet wurden.

Tabelle 424 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 3. 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

© GDV 2025

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 [11].

Die funktionalen Szenarien wurden aus den häufigsten und als am sicherheitskritischsten bewerteten Triggerereignissen abgeleitet

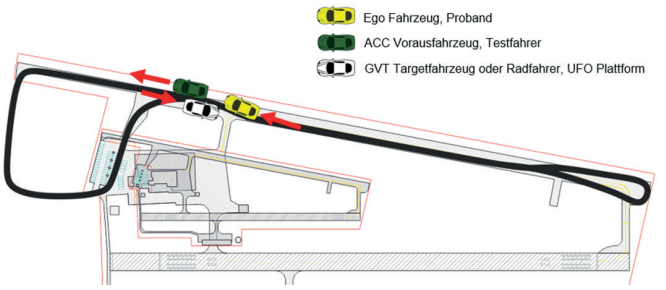
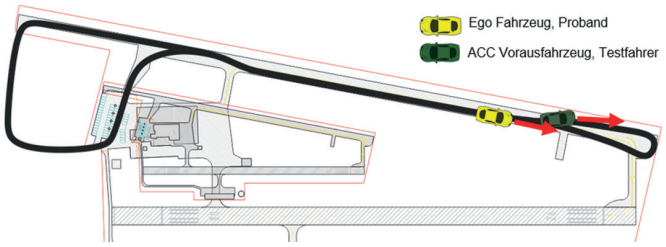
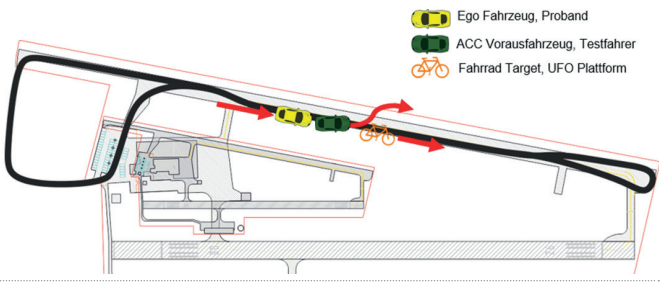
Tabelle 4 · Ausgewählte funktionale Szenarien für die Funktionalitätstests auf der Teststrecke

Szenario	**Beschreibung** (englische Originalbezeichnung)	**Beschreibung** (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 424 wurden gemäß Methodik durch die Festlegung von Parametern in logische Szenarien und anschließend in konkrete Szenarien überführt. In Tabelle5 sind die drei konkreten Szenarien dargestellt und beschrieben.

Das Verlassen des Fahrstreifens in einer Kurve ist ein wesentliches Merkmal in den Testszenarien

Tabelle 5 · 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, assis-tierter 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 Treff-punkt 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 Fahr-funktion, 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.	

© GDV 2025

3.3. 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 in Bezug auf 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 und VLR)

Bewertung der Systemaktivierung (VLA)

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 im Forschungsbericht Nr. 100 der UDV zu finden).

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.

© GDV 2025

4. Zentrale Erkenntnisse und Empfehlungen

4.1. 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 Fahrer/-innenzustandsüberwachung 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 Fahrer/-innenzustandsüberwachung in puncto Blick- und Kopfbewegungen wäre auch für Fahrzeuge mit L2-Fahrfunktion empfehlenswert.

© GDV 2025

- **Nur moderate Lenkunterstützung durch die Fahrfunktion**
  Während der Funktionalitätstests auf dem Testgelände wurden Auslegungsunterschiede zwischen den Fahrzeugen in Bezug auf die Fahrer/-inneneinbindung 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.

- **Notwendigkeit von Systemwarnungen bei Erreichen der Systemgrenzen**
  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.

© GDV 2025

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.

4.2. 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):

- **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. verwendet.

© GDV 2025

4.3. 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 et al. 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.

© GDV 2025

5. 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 die Fahrer/-innen 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.

Ein weiteres wichtiges Forschungsfeld ist die Untersuchung der 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 [12,13]. Inwieweit dieses Verhalten zu mehr Unfällen führt, muss in diesem Zusammenhang ebenfalls geklärt werden.

© GDV 2025

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. https://doi.org/10.1109/IVS.2018.8500406.

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

[12] **Reagan I.J., Cicchino J.B., Teoh E.R. 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.

[13] **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

© GDV 2025