

Evaluierung des Bedarfs einer Funktions- und Wirkungsprüfung für Fahrerassistenzsysteme (ADAS)

im Rahmen der Hauptuntersuchung auf
Grundlage einer Meta-Analyse



Oktober 2026

Beteiligte Organisationen

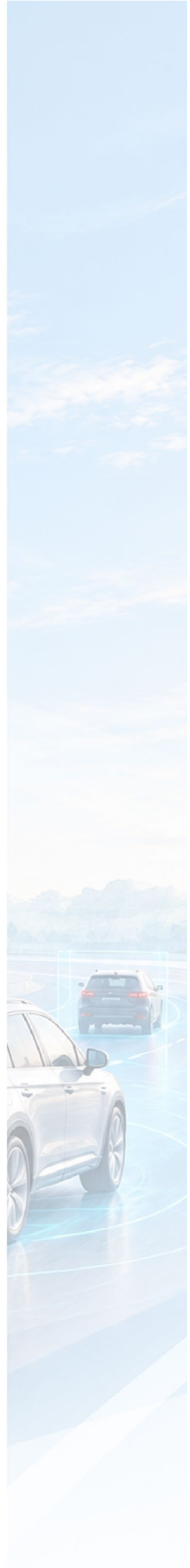
TÜV Rheinland Kraftfahrt GmbH, TÜV SÜD Auto Service GmbH,
TÜV Hanse GmbH, TÜV SÜD Auto Partner GmbH,
GTÜ Gesellschaft für technische Überwachung mbH,
FSP Fahrzeug-Sicherheitsprüfung GmbH & Co. KG,
TÜV Technische Überwachung Hessen GmbH,
TÜV Saarland automobil GmbH,
Verkehrssicherheit und Überwachung von Kraftfahrzeugen (VÜK) GmbH,
TÜV NORD Mobilität GmbH & Co. KG,
Kraftfahrzeug-Überwachungsorganisation freiberuflicher KFZ-Sachverständiger e.V. (KÜS),
TÜV Thüringen e. V., DEKRA Automobil GmbH, DEKRA SE,
FSD Fahrzeugsystemdaten GmbH und TÜV-Verband e. V.

Kontakt

FSD Fahrzeugsystemdaten GmbH
Wintergartenstraße 4
01307 Dresden

Presse und Kommunikation

+49 351 65 28 88-0
kommunikation@fsd-web.de

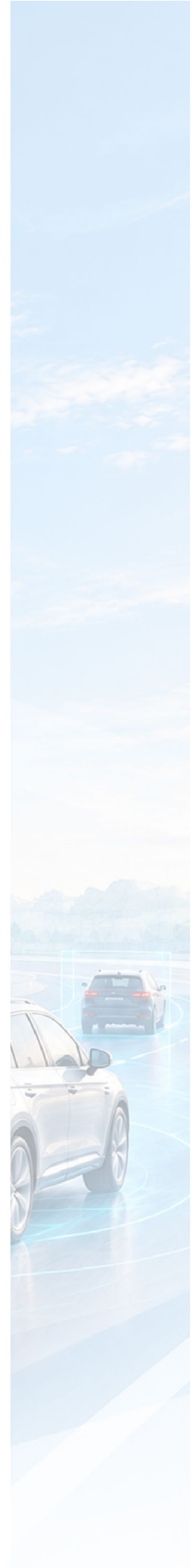


Inhalt

1	Executive Summary	4
2	Beitrag von Fahrerassistenzsystemen für die Verkehrssicherheit.....	5
3	Ableitung des erweiterten Prüfbedarfs auf Grundlage bekannter Fehlerfälle.....	9
4	Prüfansätze für eine Funktions- und Wirkungsprüfung im Rahmen der Hauptuntersuchung.....	15
5	Erkenntnisse, Forschungsbedarf und notwendige Entwicklung	17
6	Literaturverzeichnis	19

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Anzahl der Todesfälle im Verkehr EU (grün), EU-Ziel für 2030.....	5
Abbildung 2: Potenzielle Reduktion von Auffahrunfällen durch ADAS	7
Abbildung 3: Sensordejustagen bei Fahrzeugen	9
Abbildung 4: Fahrzeug kollidiert ungebremst mit Fahrzeugtarget.....	10
Abbildung 5: Funktionseinbußen durch Verstellung der Umfeldsensoren	10
Abbildung 6: Mangelhafter Aufbau zur Kalibrierung der Frontkamera	12
Abbildung 7: Mögliche Anzahl von Fahrzeugen mit Beeinträchtigungen des LKA im Jahr 2029	12
Abbildung 8: HU-Adapter	15
Abbildung 9: Ansätze für eine Funktions- und Wirkungsprüfung von ADAS	16



1 Executive Summary

Individuelle Mobilität ist ein zentraler Aspekt gesellschaftlicher Teilhabe. Der Großteil der Fortbewegung wird dabei nach wie vor mit Hilfe manuell geführter Personenkraftwagen erbracht. Trotz vieler Vorteile dieser Mobilitätsform resultieren daraus auch Risiken für die Verkehrssicherheit. Jährlich verzeichnen die Mitgliedstaaten der Europäischen Union circa 20.000 Verkehrstote sowie eine weitaus höhere Anzahl an Schwerverletzten.

Um die Vision einer unfallfreien Mobilität zu erreichen, hat der europäische Gesetzgeber die Implementierung sicherheitsrelevanter Fahrerassistenzsysteme (ADAS) für Neufahrzeuge verpflichtend vorgeschrieben. Diese Systeme haben ein erhebliches Potential die Verkehrssicherheit signifikant zu verbessern. Wissenschaftliche Analysen belegen, dass der Einsatz von Fahrerassistenzsystemen die Zahl der im Verkehr getöteten und verletzten Personen deutlich reduzieren kann. Mit zunehmender Marktdurchdringung der Systeme und durch weitere Steigerung der Systemperformance sind in den kommenden Jahren überproportional Verbesserungen der Verkehrssicherheit zu erwarten.

Um das volle Sicherheitspotential der ADAS im realen Betrieb der Fahrzeuge über die gesamte Lebensdauer zu nutzen, ist es unerlässlich, dass diese wie vorgesehen funktionieren. Unbemerkte Funktionseinbußen durch Beschädigungen, Alterung und Verschleiß, aber auch durch nicht, oder nicht korrekt ausgeführte Reparaturen oder mangelhafte Kalibrierungen reduzieren die Wirksamkeit der Systeme im Betrieb. Auch wenn heute die ADAS-Fehler im Feld nur schwer exakt zu quantifizieren sind, zeigen Untersuchungen und Analysen, dass eine relevante Anzahl an Fahrzeugen nicht wie vorgesehen funktioniert.

Der Einsatz von ADAS führt zu einer erheblichen Steigerung der Komplexität der Fahrzeuge, die hohe Anforderungen an Werkstätten und Versicherer, aber auch an die periodische Überwachung im Rahmen der Hauptuntersuchung (HU) stellt. Bereits heute werden Ausführung und Zustand der Systeme manuell und visuell sowie elektronisch überprüft. Auf diese Weise lassen sich zahlreiche Defekte identifizieren und Sicherheitsrisiken minimieren, die Detektionsrate aktueller Prüfverfahren ist jedoch begrenzt. Um die Prüftiefe maßgeblich zu steigern und die Funktionssicherheit moderner Fahrzeuge nachhaltig zu gewährleisten, ist eine Erweiterung der Hauptuntersuchung um eine dezidierte Funktions- und Wirkungsprüfung unumgänglich.

Die vorliegende Ausarbeitung zeigt den Bedarf einer Erweiterung der Hauptuntersuchung um eine Funktions- und Wirkungsprüfung von Fahrerassistenzsystemen (ADAS) auf. Grundlage der Argumentation ist eine Meta-Analyse vorhandener Untersuchungen und Studien, wobei detailliert auf das Sicherheitspotential von Fahrerassistenzsystemen, bekannte Fehlerfälle im Feld und mögliche Prüfansätze eingegangen wird.



2 Beitrag von Fahrerassistenzsystemen für die Verkehrssicherheit

Verkehrssicherheitsziele

Der überwiegende Teil der individuellen Mobilität in Deutschland und vielen anderen Ländern wird gegenwärtig durch manuell geführte PKW abgedeckt. Trotz einer Reihe neuer Mobilitätslösungen und -konzepte, die besonders im urbanen Raum für höhere Diversität im Verkehr sorgen, bleibt der PKW im Bereich der Personenbeförderung das wichtigste Verkehrsmittel [1]. In den vergangenen Jahren haben verschiedene Entwicklungstrends im Bereich der Fahrzeugantriebe und der Ausstattung mit Fahrerassistenzsystemen (engl. Advanced Driver Assistance System, ADAS) die Fahrzeuge nachhaltig verändert. Neben Verbesserungen im Bereich des Umwelt- und Klimaschutzes steht dabei im Besonderen die Steigerung der Verkehrssicherheit im Vordergrund.

Mit dem „Pakt für Verkehrssicherheit“ hat Deutschland das zentrale Ziel, die Zahl der Verkehrstoten bis zum Jahr 2030 gegenüber 2021 um 40 Prozent zu senken. Zusätzlich soll die Anzahl der Schwerverletzten im Straßenverkehr signifikant reduziert werden [2].

Die europäischen Verkehrssicherheitsziele sehen vor, dass die Zahl der im Verkehr getöteten Personen bis 2030 in Bezug auf die Zahl von 2019 halbiert werden sollen. Bis 2050 soll es möglichst keine Verkehrstoten mehr geben.

Auch die Vereinten Nationen bekräftigten in der „Stockholmer Erklärung“ das Ziel der Vision Zero, wonach die Zahl der Toten und Schwerverletzten im Straßenverkehr bis 2050 auf null reduziert werden soll. In konkreten Handlungsfeldern werden Maßnahmen wie die Investitionen in sichere Infrastruktur und die Förderung sicherer Fahrzeugtechnologien empfohlen [3].

Obwohl aus Sicht des europäischen Rechnungshofes das vollständige Erreichen dieser Ziele unwahrscheinlich erscheint, werden ADAS in den kommenden Jahren einen zunehmenden Beitrag zur Vermeidung von Verkehrstoten und Schwerverletzten leisten [4].

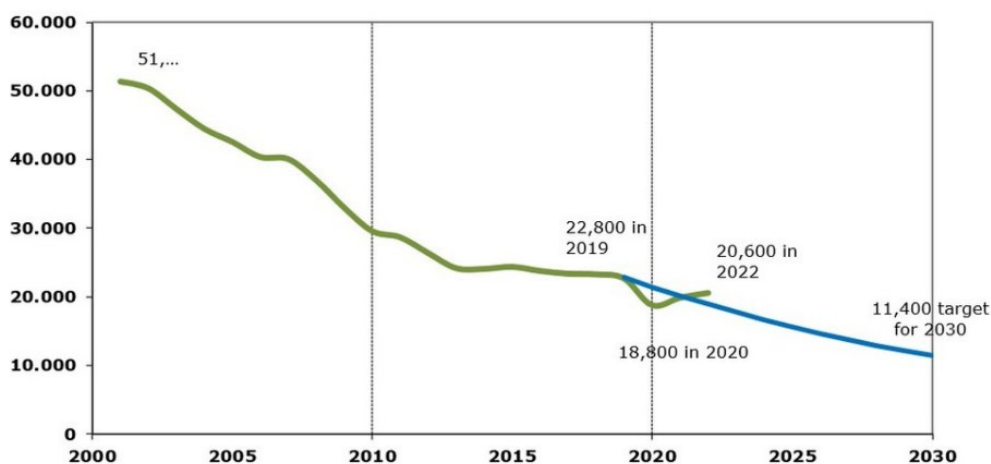


Abbildung 1: Anzahl der Todesfälle im Verkehr EU (grün), EU-Ziel für 2030 [5]

Mit der Verordnung EU 2019/2144 (General Safety Regulation II, GSR II) wurden wesentliche sicherheitsrelevante Fahrerassistenzsysteme verpflichtend ab 07/2022 für neu homologierte Fahrzeuge und ab 07/2024 für alle neu zugelassenen Fahrzeuge vorgeschrieben [6]. Bis zum Jahr 2030 ist mit einer Marktdurchdringung von ca. 50 % bei diesen Systemen zu rechnen [7]. Weiterhin werden in den zugehörigen Verordnungen und Regelungen Mindestanforderungen an diese Systeme definiert (z.B.

UNECE R 152 [8]). Es ist davon auszugehen, dass die realen Umsetzungen der Systeme diese Mindestanforderungen teilweise übertreffen.

Relevante Systeme im Kontext dieser Analyse sind:

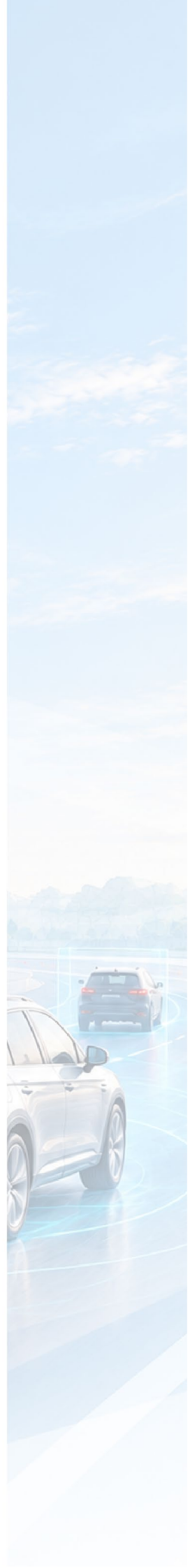
- Notbremsassistentensystem (AEB)
- Intelligenter Geschwindigkeitsassistent (ISA)
- Notfall-Spurhalteassistent (ELK)
- Rückfahrassistent

Obwohl sich die Verkehrssicherheit in der europäischen Union in den vergangenen Jahren aufgrund einer Reihe von Maßnahmen und Entwicklungen verbessert hat, sterben aktuell jährlich ca. 20.000 Menschen in Folge von Verkehrsunfällen [9]. Die Zahl der Schwerverletzten beläuft sich Schätzungen nach auf über 100.000 Menschen [10]. In Deutschland sind im Jahr 2025 2 814 Menschen bei Unfällen im Straßenverkehr ums Leben gekommen. 48.400 Menschen wurden schwerverletzt [11]. Das Potential von ADAS zur Reduzierung dieser Zahlen ist hoch, besonders, wenn diese in ihrer Funktion auch die Interaktion mit vulnerablen Verkehrsteilnehmern berücksichtigen. In [12] wird abgeschätzt, dass über einen Zeitraum von 15 Jahren ab verpflichtender Einführung etwa 25.000 Verkehrstote und 140.000 Schwerverletzte weniger zu verzeichnen sein werden als ohne diese Systeme. Dabei ist zu berücksichtigen, dass die Marktdurchdringung über diesen Zeitraum immer weiter ansteigt und damit die Reduktion der Zahl der Verkehrstoten und Schwerverletzten über diesen Zeitraum nicht linear ist, sondern überproportional zunimmt.

Wirksamkeit von ADAS

Fahrerassistenzsysteme werden im Rahmen ihrer Entwicklung unter definierten Bedingungen mit spezifischen Szenarien simulativ und mit Hilfe von realen Fahrversuchen entwickelt und abgesichert. Im Rahmen der Homologation werden die Eigenschaften der Systeme bezüglich der Einhaltung gesetzlicher Mindestanforderungen und Standards geprüft. Da die Bedingungen im realen Straßenverkehr stark variieren können, ist die reale Wirksamkeit der Systeme niedriger als die theoretisch mögliche. Ebenfalls muss berücksichtigt werden, dass einige Systeme den Fahrer warnen, aber nicht in die Steuerung des Fahrzeuges eingreifen. Diese Warnungen, beispielsweise eines Rückfahrassistenten, können übersehen oder ignoriert werden, sodass sich eine reduzierte Wirksamkeit ergibt. Trotz dieser Einschränkungen ergeben sich bereits heute durch die ADAS zum Teil erhebliche Reduktionen von Verkehrsunfällen und den damit verbundenen Personenschäden.

In [13] werden für AEB-Systeme eine Unfallreduktion von 50% bei Front zu Heck Unfällen angegeben (56% bei Unfällen mit Verletzten). Weitere Quellen bescheinigen AEB-Systemen eine Wirksamkeit von 49% [14] bzw. 45% (58% bei Unfällen mit Verletzten) [15], ebenfalls für Front zu Heck Unfälle. Es ist zu beachten, dass diesen Angaben nicht die Gesamtheit aller Unfälle zugrunde liegt. Durch Reduktion der Unfalltypen und -bedingungen wird hierdurch nur bedingt die Auswirkung auf das reale Unfallgeschehen abgebildet, jedoch die Eignung der Systeme für die Unfallreduktion nachgewiesen. Auch wenn aufgrund der Spezifika des US-amerikanischen Verkehrs, die diesen Daten zu Grunde liegen, eine quantitative Übertragung auf andere Länder nur eingeschränkt möglich ist, sind die qualitativen Zusammenhänge auch auf andere Länder und Regionen übertragbar. Eine Untersuchung aus UK [16] bescheinigt AEB-Systemen die größte Wirksamkeit unter den Assistenzsystemen mit signifikanter Unfallreduktion in den Unfallkategorien Kreuzung (28%), Auffahrunfälle (27,7%) und Unfällen mit Fußgängern (28,4%), bei einer vollständigen Ausstattung der gesamten Fahrzeugflotte mit diesen Systemen.



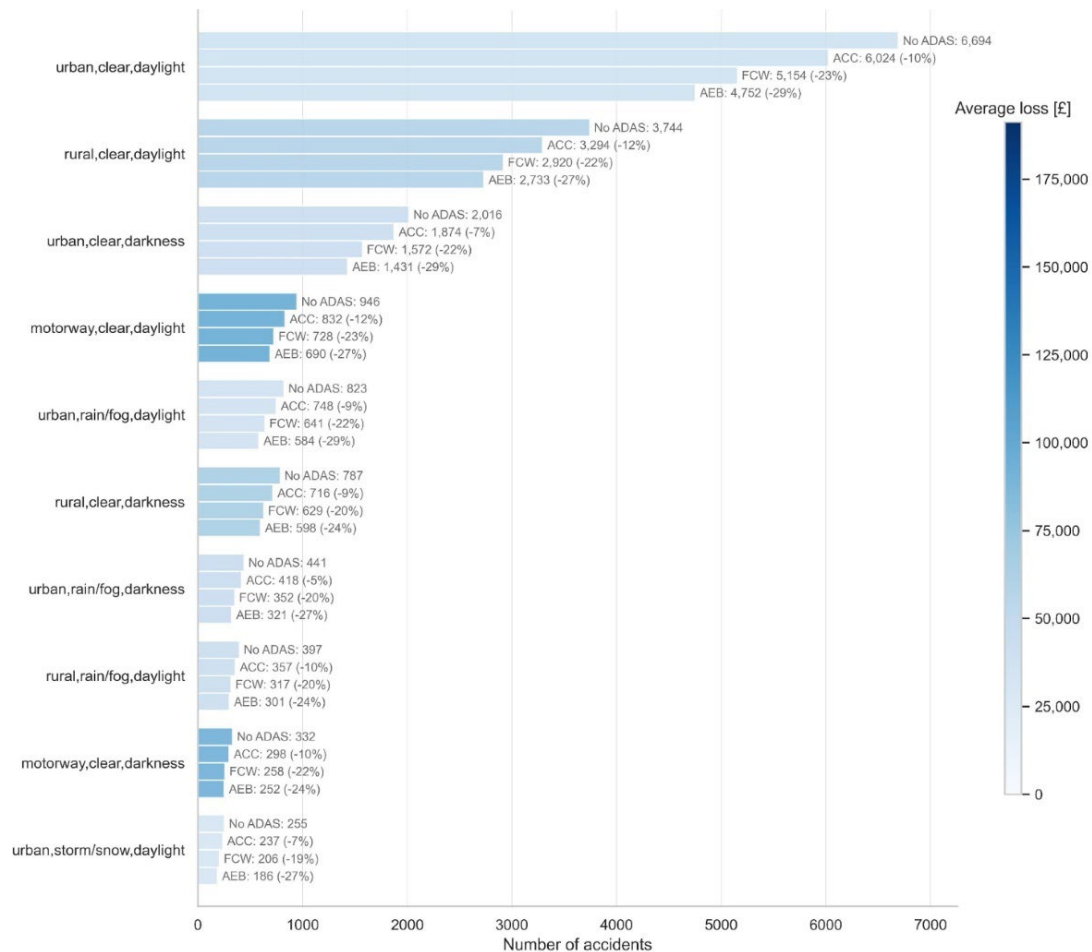
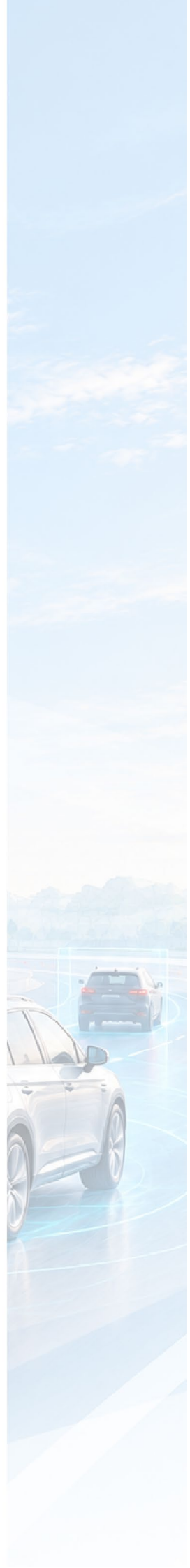


Abbildung 2: Potenzielle Reduktion von Auffahrunfällen durch ADAS, 10 häufigste Unfallsituationen [16]

Das Potential zur Vermeidung von Unfällen durch Systeme zur Beobachtung des rückwärtigen Verkehrs und zur Verhinderung des Spurverlassens wird in den vorliegenden Studien geringer ermittelt. [13] gibt 21% Wirksamkeit für einen Spurverlassenswarner an, bezogen auf Alleinunfall mit geschädigten Personen. Die gleiche Untersuchung ermittelt bei Vorhandensein eines Totwinkelwarners eine Reduktion von 23% für Spurwechselunfälle mit Geschädigten. Hierbei ist ebenfalls zu beachten, dass bei Betrachtung aller Verkehrsunfälle die tatsächliche Wirksamkeit deutlich geringer ausfällt.

Funktionsweise von ADAS über die Fahrzeuglebensdauer

Eine wesentliche Grundvoraussetzung für die korrekte Funktionsweise der ADAS ist die Umfeldwahrnehmung durch dafür im Fahrzeug verbaute Sensoren. Nur durch eine bestimmungsgemäße Funktion der Systeme kann das volle Potential zur Unfallvermeidung und Reduktion der Unfallfolgen ausgeschöpft werden. Fahrerassistenzsysteme können, wie jedes andere System im Fahrzeug, durch Beschädigungen, unsachgemäße Reparaturen, Manipulationen oder Alterung in ihrer Funktion degradieren. Dabei können auch Zustände auftreten, die bereits zu einer deutlichen Funktionsreduktion führen, jedoch nicht von der Fahrzeugdiagnose als Fehler erkannt werden und dem Fahrer nicht angezeigt werden [17], [18], [19], [20], [21], [22].



Anhand der im Rahmen dieser Metastudie ausgewerteten Untersuchungen und Studien lassen sich mögliche Funktionsreduktionen von ADAS im Betrieb vielfältig nachweisen. Die betrachteten Quellen lassen allerdings keinen Rückschluss auf die Gesamtheit der im Betrieb möglichen Fehler und deren Häufigkeit im Feld zu. Auch die Nutzung von Unfalldaten für die indirekte Ableitung der Art und Häufigkeit von ADAS-Fehlern ist begrenzt, da aufgrund der Art und Weise der Erfassung dieser Daten eine Aussage zu Fehlern der ADAS als Unfallursache nicht getroffen werden kann. In [23] wurde auf Grundlage bekannter Unfallkonstellationen simulativ das Verkehrssicherheitspotential von AEB-Systemen ermittelt. Aufgrund der fehlenden tatsächlichen Häufigkeit von Fehlerfällen im Feld bleibt die quantitative Aussage dieser Art von Analysen in ihrer Konfidenz begrenzt, auch wenn der methodische Ansatz korrekt ist.

Fahrerassistenzsysteme steigern die Verkehrssicherheit und sind ein wichtiges Werkzeug zur Erreichung der verkehrspolitischen Ziele Deutschlands und der Europäischen Union. Im Betrieb können Funktionseinbußen auftreten, die dem Fahrer oftmals unbekannt bleiben und auch mit den aktuellen Prüfmethoden der Hauptuntersuchung nur teilweise erkannt werden können.

Mögliche Fehlerfälle und zugehörige Häufigkeiten im Feld der Kraftfahrzeuge sind mit den aktuell verfügbaren Quellen nicht exakt ermittelbar. Im folgenden Kapitel wird daher durch Detailanalyse bekannter Fehlerfälle und Auffälligkeiten nachgewiesen, dass eine erhebliche Anzahl von Fahrzeugen mit eingeschränkter ADAS-Funktionalität im Betrieb zu erwarten ist.



3 Ableitung des erweiterten Prüfbedarfs auf Grundlage bekannter Fehlerfälle

Im folgenden Kapitel wird durch Detailanalyse vorhandener Studien, Untersuchungen und weiterer Quellen ein qualitativer Überblick über Fehlermöglichkeiten und deren Auswirkungen gegeben.

Studienlage zu Funktionsbeeinträchtigung der ADAS durch dejustierte Umfeldsensorik

Eine wesentliche Rolle im Kontext der Funktionsbeeinträchtigung von ADAS spielt die mechanische Verstellung der für die Funktion notwendigen Sensoren zur korrekten Umfelderkennung. Diese Verstellung kann von der Eigendiagnose erkannt und die Funktionsbeeinträchtigung dem Fahrer ab einem fahrzeug- und systemspezifischen Grenzwert mitgeteilt werden. Eine Bemänglung im Rahmen der Hauptuntersuchung wird durch die Verwendung der Daten der Eigendiagnose möglich. Befindet sich die Verstellung unterhalb der sogenannten Dejustagegrenze wird die Verstellung vom System toleriert. Vorhandene Untersuchungen zeigen allerdings, dass bereits bei einer Verstellung innerhalb des Toleranzbereiches eine zum Teil erhebliche Verschlechterung der Funktion auftritt.

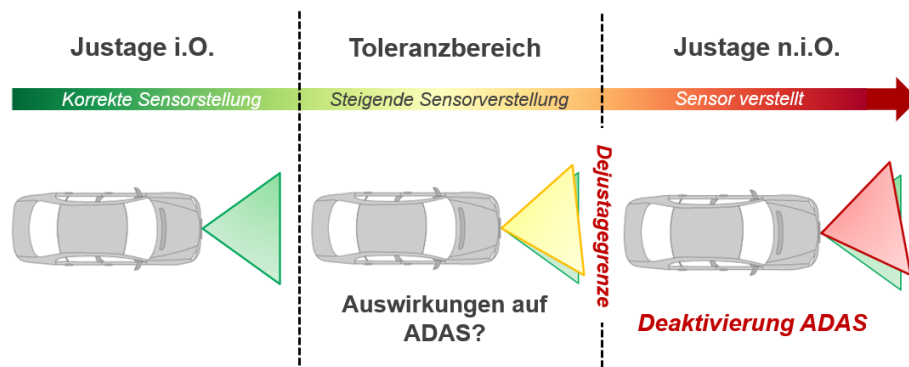


Abbildung 3: Sensordejustagen bei Fahrzeugen [24]

In [19] untersuchte DEKRA an drei Versuchsfahrzeugen die Auswirkungen einer Kameradejustage auf die Funktionsfähigkeit des AEB. Weiterhin wird der Einfluss der Verstellung des Heckradars, so wie sie nach einem Parkrempler auftreten kann, auf die Warnungen des Totwinkelassistenten betrachtet. In beiden Fällen traten erhebliche Funktionseinschränkungen auf, obwohl die Fehler nicht von der Eigendiagnose als solche erkannt wurden. In den Szenarien zur AEB-Untersuchung kam es zu Kollisionen mit Versuchstargets, die im korrekt kalibrierten Zustand vom System vermieden werden konnten. Die Warnungen des Totwinkelassistenten erfolgten ebenfalls verzögert, was zu erhöhtem Sicherheitsrisiko führte. Bereits im Vorfeld dieser Untersuchung wurden im Rahmen des Forschungsprojektes ErVast unter Beteiligung von DEKRA analoge Auswirkungen auf den AEB eines Versuchsfahrzeuges durch Manipulation der Frontkamera ermittelt [21]. Die Verstellwinkel der Frontkamera wurden hierbei im Rahmen einer dynamischen Kalibrierung vom Fahrzeug korrekt erkannt. Da sich diese jedoch innerhalb der Toleranzgrenzen befanden, wurde von der Eigendiagnose kein Fehler gesetzt.

In einem White Paper von Ascential Technologies [18] wird der Einfluss von schlechter bzw. fehlerhafter Kalibrierung von Frontkamera und Frontradar an einem Nissan Altima aus dem Jahr 2024 untersucht. Die Ergebnisse zeigen eine deutliche Funktionsverschlechterung in Form von Kollisionen mit den verwendeten Targets, die in den Tests mit korrekter Kalibrierung verhindert werden konnten. Weiterhin zeigten sich auch verspätete Warnungen bzw. Systemausfälle des Spurverlassenswarners aufgrund fehlerhafter oder fehlender Kalibrierung der Frontkamera.



Abbildung 4: Fahrzeug kollidiert ungebremst mit Fahrzeugtarget (Sensoren verstellt, fehlende Kalibrierung), links; Fahrzeug kollidiert mit Fußgängerdummy, (Ist-Zustand nach 12.900 Meilen, Kollision wurde nach Kalibrierung vermieden), rechts [18]

In [24] stellen die FSD Fahrzeugsystemdaten GmbH und DEKRA eine umfangreiche Untersuchung des Einflusses der Verstellung von Radar und Kamerasensoren bei drei Versuchsfahrzeugen vor. Im Rahmen der Untersuchung wurden sowohl front- als auch heckseitige Szenarien betrachtet, in denen die Sensoren einzeln aber auch kombiniert verstellt wurden. Für die Szenarien, die sich zum Teil an NCAP orientieren, kamen verschiedene Fahrzeug- und Personen-Dummys zum Einsatz. Um eine fundierte Aussage über die Funktionalität der ADAS zu ermitteln, wurden die Versuche in niedrigem und mittleren Geschwindigkeitsbereichen gefahren.

Die Ergebnisse zeigen messbare, negative Auswirkungen auf das Systemverhalten der betrachteten ADAS. Im Vergleich mit Messfahrten ohne Sensorverstellung zeigten sich fahrzeugspezifisch Kollisionen (ACC und AEB), verringerte Time to Collision (AEB), verändertes Regelverhalten (ACC), verspätete Warnzeitpunkte und ausbleibende Warnungen (AEB, BSM und SEW) sowie fehlerhafte Warnkaskaden bzw. Lenkkorrekturen (LKA). Alle Verstellungen und Manipulationen der Fahrzeuge wurden innerhalb der Toleranz der Eigendiagnose der Fahrzeuge umgesetzt. Zudem wurde eine Einfahroutine zur „Selbstkalibrierung“ des Systems vor der Versuchsdurchführung durchgeführt. Eine Information des Fahrers über mögliche Fehlfunktionen der ADAS erfolgte nicht. Abbildung 5 veranschaulicht die Versuchsergebnisse für eines der untersuchten Fahrzeuge.

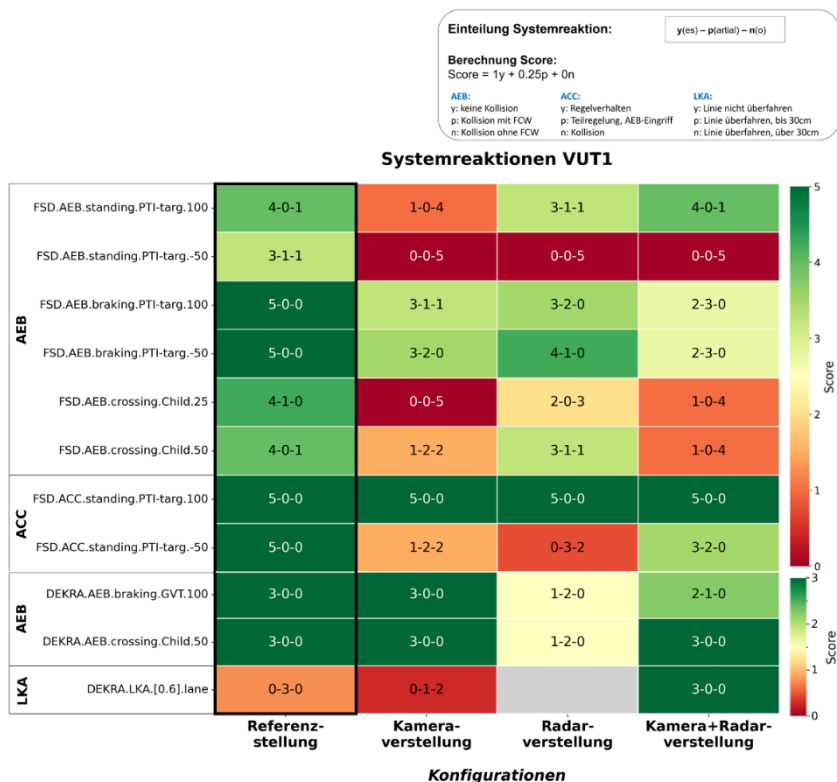


Abbildung 5: Funktionseinbußen durch Verstellung der Umfellsensoren nahe der Dejustagegrenze [24]

Ähnliche Effekte wie durch die Verstellung der Sensoren können sich auch durch Änderungen am Fahrzeug bzw. des Fahrwerkes ergeben. In [25] untersuchte TRL den Einfluss der Veränderung der Fahrzeughöhe durch Höher- oder Tieferlegung auf die ADAS-Funktionalität. Die Studie kommt zu dem Ergebnis, dass auch die Veränderung der Fahrzeughöhe einen fahrzeug- und sensorspezifischen Einfluss auf die Funktionalität von ADAS hat. Durch die Veränderung der Höhe der Sensoren wird auch die erkannte Entfernung vorausfahrender Objekte beeinflusst. Eine Kalibrierung nach Anpassung des Fahrwerks ist notwendig, um die korrekte Funktionsweise der ADAS zu gewährleisten.

Funktionsbeeinträchtigung der ADAS durch fehlerhafte Reparatur und fehlerhafte Kalibrierung

Infolge eines Unfalls oder Parkrempfers kann ein Sensor in seiner Ausrichtung verstellt sein. Dies kann insbesondere bei Radarsensoren auftreten, die sich verdeckt hinter Stoßfängern oder Radomen befinden können, teilweise aber auch direkt im Stoßfänger verbaut sind. Beeinflussungen der Radare können jedoch auch durch die Reparatur selbst verursacht werden. In [20] wird eine Untersuchung des Einflusses von Reparaturen an Heckstoßstangen im Bereich des Radardurchstrahlbereiches vorgestellt. Durch das Auftragen von Spachtel und das anschließende Lackieren in diesem Bereich kann es zur Erkennung nicht vorhandener Objekte, sporadischen Fehlern des Systems und reduzierten Erkennungsreichweiten kommen. Weiterhin ist es möglich, dass Objekte gar nicht erkannt werden. Die Durchstrahleigenschaften von vor Sensoren angebrachten Objekten müssen bereits bei der Entwicklung der Fahrzeuge berücksichtigt werden. Die Lackschicht auf Stoßfängern kann beispielsweise durch Resonanzeffekte bereits mehrere dB betragen, ohne dass ein reparierter Unfallschaden vorliegt [26]. Auch für die Auslegung von Radomen bestehen Vorgaben hinsichtlich ihrer maximalen Dämpfung, um die Funktionalitäten der ADAS nicht negativ zu beeinflussen [27].

Bei frontseitig verbauten Kameras zur Detektion statischer und dynamischer Verkehrsobjekte bietet der Tausch der Frontscheibe eine Fehleranfälligkeit durch fehlerhaften Einbau der Scheibe oder der Kamera, sowie fehlerhafte oder ganz fehlende Kalibrierung im Anschluss an die Reparatur. In [28] wird darüber hinaus die Vermutung geäußert, dass ein relevanter Prozentsatz an Sensoren bereits werksseitig nicht korrekt kalibriert wurden.

Im Jahr 2023 wurden etwa 2 Millionen Glasbruchschäden an Fahrzeugen in Deutschland über die Kasko-versicherungen reguliert [29]. Die tatsächliche Zahl der getauschten Scheiben muss noch deutlich höher sein, da nicht jeder Scheibentausch über die Versicherung reguliert wird. Gleichzeitig gibt es Hinweise darauf, dass nicht in jedem Fall eine korrekte Kalibrierung der Frontkamera durchgeführt wurde, wie es durch Herstellervorgaben eigentlich vorgeschrieben ist.

In einem Artikel des „kfz-Betrieb“ wird über mangelhafte Kalibrierung berichtet [30]. Es wird beispielhaft ausgeführt, dass aufgrund fehlender Standards bei der Dokumentation von Kalibrierungen bei Prüfmitteln und Prüfbedingungen teilweise stark von den Herstellervorgaben abgewichen wird. In einem weiteren Artikel des „kfz-Betrieb“ werden Fehlfunktionen von Fahrerassistenzsystemen aufgrund falsch oder fehlerhaft kalibrierter Sensoren benannt [31]. Im Rahmen einer Studie mit ca. 700 teilnehmenden Betrieben wurde ermittelt, dass knapp 64% der Betriebe, die Erfahrungen mit ADAS haben, fehlerhafte Funktionen der Systeme feststellen konnten. Das häufigste Problem hierbei war die nicht korrekt durchgeführte Kalibrierung.

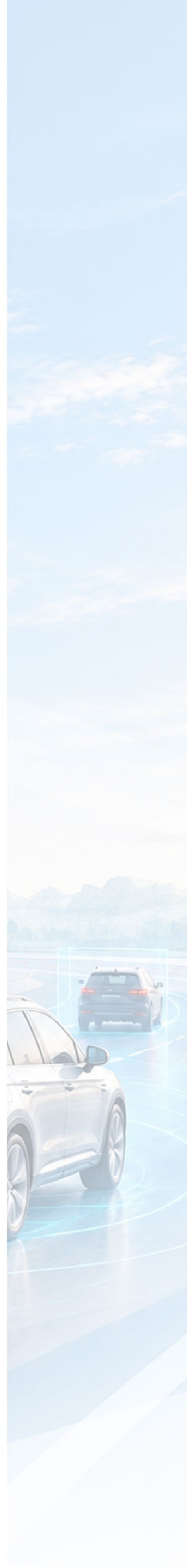




Abbildung 6: Mangelhafter Aufbau zur Kalibrierung der Frontkamera [30]

Laut einer Analyse von „adasThink“ wurden bei einer Stichprobe von 122 notwendigen Kalibrierungen nach einer Fahrzeugreparatur 88% der Kalibrierungen nicht durchgeführt [32]. Auch wenn die Repräsentativität dieser Studie begrenzt ist, zeigt sich, dass fehlende Kalibrierungen auch im US-amerikanischen Markt eine relevante Rolle zu spielen scheinen.

TÜV Rheinland und TRL ermittelten in einer Studie, dass im Jahr 2029 in der EU bei etwa 790.000 Fahrzeuge Fehlfunktionen des Spurhalteassistenten auftreten können [33]. Dabei entfallen etwa 500.000 dieser Fälle auf nicht korrekt kalibrierte Frontkameras nach einem Windschutzscheibentausch. Diese Zahlen beruhen auf der Annahme einer mittleren möglichen Häufigkeit der Fehlerfälle und können im realen Betrieb noch deutlich höher liegen. Funktionseinbußen weiterer Fehlermöglichkeiten und weiterer ADAS erhöhen diese Zahlen zusätzlich.

Estimated total number of LKA related risk events in the EU in 2029

Events in mio. by scenario

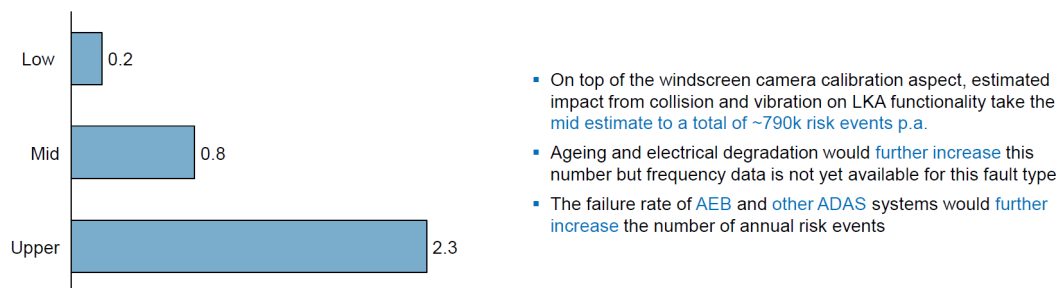


Abbildung 7: Mögliche Anzahl von Fahrzeugen mit Funktionsbeeinträchtigungen des LKA im Jahr 2029 [33]

Art und Häufigkeit der Fehler von ADAS im Feld können heute nicht direkt abgeleitet werden, da Studien mit diesem Fokus nicht vorhanden oder nicht zugänglich sind. Die vorgestellten Quellen zeigen jedoch, dass eine relevante Anzahl von ADAS im Betrieb Fehler aufweisen können und diese oftmals vom Fahrer unbemerkt bleiben. Fehler von ADAS und deren Sensoren können aufgrund der begrenzten Aussagekraft der Eigendiagnose heute nur teilweise im Rahmen der Hauptuntersuchung entdeckt werden. Eine Erweiterung der Hauptuntersuchung um geeignete Prüfmethode beispielsweise in Form einer Funktions- und Wirkungsprüfung der ADAS ist notwendig, um die Erkennung ADAS-spezifischer Funktionseinbußen zu verbessern und damit die Verkehrssicherheit der Fahrzeuge sicherzustellen.

Auszug ADAS-relevante Rückrufe

Ein weiterer Indikator dafür, dass Probleme an ADAS während des Betriebes auftreten können, sind freiwillige Rückrufe von Fahrzeugherstellern bzw. angeordnete Rückrufe von Marktüberwachungsbehörden (z. B. dem Kraftfahrt-Bundesamt, KBA). Mit zunehmender Verbreitung nehmen auch ADAS-spezifische Rückrufe zu. Dabei können Fehler der Sensorik, der Software und betriebsbedingte Beschädigungen auftreten.

Grundsätzlich ist es nicht die Aufgabe der Hauptuntersuchung, systematische Fehler zu identifizieren, die zu Rückrufen führen können. Wenn diese Fehler allerdings zu Funktionseinbußen an sicherheitsrelevanten Systemen führen, ist eine Erkennung und Bemängelung im Rahmen der Hauptuntersuchung notwendig. Zudem werden bereits heute beispielsweise die Zulässigkeit und Integrität der Software (z. B. Durchführung von Softwareupdates nach einem verpflichtenden Rückruf) im Rahmen der Hauptuntersuchung überprüft. Art und Häufigkeit der Fehlerfälle, die Rückrufen zugrunde liegen, zeigen, dass ADAS im Betrieb Fehler aufweisen können, auch wenn diese im Rahmen der Homologation eine fehlerfreie Funktion nachweisen konnten.

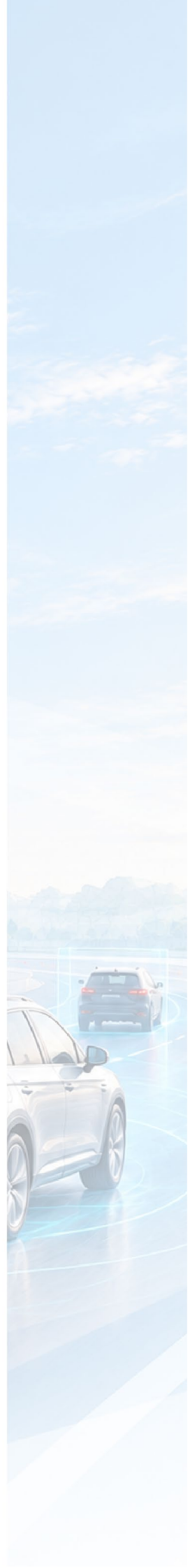
Die Auswertung der öffentlich zugänglichen, vom KBA auf nationaler Ebene angeordneten Rückrufe, zeigt eine große Anzahl und Bandbreite von Rückrufen mit Bezug zu Fahrerassistenzsystemen. Diese können ADAS, wie beispielsweise die automatische Notbremse, die adaptive Geschwindigkeitsregelanlage oder den Spurhalteassistenten, einerseits als Gesamtsystem adressieren und andererseits auch Komponenten, wie z. B. die Umfeldsensoren, betreffen. Dabei ist auch festzustellen, dass diese Fehler teilweise nicht von der Eigendiagnose der Fahrzeuge erkannt werden und dem Fahrer somit nicht angezeigt werden. Es treten wiederholt Rückrufe auf, bei denen die Assistenzsysteme grundsätzlich aktiviert erscheinen, ihre sicherheitsrelevante Funktion jedoch eingeschränkt, fehlerhaft oder nur unter bestimmten Randbedingungen gegeben ist.

Dies zeigen unter anderem die Rückrufe KBA 15624R (Rückrufdatum 26.09.2025) [34] und KBA 11677 (Rückrufdatum 17.03.2022) [35]. Bei beiden führt jeweils fehlerhafte Software dazu, dass die Deaktivierung von Fahrerassistenzsystemen ohne entsprechende Warnmeldung an den Fahrzeugführer erfolgt und somit Teil- und Vollbremsungen vonseiten des Systems ausbleiben, bzw. dass Warnungen des Notbremsassistenten nicht ausgegeben werden. In Deutschland sind von beiden Rückrufen jedoch nur wenige Fahrzeuge betroffen.

Die Datenbank des KBA enthält jedoch auch Rückrufe, die deutschlandweit eine relevantere Anzahl von Fahrzeugen betreffen. Beispiele hierfür sind die Rückrufe KBA 9818 (Rückrufdatum 26.03.2020) [36] und KBA 11670 (Rückrufdatum 16.03.2022) [37]. Ursache des Rückrufs KBA 9818 war ein Softwarefehler, der ggf. zu eingeschränkter Funktion des automatischen Notbremsassistenten führte. Von diesem Rückruf waren in Deutschland über 55.000 Fahrzeuge betroffen. Hintergrund des Rückrufs KBA 11670 war die mögliche fehlerhafte Initialisierung des Radarsensors, was wiederum zum Ausfall einiger Assistenzsysteme führen konnte. Hiervon waren in Deutschland über 25.000 Fahrzeuge betroffen.

In der Datenbank des Kraftfahrt-Bundesamtes sind weiterhin Rückrufe von Fahrzeugen enthalten, bei denen beispielsweise die Warnungen eines automatischen Notbremsassistentensystems grundsätzlich korrekt erfolgten, eine automatische Teil- oder Vollbremsung anschließend jedoch ausblieben (KBA 9124 (01.08.2019)) [38].

Ein Beispiel für einen Rückruf mit direktem Bezug zur Umfeldsensorik ist KBA 15128R (Rückrufdatum 21.05.2025) [39]. Ursache des Rückrufs sind eine fehlerhaft verklebte Multifunktionskamera und Innenspiegel, die sich im Betrieb lösen können, wodurch diverse Assistenzsysteme beeinträchtigt werden.



Einen weiteren Schwerpunkt bilden kamerabasierte Systeme, vor allem im Zusammenhang mit der Typgenehmigungsvorschrift UN ECE R158. So werden häufiger ausfallende oder eingefrorene Kamerabilder beschrieben, welche zu einer Abweichung von der UN ECE R158 [40] führen. Beispielhaft sind die Rückrufe KBA 13709 (Rückrufdatum 11.06.2024) [41] und KBA 14042R (Rückrufdatum 20.08.2024) [42] zu nennen.

Auch andere Rückrufdatenbanken, wie beispielsweise des ADAC, beinhalten eine Vielzahl von Herstellerrückrufen mit direktem Bezug zu ADAS und deren Sensoren. Diese betreffen zum Teil eine erhebliche Anzahl von Fahrzeugen. Hintergrund des Rückrufes BZ4X ist beispielsweise der mögliche Ausfall des Frontkollisions-Assistenten. *„Ein Speicherausfall bei Zündungswechsel durch eine ungeeignete Programmierung der Frontkamarasysteme kann zum Ausfall des Frontkollisions-Assistenten führen. Abhilfe: Die Fronterkennungskamera wird neu programmiert.“* [43] Von diesem Rückruf sind weltweit 1.293.588 Fahrzeuge betroffen. Ein weiterer Rückruf bezieht sich auf Fehler bei AEB-Systemen aufgrund von fahrzeuginternen Kommunikationsstörungen. *„Es tritt ein Fehler beim Starten der Frontkamera auf. Ursächlich ist eine Kommunikationsstörung zwischen den beiden Prozessoren in der Kamera, die das CMBS (Collision Mitigation Braking System) steuern. Die Kamera läuft nach dem Starten des Fahrzeugs möglicherweise nicht richtig an. Der Fahrer kann diesen Fehler nicht erkennen, da die Aktivierungsleuchte zwar leuchtet, das System aber nicht funktioniert. Abhilfe: Softwareupdate.“* [44] Von diesem Rückruf sind weltweit 172.948 Fahrzeuge betroffen.

Zusammenfassend kann aus der Analyse der Rückrufe abgeleitet werden, dass die Eigendiagnose der Fahrzeuge zwar einen wesentlichen Bestandteil der Absicherung der Fahrfunktionen darstellt, jedoch nicht alle praxisrelevanten Fehlerzustände mit hinreichender Sicherheit erfasst. Dies gilt insbesondere für Fehlfunktionen infolge fehlerhafter Softwarelogik und unzureichender Parametrierung, aber auch für fahrzeugindividuell auftretende Fehlerzustände, wie sporadische Speicher- oder Kommunikationsfehler [45]. Besonders fahrzeugindividuell auftretende Fehler, welche nicht von der Eigendiagnose erkannt werden, bedürfen einer Prüfung im Rahmen der Hauptuntersuchung. Eine Funktions- und Wirkungsprüfung der ADAS während der HU ist eine effektive Möglichkeit diese Fehler zu erkennen und damit das Sicherheitsrisiko fehlerhafter Fahrerassistenzsysteme zu minimieren.



4 Prüfansätze für eine Funktions- und Wirkungsprüfung im Rahmen der Hauptuntersuchung

ADAS und Hauptuntersuchung heute: Ausführungs- und Zustandsprüfung

Das hohe Potenzial zur Verbesserung der Verkehrssicherheit durch die Einführung moderner Fahrerassistenzsysteme ist nur gewährleistet, wenn sie wie vom Hersteller vorgesehen funktionieren. Dies gilt nicht nur für den Zeitpunkt der Homologation oder Inverkehrbringung, sondern während der gesamten Lebensdauer des Fahrzeugs. Die Hauptuntersuchung ist hierbei ein etabliertes Instrument, um die Verkehrssicherheit im Betrieb jedes individuellen Einfahrzeugs festzustellen.

ADAS werden in Deutschland und anderen Staaten (u.a. Slowakei, Kroatien, Irland oder Südkorea) bereits heute im Rahmen der Hauptuntersuchung als sicherheitsrelevante Systeme hinsichtlich ihrer Ausführung und ihres Zustandes untersucht. Dies erfolgt einerseits visuell durch die Untersuchung der Sensoren hinsichtlich Beschädigung (z. B. Steinschlag vor der Kamera) oder durch die Überprüfung von Kontrollleuchten im Display. Zudem wird der Fehlerspeicher über die elektronische Fahrzeugschnittstelle mit dem HU-Adapter ausgelesen, sodass detektierten Auffälligkeiten standardisierte Mängel zugeordnet werden können [46].



Abbildung 8: HU-Adapter [46]

Dabei werden auch ADAS-spezifische Mängel entdeckt und somit entsprechende Verkehrsrisiken reduziert. In [47] wird durch Auswertung einer repräsentativen Anzahl von HU-Daten ermittelt, dass jährlich mehr als 150.000 Fahrzeuge zum Zeitpunkt der HU Mängel aufweisen, die ADAS unmittelbar beeinflussen können. Hierbei wurden Mängel der Sensoren, der ADAS und weitere relevante Komponenten berücksichtigt. Etwa 5% dieser Mängel entfallen dabei direkt auf die Umfeldsensoren und ADAS.

Bereits heute können Fehlerfälle, die durch die Eigendiagnose der Fahrzeuge erkannt werden, im Rahmen der Hauptuntersuchung bemängelt werden. Fehlerzustände, die nicht durch die Eigendiagnose detektierbar sind, können mit den aktuellen Prüfmethode der Hauptuntersuchung jedoch nicht erkannt werden. In [48] und [49] wurde ermittelt, dass eine relevante Anzahl von Fehlermöglichkeiten des Intelligenten Geschwindigkeitsassistenten und des Spurhalteassistenten nicht mit der heutigen Ausführungs- und Zustandsprüfung adressiert werden. Diese Erkenntnisse sind auf andere ADAS übertragbar.

ADAS und Hauptuntersuchung zukünftig: Ergänzung um Funktions- und Wirkungsprüfung

Die Analyse vorhandener Studien, Untersuchungen und Rückrufe in den vorangegangenen Kapiteln verdeutlicht den Bedarf einer Funktions- und Wirkungsprüfung für ADAS im Rahmen der Hauptuntersuchung. Für diese Erweiterung der bestehenden Prüfmethoden sind aktuell verschiedene Ansätze in Entwicklung. In der Charta 2030 [50] haben die Prüforganisationen aus Deutschland folgende gemeinsame Position dazu verabschiedet:

„Szenarienbasierte Prüfmethoden bieten neben statischen Prüftechnologien für Sensorik und Systeme die Möglichkeit, mittels geeigneter Darstellung der Verkehrsumgebung (virtuell/physisch) die Reaktion des Fahrzeugs während eines bestimmten Szenarios zu testen. Mehrere Methoden, u. a. eine dynamische Fahrzeugprüfung mit beweglichem Target oder auf Funktionsprüfständen mit Umgebungssimulation, befinden sich in Erprobung in entsprechenden Pilotumgebungen.“ [50]

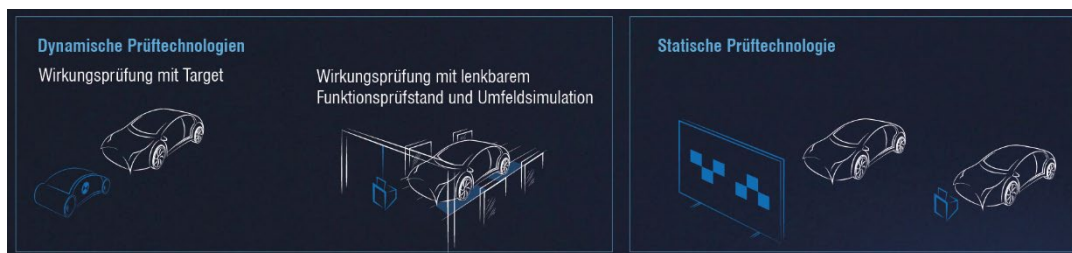


Abbildung 9: Ansätze für eine Funktions- und Wirkungsprüfung von ADAS im Rahmen der HU [51] in Anlehnung an [50]

Die Überprüfung der Sensorik mit spezifischer statischer Prüftechnologie zielt auf die Überprüfung jedes Sensors einzeln ab. Für die Überprüfung der im Fahrzeug verbauten Radarsensoren können hierfür Radar-Target-Simulatoren zum Einsatz kommen, mit deren Hilfe jeweils ein Sensor hinsichtlich seiner Leistungsfähigkeit untersucht werden kann [52], [53]. Ein Abgleich mit der Leistungsfähigkeit zum Zeitpunkt der Homologation ermöglicht einen Rückschluss auf die korrekte Funktion von Sensor und zugehörigem ADAS. Mit dieser Technologie können auch andere Verkehrsteilnehmer virtuell abgebildet und eingespielt werden. Ein Vergleich der simulierten Position dieser Objekte und der vom Fahrzeug erkannten Standorte liefert weitere Informationen zur Bewertung der Sensorik. Entscheidend für diesen Ansatz der Prüfung ist die Verfügbarkeit und Integrität der relevanten Daten an einer elektronischen Fahrzeugschnittstelle. Eine weitere Möglichkeit zur Überprüfung der aktuellen Ausrichtung von Kamera und Radarsensoren stellen Kalibrierprüfstände [54] dar. Durch fahrzeug- und sensorspezifische Elemente kann die Ausrichtung des jeweiligen Sensors ermittelt werden, Rückschlüsse auf die ADAS-Funktionalität sind dadurch möglich, auch wenn mit dieser Methode nicht die gesamte Wirkkette der Funktionen getestet werden kann.

In diesem Kontext ist auch das Auslesen der aktuell im Fahrzeug hinterlegten Kalibrierwerte der Sensoren zu nennen. Die Auswertung dieser Daten im Rahmen der HU kann Hinweise auf eine Funktionsbeeinträchtigung der ADAS liefern. Auch für diesen Ansatz ist die Nutzung elektronischer Fahrzeugdaten essenziell.

Für die Prüfung auf Gesamtsystemebene wurden szenarienbasierte Prüfansätze entwickelt. Bei dieser Art der Untersuchung werden die jeweiligen ADAS innerhalb ihrer Operational Design Domain (ODD) mit Hilfe von spezifischen Szenarien geprüft. Diese können einerseits auf einem Rollenprüfstand [55], [56] und andererseits im Rahmen der realen Prüffahrt der Hauptuntersuchung [21], [57] umgesetzt werden. Bei Verwendung eines Rollenprüfstandes müssen statische und dynamische Umgebungsparameter sensorspezifisch simulativ abgebildet werden. Erfolgt die szenarienbasierte Prüfung im Rahmen einer realen Prüffahrt, kommen reale Objekte in Form von dynamischen Targets und statischen Verkehrselementen zum Einsatz.

5 Erkenntnisse, Forschungsbedarf und notwendige Entwicklung

Forschungsbedarf

Um die tatsächlichen Fehlerfälle von ADAS im realen Straßenverkehr hinsichtlich ihrer Art und Häufigkeit beschreiben zu können, bedarf es einer Untersuchung von realen Fahrzeugen in aussagekräftiger Stückzahl. Es wird daher angeregt eine Untersuchung durchzuführen, um die Häufigkeit von Mängeln zu bestimmen.

Auf Grundlage dieser Felddaten kann das Potential der Hauptuntersuchung zur Steigerung der Verkehrssicherheit, durch weiterführende Untersuchung des Verkehrssicherheitspotentials einer Funktions- und Wirkungsprüfung, genauer benannt werden. Darauf aufbauend kann der gesamtgesellschaftliche Nutzen durch eine Cost-Benefit-Analyse herausgestellt werden.

Notwendige Entwicklung: Zugang zu Fahrzeugdaten

Die regelmäßige technische Fahrzeuguntersuchung ist ein etabliertes Instrument, zur Gewährleistung der Verkehrssicherheit im Betrieb. Um die ordnungsgemäße Funktion der Fahrerassistenzsysteme während der Hauptuntersuchung feststellen zu können, muss die Prüfbarkeit der Systeme bereits bei der Entwicklung sowie in den Typgenehmigungsvorschriften berücksichtigt werden. Teilweise hat dies der Verordnungsgeber bereits erkannt. So schreibt die delegierte Verordnung (EU) 2021/1958 zur Typgenehmigung von intelligenten Geschwindigkeitsassistenten vor [58]:

Für die Zwecke der regelmäßigen technischen Überwachung muss es möglich sein, die folgenden Merkmale des ISA zu überprüfen:

[...] die ordnungsgemäße Funktionsweise und die Softwareintegrität durch Nutzung einer elektronischen Fahrzeugschnittstelle [...] Die Hersteller müssen gewährleisten, dass die technischen Informationen für die Nutzung der elektronischen Fahrzeugschnittstelle gemäß Artikel 6 der Verordnung (EU) 2019/621 (3) zur Verfügung gestellt werden.

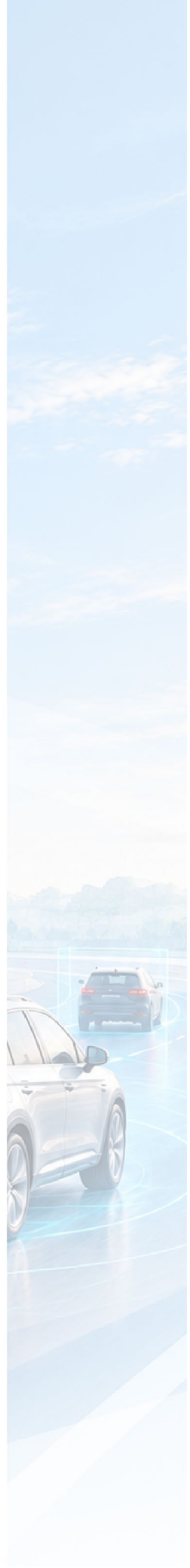
Um für alle Fahrerassistenzsysteme und automatisierten Fahrfunktionen effektive und effiziente Prüfmethoden zur Funktions- und Wirkungsprüfung von ADAS und deren Umfeldsensoren im Rahmen der hoheitlichen Tätigkeit der Hauptuntersuchung zum Einsatz bringen zu können, sind zukünftig sowohl standardisierte Daten aus den relevanten Assistenzsystemen und deren Komponenten an der elektronischen Fahrzeugschnittstelle, als auch Daten über das zu testende Fahrzeug bzw. Fahrzeugmodell zwingend erforderlich.

Dabei lässt sich der Bedarf für ADAS-prüfrelevante Daten, welche während der Hauptuntersuchung an der elektronischen Fahrzeugschnittstelle verfügbar sein müssen, in vier Kategorien zusammenfassen:

- Live- und Betriebswerte
- Identitäts-, Integritäts- und Versionsmerkmale
- Kalibrierdaten
- Diagnostic Trouble Codes (DTC)

Weitere das Fahrzeugmodell bzw. spezifische Ausstattungsvarianten beschreibende Daten müssen für eine korrekte Bewertung des Fahrzeugs und dessen Systeme bekannt sein. Dazu zählen unter anderem:

- Fahrzeuggeometriedaten
- Sensor- und steuengerätespezifische Informationen
- Beschreibung von ADAS-Funktionsparametern



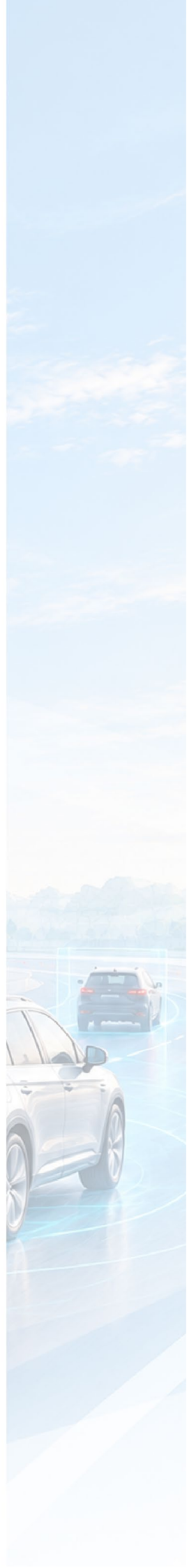
Erkenntnisse

Der verpflichtende Einsatz von ADAS verbessert die Verkehrssicherheit von Fahrzeugen erheblich. Durch die zunehmende Verbreitung dieser sicherheitsrelevanten Systeme wird in den kommenden Jahren die Zahl der im Verkehr getöteten und verletzten Personen weiter sinken. Allerdings ist auch zu erkennen, dass ADAS heute entsprechend ihrer Spezifikation nicht auf die Gesamtheit aller Verkehrsunfälle wirken. Eine Steigerung der Mindestanforderungen dieser Systeme ist notwendig.

Das Potential zur Erhöhung der Verkehrssicherheit ist abhängig vom jeweiligen System und wird im realen Betrieb durch Fehlerfälle reduziert. Beschädigungen, unsachgemäße Reparaturen, fehlerhafte oder ganz fehlende Kalibrierungen oder bewusste Veränderungen am Fahrzeug können in relevantem Ausmaß dieses Potential verringern. Besonders schwer wiegen dabei Funktionseinbußen, die von der Eigendiagnose nicht erkannt bzw. toleriert werden und damit dem Fahrer bis zum erwarteten Eingreifen des Systems unbekannt bleiben.

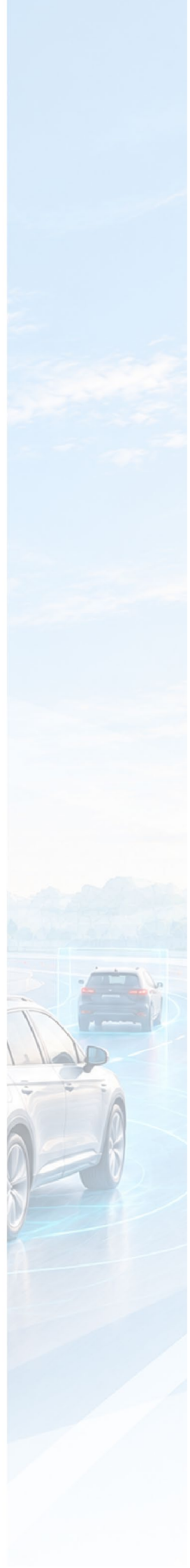
Bereits heute kann ein Teil der möglichen Fehler im Rahmen der Hauptuntersuchung erkannt werden. Eine relevante Anzahl von Fehlern ist jedoch mit den aktuell im Einsatz befindlichen Prüfmethode nicht detektierbar. Diese Fehler können durch eine Funktions- und Wirkungsprüfung der Systeme erkannt werden. Eine Erweiterung der Hauptuntersuchung ist daher notwendig, um die Prüftiefe deutlich zu verbessern und damit den Beitrag zur Erhöhung der Verkehrssicherheit weiter zu steigern.

Eine exakte Quantifizierung der Fehler im Feld, die heute unerkannt bleiben, ist mit der aktuell verfügbaren Datenlage nicht möglich. Die Auswertung unterschiedlichster Quellen zeigt jedoch, dass Funktionseinbußen bei sicherheitsrelevanten ADAS ein relevantes Problem darstellen.



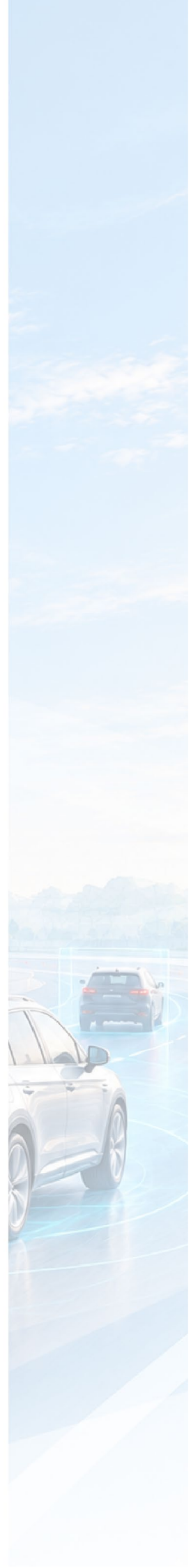
6 Literaturverzeichnis

- [1] TÜV Verband, „TÜV Mobility Studie 2024,“ 2024. [Online]. Available: <https://www.tuev-verband.de/studien/tuev-mobility-studie-2024>. [Zugriff am 26. 02. 2026].
- [2] BMW, „Verkehrssicherheitsprogramm 2021 bis 2030,“ 2025. [Online]. Available: <https://www.bmw.de/SharedDocs/DE/Artikel/StV/Verkehrssicherheit/verkehrssicherheitsprogramm-2021-bis-2030.html>. [Zugriff am 14. 04. 2026].
- [3] VOD, „VISION ZERO konkret,“ 2023. [Online]. Available: <https://vod-ev.org/download/VOD-Schriftenreihe-2-vision-zero-konkret.pdf>. [Zugriff am 14. 04. 2026].
- [4] Europäischer Rechnungshof, „Verwirklichung der EU-Ziele im Bereich der Straßenverkehrssicherheit,“ 2024. [Online]. Available: https://www.eca.europa.eu/ECAPublications/SR-2024-04/SR-2024-04_DE.pdf. [Zugriff am 26. 02. 2026].
- [5] Mobilitätsforum Bund, „Verkehrssicherheit in der EU,“ 2023. [Online]. Available: https://www.mobilitaetsforum.bund.de/DE/Themen/News-RADAR/_texte/Verkehrssicherheit_EU_Statistik_2022.html. [Zugriff am 18. 03. 2026].
- [6] Das europäische Parlament und der Rat der europäischen Union, „Verordnung (EU) 2019/2144 des europäischen Parlaments und des Rates,“ 2019. [Online]. Available: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:32019R2144>. [Zugriff am 06 03 2026].
- [7] BCG, CLEPA, Wolk, „At the Crossroads: The European Aftermarket in 2030,“ 2021. [Online]. Available: <https://web-assets.bcg.com/36/39/e80d073a4067bfe89c7482d6db69/the-european-aftermarket-in-2030.pdf>. [Zugriff am 06. 03. 2026].
- [8] UNECE, „UN Regulation No. 152,“ 2023. [Online]. Available: <https://unece.org/sites/default/files/2024-04/R152r2E.pdf>. [Zugriff am 06. 03. 2026].
- [9] Destatis, „Straßenverkehrstote in der EU,“ 2025. [Online]. Available: <https://www.destatis.de/Europa/DE/Thema/Verkehr/Verkehrstote>. [Zugriff am 06. 03. 2026].
- [10] Europäisches Parlament, „Sichere Straßen: EU-Maßnahmen für weniger Verkehrsunfälle,“ [Online]. Available: <https://www.europarl.europa.eu/topics/de/article/20190307ST030715/sichere-strassen-eu-massnahmen-fur-weniger-verkehrsunfalle>. [Zugriff am 06. 03. 2026].
- [11] DESATATIS, „Unfallbilanz 2025: 44 Verkehrstote mehr als im Vorjahr,“ 2026. [Online]. Available: https://www.destatis.de/DE/Presse/Pressemitteilungen/2026/02/PD26_062_46241.ht

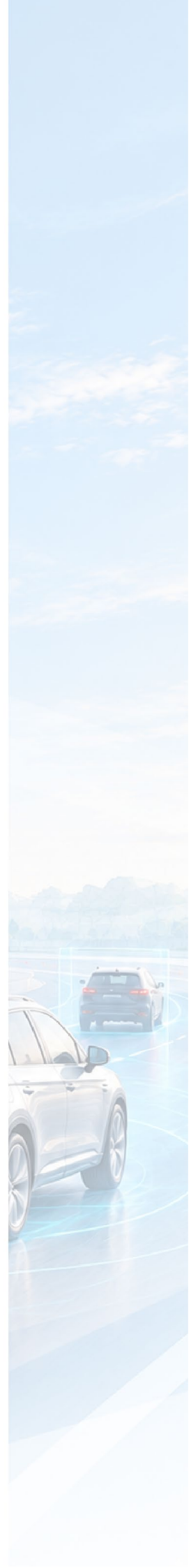


ml#:~:text=Zahl%20der%20Schwerverletzten%20um%204,2024%20(2%20770%20To
desopfer).. [Zugriff am 14. 04. 2026].

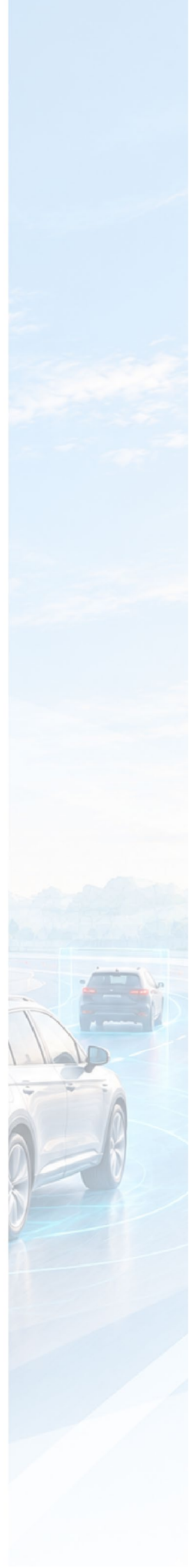
- [12] European Commission, „Cost-effectiveness analysis of Policy Options for the mandatory implementation of different sets of vehicle safety measures – Review of the General Safety and Pedestrian Safety Regulations,“ 2018. [Online]. Available: https://www.clepa.eu/wp-content/uploads/2018/05/2018_TRL_cost-effectiveness-analysis_for-GSR_March2018_ET0217486ENN.en-1.pdf. [Zugriff am 06. 03. 2026].
- [13] IIHS HLDI, „Crash avoidance technologies, Real-world benefits,“ 2025. [Online]. Available: https://www.iihs.org/media/290e24fd-a8ab-4f07-9d92-737b909a4b5e/_mTwzA/Topics/ADVANCED%20DRIVER%20ASSISTANCE/IIHS-HLDI-CA-benefits.pdf. [Zugriff am 06. 03. 2026].
- [14] PARTS, „A Study on Real-world Effectiveness of Model Year 2015–2023 Advanced Driver Assistance Systems,“ [Online]. Available: <https://www.mitre.org/sites/default/files/2025-01/PR-25-0114-Study-Real-world-Effectiveness-Model-year-2015%E2%80%932023-ADAS.pdf>. [Zugriff am 06. 03. 2026].
- [15] Andrew J. Leslie et al., „Analysis of the Field Effectiveness of General Motors Model Year 2013-2020 Advanced Driver Assistance System Features,“ [Online]. Available: <https://backend.production.deepblue-documents.lib.umich.edu/server/api/core/bitstreams/dedd6bad-f3bd-45f1-8c62-9fab1e33f7db/content>. [Zugriff am 06. 03. 2026].
- [16] Leandro Masello et al., „On the road safety benefits of advanced driver assistance systems in different driving contexts,“ 2022. [Online]. Available: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2590198222001300?ref=cra_js_challenge&fr=RR-1. [Zugriff am 06. 03. 2026].
- [17] FSD Fahrzeugsystemdaten GmbH, DEKRA, „Effects of Sensor Misalignment and Manipulation,“ Vortrag CITA ADAS TF, 2025.
- [18] Ascential, „The importance of ADAS calibration for collision prevention and road safety,“ 2025. [Online]. Available: https://testandmeasure.ascentialtech.com/wp-content/uploads/2025/07/ADAS-Collision-Prevention-Whitepaper_V3-1.pdf. [Zugriff am 07. 03. 2026].
- [19] DEKRA, „Korrekt eingestellte Sensoren sind für die Sicherheit das A und O,“ 2023. [Online]. Available: <https://www.dekra.de/de/korrekt-eingestellte-sensoren-sind-fuer-die-sicherheit-das-a-und-o/>. [Zugriff am 07. 03. 2026].
- [20] Helge Kiebach, „Maintaining Performance of Driver Assistance Systems and Automated Driving Functions over the Life Cycle,“ Vortrag Auto[nom]Mobil, SafetyWeek, 2020.
- [21] A. Stoller et al., „ErVast – Einsatz dynamischer Verkehrselemente für die Prüfung automatisierter Fahrfunktionen, Schlussbericht des Verbundes,“ 2022. [Online]. Available: <https://edocs.tib.eu/files/e01fb23/183073427X.pdf>. [Zugriff am 08. 03. 2026].



- [22] Auto Bild, „Fahrerassistenzsysteme kalibrieren: Lieber auf Nummer sicher gehen,“ 2025. [Online]. Available: <https://www.autobild.de/artikel/ratgeber-kalibrierung-28459021.html>. [Zugriff am 16. 03. 2026].
- [23] Daniel Block, Anja Köhler, „Auswirkung dejustierter ADAS Sensoren auf die Verkehrssicherheit am Beispiel der automatischen Notbremse AEBS,“ Vortrag, VSP Forum, FSD Fahrzeugsystemdaten GmbH, 2025.
- [24] FSD Fahrzeugsystemdaten GmbH, DEKRA, „Untersuchung des Einflusses von Sensordegradationen auf die Funktionsweise von Fahrerassistenzsystemen als Grundlage für neue Prüfverfahren für die Hauptuntersuchung,“ 19. Tagung, Diagnose in mechatronischen Fahrzeugsystemen, 2026.
- [25] TRL, „Calibration of advanced driver-assistance systems (ADASs) on modified vehicles,“ 2023. [Online]. Available: https://www.trl.co.uk/uploads/trl/documents/XPR125_calibration-of-advanced-driver-assistance-systems-on-modified-vehicles.pdf. [Zugriff am 11. 03. 2026].
- [26] Pfeiffer, F., „Analyse und Optimierung von Radomen für automobiler Radarsensoren, Dissertation 2009,“ [Online]. Available: <https://mediatum.ub.tum.de/doc/814771/document.pdf>. [Zugriff am 23. 03. 2026].
- [27] Continental, „Short Description ARS 404-21 (Entry) + ARS 408-21 (Premium) Long Range Radar Sensor 77 GHz,“ 2017.
- [28] Autoservicepraxis, „Immer nach Vorgabe,“ 2025. [Online]. Available: https://www.autoservicepraxis.de/downloadfile/3690977/90007_2025_29_07_M_03_2-033_n30_Kalibrierung_ADAS_Sensoren_120504_print.pdf. [Zugriff am 12. 03. 2026].
- [29] GDV Gesamtverband der Versicherer, „Kfz-Versicherer zahlen 1,7 Milliarden Euro für Glasbruch-Schäden,“ 2023. [Online]. Available: <https://www.gdv.de/gdv/medien/medieninformationen/glasbruch-schaeden-auto-statistik-kfz-versicherung-182344>. [Zugriff am 12. 03. 2026].
- [30] kfz-Betrieb, „Pfusch am Bau,“ 2025. [Online]. Available: <https://www.kfz-betrieb.vogel.de/pfusch-am-bau-a-874772d3526fedbc2317bf0d10ab03f3/>. [Zugriff am 12. 03. 2026].
- [31] kfz-Betrieb, „Viele Fahrerassistenzsysteme funktionieren nicht,“ 2023. [Online]. Available: <https://www.kfz-betrieb.vogel.de/viele-fahrerassistenzsysteme-funktionieren-nicht-a-8593fe3c7f39e15d994f302f57b1038f/>. [Zugriff am 12. 03. 2026].
- [32] adasThink, „adasThink Report: 88% of ADAS calibrations missed by body shops,“ 2020. [Online]. Available: <https://www.repairerdrivenews.com/wp-content/uploads/2020/10/20201026-adasThink-Report-Final.pdf>. [Zugriff am 12. 03. 2026].
- [33] TÜV Rheinland, TRL, „Ensuring life time performance of Advanced Driver Assistant Systems: Risk Analysis of Lane Keeping Assistant Systems / WP.29,“ 2021.



- [34] KBA, „Rückruf 15624R, Mercedes Benz CLA, Fehlerhafte Software,“ [Online]. Available: <https://www.kba-online.de/rrdb/buerger/#/>. [Zugriff am 13. 03. 2026].
- [35] KBA, „Rückruf 11677, Ford Transit, Fehlerhafte Programmierung,“ [Online]. Available: <https://www.kba-online.de/rrdb/buerger/#/>. [Zugriff am 13. 03. 2026].
- [36] KBA, „Rückruf 9818, Volvo XC60 u.A., Softwarefehler,“ [Online]. Available: <https://www.kba-online.de/rrdb/buerger/#/>. [Zugriff am 13. 03. 2026].
- [37] KBA, „Rückruf 11670, Toyota Yaris, Fehlerhafte Initialisierung Radarsensor,“ [Online]. Available: <https://www.kba-online.de/rrdb/buerger/#/>. [Zugriff am 13. 03. 2026].
- [38] KBA, „Rückruf 9124, C-Klasse u.A., Software entspricht nicht der Spezifikation,“ [Online]. Available: <https://www.kba-online.de/rrdb/buerger/#/>. [Zugriff am 13. 03. 2026].
- [39] KBA, „Rückruf 15128R, Mercedes-Benz GLS u.A., Fehlerhaft verklebte Multifunktionskamera,“ [Online]. Available: <https://www.kba-online.de/rrdb/buerger/#/>. [Zugriff am 13. 03. 2026].
- [40] UNECE, „UN Regulation No. 158,“ [Online]. Available: https://unece.org/sites/default/files/2021-07/R158e_0.pdf. [Zugriff am 13. 03. 2026].
- [41] KBA, „Rückruf 13709, TESLA Model 3, Ausfall Rückfahrkamera,“ [Online].
- [42] KBA, „Rückruf 14042R, LEXUS RZ u.A., Ausfall Rückfahrkamera,“ [Online]. Available: <https://www.kba-online.de/rrdb/buerger/#/>.
- [43] ADAC Rückrufdatenbank, „Reparatur & Rückruf, Toyota Corolla u.a.,“ [Online]. Available: <https://www.adac.de/rund-ums-fahrzeug/reparatur-pflege-wartung/reparatur-rueckruf/rueckrufe/?recallType=PKW&brandId=42&rangeld=1350>. [Zugriff am 20. 03. 2026].
- [44] ADAC Rückrufdatenbank, „Reparatur & Rückruf, Honda Jazz 5. Generation,“ [Online]. Available: <https://www.adac.de/rund-ums-fahrzeug/reparatur-pflege-wartung/reparatur-rueckruf/rueckrufe/?recallType=PKW&brandId=20>. [Zugriff am 20. 03. 2026].
- [45] KBA, „Rückruf 7483, Mercedes-Benz G-Klasse, Fehlfunktion Software ESP,“ [Online]. Available: <https://www.kba-online.de/rrdb/buerger/#/>. [Zugriff am 13. 03. 2026].
- [46] FSD Fahrzeugsystemdaten GmbH, „VIS.HUA – ein universelles Prüfwerkzeug von Sachverständigen für Sachverständige,“ 2026. [Online]. Available: <https://fsd-web.de/aktuelle-prueftechnologien/#vishua>. [Zugriff am 14. 04. 2026].
- [47] DEKRA, „ADAS/AD at PTI – A potential concept for targeted and efficient testing,“ Vortrag, CITA ADAS TF , 2025.
- [48] A. Stumpf, „Konzeptentwicklung zur Überprüfung des Fahrerassistenzsystems „Intelligent Speed Assistance“ im Rahmen der Hauptuntersuchung,“ Bachelorarbeit, TÜV Süd, 2021.



- [49] A. Reimchen, „Einfluss des Automated Lane Keeping Systems auf die Prüfumfänge der gesetzlichen Hauptuntersuchung,“ Bachelorarbeit, TÜV Süd, 2022.
- [50] Prüforganisationen, „Charta 2030,“ [Online]. Available: <https://charta2030.de/>. [Zugriff am 16. 03. 2026].
- [51] Burckhardt, Daniel, „DynamX - a dynamic approach to ADAS testing during a PTI,“ Vortrag, SAFETYUPDATE, FSD Fahrzeugsystemdaten GmbH.
- [52] Rhode & Schwarz, „ADAS-Tests im Rahmen der Hauptuntersuchung (HU),“ [Online]. Available: https://www.rohde-schwarz.com/de/loesungen/automotive-testloesungen/automotive-radar/adas-hauptuntersuchung/adas-tests-im-rahmen-der-hauptuntersuchung_257204.html. [Zugriff am 16. 03. 2026].
- [53] DEKRA, „Hauptuntersuchung für Sensoren: Im Dienst für den Assistenten,“ 2024. [Online]. Available: <https://www.dekra.de/de/hauptuntersuchung-fuer-sensoren-im-dienst-fuer-den-assistenten/>. [Zugriff am 16. 03. 2026].
- [54] Hella Gutmann, „Der Assistent für Fahrerassistenzsysteme,“ [Online]. Available: <https://www.hella-gutmann.com/de/for-workshops/pruef-einstellloesungen/adas-kalibrierung>. [Zugriff am 16. 03. 2026].
- [55] KÜS DRIVE, „Sicherheit immer an Bord? Mit KÜS DRIVE Kurs nehmen auf die Prüfung von Fahrerassistenzsystemen für mehr Verkehrssicherheit,“ [Online]. Available: <https://kues-drive.de/>. [Zugriff am 16. 03. 2026].
- [56] MAHA Maschinenbau Haldenwang GmbH, Hochschule Kempten, „Wirkprüfung von ADAS in der PTI,“ Tagungsbandbeitrag, Diagnose in mechatronischen Systemen 2025.
- [57] FSD Fahrzeugsystemdaten GmbH, „Dynamische Prüfung von ADAS/ADS in der HU,“ Tagungsbandbeitrag, Diagnose in mechatronischen Systemen 2023.
- [58] Europäische Kommission, „Delegierte Verordnung (EU) 2021/1958 der Kommission vom 23. Juni 2021,“ 2021. [Online]. Available: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:32021R1958>. [Zugriff am 14. 04. 2026].

