

KFV 

bfu
bpa
upi



Zuverlässigkeit von Notbremsassistenten zum Schutz von ungeschützten Verkehrsteilnehmer*innen

Versuchsdokumentation

Wien/Bern, 2021

Zuverlässigkeit von Not- bremsassistenten zum Schutz von ungeschützten Verkehrs- teilnehmer*innen

Versuchsdokumentation

Autoren

Hatun Atasayar
Markus Deublein
Jasmin Zimmermann

Co-Autoren

Florian Schneider

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung	14
1.1. Ausgangslage	14
1.2. Projektziel	16
1.3. Organisation und Lösungsansatz	16
2. Forschungsfragen	18
2.1. Relevanz des Unfallgeschehens	18
2.2. Bestehende Testverfahren	21
2.3. Ableitung der Forschungsfragen	24
3. Methodik	26
3.1. Bestimmung der Testparameter	26
3.2. Auswahl der Basisszenarien	27
3.3. Durchführung der Vorversuche	29
3.4. Festlegung des Testkatalogs	29
3.5. Berechnung der Performance	32
3.6. Zeitplan	33
4. Versuchsaufbau	34
4.1. Fahrzeuge	34
4.2. Messausrüstung	34
4.3. Versuchsaufbau	35
4.4. Außenanlage	36
4.5. Innenanlage	37
4.6. Versuchsdokumentation	39

5. Ergebnisse	44
5.1. Fragestellung 1: Witterungsbedingungen und Lichtverhältnisse	44
5.2. Fragestellung 2: Erkennung von UVT	46
5.3. Fragestellung 3: Sensorik neuerer und älterer Fahrzeugmodelle	48
5.4. Weitere Ergebnisse	48
6. Zentrale Erkenntnisse	50
7. Diskussion und Ausblick	51
ANHANG	58
AEBS Technologie und Funktionsumfang	58
Euro NCAP/ANCAP Testszenarien	60
TESTKATALOG OUTDOOR	64
TESTKATALOG INDOOR	65
GESAMTÜBERSICHT TESTFAHRTEN	66

Abkürzungsverzeichnis

Tabelle 1: Abkürzungen

Abkürzung	Bezeichnung
AEBS	Advanced Emergency Braking System (Notbremsassistent)
BFU	Beratungsstelle für Unfallverhütung
CARISSMA	Center of Automotive Research on Integrated Safety Systems and Measurement Area
CBLA-25	Car-to-Bicyclist Longitudinal Adult 25% (Euro NCAP Testszenario)
CBLA-50	Car-to-Bicyclist Longitudinal Adult 50% (Euro NCAP Testszenario)
CBNAO-50	Car-to-Bicyclist Nearside Adult Obstructed 50% (Euro NCAP Testszenario)
CPNC-50	Car-to-Pedestrian Nearside Child 50% (Euro NCAP Testszenario)
Euro NCAP	The European New Car Assessment Programme
FAS	Fahrerassistenzsystem
KFV	Kuratorium für Verkehrssicherheit
ODD	Operational Design Domain
ROC	Receiver-Operator Curve
UVT	Ungeschützte Verkehrsteilnehmende
THI	Technische Hochschule Ingolstadt

Kurzfassung

Die Vision Zero ist ein erklärtes Ziel der Verkehrssicherheitsarbeit in der EU sowie in den nationalen Verkehrssicherheitsprogrammen in Österreich und der Schweiz: Das heißt, es soll keine Getöteten und Schwerverletzten im Straßenverkehr geben. Neuen Fahrzeugtechnologien, wie zum Beispiel Fahrerassistenzsystemen, kommt dabei ein großer Stellenwert zu. Eine besondere Rolle spielen dabei Systeme, die Fahrzeuglenker*innen in kritischen Verkehrssituationen aktiv unterstützen – nicht nur um sie selbst, sondern auch, um ungeschützte Verkehrsteilnehmer*innen (UVT) außerhalb des Fahrzeugs zu schützen (vgl. Ewert 2014: 5, Deublein 2020: 13). Der automatische Notbremsassistent (AEBS = Advanced Emergency Braking System) ist dabei das Fahrerassistenzsystem mit dem vermutlich höchsten Sicherheitspotenzial (vgl. Hummel et al. 2011: 56, Bubb & Bengler 2015: 567). Gemäß der EU-Verordnung 2019/2144 müssen neue Fahrzeugtypen bzw. neu zugelassene Fahrzeuge ab 2022/2024 verpflichtend damit ausgestattet sein.

Das Ziel des vorliegenden Forschungsprojekts war es, die Zuverlässigkeit der aktuell auf dem Markt verfügbaren automatischen Notbremsassistenten und deren Schutzwirkung für UVT in realen Verkehrs- und Umweltsituationen zu überprüfen. Dies passierte auf Grundlage des aktuellen Stands der Fahrzeugtechnologie, bestehender Testverfahren und Erkenntnissen aus dem aktuellen Unfallgeschehen in Österreich und der Schweiz.

Konkret wurden die folgenden Fragestellungen untersucht:

1. Wie gut funktionieren AEB-Systeme bei unterschiedlichen Witterungsbedingungen (z. B. Regen, Nebel) und Lichtverhältnissen (klar, Dämmerung und Dunkelheit)?
2. Wie gut erkennen AEB-Systeme verschiedene Arten von UVT wie Roller, E-Scooter, Fahrräder oder E-Bikes?
3. Wie gut schneiden AEB-Systeme mit neuerer Sensorgeneration (d. h. mit neuerem Zulassungsdatum) im Vergleich zu AEB-Systemen mit älterer Sensorgeneration (d. h. mit älterem Zulassungsdatum) ab?

Untersucht wurden AEB-Systeme verschiedener Fahrzeugtypen sowie -generationen (d. h. verschiedene Fahrzeugmodelle mit unterschiedlichen AEBS-Sensortypen) und in Anlehnung an die Testszenarien des European New Car Assessment Programme (Euro NCAP). Das Ziel war es, zu prüfen, wie gut die AEB-Systeme außerhalb der durch das Euro NCAP spezifizierten Basisszenarien/Test szenarien funktionieren (z. B. was die bisher getesteten Wetter- oder Lichtverhältnisse anbelangt). Die Durchführung der Versuche fand in der Außen- und Innenanlage des CARISSMA (Center of Automotive Research on Integrated Safety Systems and Measurement Area) Testzentrums der Technischen Hochschule Ingolstadt statt.

Auf übergeordneter Ebene zeigen die Testergebnisse, dass die Funktionalität der Systeme abnimmt, je komplexer das Versuchssetting wird. Bereits bei geringen Abweichungen zu den standardisierten Testszenarien nach Euro NCAP konnten einige AEB-Systeme den Dummy entweder nicht mehr erkennen oder nicht mehr rechtzeitig anhalten. Die AEB-Systeme aller Fahrzeugtypen funktionierten erwartungsgemäß am besten bei Tag und klarem Wetter, während das bei ungünstigen Witterungsbedingungen und Lichtverhältnissen (Regen und Dunkelheit) nicht zuverlässig der Fall war. Insgesamt erkannten die Systeme Fußgänger*innen, die bei Tag und klarem Wetter aus

einer verdeckten Position die Straße überquerten, gut und leiteten immer eine Notbremsung ein. Fahrradfahrer*innen wurden ebenfalls überwiegend erkannt, auch in schwierigen Situationen: So konnte ein Aufprall meist verhindert werden, selbst wenn die Fahrbahn aus einer verdeckten Position überquert wurde oder die Fahrradfahrer*innen in der gleichen Fahrtrichtung unterwegs waren wie das hinter ihnen fahrende Fahrzeug.

Eine Aussage zur Leistung der Systeme einer spezifischen Sensorgeneration kann nur schwer getroffen werden, da es schwierig ist, eine generalisierte Aussage zu treffen, welche Sensorik für welche Anwendung zum Einsatz gekommen ist. Für jedes Fahrzeugmodell sind viele verschiedene Ausstattungsconfigurationen verfügbar, die von den Herstellern unterschiedlich zusammengestellt werden. Tendenziell performen ältere Modelle, die nach einem alten Stand homologiert wurden, schlechter als neuere Modelle, da die verbaute Sensorik/Fahrzeugarchitektur trotz regelmäßiger Softwareupdates kaum auf einen aktuellen Stand gebracht werden kann.

Schließlich konnten auch Unterschiede zwischen den Ergebnissen in den Innen- und Außenversuchsumgebungen festgestellt werden. Alle getesteten Systeme funktionierten bei künstlichem Licht im Innenbereich tendenziell schlechter als bei natürlichen Lichtverhältnissen im Außenbereich.

Für die Praxis bedeuten die Ergebnisse, dass ein Sterne-Bewertungssystem, wie beispielsweise jenes von Euro NCAP, den Fahrzeugkäufer*innen zwar eine gute Orientierung gibt – allerdings sollten diese Bewertungen nicht zu viel Gewicht bekommen. Die etablierten Testszenarien decken derzeit nicht alle realen Straßenverkehrssituationen ab. Eines wird durch die Unterschiede in der Leistung verschiedener Fahrzeuggenerationen (Fahrzeugtyp A: Markteinführung 2014, Fahrzeugtyp B: Markteinführung 2017 und Fahrzeugtyp C: Markteinführung 2019) ganz deutlich: Regelmäßige Funktionalitätstests sind unbedingt notwendig.

Die ganze Komplexität des realen Straßenverkehrs kann nicht bzw. nur sehr schwer abgebildet werden. Dennoch ist es empfehlenswert, in Zukunft auch Tests bei Regen und Dunkelheit in die NCAP-Protokolle aufzunehmen. Zum einen wäre das sinnvoll, weil zumindest die im vorliegenden Forschungsprojekt getesteten AEB-Systeme unter solchen Bedingungen derzeit noch nicht zufriedenstellend funktionieren. Zum anderen nehmen Lenker*innen und UVT unter diesen Bedingungen ihr Umfeld schlechter wahr.

Executive Summary

Vision Zero is a declared goal of road safety work in the EU as well as in the national road safety programmes in Austria and Switzerland. The ultimate goal thereby is to reduce fatalities and serious injuries on the roads to zero. New vehicle technologies like driver assistance systems are very important in this context. A special role is played thereby by systems which actively assist drivers in critical traffic situations in protecting not only themselves but also vulnerable road users (VRU) outside the vehicle (cf. Ewert 2014: 5, Deublein 2020: 13). The automated advanced emergency braking (AEB) system is probably the driver assistance system with the greatest safety potential (cf. Hummel et al. 2011: 56, Bubb & Bengler 2015: 567). Regulation (EU) 2019/2144 requires all new vehicle types and newly registered vehicles to be equipped with an AEB system from 2022/2024.

The objective of the research project described in this report was to test the reliability of the automated emergency braking systems currently available on the market and their protective effect for VRUs in real traffic situations and weather conditions. This was done on the basis of the current state of vehicle technology, existing test procedures and insights from road accidents in Austria and Switzerland.

The following specific questions were investigated:

1. How well do AEB systems work in different weather conditions (e. g. rain, fog) and light conditions (clear, dusk, darkness)?
2. How well do AEB systems recognise different types of VRU such as scooters, e-scooters, bicycles or e-bikes?
3. How well do AEB systems with newer generation sensors (i. e. with more recent registration dates) perform in comparison to AEB systems with older generation sensors (i. e. with older registration dates)?

The project tested AEB systems on various vehicle types and generations (i. e. various vehicle models with different AEB sensor types) following the test scenarios specified in the European New Car Assessment Programme (Euro NCAP). The objective was to test how well the AEB systems work outside the specified Euro NCAP base/test scenarios (e. g. in terms of the weather or light conditions tested to date). The tests were carried out in the outdoor and indoor facilities at the CARISSMA (Center of Automotive Research on Integrated Safety Systems and Measurement Area) test centre at the Technische Hochschule Ingolstadt in Germany.

On the higher level, the test results show that the functionality of the systems decreases as the test setting becomes more complex. Even with only small deviations from the standardised Euro NCAP test scenarios, some AEB systems were either no longer able to recognise the dummy or no longer able to stop in time. As expected, the AEB systems on all vehicle types worked best in the daytime and in clear weather, while this was not always reliably the case in adverse weather and light conditions (rain and darkness). Overall, the systems detected pedestrians crossing the road from an obscured position in the daytime and in clear weather well and always triggered an emergency stop. Cyclists were also detected in the majority of cases, also in difficult situations: a

collision could thus usually be avoided, even if the cyclist crossed the road from an obscured position or was travelling in the same direction as the vehicle behind.

It is difficult to draw a conclusion on the performance of the systems in a specific generation of sensors since it is hard to make a generalised statement on which sensor technology is used for which purpose. Each vehicle model is available in many configurations, and these differ from manufacturer to manufacturer. Older models, which were homologated to a prior state-of-the-art, tend to perform worse than newer models because the sensor technology/vehicle architecture used cannot really be brought up to the current state-of-the-art despite regular software updates.

Differences were also identified between the results for the indoor and outdoor test environments. All the systems tested tended to work worse in the artificial light of the indoor facility than in the natural light conditions outdoors.

In practical terms, the results of this project mean that while star-based rating systems like the one used in Euro NCAP provide good orientation for vehicle buyers, these ratings should not be given too much weight. The established test scenarios currently do not cover all real situations on the road. The differences in the performance of different generations of vehicles (vehicle type A: market launch 2014; vehicle type B: market launch 2017; vehicle type C: market launch 2019) make one thing very clear: regular functionality tests are an absolute necessity.

The full complexity of real-life road traffic cannot be reproduced or can only be reproduced with great difficulty. Nonetheless, it would be advisable in future to also include tests in wet weather and in the dark in the EURO NCAP protocols. This would be sensible because at least those AEB systems tested in this research project currently do not work satisfactorily in such conditions. It would likewise be prudent because motorists and vulnerable road users have a poorer awareness of their surroundings in such conditions.

Résumé

La Vision zéro est un objectif explicite des travaux de l'UE relatifs à la sécurité routière ainsi que des programmes nationaux de l'Autriche et de la Suisse en la matière. Il consiste à réduire à zéro le nombre de personnes grièvement blessées ou tuées dans un accident de la route. Dans la poursuite de cet objectif, un grand espoir est placé dans les nouvelles technologies automobiles, telles que les systèmes d'aide à la conduite. Un intérêt tout particulier est porté aux systèmes qui offrent une assistance active en intervenant dans des situations critiques pour protéger non seulement le conducteur, mais également les usagers vulnérables de la route à l'extérieur du véhicule (voir Ewert 2014: 5, Deublein 2020: 13). Le système de freinage d'urgence automatique, ou système avancé de freinage d'urgence (en anglais «Advanced Emergency Braking System», AEBS), est probablement le système d'aide à la conduite qui présente le potentiel de sécurité le plus élevé (voir Hummel et al. 2011: 56, Bubb & Bengler 2015: 567). Le règlement (UE) 2019/2144 dispose que les nouveaux types de véhicules devront être équipés d'un tel système dès 2022 et les véhicules neufs dès 2024.

Le projet de recherche faisant l'objet de la présente publication visait à déterminer quelle est la fiabilité, dans des conditions réelles (situations de trafic, conditions extérieures), des systèmes de freinage d'urgence automatique disponibles sur le marché et quelle protection ils offrent aux usagers vulnérables de la route. Il est fondé sur l'état actuel de la technologie automobile ainsi que sur l'analyse des procédures de test existantes et des données relatives aux accidents enregistrés en Autriche et en Suisse.

Concrètement, cette étude se proposait de répondre aux questions suivantes:

1. Quelle est l'efficacité des systèmes de freinage d'urgence automatique dans différentes conditions météorologiques (p. ex. pluie, brouillard) et différentes conditions de lumière (jour, crépuscule, obscurité)?
2. Avec quelle fiabilité ces systèmes identifient-ils différents usagers vulnérables de la route, tels que les scootéristes, les personnes se déplaçant sur une trottinette électrique, les cyclistes motorisés et les cyclistes non motorisés?
3. Quelle est l'efficacité des systèmes de freinage d'urgence automatique fondés sur des capteurs de nouvelle génération par rapport à celle des systèmes reposant sur des capteurs plus anciens, c'est-à-dire dont la réception par type remonte à plus longtemps?

L'étude a porté sur les systèmes de freinage d'urgence automatique de différents types et générations de véhicules (c'est-à-dire sur plusieurs modèles de véhicules équipés de différents types de capteurs). Les scénarios de test ont été conçus sur la base de ceux du Programme européen pour l'évaluation d'automobiles neuves («European New Car Assessment Programme», Euro NCAP). Le but était de tester le fonctionnement de ces systèmes dans des scénarios de test s'écartant de ceux d'Euro NCAP (p. ex. au niveau des conditions météorologiques et des conditions de lumière). Les tests se sont déroulés dans le cadre des installations extérieure et intérieure du centre de test CARISSMA (Center of Automotive Research on Integrated Safety Systems and Measurement Area) de l'école polytechnique d'Ingolstadt (Technische Hochschule Ingolstadt).

D'une manière générale, les tests ont montré que les systèmes de freinage d'urgence automatique fonctionnent d'autant moins bien que les conditions de test sont plus complexes. Même dans des scénarios ne différant que faiblement des scénarios standard d'Euro NCAP, certains systèmes n'identifiaient plus les mannequins ou ne freinaient plus à temps. Sans surprise, les systèmes de freinage d'urgence automatique de tous les types de véhicules ont été le plus efficaces de jour et par temps clair. Par mauvais temps et dans des conditions de lumière défavorables (pluie, obscurité), ils se sont révélés moins fiables. De jour et par temps clair, ils ont généralement bien identifié les piétons n'apparaissant qu'au moment de traverser la route, d'une part, et toujours déclenché un freinage d'urgence, d'autre part. Les cyclistes ont également été identifiés dans la plupart des cas, y compris dans des situations particulièrement délicates. Ainsi, les collisions ont le plus souvent été évitées même lorsque les cyclistes ne pouvaient être vus qu'au moment où ils traversaient la chaussée ou lorsqu'ils roulaient devant le véhicule, dans la même direction que celui-ci.

Il est difficile de se prononcer sur l'efficacité d'une génération donnée de capteurs, dans la mesure où l'on ne peut affirmer de manière générale que tels capteurs sont utilisés à telle fin. Pour chaque modèle de véhicule, il existe de nombreuses configurations d'équipements, que les constructeurs assemblent différemment. Les modèles de véhicules plus anciens, qui ont été homologués il y a plus longtemps, ont tendance à être moins performants que les modèles plus récents. La seule mise à jour régulière des logiciels ne permet guère de porter d'anciennes générations de capteurs ou d'architecture de véhicule au niveau actuel de la technique.

Il est apparu que les tests donnaient des résultats différents selon qu'ils étaient menés à l'intérieur ou à l'extérieur. Tous les systèmes se sont révélés tendanciellement moins efficaces à l'intérieur, dans des conditions d'éclairage artificiel, qu'à l'extérieur, dans des conditions d'éclairage naturel.

Pratiquement, ces résultats impliquent que, si les notations sur la base d'un système d'étoiles, tel que celui d'Euro NCAP, peuvent être utiles pour guider les consommateurs dans le choix d'un véhicule, leur importance ne devrait cependant pas être surestimée. Les scénarios de test habituels ne rendent pas compte de toutes les situations qu'on rencontre dans la circulation. Les différences constatées entre les performances de différentes générations de véhicules (véhicules de type A, B ou C, mis sur le marché respectivement en 2014, 2017 et 2019) montrent clairement qu'il est absolument indispensable de faire régulièrement des tests.

La réalité de la circulation routière ne peut pas ou que très difficilement être reproduite dans toute sa complexité. Il est néanmoins conseillé d'intégrer dans les protocoles NCAP des tests effectués par temps de pluie et dans l'obscurité. Cela serait utile pour deux raisons. En effet, dans ces conditions, non seulement l'efficacité des systèmes peut laisser à désirer, à en juger par les résultats de la présente recherche, mais les conducteurs et les usagers vulnérables de la route perçoivent moins bien leur environnement.

Riassunto

La Visione zero, volta a ridurre a zero il numero di morti e feriti gravi nel traffico, è un obiettivo dichiarato della politica di sicurezza stradale dell'UE ma anche di Austria e Svizzera. Ai fini della sua realizzazione giocano un ruolo centrale le nuove tecnologie, tra cui i sistemi di assistenza alla guida, nello specifico quelli che intervengono attivamente in situazioni critiche per proteggere, oltre al conducente, anche gli utenti vulnerabili che non sono a bordo del veicolo (cfr. Ewert 2014: 5, Deublein 2020: 13). L'assistente alla frenata automatica d'emergenza (AEBS = Advanced Emergency Braking System) è probabilmente il sistema con il maggiore potenziale a livello di sicurezza (cfr. Hummel et al. 2011: 56, Bubb & Bengler 2015: 567). A tenore del regolamento (UE) 2019/2144 sarà obbligatorio per i nuovi tipi di veicolo e per i veicoli di nuova immatricolazione a partire dal 2022/2024.

Il progetto di ricerca qui presentato si concentra sull'affidabilità dei sistemi di frenata automatica d'emergenza attualmente disponibili sul mercato e sulla loro efficacia nel proteggere gli utenti vulnerabili in situazioni reali (traffico, meteo). Lo studio considera lo stato attuale della tecnologia, le procedure di test esistenti e le conoscenze già a disposizione sull'incidentalità in Austria e Svizzera.

Il progetto ha cercato di dare una risposta agli interrogativi seguenti.

1. Come funzionano i sistemi AEB in diverse condizioni meteo (ad es. pioggia, nebbia) e di luce (giorno, imbrunire, notte)?
2. In che misura i sistemi AEB riconoscono gli utenti vulnerabili che circolano con mezzi come monopattini e scooter elettrici, biciclette o e-bike?
3. I sistemi AEB con sensori di nuova generazione (data di immatricolazione più recente) sono migliori rispetto a quelli della generazione precedente?

Sono stati esaminati i sistemi AEB di vari modelli e di varie generazioni di veicoli, con tipi di sensori diversi, sulla base degli scenari di prova applicati dall'European New Car Assessment Programme (Euro NCAP). Lo scopo era di capire in che misura i sistemi funzionano in condizioni reali, al di là degli scenari standard, ad esempio tenuto conto delle condizioni meteo o di luce. I test sono stati effettuati nelle strutture interne ed esterne del centro CARISSMA (Center of Automotive Research on Integrated Safety Systems and Measurement Area) dell'istituto tecnico di Ingolstadt.

In generale i risultati mostrano che l'efficacia dei sistemi diminuisce quando il contesto diventa più complesso. Già in presenza di uno scarto esiguo rispetto allo scenario standard applicato nei test Euro NCAP, alcuni sistemi non hanno riconosciuto il manichino o lo hanno riconosciuto troppo tardi per frenare. Come facilmente prevedibile, tutti i sistemi AEB funzionano al meglio di giorno e in condizioni di buona visibilità, mentre risultano meno affidabili in caso in condizioni meteo e di luce sfavorevoli (pioggia, buio). Nel complesso, i sistemi hanno riconosciuto chiaramente i pedoni che di giorno e con buone condizioni meteo attraversavano la strada in punti con scarsa visibilità e hanno attivato la frenata d'emergenza. I ciclisti sono stati generalmente riconosciuti anche in condizioni difficili. Nella maggior parte dei casi, quindi, le collisioni hanno potuto essere evitate anche quando i pedoni attraversavano in un punto con scarsa visibilità o i ciclisti circolavano nella stessa direzione dell'auto che sopraggiungeva da tergo.

È difficile giungere a una conclusione univoca sulla performance dei sistemi dotati di sensori di una determinata generazione, visto che è altrettanto difficile determinare quali sensori si sono effettivamente attivati in una determinata situazione. Per ogni modello di automobile esiste una vasta gamma di configurazioni che possono essere impostate a scelta dal fabbricante. Tendenzialmente, i modelli omologati secondo i vecchi standard hanno ottenuto risultati peggiori rispetto a quelli più nuovi perché, nonostante gli aggiornamenti software regolari, non possono raggiungere i livelli delle soluzioni di nuova generazione.

Sono state riscontrate differenze anche tra i test effettuati all'interno e quelli condotti all'esterno. Tutti i sistemi testati hanno dato tendenzialmente risultati peggiori in condizioni di luce artificiale (all'interno) che naturale (all'esterno).

In pratica questi risultati indicano che un sistema di valutazione espresso in stelle come quello di Euro NCAP è un buon riferimento per chi vuole acquistare un'automobile, ma andrebbe comunque considerato con cautela. Attualmente gli scenari dei test consolidati non coprono tutte le situazioni in condizioni reali di traffico. Le differenze nelle prestazioni delle diverse generazioni di veicoli (tipo di veicolo A: immissione sul mercato 2014, tipo di veicolo B: immissione sul mercato 2017 e tipo di veicolo C: immissione sul mercato 2019) evidenziano chiaramente la necessità di condurre test a cadenza regolare.

Evidentemente è molto difficile, se non impossibile, riprodurre la complessità della circolazione stradale. Si raccomanda tuttavia, in futuro, di inserire nei protocolli NCAP anche test condotti con la pioggia o di notte. Da una parte sarebbe logico perché in queste condizioni i sistemi AEB – per lo meno quelli testati nell'ambito del presente progetto di ricerca – non danno ancora risultati soddisfacenti e dall'altra perché con la pioggia e di notte i conducenti e gli utenti vulnerabili percepiscono con più difficoltà il contesto in cui si muovono.

1. Einleitung

1.1. Ausgangslage

Vision Zero und Safe System Approach

Das übergeordnete Ziel für die Verkehrssicherheit in der EU sowie in Österreich und der Schweiz ist die Vision Zero, also ein Straßenverkehr ohne Getötete und Schwerverletzte. Um dies zu erreichen, basieren die aktuellen Verkehrssicherheitsprogramme zahlreicher Länder auf der Philosophie des „Safe System Approach“: Durch verantwortungsvolles Miteinander im Straßenverkehr, geteilte Verantwortung (shared responsibility) und gemeinsames Handeln soll mehr Sicherheit für alle Teilnehmer*innen im Verkehrssystem entstehen (vgl. BMK 2021: 16, Europäische Kommission 2019: 2, ITF 2016). Kern dieses Ansatzes ist das ethische Gebot, dass Schwerverletzte und Getötete als Unfallfolgen nicht akzeptiert werden sollen; vor diesem Hintergrund sollen proaktiv alle Möglichkeiten genutzt werden, um entsprechend „schwere“ Unfälle zu verhindern (vgl. ITF 2016: 26, Funk et al. 2021: 24). Um diesem übergeordneten Ziel der Vision Zero immer näher kommen zu können, werden heute kurz- und mittelfristige Teilziele definiert – die Schweizer Verkehrssicherheitsstrategie sieht beispielsweise bis zum Jahr 2030 folgende Ziele vor:

- Nicht mehr als 100 Verkehrstote und 2.500 Schwerverletzte pro Jahr auf allen Straßen
- Nicht mehr als 25 Tote und 500 Schwerverletzte pro Jahr im Langsamverkehr
- Die Betriebssicherheit der Fahrzeuge ist sichergestellt.
- Die Bevölkerung nimmt die Straße als attraktiv und sicher wahr (vgl. ASTRA 2020: 5).

Der „Safe System Approach“ basiert auf folgenden Prinzipien bzw. Prämissen (vgl. ITF 2016: 26ff, Funk et al. 2021: 24):

1. Verkehrsteilnehmer*innen machen Fehler, die zu Unfällen führen können. Unfälle durch menschliche Fehler werden also immer wieder auftreten.
2. Der menschliche Körper ist verletzlich und hat nur begrenzte Fähigkeiten, die bei einem Unfall auf ihn einwirkenden Kräfte unbeschadet zu überstehen.

Daraus leitet sich eine neue Perspektive im Sinne des Safe System Approach ab: Nicht der Mensch muss sich dem System anpassen, sondern das System muss die beiden Prämissen inkorporieren. Das Straßenverkehrssystem muss also gegenüber kleinen Fehlern und Mängeln tolerant werden, das ideale Resultat ist ein selbsterklärendes und fehlerverzeihendes Straßenverkehrssystem. Erreicht werden kann das nur durch eine konsequent holistische Betrachtung auf

Grundlage des Zusammenspiels von Mensch, Umwelt/Infrastruktur und Fahrzeug (Abbildung 1). Dieses Zusammenspiel muss so ausgerichtet sein, dass Unfälle mit schweren oder tödlichen Verletzungsfolgen vermieden werden (vgl. Funk et al. 2021: 24).

Neue Fahrzeugtechnologien

Neuen Fahrzeugtechnologien kommt in Ländern wie Österreich und der Schweiz ein großer Stellenwert zu, um die nationalen Sicherheitsziele zu erreichen. Nicht zuletzt haben die Entwicklungen in der Fahrzeugsicherheit in den vergangenen Jahrzehnten entscheidend dazu beigetragen, dass die Zahl der Getöteten und Schwerverletzten deutlich zurückgegangen ist (vgl. Gonter et al. 2021: 1074). Heute gehören moderne Fahrerassistenzsysteme, die Lenkende bei der Bewältigung der Fahraufgaben unterstützen sollen, in vielen Fahrzeugen bereits zur Standardausrüstung. Sie bilden die Grundlage für die zunehmende Automatisierung und sind demnach eine Vorstufe des hochautomatisierten Fahrens (vgl. Bengler et al. 2021: 1011, BMK 2020).

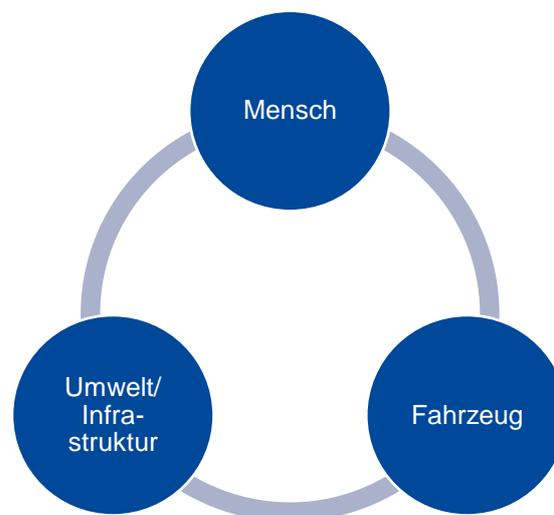


Abbildung 1: Zusammenspiel von Mensch, Umwelt/Infrastruktur und Fahrzeug (eigene Darstellung)

Komfortbezogene Systeme, wie zum Beispiel der Tempomat, sind aber weniger relevant, wenn es darum geht, die Verkehrssicherheit zu steigern. Die Schlüsselrolle spielen jene Sicherheitssysteme, die in kritischen Verkehrssituationen die Fahrzeuglenker*innen aktiv unterstützen, auch um ungeschützte Verkehrsteilnehmende außerhalb des Fahrzeugs zu schützen (vgl. Ewert 2014: 5, Deublein 2020: 13).

Die Methoden, die heute angewendet werden, um die Wirkung von Fahrerassistenzsystemen (FAS) auf die Verkehrssicherheit abzuschätzen, sind nicht immer eindeutig nachvollziehbar und vergleichbar. Sie basieren auf unterschiedlichen Ansätzen und Datengrundlagen, daher ist auch heute noch häufig unklar, welche FAS unter Einbeziehung menschlicher, technischer und umfeldbezogener Faktoren wie stark wirksam sind. Auch unerwünschte neue Gefährdungen im Straßenverkehr durch FAS sind noch nicht abschließend bekannt (vgl. ASTRA 2020: 7).

Automatischer Notbremsassistent

Das grundsätzliche Potenzial aktiver Sicherheitssysteme für die Steigerung der Verkehrssicherheit wird in zahlreichen Forschungsarbeiten bestätigt und auch auf politischer Ebene erkannt: Durch die EU-Verordnung 2019/2144¹ sind einzelne Systeme mit besonders hohem Sicherheitspotenzial ab 2022/2024 verpflichtend für neue Fahrzeugtypen bzw. neu zugelassene Fahrzeuge vorgeschrieben. Die Verpflichtung gilt unter anderem für den intelligenten Geschwindigkeitsassistenten, den Notfall-Spurhalteassistenten, den Müdigkeitsassistenten und den automatischen

¹ Verordnung (EU) 2019/2144 über die Typgenehmigung von Kraftfahrzeugen und Kraftfahrzeuganhängern sowie von Systemen, Bauteilen und selbstständigen technischen Einheiten für diese Fahrzeuge im Hinblick auf ihre allgemeine Sicherheit und den Schutz der Fahrzeuginsassen und von ungeschützten Verkehrsteilnehmern. In: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/?uri=CELEX%3A32019R2144>

Notbremsassistenten. Letzterer wird bis zum Jahr 2026 schrittweise verpflichtend eingeführt – mit steigenden Anforderungen, die bis zum Schutz von Fußgänger*innen und Radfahrer*innen reichen werden.

Der automatische Notbremsassistent (Englisch: AEBS = Advanced Emergency Braking System) ist dabei das Fahrerassistenzsystem mit dem vermutlich höchsten Sicherheitspotenzial (vgl. Hummel et al. 2011: 56, Bubb & Bengler 2015: 567). Er gehört zu der Gruppe der eingreifenden Fahrerassistenzsysteme und ist ein System, das einen möglichen Zusammenstoß bzw. eine Gefahrensituation selbstständig erkennt und das Abbremsen des Fahrzeugs veranlassen bzw. eine Notbremsung einleiten kann, um einen Zusammenstoß zu verhindern oder abzumildern. Auch wenn ein Unfall nicht vermieden werden kann, verringert das System die Geschwindigkeit und damit die Schwere eines eventuellen Aufpralls (vgl. ÖAMTC 2020, Bengler et al. 2021: 1051). Vor allem was die aktive Verringerung von Kollisionen mit ungeschützten Verkehrsteilnehmenden wie Fußgänger*innen und Radfahrer*innen betrifft, wird dem AEBS ein großes Potenzial zugeschrieben. Wenn die Vorwärtskollisionswarnung mit dem Notbremsassistenten kombiniert wird, ist eine Reduzierung der Auffahrunfälle um bis zu 80 % und der Kollisionen mit Fußgänger*innen um bis zu 50 % im Vergleich zu ähnlichen Modellen zu erwarten (vgl. Goodridge 2018). Nach Artikel 7 der EU-Verordnung 2019/2144¹ müssen Kraftfahrzeuge (der Klassen M1 und N1) mit automatischen Notbremsassistenten ausgerüstet sein, wobei diese in einer ersten Phase (d. h. ab 2022/2024) die Erkennung von Hindernissen und bewegten Fahrzeugen vor dem Kraftfahrzeug vorsehen müssen. In einer zweiten Phase (d. h. ab 2024/2026) wird diese Erkennungsfähigkeit auf Fußgänger*innen und Radfahrer*innen vor dem Kraftfahrzeug ausgeweitet.

1.2. Projektziel

Das vorliegende Forschungsprojekt hat das Ziel, die Zuverlässigkeit von heute auf dem Markt verfügbaren automatischen Notbremsassistenten und deren Schutzwirkung für ungeschützte Verkehrsteilnehmende in realen Verkehrs- und Umweltsituationen zu überprüfen. Als Grundlage dienen der aktuelle Stand der Fahrzeugtechnologie sowie bestehende Testverfahren und Erkenntnisse aus dem aktuellen Unfallgeschehen in Österreich und der Schweiz.

1.3. Organisation und Lösungsansatz

Projektorganisation

In Rahmen einer Kooperation des österreichischen Kuratoriums für Verkehrssicherheit (KFV) und der schweizerischen Beratungsstelle für Unfallverhütung (BFU) wurde die Studie zur Identifikation und Testung von Fahrerassistenzsystemen unterschiedlicher Hersteller zum Schutz von ungeschützten Verkehrsteilnehmenden ausgeschrieben.

Den Zuschlag für die theoretischen Vorarbeiten sowie die praktische Versuchsdurchführung erhielt die Technische Hochschule Ingolstadt. Die umfassende technische Ausstattung im Testzentrum CARISSMA sowie die Expertise des Forschungsteams im Testen sicherheitsrelevanter Fahrzeugfunktionalitäten waren ideale Voraussetzungen, um die beabsichtigten Fragestellungen zu untersuchen.

Die Versuchsergebnisse haben aber auch für den gesamten deutschsprachigen Raum Relevanz, weil der Gesamtverband der deutschen Versicherungsgesellschaften (GDV) punktuell einbezogen wurde. Insbesondere bei der Festlegung der Testszenarien konnte die Expertise des GDV berücksichtigt werden. Das Projekt wurde zwischen Januar 2020 und Juli 2021 durchgeführt.

Lösungsansatz

Der Lösungsansatz ist in Abbildung 2 auf übergeordneter Ebene dargestellt.



Abbildung 2: Vereinfachte Übersicht des Lösungsansatzes (eigene Darstellung)

Um die genannten Forschungsfragen zu beantworten, wurden vier aufeinander aufbauende Arbeitsschritte umgesetzt: Im ersten Schritt wurden die Forschungsfragen wissens- und evidenzbasiert abgeleitet. Darauf aufbauend wurden im zweiten Schritt die Testszenarien erarbeitet und der detaillierte Testkatalog festgelegt. Der dritte Schritt umfasste den technischen Versuchsaufbau in der Außen- und Innenanlage des CARISSMA Testzentrums in Ingolstadt. Dazu gehörten auch die Auswahl und Anmietung der Fahrzeuge, der Kauf der Dummies sowie die technische Realisierung der Umweltbedingungen (Dunkelheit, Regen, Nebel etc.). Die eigentlichen Versuche in Schritt 4 wurden in einem möglichst engen Zeitfenster durchgeführt, damit die Rahmenbedingungen (vor allem auf der Außenanlage) möglichst kontrollier- und vergleichbar blieben. Die in Schritt 4 erhobenen Versuchsdaten wurden im letzten Schritt 5 aufbereitet und ausgewertet. Daraus konnten die wichtigsten Erkenntnisse zur Beantwortung der Forschungsfragen abgeleitet werden.

Die einzelnen Schritte des Lösungsansatzes werden in den folgenden Kapiteln ausführlicher beschrieben.

2. Forschungsfragen

2.1. Relevanz des Unfallgeschehens

Der zentrale Aspekt für die Auswahl der Testszenarien war die Analyse des aktuellen Unfallgeschehens in Österreich und der Schweiz, wobei auch Entwicklungen und Zeitreihentrends der vergangenen Jahre berücksichtigt wurden. Auf dieser Basis sollen nur solche Testszenarien ausgewählt werden, welche die Auffälligkeiten in den Unfallzahlen am besten repräsentieren und von denen sich die Projektverantwortlichen die größte Hebelwirkung für die Straßenverkehrssicherheit versprechen. Zusätzlich glichen die beiden projektinitiierenden Institutionen die bestehenden Präventionsschwerpunkte ab.

Die Zahl der im österreichischen Straßenverkehr getöteten Menschen im Jahr 2020 ist eine der niedrigsten seit Beginn der Aufzeichnungen. 2020 starben 338 Menschen bei Verkehrsunfällen – 18 % weniger als in den beiden Vorjahren. Im Vergleich mit den anderen EU-Mitgliedstaaten liegt Österreich mit 38,6 im Straßenverkehr Getöteten pro 1 Mio. Einwohner*innen unter dem EU-Durchschnitt von 42,3 (ETSC, 15th Annual PIN Report 2021). Die Schweiz weist mit 26 Getöteten pro 1 Mio. Einwohner*innen einen fast halb so hohen Wert auf wie Österreich. Bei den Entwicklungen im Unfallgeschehen der vergangenen zehn Jahre zeigen sich jedoch beachtliche Parallelen (siehe Abbildung 3 und Abbildung 4): In beiden Ländern ist ein erfreulicher tendenzieller Rückgang der Unfälle mit schweren Verletzungsfolgen und Getöteten festzustellen.

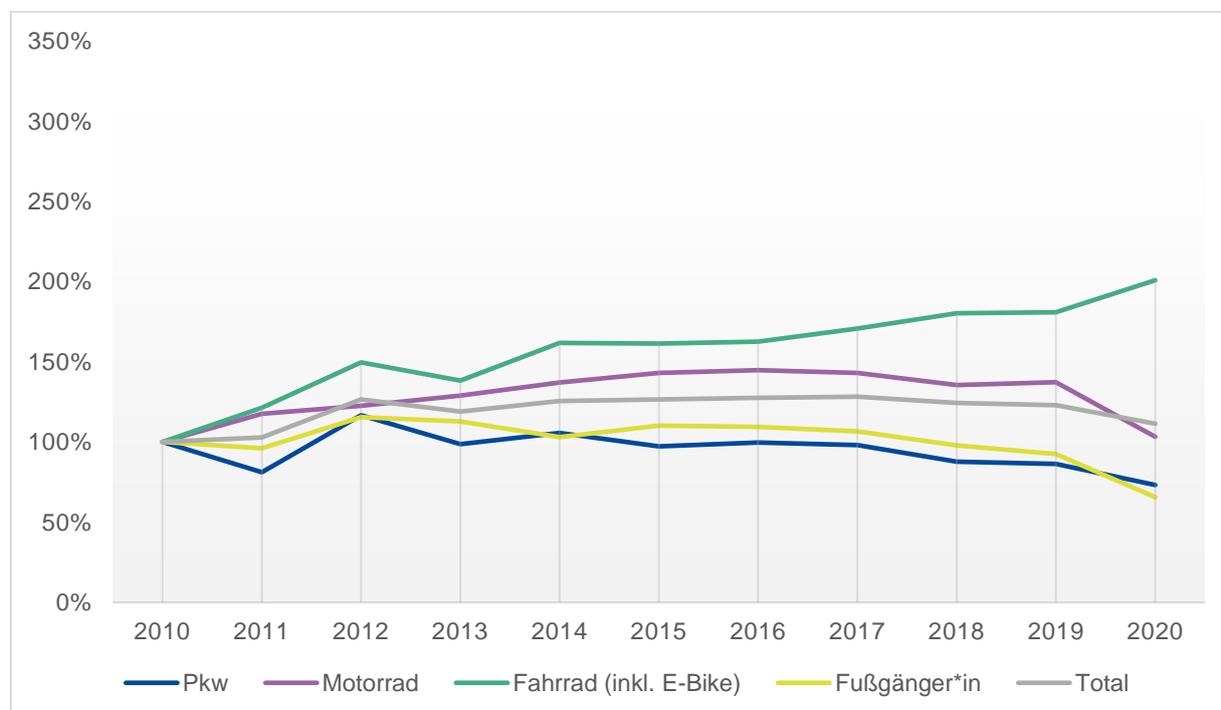


Abbildung 3: Indexierte Entwicklung der Unfälle mit schweren Personenschäden (Schwerverletzte und Getötete) innerorts nach Verkehrsteilnahme 2010-2020 für Österreich (Quelle: Statistik Austria 2021; eigene Darstellung)

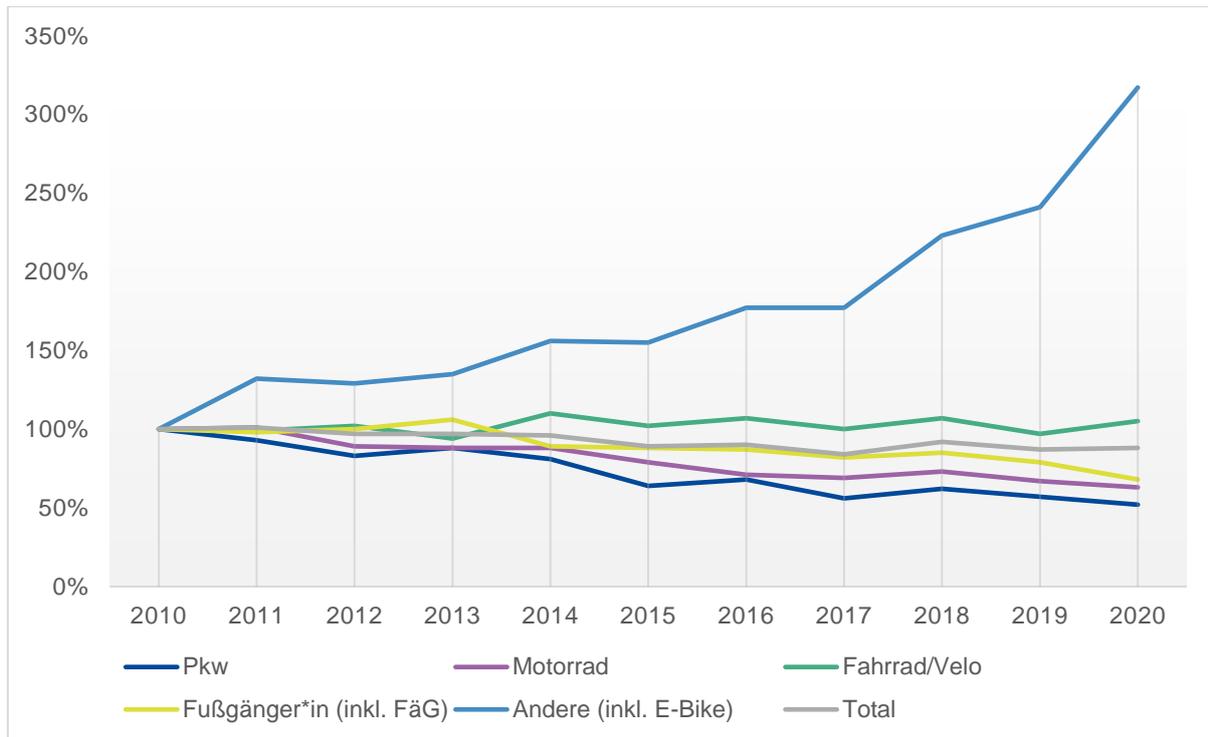


Abbildung 4: Indexierte Entwicklung der Unfälle mit schweren Personenschäden (Schwerverletzte und Getötete) innerorts nach Verkehrsteilnahme 2010-2020 für die Schweiz. Anmerkung: FäG = Fahrzeugähnliche Geräte, z. B. Scooter, Skateboard, Hoverboard etc. (Quelle: ASTRA 2021; eigene Darstellung)

Allerdings ist in Österreich seit dem Jahr 2010 kein deutlicher Rückgang bei der Zahl der im Straßenverkehr verunglückten Fußgänger*innen zu verzeichnen (mit Ausnahme des Jahres 2020). Bei Unfällen mit fast allen Verkehrsmittelarten wurden 2020 weniger verletzte oder getötete Personen verzeichnet, was vor allem auf die zwei pandemiebedingten Lockdowns und den damit verbundenen Rückgang des Verkehrsaufkommens um 19 % im Vergleich zum Durchschnitt der Jahre 2017-2019 zurückzuführen ist (vgl. ETSC 2021). Die Zahl der schwer verletzten Radfahrenden war jedoch noch nie so hoch wie im Jahr 2020. Besonders bei Unfällen mit E-Bikes ist die Zahl der schwer verletzten Personen stark gestiegen: Im Jahr 2020 zählten in Österreich 21 der insgesamt 40 getöteten Radfahrenden zu den E-Bike-Lenker*innen. Eine ähnliche Tendenz ist auch in der Schweiz zu beobachten, was unter anderem auf das steigende Verkehrsaufkommen sowie alternative Transportmittel wie E-Scooter und vor allem E-Bikes zurückzuführen ist.

Wie relevant es ist, ungeschützte Verkehrsteilnehmende besser zu schützen, zeigt sich auch daran, welche Gruppen von Verkehrsteilnehmenden mit welcher Häufigkeit von schweren Personenschäden betroffen sind (siehe Abbildung 5 und Abbildung 6). Der Anteil von Fußgänger*innen und Fahrradfahrer*innen ist in diesem Bereich im Vergleich zu ihrem Anteil an der Verkehrszusammensetzung überproportional hoch. Es kann davon ausgegangen werden, dass neue Mobilitätsformen, wie Sharing-Angebote für E-Bikes und E-Scooter, besonders zu diesen Entwicklungen beitragen.

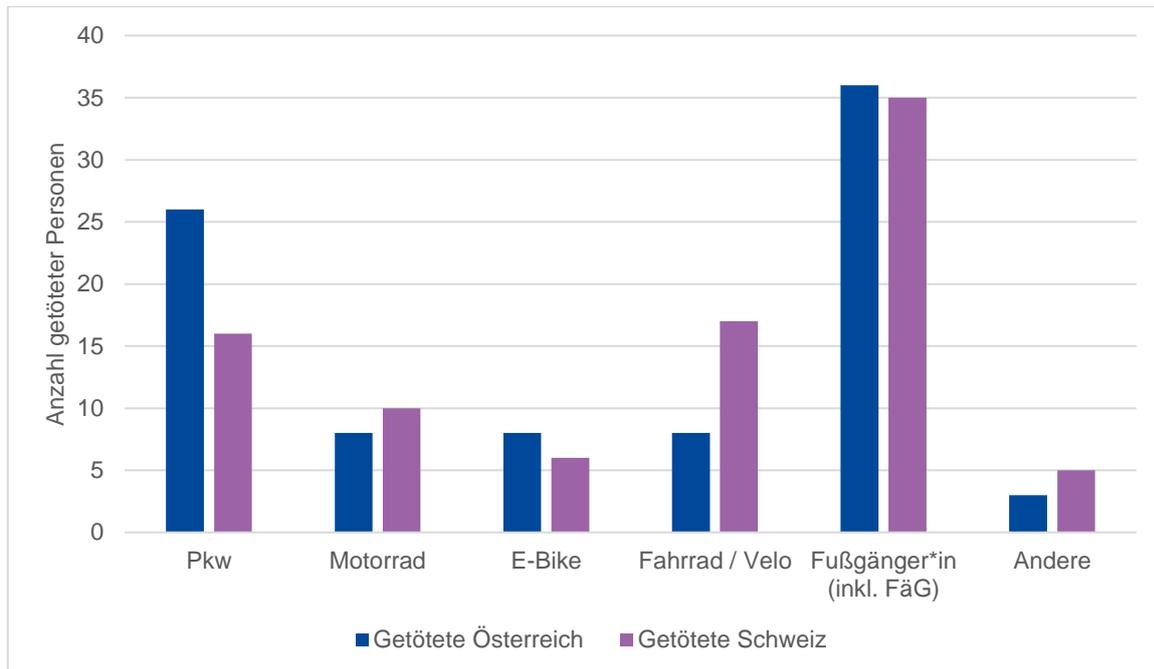


Abbildung 5: Verteilung der Zahl der Getöteten in Österreich und der Schweiz auf Innerortsstraßen nach Verkehrsteilnahme in 2020 (Quellen: Statistik Austria 2021 und ASTRA 2021; eigene Darstellung)

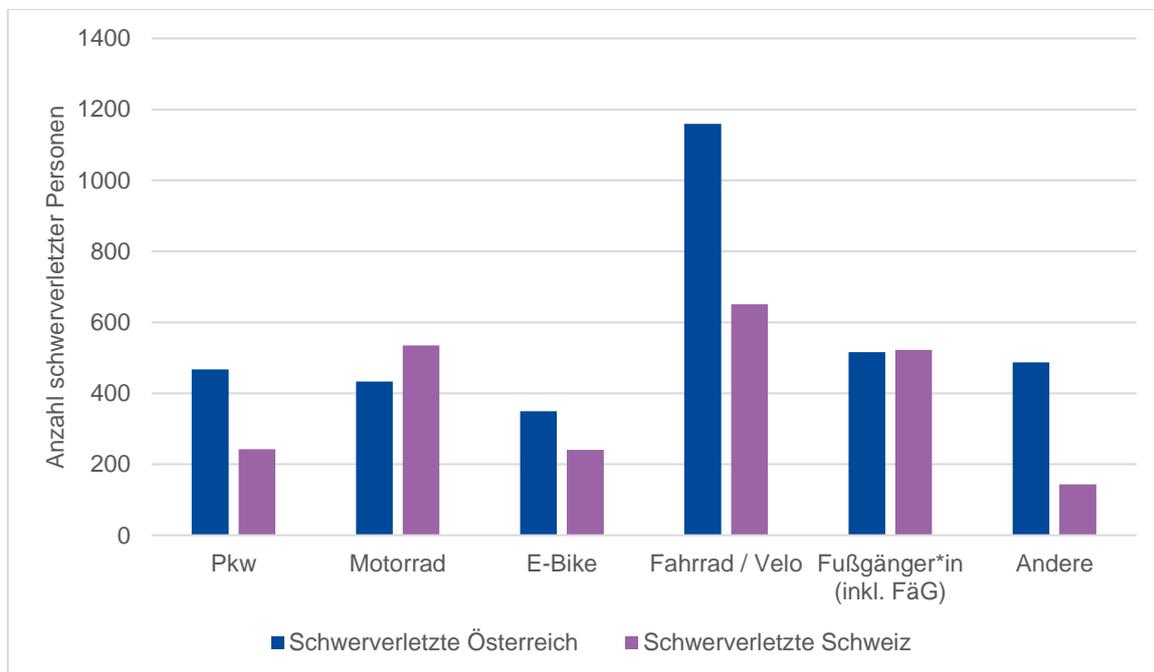


Abbildung 6: Verteilung der Zahl der Schwerverletzten in Österreich und der Schweiz auf Innerortsstraßen nach Verkehrsteilnahme in 2020 (Quellen: Statistik Austria 2021 und ASTRA 2021; eigene Darstellung)

Folglich müssen neue Ansätze, wie der Einsatz von FAS, herangezogen werden, um den Verkehr sicherer zu machen. Mit Hilfe der präzisen Erkennung von Objekten, ausgereifteren Algorithmen

und redundanter Sensorik ist es denkbar, die Zahl der Unfalltoten bzw. Verletzten in Zukunft zu senken.

Während Fahrzeuginsass*innen durch die Struktur des Pkw geschützt werden, sind UVT auf aktive Maßnahmen für die Vermeidung von Kollisionen angewiesen. Diese Tatsache zeichnet sich auch in der Unfallstatistik ab: In Abbildung 4 ist deutlich zu sehen, dass der Anteil der Pkw-Insass*innen an den Schwerverletzten sinkt, wohingegen UVT prozentuell gesehen stärker betroffen sind. Daraus leitet sich der Fokus der vorliegenden Untersuchungen ab: Es soll herausgefunden werden, wie wirksam zukünftige fahrzeugtechnologische Entwicklungen dazu beitragen können, Unfälle mit ungeschützten Gruppen von Verkehrsteilnehmer*innen zu vermeiden.

AEB-Systeme, die Fußgänger*innen und Radfahrer*innen erkennen, können aktiv Kollisionen mit anderen Fahrzeugen und UVT vermeiden bzw. die Folgen mindern. Der Leistungsumfang dieser Systeme wird durch verschiedene Anforderungen beeinflusst, die gesetzlich oder von Verbraucherschutzorganisationen vorgeschrieben sind. Die Performance von AEB-Systemen wurde im Rahmen dieses Projekts mit Hilfe etablierter Testmethoden, die auf die Rahmenbedingungen zugeschnitten wurden, unabhängig untersucht und ausgewertet.

2.2. Bestehende Testverfahren

Grundlage für die Auswahl der Testszenarien waren eine Literaturanalyse zum Stand der Forschung sowie die Praxis bei sicherheitsrelevanten Funktionalitätstests von FAS. Speziell für das AEBS wurden bestehende Testverfahren analysiert, deren Bezug zum Realverkehr mit UVT beurteilt und – darauf aufbauend – Forschungslücken identifiziert sowie zentrale Fragestellungen formuliert.

Standardisierte Testszenarien

Die Zuverlässigkeit von automatischen Notbremssystemen zum Schutz ungeschützter Verkehrsteilnehmer wird häufig anhand standardisierter Szenarien getestet. Eine bekannte Einrichtung ist das „European New Car Assessment Programme“ (Euro NCAP), ein verbraucherorientiertes Programm zur Bewertung der Sicherheit neuer Pkw. Im Rahmen dieses Programms werden die Fahrzeuge anhand einer Reihe von Testszenarien auf ihre passive und aktive Sicherheit geprüft. Diese Szenarien basieren auf den – laut Unfallstatistik – am häufigsten vorkommenden Unfallsituationen. Alle Fußgänger*innen-Tests werden sowohl mit Erwachsenen- als auch mit Kinder-Dummies durchgeführt.

Die Anzahl getesteter Szenarien bei Rating-Agenturen wie NCAP nimmt kontinuierlich zu. Dennoch wird durch die Tests nach wie vor nur eine begrenzte Menge an (oft vereinfachten) realen und kritischen Verkehrssituationen abgedeckt. Beispielsweise gibt es noch keine standardisierten Verfahren, um die Detektionsfähigkeit von AEBS bei unterschiedlichen Witterungsbedingungen zu testen. Das betrifft einerseits die Lichtverhältnisse, Regen- und Nebelsituationen, aber auch den Umstand, dass sich UVT bei schlechtem Wetter anders verhalten und anders gekleidet sind (Regenschirm, Poncho etc.). Verschiedene Arten von UVT (Roller, E-Bikes, E-Scooter etc.) spielen im Straßenverkehr eine immer größere Rolle, werden in den aktuellen Testkatalogen aber noch zu wenig berücksichtigt. Zwar testen die Fahrzeughersteller ihre Systeme (z. B. für AEBS) sehr

wohl auch bei Regen, Nebel, Gischt, Schnee oder Nacht, in den Testkatalogen von Euro NCAP und anderen standardisierten Szenarien werden diese Situationen aber noch kaum angeführt. Ein Großteil der NCAP-Testszenarien wird bei Tageslicht und guten Sichtverhältnissen durchgeführt. Für das vorliegende Versuchssetting lässt sich daraus ableiten, dass ein systematisches (wissenschaftliches) Testen der AEB-Systeme im Zusammenhang mit verschiedenen Witterungsbedingungen in diesem Umfang neuartig ist.

Die in Europa etablierten Testszenarien für die Sicherheit neuer Fahrzeugtypen werden seit 2009 durch das Euro NCAP durchgeführt. In diesem Rahmen werden auch Notbremsysteme zum Schutz von ungeschützten Verkehrsteilnehmenden (Fußgänger*innen seit 2016 und Fahrradfahrer*innen seit 2018) getestet².

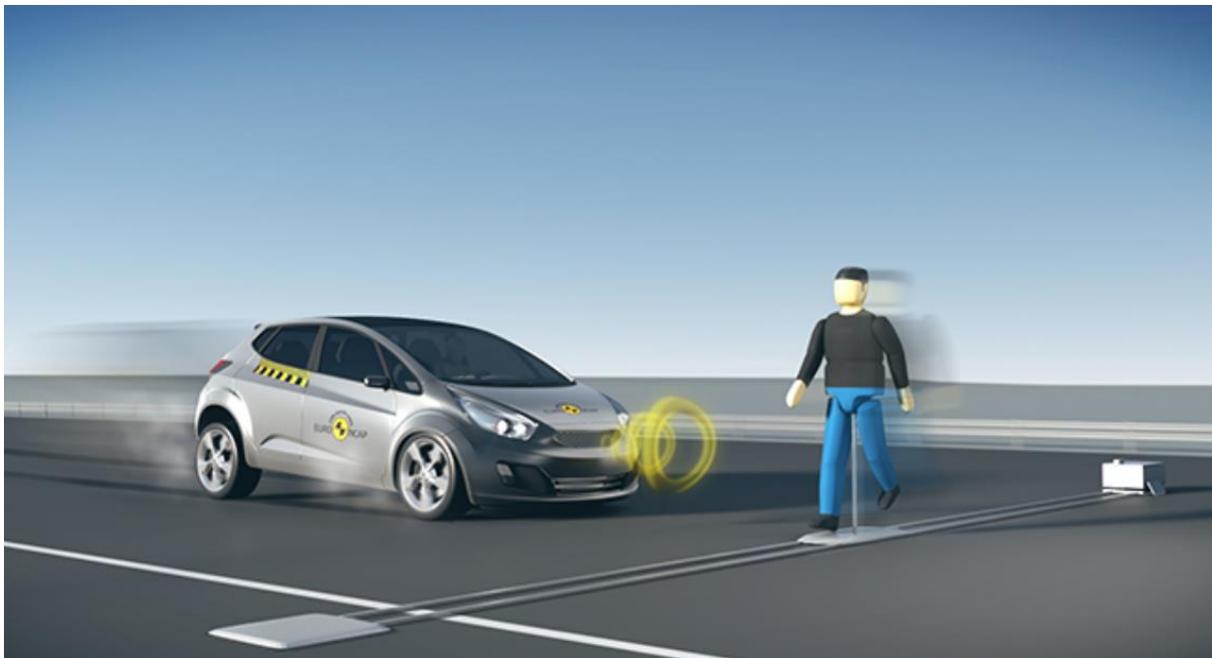


Abbildung 7: Illustration eines AEB-Testszenarios zum Schutz von Fußgänger*innen nach Euro NCAP (Quelle: Euro NCAP)

Die Testszenarien werden in regelmäßigen Abständen entsprechend der technologischen und regulatorischen Entwicklungen ausgeweitet. Ab 2022 wird das Euro NCAP zum Beispiel auch Prüfverfahren für motorisierte Zweiräder (AEB PTW = Powered Two Wheelers) in den Testkatalog aufnehmen. Eine grafische Darstellung der genannten Testfälle ist im Anhang (Abbildung 25) zu finden.

Testszenarien anderer Institutionen lehnen sich teilweise stark an die Tests des NCAP an und enthalten häufig sogar eine direkte Referenz zu Euro NCAP. Erweiterungen finden sich in Form

² www.euroncap.com

von Änderungen der Bewegungsrichtung oder der Vorfahrtslage. Entsprechende Beispiele (vgl. Cieslik 2019, Wisch 2019) für solche Szenarien sind im Anhang (Abbildung 27) veranschaulicht.

Da AEBS eine Kollision nach Möglichkeit verhindern sollen, ist eine Beurteilung der Funktionalität des Systems nach „pass“ oder „fail“ naheliegend. Kommt es zum Zusammenstoß, fällt das System durch und die Verletzungsschwere des UVT sowie die Kollisionsgeschwindigkeit spielen bei der Bewertung eine Rolle. Kann der Aufprall verhindert werden, dann ist die Funktion gegeben und Aspekte wie die verbleibende Entfernung zum UVT, die Zeitpunkte der Fahrer*innenwarnung und des Systemeingriffs oder die maximal verfügbare Verzögerung und Geschwindigkeitsverringern, die dadurch erzielt werden kann, sind von Bedeutung.

Aufgrund der Analyse bestehender Testszenarien wird vermutet, dass durch die Testmethodik – zum Beispiel des Euro NCAP – die gezielte Auslegung der Funktionalität von AEBS zu Ergebnissen führt, die im Straßenverkehr nicht in gleicher Weise erreicht werden können. Deshalb wurden jene Grenzbereiche der Systeme identifiziert, die nicht ausreichend oder gar nicht in den bestehenden standardisierten Teststrukturen abgedeckt sind. Zudem sind die Funktionsgrenzen des AEBS wesentlich durch technologische (Sensorreichweite, Wettereinfluss auf Sensorik), funktionale (Umfeld-Interpretation bzw. Betriebspunkt) oder situative (Beinahe-Unfall, Konfliktsituation) Faktoren bedingt. Die Identifikation alternativer Testfälle, ggf. auch solcher, die fehlerhafte Auslösungen provozieren können, ist deshalb ein relevanter Aspekt, um die Funktionalität moderner, aktiver Sicherheitssysteme wie jener des AEBS objektiv beurteilen zu können.

Die Literaturanalyse hat gezeigt, dass nur wenige Untersuchungen existieren, bei denen es um die Erkennung neuer Typen von verletzlichen Verkehrsteilnehmenden wie E-Bikes, (E-)Scooter oder speziellen Kleinstfahrzeugen geht. Daraus ergibt sich unmittelbar die Forschungsfrage, wie funktional AEBS bei der Erkennung genau dieser Verkehrsteilnehmergruppen sind, die besonders verletzlich und schutzbedürftig sind.

Gemäß den NCAP-Testprotokollen wird ein Großteil der Versuche bei Tag und günstigen Witterungsbedingungen durchgeführt. Allerdings zeigen die Unfallstatistiken aus Österreich und der Schweiz, dass wesentlich mehr schwere Unfälle bei Dunkelheit oder einsetzender Dämmerung passieren als unter idealen Tageslichtbedingungen. Hier besteht eine Diskrepanz zwischen dem Testdesign und der tatsächlichen Situation des maßgebenden Unfallgeschehens im Realverkehr. Eingeschränkte Licht- und vor allem schlechte Witterungsverhältnisse erhöhen die Anforderungen an die Sensorik deutlich und sind für die Auswahl der Testszenarien in der vorliegenden Versuchsreihe deshalb von besonders großem Interesse. Mit Blick auf den Realverkehr ist zudem zu beachten, dass Fußgänger*innen, Fahrradfahrer*innen oder andere Verkehrsteilnehmende bei schlechten Witterungsbedingungen sowohl anders agieren als auch reagieren. Gegenstände wie zum Beispiel Regenschirme können zusätzliche Anforderungen an die Objekterkennung stellen.

Die Vorschriften zur Auslegung von AEBS gewähren den Herstellern Freiräume für die individuelle Entwicklung von Funktionen. Ein Vergleich der entsprechenden Angaben seitens der OEM zeigt, dass sich die Geschwindigkeitsbereiche, in denen das AEBS aktiv ist, unterscheiden. Eine Übersicht der heute verfügbaren AEB-Systeme verschiedener Hersteller ist im Anhang zu finden (AEBS Technologie und Funktionsumfang

Tabelle 13). Die verwendeten Sensorkonzepte sind sehr variabel und damit ist auch die Detektionsfähigkeit der Systeme sehr unterschiedlich. Der Funktionsumfang von AEBS weicht unter Umständen sehr stark zwischen verschiedenen Fahrzeugmarken ab und unterscheidet sich selbst zwischen unterschiedlichen Fahrzeugmodellen desselben Herstellers. Manche Hersteller erweitern die primäre Bremsfunktion durch verletzungsmildernde Maßnahmen für die Fahrzeuginsass*innen, wie das Straffen der Gurte, die Positionierung der Sitze oder das Schließen von Fenstern und Schiebedächern, wenn eine Kollision nicht vermieden werden kann.

Durch die Nutzung der bereits verbauten Sensorik, beispielsweise beim Zukauf von Assistenzpaketen durch die Kund*innen, ist auch eine Kombination der Systeme oder die Fusion von unterschiedlichen Sensoren denkbar. Beim AEBS lassen sich heute drei Hauptvarianten unterscheiden: kamerabasiert, radarbasiert oder eine Fusion aus beidem. Die entsprechenden AEBS-Funktionalitäten können sich in Einsatzbereich (ODD), Reichweite, Detektionsgenauigkeit und Anzahl der fehlerhaften Systemreaktionen unterscheiden. Bei den meisten heute verfügbaren Systemen werden typischerweise die Daten mehrerer Sensoren (primär Radar und Kamera) fusioniert. Die Entwicklung schreitet aber voran, sodass bei neueren Sensorsystemen mittlerweile auch Laserscanner zum Einsatz kommen.

2.3. Ableitung der Forschungsfragen

Das Ziel der vorliegenden Untersuchungen bestand darin, aus den Erkenntnissen des aktuellen Stands der Forschung und der Praxis sogenannte Corner Cases (Grenzfälle³) abzuleiten und diese vergleichend (unterschiedliche Sensorkonzepte/Fahrzeugmodelle) zu testen. Auf Basis der Literaturrecherche und der Unfalldatenanalyse ergab sich eine Vielzahl interessanter Fragestellungen, die im Zusammenhang mit AEBS untersucht werden konnten.

Die übergeordnete Fragestellung war: Wie groß ist die Zuverlässigkeit bzw. Wirksamkeit von modernen Fahrerassistenzsystemen (und ganz spezifisch des AEBS), was den Schutz von ungeschützten Verkehrsteilnehmenden wie Fußgänger*innen und E-Bike-/Fahrradfahrer*innen betrifft? Dabei wurden folgende Forschungsfragen untersucht:

- Fragestellung 1:** Wie gut funktionieren AEB-Systeme bei ungünstigen Witterungsbedingungen (z. B. Regen, Nebel) und unterschiedlichen Lichtverhältnissen (klar, Dämmerung und Dunkelheit)?
- Fragestellung 2:** Wie gut erkennen AEB-Systeme verschiedene Arten von UVT wie Roller, E-Scooter, Fahrräder oder E-Bikes?
- Fragestellung 3:** Wie gut schneiden AEB-Systeme mit neuerer Sensorgeneration (d. h. mit neuem Zulassungsdatum) im Vergleich zu AEB-Systemen mit älteren Sensorgenerationen (d. h. mit älterem Zulassungsdatum) ab?

³ Mit Corner Cases oder Grenzfällen sind hier Testsituationen gemeint, in denen mehrere Testparameter, und manchmal eine Kombination davon (z. B. Wetter- oder Lichtverhältnisse), an der Grenze oder außerhalb der von NCAP definierten Basisszenarien liegen.

Untersucht wurden AEB-Systeme verschiedener Fahrzeugtypen (4.1) und in Anlehnung an die Euro-NCAP-Testszenarien. Das Ziel bestand darin, herauszufinden, wie gut die AEB-Systeme außerhalb des durch Euro NCAP spezifizierten Testraums und außerhalb der vordefinierten standardisierten Testszenarien funktionieren. Es wurden 239 gültige⁴ Testversuche durchgeführt.

⁴ Um gültige Versuche zu erhalten, mussten bis zu 11 Versuche pro Testfall durchgeführt werden (um z. B. die korrekte Überdeckung von Dummy und Fahrzeug lt. NCAP-Protokoll zu erhalten).

3. Methodik

3.1. Bestimmung der Testparameter

Die Resultate der Literatur- und Unfallanalyse bildeten die Grundlage für einen Workshop, in dem die wesentlichen Aspekte wie Rahmenbedingungen, Zielsetzung und Realisierung des Projekts diskutiert und festgelegt wurden. Der Workshop fand am 21.10.2020 unter Beteiligung der Auftragnehmer*innen der THI (Forschungsprofessor*innen des CARISSMA Institute of Automated Driving C-IAD, wissenschaftliche Mitarbeiter*innen/Doktorand*innen sowie Versuchingenieur*innen des Instituts), Vertreter*innen des Auftraggebers (KFV) sowie der BFU aufgrund der Corona-Maßnahmen als virtuelle Veranstaltung statt.

Für die Ableitung der Testszenarien wurden die verschiedenen Versuchsparameter und deren Variationsbereiche erarbeitet. So können AEB-Systeme beispielsweise nach Hersteller oder nach Sensorkonzept (kamera- vs. radarbasiert) einander gegenübergestellt werden. Außerdem gibt es die Möglichkeit, Unterschiede je nach Preiskategorie der Systeme zu quantifizieren. Zudem wurde die Verwendung von verschiedenen Verdeckungen und die Variation der Anzahl von betrachteten UVTs abgewogen. Die Mitarbeitenden des Versuchsteams der THI brachten zudem ihre Expertise und Erfahrungswerte aus vorhergehenden Versuchsreihen für Funktionalitätstests sicherheitsrelevanter FAS ein. Anhand eines Brainstormings mit anschließender Diskussion konnten erste Rahmenbedingungen und mögliche „Stellschrauben“ für die abschließende Definition der Testszenarien festgelegt werden:

- Die Versuche sollen auf der Outdoor- sowie Indoor-Anlage des Carissima-Testzentrums durchgeführt werden, um entsprechende reale Verkehrssituationen mit natürlichem und künstlichem Licht zu repräsentieren.
- In der Indoor-Anlage sollen die technischen Möglichkeiten für die Beeinflussung der Helligkeit (helles Licht, Dämmerung, Dunkelheit) sowie für die Kontrolle der Witterungsbedingungen (trocken, nass, Regen, Nebel) genutzt werden. Referenzmessungen sollen bei klarer Sicht und trockenen Witterungsbedingungen erfolgen.
- Die Versuche auf der Outdoor-Anlage werden so terminiert, dass auch Dämmerungssituationen nachgestellt werden können. Zudem wird eine Regenanlage auf der Outdoor-Anlage installiert.
- Um möglichst viele Situationen des Unfallgeschehens und des Realverkehr abdecken zu können, werden die Fahrzeuge so ausgewählt, dass möglichst flottenrepräsentative Fahrzeuge mit unterschiedlichen Generationen an AEBS-Sensorik sowie -Funktionsalgorithmik bzw. unterschiedliche Jahrgänge des zugrundeliegenden NCAP-Testprotokolls zum Einsatz kommen. Auch sollten die unterschiedlichen Sensorsysteme Kamera, Radar, Fusion repräsentiert sein.
- Als UVT sollen Fußgänger*innen (Kinder, Erwachsene), e-Bikes (mit 25 km/h) und Kinder auf einem Scooter betrachtet werden. (Abhängig von dem betrachteten Sensorkonzept sind Unterschiede in der Detektion von statischen und bewegten Verkehrsteilnehmenden zu erwarten.)
- Auf Grundlage des NCAP-AEBS-Testkatalogs werden solche Verkehrssituationen ausgewählt, die im Unfallgeschehen von Österreich und der Schweiz als kritisch erkannt wurden.

- Die Geschwindigkeiten der Fahrzeuge und der Dummies werden so gewählt, dass sie möglichst gut den tatsächlich gefahrenen Geschwindigkeiten im Realverkehr in Österreich und der Schweiz entsprechen.
- Das Versuchsdesign wird so gestaltet, dass es den realen Verkehrssituationen in Österreich und der Schweiz möglichst nahekommt.

Aus der Kombination der genannten Testparameter ergeben sich teilweise Testbedingungen, die in diesem Komplexitätsgrad bisher selten oder gar nicht mit AEBS durchgeführt wurden.

3.2. Auswahl der Basisszenarien

Als Ausgangspunkt für die Auswahl der Testszenarien galten die standardisierten Tests nach Euro NCAP für das AEBS mit Erkennung von Fußgänger*innen und Fahrradfahrer*innen. Daraus wurden die im Folgenden beschriebenen Basisszenarien aufgrund ihrer Relevanz für das Unfallgeschehen innerorts mit ungeschützten Verkehrsteilnehmenden in Österreich und der Schweiz ausgewählt. Ziel war nicht, exakt NCAP-konform zu testen, sondern die einzelnen Testszenarien nach Euro NCAP als Ausgangspunkt für die Versuchsreihen zu nutzen, um dann bei fortlaufender Veränderung der Testparameter und zunehmender Komplexität die Grenzbereiche der Systemfunktionalitäten auszuloten. Der Vergleich der Fahrzeuge fand stets unter gleichen Rahmenbedingungen statt.

3.2.1. CPNC-50: Car-to-Pedestrian Nearside Child 50%

In diesem Testszenario bewegt sich ein Fahrzeug entlang einer Reihe von geparkten Fahrzeugen. Plötzlich tritt ein zu Fuß gehendes Kind auf der Beifahrerseite aus einer Lücke zwischen den geparkten Fahrzeugen auf die Straße. Der Kollisionspunkt von Fahrzeug und Fußgänger*in liegt bei der Mitte des Fahrzeugs (50 % Überdeckung).

Dieses Szenario (sowie die nachfolgend beschriebenen) wird nach Euro NCAP ausschließlich bei klarer Sicht und trockenen Witterungsbedingungen durchgeführt. Für die vorliegenden Versuche wurden die Parameter Fahrzeugtyp, Fahrzeuggeschwindigkeit, Dummy-Typ, Witterungsverhältnisse und Versuchsort variiert.

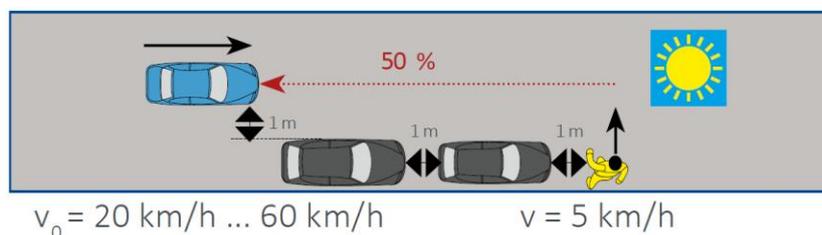


Abbildung 8: Darstellung CPNC-50 (Quelle: carhs.training gmbh 2019)

3.2.2. CBNAO-50: Car-to-Bicyclist Nearside Adult Obstructed 50%

In diesem Testszenario nähert sich ein Fahrzeug einem erwachsenen Radfahrer, der hinter einem geparkten Fahrzeug auf die Fahrbahn fährt. Der theoretische Kollisionspunkt liegt in der Mitte des

Fahrzeugs (50 % Überdeckung). Für die vorliegenden Versuche wurden die Parameter Fahrzeugtyp, Fahrzeuggeschwindigkeit, Dummy-Typ und Witterungsverhältnisse variiert.

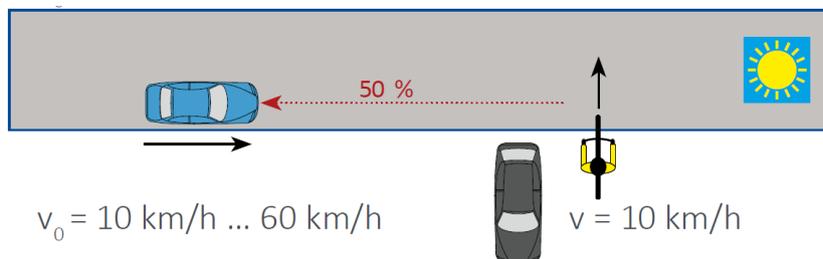


Abbildung 9: Darstellung CBNAO-50 (Quelle: carhs.training gmbh 2019)

3.2.3. CBLA-25: Car-to-Bicyclist Longitudinal Adult 25%

Ein Fahrzeug nähert sich auf einer Außerortsstraße einem erwachsenen Radfahrer, der sich auf der gleichen Fahrbahn in die gleiche Fahrtrichtung bewegt. Der theoretische Kollisionspunkt liegt bei 25 % der Fahrzeugbreite auf der Beifahrerseite (25 % Überdeckung), wenn das Fahrzeug keine Bremsung oder kein Ausweichmanöver einleiten würde. Für die vorliegenden Versuche wurden die Parameter Fahrzeugtyp, Fahrzeuggeschwindigkeit und Witterungsverhältnisse variiert.

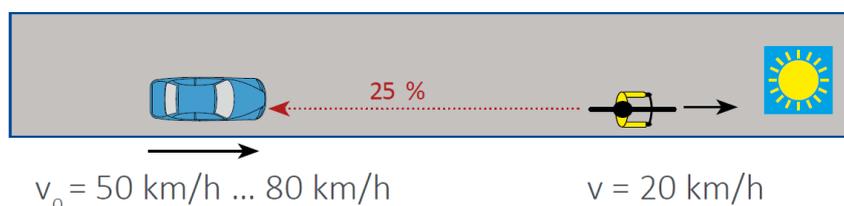


Abbildung 10: Darstellung CBLA-25 (Quelle: carhs.training gmbh 2019)

3.2.4. CBLA-50: Car-to-Bicyclist Longitudinal Adult 50%

Dieses Testszenario entspricht dem CBLA-25, nur dass statt einer 25-prozentigen eine 50-prozentige Überdeckung stattfindet und andere Fahrzeug- sowie Fahrradgeschwindigkeiten gesetzt werden. Für die vorliegenden Versuche wurden die Parameter Fahrzeugtyp, Fahrzeuggeschwindigkeit und Witterungsverhältnisse variiert.

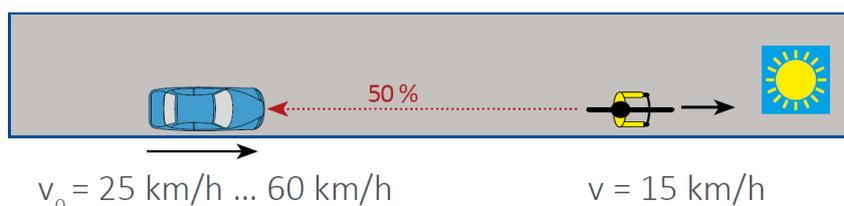


Abbildung 11: Darstellung CBL-50 (Quelle: carhs.training gmbh 2019)

3.3. Durchführung der Vorversuche

Um einen ersten Eindruck von der Funktionalität der Fahrzeugsysteme in den ausgewählten Test-szenarien zu gewinnen, wurde eine Reihe von Vorversuchen mit komplexen Umfeldbedingungen durchgeführt.

Dabei hat sich gezeigt, dass die verwendeten Fahrzeuge und die entsprechenden AEB-Systeme wegen der teils großen Abweichungen zu den Basisszenarien des Euro NCAP überfordert waren. Als Konsequenz kollidierten die Fahrzeuge bei fast jeder Versuchsfahrt mit den Dummies. Es musste davon ausgegangen werden, dass viele der geplanten Testszenarien von den Fahrzeugen nicht bestanden würden. Dadurch wäre der Erkenntnisgewinn aus den Versuchen deutlich geringer ausgefallen als beabsichtigt.

Aus diesem Grund wurde der Beschluss gefasst, jede Versuchsreihe mit einer möglichst engen Annäherung und Abbildung des entsprechenden Euro-NCAP-Basisszenarios zu starten. Die Fahrgeschwindigkeit des Testfahrzeugs wurde dann unter den Bedingungen Tag/klar analog zu Euro NCAP von der Mindestgeschwindigkeit weg in Schritten von je 5 km/h gesteigert, bis der Komplexitätsgrad des Szenarios so hoch war, dass das System bei keiner Fahrt mehr den Versuch bestehen konnte. Die finale Testgeschwindigkeit, mit der das Testfahrzeug den Test unter den Bedingungen Tag/klar erfolgreich absolvieren konnte, war auch die Testgeschwindigkeit für die Bedingungen Tag/(Niesel-)Regen und Dunkelheit/(Niesel-)Regen.

Die iterative Annäherung an die funktionellen Grenzbereiche der Systeme durch lineare Abweichungen in höhere Komplexitätsgrade stellt eine zumutbare Nachstellung der realen Verkehrssituationen dar.

3.4. Festlegung des Testkatalogs

Die Festlegung des Testkatalogs bzw. die detaillierte Beschreibung der Testszenarien erfolgte auf Grundlage der hier getroffenen Voranalysen, Rahmenbedingungen und Annahmen durch die THI und die Auftraggeber. Entscheidend war dabei stets, dass die Relevanz für die Unfallprävention in Österreich und der Schweiz sichergestellt war und die technische Durchführbarkeit im Testzentrum CARISSMA im Rahmen dieses Projekts überprüft wurde.

Zum Beispiel: Was lässt sich auf der Outdoor-Anlage realisieren und welche Grenzen gibt es in Bezug auf Fahrzeuggeschwindigkeiten, Kontrolle der Witterungsbedingungen und den Zeitplan? Wie kann die Indoor-Anlage für die verschiedenen Szenarien genutzt und umgebaut werden? Auch hier waren vor allem räumliche Einschränkungen zu beachten, die einen Einfluss auf die Auswahl der nachzustellenden Verkehrssituationen sowie mögliche Maximalgeschwindigkeiten hatten.

Der Testkatalog wurde iterativ zwischen den Forschungsstellen abgestimmt. Es wurden Versuchs-szenarien herausgearbeitet, welche die Forschungslücken abdecken und die zentralen Fragestellungen beantworten können. Die einzelnen Versuche aus dem Testkatalog wurden mindestens dreimal durchgeführt. Das ist für eine verallgemeinerbare, statistisch signifikante Aussage über

die Zuverlässigkeit der Systeme zwar zu wenig, gibt aber dennoch einen deutlichen Hinweis auf die Reproduzierbarkeit der Versuchsergebnisse.

Tabelle 2 gibt einen Überblick über die getesteten NCAP-Basiszenarien, die eingesetzten Fahrzeugtypen sowie Dummies, die Witterungsbedingungen und Geschwindigkeiten, die mit den NCAP-Basiszenarien für Tests auf der Außen- und Innenanlage kombiniert wurden. Der detaillierte Testkatalog befindet sich im Anhang (Tabelle 14 und Tabelle 15).

Tabelle 2: Variablen für die Festlegung und Variation der Testszenarien

NCAP Basisszenarien	CPNC-50		Car-to-Pedestrian Nearside Child 50%	
	CBNAO-50		Car-to-Bicyclist Nearside Adult Obstructed 50%	
	CBLA-25		Car-to-Bicyclist Longitudinal Adult 25%	
Dummy	Erweiterung; non NCAP		Erweiterung auf Tests mit E-Scooter indoor mit CPNC-50	
	4activePA-adult ⁵		Gelenkiger Erwachsenen-Dummy <i>Entspricht einem erwachsenen Mann</i>	
	4activePA-child ⁶		Gelenkiges Kinder-Dummy <i>Entspricht einem 7-jährigen Kind</i>	
	4activeBS-adult ⁷		Erwachsener Fahrradfahrer-Dummy <i>Entspricht einem erwachsenen Mann auf einem durchschnittlichen europäischen Nutzfahrrad</i>	
	ASTERA E-Scooter		Erwachsener E-Scooter Fahrerinnen-Dummy ⁸ <i>Entspricht einer jugendlichen/erwachsenen Frau mit einer Körpergröße von 1.66 m</i>	
	Witterungs- bedingungen (in- & outdoor)	Indoor & outdoor	Tag/klar	-
			Nacht/ Dämmerung klar	-
Outdoor		Tag/klar mit Regen leicht/Nieselregen	Ca. 6 mm/h; nur outdoor	
		Tag/klar mit Regen stark	Ca. 25 mm/h; nur outdoor	
		Nacht/Dämmerung Regen stark	Ca. 25 mm/h; nur outdoor	
Indoor		Tag/klar mit Regen	Parametrisiert 16 mm/h, nur indoor	
		Nacht/Dämmerung mit Regen leicht/Nieselregen	Ca. 6 mm/h; nur indoor	
		Nacht/Dämmerung mit Regen	16 mm, nur indoor	
		Tag/klar Nebel	Sichtweite ca. 25 m; nur indoor	
		Nacht/Dämmerung Nebel	Sichtweite ca. 25 m, nur indoor	
Geschwindigkeit	Fahrzeug		10, 15, 30, 40, 45, 50 km/h	
	Dummy		5, 10, 15, 35 km/h	

⁵ <https://www.4activesystems.at/4activepa>⁶ <https://www.4activesystems.at/4activepa>⁷ <https://www.4activesystems.at/4activebs>,⁸ ASTERA E-Scooter | MESSRING GmbH

Tabelle 3: Übersicht über die durchgeführten Tests, differenziert nach Indoor und Outdoor

	Indoor	Outdoor
Fahrten (Tests)	18 Fahrten mit je mind. 3 Wiederholungen = 54	46 Fahrten mit je mind. 3 Wiederholungen = 138
Testszenerien	2 (DayTime) * 3 (Weather) = 6 Szenarien	2 (DayTime) * 3 (Weather) = 6 Szenarien
NCAP	2 Szenarien (CPCN-50 Adult, Child)	4 Szenarien (3 Base + E-Scooter; vgl. Abbildung 23, Abbildung 24, Abbildung 25)
Fahrzeuge	2 (Fahrzeugtyp B und C)	3
Geschwindigkeiten	- Fahrzeug = 10 km/h - Dummy: 5 km/h	- Fahrzeug: 5,10,15,35 km/h - Dummy: 5,10,15,35 km/h.
Wetterbedingungen	- Tag klar - Dämmerung klar - Regen (16 mm/h, parametrisiert) - Nebel (ca. 25 m Sichtweite)	- Tag klar - Nacht/Dämmerung klar - Nieselregen (ca. 6 mm/h) - Regen (ca. 25 mm/h)

3.5. Berechnung der Performance

Zur Berechnung der Performance eines AEB-Systems wurden pro Versuchsdurchführung Punkte verteilt (vgl. Tabelle 4). Die volle Punktzahl erhielt ein AEB-System beispielsweise, wenn das Objekt korrekt erkannt und eine Bremsung durchgeführt wurde, ohne das Objekt zu touchieren. Für die Systemperformance wurde der Mittelwert der ersten drei validen Versuchsdurchführungen berechnet. Ein Versuch galt dann als valide, wenn der Kollisionspunkt zwischen Fahrzeug und Target dem NCAP-Protokoll des zugrundeliegenden Basisszenarios entsprach. Bei manchen Testszenerien waren bis zu 11 Fahrten notwendig, um drei valide Versuchsergebnisse zu erzielen. Die Performance entspricht dann dem Mittelwert der validen Versuchsdurchführungen. Die Performance wird in Prozent (%) angegeben und beschreibt somit den prozentualen Anteil des jeweiligen AEB-Systems an der möglichen Maximalleistung von 100 %. Bei einer Performance von 100 % wird ein Objekt in jedem Testlauf erkannt und es erfolgt immer eine Bremsung, ohne dass das Objekt touchiert wird.

Tabelle 4: Verwendetes Punktesystem zur Berechnung der AEBS-Performance

Performance	Bedeutung
100 %	Objekt erkannt + Bremsung erfolgreich durchgeführt
75 %	Objekt erkannt + Bremsung durchgeführt, aber Dummy touchiert oder umgefahren
50 %	Objekt erkannt + keine Bremsung durchgeführt
0 %	Objekt nicht erkannt, keine Bremsung durchgeführt

3.6. Zeitplan

Die Versuche auf der Außenanlage wurden zwischen 22. März und 16. April sowie zwischen 26. April und 7. Mai 2021 durchgeführt. Teilweise geschah das im Schichtbetrieb, um natürliche Dämmerungs- und Dunkelheitssituationen für die Corner Cases berücksichtigen zu können (Versuchsdurchführung outdoor zwischen 13.00 bis 22.30 Uhr). Indoor wurde zwischen 19. und 23. April jeweils von 8.00 bis 17.00 Uhr getestet.

4. Versuchsaufbau

4.1. Fahrzeuge

Für die eigentlichen Tests wurden drei Fahrzeuge unterschiedlicher Hersteller im Mittelklassebereich angemietet, welche die Weiterentwicklung der Fahrzeug- bzw. der Sensortechnologie in den letzten Jahren bestmöglich repräsentierten. So umspannten die Markteinführungsjahre einen Zeitraum von 2014 bis 2019. Dies ist entscheidend, da sich innerhalb dieses Zeitraums auch die Testprotokolle der standardisierten Testszenarien, z. B. nach Euro NCAP, verändert haben und die verbauten AEBS somit unterschiedliche Anforderungen erfüllen mussten. Das bedeutet: Obwohl in allen drei Fahrzeugen ein AEBS verbaut war, konnten die zugrundeliegende Funktionalität und die Systemgrenzen deutlich unterschiedlich sein. Die gewählten Fahrzeuge deckten drei Generationen von AEB-Systemen ab und repräsentierten damit sehr gut den aktuellen Generationenmix im Fahrzeugbestand Österreichs und der Schweiz.

Die folgenden Fahrzeuge wurden ausgewählt:

- Fahrzeugtyp A (Budget Car): Zulassung 2019, Markteinführung 2014
- Fahrzeugtyp B (SUV): Zulassung 12/2020, Markteinführung 2017
- Fahrzeugtyp C (Mittelklassewagen mit hoher Marktdurchdringung/„Golfklasse“): Zulassung 11/2020, Markteinführung 2019

Als Verdeckungsfahrzeuge für den CPNC-50-Test wurden ein VW Golf 8 (BJ 2020, Markteinführung 2019) sowie ein VW Caddy Maxi (BJ 2020, 4. Generation (2K)) angemietet.

4.2. Messausrüstung

Tabelle 5 gibt einen Überblick über die verwendete Messausrüstung für die Testversuche im Innen- und Außenbereich.

Tabelle 5: Messequipment

Messausrüstung	
Helligkeit	Luxmeter Tacklife LM01
Temperatur	Thermometer Dostmann LOG210-0210
Windgeschwindigkeit	Windmeter Trotec BA16
Positionierung Außenanlage	ADMA GNSS/Inertialsystem Automotive ⁹
Positionierung Testhalle	ADMA Racelogic V-Box https://racelogic.co.uk/index.php/de/
Bewegungsplattform innen	Humanetics Ultra-Flat Overrunable (UFO) Robot Platform, Typ: UFOpro Standard ¹⁰

⁹ <https://www.genesys-offenburg.de/en/products/adma-family-gpsinertial-system-automotiverailway/>

¹⁰ <https://humanetics.humaneticsgroup.com/products/active-safety/ultra-flat-overrunable-ufo-robot-platform/ufo-pro-standard>

Foto-/Video-dokumentation	Im Fahrzeug: 3 Stück GMSL-Kameras Full-HD, 30fps, Fokus/Schärfe 1+m (1xTyp AR0231, SF3223, 60°FOV, 2xTyp AR0231, SF3222, 100°FOV), 1 Logitech WebCam Pro (für Instrumentencluster) inkl. Mikrofon (für Audio-Feedback des Fzgs.); sämtliche Kameras für Nvidia DrivePX synchronisiert mit Versuchsdurchführung. Im Außenraum: 2 Stück GoPro 7, 1 Überwachungskamera auf Fahnenmast
----------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

4.3. Versuchsaufbau

4.3.1. Outdoor

Das Testfahrzeug fährt mit der Zielgeschwindigkeit durch eine Lichtschranke. Diese löst damit das Losfahren des Zugfahrzeuges (Typ Smart) aus, das über Positionssysteme autonom fährt. Über eine Umlenkrolle wird der Dummy (Target) vom Zugfahrzeug auf die Crashlinie gezogen. Das Target befindet sich auf einer Multiplexplatte (Verbundholz), um bei einem Aufprall möglichst einen sehr geringen Reibungswiderstand zu haben. Außerdem ist die Platte nur ca. drei cm hoch, sodass das Target (wie von NCAP vorgeschlagen) nahezu direkt am Boden steht.

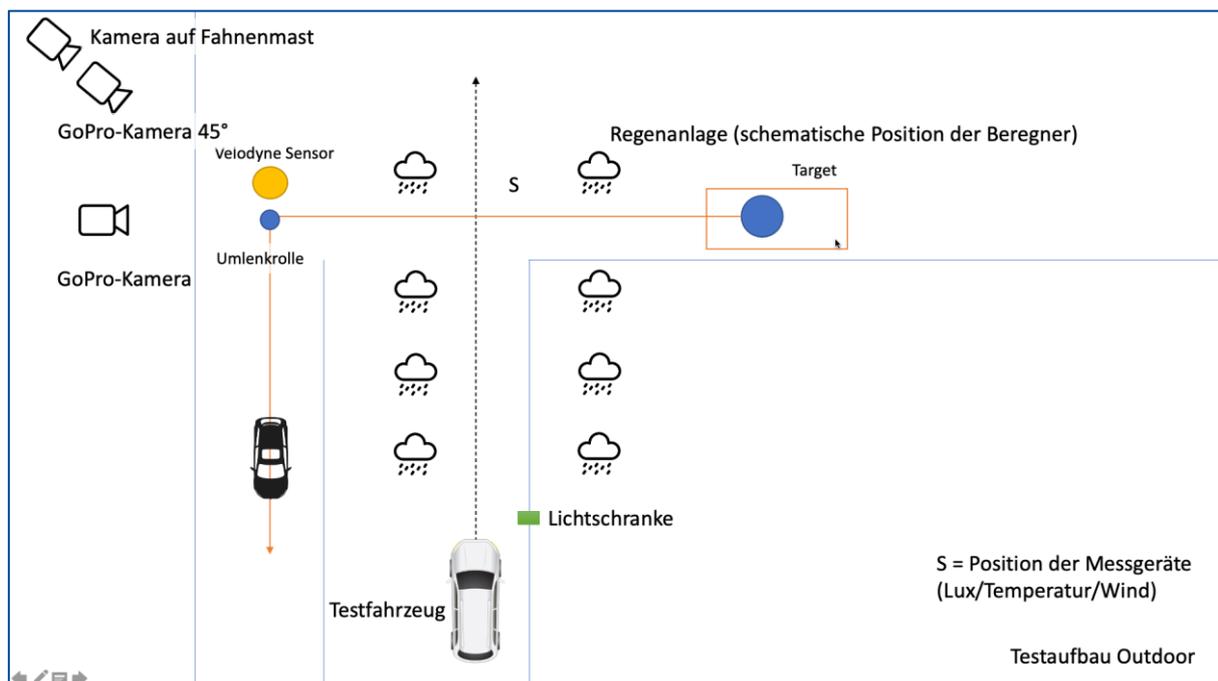


Abbildung 12: Versuchsaufbau outdoor (Quelle: CARISSMA)

4.3.2. Indoor

Das Testfahrzeug fährt mit der Zielgeschwindigkeit durch eine Lichtschranke; diese löst damit das Losfahren der UFO-Plattform aus, die das Target auf die Crashlinie zieht.

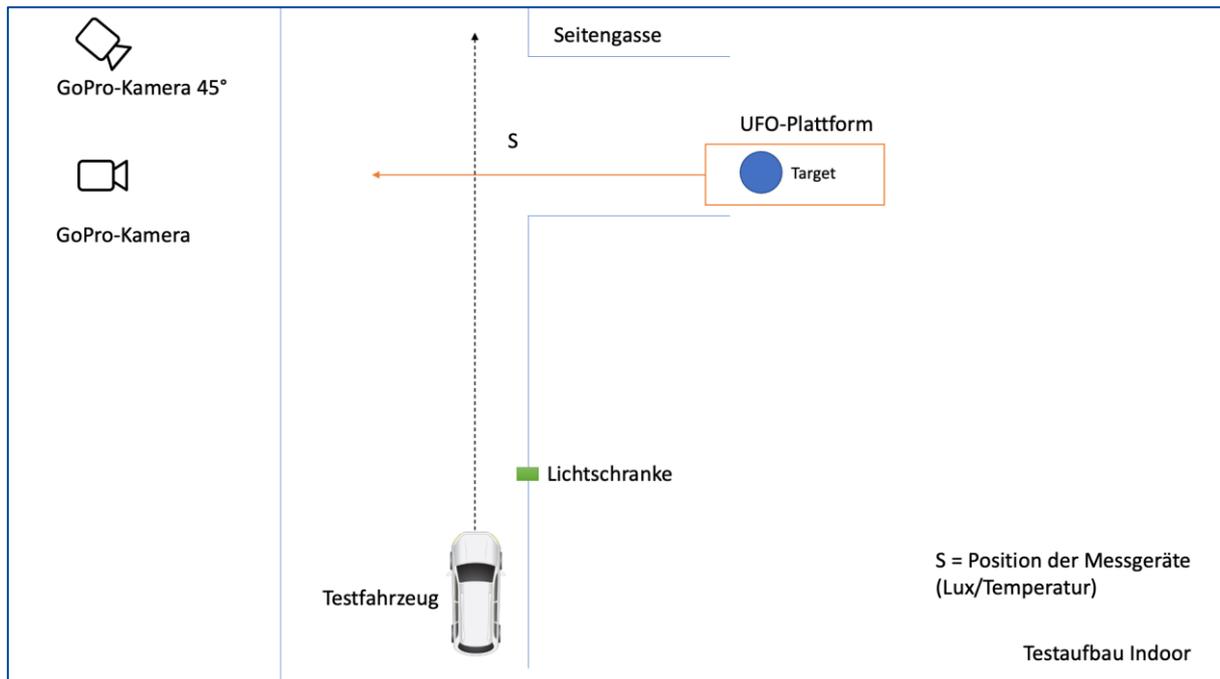


Abbildung 13: Versuchsaufbau indoor (Quelle: CARISSMA)

4.4. Außenanlage

Auf der Außenanlage von CARISSMA, die sich im Nordosten von Ingolstadt befindet, werden Versuche mit Fahrzeugen und Attrappen von Verkehrsteilnehmer*innen durchgeführt. Solche Versuche werden sowohl für den Entwurf von Methoden, Algorithmen und Komponenten als auch für deren Validierung benötigt.



Abbildung 14: CARISSMA-Außenanlage (Quelle: CARISSMA)

Die Außenanlage trägt aktuellen und zukünftigen Entwicklungen im Bereich des automatischen Fahrens und der Fahrzeugsicherheit Rechnung, indem zum Beispiel Versuche im Geschwindigkeitsbereich bis 80 km/h sowie Querdynamikversuche unter realen Umweltbedingungen durchgeführt werden. Die zur Außenanlage gehörende Teststrecke besteht aus einer 112 m langen Anlaufstrecke, die aktuell um weitere 100 m erweitert wird, und einer Dynamikfläche mit einem Durchmesser von 60 m. Die Teststrecke bietet die Möglichkeit, kritische und damit relevante Verkehrsszenarien reproduzierbar durchzuführen.

Weitere Ausstattung:

- ADMA-Inertialkreiselssystem
- DGPS-Basisstation
- SP80 GPS-Tracker
- LPM-System (radarbasiertes Positionsbestimmungssystem)
- mehrere Velodyne VLP-16 Sensoren¹¹; in diesem Versuch wurde damit die dynamische Position der Targets aufgezeichnet.

4.5. Innenanlage

In der Indoor-Versuchsanlage werden bei Fahrversuchen und Crashtests neue Sensorsysteme und Sicherheitsfunktionen bei konstanten Umgebungsbedingungen getestet. Fahrversuche erfolgen häufig fahrrobotergestützt, wofür ein Indoor-Ortungssystem im niedrigen bis mittleren Dynamikbereich (bis 50 km/h) genutzt wird. Für diesen Zweck kommen Attrappen zum Einsatz (z. B. Fußgänger*innen, Fahrzeug), die auf überfahrbaren, autonomen Plattformrobotern montiert sind. Ein wesentlicher Vorteil des Indoor-Betriebs sind die konstanten Umgebungsbedingungen. Vor allem für die Untersuchung der Auswirkungen von Störeinflüssen auf die vorausschauende Fahrzeugsensorik lassen sich die Umgebungsbedingungen gezielt verändern (Beleuchtung, Regen, Nebel). Für den Test neuer kooperativer Sicherheitsfunktionen im Gesamtfahrzeug werden mehrere vernetzte Fahrrobotersysteme mit erweiterten Sicherheitsmechanismen zur Verfügung stehen. Zusätzlich soll im Rahmen eines integralen Testansatzes die Kombination aus Fahrversuch und Crash möglich sein. Dabei können die realen Fahrversuche durch Einspeisung von simulierten (Umfeld-)Sensordaten in das fahrende Gesamtfahrzeug bis hin zu einem virtuellen Crash verändert werden (Vehicle-in-the-Loop).

¹¹ <https://velodynelidar.com/products/puck/>



Abbildung 15: CARISSMA-Innenanlage während eines Fahrversuchs. Anmerkung: Im Vordergrund ist die regennasse Fahrbahn zu sehen. Ebenfalls zu erkennen ist die beginnende Vernebelung der Halle durch die Nebelanlage (Wasserpartikel). (Quelle: CARISSMA)

Mit Hilfe der Regenanlage in der Innenanlage können realitätsgetreue Regenszenarien nachgestellt werden. Die Reproduzierbarkeit der Witterungsverhältnisse steht im Mittelpunkt des Aufbaus. Durch eine berechnete Fläche von ca. 250 m² können neben statischen Versuchen auch hochdynamische Sensor- und Fahrversuche realisiert werden. Die Regenstärke ist einstellbar und kann dem gewünschten Regenszenario angepasst werden. Die 50 m Länge der berechneten Fläche lassen eine Erforschung der Auswirkungen auf die Fahrzeugumfeldsensorik auch auf größere Distanzen zu. Mit spezieller Messtechnik wurde realer Regen vermessen, um Referenzwerte für die Auslegung der Regenanlage zu erhalten. Die Ergebnisse flossen in stetige Optimierungen der Anlagentechnik ein. Neben dem Regeneffekt können ebenfalls die Auswirkungen von nassem Asphalt auf die automotiv Umfeldsensorik untersucht werden. Die Anlage wird mit drei starken Wasserpumpen betrieben, die ein großflächiges Netz aus Rohren und Schläuchen speisen. Druckminderer werden benötigt, um homogene Regeneigenschaften über die komplette Fläche sicherzustellen. An den Kegeldüsen wird das mit Druck anliegende Wasser aufgefächert, sodass sich großflächig Wassertropfen bilden können.

Mit Hilfe der Nebelanlage in der Indoor-Versuchshalle können realitätsgetreue Nebelszenarien aus Wasserpartikeln nachgestellt werden. Die Dichte und somit die Sichtweite des Nebels kann eingestellt werden und ermöglicht somit reproduzierbare Sensortests. Sichtweiten <10 Meter ermöglichen die Nachstellung von Extremsituationen. Durch die Nebelanlage wird dabei Nebel in der gesamten Halle erzeugt. Auf diese Weise wird der Nebel auch im Bereich unter der Regenanlage gebildet, sodass ebenfalls Kombinationen aus Regen und Nebel möglich sind. Somit sind (einzeln oder in Kombination mit Regen) neben statischen Versuchen auch dynamische Sensor- und Fahrversuche möglich.



Abbildung 16: Parameter der Indoor-Regenanlage in der CARISSMA-Testhalle. Anmerkung: Abbildung links – einstellbare Regenintensitäten (16-98 mm/h) mit Tröpfchenverteilung im Vergleich zum natürlichen Regen mit 98 mm/h. Abbildung rechts: Zur Verbesserung der Tröpfchenverteilung sind unter den Regendüsen mehrere Netze gespannt, die kleinere Tröpfchen sammeln und als größere Tröpfchen abregnen lassen. (Quelle: CARISSMA)

4.6. Versuchsdokumentation

Bei jedem Versuch wurden die Fahrzeug- und Positionsdaten (inkl. Trajektorie) aufgezeichnet. Sämtlich Versuche wurden anhand von Foto- und Videoaufzeichnungen aus unterschiedlichen Perspektiven dokumentiert.

Im Einzelnen wurden für jeden durchgeführten Versuch die folgenden Parameter festgehalten:

- Welcher Testfall? Eine Beschreibung des Szenarios inklusive der Beschreibung der Targets (Dummies) und der eingesetzten Messtechnik.
- Unter welchen Bedingungen? Dokumentation der aktuellen Uhrzeit, Helligkeit und Witterung.
- Von wem? Name des verantwortlichen Versuchsleiters je Testfall.
- Mit welchem Fahrzeug? Fahrzeugdaten, Typ, Kilometerstand, Leistung.
- Welche Messwerte sind aufgetreten? Aufzeichnung des Testszenarios mit Geschwindigkeits-, Beschleunigungs- und Positionswerten des Testfahrzeugs und der Dummies.
- Was war das Testergebnis? Hat das Fahrzeug den AEBS-Test wie erwartet erfüllt oder kam es zu einer Kollision mit dem Dummy? Welche Besonderheiten waren zu beobachten?

Während der Versuche wurden synchronisierte Videostreams aus vier Kameraperspektiven am/im Fahrzeug kontinuierlich aufgezeichnet. Links-oben nach rechts-unten:

- a) Kamera auf Fahrzeugdach außen
- b) Kamera innen, hinter dem Rückspiegel
- c) Fahrerüberwachungskamera
- d) Dashboard-Kamera (inkl. Mikrofon für Signaltöne etc.)

Darüber hinaus waren drei weitere Kameras im Außenbereich angebracht:

- e) eine Übersichtskamera auf einem Fahnenmast
- f) eine Kamera auf der Crashlinie
- g) eine Kamera im Winkel von 45° zur Crashlinie

Die folgenden Abbildungen zeigen statische Bilder der Videostreams:





17f

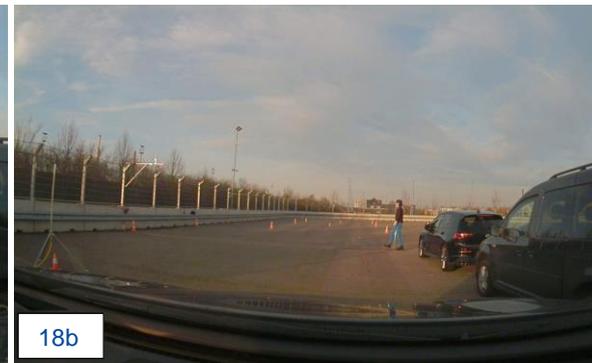


17g

Abbildung 17 (a-g): Fahrzeug C, CPNC-50, 4activePA-adult, v_Fzg 15 km/h, v_Target 5 km/h, Dämmerung, Regen (5.5°C, 1.3 m/s Wind, 17 Lux), keine Triggerung der Sicherheitsfunktion. (Quelle: CARISSMA)



18a



18b



18c



18d



18e



Abbildung 18 (a-g): Fahrzeug A, CPNC-50, 4activePA-adult, v_{Fzg} 30km/h, v_{Target} 5 km/h, Tag, klare Sicht (18°C, 1.5 m/s Wind, 16.000 Lux), AEB ausgelöst, Kollision nicht verhindert. (Quelle: CARISSMA)

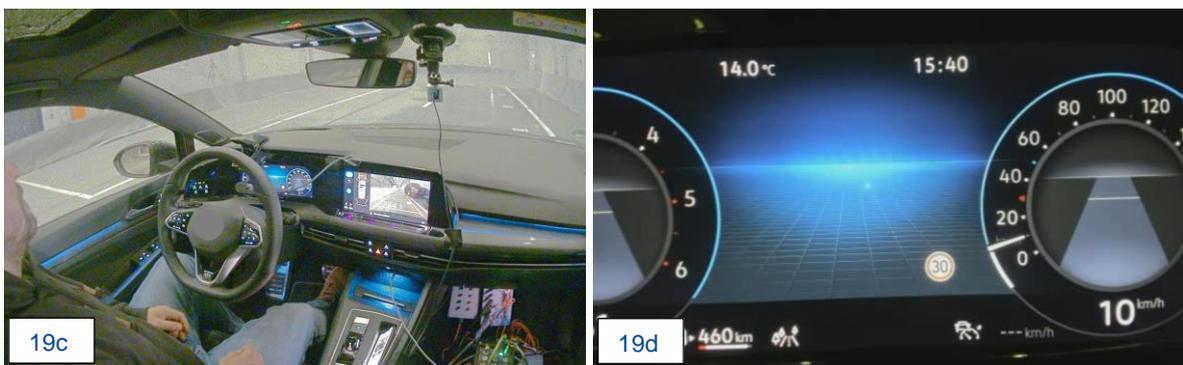
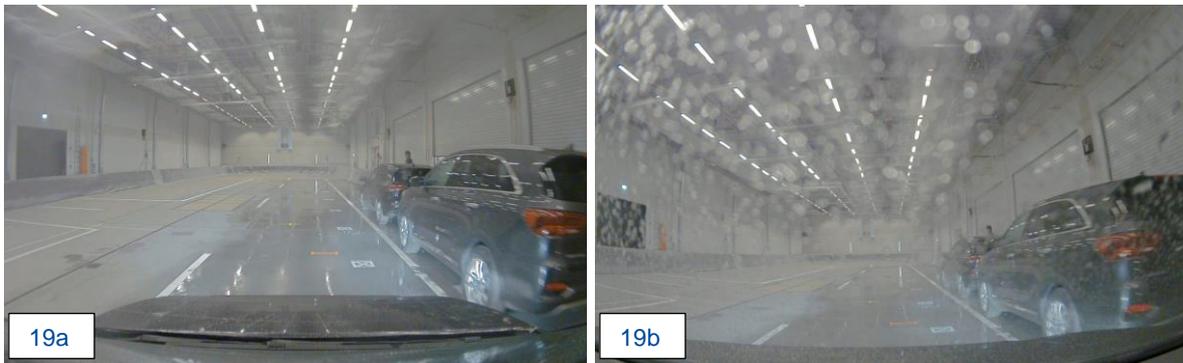


Abbildung 19 (a-d): Fahrzeug C, CPNC-50, 4activePA-adult, v_{Fzg} 10 km/h, v_{Target} 5 km/h, Dämmerung, Regen (16 mm/h), (22.4°C, 30 Lux), AEB ausgelöst/Fzg. gebremst & gewarnt. (Quelle: CARISSMA)



Abbildung 20: Fahrzeug nach Auslösung AEB, Bremsung und Warnung. (Quelle: CARISSMA)

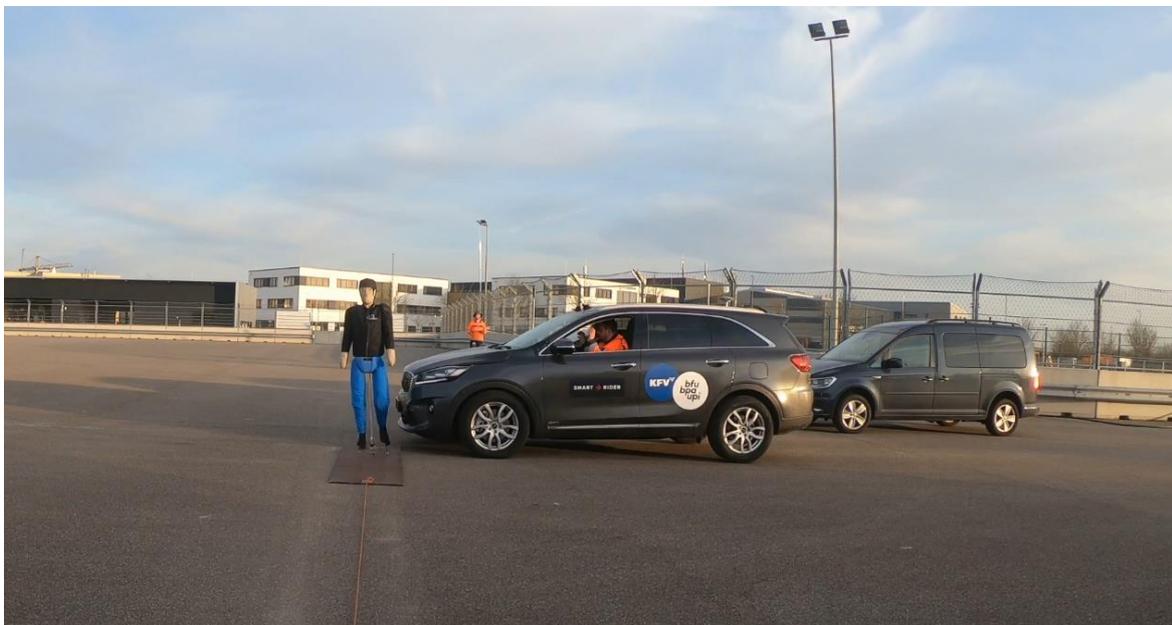


Abbildung 21: Testfahrzeug nach AEB-Aktivierung vor Adult-Dummy im CPNC-50-Versuch (Verdeckung durch 2 am Straßenrand abgestellte Fahrzeuge). Quelle: CARISSMA

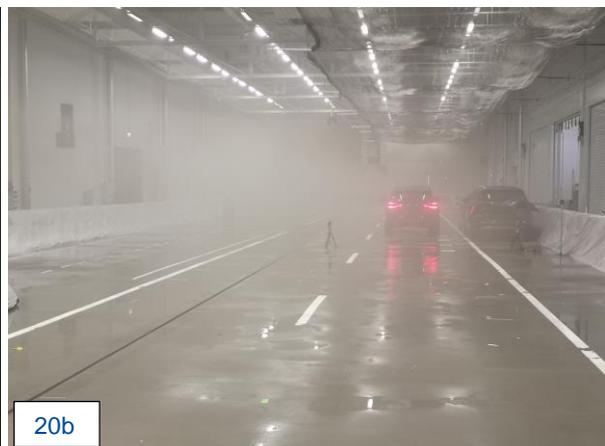
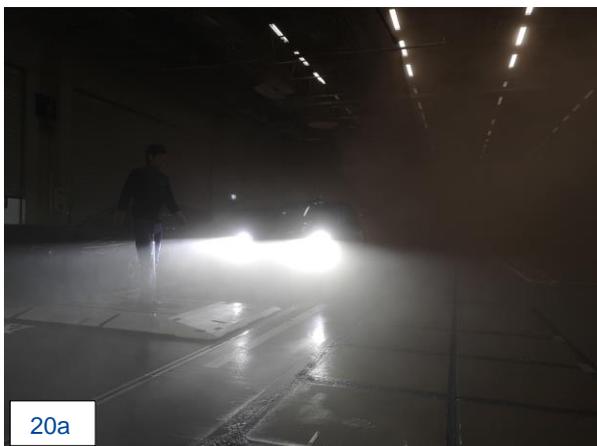


Abbildung 22 (a-b): Indoor-Tests unter widrigen Witterungsbedingungen. Links: Dämmerung bei Nebel. Rechts: regennasse Fahrbahn mit Nebel. (Quelle: CARISSMA)

5. Ergebnisse

In den folgenden Abschnitten werden die Hauptergebnisse zu den in Kapitel 2.3 aufgeführten Fragestellungen beschrieben. Die detaillierten Ergebnisse aller Versuchsdurchführungen befinden sich im Anhang (Tabelle 16).

5.1. Fragestellung 1: Witterungsbedingungen und Lichtverhältnisse

Die AEB-Systeme wurden unter verschiedenen Wetter- und Lichtbedingungen getestet. Daraus ergeben sich Szenarien mit optimalen, suboptimalen und schlechten Bedingungen (Best-Case-, Middle-Case- und Worst-Case-Szenarien). In den Best-Case-Szenarien wurden möglichst günstige, optimistische Situationen angenommen (gute Sichtverhältnisse bei Tag und klarem Wetter). In den Worst-Case-Szenarien wurden die Systeme unter besonders ungünstigen Wetter- und Lichtbedingungen (Dunkelheit und Regen) getestet. Systeme in den Middle-Case-Szenarien wurden bei Dämmerung in Kombination mit Regen oder Nebel, oder bei Dunkelheit mit Nieselregen getestet.

5.1.1. Best-Case-Szenarien

Tabelle 6 zeigt die Ergebnisse der Tests auf der Außenanlage bei Tag und klarem Wetter (Best-Case-Szenario; vgl. Spalten „Location“, „Daytime“, „Weather“). In Spalte „NCAP Scenario“ ist das jeweilige NCAP-Referenzszenario aufgeführt. Aus der Spalte „Dummy“ ist erkennbar, ob es sich bei dem zu erkennenden Objekt um einen erwachsenen Fußgänger (4activePA-adult), ein Kind (4activePA-child) oder eine Person auf einem Fahrrad (4activeBS-adult) oder auf einem E-Scooter (e-Scooter Target) handelt. Die Spalte „SensorTyp/Car“ enthält Angaben zur verbauten Sensortechnik (Kamera, Radar oder Fusion), Spalte „V_Car“ die gefahrene Geschwindigkeit des Fahrzeugs und Spalte „V_Target“ jene des zu erkennenden Dummies. Die exakten Lichtverhältnisse sind in der Spalte „Ø Lux“ angegeben. Ein Wert von 90.000 Lux entspricht in etwa dem mittäglichen Tageslicht an einem hellen Sonnentag. In der letzten Spalte ist angegeben, wie gut das AEBS das entsprechende Objekt erkannt (AEBS Performance) und eine Notbremsung durchgeführt hat.

Aus Tabelle 6 ist erkennbar, dass die Mehrheit der Systeme das Zielobjekt erkannt und das Fahrzeug zum Stillstand gebracht hat, ohne es zu touchieren (grüne Felder in der Performance-Spalte). Alle Performance-Werte kleiner als 50 % wurden gelb bis orange, alle mit 0 % rot gekennzeichnet. Fahrzeuge mit kamera- oder radarbasierten Systemen haben im Vergleich zu Systemen mit fusionsiertem Sensor-System etwas besser abgeschnitten.

Tabelle 6: Ergebnisse Best-Case-Szenario

NCAP Scenario	Dummy	Location	SensorTyp/Car	V_Car	V_Target	Daytime	Weather	Ø Lux	Performance
CBLA-25	4activeBS-adult	Outdoor	Fusion/Fhrz. A	50	35	Tag	Klar	13200	36%
CBNA-50	e-Scooter Target	Outdoor	Fusion/Fhrz. A	10	15	Tag	Klar	17000	0%
CBNAO-50	4activePA-adult	Outdoor	Fusion/Fhrz. A	20	10	Tag	Klar	31000	0%
CBNAO-50	e-Scooter Target	Outdoor	Fusion/Fhrz. A	10	10	Tag	Klar	37200	35%
CBNAO-50	e-Scooter Target	Outdoor	Fusion/Fhrz. A	30	10	Tag	Klar	33000	0%

NCAP Scenario	Dummy	Location	SensorTyp/Car	V_Car	V_Target	Daytime	Weather	Ø Lux	Performance
CPNC-50	4activeBS-adult	Outdoor	Fusion/Fhrz. A	35	5	Tag	Klar	46000	100%
CPNC-50	4activePA-child	Outdoor	Fusion/Fhrz. A	30	5	Tag	Klar	40000	81%
CPNC-50	4activeBS-adult	Outdoor	Fusion/Fhrz. A	50	5	Tag	Klar	28000	100%
CPNC-50	4activeBS-adult	Outdoor	Fusion/Fhrz. A	50	5	Tag	Klar	30000	83%
CBLA-25	4activeBS-adult	Outdoor	Kamera/Fhrz. B	50	35	Tag	Klar	49000	0%
CBNA-50	e-Scooter Target	Outdoor	Kamera/Fhrz. B	40	15	Tag	Klar	42000	80%
CBNAO-50	4activeBS-adult	Outdoor	Kamera/Fhrz. B	30	10	Tag	Klar	84800	83%
CBNAO-50	e-Scooter Target	Outdoor	Kamera/Fhrz. B	35	10	Tag	Klar	74300	95%
CPNC-50	4activePA-adult	Outdoor	Kamera/Fhrz. B	35	5	Tag	Klar	55000	100%
CPNC-50	4activePA-child	Outdoor	Kamera/Fhrz. B	35	5	Tag	Klar	15000	75%
CBLA-25	4activeBS-adult	Outdoor	Radar/Fhrz. C	50	35	Tag	Klar	45000	50%
CBNA-50	e-Scooter Target	Outdoor	Radar/Fhrz. C	30	15	Tag	Klar	40000	0%
CBNAO-50	4activeBS-adult	Outdoor	Radar/Fhrz. C	35	10	Tag	Klar	34000	100%
CBNAO-50	e-Scooter Target	Outdoor	Radar/Fhrz. C	35	10	Tag	Klar	29000	67%
CPNC-50	4activePA-adult	Outdoor	Radar/Fhrz. C	15	5	Tag	Klar	24000	83%
CPNC-50	4activePA-child	Outdoor	Radar/Fhrz. C	15	5	Tag	Klar	26500	92%

5.1.2. Middle-Case-Szenarien

Bei Abweichungen vom Basisszenario hin zu widrigeren Wetterbedingungen und schlechterer Sicht durch Dämmerung und Dunkelheit performen die AEB-Systeme aller Fahrzeuge erwartungsgemäß schlechter als in den Best-Case-Szenarien (vergleiche Tabelle 6 mit Tabelle 7). Diese Ergebnisse kommen zustande, weil die Systeme in lediglich 8 von insgesamt 69 gültigen Versuchsdurchführungen bei den Middle-Case-Szenarien das Zielobjekt erkannt und eine erfolgreiche Notbremsung durchgeführt haben (d. h., ohne den Dummy zu berühren oder ihn umzufahren; vgl. Tabelle 16 im Anhang).

Tabelle 7: Ergebnisse Middle-Case-Szenario

NCAP Scenario	Dummy	Location	SensorTyp/Car	V_Car	V_Target	Daytime	Weather	Ø Lux	Performance
CPNC-50	4activePA-adult	Indoor	Kamera/Fhrz. B	10	5	Dämmerung	Regen 16mm	32	0%
CPNC-50	4activePA-adult	Indoor	Kamera/Fhrz. B	10	5	Dämmerung	Nebel 35m	30	20%
CPNC-50	4activePA-child	Indoor	Kamera/Fhrz. B	10	5	Dämmerung	Regen 16mm	35	0%
CPNC-50	4activePA-child	Indoor	Kamera/Fhrz. B	10	5	Dämmerung	Nebel 30m	30	0%
CPNC-50	4activePA-adult	Indoor	Radar/Fhrz. C	10	5	Dämmerung	Regen 16mm	30	38%
CPNC-50	4activePA-adult	Indoor	Radar/Fhrz. C	10	5	Dämmerung	Nebel 30m	30	17%
CPNC-50	4activePA-child	Indoor	Radar/Fhrz. C	10	5	Dämmerung	Regen 16mm	30	33%
CPNC-50	4activePA-child	Indoor	Radar/Fhrz. C	10	5	Dämmerung	Nebel 30m	30	63%
CBLA-25	4activeBS-adult	Outdoor	Fusion/Fhrz. A	50	35	Dunkelheit	Nieselregen	15	17%

NCAP Scenario	Dummy	Location	SensorTyp/Car	V_Car	V_Target	Daytime	Weather	Ø Lux	Performance
CBLA-25	4activeBS-adult	Outdoor	Radar/Fhrz. C	50	35	Dunkelheit	Nieselregen	17	58%
CBNAO-50	4activeBS-adult	Outdoor	Radar/Fhrz. C	35	10	Dunkelheit	Nieselregen	14	83%

5.1.3. Worst-Case-Szenarien

In Tabelle 8 sind die Ergebnisse der Worst-Case-Szenarien aufgeführt. Es zeigt sich, dass keines der getesteten AEB-Systeme die Tests bestanden hat. Einzig bei einem Versuch (outdoor, Fusion/Fhrz. A, Geschwindigkeit Fahrzeug 50 km/h) wurde das Objekt – in diesem Fall eine erwachsene Person (4activeBS-adult) – bei einer von 11 Testwiederholungen vom System erkannt, ohne dass dieses allerdings eine Notbremsung ausgelöst hat.

Tabelle 8: Ergebnisse Worst-Case-Szenario

NCAP Scenario	Dummy	Location	SensorTyp/Car	V_Car	V_Target	Daytime	Weather	Ø Lux	Performance
CPNC-50	4activeBS-adult	Outdoor	Fusion/Fhrz. A	30	5	Dunkelheit	Regen	14	0%
CPNC-50	4activePA-child	Outdoor	Fusion/Fhrz. A	30	5	Dunkelheit	Regen	17	0%
CPNC-50	4activeBS-adult	Outdoor	Fusion/Fhrz. A	50	5	Dunkelheit	Regen	17	17%
CPNC-50	4activePA-child	Outdoor	Fusion/Fhrz. A	50	5	Dunkelheit	Regen	18	0%
CPNC-50	4activePA-adult	Outdoor	Kamera/Fhrz. B	35	5	Dunkelheit	Regen	18	0%
CPNC-50	4activePA-child	Outdoor	Kamera/Fhrz. B	35	5	Dunkelheit	Regen	17	0%
CPNC-50	4activePA-adult	Outdoor	Radar/Fhrz. C	15	5	Dunkelheit	Regen	17	0%
CPNC-50	4activePA-child	Outdoor	Radar/Fhrz. C	15	5	Dunkelheit	Regen	15	0%

5.2. Fragestellung 2: Erkennung von UVT

Bei der zweiten Fragestellung wurde untersucht, wie gut AEB-Systeme neue Kategorien von ungeschützten Verkehrsteilnehmenden erkennen. Getestet wurde die Effektivität der Systeme mit den Dummies Fußgänger (Kinder-Dummy, erwachsener männlicher Dummy), Fahrradfahrer (erwachsener männlicher Dummy), E-Scooter-Fahrerin (erwachsener weiblicher Dummy).

Die Versuche zeigen, dass die AEBS-Leistung zwischen zu Fuß gehenden Kinder- und Erwachsenen-Dummies (4activePA-child und 4activePA-adult) gleich gut (und hoch) ist. In der Mehrzahl der Fälle (in 9 von insgesamt 16 Versuchen) haben die Systeme das Zielobjekt erkannt und eine Bremsung durchgeführt, ohne den Dummy zu touchieren.

Tabelle 9: Ergebnisse Fußgänger

NCAP Scenario	Dummy	Location	SensorTyp/Car	V_Car	V_Target	Daytime	Weather	Ø Lux	Performance
CPNC-50	4activePA-child	Outdoor	Fusion/Fhrz. A	30	5	Tag	Klar	40000	81%
CPNC-50	4activePA-adult	Outdoor	Kamera/Fhrz. B	35	5	Tag	Klar	55000	100%
CPNC-50	4activePA-child	Outdoor	Kamera/Fhrz. B	35	5	Tag	Klar	15000	75%
CPNC-50	4activePA-adult	Outdoor	Radar/Fhrz. C	15	5	Tag	Klar	24000	83%

NCAP Scenario	Dummy	Location	SensorTyp/Car	V_Car	V_Target	Daytime	Weather	Ø Lux	Performance
CPNC-50	4activePA-child	Outdoor	Radar/Fhrz. C	15	5	Tag	Klar	26500	92%

Auch Fahrraddummies (4activeBS-adult) wurden von allen Fahrzeug-/Sensorsystemen überwiegend erkannt und ein Aufprall verhindert. Einzig der kamerabasierte Sensortyp des Fahrzeugtyps B konnte in drei Versuchen den Fahrraddummy bei einer Fahrgeschwindigkeit von 50 km/h nicht erkennen. Auch im CBLA-25-Szenario (25 % Überdeckung des Dummys) mit fusioniertem Sensortyp wurde der Dummy bei einer Fahrzeuggeschwindigkeit von 50 km/h und einer Fahrradgeschwindigkeit von 35 km/h in sieben Versuchen nur einmal erkannt und ein Aufprall verhindert. Dreimal wurde der Dummy vom System nicht erkannt und dreimal wurde er zwar erkannt, aber es wurde keine Notbremsung eingeleitet.

Table 10: Ergebnisse Fahrrad

NCAP Scenario	Dummy	Location	SensorTyp/Car	V_Car	V_Target	Daytime	Weather	Ø Lux	Performance
CBLA-25	4activeBS-adult	Outdoor	Fusion/Fhrz. A	50	35	Tag	Klar	13200	36%
CPNC-50	4activeBS-adult	Outdoor	Fusion/Fhrz. A	35	5	Tag	Klar	46000	100%
CPNC-50	4activeBS-adult	Outdoor	Fusion/Fhrz. A	50	5	Tag	Klar	28000	100%
CPNC-50	4activeBS-adult	Outdoor	Fusion/Fhrz. A	50	5	Tag	Klar	30000	83%
CBLA-25	4activeBS-adult	Outdoor	Kamera/Fhrz. B	50	35	Tag	Klar	49000	0%
CBNAO-50	4activeBS-adult	Outdoor	Kamera/Fhrz. B	30	10	Tag	Klar	84800	83%
CBLA-25	4activeBS-adult	Outdoor	Radar/Fhrz. C	50	35	Tag	Klar	45000	50%
CBNAO-50	4activeBS-adult	Outdoor	Radar/Fhrz. C	35	10	Tag	Klar	34000	100%

Während die Systeme der neueren Fahrzeuggenerationen mit neuen Typen von UVT (E-Scooter Target) gut zurechtkommen, sinkt dieser Anteil bei älteren Fahrzeuggenerationen (Fahrzeugtyp A laut Tabelle 11).

Table 11: Ergebnisse E-Scooter

NCAP_Scenario	Dummy	Location	Sensor-Typ/Car	V_Car	V_Target	Daytime	Weather	Ø Lux	Performance
CBNAO-50	e-Scooter Target	Outdoor	Fusion/Fhrz. A	10	10	Tag	Klar	37200	35%
CBNAO-50	e-Scooter Target	Outdoor	Fusion/Fhrz. A	30	10	Tag	Klar	33000	0%
CBNAO-50	e-Scooter Target	Outdoor	Kamera/Fhrz. B	35	10	Tag	Klar	74300	95%
CBNAO-50	e-Scooter Target	Outdoor	Radar/Fhrz. C	35	10	Tag	Klar	29000	67%

5.3. Fragestellung 3: Sensorik neuerer und älterer Fahrzeugmodelle

In der dritten Fragestellung wurde untersucht, wie gut AEB-Systeme mit einer neueren Sensorgeneration (d. h. mit einem jüngeren Zulassungsdatum) im Vergleich zu AEB-Systemen mit einer älteren Sensorgeneration (d. h. mit einem älteren Zulassungsdatum) abschneiden.

Fahrzeuge neuerer Generationen mit kamera- oder radarbasierten Sensoren (Fahrzeugtypen B und C) haben in den Best-Case-Szenarien (siehe Tabelle 6) besser abgeschnitten als Fahrzeuge älterer Generationen. Dieser Trend zeigt sich nicht bei den Worst-Case-Szenarien (siehe Tabelle 8): In diesen Settings performten Systeme aller Sensortypen schlecht. Schlussendlich scheint es so, dass Systeme der neueren Fahrzeuggenerationen (Fahrzeuge B und C mit Kamera-, respektive Radarsensoren) die neuen Kategorien von UVT besser erkennen (siehe Tabelle 9, Tabelle 10 und Tabelle 11).

Für ein Fahrzeugmodell gibt es viele verschiedene Fahrzeugkonfigurationen mit unterschiedlichen Softwareversionen, in die regelmäßig Updates eingespielt werden. Das erschwert eine verallgemeinerbare Aussage zur Performance verschiedener Sensortypen in neueren und älteren Fahrzeugmodellen, und daher sollten die beschriebenen Ergebnisse nicht überbewertet werden.

5.4. Weitere Ergebnisse

Zwischen Indoor- und Outdoor-Versuchen sind Unterschiede feststellbar. Bei den Indoor-Versuchen konnten die Systeme beider Fahrzeuge bereits bei einer Fahrzeuggeschwindigkeit von 10 km/h (V_{Car}) und einer Bewegungsgeschwindigkeit der Dummies von 5 km/h keine zufriedenstellende Performance liefern – lediglich fünf von 18 Versuchen erreichten einen Wert größer gleich 50 %. Bei den Outdoor-Versuchen sind die Ergebnisse der Best-Case-Szenarien trotz höherer Geschwindigkeiten deutlich besser (sieben von elf Versuchen erreichten einen Wert größer gleich 50 %). Bei Dunkelheit und Regen schnitten die Systeme auch im Outdoor-Versuch schlecht ab.

Tabelle 12: Vergleich der Ergebnisse indoor und outdoor (NCAP Scenario CPNC-50)

NCAP Scenario	Dummy	Location	SensorTyp/Car	V_Car	V_Tar-get	Daytime	Weather	Ø Lux	Perfor-mance%
CPNC-50	4activePA-adult	Indoor	Kamera/Fhrz. B	10	5	Tag	klar	150	63%
CPNC-50	4activePA-adult	Indoor	Kamera/Fhrz. B	10	5	Tag	Regen 16mm	32	75%
CPNC-50	4activePA-adult	Indoor	Kamera/Fhrz. B	10	5	Tag	Nebel 25m	30	20%
CPNC-50	4activePA-adult	Indoor	Kamera/Fhrz. B	10	5	Dämmerung	Klar	30,5	33%
CPNC-50	4activePA-adult	Indoor	Kamera/Fhrz. B	10	5	Dämmerung	Regen 16mm	32	0%
CPNC-50	4activePA-adult	Indoor	Kamera/Fhrz. B	10	5	Dämmerung	Nebel 35m	30	20%
CPNC-50	4activePA-child	Indoor	Kamera/Fhrz. B	10	5	Tag	Klar	150	50%
CPNC-50	4activePA-child	Indoor	Kamera/Fhrz. B	10	5	Dämmerung	Regen 16mm	35	0%
CPNC-50	4activePA-child	Indoor	Kamera/Fhrz. B	10	5	Dämmerung	Nebel 30m	30	0%
CPNC-50	4activePA-adult	Indoor	Radar/Fhrz. C	10	5	Tag	Klar	150	0%
CPNC-50	4activePA-adult	Indoor	Radar/Fhrz. C	10	5	Tag	Regen 16mm	32	40%
CPNC-50	4activePA-adult	Indoor	Radar/Fhrz. C	10	5	Tag	Nebel 25m	220	69%

NCAP Scenario	Dummy	Location	SensorTyp/Car	V_Car	V_Tar-get	Daytime	Weather	Ø Lux	Perfor-mance%
CPNC-50	4activePA-adult	Indoor	Radar/Fhrz. C	10	5	Dämmerung	Klar	35	13%
CPNC-50	4activePA-adult	Indoor	Radar/Fhrz. C	10	5	Dämmerung	Regen 16mm	30	38%
CPNC-50	4activePA-adult	Indoor	Radar/Fhrz. C	10	5	Dämmerung	Nebel 30m	30	17%
CPNC-50	4activePA-child	Indoor	Radar/Fhrz. C	10	5	Tag	Klar	1490	0%
CPNC-50	4activePA-child	Indoor	Radar/Fhrz. C	10	5	Dämmerung	Regen 16mm	30	33%
CPNC-50	4activePA-child	Indoor	Radar/Fhrz. C	10	5	Dämmerung	Nebel 30m	30	63%
CPNC-50	4activePA-adult	Outdoor	Kamera/Fhrz. B	35	5	Tag	Klar	55000	100%
CPNC-50	4activePA-adult	Outdoor	Kamera/Fhrz. B	35	5	Tag	Regen	8000	58%
CPNC-50	4activePA-adult	Outdoor	Kamera/Fhrz. B	35	5	Dunkelheit	Regen	18	0%
CPNC-50	4activePA-child	Outdoor	Kamera/Fhrz. B	35	5	Tag	Klar	15000	75%
CPNC-50	4activePA-child	Outdoor	Kamera/Fhrz. B	35	5	Dunkelheit	Regen	17	0%
CPNC-50	4activePA-adult	Outdoor	Radar/Fhrz. C	15	5	Tag	Klar	24000	83%
CPNC-50	4activePA-adult	Outdoor	Radar/Fhrz. C	15	5	Tag	Regen	26000	67%
CPNC-50	4activePA-child	Outdoor	Radar/Fhrz. C	15	5	Tag	Klar	26500	92%
CPNC-50	4activePA-child	Outdoor	Radar/Fhrz. C	15	5	Tag	Regen	15000	58%
CPNC-50	4activePA-adult	Outdoor	Radar/Fhrz. C	15	5	Dunkelheit	Regen	17	0%
CPNC-50	4activePA-child	Outdoor	Radar/Fhrz. C	15	5	Dunkelheit	Regen	15	0%

6. Zentrale Erkenntnisse

Die Versuchsergebnisse zeigen auf übergeordneter Ebene, dass die Systemfunktionalität abnimmt, je komplexer das Versuchssetting wird. Bereits bei geringen Abweichungen zu den standardisierten Testszenarien nach Euro NCAP konnten die AEB-Systeme den Dummy entweder nicht mehr erkennen oder das Fahrzeug nicht mehr rechtzeitig anhalten.

Die wichtigste Erkenntnis aus den Tests ist die Diskrepanz zwischen Testdesign und den tatsächlichen Situationen aus dem Realverkehr (2.2). Dazu kommt die Schwierigkeit, eine alltägliche Gefahrsituation in einem Laborsetting nachzustellen. In der Realität treten häufig Situationen auf, in denen mehrere UVT und mehrere Fahrzeuge an einem Szenario beteiligt sind, während die Situation im Labor derzeit lediglich mit einem Pkw und einem Dummy nachgestellt wird. Zudem hat sich gezeigt, dass aufgrund des NCAP-Bewertungsschemas ein Fahrzeug durchaus ein hohes Sterne-Rating für seine Sicherheit erreichen kann, auch wenn einzelne FAS-Tests nicht bestanden werden.

Ausgangspunkt war für alle Testszenarien eine möglichst enge Abbildung der Euro-NCAP-Basiszenarien. Diese wurden auch von allen Testfahrzeugen und Sensorgenerationen überwiegend gut gemeistert (siehe Ergebnisse Best-Case-Szenarien). Die Versuche mit unterschiedlichen Arten von Dummies (Kind, Erwachsene, Fahrrad und E-Scooter) haben gezeigt, dass sowohl Kinder als auch Erwachsene nahezu gleich gut erkannt werden und dass auch Fahrräder von allen Sensorsystemen gut registriert werden. Bei der Erkennung von E-Scootern konnten jedoch Unterschiede zwischen den Fahrzeuggenerationen festgestellt werden: Während die Systeme der neueren Fahrzeuggenerationen den E-Scooter-Dummy gut registrierten (95 %), war die Detektionsquote bei den älteren Generationen nur mäßig bis schlecht (67 % und 35 %).

Auch widrige Witterungsbedingungen und Dunkelheit haben einen negativen Einfluss auf die Erkennungsrate der Systeme. Bei Dunkelheit und Regen performen die AEB-Systeme aller Fahrzeuge schlechter (siehe Ergebnisse Middle-Case- und Worst-Case-Szenarien).

Schließlich konnten auch Unterschiede zwischen den Innen- und Außenversuchsumgebungen festgestellt werden. Alle getesteten Systeme funktionierten im Innenbereich tendenziell schlechter. Der Grund für die unterschiedliche Performance liegt vermutlich in folgenden beiden Einflüssen: (a) Die vorhandenen Stahlbeton-Leitplanken (im New Jersey Profil) sowie die Stahlbeton-Konstruktion der Halle selbst treten diffuse Reflexionen der Radar-Signale auf. Diese führen zu einer geringeren Genauigkeit der Sensorik. Zusätzlich scheint (b) das „schwächere“ bzw. unnatürliche Licht im Innenbereich einen Einfluss auf die Performance zu haben. Beides, Radar-Reflexionen durch Stahlbeton sowie unnatürliche Lichtverhältnisse treten im Realverkehr in Tunneln und insbesondere in Parkhäusern auf.

Zusammenfassend kann durch die Versuchsergebnisse bestätigt werden, dass die Verkehrssicherheit durch den automatischen Notbremsassistenten deutlich verbessert werden kann. Die Systeme sind jedoch nicht für alle Situationen ausreichend ausgereift und können bereits bei kleineren Abweichungen vom Basisszenario in ihrer Funktionalität und Performance stark abfallen.

7. Diskussion und Ausblick

Nach etwa 200 durchgeführten Versuchen zeigt sich, dass bestehende, standardisierte Testverfahren kaum ausreichen, um das Sicherheitspotenzial von Fahrzeugen im Realverkehr zuverlässig abzuschätzen. Die getesteten Fahrzeuge performen nicht in allen Situationen so wie erwartet. Die stetigen Verbesserungen und Erweiterungen der Euro-NCAP-Tests lassen für die Zukunft jedoch erwarten, dass die Performance von Sicherheitssystemen steigen wird.

Ein Großteil der aktuellen NCAP-Testszenarien wird bei Tageslicht und guten Sichtverhältnissen durchgeführt. Bereits kleine Veränderungen am Basisszenario (z. B. Regen oder Dunkelheit) können dazu führen, dass die Systeme nicht entsprechend reagieren und die Situation nicht bewältigen können. Eine Konsequenz dieser Erkenntnis kann die Ausdehnung der Versuchsreihe auch auf andere, für die Verkehrssicherheit vielversprechende, aktive Sicherheitssysteme wie den automatischen Ausweichassistenten oder Spurhalteassistenten etc. beinhalten. Allen voran sollte es realitätsnähere Innenstadtszenarien mit mehreren Dummies pro Testfall geben, die den Schutz von mehreren UVT gleichzeitig darstellen sollen. Konkrete alternative Testkataloge für solche Testszenarien könnten sein:

- Zwei zu Fuß gehende Personen kreuzen entgegengesetzt die Straße; eine Person läuft längs und die andere quer zur Fahrtrichtung.
- Die Interaktion von Fußgänger*innen und Fahrradfahrer*innen sowie die Längserkennung bei gleichzeitigem Gegenverkehr.

Dabei kann das regelmäßige Monitoring des Unfallgeschehens helfen, die Testszenarien auf entsprechende Präventionsschwerpunkte auszurichten.

Es ist schwierig, eine Aussage zur Performance einer spezifischen Sensorgeneration zu treffen, da für ein Fahrzeugmodell viele verschiedene Konfigurationen verfügbar sind, die jeweils mit unterschiedlichen Softwareständen ausgestattet sind und regelmäßig upgedatet werden. Der aktuelle Stand der Software lässt sich – wenn überhaupt – nur unter hohem Aufwand herausfinden. Ältere Modelle, die einmal nach dem alten Stand homologiert wurden, können aufgrund der verbauten Sensorik/Fahrzeugarchitektur kaum auf einen aktuellen Stand gebracht werden (z. B.: ein Fahrzeug, das nach Euro NCAP 2018 homologiert wurde, kann die NCAP 2020er-Tests nicht absolvieren – auch nicht nach einem späteren Software-Update).

Der direkte Vergleich der drei Fahrzeugtypen in den verschiedenen Testszenarien (indoor und outdoor) hat jedoch Unterschiede in der Erkennungsrate je nach Fahrzeuggeneration ergeben: Je moderner ein Notbremssystem ist, umso besser werden neuartige Verkehrsteilnehmende erkannt. Die Unterschiede in der Erkennungsrate unterschiedlicher Fahrzeuggenerationen verdeutlichen, wie notwendig es ist, regelmäßige Funktionalitätstests durchzuführen, um mit den Entwicklungen der Fahrzeugtechnologie und den neuen Testprotokollen des Euro NCAP Schritt zu halten. Die Beurteilung der Erkennungsleistung basiert häufig, so auch in diesem Projekt, ausschließlich auf der Trefferrate in Versuchssettings, wo eine Notbremsung auch tatsächlich notwendig ist. Um die Aussagekraft der Leistungsbewertung von Fahrerassistenzsystemen zu erhöhen, sollte geprüft

werden, inwieweit Szenarien entwickelt werden können, die auch das Reaktionsverhalten der Systeme in ungefährlichen Situationen berücksichtigen, in denen keine Warnung und/oder Notbremsung erforderlich wäre.

Schlussendlich können in der Zukunft perspektivische Versuche für das hochautomatisierte Fahren ab SAE-L3 durchgeführt werden, die das assistierte Fahren mit mehreren Fahrerassistenzsystemen darstellen sollen und sich nicht auf einzelne FAS beschränken. Ein spannendes Beispiel wäre das Testen von Dummies, die mit Warnwesten oder Reflektoren an Armen/Füßen/Fahrrad, mit Regenschirm oder Regencapae ausgestattet sind, um herauszufinden, wie die Objekterkennung in verschiedenen Situationen funktioniert.

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Abkürzungen	5
Tabelle 2: Variablen für die Festlegung und Variation der Testszenarien	31
Tabelle 3: Übersicht über die durchgeführten Tests, differenziert nach Indoor und Outdoor.....	32
Tabelle 4: Verwendetes Punktesystem zur Berechnung der AEBS-Performance	32
Tabelle 5: Messequipment.....	34
Tabelle 6: Ergebnisse Best-Case-Szenario.....	44
Tabelle 7: Ergebnisse Middle-Case-Szenario	45
Tabelle 8: Ergebnisse Worst-Case-Szenario	46
Tabelle 9: Ergebnisse Fußgänger	46
Tabelle 10: Ergebnisse Fahrrad	47
Tabelle 11: Ergebnisse E-Scooter	47
Tabelle 12: Vergleich der Ergebnisse indoor und outdoor (NCAP Scenario CPNC-50)	48
Tabelle 13: Übersicht über Technologie und Funktionsumfang von AEBS unterschiedlicher Fahrzeugmodelle	58
Tabelle 14: Testkatalog Outdoor	64
Tabelle 15: Testkatalog Indoor	65
Tabelle 16: Übersicht Testfahrten indoor und outdoor	66

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Zusammenspiel von Mensch, Umwelt/Infrastruktur und Fahrzeug (eigene Darstellung).....	15
Abbildung 2: Vereinfachte Übersicht des Lösungsansatzes (eigene Darstellung)	17
Abbildung 3: Indexierte Entwicklung der Unfälle mit schweren Personenschäden (Schwerverletzte und Getötete) innerorts nach Verkehrsteilnahme 2010-2020 für Österreich (Quelle: Statistik Austria 2021; eigene Darstellung)	18
Abbildung 4: Indexierte Entwicklung der Unfälle mit schweren Personenschäden (Schwerverletzte und Getötete) innerorts nach Verkehrsteilnahme 2010-2020 für die Schweiz. Anmerkung: FäG = Fahrzeugähnliche Geräte, z. B. Scooter, Skateboard, Hoverboard etc. (Quelle: ASTRA 2021; eigene Darstellung).....	19
Abbildung 5: Verteilung der Zahl der Getöteten in Österreich und der Schweiz auf Innerortsstraßen nach Verkehrsteilnahme in 2020 (Quellen: Statistik Austria 2021 und ASTRA 2021; eigene Darstellung).....	20
Abbildung 6: Verteilung der Zahl der Schwerverletzten in Österreich und der Schweiz auf Innerortsstraßen nach Verkehrsteilnahme in 2020 (Quellen: Statistik Austria 2021 und ASTRA 2021; eigene Darstellung).....	20
Abbildung 7: Illustration eines AEBS-Test szenarios zum Schutz von Fußgänger*innen nach Euro NCAP (Quelle: Euro NCAP)	22
Abbildung 8: Darstellung CPNC-50 (Quelle: carhs.training gmbh 2019).....	27
Abbildung 9: Darstellung CBNAO-50 (Quelle: carhs.training gmbh 2019)	28
Abbildung 10: Darstellung CBLA-25 (Quelle: carhs.training gmbh 2019).....	28
Abbildung 11: Darstellung CBL-50 (Quelle: carhs.training gmbh 2019)	28
Abbildung 12: Versuchsaufbau outdoor (Quelle: CARISSMA)	35
Abbildung 13: Versuchsaufbau indoor (Quelle: CARISSMA).....	36
Abbildung 14: CARISSMA-Außenanlage (Quelle: CARISSMA)	36
Abbildung 15: CARISSMA-Innenanlage während eines Fahrversuchs. Anmerkung: Im Vordergrund ist die regennasse Fahrbahn zu sehen. Ebenfalls zu erkennen ist die beginnende Vernebelung der Halle durch die Nebelanlage (Wasserpartikel). (Quelle: CARISSMA)	38
Abbildung 16: Parameter der Indoor-Regenanlage in der CARISSMA-Testhalle. Anmerkung: Abbildung links – einstellbare Regenintensitäten (16-98 mm/h) mit Tröpfchenverteilung im Vergleich zum natürlichen Regen mit 98 mm/h. Abbildung rechts: Zur Verbesserung der Tröpfchenverteilung sind unter den Regendüsen mehrere Netze gespannt, die kleinere Tröpfchen sammeln und als größere Tröpfchen abregnen lassen. (Quelle: CARISSMA).....	39
Abbildung 17 (a-g): Fahrzeug C, CPNC-50, 4activePA-adult, v_Fzg 15 km/h, v_Target 5 km/h, Dämmerung, Regen (5.5°C, 1.3 m/s Wind, 17 Lux), keine Triggerung der Sicherheitsfunktion. (Quelle: CARISSMA)	41
Abbildung 18 (a-g): Fahrzeug A, CPNC-50, 4activePA-adult, v_Fzg 30km/h, v_Target 5 km/h, Tag, klare Sicht (18°C, 1.5 m/s Wind, 16.000 Lux), AEB ausgelöst, Kollision nicht verhindert. (Quelle: CARISSMA)	42

Abbildung 19 (a-d): Fahrzeug C, CPNC-50, 4activePA-adult, v_Fzg 10 km/h, v_Target 5 km/h, Dämmerung, Regen (16 mm/h), (22.4°C, 30 Lux), AEB ausgelöst/Fzg. gebremst & gewarnt. (Quelle: CARISSMA)	42
Abbildung 20: Fahrzeug nach Auslösung AEB, Bremsung und Warnung. (Quelle: CARISSMA)	43
Abbildung 21: Testfahrzeug nach AEB-Aktivierung vor Adult-Dummy im CPNC-50-Versuch (Verdeckung durch 2 am Straßenrand abgestellte Fahrzeuge). Quelle: CARISSMA	43
Abbildung 22 (a-b): Indoor-Tests unter widrigen Witterungsbedingungen. Links: Dämmerung bei Nebel. Rechts: regennasse Fahrbahn mit Nebel. (Quelle: CARISSMA)	43
Abbildung 23: Testsznarien des Euro NCAP/ANCAP für Fußgänger*innen (Quelle: carhs.training gmbh 2019)	60
Abbildung 24: Testsznarien des Euro NCAP/ANCAP für Radfahrende (Quelle: carhs.training gmbh 2019)	61
Abbildung 25: Testsznarien des Euro NCAP/ANCAP für motorisierte Zweiräder (Quelle: carhs.training gmbh 2019)	62
Abbildung 26: U.S. NCAP TestszENARIO Rear Automatic Braking (Quelle: carhs.training gmbh 2019)	62
Abbildung 27: weitere Testsznarien aus der Literatur (Quelle: Cieslik 2019, Wisch 2019)	63

Literaturverzeichnis

ADAC – Allgemeiner Deutscher Automobil-Club (2020): Information zu neuen Fahrzeugsystemen zur Erhöhung der Verkehrssicherheit (General Safety Regulation 2019). München. Aktualisierte Auflage 01/2020. In: https://assets.adac.de/image/upload/v1593170134/ADAC-eV/KOR/Text/PDF/TO_GSR_Final_2020_ofecss.pdf (09.07.2021)

ADAC – Allgemeiner Deutscher Automobil-Club (2021): Notbremssysteme im Vergleich: Gravierende Unterschiede. In: <https://www.adac.de/rund-ums-fahrzeug/tests/assistentensysteme/notbremsassistenten-vergleich/> (12.07.2021)

ASTRA – Bundesamt für Strassen (2020): Teilstrategie Verkehrssicherheit. Ausgabe 2020 V1.0. In: <https://www.astra.admin.ch/dam/astra/de/dokumente/direktion/teilstrategie-verkehrssicherheit.pdf.download.pdf/Teilstrategie%20Verkehrssicherheit.pdf> (09.07.2021)

Bengler, K., Dietmayer, K., Eckstein, L., Stiller, C., Winner, H. (2021): Fahrerassistenzsysteme und Automatisiertes Fahren. In: Pischinger, S., Seiffert, U. (Hg.): Vieweg Handbuch Kraftfahrzeugtechnik, ATZ/MTZ Fachbuch. Wiesbaden: Springer Vieweg. S. 1009-1072.

Bubb, H., Bengler, K. (2015): Fahrerassistenz. In: Bubb, H., Bengler, K., Grünen, R. E., Vollrath, M. (Hg.): Automobilergonomie. Wiesbaden: Springer Vieweg. S. 525-582.

BMK – Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie (2020). Assistenzsysteme im Auto: Kleine Helfer, große Wirkung? BMK Infothek. In: <https://infothek.bmk.gv.at/fahrer-assistenzsysteme-verkehrssicherheit-vernetzung/> (29.06.2021)

BMK – Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie (2021): Österreichische Verkehrssicherheitsstrategie 2021-2030. Wien. In: <https://www.bmk.gv.at/dam/jcr:e3798e81-353e-4b44-bccd-ddab0345fe54/vss2030.pdf> (09.07.2021)

Cieslik, I. (2019): Improving the effectiveness of active safety systems to significantly reduce accidents with vulnerable road users. Paper Number: 19-0277.

Deublein, M. (2020): Automatisiertes Fahren – Mischverkehr. Bern: Beratungsstelle für Unfallverhütung BFU. Forschung 2.376. DOI: 10.13100/BFU.2.376.01.2020.

Europäische Kommission (2019): EU Road Safety Policy Framework 2021-2030 – Next steps towards „Vision Zero“. In: https://ec.europa.eu/transport/road_safety/sites/default/files/move-2019-01178-01-00-en-tra-00_3.pdf (29.06.2021)

ETSC – European Transport Safety Council (2021): 15th Road Safety Performance Index Report. In: <https://etsc.eu/wp-content/uploads/15-PIN-annual-report-FINAL.pdf> (09.07.2021)

Ewert, U. (2014): Fahrerassistenzsysteme. bfu-Faktenblatt Nr. 13. bfu – Beratungsstelle für Unfallverhütung. Bern. In: https://www.bfu.ch/api/publications/bfu_2.216.01_bfu-Faktenblatt%20Nr.%2013%20%E2%80%93%20Fahrerassistenzsysteme.pdf (29.06.2021)

- Funk, W., Orlowski, B., Braun, K., Rücker, J. (2021): Safety Performance Indicators im Straßenverkehr. Überblick und Erfahrungen aus der internationalen Praxis. Bundesanstalt für Straßenwesen. Heft M 311. In: https://bast.opus.hbz-nrw.de/opus45-bast/frontdoor/deliver/index/docId/2495/file/M311_barrFrei.pdf (29.06.2021)
- Goodridge, S. (2018): Autonomous Driving and Collision Avoidance Technology. BikeWalk NC. North Carolina. In: <https://www.bikewalknc.org/2018/02/autonomous-driving-and-collision-avoidance-technology/> (09.07.2021)
- Gonter, M., Knoll, P., Leschke, A., Seiffert, U., Weiner, F. (2021): Fahrzeugsicherheit. In: Pischinger, S., Seiffert, U. (Hg.): Vieweg Handbuch Kraftfahrzeugtechnik, ATZ/MTZ Fachbuch. Wiesbaden: Springer Vieweg. S. 1073-1160.
- Green, D. M., Swets, J. A. (1966): Signal detection theory and psychophysics. New York: Wiley.
- Hans, W., Knopp, B., Paulus, D., Sehen, A., (2009): Farbmetrische Objekterkennung. In: *Gerd Stanke and Michael Pochanke (ed.): 15. Workshop Farbbildverarbeitung, Tagungsband*. Berlin-Adlershof. S.43-51.
- Helmer, T. (2015): Development of a Methodology for the Evaluation of Active Safety using the Example of Preventive Pedestrian Protection. DOI: 10.1007/978-3-319-12889-4.
- Hummel, T., Kühn, M., Bende, J., Lang, A. (2011): Fahrerassistenzsystem. Ermittlung des Sicherheitspotenzials auf Basis des Schadengeschehens der Deutschen Versicherer. Unfallforschung der Versicherer. Berlin. In: <https://udv.de/download/file/fid/7901> (28.06.2021)
- Matawa, R., Vaculín, O. (2016): Bewertung und Absicherung von Fahrerassistenzsystemen. ATZ Extra 21, 20–23. <https://doi.org/10.1007/s35778-016-0027-3>. ITF - International Transport Forum (2016): Zero Road Deaths and Serious Injuries: Leading a Paradigm Shift to a Safe System. Paris: OECD.
- McMillan, N. A., Creelman, C. D. (1991): Detection theory: A user's guide. New York: Cambridge University Press.
- ÖAMTC (2020): Verpflichtende Assistenzsysteme ab 2022. In: <https://www.oeamtc.at/news/verpflichtende-assistenzsysteme-ab-2022-41247883> (28.06.2021)
- Parasuraman, R., Riley, V. (1997): Humans and automation: Use, misuse, disuse, abuse. Human Factors, 39, S. 230-253.
- Schwaninger, A. (2003a): Reliable measurements of threat detection. AIRPORT, 1/2003, 22-23.
- Wisch, M. (2019): Car-to-Cyclist crashes in Europe and derivation of use cases as basis for test scenarios of next generation advanced driver assistance systems. Paper Number: 17-0396.

ANHANG

AEBS Technologie und Funktionsumfang

Tabelle 13: Übersicht über Technologie und Funktionsumfang von AEBS unterschiedlicher Fahrzeugmodelle

OEM	Bezeichnung	Geschwindigkeit	Warnung	Sensoren	Features	Kombination	Verfügbarkeit	Stand
Audi	Pre Sense	bis 65/85 km/h	optisch akustisch haptisch	Radar Kamera	Bremskraftverst. Vollverzögerung Gurt & Sitz Fenster & Dach	ACC, side assist	ausgew. Modelle	17.02.17
BMW	Driving Assistant	10 - 60 km/h	optisch akustisch	Kamera	Bremskraftverst. Verzögerung	-	alle Modelle	10.12.14
Fiat	City Brake Control	bis 30 km/h	-	Laser	Bremskraftverst. Verzögerung	-	-	13.07.20
Ford	Pre-Collision-Assist	5/10 - 80 km/h	optisch akustisch	Radar Kamera/ Laser	Bremsvorspg. Vollverzögerung	-	ausgew. Modelle	2020
Honda	Collision Mitigation Brake System	5 - 100 km/h	optisch akustisch	Radar Kamera	Bremskraftverst. Verzögerung Gurt	-	ausgew. Modelle	18.05.20
Hyundai	autonom. NBA	-	-	Radar Kamera	Bremskraftverst. Verzögerung	-	ausgew. Modelle	2020
Kia	autonom. NBA	8 - 70 km/h	optisch akustisch	Radar Kamera	Bremskraftverst. Verzögerung	-	ausgew. Modelle	2019
Lexus	Pre-Crash Safety System	10 - 70 km/h	optisch akustisch	Radar Kamera	Bremskraftverst. Verzögerung Gurt	ACC, Fernlicht Assistent, LKA	ausgew. Modelle	2020
Mazda	Smart City Brake Support	4 - 50 km/h	optisch akustisch	Laser	Bremskraftverst. Verzögerung	-	ausgew. Modelle	2020
Mercedes	Collision Prevention Assist	7 - 50 km/h	optisch akustisch	Radar	Bremskraftverst. Vollverzögerung Gurt & Sitz Fenster & Dach	ACC, ABA	ausgew. Modelle	16.05.16
Mitsubishi	Forward Collision Mitigation	niedrig	optisch akustisch	Kamera	Bremskraftverst. Verzögerung	ACC	ausgew. Modelle	22.07.13
Nissan	Intelligent Emergency Brake	ab 5 km/h	optisch akustisch	Kamera	Bremskraftverst. Verzögerung	-	ausgew. Modelle	02.2020
Opel	Frontkollisionsswarner	ab 10 km/h	optisch akustisch	Kamera	Bremskraftverst. Verzögerung	LKA, LDW, ACC	ausgew. Modelle	2020
PSA	Active Safety/Safety Brake	bis 60 km/h	optisch akustisch	Radar/ Laser Kamera	Bremskraftverst. Verzögerung	-	ausgew. Modelle	2020
Renault	Notbremsassistent	7 -80 km/h	optisch akustisch	Kamera	Bremskraftverst. Verzögerung	-	ausgew. Modelle	2020
Skoda	Frontradar Assistant	ab 4 km/h	optisch akustisch	Radar	Bremskraftverst. Verzögerung	-	ausgew. Modelle	2019

OEM	Bezeichnung	Geschwindigkeit	Warnung	Sensorik	Features	Kombination	Verfügbarkeit	Stand
Subaru	Eyesight	ab 0 km/h	optisch akustisch	Kamera	Bremskraftverst. Verzögerung	PCW, ACC, LDW, LKA	Serie für Allrad	2020
Tesla	Notbremsautomatik	ab 8 km/h	-	Radar Kamera	Bremskraftverst. Verzögerung	Autopilot	ausgew. Modelle	2019
Toyota	Pre-Collision-System	10 - 80 km/h	optisch akustisch	Radar Kamera Laser	Bremskraftverst. Verzögerung	LKA, LDW, ACC, Fernlichtassist	ausgew. Modelle	13.03.20
VW	Front Assist	5 -30 km/h	optisch akustisch	Radar	Bremskraftverst. Verzögerung	-	ausgew. Modelle	11.10.18
Volvo	City Safety	4 - 50 km/h	optisch akustisch	Radar Kamera Laser	Bremskraftverst. Verzögerung	-	serienmäßig	31.01.2020

Euro NCAP/ANCAP Testszenarien

Euro NCAP / ANCAP Test Method for AEB VRU-Pedestrian

Assessment Protocol 10.0.3

Test Protocol 3.0.3

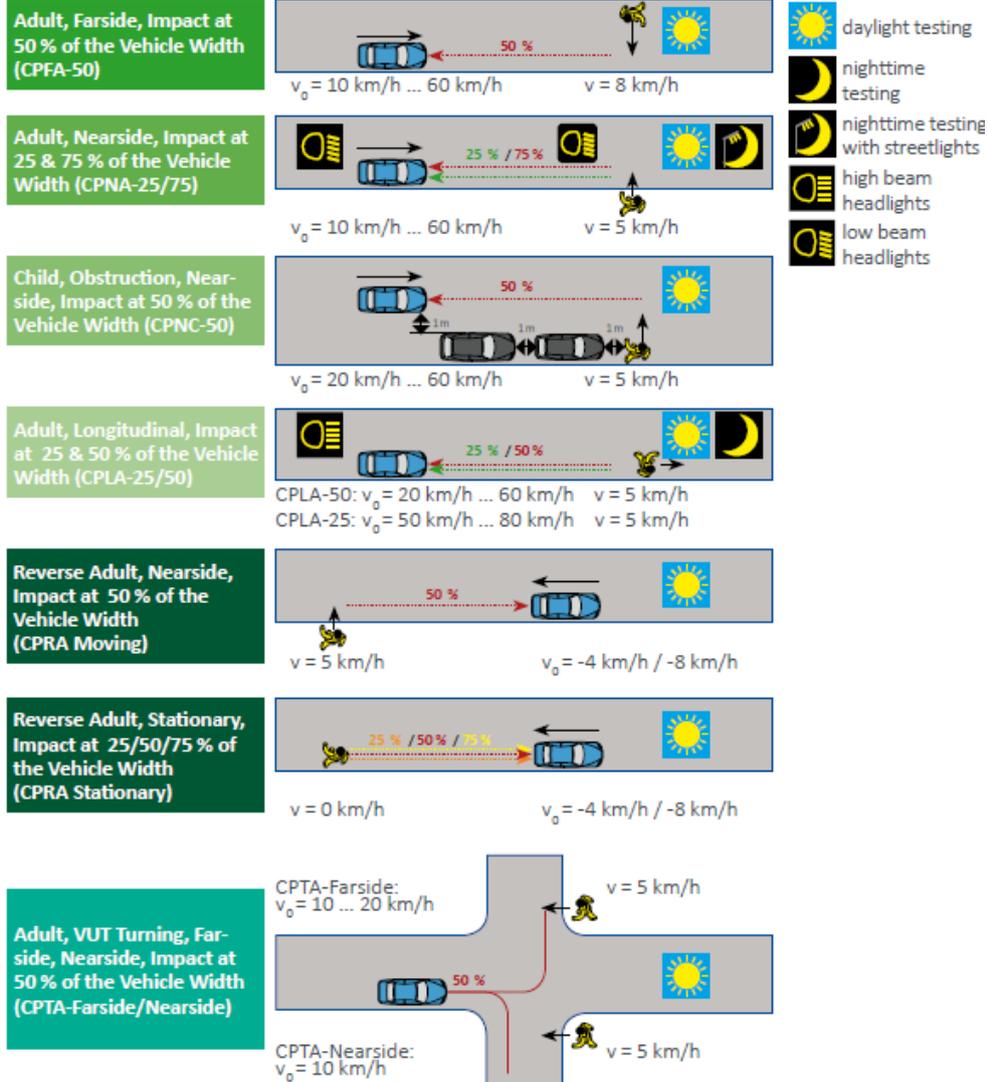


Abbildung 23: Testszenarien des Euro NCAP/ANCAP für Fußgänger*innen (Quelle: carhs.training gmbh 2019)

Euro NCAP / ANCAP Test Method for AEB VRU-Cyclist

Assessment Protocol 10.0.3
Test Protocol 3.0.3

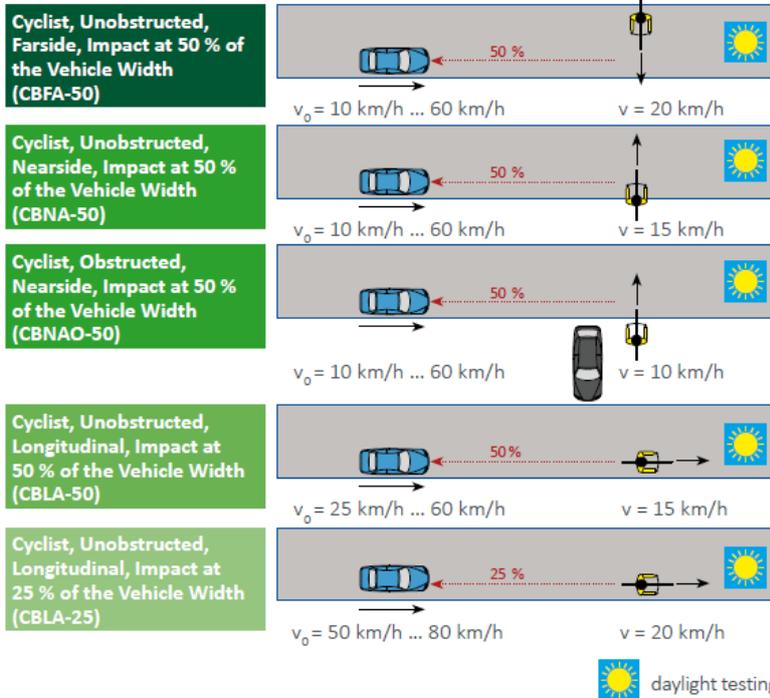


Abbildung 24: Testszenarien des Euro NCAP/ANCAP für Radfahrende (Quelle: carhs.training gmbh 2019)

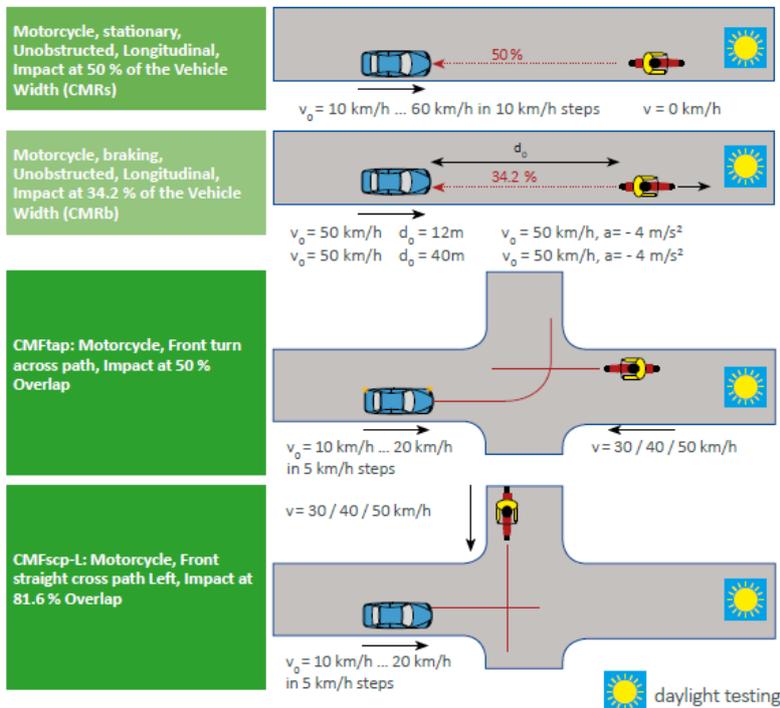


Abbildung 25: Testszenarien des Euro NCAP/ANCAP für motorisierte Zweiräder (Quelle: carhs.training gmbh 2019)

In Abbildung 25 sind jene Prüfverfahren für motorisierte Zweiräder abgebildet, die 2022 gültig werden. Das bedeutet eine Erweiterung der AEBS-Funktionen auf höhere Differenzgeschwindigkeiten.

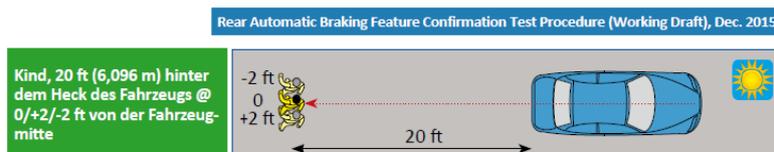


Abbildung 26: U.S. NCAP Testszenario Rear Automatic Braking (Quelle: carhs.training gmbh 2019)

Ein weiterer Testfall ist im U.S. NCAP (siehe Abbildung 26) zu finden, der allerdings nicht unter den AEBS, sondern als „rear automatic braking“ geführt wird. Das Szenario soll den Schutz von Kindern beim Rückwärtsausparken sicherstellen.

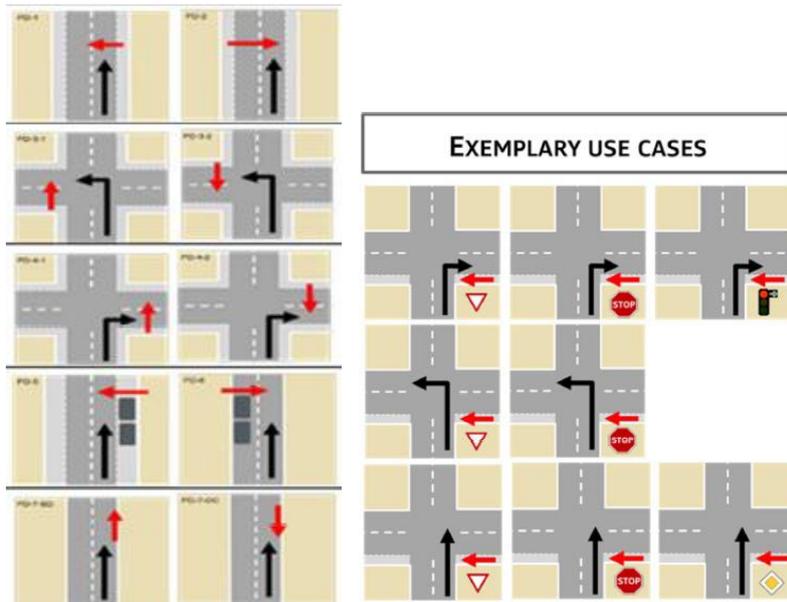


Abbildung 27: weitere Testszenarien aus der Literatur (Quelle: Cieslik 2019, Wisch 2019)

TESTKATALOG OUTDOOR

Tabelle 14: Testkatalog Outdoor

TARGETS 								Total Nr. Tests	120
PEDESTRIANS NCAP BASE SCENARIO									
CPNC-50	COUNT	DUMMY	SENSOR TYPE	VELOCITY CAR	VELOCITY TARGET	DAYTIME	WEATHER CONDITIONS	TEST REPETITIONS	
	1	4activePA-adult	Fahrzeugtyp C	15	5	Tag	klar	3	
	2	4activePA-adult	Fahrzeugtyp C	15	5	Tag	Regen	3	
	43	4activePA-adult	Fahrzeugtyp C	15	5	Dunkelheit, Angabe Lumen	Regen	3	
	3	4activePA-child	Fahrzeugtyp C	15	5	Tag	klar	3	
	4	4activePA-child	Fahrzeugtyp C	15	5	Tag	Regen	3	
	44	4activePA-child	Fahrzeugtyp C	15	5	Dunkelheit, Angabe Lumen	Regen	3	
	5	4activePA-adult	Fahrzeugtyp B	35	5	Tag	klar	3	
	6	4activePA-adult	Fahrzeugtyp B	35	5	Tag	Regen	3	
	7	4activePA-adult	Fahrzeugtyp B	35	5	Dunkelheit, Angabe Lumen	Regen	3	
	8	4activePA-child	Fahrzeugtyp B	35	5	Tag	klar	3	
	9	4activePA-child	Fahrzeugtyp B	35	5	Dunkelheit, Angabe Lumen	Regen	3	
	10	4activePA-adult	Fahrzeugtyp A	30	5	Tag	klar	3	
	11	4activePA-adult	Fahrzeugtyp A	30	5	Tag	Regen	3	
	12	4activePA-adult	Fahrzeugtyp A	30	5	Dunkelheit, Angabe Lumen	Regen	3	
	13	4activePA-child	Fahrzeugtyp A	30	5	Tag	klar	3	
	14	4activePA-child	Fahrzeugtyp A	30	5	Dunkelheit, Angabe Lumen	Regen	3	
							Total	48	
E-BIKE-25 									
CBNAO-50	COUNT	DUMMY	SENSOR TYPE	VELOCITY CAR	VELOCITY TARGET	DAYTIME	WEATHER CONDITIONS	TEST REPETITIONS	
	15	4activeBS-adult	Fahrzeugtyp C	35	10	Tag	klar	3	
	16	4activeBS-adult	Fahrzeugtyp C	35	10	Tag	Nieselregen	3	
	45	4activeBS-adult	Fahrzeugtyp C	35	10	Dunkelheit, Angabe Lumen	Nieselregen	3	
	17	4activeBS-adult	Fahrzeugtyp B	30	10	Tag	klar	3	
	18	4activeBS-adult	Fahrzeugtyp B	-	40	Tag	Nieselregen	-	
	19	4activeBS-adult	Fahrzeugtyp B	-	40	Dunkelheit, Angabe Lumen	Nieselregen	-	
	20	4activeBS-adult	Fahrzeugtyp A	10	10	Tag	klar	3	
	21	4activeBS-adult	Fahrzeugtyp A	-	40	Tag	Nieselregen	-	
	22	4activeBS-adult	Fahrzeugtyp A	-	40	Dunkelheit, Angabe Lumen	Nieselregen	-	
							Total	15	
CBLA-25 									
	23	4activeBS-adult	Fahrzeugtyp C	50	35	Tag	klar	3	
	24	4activeBS-adult	Fahrzeugtyp C	50	35	Tag	Nieselregen	3	
	46	4activeBS-adult	Fahrzeugtyp C	50	35	Dunkelheit, Angabe Lumen	klar	3	
	47	4activeBS-adult	Fahrzeugtyp C	50	35	Dunkelheit, Angabe Lumen	Nieselregen	3	
	25	4activeBS-adult	Fahrzeugtyp B	50	35	Tag	klar	3	

	26	4activeBS-adult	Fahrzeugtyp B	-	35	Tag	Nieselregen	-
	27	4activeBS-adult	Fahrzeugtyp B	-	35	Dunkelheit, Angabe Lumen	klar	-
	28	4activeBS-adult	Fahrzeugtyp B	-	35	Dunkelheit, Angabe Lumen	Nieselregen	-
	29	4activeBS-adult	Fahrzeugtyp A	50	35	Tag	klar	3
	30	4activeBS-adult	Fahrzeugtyp A	50	35	Tag	Nieselregen	3
	31	4activeBS-adult	Fahrzeugtyp A	50	35	Dunkelheit, Angabe Lumen	klar	3
	32	4activeBS-adult	Fahrzeugtyp A	50	35	Dunkelheit, Angabe Lumen	Nieselregen	3
							Total	27
E-SCOOTER 								
CBNAO-50	COUNT	DUMMY	SENSOR TYPE	VELOCITY CAR	VELOCITY TARGET	DAYTIME	WEATHER CONDITIONS	TEST REPETITIONS
	33	e-Scooter Target	Fahrzeugtyp C	10	10	Tag	klar	3
	34	e-Scooter Target	Fahrzeugtyp C	10	15	Tag	klar	3
	48	e-Scooter Target	Fahrzeugtyp C	10	10	Dunkelheit, Angabe Lumen	klar	3
	49	e-Scooter Target	Fahrzeugtyp C	10	15	Dunkelheit, Angabe Lumen	klar	3
	35	e-Scooter Target	Fahrzeugtyp B	40	10	Tag	klar	3
	36	e-Scooter Target	Fahrzeugtyp B	45	15	Tag	klar	3
	37	e-Scooter Target	Fahrzeugtyp B	40	10	Dunkelheit, Angabe Lumen	klar	3
	38	e-Scooter Target	Fahrzeugtyp B	45	15	Dunkelheit, Angabe Lumen	klar	3
	39	e-Scooter Target	Fahrzeugtyp A	10	10	Tag	klar	3
	40	e-Scooter Target	Fahrzeugtyp A	10	15	Tag	klar	3
	41	e-Scooter Target	Fahrzeugtyp A	-	40	Dunkelheit, Angabe Lumen	klar	-
	42	e-Scooter Target	Fahrzeugtyp A	-	45	Dunkelheit, Angabe Lumen	klar	-
							Total	30

TESTKATALOG INDOOR

Tabelle 15: Testkatalog Indoor

TARGETS 								Total Nr. Tests	54
PEDESTRIANS									
NCAP BASE SCENARIO									
CPNC-50 (Adult, Child)	COUNT	DUMMY	SENSOR/VEHICLE TYPE	VELOCITY CAR	VELOCITY TARGET	DAYTIME	WEATHER CONDITIONS	TEST REPETITIONS	
	1	4activePA-adult	Radar (Fahrzeugtyp C, 2019)	10-50	5	Tag	klar	3	
	2	4activePA-adult	Radar (Fahrzeugtyp C, 2019)	10-50	5	Tag	Regen leicht	3	
	3	4activePA-adult	Radar (Fahrzeugtyp C, 2019)	10-50	5	Tag	Nebel dicht	3	
	4	4activePA-adult	Radar (Fahrzeugtyp C, 2019)	10-50	5	Dämmerung	klar	3	
	5	4activePA-adult	Radar (Fahrzeugtyp C, 2019)	10-50	5	Dämmerung	Regen leicht	3	
	6	4activePA-adult	Radar (Fahrzeugtyp C, 2019)	10-50	5	Dämmerung	Nebel dicht	3	
	7	4activePA-child	Radar (Fahrzeugtyp C, 2019)	10-50	5	Tag	klar	3	
	8	4activePA-child	Radar (Fahrzeugtyp C, 2019)	10-50	5	Dämmerung	Regen leicht	3	

NCAP Szenario	Dummy	Location	SensorTyp/Car	V Car	V Target	Daytime	Weather	Ø Lux	Result %	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9	R10	R11
CPNC-50	4activePA-child	Outdoor	Fusion/Fhrz. A	30	5	Dunkelheit	Regen	17	0%		0	0	0							
CPNC-50	4activeBS-adult	Outdoor	Fusion/Fhrz. A	50	5	Tag	Klar	28000	100%	1	1	1								
CPNC-50	4activeBS-adult	Outdoor	Fusion/Fhrz. A	50	5	Tag	Regen	9100	100%	1			1		1					
CPNC-50	4activeBS-adult	Outdoor	Fusion/Fhrz. A	50	5	Dunkelheit	Regen	17	17%	0,5	0	0								
CPNC-50	4activeBS-adult	Outdoor	Fusion/Fhrz. A	50	5	Tag	Klar	30000	83%				1				0,75	0,75		
CPNC-50	4activePA-child	Outdoor	Fusion/Fhrz. A	50	5	Dunkelheit	Regen	30000	0%	0	0				0					
CBLA-25	4activeBS-adult	Outdoor	Kamera/Fhrz. B	50	35	Tag	Klar	49000	0%	0	0	0								
CBNA-50	e-Scooter Target	Outdoor	Kamera/Fhrz. B	40	15	Tag	Klar	42000	80%	0	1	1	1			1				
CBNA-50	e-Scooter Target	Outdoor	Kamera/Fhrz. B	45	15	Dunkelheit	Klar	16	0%	0	0	0								
CBNAO-50	4activeBS-adult	Outdoor	Kamera/Fhrz. B	30	10	Tag	Klar	84800	83%	1								0,5		1
CBNAO-50	e-Scooter Target	Outdoor	Kamera/Fhrz. B	35	10	Tag	Klar	74300	95%	1	1	1	1					0,75		
CBNAO-50	e-Scooter Target	Outdoor	Kamera/Fhrz. B	40	10	Dunkelheit	Klar	16	0%	0		0	0							
CPNC-50	4activePA-adult	Outdoor	Kamera/Fhrz. B	35	5	Tag	Klar	55000	100%	1	1	1								
CPNC-50	4activePA-adult	Outdoor	Kamera/Fhrz. B	35	5	Tag	Regen	8000	58%	0,5	0,5	0,75								
CPNC-50	4activePA-adult	Outdoor	Kamera/Fhrz. B	35	5	Dunkelheit	Regen	18	0%	0	0	0								
CPNC-50	4activePA-child	Outdoor	Kamera/Fhrz. B	35	5	Tag	Klar	15000	75%	0,5			1	0,75						
CPNC-50	4activePA-child	Outdoor	Kamera/Fhrz. B	35	5	Dunkelheit	Regen	17	0%	0	0		0							
CBLA-25	4activeBS-adult	Outdoor	Radar/Fhrz. C	50	35	Tag	Klar	45000	50%	0,5	0,5	0,5								
CBLA-25	4activeBS-adult	Outdoor	Radar/Fhrz. C	50	35	Tag	Nieselregen	72000	81%	0,5	1			1	0,75					
CBLA-25	4activeBS-adult	Outdoor	Radar/Fhrz. C	50	35	Dunkelheit	Klar	17	0%	0	0	0								
CBLA-25	4activeBS-adult	Outdoor	Radar/Fhrz. C	50	35	Dunkelheit	Nieselregen	17	58%	1	0	0,75								
CBNA-50	e-Scooter Target	Outdoor	Radar/Fhrz. C	30	15	Tag	Klar	40000	0%	0	0	0								
CBNA-50	e-Scooter Target	Outdoor	Radar/Fhrz. C	10	15	Dunkelheit	Klar	18	0%	0	0	0								
CBNAO-50	4activeBS-adult	Outdoor	Radar/Fhrz. C	35	10	Tag	Klar	34000	100%			1		1	1	1				
CBNAO-50	4activeBS-adult	Outdoor	Radar/Fhrz. C	35	10	Tag	Nieselregen	8000	92%	1	1	0,75								
CBNAO-50	e-Scooter Target	Outdoor	Radar/Fhrz. C	35	10	Tag	Klar	29000	67%	0		1							1	
CBNAO-50	4activeBS-adult	Outdoor	Radar/Fhrz. C	35	10	Dunkelheit	Nieselregen	14	83%			0,5	1		1					
CBNAO-50	e-Scooter Target	Outdoor	Radar/Fhrz. C	10	10	Dunkelheit	Klar	18	67%	0	1		1							
CPNC-50	4activePA-adult	Outdoor	Radar/Fhrz. C	15	5	Tag	Klar	24000	83%	1	0,75	0,75								
CPNC-50	4activePA-adult	Outdoor	Radar/Fhrz. C	15	5	Tag	Regen	26000	67%		1	1	0							
CPNC-50	4activePA-child	Outdoor	Radar/Fhrz. C	15	5	Tag	Klar	26500	92%				1	0,75	1					
CPNC-50	4activePA-child	Outdoor	Radar/Fhrz. C	15	5	Tag	Regen	15000	58%	1			0	0,75						
CPNC-50	4activePA-adult	Outdoor	Radar/Fhrz. C	15	5	Dunkelheit	Regen	17	0%	0	0	0								
CPNC-50	4activePA-child	Outdoor	Radar/Fhrz. C	15	5	Dunkelheit	Regen	15	0%	0	0	0	0							

Legende	
100%	Erkannt + Bremsung
75%	Erkannt + gebremst, aber Dummy umgefahren (meist touchiert)
50%	Erkannt + keine Bremsung durchgeführt
0%	nicht erkannt, keine Bremsung



KfV (Kuratorium für Verkehrssicherheit)
Schleiergasse 18
1100 Wien
T +43-(0)5 77 0 77-DW oder -0
F +43-(0)5 77 0 77-1186
E-Mail kfv@kfv.at
www.kfv.at



BFU (Beratungsstelle für Unfallverhütung)
Hodlerstrasse 5a
3011 Bern
T +41 31 390 22 22
E-Mail info@bfu.ch
www.bfu.ch

Medieninhaber und Herausgeber: Kuratorium für Verkehrssicherheit

Verlagsort: Wien

Redaktion: Hatun Atasayar, Markus Deublein, Jasmin Zimmermann, Florian Schneider, Klaus Robatsch

Fotos: CARISSMA

Copyright: © Kuratorium für Verkehrssicherheit, Wien. Alle Rechte vorbehalten.

SAFETY FIRST!