

Untersuchung von ADAS Performanceverluste durch fehl eingestellte Umfeld-Sensoren zugelassener Kraftfahrzeuge

ADAS performance reduction by misaligned environment sensors of plated vehicles

Maximilian Meyer, mameyer@kues.de, Dr. rer. nat. Thomas Tentrup, ttentrup@kues.de, Pascal Riga, priga@kues.de, B.Eng. Raphael Lazar, rlazar@kues.de, Dipl.-Ing. Thomas Auer, tauer@kues.de,

*) Univ.-Prof. Dr.-Ing., Dr. h. c. Burkhard Corves, corves@igmr.rwth-aachen.de,

KÜS Bundesgeschäftsstelle, Zur Küs 1, 66679 Losheim am See, www.kues-drive.de

*) IGMR der RWTH Aachen, Eilfschornstr. 18, 52062 Aachen, www.igmr.rwth-aachen.de

Kurzfassung

Seit Juli 2024 ist das **Advanced Emergency Braking System (AEBS)** bzw. der Notbremsassistent, für die Neuzulassung von Fahrzeugen durch die General Safety Regulation 2 (GSR2) vorgeschrieben. Die für das AEBS notwendigen Umfeld-Sensoren sind bei vielen Fahrzeugen mindestens eine Front-Kamera und ein Front-Radarsensor. In dieser Arbeit soll, auf einem speziellen Rollenprüfstand, mithilfe von „Over the Air“ (OTA) Stimulation aus einer Umfeldsimulation festgestellt werden, in wie weit die AEBS Performance von der Fehleinstellung der Front-Kamera abhängt. Diese Fehleinstellungen der Front-Kamera von mehr als ein Winkelgrad zur Richtung der geometrischen Fahrachse zugelassener Fahrzeuge werden hier in der Umfeldsimulation virtuell (d.h. ohne mechanische Eingriffe und ohne Steuergerätekommunikation) erzeugt. Als Ergebnis zeigt unsere neue Methode exemplarisch, dass ein AEBS Performance-Verlust von 37 % bei einer Fehleinstellung der Front-Kamera von einem Grad weit unterhalb der Selbstdiagnoseschwelle der Fahrzeuge bezüglich der Fehleinstellung der Front-Kamera auftritt.

Summary

Since July 2024, the **Advanced Emergency Braking System (AEBS)** has been mandatory for newly registered vehicles by the General Safety Regulation 2 (GSR 2). The environment sensors required for the AEBS typically include at least one front camera and one front radar sensor in many vehicles. In this work, using a special roller test bench, it will be determined through "Over the Air" (OTA) stimulation from an environment simulation how much the AEBS performance depends on the misalignment of the front camera. These misalignments of the front camera of more than one degree relative to the direction of the geometric driving axis of approved vehicles are virtually generated in the environment simulation (i.e., without mechanical interventions and without ECU communication). As a result, it is shown by way of example with the new method that an AEBS performance loss of 37% occurs with a misalignment of the front camera by one degree, well below the vehicles' self-diagnosis threshold for front camera misalignment.

1 Einleitung und Motivation

Wesentliche Voraussetzungen für eine korrekte Funktion der **Advanced Driver Assistance Systems (ADAS)** sind eine korrekte in dem Fahrzeug implementierte Software und eine genaue Einstellung der Umfeld-Sensoren, die zur Ausführung der ADAS Funktionalität benötigt werden. Im Fall des Notbremsassistenten (AEBS) sind das mindestens eine Front-Kamera und ggf. ein Front-Radarsensor des Fahrzeugs. Über die Lebenszeit des Fahrzeugs degradiert die Steuergerätesoftware nicht, wenn man Manipulationen und unsachgemäßen Austausch von Steuergeräten ausschließt. Allerdings kann die genaue Einstellung der Umfeld-Sensoren über die Zeit durch Degradation, Manipulation, Beschädigung oder unsachgemäße Reparatur (z.B. Verstellung der Hinterachsspurrwinkel) zerstört werden.

Im Rahmen dieser Arbeit untersuchen wir als Fahrzeugüberwachungsorganisation KÜS exemplarisch die Auswirkungen einer verstellten Front-Kamera auf die Funktionalität des AEBS qualitativ und quantitativ.

Die Aufgabe von Fahrzeugüberwachungsorganisationen wie z.B. die KÜS (**K**raftfahrzeug-**Ü**berwachungsorganisation freiberuflicher Kfz-Sachverständiger e.V.) in der Bundesrepublik Deutschland ist gemäß dem gesetzlichen Auftrag nach StVZO Anlage VIIIa das Fahrzeug hinsichtlich der *Ausführung*, des *Zustandes*, der *Funktion* und der *Wirkung* seiner Bauteile und Systeme im Rahmen der periodischen Hauptuntersuchung (HU) zu untersuchen.

Der Notbremsassistent (AEBS) kann man als sicherheitsrelevantes System sehen, da eine Fehlfunktion einerseits bei einer Vollbremsung ohne ersichtlichen Grund Auffahrunfälle der nachfolgenden Fahrzeuge verursachen kann und andererseits die unfallvermeidende Wirkung nicht

mehr gegeben ist. Weiterhin ist das AEBS seit 2024 durch die GSR2 in Neuwagen gesetzlich vorgeschrieben. Daher sind effiziente und kostengünstige Methoden gesucht, wie man das AEBS im Rahmen der periodischen Hauptuntersuchung (HU) in Hinsicht auf *Funktion* und *Wirkung* überprüfen kann.

Somit hat sich die Fahrzeugüberwachungsorganisation KÜS zur Aufgabe gestellt, die technischen Möglichkeiten der Prüfung von *Funktion* und *Wirkung* der DAS (z.B. ABS, ESP,...) und ADAS im Rahmen eines Forschungsprojektes auszuloten [1]. Dies geschieht mit zugelassenen Kraftfahrzeugen der Fahrzeugkategorien M1/N1 und des SAE Levels ab 2 ohne Kommunikation mit den ADAS-Steuergeräten. Im ersten Schritt konzentrieren wir uns auf Kraftfahrzeuge mit einer Monokamera, deren optische Achse horizontal ist. Unter diesen Randbedingungen wurde die Prüflinie KÜS DRIVE (Dynamic Roadworthiness Inspection for Vehicles, siehe Bild 1) von KÜS konzipiert, bei entsprechenden Lieferanten ohne öffentliche Förderung beschafft und Ende 2022 in Betrieb genommen. Prüflinien ähnlicher Konzeption wurden auch von KOTSA (Korea Transportation Safety Authority) zur Prüfung von ADAS in Korea installiert.



Bild 1: Prinzipieller mechanischer Aufbau der Prüflinie KÜS DRIVE [1] mit Beschreibung der wesentlichen Anlagenteile gemäß der Nummerierung siehe Text unten: (1) Lenkbarer Funktionsprüfstand (SFT). Auf dem SFT kann das Fahrzeug ohne Fixierung inklusive moderater Lenkbewegungen bis 130 km/h gefahren werden. Hierbei wird die Fahrzeugsymmetrieachse des Kraftfahrzeuges mittels eines Messsystems, während der Fahrt auf die Symmetrieachse des SFT positioniert. (2) Portalsystem zur Positionierung des Monitors (3), des Lichtsammelkastens (4) und des Radar-Target-Simulators (RTS) (5) vor das Fahrzeug. (6) „10 Meter Wand“ zur Vermessung u.a. des adaptiven Fernlichts (AFS).

2 Einstellung von ADAS-Sensoren

Die Einstellung der ADAS-Sensoren mit Detektionsrichtung nach vorne und insbesondere die Einstellung der Front-Kamera des Fahrzeugs erfolgt in Richtung der geometrischen Fahrachse. Die Richtung der geometrischen

Fahrachse $\alpha_{geom. Fahrachse}$ ist durch die Spurbwinkel der Fahrzeughinterachse α_{hr} , α_{hl} (Spurdefinition gemäß DIN ISO 8855:2011) definiert: $\alpha_{geom. Fahrachse} = (\alpha_{hr} - \alpha_{hl})/2$.

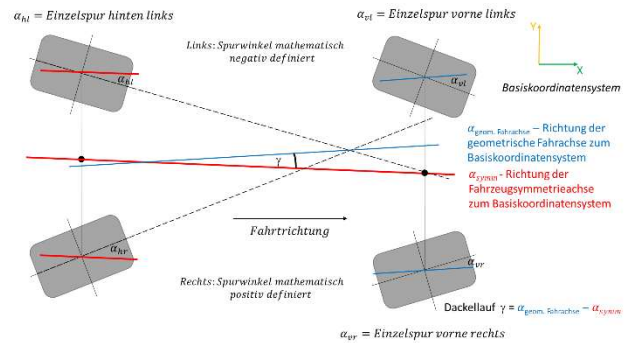


Bild 2: Definitionen der Richtung der geometrischen Fahrachse, der Richtung der Symmetrieachse und des Dackellaufes eines Fahrzeugs.

Bemerkung: Im Internet wird die geometrische Fahrachse auch in seriösen Quellen fälschlicherweise über *die Hälfte der Gesamtspur der Hinterachse* definiert.

Daher ist klar, dass bei der Einstellung der Front-Kamera eine exakte Bestimmung der geometrischen Fahrachse erfolgen muss. Man unterscheidet prinzipiell zwischen der dynamischen und der statischen Einstellung. In beiden Fällen erfolgt die Einstellung durch Drehung des Kamera-Koordinatensystems bezüglich der Richtung der geometrischen Fahrachse über Kommunikation zu dem Steuergerät der Fahrzeug Front-Kamera. Im Fahrbetrieb und in den Werkstätten findet die dynamische und die statische Einstellung ihre Anwendung und soll nach Aussage von Experten innerhalb einer Toleranz vom $\pm 0,1^\circ$ zur geometrischen Fahrachse liegen. Im Folgenden gehen wir im Detail auf die dynamische und statische Einstellung, die die Kalibrierung und Justierung der Front-Kamera umfasst, ein.

2.1 Dynamische Einstellung

Die dynamische Einstellung (auch dynamische Kalibrierung genannt), beruht auf der Beobachtung des Umfelds der Front-Kamera im Fahrbetrieb. Mittels Erfassung der Bewegung von statischen Objekten bei Geradeausfahrt durch die Front-Kamera wird die geometrische Fahrachse bestimmt und mit der Detektionsrichtung (optische Achse) der Front Kamera verglichen. Überschreitet die Abweichung zwischen der geometrischen Fahrachse und der Detektionsrichtung der Front-Kamera einen Schwellwert, der im Bereich von mehreren Winkelgraden liegt, dann regt die Selbstdiagnose des Fahrzeugs bei gegebener Voraussetzung (z.B. Geradeausfahrt) eine dynamische Einstellung mittels Zugriffs auf das Steuergerät der Front-Kamera an. Eine dynamische Einstellung kann im Fahrbetrieb auch mittels Fahrzeug-Steuergerätekommunikation über ein Diagnose-Tool oftmals von außen angeregt werden. Es gibt eine Reihe von Fahrzeugmarken, bei denen die Einstellung der Front-Kamera nur dynamisch erfolgen kann.

Bemerkung: Den Verfassern sind detaillierte Informationen der Automobilhersteller über die dynamische Einstellung nicht zugänglich und damit ist die Beschreibung des Verfahrens oben nur prinzipiell und sicherlich unvollständig.

Die Qualität der dynamischen Einstellung der Front-Kamera lässt sich nicht überprüfen, da hierzu Zugang zu der Software und zu den Daten in den entsprechenden Steuergeräten notwendig ist, der vom Fahrzeughersteller nicht gewährt wird. In diesem Punkt muss der Fahrer der Qualität der Selbstdiagnose des Fahrzeugs und der dynamischen Einstellung vertrauen.

2.2 Statische Einstellung

Im Gegensatz zu der dynamischen Einstellung der Front-Kamera ist die statische Einstellung wegen des Bedarfs an einem ADAS-Einstellstand viel aufwendiger. Der ADAS-Einstellstand umfasst Messmittel, Kalibriermittel und ein Diagnose-Tool mit Zugang zu den entsprechenden Steuergeräten, der vom Fahrzeughersteller freigeschaltet ist. Das Messmittel des ADAS-Einstellstandes ist ein Fahrwerksgeometriestand, der die geometrische Fahrachse an der Hinterachse des Fahrzeugs misst. Das Kalibriermittel ist ein gedrucktes oder auf einem Monitor angezeigtes Target (siehe Bild 4), das geometrische Objekte zeigt und definiert vor dem Fahrzeug positioniert wird. Im Gegensatz zur dynamischen Einstellung sind nach der statischen Einstellung entsprechende Korrekturwinkel, d.h. Gier-, Nick- und Rollwinkel zur Drehung des Koordinatensystems der Front-Kamera, einsehbar. Mit diesen Korrekturwinkeln kann man eine Maschinenfähigkeitsuntersuchung (s.u.) durchführen und einen Einblick in die Qualität des ADAS-Einstellstandes bezüglich der Reproduzierbarkeit dieser Korrekturwinkel für die Einstellung der Front-Kamera erhalten.

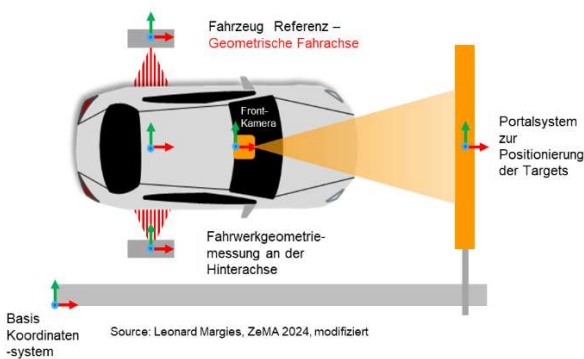


Bild 3: Prinzipieller Aufbau eines ADAS-Einstellstandes am Bandende eines Fahrzeugmontagewerkes

Die statische Einstellung findet auch in den meisten Automobilwerken am Bandende der Fahrzeugproduktion statt. Hier besteht der ADAS-Einstellstand (siehe Bild 3) aus ei-

nem Fahrwerksgeometriestand zur Ermittlung der geometrischen Fahrachse und einem Portalsystem, mit dem ein Kalibriertarget (siehe Bild 4) in definierten Abstand und Orientierung vor die Front-Kamera des Fahrzeugs gebracht wird.

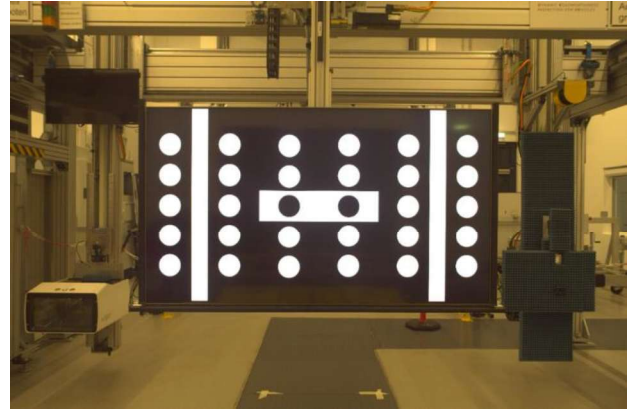


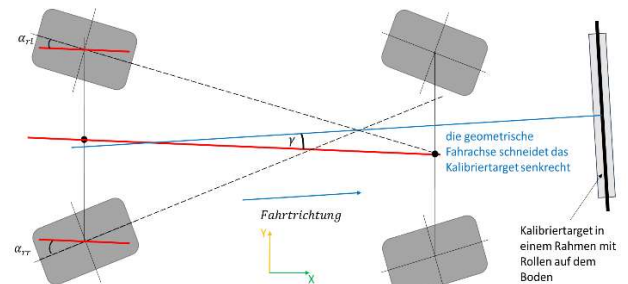
Bild 4: Kalibriertarget von Volkswagen, angezeigt über einen über ein Portalssystem positionierbaren Monitor

Die Fahrzeug-Front-Kamera nimmt das Kalibriertarget auf und berechnet die Orientierung des Targets aus der Vermessung der geometrischen Elemente. Der Vergleich der geometrischen Istwerte dieser Elemente mit den geometrischen Messwerten ergibt die Orientierung der optischen Achse der Front-Kamera zum Target. Über den Winkel, mit dem die geometrische Fahrachse das Kalibriertarget durchstößt, wird die Orientierung der Front-Kamera in Bezug zur geometrischen Fahrachse und über Steuergerätekommunikation zu den entsprechenden Steuergeräten eingestellt. Im Werk ist die Einstelltoleranz im Bereich von $\pm 0,05^\circ$ und daher die Genauigkeit der dargestellten geometrischen Objekte des Kalibriertargets auf $\pm 0,5\text{mm}$ gesetzt.



Bild 5 (links); Beispiel eines ADAS-Einstellstandes für den After Sales Bereich

Bild 6 (unten); Prinzip der Front-Kamera Kalibrierung mit einem After Sales Einstellstand mit manueller Positionierung des Kalibriertargets senkrecht zur geometrischen Fahrachse



Im After Sales Bereich finden ADAS-Einstellstände für die Werkstatt der Lieferanten u.a. Beissbarth, Bosch, Mahle,

ihren Einsatz (siehe Bild 5). Hier sind in einem verfahrbaren Rahmen Felgenadapter für die Fahrwerksgeometriemessung und eine Vorrichtung zur Aufnahme verschiedener Kalibriertargets, die bezüglich der Fahrzeugmarke zum Einsatz kommen. Der Einstellprozess entspricht dem im Werk bis auf die Tatsache, dass das Kalibriertarget nach der Fahrwerksgeometriemessung mittels des verfahrbaren Rahmens in einem definierten Abstand senkrecht zur geometrischen Fahrachse manuell positioniert wird (siehe Bild 6).

Probleme bei der Einstellung der Front-Kamera im After Sales Bereich sind:

- keine verbindlichen Einstelltoleranzen
- keine standardisierten von Fahrzeugherstellern unabhängigen Targets und Einstellprozeduren
- Kalibrier- und Einstellvorgang sind in der Software nicht getrennt
- Die gemäß Normen gesetzten Regeln der Fahrwerksgeometriemessung (z.B. die Kompensation des Radschlags) und die Notwendigkeit der Nutzung präziser Kalibriertargets werden bei einigen After Sales Einstellständen nicht beachtet.

Die Maschinenfähigkeitsuntersuchung (MFU) an einem After Sales ADAS-Einstellstand mit korrekter *Fahrwerksgeometriemessung* mittels 25 Einstellungen der Front-Kamera eines Skoda Octavia hat eine Reproduzierbarkeit von $\pm 0,07^\circ$ ergeben und somit die Messfähigkeit bezüglich einer Einstelltoleranz von $\pm 0,1^\circ$ gezeigt (siehe Bild 7).

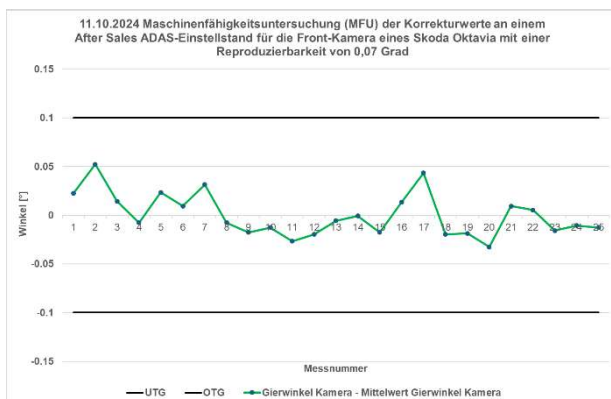


Bild 7: MFU an einem After Sales ADAS-Einstellstand

Allerdings ist wegen der oben dargestellten Probleme das Vertrauen in die korrekte Einstellung der Front-Kamera im After Sales Bereich so eingeschränkt, dass wir die Performanceverluste des AEBS in Abhängigkeit von der Verdrehung der Front-Kamera quantitativ auf unserer Prüflinie KÜS DRIVE untersucht haben.

3 AEBS Performanceverluste durch Fehleinstellung der Front-Kamera

Mit dieser Fragestellung haben sich bereits 2022 die FSD Fahrzeugsystemdaten GmbH im Rahmen des Forschungsprojektes ErVast [4] und 2023 die Fahrzeugüberwachungsorganisation DEKRA [5] auseinandergesetzt. Die dabei angewendete Methode war, die Fahrzeug-Front-Kamera auszubauen und diese mit einer Vorrichtung definiert zu verdrehen. Über Fahrversuche auf der Straße und mit flexiblen Targets wurde ein erheblicher Performanceverlust für das AEBS ermittelt. Allerdings haben die oben beschriebene Prüfverfahren drei wesentliche Nachteile:

1. Die irreversible Veränderung am Fahrzeug, was Tests an verschiedenen bzw. mehreren Fahrzeugen schwierig macht.
2. Die Messtechnik bei der Straßenfahrt ist aufwendig zu installieren.
3. Messungen bei Straßenfahrten hängen stets von der momentan herrschenden Witterung ab.

3.1 Darstellung des Prüfverfahrens

Durch die Nutzung der Prüflinie KÜS DRIVE [1, 2] in einer Halle haben wir die oben beschriebenen Nachteile bei unseren Untersuchungen nicht. Für die AEBS-Wirkprüfungen wird das Fahrzeug auf einem lenkbaren Funktionsprüfstand (SFT) gefahren. Eine Fahrzeugsimulation erzeugt einen „digital shadow“ (siehe Bild 8) des zu prüfenden Fahrzeugs mit den dynamischen Kenndaten der realen Fahrt auf dem SFT in der Umfeldsimulation.

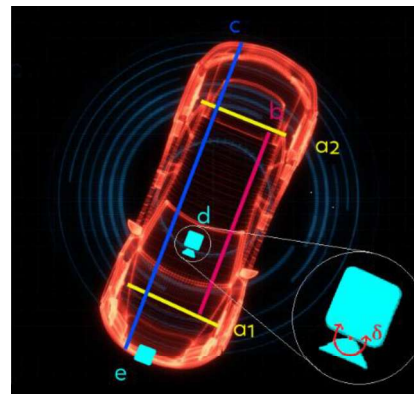


Bild 8: „digital shadow“ mit der Möglichkeit der Drehung der virtuellen Front-Kamera um den Winkel δ und mit den wichtigen Daten des realen Kraftfahrzeuges wie Masse/Gewicht, Dimensionen a (Spurweite), b (Achsabstand), c (Karosserielänge), sowie x-,y-,z-Positionen der Front-Kamera (d) und des Radarsensors (e)

Diesen „digital shadow“ setzen wir in eine frei editierbare Umfeldsimulation [5] und nehmen mit der virtuellen Front-Kamera und dem virtuellen Front-Radarsensor des „digital

shadow“ das auf, was der „digital shadow“ in der Umfeldsimulation „erlebt“.

Die Bilder der virtuellen Front-Kamera und die Signale des virtuellen Front-Radarsensors, die im virtuellen Fahrzeugkoordinatensystem an der gleichen Stelle wie im realen Fahrzeug positioniert sind, werden über einen Monitor und über einen Radar-Target-Simulator (RTS) „Over the AIR“ (OTA) in die reale Kamera und in den realen Radarsensor des auf dem SFT fahrenden Fahrzeugs eingespielt. Die Wirkung – d.h. die Reaktion des Fahrzeugs (Geschwindigkeits- und Kraftverlauf) - dieser Stimulation der ADAS-Sensoren erfassen wir mit dem SFT, auf der Basis einer auf nationale Normale rückführbaren Messtechnik. Zur Simulation einer Fehleinstellung der Front-Kamera verdrehen wir die virtuelle Front-Kamera des „digital shadow“ und spielen die verdrehte Abbildung der Umfeldsimulation über den Monitor in die Front-Kamera des realen Fahrzeugs.

Die AEBS-Wirkprüfung mit **verdrehter Front-Kamera** wird in Geradeausfahrt von Target Fahrzeug und Ego Fahrzeug in der Umfeldsimulation gefahren. Dabei fährt das Target-Fahrzeug konstant 30 km/h und das Ego-Fahrzeug 60 km/h so, dass es zum Zusammenstoß kommen muss. Der Test wird beispielhaft mit einem KIA EV6 durchgeführt und startet mit einem Abstand von Target-Fahrzeug zum Ego-Fahrzeug von 100 m. Der Abstand ist hier der Abstand der Vorderachsmittle des Target-Fahrzeugs zur Vorderachsmittle des Ego-Fahrzeugs. Wie in Bild 9 dargestellt führt das AEBS des Ego-Fahrzeugs in einem definierten Abstand zum Target-Fahrzeugs eine Vollbremsung durch, die bei Erreichung einer Größe der Bremskraft $F_B = m_{Fzg} \cdot a_B$ dazu führt, dass das Fahrzeug nach hinten den SFT verlässt. Ab diesem Zeitpunkt t_B erhalten wir keine Messwerte vom SFT für das Ego-Fahrzeug mehr.

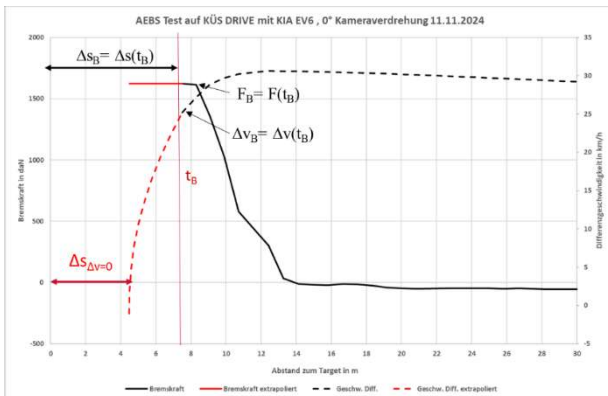


Bild 9: Bremskraftverlauf einer AEBS Prüfung bei einer Front-Kameraverdrehung von 0° mit den Darstellungen der Größen t_B , F_B , Δv_B und $\Delta s_{\Delta v=0}$

Wir erfassen zum Zeitpunkt t_B die Bremskraft $F_B = F(t_B)$, die Geschwindigkeitsdifferenz $\Delta v_B = \Delta v(t_B)$ und den Abstand $\Delta s_B = \Delta s(t_B)$ zum Target-Fahrzeug (siehe Bild 9).

Unter der Voraussetzung, dass für die Bremskraft $F(t) = F_B$ für $t \geq t_B$ konstant ist, berechnen wir den Abstand zum Target-Fahrzeug $\Delta s_{\Delta v=0}$ bei dem die Geschwindigkeitsdifferenz $\Delta v = v_{Ego} - v_{Target} = 0$ ist und es gilt:

$$\Delta s_{\Delta v=0} = \Delta s_B - \frac{1}{2} \Delta v_B^2 / a_B \quad (\text{Formel 1})$$

3.2 Ergebnisse

Das Bild 10 zeigt eine AEBS-Wirkprüfung mit einer Front-Kameraverdrehung von 1° im Vergleich zur Front-Kameraverdrehung von 0°. Aus dem Bild 10 kann man direkt ersehen, dass man eine Bremswegverlängerung bei einer Front-Kameraverdrehung von 1° von ca. 2 m im Vergleich zur Front-Kameraverdrehung von 0° erleidet. Hieraus ergibt sich entsprechend eine Verkürzung des Abstandes $s_{\Delta v=0}(1^\circ)$ zum Target-Fahrzeug bei Geschwindigkeitsdifferenz Null zwischen Target-Fahrzeug und Ego-Fahrzeug. Aus Formel 1 mit $1 - \Delta s_{\Delta v=0}(1^\circ) / \Delta s_{\Delta v=0}(0^\circ)$ in Prozent erhält man einen **AEBS Performanceverlust von 37 %!** Weiterhin ist dieser Vergleich von AEBS-Wirkprüfungen bei verschiedenen Kameraverdrehungen legitim, da bei gleichem Fahrzeug und gleichen Testbedingungen der Wert der Bremskraft F_B für das Verlassen des Fahrzeugs aus dem SFT annähernd gleichbleibt (siehe Bild 10).

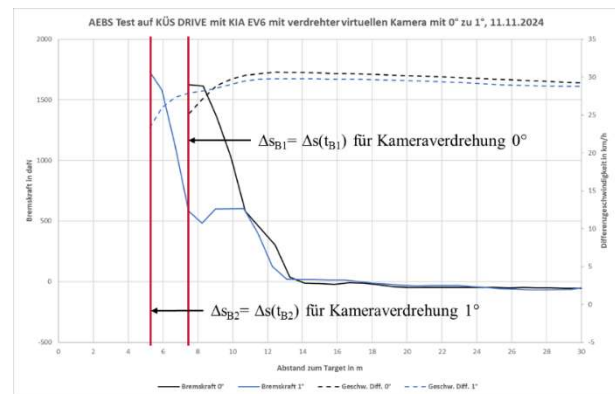


Bild 10: Bremskraftverläufe von AEBS Prüfung bei Front-Kameraverdrehungen von 0° und 1°

4 Zusammenfassung

Unter Anwendung eines neuen Validierungsverfahrens konnten wir beispielhaft an einem KIA EV6 zeigen, dass bei kleinen Verdrehungen der Front-Kamera wesentliche AEBS Performanceverluste unterhalb der Fahrzeugeigen-diagnoseschwelle für die Sensoreinstellung eintreten. Das Verfahren kann für Fahrzeuge verschiedener Hersteller angewendet werden, insofern diese die Randbedingungen für die AEBS-Wirkprüfung auf KÜS DRIVE erfüllen. Weiterhin ist das Verfahren auch auf andere ADAS-Sensoren, wie z.B. den Radarsensoren, mittels virtuellen Verdrehungen des Radarsensors übertragbar.

Danksagung

Wir danken dem IGMR der RWTH von Prof. Corves für die Klärung der Abhängigkeiten der Bremskraft F_B , bei der das Fahrzeug rückwärts den Prüfstand (SFT) verlässt. Mittels „MATLAB Simulink“ zeigte sich, dass die Größe von F_B im Wesentlichen von der reduzierten Masse des Prüfstands in Bezug zur Masse des Fahrzeugs und von der beim Test gefahrenen Geschwindigkeit bestimmt ist.

Literatur

- [1] KÜS, www.kues-drive.de
- [2] Tentrup, T. & al., In VDI Mechatroniktagung 2024, 14. & 15.03.2024 in Dresden, Tagungsband S. 171 bis S. 176
- [3] Agostinelli, P. & al., ATZ, 06/2024, S. 66 bis S.70
- [4] FSD Fahrzeugtechnik GmbH & al, www.ervast-projekt.de , Abschlussbericht
- [5] DEKRA, [Erkenntnisse aus dem DEKRA Verkehrssicherheitsreport 2023](#)

