

QUANTIFIZIERUNG DER FELDEFFEKTIVITÄT VON FAHRERASSISTENZSYSTEMEN MITTELS UNFALLDATEN

Ludwig Drees¹

¹ Knorrstr. 147, 80788 München, BMW Group, ludwig.drees@bmw.de (www.bmw.de)

Keywords: Fahrerassistenzsysteme, Unfallreduktion, Survival Analysis, Wirksamkeit, Unfalldaten

ABSTRACT

Diese Arbeit untersucht die reale Feldeffektivität von Fahrerassistenzsystemen (FAS) von BMW-Fahrzeugen in den USA. Die Feldeffektivität bzw. Wirksamkeit der Systeme ist mittels einer Ereigniszeitanalyse (engl. *survival analysis*) bestimmt. Dabei wurde die BMW-Flotte (Fahrzeugpopulation) in zwei Gruppen eingeteilt: Fahrzeuge mit FAS (Gruppe 1) und Fahrzeuge ohne FAS (Gruppe 2). Aufgrund von Unfällen reduziert sich die Fahrzeugpopulation über die Zeit und sogenannte Überlebenskurven können abgeleitet werden. Durch den Vergleich der beiden Überlebenskurven, kann die Feldeffektivität quantitativ bestimmt werden.

In der vorliegenden Arbeit wurden zwei unterschiedlichen Datensätze untersucht. Der erste Datensatz beinhaltet die Daten des automatischen Notrufsystems, welches bei einem Unfall mit Auslösung eines Rückhaltesystems (z. B. Airbag), auslöst. Dadurch konnten ca. 24.000 Notrufe (Unfälle) mit den Flottendaten von ca. 1.4 Mio. BMW-Fahrzeugen korreliert werden. Mit der Information über die Ausstattung hinsichtlich FAS konnte gezeigt werden, dass Fahrzeuge mit FAS weniger Notrufe auslösen (d.h. die Fahrzeuge sind in weniger schwere Unfälle verwickelt).

Jedoch ist es unklar, ob der Unfall komplett vermieden worden ist oder nur derart in der Schwere reduziert wurde, dass die Schwere des Unfalls unterhalb der Auslöseschwelle des automatischen Notrufs lag. Um diese Frage zu beantworten wurde ein zweiter Datensatz ausgewertet, der Unfälle niedrigerer Schwere (d.h. unterhalb der Notrufauslösung) beinhaltet und auf Polizeiberichten basiert. Der Datensatz umfasste ca. 15.000 Unfälle und 300.000 Fahrzeuge. Für verschiedene Unfalltypen, welche durch FAS adressiert werden, konnte eine Feldeffektivität bestimmt werden. Insgesamt zeigt die Studie, dass BMW-Fahrzeuge mit einer FAS-Ausstattung ca. 30% weniger Verunfallen als Fahrzeuge ohne FAS.

1 EINLEITUNG

Fahrzeughersteller bieten immer mehr Fahrerassistenzsysteme (FAS) an, die zum einen den Fahrkomfort erhöhen sollen und zum anderen Sicherheitsfunktionen bieten, die bei einem drohenden Unfall eingreifen, um diesen zu verhindern [1]. Active Cruise Control (ACC) ist ein Beispiel für ein Komfortsystem, bei dem der Fahrer eine Geschwindigkeit einstellt und das Fahrzeug diese automatisch unter Berücksichtigung eines Vorderfahrzeugs regelt. Für den Fall, dass das Vorderfahrzeug langsamer als die eingestellte Geschwindigkeit fährt, bremst ACC automatisch ab und hält einen sicheren Abstand zum Vorderfahrzeug. Beispielhaft für eine Sicherheitsfunktion ist der Notbremsassistent (engl. *Automatic Emergency Braking*, AEB) zu nennen, der bei einer drohenden Auffahrkollision automatisch bremst. Sowohl in der Entwicklung und Absicherung als auch über Verbraucherschutztests, wird durch entsprechende Versuche sichergestellt, dass diese Funktionen einen positiven Beitrag zur Reduktion von Unfällen beitragen.

Diese Arbeit untersucht, ob sich im realen Unfallgeschehen die Wirksamkeit ebenfalls quantifizieren lässt, insbesondere unter dem Aspekt, dass Realunfälle eine sehr große Bandbreite an unterschiedlichen Unfallkonstellationen haben (z. B. Geschwindigkeiten, Lichtverhältnisse, Winkel zwischen den Geschwindigkeitsvektoren, Überdeckungen). Die Arbeit fokussiert sich dabei auf FAS, welche schwerpunktmäßig Unfälle mit Personenschäden adressieren, d.h. Parkunfälle werden vernachlässigt.

Die Arbeit ist wie folgt aufgebaut: Kapitel 2 beschreibt die betrachteten Fahrerassistenzsysteme. In Kapitel 3 wird die Methode und die verwendeten Datensätze beschrieben. Kapitel 4 beinhaltet die Ergebnisse, welche in Kapitel 5 näher diskutiert werden. Kapitel 6 fasst die Arbeit zusammen.

2 FAHRERASSISTENZSYSTEME

Im Folgenden werden die einzelnen Fahrerassistenzsysteme beschrieben, welche in dieser Arbeit betrachtet werden. Aktuell werden FAS bei BMW in sogenannten Sonderausstattungen (SA) gebündelt, nämlich die SA „*Driving Assistant*“ bzw. die SA „*Driving Assistant Plus*“. Der „*Driving Assistant Plus*“ beinhaltet alle FAS des „*Driving Assistants*“ und hat noch weitere FAS, wie z.B. ACC. Gegenfalls kann sich noch die Technik bzw. Sensorik ändern. Die für diese Arbeit relevanten FAS sind:

- **Auffahrwarnung und Notbremsassistent (AEB):** Die Auffahrwarnung (engl. *forward collision warning*) warnt den Fahrer visuell, wenn aufgrund der aktuellen Geschwindigkeit des Fahrzeugs und des Abstands zum Vorderfahrzeug eine mögliche Kollision droht. Durch die Warnung kann der Fahrer noch die Geschwindigkeit entsprechend anpassen, da er auf eine mögliche Kollision hingewiesen wird. Findet keine Fahrerreaktion statt und es droht weiterhin eine Kollision, greift der Notbremsassistent ein. Es folgt eine akustische Warnung und das Fahrzeug bremst automatisch ab. Je nach SA und Fahrzeuggeneration basiert das AEB entweder auf Basis einer Kamera oder das Fahrzeug besitzt noch zusätzlich ein Radarsystem. Aufgrund der unterschiedlichen Technik sind die Situationen, wann und wie stark ein AEB eingreift unterschiedlich. Zum Beispiel kann der Geschwindigkeitsbereich unterschiedlich sein.
- **Spurverlassenswarnung (SVW) / Lane Departure Warning (LDW):** Bei der SVW wird der Fahrer gewarnt, wenn das Fahrzeug die Spur verlässt. Das System nutzt die Fahrzeugkamera, welche die Spurmarkierung erkennt. Die SVW adressiert in der Regel Fahrnfälle außerorts, bei denen es häufig zu schweren Verletzungen kommt [2]. Daher funktioniert die SV erst ab einer gewissen Geschwindigkeit, die typischerweise außerorts gefahren wird.
- **Spurwechselwarnung (SWW) / Blind Spot Detection (BSD):** Bei der Spurwechselwarnung wird der Fahrer gewarnt, sobald sich ein Fahrzeug im toten Winkel bzw. neben dem eigenen Fahrzeug befindet.
- **Spurhalteassistent / Lane Keeping Assistance (LKA).** Neuere Fahrzeuge bieten neben einer SVW auch einen Spurhalteassistent. Im Gegensatz zur Warnung findet auch ein Lenkeingriff statt, der das Fahrzeug wieder auf die eigene Fahrspur lenkt. Dies ist auch der Fall, wenn bei einem Spurwechsel sich ein Fahrzeug neben dem eigenen Fahrzeug befindet und eine Seitenkollision droht.

3 METHODE

In diesem Kapitel werden sowohl die Methode, mit der die Feldeffektivität quantifiziert wird als auch die verwendeten Datensätze näher beschrieben. Insgesamt werden zwei verschiedene Datensätze ausgewertet.

3.1 Ereigniszeitanalyse

Die Ereigniszeitanalyse (engl. *survival analysis*) ist eine statistische Methode, bei der die Zeit bis zu einem bestimmten Ereignis zwischen zwei Gruppen verglichen wird. Insbesondere soll hier der Einfluss eines bestimmten Faktors bestimmt werden. In der Medizin zum Beispiel wird bei Studien der Einfluss eines Medikamentes auf das Ereignis Tod oder Heilung betrachtet [3]. In dieser Arbeit handelt es sich um den Einflussfaktor FAS, der die Zeit bis zum Unfall beeinflusst. Bei der Ereigniszeitanalyse werden nicht alle Fahrzeuge bis zur Verschrottung „beobachtet“, sondern nur über

einen bestimmten Zeitraum (z. B. 4 Jahre). Somit sind die Daten im statistischen Sinne zensiert, d.h. man hat ein festen Beobachtungszeitraum. Würde man alle Fahrzeuge bis zur Verschrottung beobachten, würde die Studie über mehr als 10 Jahre dauern, bis das letzte Fahrzeug verschrottet wurde.

Folgende Abbildung 1 veranschaulicht das Studiendesign. Innerhalb des Beobachtungszeitraums werden die verschiedenen Fahrzeuge verkauft. Einige von den verkauften Fahrzeugen sind in einen Unfall verwickelt und verlassen die Fahrzeugpopulation.

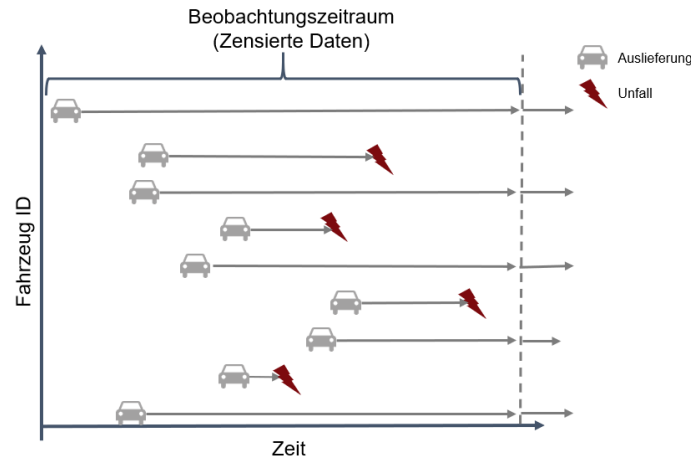


Abbildung 1: Studiendesign

Um die Effektivität von Fahrerassistenzsystemen zu quantifizieren, wurde eine Cox-Regression angewandt, um die Ausfallrate h (engl. *hazard rate*) zu schätzen. Die Ausfallrate beschreibt, wie viele Fahrzeuge in einem Zeitintervall aufgrund eines Unfalls aus der Fahrzeugpopulation ausscheiden. Hierbei ist die Hypothese, dass Fahrzeuge mit FAS eine niedrigere Ausfallrate haben, d.h. sie sind weniger in einen Unfall verwickelt. In dieser Arbeit ist die Ausfallrate gleichbedeutend mit der Unfallrate.

Die unterschiedlichen Ausfallraten h werden auch in folgender Abbildung 2 in Form von Kaplan-Meier Kurven (Überlebenskurven $S(t)$) dargestellt. Dabei wird die Fahrzeugpopulation in zwei Gruppen eingeteilt: Fahrzeuge mit und Fahrzeuge ohne FAS.

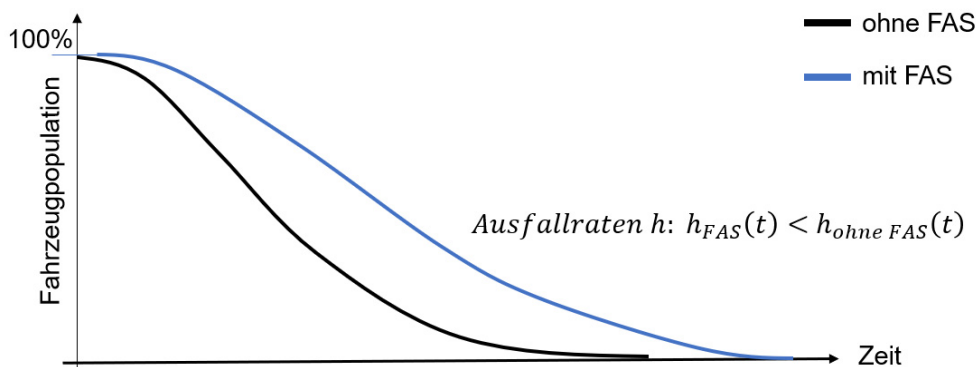


Abbildung 2: Studiendesign

Zu Beginn geht man von einer vollständigen Fahrzeugpopulation (100%) aus. Jedoch nimmt diese über die Zeit aufgrund von Unfällen ab. Gemäß der Hypothese, dass Fahrzeuge mit FAS eine niedrigere Unfallrate haben, liegt die Überlebenskurve von Fahrzeugen mit FAS über der Kurve von Fahrzeugen ohne FAS. Das Verhältnis der beiden Kurven zueinander bzw. das Verhältnis der Ausfallraten (engl. *hazard ratio*) beschreibt, um wieviel Prozent eine Population eine höhere

Überlebenswahrscheinlichkeit besitzt bzw. in dieser Arbeit, um wieviel Prozent eine Fahrzeuggruppe weniger in einen Unfall verwickelt ist.

Abbildung 2 zeigt die Überlebensfunktion $S(t)$, welche die Wahrscheinlichkeit P beschreibt, dass ein Fahrzeug eine „Überlebenszeit“ T größer haben wird als t :

$$S(t) = P(T > t) \quad (1)$$

Aus der Überlebensfunktion lässt sich die Unfallwahrscheinlichkeit $F(t)$ bestimmen:

$$F(t) = P(T \leq t) = 1 - S(t) \quad (2)$$

Über die Ableitung der Unfallwahrscheinlichkeit aus Gleichung (2) erhält man eine Dichtefunktion $f(t)$ (Unfalldichte),

$$f(t) = dF(t)/dt \quad (3)$$

aus der sich die Hazardfunktion $h(t)$ bestimmen lässt:

$$h(t)dt = f(t)dt/S(t) \quad (4)$$

Die Hazardfunktion beschreibt die Rate, mit der ein Ereignis (hier: Unfall) zum Zeitpunkt T eintritt, unter der Bedingung, dass es bis zum Zeitpunkt t noch nicht eingetreten ist.

In Abbildung 2 ist als Expositionsgröße die Zeit abgebildet. Dies trifft auf Fahrzeuge nur bedingt zu, da für den Fall, dass ein Fahrzeug selten bewegt wird, die Exposition im Verkehr viel geringer ist als von Fahrzeugen, die eine hohe jährliche Fahrleistung haben. Daher wurde in dieser Arbeit neben der Zeit auch die Expositionsgröße Laufleistung analysiert.

3.2 Notruf-Daten (Datensatz 1)

Für den ersten Datensatz wurden sämtliche BMW-Fahrzeuge, welche in den USA zwischen Januar 2014 und Juli 2018 verkauft wurden, betrachtet. Insgesamt wurden ca. 1,4 Mio. Fahrzeuge analysiert. Über die Fahrzeugidentifikationsnummer (FIN) stehen auch Informationen zu Verfügung, welche FAS in die jeweiligen Fahrzeuge eingebaut wurden. Hinsichtlich der FAS-Ausstattung wurde zwischen verschiedenen Generationen der Technik unterschieden.

- Generation 3: Radar mit Monokamera (ohne Fusion)
- Generation 4: Radar mit Monokamera (mit Fusion)
- Generation 5: Radar mit Stereokamera (mit Fusion)

Mittels der FIN wurden die Unfalldaten von BMW-Fahrzeugen aus dem automatischen Notrufsystem zwischen Januar 2014 und Dezember 2018 korreliert. Insgesamt standen für den Zeitraum Datensätze von ca. 24.000 Unfälle zu Verfügung. Der automatische Notruf wird ausgelöst, wenn ein Fahrzeug in einen Unfall verwickelt ist, bei dem mindestens ein Rückhaltesystem ausgelöst wird, d.h. Airbagauslösung oder im Falle einer Heckkollision der Gurtstraffer. Der Notrufdatensatz beinhaltet das Unfalldatum als auch Unfallcharakteristika, wie zum Beispiel, ob es sich um eine Front- oder Heckkollision gehandelt hat. Folgende Tabelle 1 zeigt die prozentuale Verteilung der jeweils ersten erkannten Kollisionsrichtung.

Kollisionsrichtung	Anzahl	Prozent
<i>Front</i>	15012	62,2%
<i>Seite links</i>	3104	12,8%
<i>Seite rechts</i>	2157	8,9%
<i>Heck</i>	2704	11,2%
<i>Rollover</i>	1063	4,4%
<i>unbekannt</i>	111	0,5%
Gesamt	24151	100%

Table 1: Unfalldaten

Zusätzlich wurden Informationen über die Fahrleistung hinzugezogen. Diese standen jedoch nicht

für alle Fahrzeuge zu Verfügung, da dazu ein Besuch in einer BMW-Werkstatt erforderlich ist, bei dem die Kilometerstände ausgelesen werden.

3.3 Unfallberichte (Datensatz 2)

In dem zweiten Datensatz werden wieder Unfalldaten mit Fahrzeuginformationen korreliert und um die Fahrleistung ergänzt. Bei den Unfalldaten handelt es sich um Polizeiberichte aus 9 verschiedenen US-Bundestaaten (s. Tabelle 2) zwischen Januar 2015 und Dezember 2017. Da die Polizeiberichte bei jedem einzelnen Bundesstaat separat angefragt und zur Verfügung gestellt werden müssen, wurden für BMW-Fahrzeuge repräsentative Bundesstaaten ausgewählt. Insgesamt konnten so auf über 15,000 Polizeiberichte zugegriffen werden.

Bundesstaat	Anzahl	Prozent
<i>Connecticut</i>	859	5,5%
<i>Florida</i>	6554	41,8%
<i>Louisiana</i>	519	3,3%
<i>Maryland</i>	421	2,7%
<i>Michigan</i>	613	3,9%
<i>New York</i>	3365	21,5%
<i>Pennsylvania</i>	440	2,8%
<i>South Dakota</i>	13	0,1%
<i>Texas</i>	2892	18,4%
Gesamt	15767	100%

Table 2: Unfalldaten

Polizeiberichte liefern deutlich mehr Informationen zu dem Unfall als die Notrufdaten. So ist die Information über den Unfalltyp vorhanden. Beispiele für Unfalltypen sind ein Fahrnunfall oder ein Fahrzeug die eigene Fahrspur verlassen hat und mit dem Gegenverkehr kollidiert ist. Folgende Tabelle 3 zeigt die verschiedenen Unfalltypen:

Bundesstaat	Anzahl	Prozent
<i>Spurverlassen (Fahrnunfall)</i>	480	3,1%
<i>Auffahrunfall (Auffahrer)</i>	1541	9,8%
<i>Auffahrunfall (Heckkollision)</i>	3166	20,2%
<i>Auffahrunfall (sonstiges)</i>	1434	9,1%
<i>Streifkollision (gleiche Fahrriichtung)</i>	400	2,6%
<i>Streifkollision (entgegengesetzte Fahrriichtung)</i>	16	0,1%
<i>Sonstiges</i>	8639	55,1%
Gesamt	15767	100%

Table 3: Übersicht Unfalltypen

Der Fokus dieser Untersuchung lag auf die in Kapitel 2 beschriebenen FAS. Somit wurden sämtliche anderen Unfälle unter der Kategorie „Sonstiges“ subsummiert. Neben den Unfalltypen sind auch Informationen zu den involvierten Personen vorhanden, wie z.B. Geschlecht, Alter oder Verletzungsschweren. Im Gegensatz zu den Notrufdaten liegen somit über die Polizeiberichte detaillierte Unfallinformationen zu leichteren Unfällen vor, bei denen nicht notwendigerweise ein Rückhaltesystem ausgelöst und somit kein Notruf abgesendet wurde.

Da die Polizeiberichte aus 9 Bundestaaten betrachtet werden, wurden ebenfalls die BMW-Fahrzeuge aus den oben genannten Bundesstaaten betrachtet, die zwischen Januar 2015 bis Dezember 2017 verkauft wurden (im Gegensatz zu dem Datensatz 1, s. Kapitel 3.2). Es wurden nur BMW-Fahrzeuge

in die Fahrzeugpopulation einbezogen, die eine Modelleinführung 2014 oder später hatten. Von den betrachteten Fahrzeugen hatten 26% mindestens ein FAS System.

4 ERGEBNISSE

In diesem Kapitel werden die Ergebnisse basierend auf den beiden obig beschriebenen Datensätzen beschrieben.

Die Ereigniszeitanalyse wurde für den Datensatz 1 (Notrufdaten) für die Expositionsgrößen Fahrleistung und Zeit angewandt. Untenstehende Tabelle 4 zeigt für die verschiedenen Generationen (s. Kapitel 2) die Reduktion von Frontalkollisionen, je nach Expositionsgröße. Zum Beispiel ist für die Generation 5 (Radar und Stereokamera mit Fusion) die Rate einer schweren Frontalkollision (mit Notrufauslösung) bei Fahrzeugen mit einem AEB/Auffahrwarnung um 29% geringer (gemessen an der Fahrleistung) als bei Fahrzeugen ohne AEB/Auffahrwarnung.

FAS Generation	Fahrleistung	Zeit
<i>Alle Generationen</i>	19%	22%
<i>Generation 3</i>	17%	33%
<i>Generation 4</i>	17%	28%
<i>Generation 5</i>	29%	28%

Table 4: Reduktion an Unfällen mit eCall Auslösung in Abhängigkeit der Expositionsgröße

Die Auswertung des zweiten Datensatzes zeigt ein ähnliches Bild. Aufgrund der detaillierten Informationen des Unfalltyps wurden spezifisch die Unfalltypen ausgewählt, die durch oben beschriebene FAS adressiert werden.

FAS	Unfalltyp	Fahrleistung
<i>AEB, BSD, SVW, SHA</i>	<i>FAS relevanter Unfalltyp</i>	29%
<i>AEB</i>	<i>Auffahrunfall (BMW: Auffahrer)</i>	35%
<i>~</i>	<i>Auffahrunfall (BMW: wird aufgefahen)</i>	~
<i>LDW, SVW, BSD</i>	<i>Seitenkollision (gleiche Fahrriichtung)</i>	25%
<i>SVW</i>	<i>Spurverlassen</i>	~

Table 5: Reduktion an Unfällen mit eCall Auslösung in Abhängigkeit der Expositionsgröße

Bei Auffahrunfällen, bei denen das BMW-Fahrzeug einem anderen Fahrzeug aufgefahen ist, zeigt sich eine 35% niedrigere Unfallrate, sobald das BMW-Fahrzeug mit einem AEB oder Auffahrwarnung ausgestattet war. In Auffahrunfällen, bei denen dem BMW-Fahrzeug von einem anderen Fahrzeug aufgefahen wurde, d.h. das BMW-Fahrzeug hatte eine Heckkollision, wurde keine signifikante Reduktion der Unfallrate festgestellt. Dies ist plausibel, da der Notbremsassistent/Auffahrwarnung diesen Fall nicht adressiert.

5 DISKUSSION

Beide Datensätze zeigen grundsätzlich eine Reduktion der Unfallraten, sobald die Fahrzeuge mit FAS ausgestattet werden. Dies zeigen auch andere Untersuchungen, wie z.B. [4]-[8]. Datensatz 1 basiert auf einer sehr großen Anzahl an Fahrzeugen und spiegelt die gesamte Fahrzeugpopulation der BMW-Flotte in den USA (ab Modelljahr 2014) wider. Über den automatischen Notruf sind außerdem automatisiert Informationen zum Unfall bereitgestellt und erlauben somit die verschiedenen Technik-Generationen zu bewerten.

Auch wenn der Datensatz 1 eine Reduktion an Unfallzahlen ausweist, bleibt zunächst noch die

Frage offen, ob der Unfall gänzlich verhindert wurde oder aber nur in seiner Schwere reduziert wurde, die unterhalb der Notrufauslösung liegt. Jedoch zeigt Datensatz 2, dass FAS die Unfallraten im Bereich unterhalb der Notrufauslösung reduziert.

Jedoch bleibt die Frage offen, inwieweit die Effektivität mit den individuellen FAS korrelieren. Da wie oben beschrieben die FAS in SAs verkauft werden, sind häufig Fahrzeuge sowohl mit einem Notbremsassistent als auch Spurverlassenswarnung ausgestattet. D.h. eine Reduktion der Frontalkollisionen kann auch aufgrund der Spurverlassenswarnung resultieren, in dem sie verhindert, dass das BMW-Fahrzeug in die Gegenspur gerät und dort mit einem entgegen kommenden Fahrzeugs kollidiert. Durch die Analyse des zweiten Datensatzes konnten spezifischer die verschiedenen Unfalltypen untersucht werden.

Des Weiteren sind noch keine Nutzungshäufigkeiten in Betracht gezogen, d.h. wie oft waren Systeme auch aktiviert bzw. deaktiviert. Gerade bei Unfällen in der lateralen Richtung ist die Einbeziehung solcher Informationen notwendig. Eine weitere Einschränkung der Ergebnisse ist, dass die genaue Unfallkonstellation unbekannt ist. Zum Beispiel liegt bei dem Datensatz 1 die Information vor, ob eine Frontkollision stattgefunden hat. Ob es sich bei dem Unfall/Kollision um einen Auffahrunfall oder eine (Front-)Kollision mit dem Gegenverkehr gehandelt hat, ist unbekannt. Obwohl beide Fälle in einer Frontkollision resultieren, werden die Unfälle durch unterschiedliche FAS Systeme adressiert.

Die Methode der Ereigniszeitanalyse konnte über den Unfalltyp „Auffahrunfall“ plausibilisiert werden, da keine Effektivität festgestellt wurde, wenn das BMW-Fahrzeug nicht der Unfallverursacher (Auffahrer) war.

6 ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK

In dieser Arbeit wurde die Feldeffektivität von Fahrerassistenzsystemen untersucht. Dabei wurden historische Unfalldaten verwendet und diese mit Fahrzeugflottendaten korreliert. Die Feldeffektivität wurde mittels einer Ereigniszeitanalyse quantifiziert, welche die Ausfallraten (hier: Unfallraten) für unterschiedliche Fahrzeugpopulationen mittels einer Cox-Regression bestimmt. Es wurden zwei unterschiedliche Datensätze ausgewertet, die sich in Datenvolumen und Datentiefe unterscheiden. Beide Datensätze zeigen eine Feldeffektivität von FAS zwischen 22%-35%, je nach Unfalltyp.

Weitere Untersuchungen, insbesondere von neueren Systemen als auch weiteren Unfalltypen, wie z.B. Unfälle mit verletzlichen Verkehrsteilnehmern (z.B. Fußgänger), können zeigen, ob sich Effektivität in einer ähnlichen Größenordnung befinden bzw. durch neue Technik noch gesteigert wurden.

DANKSAGUNG

Die Danksagung gilt dem Team von Impact Research (<https://www.impactresearchinc.com/>), die die Studie im Auftrag der BMW Group durchgeführt haben. Insbesondere gilt der Dank an George Bahouth und Rebecca Spicer.

QUELLEN

- [1] <https://www.bosch-presse.de/pressportal/de/de/bosch-auswertung-fahrerassistenzsysteme-sind-weiter-stark-auf-dem-vormarsch-148032.html>, Bosch (2021). Aufgerufen am 01.06.2021
- [2] Destatis 2019, Fachserie 8 Reihe 7, Statistisches Bundesamt, 2020
- [3] Zwiener, Blettner, Hommel, Survival Analysis—Part 15 of a Series on Evaluation of Scientific Publications, Dt. Arzteblatt Int 2011; 108(10): 163-9; DOI: 10.3238/arztebl.2011.0163
- [4] Cicchino JB. Effects of lane departure warning on police-reported crash rates. Journal of Safety Research 2018;66:61-70.
- [5] Cicchino JB. Effectiveness of forward collision warning and autonomous emergency braking systems in reducing front-to-rear crash rates. Accident Analysis and Prevention 2017;99(Pt A):14-152.
- [6] Fildes B, Keall M, Bos N, Lie A, Page Y, Pastor C, Pennisi L, Rizzi M, Thomas P, Tinvall C. Effectiveness of low speed autonomous emergency braking in real-world rear-end crashes. Accident Analysis and Prevention 2015;81:24-29.
- [7] Sternlund, S, Strandroth, J, Rizzi, M, Lie, A, Tingvall, C (2017). The effectiveness of lane departure warning systems – A reduction in real-world passenger car injury crashes.
- [8] Spicer R., Vahabaghaie A., Bahouth G., Drees L., Martinez von Bülow R., Baur P., Field effectiveness evaluation of advanced driver, <https://doi.org/10.1080/15389588.2018.1527030>