

ReflektAS – Ein verhaltensbasiertes Assistenzsystem zur Querführung

Anke Kullack, Ingmar Ehrenpfordt und Frank Eggert

Schlüsselwörter: Lane Departure Prevention, Reflexe, Querführung

Zusammenfassung

Querführungsassistenten sollen, je nach Systemauslegung, den Komfort und die Sicherheit beim Fahren erhöhen. Lane Departure Warning Systems und Lane Keeping Assistance Systems zeigen in verschiedenen Studien eine im Allgemeinen gute Funktionalität, wobei kritische Situationen meist außer Acht gelassen wurden. Für diese spezifischen Situationen wurde ein neues Assistenzsystem entwickelt, das zu einer neuen Kategorie – Lane Departure Prevention Systems – gehört. Nachdem die grundsätzliche Funktionalität des Systems bereits demonstriert werden konnte (Kullack, Ehrenpfordt, Lemmer & Eggert, 2008), soll hier der Einfluss der Auslegung des Assistenten auf verschiedene Reaktionsparameter untersucht werden. Abkommensereignisse werden hinsichtlich der Weite und der Dauer des Abkommens detailliert betrachtet. Dazu wurde eine Simulatorstudie mit 28 Probanden durchgeführt, in der die Auslegung des Systems variiert und die Reaktionsparameter gemessen wurden. Es zeigte sich eine signifikante Korrelation zwischen den beiden betrachteten Parametern, signifikante Unterschiede zwischen den Auslegungsstufen konnten nicht gefunden werden.

Bisherige Fahrerassistenz zur Querführung: LDWS und LKAS

Querführungsassistenten sollen verhindern, dass ein Fahrzeug von seiner Fahrspur abkommt. Bei den bisher verfügbaren Systemen soll dies durch unterschiedliche Strategien erreicht werden. Klassischerweise werden Spurverlassenswarner (die sogenannten Lane Departure Warning Systems, LDWS) und Spurhalteassistenten (Lane Keeping Assistance Systems, LKAS) unterschieden. Bei der Beschäftigung mit diesem Themenbereich wird schnell deutlich, dass die Systeme eine große Variabilität hinsichtlich ihrer spezifischen Auslegung aufweisen und die Kategorisierung aufgrund einer u. W. fehlenden einheitlichen Definition erschwert ist.

Lane Departure Warning Systems (dt. Spurverlassenswarner) produzieren bei einem drohenden Spurverlassen eine visuelle, akustische oder haptische Warnung, bzw. beliebige Kombinationen aus den Modalitäten. Auch eine Abstufung verschiedener Warnungen ist möglich. Die Semantik der Signale muss interpretiert und erlernt werden, da die Signale keine unmittelbare Verhaltensrelevanz besitzen, wobei sich verschiedene Systeme hinsichtlich der Einfachheit der Erlernbarkeit der Signale unterscheiden. Demnach handelt es sich um kognitiv konzipierte Systeme. LDWS zielen primär auf eine Erhöhung der Sicherheit (da sie erst aktiv werden, wenn ein Spurabkommen droht).

Lane Keeping Assistance Systems (dt. Spurhalteassistenten) reduzieren durch das Aufbringen zusätzlicher Lenkmomente die Notwendigkeit kleinerer Lenkkorrekturen während des normalen Fahrens. Es ist möglich, die Systeme zu übersteuern. Verschiedene Systeme variieren in der Stärke dieser Momente und wann das System aktiv ist. LKAS zielen primär auf die Erhöhung des Komforts beim Fahren (da sie den Fahrer beim normalen Fahren unterstützen, ohne dass eine kritische Situation vorliegt), sie sollen kritische Situationen vermeiden.

Die allgemeine Funktionalität dieser Systeme wurde in zahlreichen Studien untersucht und konnte meist bestätigt werden (z. B. Kozak et al., 2006; Sato, Goto, Kubota, Amano & Fukui, 1998). Es stellt sich jedoch die Frage nach der spezifischen Funktionalität in kritischen Situationen, in denen ein Spurverlassen, z. B. aufgrund einer lokalen Aufmerksamkeitsverlagerung

oder einer globalen Aufmerksamkeitsreduktion, sehr wahrscheinlich ist. Ist die Aufmerksamkeit verlagert bzw. reduziert, bedeutet dies eine reduzierte kognitive Verarbeitungskapazität. Vor allem bei LDWS wird jedoch ein bestimmtes Level kognitiver Ressourcen vorausgesetzt, da das Warnsignal wahrgenommen und interpretiert werden muss, um die richtige Reaktion auszuführen. Ist in kritischen Situationen die Verarbeitungskapazität reduziert, wird die ohnehin aufgrund der notwendigen kognitiven Verarbeitungsschritte sich ergebende Reaktionszeit noch zusätzlich verlängert. Wie bereits oben erwähnt, wurden LKAS nicht für kritische Situationen konzipiert, sie sollen sie vermeiden. Im Rahmen von dysfunktionalen Reaktionen des Fahrers könnte das System jedoch leicht übersteuert werden und so eine Spurabweichung auftreten. Durch die ableitbare nicht optimale Funktionalität der klassischen Systeme in kritischen Situationen wurde ein neuartiges verhaltensbasiertes Assistenzsystem – ReflektAS – speziell für kritische Situationen entwickelt, das nicht auf kognitiv basierte Informationsverarbeitungsprozesse angewiesen ist. Ziel war ein System, das in kritischen Situationen sehr schnell und zuverlässig eine richtige Lenkreaktion auslöst.

Die Auslösung von Lenkreflexen als Prinzip eines neuen Lane Departure Prevention System

Betrachtet man einschlägige Modelle der Informationsverarbeitung, so lassen sich verschiedene Ebenen der Verhaltenssteuerung unterscheiden. Konczak (2008) beispielsweise unterscheidet einfache Reflexe auf der untersten Ebene, vorprogrammiertes und konsolidiertes Verhalten darüber und bewusste Handlungen auf der höchsten Ebene. Andere Modelle, wie zum Beispiel das sehr bekannte Modell menschlichen Verhaltens von Rasmussen (1983), weisen eine sehr ähnliche Struktur auf. Verhalten, das auf der untersten Ebene, der Reflexebene, lokalisiert ist, wird durch einen bestimmten Reiz zuverlässig ausgelöst, wobei die Verarbeitung primär im Rückenmark stattfindet. Das führt zu besonders kurzen Latenzzeiten (20-120 ms) (Konczak, 2008) und einer besonders großen Stabilität. Da der Einfluss höherer Zentren eingeschränkt ist, ist auch die Modulation von Reflexen stark begrenzt, wobei die Reflexantwort allerdings zum Beispiel hinsichtlich ihrer Stärke im Allgemeinen von der Sensorerregung abhängt (Illert & Kuhtz-Buschbeck, 2006). Diese Eigenschaften sind für kritische Situationen, in denen sehr schnell und zuverlässig eine bestimmte Reaktion ausgeführt werden soll, sehr vorteilhaft; daher wurde versucht, Reflexe bei der Entwicklung eines Querführungsassistenten für kritische Situationen nutzbar zu machen.

Um eine sehr schnelle Lenkreaktion in Richtung Spurmitte zu erreichen, wurde ein relativ starker und kurzer dreiecksförmiger Ruck in Richtung des Abkommens auf das Lenkrad gegeben. So wird ein Lenkreflex entgegen der Richtung des Rucks ausgelöst. Die Auslösung des Reflexes geht mit einer Orientierungsreaktion nach vorne und einem erhöhten Arousal einher. Der Fahrer muss die Lenkbewegungssequenz nur noch beenden und ggf. kleinere Kompensationsreaktionen vollführen. Die Reaktion kann demzufolge in eine primäre, reflektorische, und eine sekundäre, kompensatorische Reaktion, aufgeteilt werden. Dieses neue System lässt sich keiner der Kategorien der Querführungsassistenz (LDWS bzw. LDPS) zuordnen, da es zum einen für andere Situationen, nämlich unmittelbar kritische Situationen, konzipiert wurde und zum anderen ein vollständig neuer Ansatz, nämlich ein verhaltenswissenschaftlicher, gewählt wurde. Damit wurde ein vollständig neues Funktionsprinzip realisiert. Um das System einzuordnen schlagen wir eine neue Kategorie – Lane Departure Prevention Systems (LDPS) – vor, zu denen Querführungsassistenten für kritische Situationen, basierend auf verhaltenswissenschaftlichen Prinzipien gehören. Sinnvoll erscheint die Kombination von ReflektAS zum Beispiel mit einem LKAS. Während des normalen Fahrens ist das LKAS aktiv und hält den Fahrer in der Spur, übersteuert der Fahrer das System und es droht ein Abkommen von der Spur, wird ein Ruck in Richtung des Abkommens auf das Lenkrad gegeben. Um eine zusätzliche, wenn auch minimale Verlagerung des Fahrzeug in Richtung des Abkommens zu verhindern, kann

das System in einem steer-by-wire System umgesetzt werden, so dass während des Rucks die Räder von der Lenkung entkoppelt sind.

Die grundsätzliche Funktionalität dieses Prinzips konnte in mehreren Simulatorstudien ohne Lenkungsentkopplung empirisch bestätigt werden. Die Reaktionszeiten der Fahrer liegen im Mittel bei 0,07 s, eine sehr schnelle reflektorische Antwort konnte damit nachgewiesen werden (Kullack, Ehrenpfordt, Lemmer & Eggert, 2008).

Fragestellung und Hypothesen

Um die Fälle, in denen trotz Eingreifen des Assistenten ein Abkommen nicht verhindert werden konnte, genauer zu untersuchen, wurden verschiedene Reaktionsparameter – im Folgenden werden die Weite und die Dauer des Abkommens analysiert – einzeln untersucht. Diese Maße sind insofern relevant, als dass sich beispielsweise ein Abkommen von wenigen Zentimetern als eher unproblematisch herausstellt, da die meisten Straßen so aufgebaut sind, dass sich hinter der Spurmarkierung noch ein Stück asphaltierte Straßendecke befindet. Die Weite des Abkommens stellt hier den räumlichen Aspekt des Abkommens dar, die Dauer den zeitlichen. Die Auslegung des Rucks (Variation der Amplitude und der Gesamtdauer) sollte einen Einfluss auf die Weite und die Dauer haben, da die Reflexantwort unter anderem auch von der Ausprägung des Reizes abhängt. Obwohl angenommen wird, dass beide Faktoren zusammenhängen, können zum Beispiel sehr lange Abkommen mit geringer Weite vorkommen. Praktische Relevanz haben die beiden Parameter dahingehend, dass sie mit der Wahrscheinlichkeit eines Unfalls zusammenhängen. Je länger bzw. je weiter ein Fahrzeug von der Spur abkommt, desto größer wird die Wahrscheinlichkeit eines Unfalls. Aus diesen Überlegungen können folgende Hypothesen abgeleitet werden:

18. Unterschiedliche Auslegungen des Rucks führen zu unterschiedlichen mittleren Abkommensweiten.
19. Unterschiedliche Auslegungen des Rucks führen zu unterschiedlichen mittleren Abkommensdauern.
20. Weite und Dauer des Abkommens weisen dabei einen positiven linearen Zusammenhang auf.

Methode

Es nahmen 28 Probanden zwischen 21 und 56 Jahren (MW=37,5; SD=11,2) an einer Simulatorstudie im Institut für Verkehrssystemtechnik des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt e. V., Standort Braunschweig teil. Sie fuhren auf einer geraden Strecke bei konstant 80 km/h. An zuvor definierten Abschnitten wurde eine Zweitaufgabe gestartet, während der ein simulierter Seitenwind appliziert wurde, der das Fahrzeug langsam, ohne dass die Probanden es bemerkten, nach rechts drängte. Sobald ein definierter Abstand zur Fahrspurmarkierung unterschritten wurde, löste das Assistenzsystem aus.

Der Ruck wurde systematisch hinsichtlich seiner Amplitude (von 1,5 bis 4,95 Nm) und Gesamtdauer (150 bis 350 ms) variiert, untersucht wurden 15 verschiedene Einstellungen in einem fixed factor model (für weitere Details zu Design und Durchführung siehe (Kullack et al., 2008)). Nach der Fahrt wurden Fragen hinsichtlich der Akzeptanz des Systems mittels Fragebogen erhoben.

Ergebnisse

Analysiert wurden die ersten zehn Sekunden nach dem Eingriff des Assistenten, um Abweichungen aufgrund der reflektorischen und der kompensatorischen Reaktion mit in die Berechnungen aufzunehmen. Da es sich bei der Frage nach dem Einfluss der Einstellung des Rucks

auf die Reaktionsparameter um eine explorative Frage handelt, wurde zur Überprüfung der ersten und zweiten Hypothese jeweils eine Varianzanalyse gerechnet, um zu überprüfen, ob sich eine Einstellung von mindestens einer anderen hinsichtlich der entsprechenden abhängigen Variable unterscheidet.

Es zeigte sich, dass sich die Weite und die Dauer des Abkommens nicht signifikant zwischen den Bedingungen unterschieden [Weite: $F(15,112)=0,627$; $p=0,848$; Dauer: $F(15,112)=0,876$; $p=0,592$]. Die Probanden kommen im Mittel 2,12 Sekunden ($SE=0,15$) von der Straße ab, bei einer Weite von im Mittel 0,27 m ($SE=0,02$). In einer Bedingung mittlerer Stärke und langer Gesamtdauer (4 Nm, 300 ms) ist die Weite am geringsten ($MW=0,17$; $SE=0,06$) und die Dauer am kürzesten ($MW=1,11$, $SE=0,21$). In einer Bedingung die einen etwas stärkeren und kürzeren Ruck aufweist (5 Nm, 250 ms) ist die Weite am größten ($MW=0,43$; $SE=0,16$). Bei einer Einstellung mit geringer Stärke und kurzer Gesamtdauer (1,5 Nm, 150 ms) ist das Abkommen am längsten ($MW=2,96$; $SE=1,47$). Abb. 9 und Abb. 10 zeigen Boxplots der Weite bzw. der Dauer des Abkommens je Bedingung. Ein Boxplot stellt Minimum, unteres Quartil, Median, oberes Quartil und Maximum der betrachteten Daten dar. Ausreißer werden durch einen Punkt markiert. Sind zu wenig Daten vorhanden (d. h. zu wenige Abkommensereignisse), werden Minimum und Maximum nicht dargestellt.

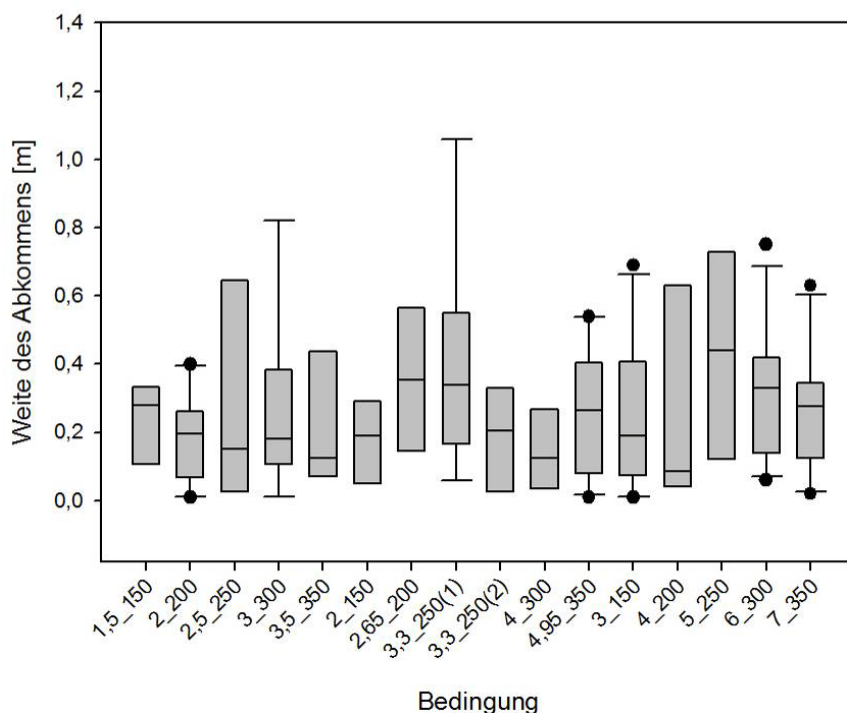


Abb. 9: Boxplots der Weite des Abkommens innerhalb von zehn Sekunden nach dem Ruck, je Bedingung. (Die erste Zahl zeigt die Stärke des Rucks in Newtonmeter, die folgende die Gesamtdauer in Millisekunden; (1) bezeichnet den ersten Eingriff; (2) den letzten).

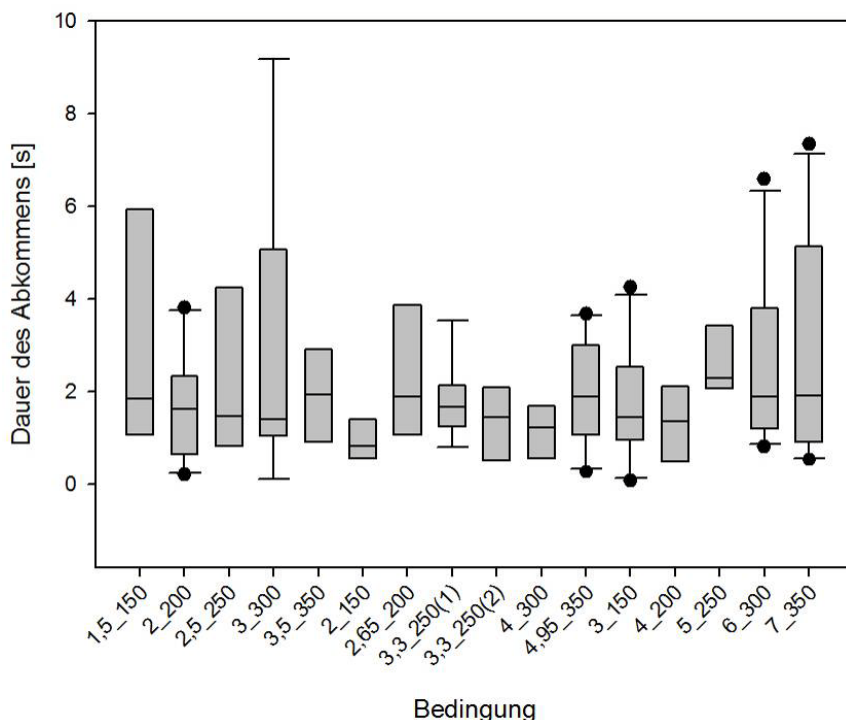


Abb. 10: Boxplots der Dauer des Abkommens von der Straße innerhalb von zehn Sekunden nach dem Ruck, je Bedingung. (Die erste Zahl zeigt die Stärke des Rucks in Newtonmeter, die folgende die Gesamtdauer in Millisekunden; (1) bezeichnet den ersten Eingriff; (2) den letzten).

Zur Überprüfung der dritten Hypothese wurde eine Korrelation nach Pearson berechnet und auf Signifikanz überprüft. Zwischen Weite und Dauer zeigte sich eine Korrelation in Höhe von $r=0,56$, die signifikant von Null abweicht ($p<0,001$).

Diskussion

In den Boxplots war zu erkennen, dass bei einigen Bedingungen zu wenige Abkommen vorhanden waren, um ein vollständiges Boxplot abbilden zu können. Bei 29 % der Eingriffe fand ein Abkommen statt, wobei sich die Bedingungen hinsichtlich der Häufigkeit unterschieden. Die Weite und die Dauer des Abkommens unterschieden sich nicht signifikant zwischen den Bedingungen, wobei sich deskriptiv nicht unerhebliche Unterschiede zwischen den Bedingungen zeigten. So ist die Box jeweils in den Bedingungen 4_300 und 2_150 verhältnismäßig klein, was auf eine geringe Varianz der Werte hinweist. Der Unterschied zwischen dem kleinsten und dem größten mittleren Abkommen betrug ca. 0,25 m, zwischen dem kürzesten und dem längsten Abkommen betrug ca. 1,8 s.

Von diesen Abkommensereignissen sind 57 % unproblematisch, da sich das Auto weiterhin auf einem befestigten Stück der Straße aufhält (Abkommensweiten $\leq 0,25$ m). Bedenkt man, dass ein durchschnittlicher Reifen eines Kompaktwagens ca. 20 cm breit ist, so sind erst Abkommen über 0,45 m potenziell gefährlich. Das sind hier 17 % aller Abkommensereignisse. Legt man alle Eingriffe zugrunde, kommt das Fahrzeug in 5 % der Fälle weiter als 0,45 m, von der Fahrspur ab. Dieser Prozentsatz kann durch eine optimale Einstellung des Rucks weiter verringert werden. Bei den Einstellungen 4_300 und 2_150 gibt es insgesamt sehr wenige Abkommen, von denen ist eins bzw. keins über 0,45 m weit. Im Mittel sind bei ersterer Einstellung Abkommensweiten von 0,17 m zu erwarten, bei letzterer von 0,19 m. Die Weite und die Dauer des Abkommens bei verschiedenen Einstellungen des Rucks können, unter Einbeziehung weiterer Parameter, dazu dienen, eine optimale Einstellung zu identifizieren.

Bei der Interpretation der Daten hinsichtlich ihrer Angemessenheit (d. h. die Frage, ob die Untersuchungssituation in relevanten Aspekten mit der Natur übereinstimmt), muss beachtet werden, dass sich das Fahren im Simulator in gewissen Aspekten vom Fahren im Feld unterscheidet. Ein relevanter Aspekt ist, dass im Simulator nicht spürbar ist, wenn die Räder die befestigte Strecke verlassen und dies auch visuell schwierig zu erkennen ist. Dadurch könnten die Abkommensweite und die -dauer überschätzt werden.

Insgesamt kann aus der Untersuchung geschlussfolgert werden, dass ReflektAS ein sehr gutes Potenzial zur Verhinderung von Spurabweichungen aufweist. Bei einer optimierten Einstellung des Rucks finden nur sehr wenige Abkommen statt, diese sind hinsichtlich ihrer Weite und Dauer als meist unkritisch zu betrachten. In weiteren Detailuntersuchungen sollte der Ruck, ausgehend von den hier gefundenen guten Einstellungen, weiter optimiert werden; so dass noch mehr Abkommen verhindert bzw. vor allem die Abkommensweiten weiter verringert werden.

Danksagung

Das Projekt entstand im Rahmen einer Kooperation zwischen dem Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt e. V. und der Technischen Universität Braunschweig. Wir danken Marco Hannibal, Mark Schröder und Markus Stöbe für die hervorragende technische Unterstützung.

Literatur

- Illert, M. & Kuhtz-Buschbeck, J. P. (2006). Motorisches System. In R. F. Schmidt & H.-G. Schaible (Hrsg.), *Neuro- und Sinnesphysiologie* (S. 94-130). Heidelberg: Springer Medizin Verlag.
- Konczak, J. (2008). Motorische Kontrolle. In J. Müsseler (Hrsg.), *Allgemeine Psychologie* (S. 738-764). Heidelberg: Spektrum Akademischer Verlag.
- Kozak, K., Pohl, J., Birk, W., Greenberg, J., Artz, B., Blommer, M. et al. (2006). Evaluation of lane departure warnings for drowsy drivers. In *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society 50th annual meeting* (S. 2400-2404): Human Factors & Ergonomics Society.
- Kullack, A., Ehrenpfordt, I., Lemmer, K. & Eggert, F. (2008). ReflektAS: lane departure prevention system based on behavioural control. *IET Intelligent Transport Systems*, 2(4), 285-293.
- Rasmussen, J. (1983). Skills, rules, knowledge; signals, signs and symbols, and other distinctions in human performance models. *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics*, SMC-13(3), 257-266.
- Sato, K., Goto, T., Kubota, Y., Amano, Y. & Fukui, K. (1998). A study on a Lane Departure Warning System using a steering torque as a warning signal, *9th International Symposium on Advanced Vehicle Control (AVEC)* (S. 479-484). Kobe.