

Der Mensch als Modell – „Was erwarten Sie von Ihrem Nächsten?“

Elke Muhrer und Mark Vollrath

Schlüsselwörter: Auffahrunfälle, Ablenkung, Antizipation, Situation Awareness, Fahrermodellierung

Zusammenfassung

Ziel des Projektes EU-Projekts ISi-PADAS ist es, über eine kognitive Fahrermodellierung menschliche Informationsverarbeitungsprozesse bei der Entwicklung neuer Assistenzsysteme zu berücksichtigen. Damit soll erreicht werden, dass die Systeme gezielt eingreifen können, wenn der Fahrer nicht adäquat reagiert. Zusätzlich sollen Fehlbedienungen möglichst frühzeitig erkannt werden. Die Modellierung basiert auf empirischen Untersuchungen. In der hier vorgestellten Untersuchung sollen Fehler bei Auffahrunfällen identifiziert werden. Eine eigene Unfallanalyse wies darauf hin, dass eine Erwartung der Fahrer, dass die Situation ungefährlich ist, eine wesentliche Rolle spielt. Um dies zu prüfen, wurden in einem Simulatorexperiment unterschiedliche Erwartungen hergestellt, indem ein Vorderfahrzeug unterschiedlich häufig und stark bremste. Zusätzlich wurde die Auswirkung visueller oder kognitiver Zusatzaufgaben untersucht. Die ersten Ergebnisse unterstützen und erweitern das Modell. Die Anpassung des Fahrerverhaltens ist gut durch unterschiedliche Erwartungen zu erklären. Ablenkung verstärkt die Effekte, wobei sich die verschiedenen Arten der Ablenkung nicht unterscheiden.

Abstract

The EU-project ISi-PADAS aims to integrate driver models into the development process of partially autonomous driver assistance systems (PADAS). Driver modeling is used to predict whether the driver is likely to not react adequately to the driving situation and the PADAS should intervene. The driver model should also predict possible misuses and errors early in the development process. These driver models are based on empirical investigations. An analysis of rear-end accidents showed that often drivers did not expect that something would happen. A driving simulator study was conducted to examine the role of expectancies. The behavior of the preceding car was varied with regard to different braking manoeuvres. Additionally, two types of secondary tasks were introduced. The analysis of the driver behavior confirmed the hypotheses. It can be explained well with different expectations. Secondary tasks increase the effects but the different types of tasks do not lead to different effects.

Einleitung

Ziel des EU-Projekts ISi-PADAS (Integrated Human Modelling and Simulation to support Human Error Risk Analysis of Partially Autonomous Driver Assistance Systems) ist es, über eine Fahrermodellierung die Entwicklung von teilweise autonom eingreifenden Fahrerassistenzsystemen zu unterstützen. Die Fahrermodellierung verfolgt zwei Ziele: Im ersten Schritt werden Fehler des Fahrers bei Fahrten ohne Assistenzsystem modelliert, um mit PADAS gezielt einzugreifen, wenn in einer konkreten Fahrsituation die Wahrscheinlichkeit für einen Fahrerfehler sehr hoch ist. Im zweiten Schritt wird der Umgang der Fahrer mit PADAS und die Auswirkungen auf das Fahrerverhalten modelliert, um so mögliche Probleme frühzeitig erkennen und berücksichtigen zu können. Für die erste Fahrermodellierung werden empirische Untersuchungen zu Fahrfehlern bei Auffahrunfällen durchgeführt.

Um Hinweise auf die Ursachen dieser Unfälle zu erhalten, wurde eine In-Depth Unfallanalyse (Vollrath, Briest & Drewes, 2006) hinsichtlich der Auffahrunfälle re-analysiert (Muhrer &

Vollrath, 2009). Basis dieser Analyse waren 4256 Unfälle aus Braunschweig (2002), die repräsentativ mit Hilfe einer deutschlandweiten Stichprobe (185004 Unfälle) gewichtet wurden. Von diesen Unfällen fanden 36% im Längsverkehr statt, wovon 73% Auffahrunfälle waren. Bei der Analyse des Unfallhergangs bezüglich menschlicher Fehler zeigte sich, dass Entscheidungsfehler die häufigste Ursache des Unfalls waren. In 86% der Fälle hatten die Fahrer einen so geringen Abstand zum Vorderfahrzeug gewählt, dass sie bei einem plötzlichen Bremsmanöver des Vorderfahrzeugs nicht mehr rechtzeitig reagieren konnten. Bei einem Teil der Fälle spielt auch Ablenkung eine Rolle. Bei den Unfallumständen zeigte sich, dass diese eher in scheinbar ungefährlichen Situationen geschehen. Es lässt sich vermuten, dass die Erwartung der Fahrer, dass in der Situation keine schnellen Reaktionen notwendig sein werden, eine wesentliche Rolle bei der Fehlentscheidung spielt, zu dicht aufzufahren bzw. sich nicht auf das Vorderfahrzeug zu konzentrieren.

Theoretisch kann diese Überlegung in das Konzept des Situationsbewusstseins eingeordnet werden, das Endsley (1995) als „...the perception of elements in the environment within a volume of time and space, the comprehension of their meaning, and the projection of their status in the near future...“ beschreibt. Bei Auffahrunfällen scheint insbesondere die dritte Komponente relevant zu sein. Der Fahrer nimmt an, dass in der nahen Zukunft nichts passieren wird. Interessant ist nun, warum diese fehlerhafte Erwartung entsteht. Hier kann das SEEV-Modell von Wickens & McCarley (2007) herangezogen werden. In diesem Modell geht es um die Frage, wie Menschen ihre Aufmerksamkeit auf verschiedene, möglicherweise handlungsrelevante Reize verteilen. Die Autoren gehen davon aus, dass die Änderungshäufigkeit eine wesentliche Rolle spielt. Vereinfacht dargestellt wird angenommen, dass je häufiger eine Änderung eines Reizes erwartet wird, desto häufiger wird die Aufmerksamkeit auf diesen Reiz gerichtet. Bezogen auf die Auffahrunfälle finden in einer Umwelt mit guter Sicht, wenig Verkehr und freier Strecke nur wenige Ereignisse statt, auf die reagiert werden muss. Dies gilt auch für ein Vorderfahrzeug, das mit konstanter Geschwindigkeit fährt. Von dem SEEV Modell her wird dann die Aufmerksamkeit entsprechend selten auf dieses Fahrzeug gerichtet und auch nicht fahrrelevante Reize können beachtet werden. Diese Erwartung von seltenen Änderungen könnte auch dazu führen, dass ein geringerer Abstand gewählt wird.

Um diese Überlegungen zu prüfen, wurde eine Untersuchung in einem statischen Fahrsimulator durchgeführt, bei dem das Verhalten des Vorderfahrzeugs variiert wurde. In einem ersten Streckenabschnitt verzögerte dieses Fahrzeug unterschiedlich stark und häufig. In einem zweiten Streckenabschnitt wurde untersucht, wie sich dies auf das Fahrerverhalten auswirkt. In einer zweiten Fahrt wurde zusätzlich entweder eine visuell-motorische Suchaufgabe oder eine sprachliche Rechenaufgabe durchgeführt. Es wurde vermutet, dass insbesondere die sprachlich-kognitive Aufgabe die Bildung von Erwartungen beeinträchtigt. Zusätzlich könnte die Zuwendung zu der Nebenaufgabe ein Maß für die Erwartung einer Änderung der zeitnahen Fahrsituation des Fahrers sein.

Methode

An der Untersuchung nahmen 28 Personen ($m = 14$, $w = 14$) zwischen 19 und 37 Jahren ($M = 23,8$; $SD = 4,5$) teil. Nach einer Trainingsfahrt führte jeder Proband je eine Fahrt mit und ohne Nebenaufgabe durch, wobei die Reihenfolge variiert wurde (Cross-over Design). In zwei unterschiedlichen Gruppen wurde entweder eine visuell-motorische oder eine sprachlich-kognitive Aufgabe durchgeführt. Als visuell-motorische Aufgabe wurde eine Suchaufgabe (Surrogate Reference Task; Mattes, 2003) verwendet. Bei der sprachlich-kognitiven Aufgabe wurde in 3er-Schritten rückwärts gezählt. Jede Fahrt bestand aus einer Folgefahrt im Stadtbereich mit mehreren Kreuzungsannäherungen, wobei immer wieder ein Vorderfahrzeug auftauchte, das in einem ersten Streckenabschnitt (400m) ein jeweils unterschiedliches Fahrverhalten zeigte, in einem zweiten Streckenabschnitt (370m) mit konstanter Geschwindigkeit fuhr

und dann in einem dritten Streckenabschnitt (30m) abbog. Im ersten Streckenabschnitt wurden vier Verhaltensweisen realisiert: BV0 kein Bremsen, BV1 1-maliges starkes Bremsen, BV2 2-maliges starkes Bremsen, und BV4 4-maliges sanftes Bremsen. Um realitätsnahe Bremsmanöver zu erreichen, wurden diese unterschiedlich stark ausgeführt. Jede dieser Stufen wurde bei jeweils sechs Vorderfahrzeugen dargeboten, wobei die Reihenfolge zufällig gewählt wurde. Der Versuch dauerte insgesamt ungefähr 2.5 Stunden.

Das Fahrerverhalten wurde im zweiten Streckenabschnitt (370 m) untersucht. Hier wurde Fahrerverhalten, Fahrzeugreaktionen und das Blickverhalten der Fahrer erfasst. Im Folgenden werden erste Ergebnisse zum Fahrerverhalten präsentiert. Für die Auswertung wurden Varianzanalysen mit Messwiederholung durchgeführt.

Ergebnisse

Fahrer haben in dieser Fahrsituation zwei Möglichkeiten, sich auf zu erwartende Veränderungen einzustellen. Sie können ihre Geschwindigkeit oder ihren Abstand verändern. Entsprechend konzentriert sich die folgende Darstellung auf diese beiden Aspekte.

Bei der Geschwindigkeit zeigte sich ein signifikanter Haupteffekt ($F_{3,78} = 5.2$; $p = .002$) des Bremsverhaltens (Abb. 1, links). Wenn das Vorderfahrzeug im ersten Abschnitt bremste, wird im zweiten Abschnitt ein wenig langsamer gefahren. Dieser Effekt ist am stärksten für das zweimalige Bremsen und lässt beim viermaligen Bremsen etwas nach. Zusätzlich ergab sich ein Haupteffekt der Nebenaufgabe ($F_{1,81} = 9.0$; $p = .006$). Mit Nebenaufgabe wird etwas schneller gefahren als ohne. Dies ist allerdings unabhängig davon, ob es sich um die visuell-motorische oder die sprachlich-kognitive Aufgabe handelt.

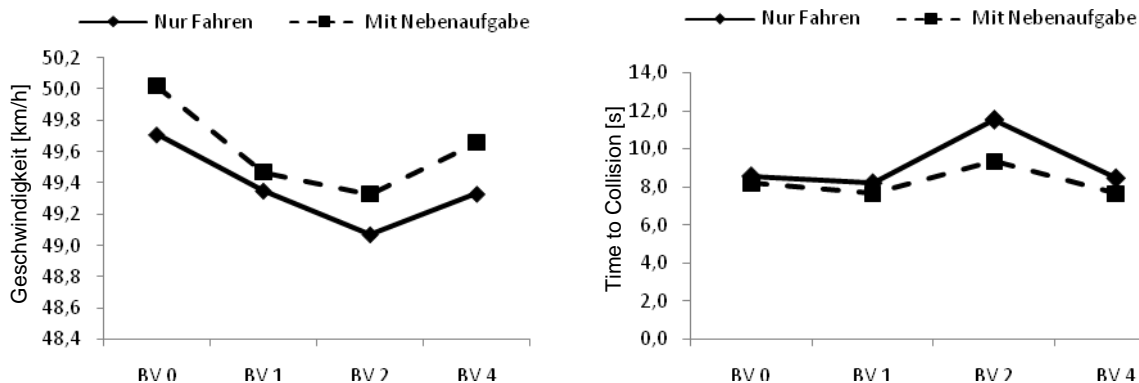


Abb. 1: Mittlere Geschwindigkeit (km/h) und minimale TTC (s) in Abhängigkeit des Bremsverhaltens und der Ablenkung

Beim Abstandsverhalten ergaben sich wider Erwarten im mittleren Sekundenabstand (Time Headway, THW) keine Effekte. Die Fahrer passen ihre mittlere THW nicht an das unterschiedliche Bremsverhalten an und verändern es auch bei Bearbeitung von Nebenaufgaben nicht. Ein deutlicher Effekt des Bremsverhaltens zeigte sich dagegen bei der minimalen Time to Collision (TTC; $F_{3,78} = 13.9$; $p = .000$). Wie Abb. 1 rechts zeigt, ist nach dem 2-maligen Bremsen die minimale TTC am größten. Zusätzlich ergibt sich ein Haupteffekt der Nebenaufgabe ($F_{1,81} = 5.3$; $p = .028$), wobei wiederum die Art der Nebenaufgabe keinen Effekt zeigte. Mit Nebenaufgabe werden kleinere TTC erreicht. Schließlich zeigte sich auch eine Wechselwirkung ($F_{3,81} = 2.9$; $p = .039$). Nach 2-maligem Bremsen finden sich ohne Nebenaufgabe längere TTC als mit Nebenaufgabe.

Diskussion und Ausblick

Fahrer passen ihr Verhalten (mittlere Geschwindigkeit und minimale TTC) an, wenn die Vorderfahrzeuge ein unterschiedliches Verhalten zeigen. Die Ergebnisse sind teilweise im Einklang mit den Vorhersagen des SEEV-Modells, da sich nach 2-maligem Bremsen stärkere Anpassungen zeigen als nach einmaligem Bremsen. Allerdings sind die Effekte bei 4-maligem (schwächeren) Bremsen geringer. Neben der Änderungshäufigkeit muss demnach auch die Stärke bzw. Handlungsrelevanz der Änderung berücksichtigt werden. Wider Erwarten finden sich die Effekte nicht im mittleren Sekundenabstand, der aussagt, wie viel Zeit sich der Fahrer im Hinblick auf den Voranfahrenden nimmt. Allerdings waren die Sekundenabstände insgesamt relativ groß. Möglicherweise erschien den Fahrern bei diesem großen Abstand eine weitere Anpassung nicht notwendig. Andererseits zeigte sich in der minimalen TTC nach dem häufigeren Bremsen, dass die Zeit bis zu einer möglichen Kollision verlängert wurde, was durch eine größere Aufmerksamkeitszuwendung erklärt werden könnte.

Der Effekt der Nebenaufgaben ist hinsichtlich der mittleren Geschwindigkeit unerwartet. Häufig fahren Probanden langsamer, wenn sie gleichzeitig Nebenaufgaben bearbeiten. Allerdings werden diese Effekte meist auf einfachen Strecken untersucht, wo eine Geschwindigkeitsvariation besser möglich ist. Im Stadtbereich ist diese Möglichkeit dagegen begrenzt. Die Ablenkung durch die Nebenaufgaben könnte hier dazu geführt haben, dass nicht so vorsichtig und etwas schneller gefahren wird. Bei der minimalen TTC ist auch die Wechselwirkung interessant. Die Beschäftigung mit Nebenaufgaben scheint die Verhaltensanpassung zu stören, so dass die minimale TTC nicht so stark verlängert wird wie bei der Fahrt ohne Nebenaufgaben. Da sich kein Unterschied zwischen den beiden Arten von Nebenaufgaben ergibt, scheinen sowohl visuelle Ablenkung als auch kognitive Involviertheit störend zu wirken.

Insgesamt zeigt die Studie die Bedeutung von Erwartungen beim Fahrverhalten, wobei es sich um einen dynamischen Prozess handelt. Im Laufe einer Fahrt wird je nach Verhalten des Vorderfahrzeugs sehr schnell (ca. 30 Sekunden) eine Erwartung gebildet, die das eigene Verhalten beim Folgen dieses Fahrzeugs beeinflusst. Im Hinblick auf die Verkehrssicherheit ist interessant, ob sich dies auch in kritischen Situationen auswirkt, zum Beispiel wenn das Vorderfahrzeug plötzlich bremst. Dies war im vorliegenden Versuch in dem dritten Streckenabschnitt, bei dem das Vorderfahrzeug abbiegt, ebenfalls realisiert worden, so dass diese Frage in weiteren Auswertungen untersucht wird. Die Ergebnisse bilden die Basis für eine entsprechende Fahrermodellierung, die für die Gestaltung eines teilweise autonom eingreifenden PADAS genutzt wird.

Literatur

- Endsley, Mica R. (1995). Toward a theory of situation awareness in dynamic systems. *Human Factors*, 37 (1), 32-6.
- Mattes, S. (2003). *The lane-change-task as a tool for driver distraction evaluation*. Paper presented at the Annual Spring Conference of the GfA/17th Annual Conference of International-Society-for-Occupational-Ergonomics-and-Safety (ISOES).
- Muhrer E. & Vollrath M. (2009). Re-analysis of in-depth accident studies to generate hypotheses about causes of driver errors. Final report, ISi-PADAS.
- Vollrath, M., Briest, S. & Drewes, J. (2006). Ableitung von Anforderungen an ein Fahrerassistenzsystem aus Sicht der Verkehrssicherheit. Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, Fahrzeugtechnik, Heft F 60. Bremerhaven: Wirtschaftsverlag NW.
- Wickens, C. D., & McCarley, J. M. (2007). *Applied attention theory*. Boca Raton, FL: CRC Press..