

Detektion von Fahrermüdigkeit anhand des Lenkwinkelsignals

Thomas Schramm, Klaus Fuchs, Nikolas Wagner und Ralph Bruder

Schlüsselwörter: Müdigkeit, Monotonie, Karolinska Sleepiness Scale, Steering Wheel Reversal Rate, Häufigkeit großer Lenkbewegungen

Zusammenfassung

Müdigkeit von Autofahrern schlägt sich häufig im Lenkverhalten nieder (Siegmund et al., 1996; Thiffault & Bergeron, 2003). Werden während der Fahrt bestimmte Veränderungen darin festgestellt, kann auf einen ermüdeten Fahrer geschlossen werden. Um Kennwerte zur Detektion von Müdigkeit zu ermitteln, wurde eine Realfahrtstudie durchgeführt.

In diesem Artikel werden Methodik und Ergebnisse von Testfahrten mit 46 Probanden beschrieben. Es wurden dreistündige Testfahrten in einer monotonen Umgebung durchgeführt. Dabei wurden Informationen über die Probanden durch Fragebögen sowie während der Fahrt Video- und Fahrzeugdaten erfasst. Die Probanden bewerteten ihre Müdigkeit anhand der Karolinska Sleepiness Scale (KSS, Åkerstedt, 1990). Es zeigt sich ein deutlicher Anstieg der Müdigkeit im Verlauf der Testfahrten. Zwei Kennwerte basierend auf dem Lenkradwinkel werden vorgestellt. Neben der häufiger verwendeten Steering Wheel Reversal Rate wurde die Häufigkeit großer Lenkbewegungen berechnet. Die Ergebnisse zeigen einen signifikanten Anstieg in der Häufigkeit großer Lenkbewegungen für sehr müde Fahrer.

Abstract

Driver sleepiness has an influence on the steering behavior (Siegmund et al., 1996; Thiffault & Bergeron, 2003). When a certain change therein is detected during the drive, it can be assumed that the driver is sleepy. In order to determine characteristics for sleepiness detection, a test track study was conducted.

This paper describes methods and results of test drives with 46 participants. Test persons performed trials of a duration of 3 hours in a monotonous environment. Questionnaires, videos and vehicle data were collected. The self-rated sleepiness on basis of the Karolinska Sleepiness Scale (KSS, Åkerstedt, 1990) shows a considerable increase in the course of the test drives. Based on the steering wheel angle signal, two characteristics are presented in order to determine the driver's sleepiness level. Besides the frequently analyzed Steering Wheel Reversal Rate, the quantity of big steering wheel movements is computed. Results show a significant increase of the frequency of big steering wheel movements for very sleepy drivers.

Einleitung und Untersuchungsziel

Ein beträchtlicher Anteil an Unfällen ereignet sich durch Fahrzeugführer, die während des Autofahrens einschlafen (Horne & Reyner, 1995; Lyznicki et al., 1998). Die Ursache liegt häufig in einer monotonen Straßenführung, wie sie z.B. bei geraden Autobahnabschnitten anzutreffen ist (Horne & Reyner, 1995). Dadurch erhöht sich die Wahrscheinlichkeit eines Unfalls, der durch sehr müde oder eingeschlafene Fahrer verursacht wird. Zudem ist die Unfallschwere eines solchen Unfalles durch höhere Fahrgeschwindigkeiten gravierender (Pack et al., 1995).

Durch typische Merkmale von Autobahnen wie geringe Kurvigkeit und gute Übersichtlichkeit gestaltet sich die Fahraufgabe in weiten Bereichen einfach. Daher stellt sich die Frage, wieso ein wesentlicher Anteil an Fahrern in dieser Umgebung Unfälle verursacht, in der die Anforderungen verhältnismäßig gering sind. Kenny (1995) sieht eine zu niedrige Beanspruchung des Fahrers als eine Ursache für höhere Unfallzahlen auf solchen Streckenabschnitten.

Hacker (1989) spricht von Monotoniezuständen, die sich durch anhaltende Unterforderung einstellen. Förderlich für eine Unterforderung sind die Abwesenheit von Handlungsalternativen (Reitter, 2001) sowie ein geringes Reizniveau, wie z.B. Autobahnen mit vertrauter Umgebung (Nelson, 1997), geringer Kurvigkeit sowie einer geringen Verkehrsdichte und visueller Reize. Reitter (2001) stellt weiterhin fest, dass sich „der durch Monotonie induzierte Ermüdungszustand [...] physiologisch nicht von andersartig induzierter Müdigkeit unterscheidet.“

Da das Unfallrisiko auf monotonen Straßen vergleichsweise hoch ist, untersucht die vorliegende Studie Auswirkungen monotoniebedingter Müdigkeit auf das Fahrerverhalten. Müdigkeit wurde hierbei durch eine monotone, vorhersagbare Umgebung erzeugt. Die vorgestellte Studie zeigt, dass Probanden nach einer relativ kurzen Zeit durch das monotone Versuchsdesign ermüden. Um die Auswirkungen von Müdigkeit auf die Fahrerleistung zu messen, können Kennwerte anhand der Fahrzeugsignale berechnet werden. Lenkradwinkelbasierte Kennwerte sind zur Bestimmung des Fahrerzustandes geeignet, da sich vor allem das Lenkverhalten mit aufkommender Müdigkeit ändert (Siegmond et al., 1996; Thiffault & Bergeron, 2003). Der Fahrer korrigiert die Fahrzeugtrajektorie kontinuierlich, um das Fahrzeug im Fahrstreifen zu halten. Ein wacher Fahrer wird schnell und mit angemessenen Lenkbewegungen reagieren. Mit zunehmender Müdigkeit verändert sich das Lenkverhalten zugunsten größerer und später stattfindender Lenkradbewegungen auf Abweichungen von der Soll-Trajektorie (Thiffault & Bergeron, 2003). Ein verbreiteter Kennwert zur Detektion von Fahrermüdigkeit ist die Steering Wheel Reversal Rate, die auf McLean und Hoffman (1975) zurückgeht. Sie misst die Anzahl von Lenkradumkehrungen, indem lokale Extremwerte gesucht werden. Um als Lenkradumkehrung gezählt zu werden, muss ein lokales Extremum eine Mindestabweichung zum vorhergehenden Extremum (Gap Size) aufweisen.

Die Kenntnis des Müdigkeitsgrades eines Autofahrers kann für verschiedene Zwecke verwendet werden. Ein detektierter müder Fahrer kann über seinen Zustand informiert werden. Dies kann ihn dazu veranlassen, die Fahrt zu unterbrechen. Warnungen vor einem drohenden Auffahrunfall beispielsweise können zu einem früheren Zeitpunkt ausgegeben werden, um den Fahrer rechtzeitig aufzufordern, die Situation durch Bremsen oder Ausweichen zu entschärfen.

Methodik

Nach McBain (1970) gilt eine Situation als monoton, wenn deren Reize sich nicht bzw. nicht unvorhergesehen verändern. Bei der Auswahl des Versuchsgeländes wurde auf diese Bedingung Wert gelegt. Die Versuchsfahrten fanden auf dem universitätseigenen Testfeld statt, dem August-Euler-Flugplatz. Umgeben von Gras- und Waldflächen ist er als reizarm anzusehen. Die Fahraufgabe bestand darin, einen vorgegebenen Parcours 3 Stunden lang mit einer Geschwindigkeit von 50 km/h in einem für die Probanden gewöhnlichen Fahrstil zu befahren. Die Länge einer Runde des Parcours beträgt 1,9 km. Der untersuchte Teil der aufgezeichneten Daten besteht aus einem geraden Stück auf der Startbahn, das eine zeitliche Länge von 30 Sekunden pro Runde aufweist. Die Adam Opel GmbH stellte das Testfahrzeug, einen Opel Vectra 3.2 GTS. Es war mit zusätzlicher Sensorik ausgestattet. CAN-Daten wie Geschwindigkeit, Lenkradwinkel, Gaspedalstellung und Spurposition wurden aufgezeichnet und analysiert.

Um geschlechts- und altersabhängige Effekte zu untersuchen, wurden die Probanden in vier Gruppen eingeteilt: weibliche Probanden, Alter 20-40 Jahre (N=15; M=23,1; SD=3,5); männliche Probanden, Alter 20-40 Jahre (N=11; M=26,0; SD=3,3) sowie weibliche Probanden, Alter 50-70 Jahre (N=10; M=60,1; SD=5,3) und männliche Probanden, Alter 50-70 Jahre (N=10; M=58,1; SD=5,5). Den Testpersonen wurde vor der Versuchsfahrt die Karolinska Sleepiness Scale (KSS) erläutert. Sie reicht von 1 (sehr wach) bis 9 (extrem müde). In der Studie wurde eine deutsche Übersetzung der KSS von Niederl (2007) verwendet (Tab.1). Während der Testfahrt mussten die Probanden ihre Müdigkeit auf einem numerischen Tastenfeld anhand der

KSS bewerten. Fragebögen wurden vor und nach dem Versuch zur Abfrage von Müdigkeit und persönlichen Daten wie Fahrweise, Schlafgewohnheiten und Koffeinkonsum eingesetzt.

Tab.1: Karolinska Sleepiness Scale (KSS) [1]

	Erläuterung
1	Sehr wach
2	
3	Wach
4	
5	Weder wach noch müde
6	
7	Müde, aber keine Probleme wach zu bleiben
8	
9	Sehr müde, große Probleme wach zu bleiben, mit dem Schlaf kämpfend

Ergebnisse

Müdigkeitsentwicklung

Die Probanden bewerteten ihre Müdigkeit an einer festgelegten Stelle in jeder Runde der Testfahrt. Bei einer durchschnittlichen Fahrzeit von 2:30 min pro Runde wurden rd. 70 Müdigkeitsbewertungen von jedem Probanden abgegeben. Abb.1 zeigt die Selbstbewertungen der Müdigkeit aller Probanden über der Fahrtdauer.

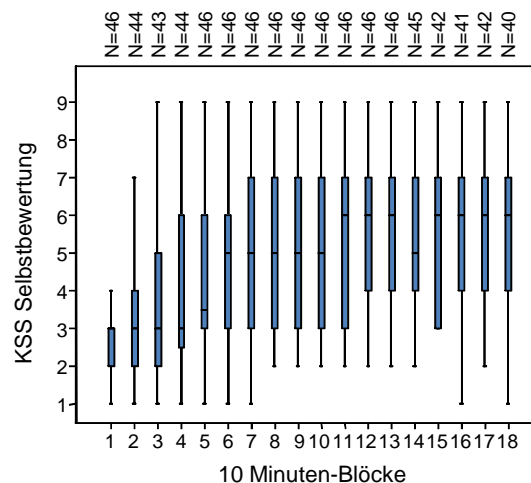


Abb.1: Median, oberes und unteres Quartil sowie Maximal- und Minimalwert der Selbstbewertung der Müdigkeit in Abhängigkeit der Fahrzeit

Der Median der Selbstbewertungen aller Probanden liegt zu Beginn der Versuchsfahrten bei 3 auf der KSS Skala. Innerhalb einer Stunde Fahrtdauer steigt der Median auf den KSS-Wert 5. Ab diesem Zeitpunkt bewerten sich 50% aller Probanden zwischen KSS-Werten 3 und 7. Aus Sicherheitsgründen mussten einige Versuchsfahrten beendet werden, bevor die angesetzte Versuchsdauer von 3 Stunden erreicht wurde. Die tatsächliche Anzahl an Probanden, die Müdigkeitsbewertungen innerhalb eines 10 Minuten-Blockes abgegeben hat, ist in Abb.1 dargestellt.

Maximales Müdigkeitsniveau zum Führen eines Fahrzeuges

Vor der Versuchsfahrt wurde in einem Fragebogen gefragt, bis zu welcher Müdigkeitseinstufung die Probanden bereit sind, ein Fahrzeug zu führen. Abb.12 zeigt die Ergebnisse.

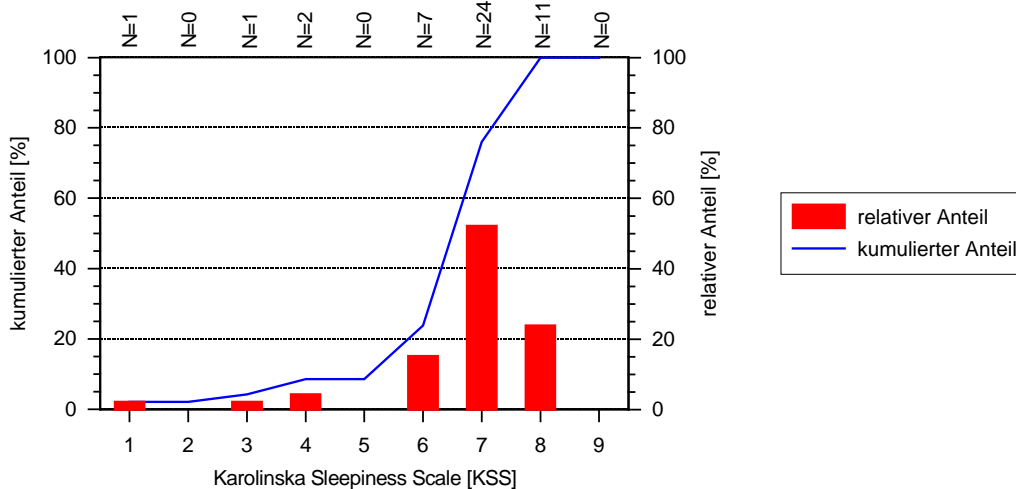


Abb.2: „Bis zu welchem KSS-Wert sind Sie bereit, ein Fahrzeug zu führen?“. Verteilung der Antworten der Probanden

52,2% der Probanden geben an, genau bis zur KSS-Stufe 7 (Wortlaut: „müde, aber keine Probleme wach zu bleiben“) fahren zu wollen. Weniger als ein Viertel der Probanden ist bereit, auch bei höherer Müdigkeit ein Fahrzeug zu führen. Nach CAMP (2000) ist es ein gebräuchlicher Ansatz, das 85. Perzentil einer Verteilung als Schwellwert zu betrachten. Die nächstniedrige KSS-Stufe ausgehend vom 85. Perzentil ist die Stufe 7. Für die Betrachtung der nachfolgenden Kennwerte bietet es sich daher an, zwei Cluster zu bilden. Das erste Cluster umfasst die KSS-Stufen bis zur nächstniedrigeren KSS-Stufe ausgehend vom 85. Perzentil (KSS-Werte 1 bis 7). Das zweite Cluster bündelt die KSS-Stufen 8 und 9, stellvertretend für Müdigkeitsniveaus, die über das 85. Perzentil hinausgehen.

Steering Wheel Reversal Rate (SWRR)

Die SWRR wurde für jede Runde aller Probanden für einen 30 Sekunden langen Abschnitt auf der Startbahn berechnet. Sie misst die Anzahl von Lenkradumkehrungen, indem lokale Extremwerte des Lenkwinkelsignals gesucht werden. Um als Lenkradumkehrung gezählt zu werden, muss ein lokales Extremum eine Mindestabweichung zum vorhergehenden Extremum (Gap Size) aufweisen. Mittels einer Parametervariation wurde diejenige Gap Size ermittelt, die den signifikantesten Unterschied der Mittelwerte zwischen müden und wachen Fahrern aufweist. Sie beträgt $5,4^\circ$. Mit zunehmender Müdigkeit ist eine Erhöhung der SWRR festzustellen. Abb.1 stellt den Verlauf der SWRR über der selbstbewerteten Müdigkeit dar. Die Mittelwerte der SWRR jedes Probanden des zweiten Clusters bezogen auf die des ersten Clusters sind im Mittel 20,2% höher. Dieses Ergebnis erringt keine Signifikanz ($t = -0,976$; $df = 57$; $p = 0,333$).

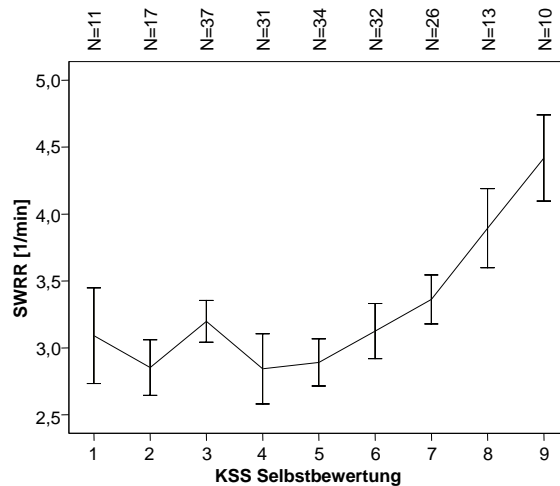


Abb.3: Mittelwert und Standardfehler der SWRR in Abhängigkeit der selbstbewerteten Müdigkeit

Häufigkeit großer Lenkbewegungen

Thiffault & Bergeron (2003) konnten feststellen, dass die Frequenz großer Lenkbewegungen mit zunehmender Müdigkeit steigt. In der vorliegenden Studie wird die Häufigkeit großer Lenkbewegungen innerhalb der 30-Sekunden-Abschnitte berechnet. Hierbei zählt der absolute Lenkradwinkel und nicht die Differenz zwischen zwei benachbarten lokalen Extrema, wie es bei der SWRR der Fall ist. Durch eine Parametervariation lässt sich derjenige Winkel bestimmen, bei dem die signifikantesten Unterschiede zwischen müden und wachen Fahrern auftreten. Dies ist der Fall bei einem Lenkradwinkel von 3°. Abbildung Abb.4 zeigt den Verlauf des Kennwertes über der von den Probanden angegebenen Müdigkeitseinstufung. Erkennbar ist ein deutlicher Anstieg für die KSS-Stufen 8 und 9. Vergleicht man die Mittelwerte der Häufigkeit großer Lenkbewegungen eines jeden Probanden des ersten Clusters (KSS 1-7) mit denen des zweiten Clusters (KSS 8, 9), so ergeben sich signifikante Unterschiede ($t = -2,371$; $df = 57$; $p=0,021$). Der Anstieg des Kennwertes von Cluster 2 bezogen auf Cluster 1 beträgt 53,2%.

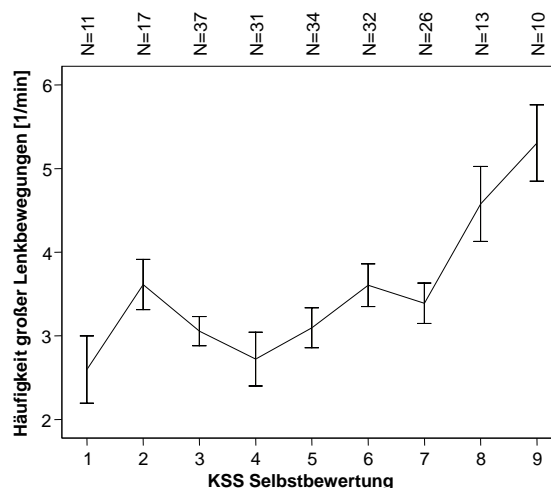


Abb.4: Mittelwert und Standardfehler der Häufigkeit großer Lenkbewegungen in Abhängigkeit der selbstbewerteten Müdigkeit

Fazit und Ausblick

Die vorliegende Studie zeigt, dass Fahrer in einer monotonen Umgebung ermüden. Es wurden aus der Messgröße Lenkradwinkel berechnete Kennwerte vorgestellt, die Aussagen über den Müdigkeitsgrad der Fahrer zulassen. Der Kennwert „Häufigkeit großer Lenkbewegungen“ reagiert stärker auf Müdigkeit als die Steering Wheel Reversal Rate.

Weitere Studien sind notwendig, um zu untersuchen, inwiefern sich die Ergebnisse auf den Charakter öffentlicher Straßen sowie auf andere Geschwindigkeitsbereiche übertragen lassen. Es wird erwartet, dass sich die Erkennungsgüte müder Fahrer sowohl durch die Kombination von Kennwerten als auch durch die Bildung einer fahrerindividuellen Baseline erhöht.

Literatur

- Åkerstedt, T. & Gillberg M. (1990). Subjective and Objective Sleepiness in the Active Individual. *International Journal of Neuroscience*, 1&2 (52), 29-37.
- CAMP (Collision Avoidance Metrics Partnership, 2000). *Proposed driver workload metrics and methods project*. Verfügbar unter: <http://www-nrd.nhtsa.dot.gov/departments/Human%20Factors/driver-distraction/PDF/32.PDF> [28. Juli 2009].
- Hacker, W. (1989). Monotonie. In S. Greif, H. Holling & N. Nicholson (Hrsg.), *Arbeits- und Organisationspsychologie* (S. 329-332). München: Psychologie Verlags Union.
- Horne, J.A. & Reyner, L.A. (1995). Sleep related vehicle accidents. *British Medicine Journal*, 310 (6979), 565-567.
- Kenny, P.J. (1995). The interaction between driver impairment and road design in the causation of road crashes- three case studies. In L. Hartley (Hrsg.), *Driver impairment, driver fatigue and driving simulation* (S. 87-94). London: Taylor & Francis.
- Lyznicki, J.M., Doege, T.C., Davis, R.M. & Williams, M.A. (1998). Sleepiness, driving and motor vehicle crashes. *Journal of the American Medical Association*, 279 (23), 1908-1913.
- McBain, W. (1970). Arousal, monotony and accidents in line with driving. *Journal of Applied Psychology* (54), 509-519.
- McLean, J.R. & Hoffman, E.R. (1975). Steering reversals as a measure of driver performance and steering task difficulty. *Human Factors* (17), 248-256.
- Nelson, T.M. (1997). Fatigue, mindset and ecology in the hazard dominant environment. *Accident Analysis and Prevention* (29), 409-415.
- Niederl, T. (2007). Untersuchungen zu kumulativen psychischen und physiologischen Effekten des fliegenden Personals auf der Kurzstrecke, Dissertation Universität Kassel, *DLR-Forschungsbericht* 2007-17.
- Pack, A.I, Pack, A.M., Rodgman, E., Cucchiara, A., Dinges, D.F., & Schwab, C.W. (1995). Characteristics of crashes attributed to the driver having fallen asleep. *Accident Analysis and Prevention* (27), 769-775.
- Reitter, C. (2001). Beanspruchung des Autofahrers durch Monotonie, Dissertation Technische Universität Berlin.
- Siegmund, G.P., King, D.J. & Mumford, D.K. (1996). Correlation of steering behaviour with heavy-truck driver fatigue." *SAE Special Publications*, 1190, 17-38.
- Thiffault, P. & Bergeron, J. (2003). Monotony of road environment and driver fatigue: a simulator study. *Accident Analysis and Prevention*, 3, (35), 381-391.