

DIE EFFEKTE EINES LICHTWARNSYSTEMS AUF DIE REAKTIONSFÄHIGKEIT DER FAHRER AUF PLÖTZLICHE EREIGNISSE UNTER DEM BESONDEREN EINFLUSS DES FAHRERZUSTANDS MÜDIGKEIT

Dipl.-Psych. Klaus Reinprecht, Dr. Elke Muhrer & Prof. Dr. Mark Vollrath

Technische Universität Braunschweig,
Lehrstuhl für Ingenieur- und Verkehrspsychologie
38106 Braunschweig, Gaußstraße 23
Tel: 0531-391-3655, Fax: 0531-391-8181
E-Mail: k.reinprecht@tu-braunschweig.de

1. EINLEITUNG

Ca. 15 % – 20 % aller Unfälle sind durch Müdigkeit verursacht (Åkerstedt, 2000; Horne & Reyner, 1999). Bezieht man jene Unfälle mit ein, bei denen Müdigkeit zur Unfallentstehung beigetragen hat (falsche Reaktion, Übersehen von anderen Verkehrsteilnehmern, usw.), so erhöht sich die Zahl auf ca. 40 %. Ein großer Teil der Müdigkeitsunfälle sind Alleinunfälle ohne Beteiligung anderer Verkehrsteilnehmer. Typisch ist für diese Unfälle, dass keine Reaktion (z.B. Bremsung) des Fahrers nachgewiesen werden kann, oder dass das Fahrzeug ohne ersichtlichen Grund (z.B. Schleuderspuren) von der Fahrbahn abgekommen ist. Noch weitgehend ungeklärt ist, welche Rolle Müdigkeit bei anderen Arten von Unfällen mit Kollisionen mit anderen Verkehrsteilnehmern spielt. Da Müdigkeit zu Einbußen in den kognitiven sowie auch motorischen Fähigkeiten (Barbé et al., 1998; Harwood, Barnett & Wickens, 1998; Kotterba et al., 1998) führen kann, könnte dies auch eine verschlechterte Reaktionsfähigkeit im Straßenverkehr zur Folge haben. Hierbei werden vor allem Fähigkeiten wie z.B. die Vigilanz beeinflusst, die als Voraussetzung gilt, um auf sich verändernde Reize in der Verkehrssituation zu reagieren. Untersuchungen mit Patienten die an einem obstruktiven Schlafapnoesyndrom (OSA) leiden haben gezeigt, dass sich das Unfallrisiko um das 7-fache erhöht (Findley et al., 1995). Des Weiteren fanden die Autoren, dass die Anzahl an Zusammenstößen mit Hindernissen auf der Fahrbahn bei Patienten mit OSA signifikant höher ist als eine Vergleichsgruppe ohne OSA. Die Autoren erklären dies mit einer verringerten Vigilanz der Patienten, die mit einer erhöhten Müdigkeit einher geht. Diese Befunde könnten darauf hinweisen, dass Personen mit einem OSA nicht in der Lage sind, rechtzeitig und/oder richtig auf ein kritisches Ereignis zu reagieren.

Einige wenige Studien zeigen, dass auch bei gesunden Fahrern die Reaktionsfähigkeit durch Müdigkeit negativ beeinflusst sein kann (z.B.: Schmidt, 2010).

Zusätzlich zeigt sich, dass Müdigkeitsunfälle durch schlechte Lichtbedingungen (Dämmerung und Dunkelheit) schwerer enden als jene bei guten Lichtverhältnissen (Philip, 2001).

Dabei stellt sich die Frage, ob Fahrer Informationen durch den Einfluss von Müdigkeit unter ungünstigen Lichtverhältnissen später wahrnehmen, oder ob eine verlangsamte Handlungsplanung oder -ausführung für schlechtere Reaktionen verantwortlich ist?

Um diese Überlegungen zu prüfen, wurde am Lehrstuhl für Ingenieur- und Verkehrspsychologie der TU Braunschweig eine Untersuchung im Fahrsimulator durchgeführt. Hierbei wurden die Reaktionsfähigkeit auf ein kritisches Ereignis sowie die Blickzuwendung zu diesem Ereignis untersucht. Weiter wurde untersucht, inwieweit die Reaktion durch lichtbasierte Assistenz unterstützt werden kann. Dabei war vor allem interessant zu prüfen, ob und wie Fahrer in unterschiedlichen Müdigkeitsstadien von der Warnung profitieren.

2. METHODE

2.1 *Fahrsimulator*

Die Untersuchung fand im Fahrsimulator des Lehrstuhls für Ingenieur- und Verkehrspsychologie der Technischen Universität Braunschweig statt. Hierbei handelt es sich um einen statischen Fahrsimulator (Abbildung 1), der aus zwei Frontsitzen, einem Lenkrad, Pedalerie und Ganghebel besteht. Für die Darstellung von Tachometer und Drehzahl werden zwei TFT-Bildschirme verwendet, ebenso für den Rückspiegel und die beiden Außenspiegel. Die Visualisierung der Fahrtstrecke erfolgt über drei Leinwände mit insgesamt ca. 12 m² Visualisierungsfläche. Dadurch wird ein Sichtfeld des Fahrers von etwa 180 Grad ermöglicht.



Abbildung 1: Statischer Fahrsimulator (links) und die simulierte Nachtfahrt aus der Perspektive des Fahrers (rechts).

Für die Simulation der Strecke wurde die Software SILAB 2.5 des Würzburger Institutes für Verkehrswissenschaften verwendet. Mit dieser Software ist es möglich, eine Vielzahl von Verkehrsszenarien zu realisieren. Neben unterschiedlichem Verhalten aller Verkehrsteilnehmer, verschiedenen Straßentypen und Wetterbedingungen ist es auch möglich, Fahrten mit unterschiedlichen Lichtbedingungen zu simulieren. Dies ermöglicht auch die Realisierung von Nachtfahrten. Das Aufzeichnungsintervall für die Fahrdaten beträgt 60 Hz.

2.2 Simulatorszenario

Für die Untersuchung wurde eine zweispurige Autobahn (Abbildung 1, rechts) mit einer Gesamtlänge von 240 km verwendet. Um eine monotone Fahrsituation zu schaffen, wurde die Geschwindigkeit auf der Autobahn auf 120 km/h begrenzt und es wurde auf weitere Fahrzeuge auf der eigenen sowie auf der Gegensepur verzichtet. Durch die Länge der Strecke und der Fahrgeschwindigkeit ergab sich eine Versuchsfahrtdauer von ca. 2 Stunden. Für eine realistische Darstellung der Nachtfahrt wurde der Raum gänzlich abgedunkelt und die Umgebungshelligkeit der Fahrsimulation auf das Minimum eingestellt (Abbildung 1, rechts).

2.3 Kritisches Ereignis

Das kritische Ereignis bestand darin, dass 1.3 km vor Ende der Versuchsfahrt ein Wildschein von der rechten Fahrbahnseite kommend die Fahrbahn querte. Die Vermeidung der Kollision mit dem Wildschwein war entweder durch eine frühzeitige starke Bremsung oder durch ein Ausweichmanöver möglich.

2.1 Blickerfassungssystem

Um die Aufmerksamkeitsverteilung der Fahrer zu untersuchen, wurde das Blickerfassungssystem Dikablis (Ergoneers, 2009) eingesetzt. Dies besteht aus einer Brille mit einer Augenkamera und einer Feldkamera. Die Augenkamera filmt das Auge und erkennt durch die angeschlossene Aufnahmesoftware die Pupille. Die Feldkamera filmt die Szenerie aus der Sicht des Probanden. Durch die Überlagerung des Augenvideos mit dem Feldvideo ist eine foveale Blickerfassung möglich, welche durch ein Fixationskreuz optisch angezeigt wird. Die Aufnahme­frequenz des Systems beträgt 25 Hz.

2.2 Warnsysteme

Ein Teil der Fahrer wurde durch ein lichtbasiertes Warnsystem unterstützt. Das Warnsystem war so ausgelegt, dass es bei einer TTC von 2.4 Sekunden aktiv wurde. Dieses lichtbasierte Warnsystem richtet einen blinkenden Lichtspot mit einer Frequenz von 8 Hz auf das querende Wildschwein. Das Wildschwein wurde so lange angeleuchtet bis der Fahrer an diesem vorbeigefahren war.

2.3 Müdigkeitserfassung

Um eine Aussage über den Einfluss von Müdigkeit auf die Reaktionsfähigkeit zu ermöglichen, wurde diese mittels einer Selbstbewertungsskala (Reinprecht, Muhrer & Vollrath, 2011) (Abbildung 2) erhoben. Hierbei mussten sich die Probanden zuerst in einer der übergeordneten Müdigkeitskategorie (wach, wenig, mittel, stark oder sehr stark müde) einordnen. Danach erfolgte eine Feinabstufung, bei der jeder Oberkategorie außer der Kategorie „wach“ noch drei Unterstufen („-“, „0“, „+“) zugeordnet waren. Insgesamt hatten die Personen somit die Möglichkeit Müdigkeitswerte zwischen 0 „wach“ bis 13 „sehr stark, plus“ zu wählen.

| wach | | wenig | | | mittel | | | stark | | | sehr stark | | |
|------|---|-------|---|---|--------|---|---|-------|---|---|------------|---|--|
| 0 | - | 0 | + | - | 0 | + | - | 0 | + | - | 0 | + | |

Abbildung 2: Skala zur Selbstbewertung der Müdigkeit

Die Abfrage der Müdigkeit erfolgte alle 10 Minuten, wobei die Skala in die Simulation eingeblendet wurde. Die Antwort der Probanden erfolgte verbal und wurde vom Versuchsleiter registriert.

2.4 Stichprobe

An der Studie nahmen 37 Personen (28 weiblich, 9 männlich) mit einem Alter zwischen 18 und 63 Jahren teil (MW = 29.0, SD = 13.7). Die Personen waren im Mittel 12.4 (SD = 13.1) Jahre im Besitz einer Fahrerlaubnis der Klasse 3. Die bisherige Fahrleistung (gemessen an der Gesamtkilometerleistung) zeigt einen Durchschnittswert von 118647 km (Median = 17500). Die jährliche Fahrleistung der Probanden liegt durchschnittlich bei 9771 km (SD = 9.000 km). Die durchschnittliche Wachdauer vor der Versuchsfahrt variierte zwischen 2 und 15 Stunden (MW = 8.6, SD = 3.90). Die Schlafdauer in der Nacht vor dem Versuch (MW = 7.1 Stunden) unterscheidet sich nicht signifikant von der Schlafdauer einer durchschnittlichen Nacht (MW = 7.5 Stunden) (t-Test für verbundene Stichproben $t_{(36)} = -1.719$; $p > .05$).

2.5 Versuchsplan & Datenauswertung

Von den 37 Personen wurden 14 von einem lichtbasierten Warnsystem in der kritischen Situation unterstützt, 23 Personen hatten kein Warnsystem. Das lichtbasierte Warnsystem wurde demnach als Zwischensubjektfaktor realisiert.

Für die Auswertung bezüglich der Müdigkeit der Versuchspersonen wurde der letzte Müdigkeitswert vor dem kritischen Ereignis herangezogen. Auf Grundlage dieses Wertes wurden die Versuchspersonen in eine von drei Müdigkeitsgruppen (grün, gelb, rot) eingeteilt. Die erste Gruppe (grün) bestand aus Fahrern mit den Müdigkeitswerten von 1 bis 4 (wach 0 bis wenig +), die zweite (gelb) aus Fahrern mit den Werten 5 bis 7 (mittel - bis mittel +) und die dritte Gruppe (rot) beinhaltete Fahrer mit den Werten von 8 (stark -) bis 13 (sehr stark +) auf der Müdigkeitsskala. Diese 3 Gruppen wurden als Zwischensubjektfaktor realisiert.

Die Datenauswertung erfolgt getrennt für die Fahr- und Blickdaten. Für die Auswertung der Fahrdaten war vor allem die Reaktionszeit auf das kritische Ereignis relevant. Auslöser für die Messung der Reaktionszeit war das Erscheinen des Wildschweins bzw. die zeitgleiche Aktivierung des lichtbasierten Warnsystems. Von diesem Zeitpunkt an wurden verschiedene Komponenten der Gesamtreaktionszeit erfasst: Die Zeit bis zur Fußwegnahme vom Gaspedal (Entscheidungszeit), die Fußumsetzzeit bis zum Beginn der Betätigung der Bremse, die Summe aus diesen beiden Zeiten als Reaktionszeit sowie die Zeit bis zum Erreichen des maximalen Bremsdrucks. Zusätzlich wurde noch die Aufprallgeschwindigkeit mit ausgewertet.

Sofern es zu keinem Zusammenstoß zwischen dem Fahrzeug und dem Wildschwein kam, wurde dies nicht in die Berechnung mit aufgenommen.

Bezüglich der Blickdaten war von Interesse, ob es durch das Lichtsystem möglich ist den Blick gezielt auf das querende Wildschwein zu lenken. Zur Untersuchung dieser Frage wurde die Zeit gemessen, die vom Einsatz des lichtbasierten Systems bis zum ersten Blick auf das Wildschwein benötigt wurde und mit der entsprechenden Zeit ohne Systemunterstützung verglichen. Fahrer die nicht ihren Blick auf das Wildschwein richteten, wurden nicht in die Auswertung mit aufgenommen.

3. ERGEBNISSE

3.1 *Fahrdaten*

Die Fahrdaten werden zuerst hinsichtlich des eingesetzten Warnsystems im Anschluss bezüglich der Müdigkeit dargestellt.

3.1.1 Warnsystem

Untersucht man die Reaktionen der Fahrer so zeigt sich, dass 64.2 % der Fahrer mit dem lichtbasierten Warnsystem eine Bremsreaktion, 21.4 % keine Reaktion und 14.3 % eine Ausweichreaktion auf das Wildschwein ausführten. Von den Fahrten ohne Warnsystem zeigten 60.8 % der Fahrer eine Bremsreaktion. Allerdings fand sich ein sehr hoher Anteil von 34.8 % ohne Reaktion und nur ein Ausweichmanöver (7.1 %). Der statistische Vergleich zwischen den Fahrten mit Assistenzsystem und ohne System für die Bremsreaktion zeigte keinen signifikanten Unterschied zwischen den Gruppen ($\chi^2_{(1)} = .153$; $p = .695$).

Eine Auswertung der Bremsreaktion ist nur für die Personen sinnvoll, die eine Bremsreaktion zeigten (23 Personen). Hier wurden die verschiedenen oben dargestellten Komponenten in einer MANOVA geprüft. Dabei ergab sich ein signifikanter Effekt des Lichtwarnsystems ($F_{(4/14)} = 5.62$; $p = .007$). Bei den Einzeltests ergab sich ein signifikanter Unterschied nur für die Fußumsetzzeit und die Zeit bis zum Erreichen des maximalen Bremsdrucks. Die Fahrer mit System benötigen für die Fußumsetzzeit 521.6 ms (SD = 55.1), Fahrer ohne System 326.1 ms (SD = 48.3) (Abbildung 3, links).

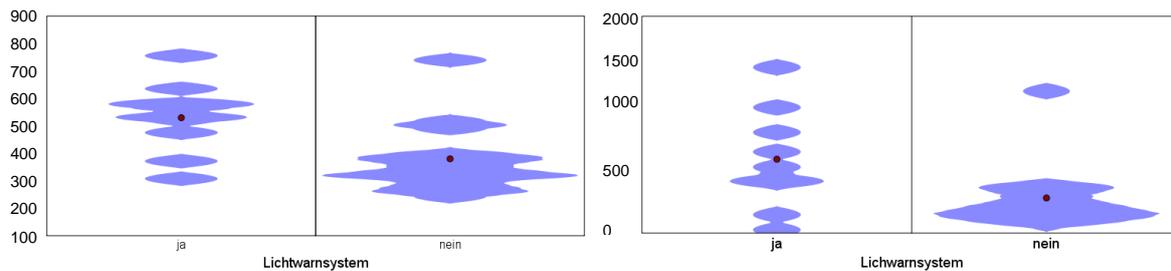


Abbildung 3: Fußumsetzzeit (links) & Zeit bis zum maximalen Bremsdruck (rechts).

Ebenso verläuft der Anstieg bis zum Erreichen des maximalen Bremsdrucks bei den Fahrten mit System signifikant langsamer ($MW_{\text{System}} = 711.3$; $SD = 130.2$) als bei Fahrten ohne System ($MW_{\text{ohne System}} = 310.0$; $SD = 114.2$) (Abbildung 3, rechts). Die Entscheidungszeit und die Reaktionszeit waren dagegen nicht signifikant unterschiedlich (Entscheidungszeit: mit System 1311.3 ms, $sd = 88.1$, ohne System 1399.4 ms, $sd = 77.3$; Reaktionszeit mit System 1833.0 ms, $sd = 112.7$; ohne System 1725.5 ms, $sd = 98.8$).

Insgesamt kollidierten in der Untersuchung 35 von 37 Personen mit dem Wildschwein (ohne System: 23 von 23 Fahrern, mit System: 12 von 14 Fahrern). Es gab keinen signifikanten Unterschied in der Aufprallgeschwindigkeit auf das Wildschwein zwischen den Fahrern mit und ohne System ($MW_{\text{System}} = 110.1$ km/h; $SD = 2.6$; $MW_{\text{ohne System}} = 108.2$ km/h; $SD = 2.3$).

3.1.2 Müdigkeit

Vergleicht man die drei Müdigkeitsgruppen hinsichtlich der Anzahl der Unfälle, so zeigt sich kein signifikanter Unterschied zwischen den wachen, mittelmüden und müden Fahrern ($\chi^2_{(2)} = .433$; $p > .05$). Betrachtet man ob eine Reaktion auf das querende Wildschwein überhaupt stattgefunden hat, so zeigt sich folgendes Bild (Tabelle 1).

Tabelle 1: Reaktionen der Fahrer in den 3 Müdigkeitsgruppen.

| | | Müdigkeitsgruppe | | | Σ |
|----------|------------|------------------|------|-----|----------|
| | | Grün | Gelb | Rot | |
| Reaktion | ausweichen | 0 | 2 | 1 | 3 |
| | bremsen | 4 | 9 | 10 | 23 |
| | keine | 2 | 3 | 6 | 11 |
| | Σ | 6 | 14 | 17 | 37 |

Es zeigt sich, dass in der Gruppe der wachen Fahrer (grün) 4 von 6 Fahrern eine Reaktion zeigen (66.6 %), wohingegen dies bei den mittelmüden Fahrern (gelb) bei 78.5 % der Personen zu beobachten ist. Für die müden und sehr müden Fahrer (rot) liegt dieser Wert bei 64.7 %.

Wegen der kleinen Stichprobe wurde hier nicht-parametrisch mit dem Kruskal-Wallis-H-Test gerechnet. Vergleicht man die Bremsreaktionsparameter (Fuß vom Gaspedal ($\chi^2_{(2)} = 2.08$; $p > .05$), Fußumsetzzeit ($\chi^2_{(2)} = 3.21$; $p > .05$), Maximalen Bremsdruck aufbauen ($\chi^2_{(2)} = 2.49$; $p > .05$)) sowie die Aufprallgeschwindigkeit ($\chi^2_{(2)} = 2.10$; $p > .05$) zwischen den 3 Müdigkeitsgruppen, so zeigen sich keine signifikanten Unterschiede zwischen den 3 Gruppen.

Wie aus Tabelle 3 ersichtlich, ist eine Berechnung einer Interaktion zwischen den beiden Variablen aufgrund der geringen Zellenbesetzung mit einem parametrischen Verfahren nicht möglich.

Tabelle 3: Anzahl an Fahrern die eine Bremsreaktion zeigten in den 3 Müdigkeitsstufen mit und ohne Assistenzsystem.

| | | Müdigkeitsgruppe | | | Σ |
|--------|----------|------------------|------|-----|----------|
| | | Grün | Gelb | Rot | |
| System | ja | 2 | 3 | 4 | 9 |
| | nein | 2 | 6 | 6 | 14 |
| | Σ | 4 | 9 | 10 | 23 |

Eine nonparametrische Berechnung wurde für die rote Müdigkeitsgruppe durchgeführt. Hier zeigt sich für die Fußumsetzzeit (Abbildung 3) ein signifikanter Unterschied zwischen den Fahrern mit System (MW = 540 ms, SD = 142.1) im Vergleich zu den Fahrern ohne System (MW = 310 ms, 114.3) (Mann-Whitney-U-Test = 2.50; $p = .038$). Für die anderen Reaktionsparameter wurden keine signifikanten Unterschiede in dieser Müdigkeitsgruppe gefunden.

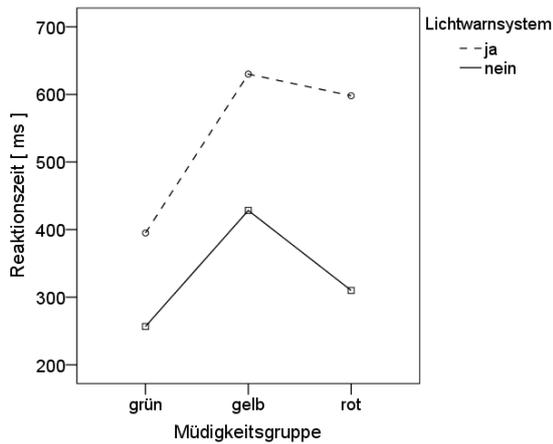


Abbildung 3: Fußumsetzzeit in Abhängigkeit der Müdigkeitsgruppe.

3.2 Blickdaten

Für die Auswertung der Blickdaten wird der Zeitpunkt vom Einsatz des Systems bzw. des Auftauchens des Wildschweins bis zur Blickzuwendung zum querenden Wildschwein untersucht. Es gab keinen Fahrer dessen Blick nicht auf das Wildschwein gelenkt wurde.

Bezüglich des Assistenzsystems zeigt sich, dass die Fahrer mit der lichtbasierten Warnung (MW = 1100.0 ms, SD = 407.54) signifikant schneller den Blick auf das Wildschwein richten als die Fahrer ohne System (MW = 1339.1 ms, SD = 270.72) ($t_{(35)} = -2.14$; $p = .039$).

Bezüglich der 3 Müdigkeitsgruppen ergibt sich ein tendenziell signifikanter Unterschied zwischen den Gruppen ($F_{(2/34)} = 2.69$; $p = .082$) hinsichtlich der Blickzuwendung zum Wildschwein. Dieser Unterschied zeigt sich zwischen der Gruppe gelb (MW = 1354.2 ms, SD = 255.3) und rot (MW = 1112.9 ms, SD = 341.5) (Abbildung 4).

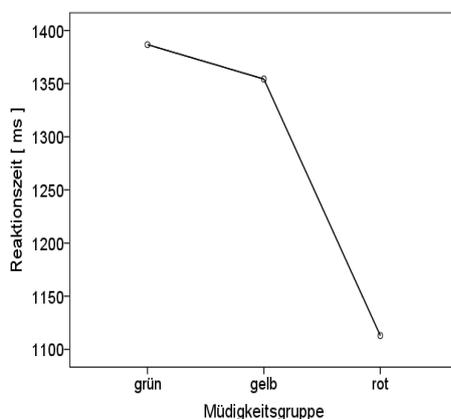


Abbildung 4: Zeit bis der Blick auf das querende Wildschwein gerichtet wird.

Interaktionen zwischen dem lichtbasierten Warnsystem und den 3 Müdigkeitsgruppen wurden ebenfalls wieder keine berechnet, da die Zellenbesetzung nicht ausreichte.

4. DISKUSSION

Insgesamt zeigt sich, dass nahezu alle Fahrer, unabhängig von der Unterstützung durch ein Assistenzsystem oder dem vorliegenden Müdigkeitsgrad, mit dem Wildschwein kollidierten.

Es zeigt sich aber, dass die Fahrer mit Assistenz schneller den Fuß vom Gaspedal nehmen als dies bei Fahrern ohne System der Fall ist. Interessanterweise benötigen die Personen mit System für die nachfolgenden Reaktionsschritte (Fußumsetzzeit und Bremsdruck aufbauen) länger als jene Fahrer ohne System. Dies könnte darauf hindeuten, dass das System durch den salienten Lichtreiz zu einer schnelleren Erstreaktion führt. Da die Fahrer jedoch nicht über das System informiert waren, war die Handlungsaufforderung möglicherweise für die Fahrer nicht eindeutig genug und führte dadurch zu einer Verlängerung der nachfolgenden Reaktionsschritte.

Hinsichtlich der Müdigkeitsgruppen zeigt sich, dass nicht, wie es zu erwarten wäre, die Personen mit dem höchsten Müdigkeitsgrad (rot) am längsten für die Reaktion brauchen. Ein Grund hierfür könnte sein, dass sich die Personen durch die kontinuierliche Abfrage der Müdigkeit hinsichtlich ihres Müdigkeitsgrades bewusst waren und versuchten dies durch eine erhöhte Aufmerksamkeit zu kompensieren.

Dieses Ergebnis deckt sich auch sehr gut mit der Dauer der Blickzuwendung zum Wildschwein. Auch hier waren die Fahrer mit dem höchsten Müdigkeitsgrad jene, die am schnellsten den Blick zum Wildschwein lenkten wodurch sich auch die schnelle Erstreaktion erklären lässt.

Abschließend kann man festhalten, dass sich die geringen Effekte des Assistenzsystems dadurch erklären lassen, dass die Fahrer nicht wussten dass das System im Fahrzeug implementiert war.

Bezüglich der geringen Effekte der Müdigkeit wäre ein systematischer Vergleich von wachen und müden Fahrern ratsam. Dies war aufgrund der zweistündigen Fahrt vor dem kritischen Ereignis hier nicht möglich.

Diese beiden Aspekte sollten in einer weiterführenden Studie bedacht werden.

5. LITERATUR

- Åkerstedt, T. (2000). Consensus statement: fatigue and accidents in transportation operations. *Journal of Safety Research*, 9 (4), 395.
- Aldrich, M. (1989). Automobile accidents in patients with sleep disorder. *Sleep* 12, 487-494
- Barbé, F., Pericás, J., Munoz, A., Findley, L., Antó, J., Agusti, A. et al. (1998). Automobile Accidents in Patients with Sleep Apnea Syndrome . An Epidemiological and Mechanistic Study. *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine*, 158 (1), 18-22.
- Ergoneers GmbH. (2009). *Dikablis Cable Handbuch* (Ergoneers GmbH, Hrsg.). Mansching: Ergoneers.
- Findley, L., Unverzagt, M., Guchu, R., Fabrizio, M., Buckner, J. & Suratt, P. (1995). Vigilance and Automobile Accidents in Patients With Sleep Apnea or Narcolepsy. *Chest*, 108 (3), 619-624.
- Gonzalez-Rothi, R. & Block, A. (1988). Mortality and sleep apnea. The trouble with looking backward. *Chest*, 94 (4), 678-679.
- Harwood, K., Barnett, B. & Wickens, C. D. (1998). Situational awareness: A conceptual and methodological framework. In F. McIntire (Hrsg.), *Proceedings of the 11th Biennial Psychology in the Department of Defense Symposium* (S. 23–27). Colorado Springs, CO: U.S. Air Force Academy.
- Horne, J. A. & Reyner, L. A. (1999). Vehicle accidents related to sleep: a review. *Occupational and Environmental Medicine*, 56, 289-294.
- Kotterba, S., Rasche, K., Widdig, W., Duscha, C., Blombach, S., Schultze-Werninghaus, G. et al. (1998). Neuropsychological investigations and event-related potentials in obstructive sleep apnea syndrome before and during CPAP-therapy. *Journal of Neurological Sciences*, 159, 45-50.
- Philip, P., Vervialle, F., Breton, P. L., Taillard, J. & Horne, J. A. (2001). Fatigue, alcohol, and serious road crashes in France: factorial study of national data. *British Medical Journal*, 322 (7290), 829-830.
- Reinprecht, K., Muhrer, E. & Vollrath, M. (2011). Lichtassistenz wirkt - auch bei müden Fahrern. In Intelligente Transport- und Verkehrssysteme und -dienste Niedersachsen e.V. (Hrsg.), *AAET - Automatisierungssysteme, Assistenzsysteme und eingebettete Systeme für Transportmittel* (S. 136–149). Braunschweig: ITS - Niedersachsen e.V.
- Schmidt, E. (2010). *Die objektive Erfassung von Müdigkeit während monotoner Tagfahrten und deren verbale Selbsteinschätzung durch den Fahrer*. Dissertation, Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf. Düsseldorf