

Gestaltung einer verhaltenswirksamen Müdigkeitsrückmeldung im Kraftfahrzeug

Autoren: Annika Dressler¹, Katja Karrer² und Stefan Brandenburg³

Schlüsselwörter: Müdigkeit, Rückmeldung, Warnung, Compliance

Zusammenfassung

Schätzungen zufolge entstehen 10-20% aller Verkehrsunfälle unter dem Einfluss von Müdigkeit [1]. Automatische Warnsysteme für Kraftfahrzeuge könnten helfen, müdigkeitsbedingte Unfälle zu verhindern. Die Wirksamkeit solcher Systeme hängt stark davon ab, ob ein Fahrer auf eine entsprechende Systemrückmeldung angemessen reagiert. Wir diskutieren Faktoren, die die Wahrscheinlichkeit einer angemessenen Reaktion beeinflussen. Das Augenmerk liegt dabei zum einen auf dem Zeitpunkt, der für eine Warnung des Fahrers gewählt wird, und dessen Implikationen für die Warnungsgestaltung. Zum anderen wird die Rolle von Überzeugungen über Nutzen und Kosten des Ergreifens effektiver Gegenmaßnahmen beleuchtet, die zusammen mit subjektiven Wahrscheinlichkeiten verschiedener möglicher Handlungskonsequenzen Einfluss auf die Reaktionsauswahl des Fahrers nehmen. Wir berichten die Ergebnisse eines Workshops, der im Rahmen der Frühjahrsschule 2009 des Zentrums Mensch-Maschine-Systeme der TU Berlin durchgeführt wurde und in dem die Teilnehmer unter Berücksichtigung der genannten Gesichtspunkte konkrete Warnkonzepte entwickelten. In der abschließenden Diskussion werden aus den Vorschlägen einige übergeordnete Ideen abstrahiert, die für eine effektive Gestaltung von Müdigkeitsrückmeldungen von Nutzen sein können.

Einleitung

Müdigkeit am Steuer ist eine der wichtigsten Ursachen für Verkehrsunfälle. Neben dem gefährlichen Sekundenschlaf bewirkt Müdigkeit eine verringerte Fähigkeit das Fahrzeug zu führen (z.B. Spurhaltung), eine Verlängerung der Reaktionszeit und eine Verringerung der Motivation die Verkehrsregeln zu befolgen [2].

Aufgrund dieser schwerwiegenden Folgen besteht starkes Interesse sowohl auf Seiten der Forschung als auch auf Seiten der Industrie, automatische Systeme für die Müdigkeitserkennung und -warnung zu entwickeln [3]. Bevor jedoch ein derartiges Rückmeldungssystem effektiv gestaltet werden kann, sind einige Fragen zu beantworten, u.a.: Welcher Zeitpunkt im Verlauf der (zunehmenden) Müdigkeit wird für Warnungen gewählt? Welche Implikationen hat der gewählte Zeitpunkt für die Warnungsgestaltung? Welche Reaktion des Fahrers sollte im Sinne einer Erhöhung der Verkehrssicherheit unterstützt werden? Wie kann in diesem Sinne die größtmögliche Verhaltenswirksamkeit erreicht werden, d.h. unter anderem: Welche Sinnesmodalität sollte in welchem Stadium der Müdigkeit für eine Warnung genutzt werden? Und wie kann durch die Warnung die Motivation zu warnungskonformem Verhalten erhöht werden?

Auf der Suche nach Antworten auf diese Fragen soll zunächst kurz ein Konzept vorgestellt werden, mit Hilfe dessen verschiedene Müdigkeitsgrade charakterisierbar sind. Dieses Konzept bildet die Basis für spätere Überlegungen zu einer differentiellen Warnungsgestaltung in Abhängigkeit von der Ausprägung der detektierten Müdigkeit.

Im Kontext der Suche nach Validierungsmöglichkeiten für Maße zur automatischen Müdigkeitsdetektion entwickelten Wierwille und Ellsworth [4] ein Klassifikationssystem, mit dem per Fremdbeobachtung die Ausprägung von Müdigkeit beurteilt werden kann. Relevanz für die hier aufgeworfenen Fragestellungen trägt das Konzept vor allem, weil anhand einiger der den Stufen zugeordneten Verhaltensindikatoren sowie vermutlich zugrundeliegender psychischer Verfassungen Schlussfolgerungen für die Möglichkeiten und Grenzen einer Warnung auf der jeweiligen Stufe gezogen werden können. Die Klassifikation unterscheidet 4 Stufen auf dem Müdigkeitskontinuum. Stufe 1, *nicht*

¹ TU Berlin, Fachgebiet Kognitionspsychologie und Kognitive Ergonomie

² TU Berlin, Zentrum Mensch-Maschine-Systeme, Graduiertenkolleg prometei

³ TU Berlin, Fachgebiet Kognitionspsychologie und Kognitive Ergonomie

müde, beinhaltet Verhaltensweisen, die auf Wachheit und gerichtete Aufmerksamkeit schließen lassen, u.a. einen normalen Gesichtsmuskeltonus, kurze Lidschlüsse und normales Blickverhalten (Sakkaden und Fixationen). In dieser Stufe wird eine Müdigkeitsrückmeldung nicht erforderlich sein. Stufe 2, *müde*, spiegelt beginnende Müdigkeit und ist u.a. durch Verhaltensweisen gekennzeichnet, die der Selbstaktivierung dienen (z.B. Augenreiben, Gesichtverzerren, unruhiges Sitzen). Unter Umständen treten auch ein „glasiger Blick“ bzw. ein Starren auf eine fixe Position auf. Es ist davon auszugehen, dass dieses Verhalten bereits mit Einschränkungen der Aufmerksamkeit assoziiert ist. Die motivationale Situation ist vermutlich bestimmt durch ein Ankämpfen gegen die Müdigkeit, das mit Optimismus in Bezug auf dessen Erfolgsaussichten verbunden ist. In Stufe 3, *sehr müde*, werden Lidschlüsse länger (2-3 s). Das Blickverhalten ist im Vergleich zum Stadium „nicht müde“ verändert. Es kann ein Auf- bzw. Seitwärtsrollen der Augen beobachtet werden, teilweise auch ein Schielen, das als Schwierigkeit eine fokussierte Fixation zu halten interpretiert werden kann und vermutlich mit ebenfalls erheblichen Schwierigkeiten bei der Aufrechterhaltung der gerichteten Aufmerksamkeit einhergeht. Bei insgesamt reduzierter Aktivität treten isoliert große Bewegungen auf, wie etwa eine große Lenkkorrektur oder das Zurückaufrichten des Kopfes aus einer geneigten Stellung. Stadium 4, *extrem müde*, beinhaltet den gefährlichen Sekundenschlaf. Die Augenlider bleiben 4 s und länger geschlossen, und es treten verlängerte Phasen der Inaktivität auf. Nach Intervallen des Dösens können punktuelle große Korrekturbewegungen (Hochschrecken, Lenkradkorrekturen) vorkommen. In den Sekundenschlafphasen ist keine fokussierte Aufmerksamkeit mehr zu erwarten. Visuelle Signale werden vom Fahrer unbemerkt bleiben.

Diese Übersicht über die von Wierwille und Ellsworth unterschiedenen Müdigkeitsstufen und deren Auswirkungen auf psychische Verfassung und Leistungsfähigkeit des Fahrers erhebt keinen Anspruch auf Vollständigkeit und ist zum Teil spekulativ. Langfristig ist eine genauere Untersuchung der einzelnen Stadien hinsichtlich spezifischer kognitiver und motivationaler Zustände, die im Warnkonzept berücksichtigt werden sollten, wünschenswert. Dennoch bietet die Klassifikation eine nützliche erste Orientierung für die Berücksichtigung des aktuellen Fahrerzustandes bei der Warnungsgestaltung. Bevor wir einige Dimensionen betrachten, die bei einer solchen Gestaltung relevant sind, soll zunächst ein Überblick gegeben werden, welche personinternen und externen Faktoren einen Einfluss auf die Verhaltenswirksamkeit einer Warnung ausüben. Besonderes Augenmerk liegt dabei auf Einstellungen und Überzeugungen, welche die Compliance-Motivation entscheidend beeinflussen.

Determinanten warnungskonformen Verhaltens

Während die Forschung eine ganze Reihe einzelner Faktoren identifiziert hat, die für die Verhaltenswirksamkeit von Warnungen eine Rolle spielen, gibt es vergleichsweise wenige Versuche, diese Erkenntnisse in eine übergreifende Theorie zu integrieren. Ein Metamodell stammt von Wogalter [5]: Das C-HIP-Modell (s. Abb. 1) betrachtet den Warnprozess aus kommunikations- und informationsverarbeitungstheoretischer Perspektive. In Bezug auf Warnungen als eine Form von Kommunikation werden Einflüsse der Quelle, des Kanals und des Empfängers unterschieden. Auf Seiten des Empfängers beschreibt das Modell mehrere Stufen der Informationsverarbeitung, welche eine Warnung durchlaufen muss, bevor sie verhaltenswirksam werden kann. So muss der Empfänger einer Müdigkeitswarnung diese zunächst bemerken und verstehen. Im Weiteren erfolgt ein Abgleich mit bestehenden Überzeugungen, dessen Ausgang wesentlich für die Motivation ist, der Warnung Folge zu leisten. Rückkopplungsschleifen erlauben prinzipiell zwischen allen Stufen auch die Beeinflussung „früherer“ Verarbeitungsstufen durch „spätere“.

Einflüsse der Quelle auf die Warnungswirksamkeit beziehen sich vor allem auf deren Glaubwürdigkeit [5]. Letztere hängt im Falle der Müdigkeitswarnung wiederum in erster Linie von der Validität und Messgenauigkeit des zugrundeliegenden Detektionssystems ab, insbesondere von dessen Anfälligkeit für falsche Alarmer. Die in diesem Artikel angestellten Überlegungen setzen die Entwicklung hinreichend reliabler und valider automatischer Müdigkeitsdetektionssysteme voraus und beschäftigen sich mit der Frage, welche über die Glaubwürdigkeit hinaus gehenden Merkmale einer Warnung deren Wirksamkeit erhöhen können.

Merkmale des gewählten *Kanals* beeinflussen alle Verarbeitungsstufen, insbesondere aber, ob die Warnung die Aufmerksamkeit des Fahrers erregen und lang genug für eine angemessene Verarbeitung aufrechterhalten kann [5]. Im Kontext von Müdigkeitswarnungen im Fahrzeug ist gleichzeitig zu

bedenken, dass die Warnung nicht oder möglichst gering mit der Fahraufgabe interferieren sollte, besonders vor dem Hintergrund des ohnehin kritischen Fahrerzustandes. Prominentestes Gestaltungsmerkmal im Hinblick auf Bemerkbarkeit der Warnung und Aufmerksamkeitsprozesse ist die Wahl der beim Empfänger angesprochenen sensorischen Modalität/en. So dürfte zum Beispiel ein Fahrer im Sekundenschlaf Schwierigkeiten haben, eine rein visuelle Warnung zu bemerken. Auch ein wacher Fahrer könnte ein visuelles Signal übersehen, wenn es beispielsweise zu peripher dargeboten wird.

Auf Ebene des *Empfängers* interessieren wir uns in erster Linie für die Einflüsse von *Überzeugungen* - und dafür, wie man diese durch geeignete Warnungsgestaltung in Richtung größerer Warnungseffektivität modifizieren kann. (Selbstverständlich müssen Aspekte der Bemerkbarkeit und Verständlichkeit der Warnung bei der späteren Ableitung von Gestaltungsvorschlägen ebenfalls berücksichtigt werden.) Die meisten Modelle, die sich mit dem Einfluss von Überzeugungen auf gesundheitsrelevantes Verhalten beschäftigen, entstammen der Erwartungs-Wert-Theorie [6].

Welche Handlung aus einem Set von alternativen Handlungsoptionen ausgewählt wird, hängt demnach von wahrgenommenen Nutzen und Kosten einer Handlungsoption (z.B. Anhalten und ein kurzes Nickerchen machen) im Vergleich zum Gesamtnutzen anderer Handlungsoptionen (z.B. Weiterfahren und das Radio lauter drehen, anhalten und einen Kaffee trinken) ab. Der wahrgenommene *Nutzen* sicherheitsrelevanter Verhaltensweisen erklärt sich vor allem aus der wahrgenommenen Gefährlichkeit von Ereignissen, zu deren Vermeidung das Verhalten beiträgt, und der wahrgenommenen Eignung des Verhaltens, dieses Ereignis zu vermeiden [6]. Die Gefährlichkeitswahrnehmung wird ihrerseits beeinflusst von der wahrgenommenen Schwere und der wahrgenommenen Wahrscheinlichkeit einer potentiell resultierenden Schädigung, wobei die Schwere offensichtlich einen stärkeren Effekt hat [7]. Verzerrungen in der Risikowahrnehmung entstehen u.a. durch die Verfügbarkeitsheuristik, übermäßigen Optimismus und Vertrautheit mit der Situation.

Die wahrgenommenen *Kosten* einer sicherheitsförderlichen Verhaltensweise spielen vermutlich eine prominente Rolle bei der Entstehung warnungsinconformen Verhaltens. Entsprechend lautet die Empfehlung, durch Warnungsgestaltung nach Möglichkeit eher wahrgenommene Kosten warnungskonformen Verhaltens zu reduzieren als vordergründig auf die Verschärfung der wahrgenommenen Gefährlichkeit eines möglichen Unfalls zu setzen [8]. Im Kontext von Fahrmüdigkeit beziehen sich derartige Kosten zum Beispiel auf Zeitverluste, die durch Pausen entstehen, oder kognitiven Aufwand bei der Suche nach einer geeigneten Raststelle.

Eine wichtige Frage bei der Beschäftigung mit angemessenem Verhalten in Reaktion auf Müdigkeitswarnungen betrifft die Art der angestrebten Fahrerreaktion, also des „Sollverhaltens“. Was hilft überhaupt, Müdigkeit zu überwinden? Es gibt noch wenig gesicherte Erkenntnisse über die Effektivität von Gegenmaßnahmen. Horne und Reyner [9] konnten in einer Simulatorstudie die Wirksamkeit eines Kurzschlafs ebenso wie die von Koffein auf Fahrleistung, Hirnaktivität und subjektive Müdigkeit nachweisen. Reines Pausieren erwies sich hingegen als unwirksam. Für die Zufuhr kalter Luft und das Radiohören fanden die Autoren [10] nur kurzfristige Effekte und schlussfolgerten, dass diese Maßnahmen bestenfalls zur Überbrückung der Zeit genutzt werden sollten, bis eine passende Gelegenheit zum Anhalten und Schlafen bzw. Kaffeetrinken gefunden sei. Auch für starke körperliche Betätigung [11, zitiert nach 10] wurden nur vorübergehende Effekte gefunden. Ebenso erwies sich Lichtexposition als unwirksam [12]. Nach dem derzeitigen Forschungsstand ist also nur für zwei Maßnahmen eine längerfristige (min. 1 Stunde) Wirksamkeit gegen Müdigkeit gesichert, nämlich für einen kurzen Schlaf und die Aufnahme von Koffein, z.B. über eine Tasse Kaffee. Solange die Wirksamkeit anderer Maßnahmen nicht belegt ist, sollten bei starker Müdigkeit diese Verhaltensweisen als die Zielreaktion des Fahrers angestrebt werden.

In diesem Zusammenhang stellt sich auch die Frage, inwiefern Kraftfahrer die Wirksamkeit verschiedener Maßnahmen einzuschätzen vermögen. Es steht zu vermuten, dass Verzerrungen in der Wirksamkeitswahrnehmung existieren. So wird beispielsweise der Effekt eines Spaziergangs offenbar überschätzt [1, 13]. Als Teil der Nutzenkalkulation beeinflussen solche Wirksamkeitsüberzeugungen jedoch, welche Handlungsalternative im Falle von Müdigkeit gewählt wird. Konkrete Verhaltensvorschläge im Rahmen einer Müdigkeitswarnung sollten die Nutzung effektiver Maßnahmen fördern.

Weitere Gestaltungsmerkmale, die einen Einfluss auf die Verhaltenswirksamkeit von Systemmeldungen ausüben, werden im nächsten Abschnitt diskutiert.

Rückmeldungskonzepte

Es existieren zahlreiche Möglichkeiten einer Rückmeldung durch ein Müdigkeitserkennungssystem. Bevor nachfolgend einige Konzepte vorgestellt werden, ist zunächst eine Klassifizierung angebracht. Geeignet ist eine Einordnung nach der Automatisierungsstufe, eine weitere Klassifikationsmöglichkeit bezieht sich auf die angesprochenen sensorische Kanäle.

Die Automatisierungsstufe einer Systemrückmeldung bezieht sich auf das Ausmaß der technischen Unterstützung bei der Aufgabenausführung (siehe Endsley, 1997, oder Sheridan & Verplank, 1978, zitiert nach [14]). Eine reine Situationsanalyse durch das System unterstützt den Fahrer in Form einer dargebotenen Information auf einer niedrigen Automatisierungsstufe. Eine derartige Rückmeldung könnte zum Beispiel mittels einer visuellen Anzeige realisiert werden. Erfolgt durch das System zusätzlich eine Situationsbewertung, kann von einem Warnsystem gesprochen werden. Hierzu eignen sich akustische Warnsignale oder Ansagen. Die Automatisierungsstufe ist noch höher, wenn außerdem Aufgaben wie Aktionsauswahl und Aktionsausführung vom System übernommen werden (beispielhaft hierzu [15]). Das Fahrzeug übernimmt in diesem Fall die Kontrolle und bremst beispielsweise zur Kollisionsvermeidung ab. Es erscheint zweckmäßig, die Automatisierungsstufe der Rückmeldung des technischen Systems flexibel an die Gefährlichkeit der Situation anzupassen. Ist die Fahrerermüdung noch nicht akut und noch genügend Zeit bis zum Sekundenschlaf vorhanden, genügt eine Warnung oder sogar eine reine Information des Fahrers. Wird ein äußerst kritischer Zustand des Fahrers erreicht, ist eventuell ein Eingreifen des Systems in die Fahraufgabe angemessen.

Eine Klassifikation von Warnkonzepten kann sich auch an der Sinneswahrnehmung des Menschen orientieren. Vereinfachend wird davon ausgegangen, dass die physikalischen Reize der jeweiligen Systemrückmeldung vornehmlich einen sensorischen Kanal ansprechen. Selbstverständlich ist auch eine Kombination in Form multimodaler Warnungen möglich. Informationen können über den visuellen, auditiven, vestibulären, olfaktorischen, gustatorischen, taktilen, kinästhetischen und thermischen Kanal übermittelt werden. Die Umsetzung einer visuellen Rückmeldung ist in Form einer Anzeige denkbar, eine auditive Rückmeldung in Form eines Warntons oder einer Ansage. Eine mögliche Umsetzung taktiler Art wäre eine Lenkrad- oder Sitzvibration. Bei den erwähnten Varianten handelt es sich um die von der Automobilindustrie am häufigsten berücksichtigten Konzepte. Darüber hinaus könnte das vestibuläre System durch ein kurzes, alarmierendes Abbremsen des Fahrzeugs angesprochen werden. Aktivierende Gegenmaßnahmen im olfaktorischen Kanal in Form von Pfefferminzduft sind von Raudenbush et al. [16] diskutiert worden. Die bereits angesprochene kurzfristige Aktivierung durch Änderungen der Umgebungstemperatur oder Musik [10] könnte ebenfalls im Rahmen eines umfassenderen Warnkonzepts genutzt werden. Ethisch kaum vertretbar sind Rückmeldungen, die Schmerzen auslösen, wie niedrige Stromstöße.

Bei der Entwicklung eines Warnkonzepts sind die spezifischen Eigenschaften der sensorischen Kanäle zu berücksichtigen. Beispielsweise spricht das visuelle System mit Reaktionszeiten von 200 bis 400 ms an, kürzer sind die Reaktionszeiten beim auditiven System (100 bis 150 ms) und insbesondere beim taktilen System (80 bis 150 ms). Eine Eigenschaft des visuellen Kanals besteht darin, dass der Benutzer selbst über den Wahrnehmungszeitpunkt entscheiden kann. Dies kann für die Akzeptanz des Systems förderlich sein, jedoch können wichtige Informationen auch übersehen werden. Ein auditiver Hinweis wird bei ausreichend deutlichem Signal unabhängig vom aktuellen Fokus der Aufmerksamkeit wahrgenommen. Allerdings ist die Wahrnehmung nur online möglich und Information eventuell nicht erneut abrufbar. Taktile Signale haben den Vorteil, dass sie intuitiv in die Bewegungssteuerung eingebunden werden können. Auf der anderen Seite sind nur Informationen geringer Komplexität übermittelbar und die Wahrnehmung ist an Körperkontakt gebunden.

Gruppenarbeit

Im Rahmen eines Workshops auf der Frühjahrsschule des Zentrums Mensch-Maschine-Systeme der TU Berlin wurde in Kleingruppen an der Entwicklung eines eigenen Rückmeldungskonzeptes für ein Müdigkeitserkennungssystem im Fahrzeug gearbeitet. Die Teilnehmer sollten dabei die vorgestellten Erkenntnisse zur Phänomenologie der Müdigkeit, zu Einflussgrößen auf die Compliance und zu Vor- und Nachteilen verschiedener Automatisierungsstufen und sensorischer Kanäle im Rahmen der Konzeptentwicklung berücksichtigen. Die Teilnehmer arbeiteten in Gruppen von vier bis fünf Personen

zusammen und dokumentierten ihre Ergebnisse, die im Anschluss vorgestellt wurden. Es gab bei der Ideenentwicklung keine finanziellen oder technischen Einschränkungen zu berücksichtigen.

Alle vier Arbeitsgruppen orientierten sich an der Einstufung von Ermüdung in verschiedene Phasen [4] und verwendeten ein drei- oder vierstufiges Rückmeldungs-konzept.

Das vorgeschlagene Konzept der ersten Arbeitsgruppe sah im Zustand der Wachheit keine Rückmeldung vor. Bei leichter Ermüdung sollten dezente Verhaltensvorschläge gemacht werden. Da dies nur auf Langstrecken sinnvoll erschien, sollte das Warnsystem mit Information über die geplante Fahrstrecke vernetzt sein (Kopplung mit dem Navigationssystem). Bei starker Ermüdung sollten konkrete Verhaltensmaßnahmen angeleitet werden. Diese Rückmeldung könnte mit ansteigenden Vibrationssignalen kombiniert werden. Sobald das Auftreten von Sekundenschlaf wahrscheinlich würde, könnte ein Abbrems-signal des Fahrzeugs erfolgen, zusätzlich sollten auditive Warnhinweise gegeben werden.

Der Vorschlag der zweiten Arbeitsgruppe war ein System, das je nach Grad der Ermüdung andere sensorische Kanäle ansprechen sollte. Bei nur leichter Ermüdung des Fahrers sollte ein Kaffeesymbol im Armaturenbrett aufleuchten. Durch Verwendung des visuellen Kanals sollte die Information unaufdringlich dargestellt und somit die Akzeptanz des Nutzers gewährleistet werden. In der Phase stärkerer Ermüdung würde multimodal gewarnt: Ein Vibrieren würde mit „ungewohnten“ Geräuschen im Motorbereich kombiniert. Diese sollten der Wahrnehmungsverzerrung durch Überschätzung der eigenen Möglichkeiten bzw. Unterschätzung der eigenen Gefährdung entgegenwirken und den Fahrer zum Anhalten motivieren. Erst bei vollständigem Ausschalten des Motors sollte auch die Warnrückmeldung enden. In der Phase stärkster Ermüdung sollten eine Luftdüse für eine kurzzeitige Aktivierung des Fahrers sorgen und eine Ansage die Notwendigkeit einer Pause deutlich machen.

Auch das Konzept der dritten Arbeitsgruppe beinhaltete beim Übergang von der wachen in die ermüdete Phase ein visuelles Icon, beispielsweise in Form einer Kaffeetasse. Im Stadium der Ermüdung sollte ein Signalton erfolgen. Bei Auftreten von Sekundenschlaf im Stadium starker Müdigkeit würden taktile Warnungen einsetzen. Das Ergreifen wirksamer Gegenmaßnahmen würde durch eine konkrete Handlungsempfehlung angestrebt. Ein Knopf im Kofferraum, der zum Abschalten unangenehmer Warntönen o.ä. diente, könnte ein Anhalten des Fahrers erzwingen. Hinsichtlich der Sensorik wurde eine Kombination verschiedener Modalitäten empfohlen, die variabel eingesetzt werden sollten, um Habituationseffekten entgegenzuwirken.

Das Konzept der letzten Arbeitsgruppe verwendete ebenfalls multiple Kanäle, um einer möglichen Habituation entgegenzuarbeiten. In der Phase leichter Ermüdung sollte auditiv gewarnt, indem der eigene Name genannt würde. Hier sollte der sog. „Cocktailparty-Effekt“ [17] genutzt werden, um die Aufmerksamkeit des Fahrers zu gewährleisten. Als denkbar vorgestellt wurde hier auch eine thermische und taktile Rückmeldung, indem frische Luft auf das Gesicht gelenkt werden sollte. In der Phase mittlerer Ermüdung würde taktil durch pulsierende Gurtstraffung gewarnt. Wäre der Fahrer stark ermüdet und führe immer noch, könnte über Schmerz-wahrnehmung gewarnt werden, z.B. in Form eines durch Strom erzeugten unangenehmen Kribbelns.

Gemeinsam ist den Gruppenergebnissen die Verwendung des visuellen Kanals in Phasen leichter Ermüdung, zum Teil ergänzt durch auditiv gegebene Verhaltensvorschläge. Bei stärkerer Ermüdung werden der auditive und der taktile Kanal angesprochen. Die Rückmeldungs-konzepte enthalten auch aktivierende Merkmale, wie das Einströmen frischer Luft. Diese könnten ein kurzzeitiges Weiterfahren unterstützen. Um den Fahrer langfristig dazu zu bringen, die Fahrt zu unterbrechen, wurde teilweise auf eine Erhöhung der subjektiven Risikowahrnehmung gesetzt. Einige Konzepte sahen auch vor, durch die Rückmeldung selbst unangenehme Konsequenzen des Weiterfahrens zu implementieren. Obwohl solche Ansätze möglicherweise wirkungsvoll sein könnten, scheiden sie für die praktische Verwendung sowohl aufgrund ethischer Überlegungen als auch unter dem Gesichtspunkt der Nutzerakzeptanz aus.

Resümee

Müdigkeitserkennungssysteme stellen im Vergleich mit vielen anderen Fahrassistenzsystemen eine Besonderheit dar: Ihre Wirksamkeit hängt stark von der Compliance des Fahrers ab, die im Falle von Müdigkeitswarnungen stark von Überzeugungen und Einstellungen des Fahrers beeinflusst ist. Müdigkeitswarnungen haben nicht in erster Linie den Charakter einer reinen Information über eine unerkannte Gefahr. Müde Fahrer wissen in der Regel, dass sie müde sind, überschätzen jedoch ihre

Möglichkeiten, sich wach zu halten. Zudem ist nicht davon auszugehen, dass jeder Fahrer wirksame Gegenmaßnahmen kennt. In diesem Sinne kommt einer Müdigkeitswarnung eine eher persuasive Funktion zu. Auf Ebene der Überzeugungen gilt es, Verzerrungen in der Risikobewertung zu reduzieren und die subjektiv wahrgenommenen Kosten des Ergreifens wirksamer Gegenmaßnahmen zu senken bzw. deren wahrgenommene Nützlichkeit zu erhöhen. Dazu gehört auch die Berücksichtigung von Erkenntnissen über die Wirksamkeit von Maßnahmen gegen Müdigkeit [9-12]. Ebenso sollten Erkenntnisse über den Charakter verschiedener Müdigkeitsstufen dazu berücksichtigt werden.

Diese Überlegungen für die Gestaltung eines konkreten Warnkonzepts zu nutzen, war die Aufgabe der Teilnehmer des oben beschriebenen Workshops. Während im Workshop das Augenmerk auf der Frage lag, wie ein Müdigkeitswarnkonzept isoliert betrachtet aussehen könnte, um seine Verhaltenswirksamkeit zu maximieren, müssen in der Anwendung Einschränkungen z.B. durch Vereinbarkeit mit der Fahraufgabe, zu erwartende Nutzerakzeptanz, Kosten des Systems und Integrierbarkeit mit anderen Assistenzsystemen berücksichtigt werden. Dennoch können aus den vorgeschlagenen Konzepten einige übergeordnete Aspekte extrahiert werden, welche bei der Gestaltung wirksamer Warnsysteme von Nutzen sein können.

Zunächst kann die Erkenntnis, dass Müdigkeit auf verschiedenen Stufen mit unterschiedlich starken Einschränkungen der Leistungsfähigkeit und des subjektiven Empfindens verbunden ist, genutzt werden, um mehrstufige differentielle Warnkonzepte zu entwickeln. Hierbei wird die Warnung im Hinblick auf Bemerkbarkeit, Akzeptierbarkeit und Förderung müdigkeitsreduzierenden Verhaltens optimiert, indem nach Ermüdungsgrad des Fahrers differenziert wird. Eine Dimension, auf der eine solche Differenzierung erfolgen könnte, ist der angesprochene sensorische Kanal. Bei leichter Ermüdung erscheint der visuelle Kanal geeigneter, während bei stärkeren Ermüdungserscheinungen die Unmittelbarkeit auditiver, haptischer oder kinästhetischer Signale Vorteile verspricht. Eine zweite Dimension, auf der die Reaktion des Müdigkeitserkennungssystems differentiell auf verschiedene Müdigkeitsausprägungen abgestimmt werden könnte, ist der Automatisierungsgrad. Hierbei gilt es allerdings im Hinblick auf starke Automatisierung neben derzeit noch bestehenden technischen Einschränkungen auch die Gefahr eines zu starken Vertrauens in die Technik zu berücksichtigen. Letzterer Einwand gilt im übrigen nicht nur mit Blick auf ein starkes technisches Eingreifen im Falle von Fahruntüchtigkeit, sondern für das gesamte Konzept eines automatischen Systems zur Müdigkeitsrückmeldung [18]. Weitere Dimensionen einer differentiierten Warnungsgestaltung sind Intensität und Häufigkeit (Wiederholung) von Meldungen, wobei davon auszugehen ist, dass diese mit steigender Müdigkeit ebenfalls zunehmen müssen. Einschränkend gilt es hierbei besonders den Aspekt der Nutzerakzeptanz zu berücksichtigen. Jegliche Form differenzierter Warnmeldungen setzt die Entwicklung hinreichend sensitiver und spezifischer Methodiken zur automatischen Müdigkeitserkennung voraus.

Weiterhin interessant für die Ableitung von Gestaltungsvorschlägen für Müdigkeitswarnsysteme ist das Konzept der Integration mit weiteren Assistenzsystemen. Informationen aus der Navigationsunterstützung beispielsweise können in mehrerlei Hinsicht sinnvoll genutzt werden. Zum einen könnten Routeninformationen (über Rastplätze, Infrastruktur, Fahrzeiten) in einem mehrstufigen System für eine prospektive Planung von Pausen dienen. Zum anderen könnte bei diagnostizierter starker Müdigkeit die oben angesprochene Möglichkeit der Kombination von konkreten Verhaltensempfehlungen (kurz schlafen, Kaffee trinken) mit kurzfristig aktivierenden Maßnahmen (kalte Luft, Radio) zur Überbrückung der Zeit, bis eine Pause gemacht werden kann, mit Navigationsinformationen wirkungsvoll unterstützt werden. Bei starker Ermüdung könnte das System automatisch die nächste geeignete Raststätte vorschlagen. Es ist davon auszugehen, dass durch den reduzierten kognitiven Aufwand die wahrgenommenen Kosten der Option „Pause“ ebenfalls reduziert werden. Zum dritten könnten durch Einbeziehung von Navigationsinformation sogar motivationale Zustände des Fahrers im Warnkonzept berücksichtigt werden. So wird beispielsweise die Motivation eines Fahrers, eine Schlafpause einzulegen, ab einem bestimmten Punkt sinken, je mehr er sich dem Fahrtziel annähert. Ist die Entfernung zum Fahrtziel dem Überwachungssystem bekannt, kann auf diese besondere motivationale Situation eingegangen werden, indem die Warnung persuasiver präsentiert wird.

Ob die Etablierung von Systemen zur Fahrerzustandsüberwachung tatsächlich zu einer Reduzierung müdigkeitsinduzierter Unfälle führt, hängt neben der Güte der Müdigkeitserkennung in erster Linie von einer angemessenen Fahrerreaktion auf entsprechende Rückmeldungen ab. Eine wichtige Stellgröße hierbei sind Überzeugungen des Fahrers, die seine Motivation zu warnungskonformem Verhalten beeinflussen. Wir gehen davon aus, dass durch gut gestaltete Warnkonzepte auf dieser Ebene die

Wahrscheinlichkeit, dass der Fahrer wirksame Gegenmaßnahmen ergreift, erhöht werden kann. Ein Instrument ist hierbei die Berücksichtigung unterschiedlicher Müdigkeitsgrade für eine differentielle Warnungsgestaltung.

Literatur

- [1] Anund, A., Kecklund, G., Peters, B., & Akerstedt, T. (2008). Driver sleepiness and individual preferences for countermeasures. *Journal of Sleep Research* 17, 16-22.
- [2] Wegman, F. & Aarts, L. (2006). *Advancing sustainable safety. National road safety outlook for 2005–2020*. SWOV Institute for road safety research. Leidschendam: The Netherlands.
- [3] Bourauel, R. (2009). Fahrerassistenzsysteme – Innovationen im Dienste der Verkehrssicherheit. *Mobil und Sicher*, 57(1). 8-9.
- [4] Wierwille, W.W. & Ellsworth, L.A. (1994). Evaluation of driver drowsiness by trained raters. *Accident Analysis and Prevention*, 26(5), 571-581.
- [5] Wogalter, M.S., DeJoy, D.M., & Laughery, K.R. (1999). Organizing Theoretical Framework: A Consolidated Communication-Human Information Processing (C-HIP) Model. In: M.S. Wogalter (Hrsg.), *Warnings and Risk Communication* (S. 15-24). London [u.a.]: Taylor & Francis.
- [6] DeJoy, D.M. (1999). Attitudes and Beliefs. In: M.S. Wogalter (Hrsg.), *Warnings and Risk Communication* (S. 189-219). London [u.a.]: Taylor & Francis.
- [7] Wogalter, M.S., Brelsford, J.W., Desaulniers, D.R., and Laughery, K.R. (1991). Consumer product warnings: The role of hazard perception, *Journal of Safety Research*, 22 , 71–82.
- [8] Wickens, C. D., & Hollands, J. G. (2000). *Engineering psychology and human performance*. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall
- [9] Horne, J.A. & Reyner, L.A. (1996). Counteracting driver sleepiness: effects of napping, caffeine, and placebo. *Psychophysiology*, 33(3). 306-309.
- [10] Reyner, L. A. & Horne, J. A. (1998). Evaluation "in-car" countermeasures to sleepiness: cold air and radio. *Sleep*, 21, 46-50.
- [11] Horne, J.A. & Foster, S.C. (1995). Can exercise overcome sleepiness? *Sleep Research*, 24A.
- [12] Landström, U., Åkerstedt, T., Byström, M., Nordström, B. & Wibom, B. (2004). Effect on Truck Drivers' Alertness of a 30-min. Exposure to Bright Light: A Field Study. *Perceptual and Motor Skills*, 98(31), 770-776
- [13] Maycock, G. (1996). Sleepiness and driving: the experience of UK car drivers. *Journal of Sleep Research*, 5, 229-237.
- [14] Hauß, Y. & Timpe, K.-P. (2002). Automatisierung und Unterstützung im Mensch-Maschine-System. In K.-P. Timpe, Th. Jürgensohn & H. Kolrep (Hrsg.), *Mensch-Maschine-Systemtechnik* (S. 41-62), Düsseldorf: Symposion Publishing GmbH.
- [15] Haller, R. (2001). Fahrer-Assistenz versus Fahrer-Bevormundung: Wie erreicht man, dass der Fahrer Herr der Situation bleibt? In Th. Jürgensohn & K.-P. Timpe (Hrsg.), *Kraftfahrzeugführung* (S. 31-38), Berlin: Springer.
- [16] Raudenbush, B., Corley, N., & Eppich, W. (2001). Enhancing athletic performance through administration of peppermint odor. *Journal of Sport and Exercise Psychology*, 23, 156-160.
- [17] Cherry, E. C. (1953). Some experiments on the recognition of speech, with one and two ears. *Journal of the Acoustic Society of America*, 25, 975–979.
- [18] Hartley, L., Horberry T. & Mabbot, N. (2000). *Review of fatigue detection and prediction technologies*. Melbourne: NTRC.