
1 Fahrerzustandserkennung

Ingmar Langer, Bettina Abendroth, Ralph Bruder

1.1 Einleitung und Motivation

1.1.1 Definition des Begriffes „Fahrerzustand“

Der Fahrerzustand umfasst die zeitveränderlichen Eigenschaften des Fahrers, die für die Fahraufgabe relevant sein können. Da der Zustand des Fahrers intraindividuellen Schwankungen unterliegt, kann in Abhängigkeit des Veränderungszeitraums zwischen kurzfristig (innerhalb von Minuten oder Sekunden) und mittelfristig (innerhalb von Stunden bzw. Tagen) veränderlichen Faktoren, die den Fahrerzustand beeinflussen, unterschieden werden (in Anlehnung an [1]), z.B.:

- Mittelfristig (Tage, Stunden) veränderliche Faktoren
 - Ermüdung
 - momentaner Gesundheits- bzw. Krankheitszustand
 - Tagesrhythmus
 - Alkohol-/Drogeneinfluss
- Kurzfristig (Minuten, Sekunden) veränderliche Faktoren
 - Aufmerksamkeit (z.B. selektiv, geteilt; visuell, auditiv)
 - Daueraufmerksamkeit (Vigilanz, Wachsamkeit)
 - Beanspruchung
 - akute Gesundheitsprobleme bzw. medizinische Notfälle (z.B. Herzinfarkt)
 - Situationsbewusstsein
 - Emotionen

Darüber hinaus haben auch die nicht oder nur langfristig veränderbaren Faktoren Auswirkungen auf den Fahrerzustand (beispielsweise die Konstitution oder die Persönlichkeit). Diese werden im Folgenden jedoch nicht weiter betrachtet (s. dazu ► Kap. ID#0100). In den nachstehenden Kapiteln werden die Themen Müdigkeit, Aufmerksamkeit und medizinische Notfälle näher beschrieben.

1.1.2 Einfluss eines kritischen Fahrerzustands auf das Unfallrisiko

Der Zustand des Fahrers hat einen großen Einfluss auf das Unfallrisiko. So belegen Analysen von Unfallursachen, dass Unaufmerksamkeit, also die Vernachlässigung der Informationsaufnahme, häufig die Hauptursache von Unfällen ist. So konnten in einer Datenanalyse [2] 455 von 695 Unfällen (dies entspricht etwa 65 %) beim Einbiegen / Kreuzen der Vernachlässigung anderer Verkehrsteilnehmer aufgrund von Unaufmerksamkeit zugeordnet werden. In der 100-Car-Study [3] konnte ein klarer Zusammenhang zwischen Unfällen bzw. Beinahe-Unfällen durch Unaufmerksamkeit und der Bearbeitung von Nebenaufgaben nachgewiesen werden. Es zeigte sich, dass der Umgang mit mobilen Endgeräten (z.B. Handys) die häufigste Form der Nebenaufgabe war und dass Blickabwendungen über zwei Sekunden das Unfallrisiko signifikant erhöhen.

Auch Müdigkeit (gemäß [4] können 10 bis 20 % der Unfälle im Straßenverkehr auf Müdigkeit am Steuer zurückgeführt werden), Alkoholisierung oder das Fahren unter Drogeneinfluss führen zu einem erhöhten Unfallrisiko. [3] fanden heraus, dass eine vorhandene Müdigkeit die Gefahr eines Unfalls bzw. Beinahe-Unfalls um den Faktor vier bis sechs erhöht und zu Unfällen mit den schwersten Unfallfolgen (vgl. [5]) führt, da müde Fahrer es schlicht verpassen, eine Handlung zur Kollisionsvermeidung (Bremsen oder Lenken) zu tätigen [6]. Ca. 3 % aller Verkehrstoten sind auf eine medizinisch bedingte Fahrunfähigkeit des Fahrers zurückzuführen [7].

1.1.3 Potentiale und Herausforderungen einer Fahrerzustandserkennung

Die Berücksichtigung von Merkmalen, die den Fahrerzustand beschreiben, kann es ermöglichen, dass (neuartige) Fahrerassistenzsysteme (FAS) das bereits sehr hohe Unfallvermeidungspotential noch weiter ausbauen. So ist es z.B. denkbar, dass relevante Systeminformationen so übertragen werden, dass der Fahrer sie in Abhängigkeit seines Zustandes, z.B. bei Unaufmerksamkeit, auch tatsächlich wahrnehmen kann. Ebenso können Warn- und Systemeingriffsstrategien an den Fahrerzustand angepasst werden und somit sowohl die Wirksamkeit als auch die Akzeptanz von Fahrerassistenzsystemen erhöht werden. Es erscheint beispielsweise unmittelbar sinnvoll, dass ein unaufmerksamer Fahrer früher bzw. deutlicher gewarnt wird - eine generelle frühe oder sehr auffällige Warnung birgt jedoch die Gefahr des „Warndilemmas“ (s. dazu ► Kap. ID#0704 und ID#0903).

Um die genannten Potenziale umsetzen zu können, muss es jedoch möglich sein, den Fahrerzustand zu ermitteln. Aktuell beschäftigen sich viele Forschungsarbeiten mit der Frage, wie der Fahrerzustand zuverlässig erhoben werden kann und wie die ermittelten Werte zu interpretieren sind.

Folgende unterschiedliche Anforderungen an Systeme, die den Fahrerzustand erkennen, werden in der Literatur genannt (u.a. [8], [9], [10]):

- Unaufdringlichkeit der Sensorik durch kontaktlose Messung
- geringe Rate von Falsch-Alarmen (s. ► Abschn. 1.6)
- adäquate Warn- bzw. Eingriffsstrategie, die den Fahrer zum Beispiel bei Müdigkeit zum Pausieren bewegt oder das Fahrzeug bei einem medizinischen Notfall in einen risikominimalen Zustand, zumeist ist dies der Stillstand am Fahrbahnrand, bringt
- Beachtung unerwünschter Verhaltensanpassungen (vgl. Risikohomöostase)

Erschwerend kommt hinzu, dass die Grenzen verschiedener Zustände durch starke interindividuelle Schwankungen schwer zu definieren sind (vgl. [11]). Außerdem bedarf es bei den meisten Sensoren zur Überwachung des Fahrerzustands einer hohen Robustheit gegen Artefakte (u.a. Bewegungen, Kräfte und Umgebungslicht).

Hinsichtlich der Unaufmerksamkeitserkennung ist eine weitere Herausforderung darin zu sehen, dass der Zustand nur sicher erkannt werden kann, wenn die Aufmerksamkeitsressourcen, die in der jeweiligen Fahrsituation nötig sind, und die vom Fahrer dafür bereitgestellten Ressourcen (oder die dahinterliegenden Kontrollprozesse) bekannt sind. Da dies messtechnisch nicht möglich ist, kann die Aufmerksamkeit nur mit Hilfe anderer Kriterien beurteilt werden [12]). So kann zum Beispiel über Blick- bzw. Kopfbewegungen die Blickrichtung des Fahrers ermittelt und so eine mögliche visuelle Unaufmerksamkeit identifiziert werden. Um die sich aus der aktuellen Fahrsituation ergebenden Anforderungen an die Aufmerksamkeit zu ermitteln, ist eine sichere Erkennung und Klassifikation der Umgebung erforderlich sowie Erkenntnisse darüber, welches Aufmerksamkeitsniveau in welcher Situation noch hinreichend ist. Eine Studie von [11] zeigt zudem, dass die Auswirkungen von aufmerksamkeitsrelevanten Störfaktoren stark situationsabhängig sind und dass in Abhängigkeit der Art der auftretenden Unaufmerksamkeit unterschiedliche Indikatoren zur Erkennung des Aufmerksamkeitszustandes geeignet sind. Langfristige Vigilanzminderungen (s. dazu ► Abschn. 1.2.1) können beispielsweise über kontinuierliche Indikatoren, die die Quer- oder Längsregelung beschreiben, erkannt werden. Kurzfristige Ablenkung kann hingegen besser über die Reaktionsbereitschaft auf spezifische Ereignisse (z.B. Bremsreaktionszeit auf ein plötzlich abbremsendes Vorderfahrzeug) erkannt werden.

Auch Müdigkeit ist nicht direkt messbar, sondern kann nur anhand der Messung von Folgeerscheinungen quantifiziert werden. Die Folgeerscheinungen können jedoch ebenfalls von Person zu Person schwanken. Für die Beurteilung ist zudem die Kenntnis von Werten notwendig, ab denen die Reduktion der Leistungsfähigkeit des Fahrers Auswirkungen auf die Fahrsicherheit hat.

Es muss festgehalten werden, dass nicht alle Messgrößen, die im Folgenden zur Beurteilung des

Fahrerzustands aufgeführt werden, die genannten Anforderungen erfüllen. Auch wenn die folgenden Kapitel primär auf die Methoden eingehen, die mit momentan verfügbaren Sensoren umsetzbar sind, werden weitere Forschungsansätze aufgrund ihres Weiterentwicklungspotenzials dargestellt.

1.2 Unaufmerksamkeitserkennung

1.2.1 Definition von Aufmerksamkeit

Häufig wird Aufmerksamkeit in folgende drei Komponenten unterteilt [13]: Selektive Aufmerksamkeit, geteilte Aufmerksamkeit und Daueraufmerksamkeit.

Bei der selektiven Aufmerksamkeit werden relevante Informationen aus der Umwelt ausgewählt und nicht relevante herausgefiltert. Die Betrachtung der selektiven Aufmerksamkeit ist für den Fahrkontext naheliegend, da der Fahrer allen potentiell relevanten Quellen Aufmerksamkeit zuweisen muss, um die in der Fahrsituation notwendigen Informationen verarbeiten zu können [12]. Strömen zu viele Informationen gleichzeitig auf den Fahrer ein (Erreichen der Kapazitätsgrenze), besteht die Gefahr, dass relevante Informationen zeitverzögert oder nicht wahrgenommen werden.

Bei der geteilten Aufmerksamkeit werden Informationen simultan aufgenommen bzw. verarbeitet, damit verschiedene Aufgaben gleichzeitig (mit ausreichender Leistung in den unterschiedlichen Aufgaben) ausgeführt werden können. Dazu bedarf es einer Koordination der Aufmerksamkeitsverteilung. Geteilte Aufmerksamkeit ist vom Fahrer z.B. dann gefordert, wenn er gleichzeitig den Abstand zu einem vorausfahrenden Fahrzeug visuell kontrollieren und den akustischen Anweisungen des Navigationsgerätes folgen muss. Je nachdem, welche Sinneskanäle gleichzeitig angesprochen werden, gelingt die Aufmerksamkeitsverteilung mehr oder weniger gut (vgl. [14]).

Daueraufmerksamkeit (auch Vigilanz genannt) beschreibt die Fähigkeit, über einen längeren Zeitraum relevante Informationen aus der Umwelt zu extrahieren und auf diese reagieren zu können (vgl. [13]).

Diese Aufmerksamkeitskomponenten zeigen, dass Verarbeitungsressourcen nicht nur hinsichtlich des Umfangs (Selektion und Teilung), sondern auch bezüglich der Aufrechterhaltung über einen längeren Zeitraum (Daueraufmerksamkeit) limitiert sind. Bei der Fahrzeugführung werden die meisten Informationen über den visuellen Sinneskanal aufgenommen. Dabei spielen alle oben genannten Aspekte eine wichtige Rolle, denn der Fahrer muss die wichtigen Informationen selektieren, relevante Änderungen in der Fahrumgebung oder im Fahrzeug (Systeminformationen) entdecken, während er die primäre Fahraufgabe bewältigt (Aufmerksamkeitsteilung), und möglichst ständig aufmerksam sein, damit er auf die Änderungen (auch in zeitkritischen Situationen) reagieren kann.

Häufig wird die Aufmerksamkeit auch mit Ablenkung in Verbindung gebracht. Von Ablenkung beim Autofahren wird gesprochen, wenn die Aufmerksamkeit des Fahrers auf ein Objekt, eine Aufgabe oder in eine Richtung gelenkt wird, die nicht zur primären Fahraufgabe gehören. **Wenn die Wahrnehmung von** Informationen nicht durch Ablenkung von anderen Informationen gestört wird, wird auch von fokussierter Aufmerksamkeit gesprochen [15].

Unaufmerksamkeit ist die unzureichende oder nicht vorhandene Aufmerksamkeit auf Aktivitäten, die für ein sicheres Fahren entscheidend sind ([16]; vgl. auch [17]).

1.2.2 Messgrößen und Messverfahren zur Unaufmerksamkeitserkennung

Es gibt unterschiedliche Möglichkeiten, um auf den Aufmerksamkeitszustand des Fahrers zu schließen [12]:

- Erfassung von Augenbewegung bzw. Kopforientierung per Kamera
- Erfassung von Nebentätigkeiten/Bedienhandlungen über die Fahrzeugsensorik oder

kamerabasiert

- Erfassung des Fahrzeugführungsverhaltens (z.B. Lenk- und Bremsverhalten) über die Fahrzeugsensorik

Während die Kopforientierung eine begrenzte Aussagekraft besitzt, da z.B. Blicke in ein Infotainmentdisplay auch ohne große Kopfbewegung möglich sind, hat die Erfassung der Blickbewegung ein großes Potential, die Ablenkung des Fahrers zu erfassen.

Gemäß [11] erscheint es sinnvoll, langfristige (kontinuierliche) und kurzfristige Fahrindikatoren zu unterscheiden. Mit langfristigen Indikatoren können Vigilanzminderungen erkannt werden, während der aktuelle Aufmerksamkeitszustand durch die kurzfristigen Indikatoren beschrieben werden kann.

Zu den geeigneten langfristigen Indikatoren, bei denen jedoch immer eine Situationsabhängigkeit beachtet werden muss, gehören nach [11]:

- Spurhaltung, v.a. die Standardabweichung der lateralen Position (SDLP) im Fahrstreifen
- Variationen im Lenkverhalten (Zunahme schneller, großer Lenkbewegungen; Abnahme kleiner Korrekturbewegungen)
- Variation von Abstand und Geschwindigkeit
- Zeitdauer bis zur Anpassung der Geschwindigkeit an externe Vorgaben

Zur Detektion des aktuellen Aufmerksamkeitszustands bzw. von kurzfristigen

Aufmerksamkeitsverringernungen können gemäß [11] Indikatoren verwendet werden, die typischerweise als Kriterien in Warnsystemen eingesetzt werden. Dazu zählen beispielsweise die TTC (Time-To-Collision), die Bremsstärke oder die Bremsreaktionszeit. Problematisch ist hierbei, dass diese Indikatoren erst dann reagieren, wenn die Situation bereits kritisch ist.

Über Änderungen in Lenkbewegungen kann u.U. auf die Ausführung einer Nebentätigkeit und einer damit verbundenen Unaufmerksamkeit des Fahrers geschlossen werden und es ist möglich, Nebentätigkeiten, wie die Bedienung des Infotainment-Systems, direkt zu erfassen [12].

Nach [11] ist das wiederholte Auftreten längerer Phasen ohne Lenkeingriffe, das von großen, schnellen Lenkbewegungen gefolgt wird, ein sicherer Hinweis auf einen unaufmerksamen Fahrer (vgl. auch ► Abschn. 1.3.2).

Nach [18] machen Alpha-Spindelraten aus einem Elektroenzephalogramm (EEG, s. auch ► Abschn. 1.3.2) eine Einschätzung der Fahrerablenkung und die Unterscheidung zwischen einem Fahren mit bzw. ohne Nebenaufgabe im Realverkehr möglich.

1.2.3 Anwendungsfälle einer Unaufmerksamkeitserkennung

Eine Unaufmerksamkeitserkennung kann beispielsweise in adaptive Warnstrategien (in der abhängig vom Aufmerksamkeitszustand gewarnt wird oder eine Warnung unterdrückt wird) und die Anpassung der Warnzeitpunkte (je nachdem, ob der Fahrer unaufmerksam ist oder nicht) einfließen.

Zur Überwachung der Aufmerksamkeitsausrichtung wird in einem Forschungsfahrzeug der Continental AG („Driver Focus Vehicle“) eine Kamera auf der Lenksäule verwendet. Durch die Verwendung einer Infrarotkamera kann die Blickrichtung des Fahrers weitestgehend unabhängig von der Umgebungshelligkeit ermittelt werden. Zur Lenkung der Aufmerksamkeit des Fahrers auf eine Gefahrensituation wird in [19] ein Ansatz über ein LED-Lichtband (● Abb. 1.1) beschrieben. Die Aufmerksamkeitslenkung ist besonders relevant, wenn zuvor festgestellt werden konnte, dass die Aufmerksamkeit des Fahrers aktuell nicht auf dem entscheidenden Bereich liegt.

Platzhalter Abbildung Start

Abb. 1.1 LED-Lichtband zur Leitung der Aufmerksamkeit des Fahrers [20]

Bildrechte: [20]

Datei:

O:\Fahrgzeugergonomie\Team\Fahrerzustandserkennung_Handbuch_FAS\Bilder\Bild_Continenta

1.3 Müdigkeitserkennung

1.3.1 Definition von Müdigkeit bzw. Ermüdung

Unter Ermüdung wird im Allgemeinen eine als Folge von Tätigkeit auftretende reversible Herabsetzung der Funktionsfähigkeit eines Organs oder eines Organismus verstanden. Durch Erholung kann Ermüdung vollständig rückgängig gemacht werden.

Gemäß dem erweiterten Belastungs-Beanspruchungs-Konzept [21] kann Ermüdung als Folge von Beanspruchungen auftreten und zu einer Anpassung der menschlichen Leistungsvoraussetzungen führen.

[22] definiert Ermüdung als „einen Zustand vorübergehender Beeinträchtigung von Leistungsvoraussetzungen durch andauernde Tätigkeitsanforderungen, welche die Möglichkeiten der laufenden Wiederherstellung von Leistungsvoraussetzungen überschreiten“.

Der Begriff Ermüdung kann nach unterschiedlichen Kriterien in systematisch zu unterscheidende Kriterien zerlegt werden (s. ● Abb. 1.2). Die Begriffe Ermüdung, Müdigkeit und Schläfrigkeit werden in der Literatur meist nicht eindeutig voneinander unterschieden. In diesem Kapitel werden die Begriffe synonym verwendet, da im Fahrzeugkontext oftmals von Müdigkeitserkennung gesprochen wird.

Platzhalter Abbildung Start

Abb. 1.2 Abgrenzungen zum Ermüdungsbegriff nach [23]

Bildrechte: [23]

Datei:

O:\Fahrzeugergonomie\Team\Fahrerzustandserkennung_Handbuch_FAS\Bilder\Bild_Luczak_Ermüdung_neu.tif

Platzhalter Abbildung Stop

[23] definiert in der sukzessiven Destabilisierungstheorie vier Ermüdungsgrade, die eine Beschreibung des Ermüdungsverlaufs ermöglichen. Während in der ersten Stufe erste kaum zu bemerkende Störungen in den psychophysiologischen Funktionsbereichen auftreten, werden die Störungen im zweiten Ermüdungsgrad auch für die Person selbst beobachtbar. Der Mittelwert der Leistungskurve bleibt gleich, auch wenn eine erhöhte Leistungsstreuung auftritt und auch die Häufigkeit von Fehlleistungen (z.B. Fahrfehlern) zunimmt. Im „Ermüdungsgrad 3“ fällt die Leistung hingegen ab. Eine weitere Verschärfung zum vierten Grad mündet in erschöpfungsähnlichen Zuständen, die in der Regel in einer Arbeitsverweigerung enden.

Dies zeigt, dass Ermüdung ein langsam einsetzender Prozess ist und dass die Detektion von Ermüdung bereits in frühen Stadien dieses Prozesses sinnvoll ist, um erste Maßnahmen (z.B. Warnung des Fahrers) bereits in Ermüdungsphasen zu ergreifen, in der es noch nicht zu kritischen Leistungsreduktionen kommt.

Eine Studie zeigt bei Lkw-Fahrern als Folge von Müdigkeit u.a. die Abschwächung der Aufmerksamkeit und die Erhöhung von Reaktionszeiten auf kritische Ereignisse [24].

1.3.2 Messgrößen und Messverfahren zur Müdigkeitserkennung

Die Fahrperformanz (u.a. Lenkverhalten und Spurhaltung), das Lidschlussverhalten (z.B. mittels spezieller Eyetracking-Systeme), das EEG und der pupillografische Schläfrigkeitstest werden zu den validesten Möglichkeiten der Müdigkeitserfassung gezählt (vgl. [4]). Weiterhin kann auch mit einem Elektrokardiogramm (EKG, u.a. zur Messung der Herzschlagfrequenz) oder durch subjektive

Befragung Müdigkeit ermittelt werden. Durch die Kombination von zwei oder mehr Messverfahren wird i.d.R. eine zuverlässigere Detektion von Müdigkeit erreicht.

Die Indikatoren, die eine Müdigkeit erkennbar machen, können grundlegend in menschbezogene und fahrzeugbezogene Indikatoren unterteilt werden. Im Folgenden werden einige der möglichen Indikatoren erläutert. Ein Überblick über mögliche Müdigkeitsmessverfahren und von bestehenden Müdigkeitsmesssystemen wird in [4] gegeben.

Menschbezogene Messgrößen

Die Erfassung der Augenaktivität ist ein weit verbreitetes und valides Verfahren zur Erfassung von Müdigkeit bei der Fahrzeugführung. Die Erfassung des Lidschlussverhaltens ist prinzipiell mittels kamerabasierter Systeme bzw. die Erfassung des Blickverhaltens über Eyetracking-Systeme möglich.

Tab. 1.1 Beschreibung einer Auswahl von möglichen Augen-bezogenen Messgrößen

Messgröße	Erläuterungen zur Messgröße	Literatur
Pupillendurchmesser	Messung über Pupillometrie (kamerabasiert, Infrarotlicht) Ermüdung kann über Veränderung des Durchmessers festgestellt werden (Frequenz der Pupillenoszillation wird niedriger) Hohe Anfälligkeit bzgl. Umgebungsfaktoren (v.a. Helligkeit)	[10], vgl. [25]
Augenöffnungsgrad	Kamerabasierte Messung möglich Abstand zwischen dem oberen und dem unteren Augenlid (bei auftretender Müdigkeit kleiner)	[6], [10]
Lidschlussdauer	Kamerabasierte Messung möglich Bei vorhandener Müdigkeit länger	[6], [9], [10]
Zeitverzug bis zur Wiedereröffnung des Lides	Kamerabasierte Messung möglich Bei vorhandener Müdigkeit größer	[9]
Lidschlussfrequenz	Kamerabasierte Messung möglich Bei vorhandener Müdigkeit höher	[9], [10]
Lidschlussgeschwindigkeit	Kamerabasierte Messung möglich Wird mit steigender Müdigkeit langsamer	[4], [6], [9], [10]
PERCLOS (PERcentage of eye CLOSure)	Zeitanteil, bei dem die Augen bezüglich der Augenlidspalte 80 % oder mehr geschlossen sind Kamerabasierte Messung möglich wird bei Müdigkeit größer, reagiert aber erst bei fortgeschrittener Müdigkeit	[26], [27]

[Tabellenfußzeile - bitte überschreiben]

Anhand der Indikatoren Augenöffnungsdauer und Lidschlussdauer bestimmt [5] in Fahrversuchen vier Müdigkeitsstadien (teilweise vergleichbar mit [23], ● Abb. 1.3).

Platzhalter Abbildung Start

Abb. 1.3 Klassifikation von Müdigkeitsstadien [5]

Bildrechte: [5]

Datei:

O:\Fahrzeugergonomie\Team\Fahrerzustandserkennung_Handbuch_FAS\Bilder\Bild_Hargutt_Müdigkeitsstadien_neu.tif

Während in Stadium 1 („vigilanzgemindert“) die Aufmerksamkeitsleistung abnimmt, bleibt die Fahrleistung noch unverändert. Veränderungen werden in der Nebenaufgabe identifiziert, während der Fahrer sich möglicherweise noch als absolut wach wähnt. In Stadium 2 („müde“) wirkt sich der beeinträchtigte Fahrerzustand auf die Ausführung der Fahraufgabe aus. Ermüdet der Fahrer weiter, erreicht er das Stadium 3 („schläfrig“), bei dem alle Ressourcen verbraucht sind, wodurch grobe Fahrfehler immer wahrscheinlicher werden. Spätestens zu diesem Zeitpunkt sollte die Fahrt unterbrochen werden. Es konnte eine Überlegenheit der Kombination von Augenöffnungsdauer und Lidschlussdauer gegenüber dem Vergleichsmaß PERCLOS festgestellt werden, da eine höhere Sensitivität für frühe Müdigkeitsstadien vorliegt (zuvor konnten nur ca. 40 % der frühen Stadien von Müdigkeit aufgeklärt werden) und da Phasen kurz vor dem Einschlafen zuverlässiger erkannt werden können [5].

Durch ein EEG können mittels Elektroden auf der Kopfhaut Veränderungen in den Frequenzbändern der Gehirnwellenaktivität festgestellt werden. Dabei geben Häufigkeit, Dauer und Amplitude sogenannter Alpha-Spindeln Hinweise auf den vorliegenden Müdigkeitsgrad (z.B. [10]). Zurzeit erfüllt die Methode der EEG Messung jedoch noch nicht die Anforderung der kontaktlosen Messung.

Letztlich können auch mit Hilfe der Messgrößen Herzschlagfrequenz, Herzschlagvariabilität und Hautleitwert Hinweise auf Müdigkeit gewonnen werden.

Fahrzeugbezogene Messgrößen

Bei steigender Müdigkeit treten häufiger Fahrfehler auf ([4]; vgl. Ermüdungsgrad 2 [23]). Daher gibt es viele Ansätze, die Daten des Fahrverhaltens (z.B. Lenkbewegungen, Geschwindigkeits- und Bremsverhalten, Abweichungen von der Idealspur oder auch Kennwerte wie die TTC; [8]) auszuwerten, um auf die Müdigkeit von Fahrern schließen zu können. Die Vorteile der Müdigkeitsermittlung aus den Daten des Fahrerverhaltens liegen in der berührungslosen sowie kostengünstigen Aufzeichnung der Daten. Als Nachteil erweist sich jedoch, dass die Müdigkeitserfassung im Stadtverkehr anhand von Daten aus dem Fahrzeugquerführungsverhalten aufgrund der Störanfälligkeit durch Streckencharakteristika schwierig ist (vgl. [4]).

Bei den Versuchen von [28], in denen über eine dreistündige Versuchsfahrt in der monotonen Umgebung eines Testgeländes Müdigkeit induziert wurde, konnten signifikante Zusammenhänge zwischen der Steering-Wheel-Reversal-Rate (SWRR, gemäß [29] die Häufigkeit, in der die Lenkrichtung über einen Mindestwinkel („gap“) hinaus gewechselt wurde) und der Selbsteinschätzung mittels KSS festgestellt werden: Mit steigender Müdigkeit nimmt die Frequenz von großen Lenkradbewegungen zu, während die Gesamtanzahl von Lenkradbewegungen abnimmt. [28] stellen hohe Standardabweichungen in den Ergebnissen fest, die das Vorhandensein von starken interindividuellen Unterschieden verdeutlichen.

Unterschiedliche Anwendungsfälle einer Müdigkeitserkennung sind in ► Abschn. 1.5 beschrieben.

1.4 Erkennung medizinischer Notfälle

Die Leistung, die ein Mensch erbringen kann, wird u.a. vom aktuellen Gesundheitszustand beeinflusst. Insbesondere relevant ist dies bei plötzlich eintretenden Veränderungen des Gesundheitszustandes während der Fahrt, wie z.B. beim Auftreten medizinischer Notfälle, zu denen u.a. Herzinfarkte oder Schlaganfälle zählen.

Aufgrund des demographischen Wandels wird die Anzahl älterer Verkehrsteilnehmer im Straßenverkehr zunehmen, womit auch eine Zunahme von medizinisch bedingten Kontrollverlusten am Steuer zu erwarten ist. Insbesondere das vermehrte Auftreten von kardiovaskulären Erkrankungen (z.B. Herzinfarkte) ist zu erwarten [7], die eine plötzlich auftretende Fahruntüchtigkeit des Fahrers bewirken, wodurch in der Folge häufig schwere Unfälle entstehen können. Die Überwachung des Gesundheitszustands, um bei entsprechenden Problemen eingreifen zu können und das Fahrzeug z.B. sicher zum Stillstand zu bringen, wird

somit an Bedeutung gewinnen.

1.4.1 Messgrößen und Messverfahren zur Erkennung medizinischer Notfälle

[30] fassen zusammen, dass Daten aus einem EKG, aus einer Plethysmographie (Messverfahren zu Volumenschwankungen eines Körperteils oder Organs) und die Überwachung des Blutdrucks dazu genutzt werden können kardiologische Notfälle (Herzinfarkte und Herzrhythmusstörungen) und Synkopen (Kreislaufkollaps) zu erkennen (s. auch ● Tab. 1.2). Zudem eignen sich die Indikatoren zur Detektion von Epilepsie und Schlaganfällen, wobei Daten aus einem EEG diese beiden Notfälle besser erkennbar machen. Während die Blutzuckerkonzentration einen Zuckerschokk erkennbar werden lässt, kann die Überwachung der Atmung bei der Detektion von Epilepsie und Synkopen helfen (beide Indikatoren sind mit aktueller Sensorik jedoch nicht während der Fahrt messbar).

Tab. 1.2 Messgrößen zur Detektion medizinischer Notfälle im Fahrzeug (Auszug aus [30]): + gut erkennbar, (+) erkennbar, o weniger gut erkennbar

	Kardiologische Notfälle	Epilepsie	Synkope	Zuckerschokk	Schlaganfall
Elektrokardiogramm (EKG)	+	(+)	+	o	(+)
Plethysmographie	+	(+)	+	o	(+)
Blutdruck	+	(+)	+	o	(+)
Elektroenzephalogramm (EEG)		+			+
Blutzuckerkonzentration				+	
Atmung	o	(+)	(+)	o	o

[Tabellenfußzeile - bitte überschreiben]

Ebenso sind Informationen über die Sauerstoffsättigung des Blutes, die Körpertemperatur sowie Informationen bezüglich Lage und Bewegungen des Fahrers prinzipiell dazu geeignet, medizinische Notfälle des Fahrers zu identifizieren [31].

Aktuelle Forschungsergebnisse zeigen, mit welchen Sensoren während der Fahrt Gesundheitsindikatoren erfasst werden können - hier liegt der Schwerpunkt auf der Ermittlung der Herzschlagfrequenz. Es werden jedoch auch Verfahren zur Erhebung des EKG, des Hautleitwertes sowie der Sauerstoffsättigung diskutiert. Einige Forschungsarbeiten bewerten die Eignung von kamerabasierten Verfahren, da diese die Anforderung der kontaktlosen Messung erfüllen und mit weiteren Anwendungen im Fahrzeug kombiniert werden können (z.B. Müdigkeits- oder Unaufmerksamkeitserkennung). Kamerabasierte Verfahren können den Herzschlag über Blutvolumenänderungen in Blutgefäßen (Plethysmographie) im Gesicht ermitteln, da sich dort keine Einschränkungen durch Bekleidung ergeben. Allerdings sind Artefakte durch die Umgebungsbeleuchtung möglich.

[30] stellen fest, dass eine Farbkamera, die im Kombiinstrument verbaut ist, bei mittlerer Artefaktanfälligkeit eine gute Detektierbarkeit der Herzschlagfrequenz verspricht, während andere Sensorik (z.B. kapazitiv oder magnetisch induktiv) anfälliger für Artefakte ist.

Auch mit einfachen Webcams ist es möglich über Veränderungen im Grad der Lichtreflexion Auffälligkeiten im Herzkreislaufsystem zu detektieren [32]. Die erhobenen Werte korrelierten mit bis zu $r = 0,98$ mit dem Referenzwert, einer Messung per Fingersensor. Auch wenn die besten

Ergebnisse bei ruhig sitzenden Probanden erzielt werden konnten, kamen bei kleineren Bewegungen ebenfalls gute Ergebnisse zustande. Probleme treten bei großen Kopfbewegungen und bei schlechten Lichtverhältnissen auf [32]. Neben der in der Studie ermittelten Herzschlagfrequenz können andere Indikatoren wie die Herzschlagvariabilität mit der Methode ebenfalls geschätzt werden.

Über den von [33] entwickelten Pkw-Sitz mit Mehrkanal-EKG-System in der Rückenlehne kann mittels kapazitiver Elektroden kontaktlos und unmerklich die Herzaktivität gemessen werden, da diese über Potentiale auf der Körperoberfläche selbst durch Kleidung ermittelbar ist. Die Signalqualität ist von dem Anpressdruck auf den Sitz und damit auch vom Körpergewicht, der Körpergröße und Körperstatur abhängig. Durch eine geeignete Elektrodenkonfiguration können in statischen Versuchen bei ca. 90 % der Probanden Messwerte aufgezeichnet werden. Weiteren Einfluss auf die Signalqualität haben Bewegungsartefakte, die beispielsweise bei sehr dynamischer Fahrweise auftreten können und die Bekleidung der Fahrer.

Über eine Sensoreinheit am Lenkrad ist es möglich, die Bioindikatoren Herzschlagfrequenz, Sauerstoffsättigung und Hautwiderstand zu messen [34]. Mit dem am Lenkradumfang angebrachtem Sensor konnten in Realfahrversuchen in über 81 % der Zeit Werte erhoben werden. Über 90 % der Probanden des Versuchs wünschen sich ein Nothaltesystem, das einen medizinischen Notfall erkennen kann und das Fahrzeug in der Folge sicher stoppt.

1.4.2 Anwendungsfall „Nothalteassistent“

Die Anforderungen an ein automatisches Nothalteassistenzsystem auf Autobahnen sind gemäß [30] die automatische Weiterfahrt und Durchführung von Fahrstreifenwechseln zur Erreichung einer risikominimalen Anhalteposition, eine geeignete Abbruchstrategie, keine automatische Erhöhung der Fahrzeuggeschwindigkeit, Strategien zur Warnung bzw. Information anderer Verkehrsteilnehmer, die Einhaltung von gewissen Mindestgeschwindigkeiten, das Einbeziehen von Kartendaten für eine geeignete Haltemöglichkeit und die Wahl eines geeigneten Bedienkonzepts, damit eine ungewollte Übersteuerung bzw. Fehlabbrüche (beispielsweise durch Bewusstlosigkeit) vermieden werden können.

[35] beschreiben einen Nothalteassistenten, der es möglich machen soll, Unfälle durch gesundheitlich bedingte Kontrollverluste zu vermeiden bzw. die Schwere derartiger Unfälle zu mindern. Der Assistent soll dazu das Fahrzeug in einen sicheren Zustand überführen, indem ein abgesichertes Nothaltemanöver durchgeführt wird, wodurch das Fahrzeug im besten Fall gefahrlos auf dem Seitenstreifen einer Autobahn zum Stehen kommt (s. ● Abb. 1.4). Nach dem Stillstand können weitere Schritte wie Erstversorgung oder Notruf (eCall, s. ► Abschn. 1.5) eingeleitet werden. Besondere Herausforderungen sind nach [35] bei der Durchführung der abgesicherten Fahrstreifenwechsel zu finden - dies insbesondere bei höherem Verkehrsaufkommen.

Platzhalter Abbildung Start

Abb. 1.4 Schematische Durchführung der abgesicherten Fahrstreifenwechsel (BMW Group Forschung und Technik)

Bildrechte: BMW Group Forschung und Technik

Datei:

O:\Fahrzeugergonomie\Team\Fahrerzustandserkennung_Handbuch_FAS\Bilder\Bild_BMW.tif

Platzhalter Abbildung Stop

1.5 Marktverfügbare Systeme zur Fahrerzustandsüberwachung

Das Kapitel beschreibt Beispiele von marktverfügbaren Systemen zur Überwachung von Unaufmerksamkeit und Müdigkeit aus aktuellen Fahrzeugmodellen.

Neben diesen gibt es weitere Systeme, die beispielsweise auf eine Unaufmerksamkeit reagieren, jedoch nicht die Aufgabe haben, den Fahrerzustand zu überwachen. Zu diesen Systemen kann der Verkehrszeichen-Assistent von Daimler gezählt werden, der gemäß [36] dahingehend weiterentwickelt wurde, dass auch Warnungen bei fehlerhaften Einfahren auf die Autobahn („Geisterfahrer“) ausgegeben werden. Ein weiteres Beispiel sind Systeme, die vor einem unbeabsichtigten Verlassen des Fahrstreifens warnen (z.B. Audi „lane assist“, s. auch ► Kap. ID#0905). Auch Abstands- oder Kollisionswarner werden aktiv, wenn der Fahrer aufgrund seines aktuellen Zustands selbst nicht reagiert. Außerdem können sogenannte „eCall“-Systeme (beispielsweise der „Intelligente Notruf“ von BMW) genannt werden, die nach der Auslösung von Rückhaltesystemen (Airbag, Gurtstraffer) bei einem Unfall aktiv werden und automatisch Daten wie den Unfallort in eine Servicezentrale und teilweise auch Daten zur Unfallschwere übermitteln, wodurch eine erste Einschätzung des Gesundheitszustands der Insassen möglich wird.

Es ist zu erwarten, dass in Zukunft immer mehr Systeme auf den Fahrerzustand als direkte Eingangsgröße zurückgreifen.

ATTENTION ASSIST (Mercedes-Benz)

Das System überwacht den Fahrerzustand hinsichtlich Müdigkeit und damit einhergehender Unaufmerksamkeit. Gemäß [36] kann sich der Fahrer ständig über den vom System ermittelten sogenannten „Attention Level“ (Aufmerksamkeitszustand in fünf Stufen) informieren und eine frühzeitigere Pausenplanung beginnen. Wird dem Fahrer eine Pause empfohlen, zeigt das System das bereits aus der ersten Generation bekannte „Kaffeetassen-Symbol“ (s. ● Abb. 1.5). Nach der Warnmeldung bietet das Navigationssystem eine Rastplatzsuche an. Das System ist im Geschwindigkeitsbereich 60 bis 200 km/h aktiv. Der Fahrer hat die Möglichkeit, das System auf den Modus „Empfindlich“ (Alternativmodus „Standard“) einzustellen, in welchem der Algorithmus sensibler reagiert und der Fahrer früher gewarnt wird.

Platzhalter Abbildung Start

Abb. 1.5 Verschiedene Stufen des Attention Levels aus [36]

Bildrechte: [36]

Datei:

O:\Fahrzeugergonomie\Team\Fahrerzustandserkennung_Handbuch_FAS\Bilder\Bild_Missel.tif

Platzhalter Abbildung Stop

Das System erstellt zu Beginn einer Fahrt ein individuelles Fahrerprofil, das fortan kontinuierlich mit dem aktuellen Fahrerverhalten verglichen wird [37]. Folgende Indikatoren werden zur Erkennung einer zunehmenden Ermüdung bzw. Unaufmerksamkeit herangezogen: das Lenkverhalten, die Fahrbedingungen (die aktuelle Uhrzeit und die Fahrdauer bzw. die Geschwindigkeit), äußere Einflüsse wie Seitenwind oder Fahrbahnebenenheiten und das Bedienverhalten (beispielsweise die Frage, ob bei einem Fahrstreifenwechsel der Fahrtrichtungsanzeiger betätigt wurde).

Driver Alert (Ford)

Über eine Frontkamera, die hinter dem Innenspiegel verbaut ist, kann das System von Ford die Fahrbahnmarkierungen auf beiden Seiten detektieren [38]. Aus dem Vergleich der lateralen Sollposition und der aktuellen Position des Fahrzeugs kann rückgeschlossen werden, ob der Fahrer müde ist, da ein müder Fahrer dazu neigt, von einer zur anderen Seite zu pendeln. Sobald eine signifikante Abweichung erkannt wurde (und diese keinem Fahrstreifenwechsel zugeordnet werden kann), beginnt ein zweistufiger Warnprozess. Zuerst erscheint eine Hinweismeldung im Kombiinstrument für 10 Sekunden und eine akustische Warnung. Zeigt der Fahrer in der Folge weiterhin Anzeichen von Müdigkeit, folgt eine aufdringlichere Warnung, die vom Fahrer mit einem Tastendruck bestätigt werden muss.

Driver Alert Control (Volvo)

Das System analysiert über eine Frontkamera, wie der Fahrer zwischen den

Fahrbahnmarkierungen fährt und warnt über einen Warnton und einen Hinweis im Kombiinstrument, wenn der Fahrer müde oder abgelenkt ist [39]. Das System vergleicht das Lenkverhalten mit zuvor erlernten Mustern und erkennt Schwankungen im seitlichen Abstand zur Fahrstreifenmarkierung.

Driver Monitoring Camera (Toyota) und Driver Attention Monitor (Lexus)

Bei diesem System überwacht eine auf der Lenksäule angebrachte Kamera, ob der Fahrer geradeaus schaut und warnt ihn, wenn eine Kollision mit einem Hindernis droht. Das System kann zusätzlich eine Bremsung unterstützen [40].

Müdigkeitserkennung (Volkswagen)

Das System von Volkswagen (beispielsweise im VW Passat) warnt den Fahrer über einen Hinweis im Kombiinstrument und ein akustisches Signal, wenn eine Ermüdung detektiert wurde und eine Pause empfohlen wird. Gemäß [41] ist der Lenkwinkel das wichtigste Signal zur Detektion. Weiterhin werden Signale wie die Fahrpedalbetätigung, die Querbeschleunigung und die Bedientätigkeit des Fahrers zur Beurteilung herangezogen. Die Signale werden dazu mit einem charakteristischen Verhalten vom Fahrtbeginn verglichen.

1.6 Falsch- und Fehlalarmierung bei der Zustandserkennung

Je weniger Falschalarme („false positives“, z.B. der Fahrer ist nicht müde, das System erkennt jedoch eine Müdigkeit) in einem Warnsystem vorkommen, desto höher ist die Akzeptanz des Systems (vgl. ► Kap. ID#0704). Bei der Systemauslegung gilt es, den Zielkonflikt zwischen Falschalarmen und Fehlalarmen („false negatives“, z.B. das System detektiert keine Müdigkeit, obwohl der Fahrer müde ist) zu beachten, indem die Grenzwerte bzw. Algorithmen der Systeme entsprechend angepasst werden.

Hier ergibt sich das Problem, dass es zwar Möglichkeiten gibt, den Zustand des Fahrers mit verschiedenen Messverfahren im Fahrzeug zu beurteilen, oftmals aber noch Forschungsarbeiten fehlen, die eine Aussage darüber treffen, ab welchem Grenzwert relevante Auswirkungen des Fahrerzustands auf die Fahrsicherheit zu erwarten sind.

Da der Fahrerzustand nicht direkt gemessen werden kann, sondern immer nur über Indikatoren auf seinen Zustand geschlossen werden kann, ist zu empfehlen, dass mehrere unterschiedliche Indikatoren parallel gemessen und bewertet werden, auch wenn sich hierbei durch die Notwendigkeit unterschiedlicher Sensoren Kostennachteile ergeben.

Insbesondere, wenn der Fahrer über mögliche erkannte Fahrerzustände, wie Müdigkeit, eine falsche Rückmeldung bekommt, kann das Vertrauen in das System verloren gehen, da der Fahrer in der Regel seinen Zustand selbst einschätzen und dementsprechend Systemfehlfunktionen identifizieren kann. Verhaltenshinweise von Systemen werden dann möglicherweise vom Fahrer ignoriert.

Es muss kritisiert werden, dass bei den aktuellen Messverfahren nur selten „überzeugende Validierungsbelege oder Angaben zur Anzahl falscher und ausbleibender Alarme angeführt“ [4] werden. Da Fahrerzustandserkennungssysteme eindeutig einen Zuwachs an Sicherheit bedeuten, ist hier weiterer Forschungs- und Entwicklungsbedarf vorhanden.

Quellenverzeichnis

- [1] Kopf, M.: Was nützt es dem Fahrer, wenn Fahrerinformations- und -assistenzsysteme etwas über ihn wissen? In Maurer, M.; Stiller, C. (Hrsg.): Fahrerassistenzsysteme mit maschineller Wahrnehmung. Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, 2005.
- [2] Vollrath, M.; Briest, S.; Schießl, C.; Drewes, J.; Becker, U.: Ableitung von Anforderungen an Fahrerassistenzsysteme aus Sicht der Verkehrssicherheit: Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen - Fahrzeugtechnik Heft F 60: Wirtschaftsverlag NW Verlag für neue Wissenschaft GmbH, Bremerhaven, 2006.
- [3] Klauer, S. G.; Dingus, T. A.; Neale, V. L.; Sudweeks, J. D.; Ramsey, D. J.: The Impact of Driver

-
- Inattention on Near-Crash/Crash Risk: An Analysis Using the 100-Car Naturalistic Driving Study Data: Report No. DOT HS 810 594. National Highway Traffic Safety Administration, Washington, DC, 2006.
- [4] Platho, C.; Pietrek, A.; Kolrep, H.: Erfassung der Fahrermüdigkeit: Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen - Fahrzeugtechnik Heft F 89. Fachverlag NW in der Carl Schünemann Verlag GmbH, Bremen, 2013.
- [5] Hargutt, V.: Das Lidschlussverhalten als Indikator für Aufmerksamkeits- und Müdigkeitsprozesse bei Arbeitshandlungen: In VDI Fortschritt-Bericht Nr. 17 (223). VDI Verlag, Düsseldorf, 2003.
- [6] Jan, T. von; Karnahl, T.; Seifert, K.; Hilgenstock, J.; Zobel, R.: Don't sleep and drive – VW's fatigue detection technology. In Proceedings - 19th International Technical Conference on the Enhanced Safety of Vehicles, National Highway Traffic Safety Administration, Washington, DC, 2005.
- [7] Mirwaldt, P.; Bartels, A.; To, T.-B.; Braer, M.; Malberg, H.; Zaunseder, S.; Lemmer, K.: Evaluation von Sensoren zur kontaktlosen Messung der Herzrate im Fahrzeug. In VDI-Berichte 2205: Der Fahrer im 21. Jahrhundert. VDI Verlag, Düsseldorf, 2013.
- [8] Knipling, R. R.; Wierwille, W. W.: Vehicle-Based Drowsy Driver Detection: Current Status and Future Prospects. In IVHS America Fourth Annual Meeting, Atlanta, GA, 1994.
- [9] Schleicher, R.; Galley, N.; Briest, S.; Galley, L.: Blinks and saccades as indicators of fatigue in sleepiness warnings: looking tired? In Ergonomics, Vol. 51, Nr. 7, 2008.
- [10] Karrer-Gauß, K.: Prospektive Bewertung von Systemen zur Müdigkeitserkennung: Ableitung von Gestaltungsempfehlungen zur Vermeidung von Risikokompensation aus empirischen Untersuchungen. Dissertation, TU Berlin, 2011.
- [11] Rauch, N.; Schoch, S.; Krüger, H.-P.: Ermittlung von Fahreraufmerksamkeit aus Fahrverhalten: BMWi Projekt AKTIV-AS- Teilprojekt FSA. 2007.
- [12] Blaschke, C.: Fahrerzustandserkennung zur Optimierung von Spurhalteassistenzsystemen. Dissertation, Universität der Bundeswehr München, 2011.
- [14] Posner, M. I.; Rafal, R. D.: Cognitive theories of attention and the rehabilitation of attentional deficits. In Meier, M. J.; Benton, A. L.; Diller L. (Hrsg.): Neuropsychological Rehabilitation. Churchill Livingstone, Edinburgh, 1987.
- [14] Wickens, C. D.: Multiple resources and performance prediction. In Theoretical Issues in Ergonomics Science, Vol. 3, Nr. 2, 2002.
- [15] Schlick, C. M.; Bruder, R.; Luczak, H.: Arbeitswissenschaft. Springer, Berlin [u.a.], 2010.
- [16] Regan, M. A.; Hallett, C.; Gordon, C. P.: Driver distraction and driver inattention: Definition, relationship and taxonomy In Accident Analysis & Prevention, Vol. 43, Nr. 5, 2011.
- [17] Lee, J. D.; Young, K. L.; Regan, M. A.: Defining Driver Distraction. In Regan, M. A.; Lee, J. D.; Young, K. L. (Hrsg.): Driver distraction - Theory, effects and mitigation. CRC Press, Boca Raton, 2008.
- [18] Sonnleitner, A.; Treder, M.; Simon, M.; Willmann, S.; Ewald, A.; Buchner, A.; Schrauf, M.: Analysis and Single-Trial Classification of EEG Alpha Spindles on Prolonged Brake Reaction Times During Auditory Distraction in a Real Road Driving Study. In Accident Analysis and Prevention, Vol. 62 (Jan), 2014.
- [19] Pfromm, M.; Cieler, S.; Bruder, R.: Driver Assistance via Optical Information with Spatial Reference. In Proceedings of the 16th International IEEE Annual Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC 2013). The Hague, 2013.
- [20] Continental. Continental Counts on LEDs as Co-pilot. (http://www.continental-corporation.com/www/pressportal_com_en/themes/press_releases/3_automotive_group/interior/press_releases/pr_2013_02_07_driver_focus_en.html). 2013.
- [21] Rohmert, W.: Das Belastungs-Beanspruchungs-Konzept. In Zeitschrift für Arbeitswissenschaft, Vol. 1984, Nr. 4, 1984.
- [22] Hacker, W.: Ermüdung. In Greif, S.; Holling, H.; Nicholson, N. (Hrsg.): Arbeits- und Organisationspsychologie: Internationales Handbuch in Schlüsselbegriffen. Psychologie Verlags Union, München, 1989.
- [23] Luczak, H.: Ermüdung. In Rohmert, W.; Rutenfranz, J. (Hrsg.): Praktische Arbeitsphysiologie.

-
- Georg Thieme Verlag, Stuttgart, New York, 1983.
- [24] Wylie, C. D.; Shultz, T.; Miller, J. C.; Mitler, M. M.; Mackie, R. R.: Commercial Motor Vehicle Driver Fatigue and Alertness Study: Technical Summary. Washington, DC, 1996.
- [25] Schwalm, M.: Pupillometrie als Methode zur Erfassung mentaler Beanspruchungen im automotiven Kontext. Dissertation, Universität des Saarlandes, 2009.
- [26] Wierwille, W. W.; Wreggit, S. S.; Kirn, C. L.; Ellsworth, L. A.; Fairbanks, R. J.: Research on Vehicle-Based Driver Status/Performance Monitoring; Development, Validation, and Refinement of Algorithms For Detection of Driver Drowsiness. National Highway Traffic Safety Administration, Washington, DC, 1994.
- [27] Trutschel, U.; Sirois, B.; Sommer, D.; Golz, M.; Edwards, D.: PERCLOS: An Alertness Measure of the Past In Proceedings of the Sixth International Driving Symposium on Human Factors in Driver Assessment, Training and Vehicle Design, 2011.
- [28] Schramm, T.; Fuchs, K.; Wagner, N.; Bruder, R.: Driver Behaviour in a monotonous Environment: A Test Track Study. In 16th World Congress and Exhibition on Intelligent Transport Systems and Services (ITS). Stockholm, Schweden, 2009.
- [29] McLean, J. R.; Hoffman, E. R.: Steering Reversals as a Measure of Driver Performance and Steering Task Difficulty. In Human Factors. Vol. 17, Nr. 3, 1975.
- [30] Mirwaldt, P.; Bartels, A.; To, T.-B.; Pascheka, P.: Gestaltung eines Notfallassistenzsystems bei medizinisch bedingter Fahruntfähigkeit. In 5. Tagung Fahrerassistenz. München, 2012.
- [31] Nguyen-Dobinsky, T.-N.; Jacob, C.; Dobinsky, M.: Mobile Notfallassistenz – Herausforderungen. In Proceedings zum 3. Deutschen Ambient Assisted Living-Kongress. VDE Verlag GmbH, Berlin, Offenbach, 2010.
- [32] Poh, M.-Z.; McDuff, D. J.; Picard, R. W.: Non-contact, automated cardiac pulse measurements using video imaging and blind source separation. In Opt. Express. Vol. 18, Nr. 10, 2010.
- [33] Eilebrecht, B.; Wartzek, T.; Lem, J.; Vogt, R.; Leonhardt, S.: Kapazitives Elektrokardiogrammmesssystem im Autositz. In Automobiltechnische Zeitschrift (ATZ). Vol. 113, Nr. 03, 2011.
- [34] D'Angelo, L. T.; Lüth, T.: Integrierte Systeme zur ablenkungsfreien Vitalparamtermessung in Fahrzeugen. In Automobiltechnische Zeitschrift (ATZ). Vol. 113, Nr. 11, 2011.
- [35] Waldmann, P.; Kaempchen, N.; Ardelt, M.; Homm, F.: Der Nothalteassistent – abgesichertes Anhalten bei plötzlicher Fahruntfähigkeit des Fahrzeugführers. In Proceedings zum 3. Deutschen Ambient Assisted Living-Kongress. VDE Verlag GmbH, Berlin, Offenbach, 2010.
- [36] Missel, J.; Mehren, D.; Reichmann, M.; Lallinger, M.; Bernzen, W.; Weikert, G.: Intelligent Drive - Entspannter und sicherer fahren. In Automobiltechnische Zeitschrift (ATZ) extra. Nr. 07/2013, 2013.
- [37] Schopper, M.; Mehren, D.; Baumann, M.; Köhnlein, J.: Der beste Unfall ist der, der nicht passiert. In Automobiltechnische Zeitschrift (ATZ) extra. Nr. 12/2011, 2011.
- [38] Ford. Ford Technology Newsbrief 08-2010: Driver Alert. 2010.
- [39] Lindman, M.; Kovaceva, J.; Levin, D.; Svanberg, B.; Jakobsson, L.; Wiberg, H.: A first glance at Driver Alert Control in FOT-data. In Proceedings der IRCOBI Konferenz, International Research Council on the Biomechanics of Injury, Zurich, 2012.
- [40] Kuroda, K.; Izumikawa, I.; Kouketsu, O.: Logical Mediation Structures for Toyota's Driver Support Systems. In Proceedings der International Technical Conference on the Enhanced Safety of Vehicles (ESV), 2009.
- [41] Nessenius, D.: Der neue VW Passat. In Automobiltechnische Zeitschrift (ATZ). Nr. 12/2010, 2010.