

Verhaltenswirksame Gestaltung von Müdigkeitswarnungen im Fahrzeug

vorgelegt von
Dipl.-Psych.
Annika Dreßler
geb. in Potsdam

Von der Fakultät V – Verkehrs- und Maschinensysteme
der Technischen Universität Berlin
zur Erlangung des akademischen Grades
Doktorin der Philosophie
- Dr. phil. –
genehmigte Dissertation

Promotionsausschuss:

Vorsitzender: Prof. Dr. phil. Dietrich Manzey
Gutachter: Prof. Dr. phil. Manfred Thüring
Gutachter: Prof. Dr. phil. Mark Vollrath

Tag der wissenschaftlichen Aussprache: 22. Juli 2015

Berlin 2015

Danksagung

Vielen Dank an alle, die mich während der Arbeit an dieser Dissertation fachlich, technisch-organisatorisch und freundschaftlich unterstützt haben. Mein besonderer Dank gilt Manfred Thüring, Nikolaus Rötting, Nora Wittbrodt, Stefan Brandenburg, Uwe Drewitz, Nils Backhaus, Michael Minge, Susanne Dannehl, Steffen Hartwig, Angelika Engling, Karin Scherrinsky-Pingel und Mark Vollrath. Danke an alle, die in den Fahrsimulationsstudien als Teilnehmer dabei waren. Privat bedanke ich mich bei meiner Familie, allen meinen Freunden und ganz besonders B.F.

Ich widme diese Arbeit meiner Mutter Marion.

Inhaltsverzeichnis

Danksagung	II
Abkürzungsverzeichnis	IX
Zusammenfassung.....	X
Abstract	XI
1 Einführung	1
2 Hintergrund und Theoretische Grundlagen.....	2
2.1 Müdigkeit beim Fahren: Problem und Lösungsansätze	2
2.1.1 Risiko durch Müdigkeit beim Autofahren.....	2
2.1.1.1 Verwendung des Begriffs Müdigkeit	2
2.1.1.2 Merkmale müdigkeitsbedingter Unfälle und Risikofaktoren	3
2.1.1.3 Fahren unter Müdigkeit und Unfallrisiko	6
2.1.2 Wirksamkeit von Maßnahmen gegen Müdigkeit	7
2.1.3 Fahrerreaktionen auf Müdigkeit.....	12
2.1.4 Ansätze zur Minderung des Problems	14
2.1.4.1 Gesetzgebung und Gesetzesvollzug	14
2.1.4.2 Organisationale Maßnahmen	15
2.1.4.3 Aufklärungskampagnen	16
2.1.4.4 Gestaltung des Verkehrsumfeldes.....	18
2.1.4.5 Fahrzeugtechnologie	19
2.2 Theoretische Aspekte der Warnwirkung	20
2.2.1 Grundsätzliche Überlegungen zu Warnungen.....	20
2.2.2 Ein Rahmenmodell der Warnwirkung.....	21
2.2.2.1 Quelle	23
2.2.2.2 Kanal	24
2.2.2.3 Überbringung.....	24
2.2.2.4 Empfänger	25
2.2.3 Gewichtung der Verarbeitungsstufen bei der verhaltenswirksamen Gestaltung von Müdigkeitswarnungen im Fahrzeug.....	29
2.2.4 Ein Modell sicherheitsbezogener Entscheidungsprozesse: Die Theorie der Schutzmotivation und ihre Ansatzpunkte für eine verhaltenswirksame Müdigkeitswarnung.....	31
2.2.4.1 Schlüsselemente in der Bedrohungseinschätzung	33
2.2.4.2 Schlüsselemente in der Bewältigungseinschätzung	36
2.2.4.3 Fazit	38

2.3 Müdigkeitswarnungen im Fahrzeug: Stand der Forschung und Entwicklung.....	40
2.3.1 Die Input-Seite: Technologien zur automatischen Erfassung des Fahrerzustands.....	40
2.3.1.1 Modelle zur Vorhersage von Müdigkeit	40
2.3.1.2 Maße zur Online-Erfassung von Müdigkeit	40
2.3.1.3 Detektionsalgorithmen.....	43
2.3.1.4 Detektionsgüte aktueller Systeme	43
2.3.2 Die Output-Seite: Vorgeschlagene Warnkonzepte und empirische Befunde zur Wirksamkeit	49
2.3.2.1 Diagnose „Fahrer müde“ – was nun?	49
2.3.2.2 Rückmeldungen mit Schwerpunkt auf Wachheitskontrolle und Aktivierung.....	49
2.3.2.3 Rückmeldungen mit Schwerpunkt auf Verhaltensänderung.....	52
2.3.3 Methodische Herausforderungen bei der Untersuchung der Warnungswirksamkeit.....	58
2.3.4 Anforderungen an ein ökologisch valides Fahrsimulationsparadigma.....	60
2.3.5 Umsetzung der Anforderungen im vorgestellten Versuchsaufbau	61
3 Experiment 1: Etablierung eines Fahrsimulationsparadigmas und Vergleich personalisierter mit konventionellen Warnungen.....	63
3.1 Ziele	63
3.2 Methode	64
3.2.1 Untersuchungsdesign	64
3.2.2 Materialien & Versuchsaufbau	64
3.2.2.1 Gestaltung und Anzeige der Warnmeldungen	64
3.2.2.2 Versuchsumgebung	65
3.2.2.3 Anreizsituation.....	66
3.2.2.4 Instrument zur Online-Müdigkeitserfassung: Die TUBSS	68
3.2.2.5 Fragen zur Erfassung der mediierenden kognitiven Variablen.....	69
3.2.2.6 Weitere Fragen im Nachbefragungsbogen.....	71
3.2.3 Durchführung.....	73
3.2.4 Hypothesen.....	75
3.2.5 Stichprobe.....	77
3.2.5.1 Einschlusskriterien und Rekrutierung.....	77
3.2.5.2 Charakteristika.....	77
3.3 Ergebnisse	78
3.3.1 Voranalysen	78
3.3.1.1 Subjektive Müdigkeit vor der Fahrt, zum Warnzeitpunkt und nach der Fahrt.....	78
3.3.1.2 Müdigkeitsverläufe während der Fahrt und Überschreitung des warnungskritischen Wertes	78
3.3.1.3 Bemerkten und Verständnis der Warnanzeige.....	79

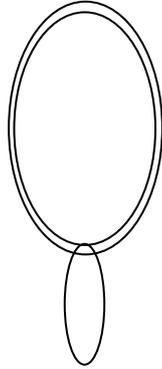
3.3.1.4	Wahrnehmung von Außengeräuschen	79
3.3.1.5	Müdigkeitsurteile für die Warnungsbilder in der Bedingung „personalisierte Warnung“	79
3.3.2	Prüfung der Hypothesen	79
3.3.2.1	Allgemeines Vorgehen	79
3.3.2.2	Zur Interpretation der statistischen Kennwerte	80
3.3.2.3	Pausenhäufigkeit	81
3.3.2.4	Subjektive Pausenwahrscheinlichkeit	81
3.3.2.5	Subjektive Vulnerabilität	81
3.3.2.6	Maximal tolerierte Pausenkosten	82
3.3.3	Analyse der verbleibenden PMT-Variablen	84
3.3.3.1	Subjektiver Schweregrad der Schädigung	84
3.3.3.2	Subjektive Handlungswirksamkeit	85
3.3.3.3	Situative Selbstwirksamkeit	86
3.3.4	Weitere Analysen	86
3.3.4.1	Allgemeine Subjektive Pausenwahrscheinlichkeit	86
3.3.4.2	Subjektive Aktivierung durch die Warnung	87
3.3.4.3	Subjektive Ablenkung durch die Warnung	88
3.3.4.4	Wachhaltestrategien	88
3.4	Diskussion	92
3.4.1	Determinanten der Warnungswirksamkeit	92
3.4.2	Befunde hinsichtlich der verbleibenden PMT-Variablen	93
3.4.3	Weitere Befunde	95
3.4.4	Fahrsimulationsparadigma	95
3.4.5	Fazit und Ausblick	98
4	Experiment 2: Mit Warnsystem sicherer als ohne?	99
4.1	Ziele	99
4.2	Methode	100
4.2.1	Untersuchungsdesign	100
4.2.2	Materialien & Versuchsaufbau	100
4.2.2.1	Gestaltung und Anzeige der Warnmeldungen	100
4.2.2.2	Versuchsumgebung	101
4.2.2.3	Anreizsituation	101
4.2.2.4	Fragen zur Erfassung der mediierenden kognitiven Variablen gemäß der PMT	103
4.2.3	Durchführung	105
4.2.4	Hypothesen	106
4.2.5	Stichprobe	107

4.3	Ergebnisse	107
4.3.1	Voranalysen	107
4.3.1.1	Subjektive Müdigkeit vor der Fahrt, zu den Rückmeldungszeitpunkten und nach der Fahrt	107
4.3.1.2	Müdigkeitsverläufe während der Fahrt und Überschreitung des warnungskritischen Wertes ..	108
4.3.1.3	Bemerken und Verständnis der Warnanzeige	109
4.3.1.4	Müdigkeitsurteile für die Warnungsbilder in der Bedingung „personalisierte Warnung“	111
4.3.2	Prüfung der Hypothesen	112
4.3.2.1	Pausenhäufigkeit	112
4.3.2.2	Subjektive Pausenwahrscheinlichkeit	113
4.3.2.3	Subjektive Vulnerabilität	114
4.3.2.4	Maximal tolerierte Pausenkosten	115
4.3.3	Analyse der verbleibenden PMT-Variablen	116
4.3.3.1	Subjektiver Schweregrad der Schädigung	116
4.3.3.2	Subjektive Handlungswirksamkeit	117
4.3.3.3	Subjektive Vulnerabilität nach Pause	118
4.3.3.4	Situative Selbstwirksamkeit	119
4.3.4	Weitere Analysen	119
4.3.4.1	Subjektive Aktivierung durch die Warnung	119
4.3.4.2	Subjektive Ablenkung durch die Warnung	120
4.3.4.3	Wachhaltestrategien: Art, Umfang und Effekt auf die Fahrleistung	121
4.4	Diskussion	123
4.4.1	Determinanten der Warnungswirksamkeit	123
4.4.2	Befunde hinsichtlich der verbleibenden PMT-Variablen	124
4.4.3	Weitere Befunde	126
4.4.4	Fahrsimulationsparadigma	127
5	Allgemeine Diskussion und Ausblick	129
5.1	Zur Gestaltung verhaltenswirksamer Müdigkeitswarnungen	129
5.1.1	Human Factors im Warnungsdesign: mehr als Wahrnehmbarkeit und Nutzerakzeptanz ..	129
5.1.2	Gewonnene Erkenntnisse zur Überzeugungs- und Verhaltenswirksamkeit verschiedener Warnungsdesigns	131
5.1.3	Anschließende Forschungsfragen	133
5.2	Zum Fahrsimulationsparadigma	136
5.2.1	Methodische Anpassungs- und Optimierungsmöglichkeiten	136
5.2.2	Mehr ökologische Validität für Fahrsimulationsversuche jenseits der Warnungsevaluation	138
5.3	Andere Ansatzpunkte der PMT zum wirksamen Müdigkeitsmanagement	139

Literaturverzeichnis und Anhang..... i

Gnothi seauthon.

Erkenne Dich selbst.



Abkürzungsverzeichnis

EEG	<i>Elektroenzephalographie / Elektroenzephalogramm</i>
FOT	<i>Field Operational Test</i>
FRMS	<i>Fatigue Risk Management System</i> System zum Management des Müdigkeitsrisikos (im Organisationskontext)
ICMM	<i>International Council on Mining and Metals</i>
JDS	<i>Johns Drowsiness Score</i> [®] Ein Müdigkeitsmaß
KSS	<i>Karolinska Sleepiness Scale</i> Eine Skala zur Selbstbeurteilung der Müdigkeit
MWS	<i>Müdigkeitssystem</i>
PERCLOS	<i>Percent closed</i> Ein Müdigkeitsmaß; Anteil der Zeit, in der die Pupille zu mehr als 80% durch das Lid bedeckt ist
PMT	<i>Protection Motivation Theory</i> Theorie der Schutzmotivation
PVT	<i>Psychomotor Vigilance Task</i> Psychomotorische Vigilanzaufgabe

Zusammenfassung

Müdigkeitswarnsysteme (MWS) sind eine relativ neue Form der Fahrerassistenz, in deren Entwicklung der Forschungsschwerpunkt bisher deutlich auf der Detektionsseite lag. Wenig ist darüber bekannt, wie wirksam diese Systeme tatsächlich das Risiko müdigkeitsbedingter Unfälle mindern und welche Faktoren der Warnungsgestaltung für die angestrebte Sicherheitswirkung ausschlaggebend sind.

Mit Blick auf den problematischen Fahrerzustand kann grundsätzlich nur eine Reduktion der Müdigkeit das Sicherheitsrisiko effektiv verringern. Ziel einer Warnung ist daher, den Fahrer zu einer Pause zu bewegen, in der er Koffein zu sich nehmen und / oder einen Kurzschlaf halten sollte. Allerdings wirken auf Ebene der Überzeugungen, Einstellungen und Motivation des Fahrers eine Reihe psychologischer Prozesse diesem Zielverhalten entgegen. Zwei besondere Herausforderungen für die Warnungswirkung sind die Tendenz zu unrealistischem Optimismus in der Einschätzung des persönlichen Risikos und die Tendenz zur Vermeidung unmittelbarer subjektiver Handlungskosten der Pause.

Vor diesem theoretischen Hintergrund wurde die Wirkung verschiedener Warnungsvarianten auf Kognitionen, Motivation und Verhalten untersucht. Zu diesem Zweck wurde ein neues experimentelles Paradigma entwickelt, mit Hilfe dessen im Fahrsimulator die Anreizsituation einer realen Warnungssituation nachgestellt werden kann. Zunächst wurde durch teilweise Schlafdeprivation und die Ausnutzung circadianer Leistungstiefs ein hohes Grundniveau von Müdigkeit bei den Teilnehmern erzeugt. Ergänzend wurde eine Konstellation aus möglichen finanziellen Gewinnen und Verlusten geschaffen, die die grundlegenden Elemente der Motivationslage des Fahrers in einer realen Warnungssituation nachbildet. Während simulierter Fahrten auf einer monotonen Strecke wurde der Fahrerzustand überwacht. Bei Erreichung des definierten Müdigkeitskriteriums erhielten die Fahrer eine von mehreren möglichen Rückmeldungen. In Experiment 1 wurden zwei Warnungsvarianten verglichen: eine Standardwarnung (Kaffeetassensymbol) und eine Warnung mit einem Bild des Fahrers aus der aktuellen Situation, die mit Fokus auf eine hohe Überzeugungswirkung neu entwickelt wurde. Auf der Ebene verhaltensrelevanter Überzeugungen wies die Gruppe der mit eigenem Bild gewarnten Fahrer hierbei höhere Ausprägungen hinsichtlich der Gefährdungswahrnehmung und hinsichtlich der wahrgenommenen Effektivität einer Pause auf. Die Inzidenz von Pausen war jedoch insgesamt sehr gering. In Experiment 2 wurden die Anreizbedingungen verschärft und die Wirkung beider Warnungsvarianten mit einer Situation ohne Warnsystem verglichen. Hierbei zeigte sich, dass die Standardwarnung die Gefährdungswahrnehmung und Pausenwahrscheinlichkeit zwar in erwarteter Richtung, aber nur in sehr geringem Umfang beeinflusste. Die Warnung mit eigenem Bild führte konsistent zu größeren Effekten in verhaltensrelevanten Überzeugungen und beobachteten Pausen. In beiden Experimenten wurde zudem der situative Kontext der Warnung variiert, indem die Warnung entweder relativ nah dem Ziel oder in höherer Zielentfernung gegeben wurde. Erwartungsgemäß wirkte sich eine größere Nähe zum Ziel erschwerend auf Pausenmotivation und –verhalten aus.

Die Ergebnisse geben erste Anhaltspunkte darauf, wie durch eine stärkere Berücksichtigung der Überzeugungs- und Motivationsfunktion in der Warnungsgestaltung die Sicherheitswirksamkeit von Müdigkeitswarnsystemen erhöht werden kann. Neben der Entwicklung von Detektionssystemen sollte sich empirische Forschung in Zukunft verstärkt auf die messbaren Sicherheitseffekte von Warnungen sowie die vermittelnden psychologischen Mechanismen richten, damit auch die bisher wenig berücksichtigte Outputseite von Müdigkeitswarnern optimiert werden kann.

Schlagworte: *Müdigkeitsdetektion, Müdigkeitswarnung, Überzeugung, Motivation, Optimismusbias, Müdigkeitsmanagement*

Abstract

Drowsiness warning systems are a relatively new kind of driver assistance. In their development so far, there was an articulate research focus on the problem of drowsiness detection. Little is known about how effective these systems actually are in reducing the risk of drowsiness-related accidents and about what aspects of warning design are crucial in achieving the desired effect on safety.

As to the critical driver state, only a reduction in drowsiness can effectively mitigate the safety risk. Therefore the objective of a warning is to convince the driver to take a break during which he should ingest caffeine and / or take a short nap. However, on the level of beliefs, attitudes and motivation, a number of psychological processes counteract this desired behavior. There are two tendencies that represent a particular challenge to warning effectiveness: the optimism bias in the appraisal of personal risk and the tendency to avoid immediate subjective response costs associated with a break.

Against this background, the current studies examined the effect of different warning alternatives on cognitive, motivational and behavioral variables. For this purpose, a new experimental paradigm was developed for reproducing, in the driving simulator, the constellation of incentives typical of a real warning situation. A high initial level of drowsiness was induced among participants by partial sleep deprivation and by exploitation of circadian lows in performance. In addition, a constellation of potential gains and losses was created to emulate the most important elements of driver motivation in a real warning situation. Driver state was monitored during simulated drives on a monotonous road. At meeting a defined drowsiness criterion, drivers were given one of several feedback variants. Experiment 1 compared two warning alternatives: a standard warning (coffee cup symbol) and a warning involving an image of the driver derived from the current situation, which was newly developed with focus on high persuasiveness. On the level of behaviorally relevant beliefs, the group of drivers warned by means of their own image scored higher on subjective vulnerability as well as perceived effectiveness of a break. Overall, the incidence of breaks was extremely low however. In Experiment 2, the incentive conditions were exacerbated, and the effects of either warning alternative were compared to a situation without any warning system. It turned out that the standard warning affected subjective vulnerability and break frequency in the expected direction, but only to a very small extent. The warning involving the driver image consistently entailed larger effects on behaviorally relevant beliefs and observable breaks. Moreover, in both experiments, the situational context of the warning was varied by displaying it either in close proximity to the destination or at a larger distance to go. As expected, close proximity to one's destination had adverse effects on motivation to take a break and observable breaks.

The results provide initial evidence as to how the safety effect of drowsiness warning systems can be enhanced by greater consideration of the persuasive and motivational functions in warning design. Alongside the development of detection technology, future empirical research should be directed to a greater extent at the measurable effectiveness of warnings and the mediating psychological processes in order to optimize not only the input, but also the output of drowsiness warning systems.

Key words: drowsiness detection, drowsiness warning, persuasion, motivation, optimism bias, fatigue management

1 Einführung

Vor etwa 30 Jahren begann eine technologische Entwicklung, die inzwischen auf dem Markt angekommen ist, aber dennoch viele Fragen offen lässt. Auf der Suche nach Möglichkeiten, das Autofahren sicherer zu machen, war Müdigkeit als eine bedeutsame Ursache schwerer Unfälle erkannt worden. Zudem ließ der Entwicklungsstand der EDV- und Sensortechnik es machbar erscheinen: *Fahrermüdigkeitserkennung* mit dem Ziel, die Zahl und Schwere müdigkeitsbedingter Unfälle zu reduzieren.

Interdisziplinär begannen Wissenschaftler, die Phänomenologie der Fahrermüdigkeit im Hinblick auf automatisch messbare Indikatoren zu erforschen. Augenöffnungsgrad, Lidschlüsse, Lenkverhalten, Fahrleistung, Hirnströme, Herzschlag, Hautleitwert, Körpertemperatur, Haltung, Gesichtsausdruck – viele kamen in Frage. Dazu galt es, geeignete Algorithmen zur Transformation der erfassten Indikatoren in eine binäre Entscheidung (*kritisch vs. unkritisch*) zu entwickeln.

Es zeigte sich bald, dass automatische Müdigkeitsdetektion ein herausforderndes Unterfangen ist. Viele Probleme, an deren Lösung zum Teil auch heute noch gearbeitet wird, ergeben sich in Bezug auf die störungsfreie Erfassung, Sensitivität und Spezifität der Indikatoren. Inter- und intraindividuelle Unterschiede erschweren die Definition von Müdigkeitsschwellen.

Angesichts dieser Schwierigkeiten und der Komplexität der auf das Problem angesetzten Technologien würde es nicht verwundern, wenn ein Großteil der Beteiligten zu einer bestimmten Auffassung gelangt wäre - der Auffassung, die *Entwicklung eines reliablen und validen Verfahrens zur automatischen Detektion* von Müdigkeit sei der schwierigste Part in der Entwicklung eines müdigkeitsbezogenen Sicherheitssystems.

Zumindest würde eine solche Auffassung die relative Vernachlässigung des zweiten entscheidenden Aspekts in der Forschung erklären: *Wie kann das Wissen über die Fahrermüdigkeit in Sicherheitsgewinne transformiert werden?* Ein Ansatz besteht darin, im Zeitfenster der geminderten Leistungsfähigkeit automatische Fahrzeugsicherheitssysteme (Antiblockiersystem, automatischer Bremsvorhalt, Gurtstraffer u.a.) sensitiver einzustellen. Dennoch steht eines fest: Solange der Fahrerzustand überhaupt eine sicherheitsrelevante Größe ist, wird das *Verhalten* des Fahrers die wichtigste Determinante dafür bleiben, ob Müdigkeitserkennung die Sicherheit erhöhen kann oder nicht. Folgerichtig besteht der am häufigsten verwendete Ansatz zum Umgang mit der Müdigkeitsdiagnose darin, dem Fahrer¹ eine Rückmeldung zu geben.

Im hier fokussierten privaten Kfz-Sektor hat sich für die Form dieser Rückmeldung eine Art Standardvariante etabliert. Sie besteht in der Kombination einer kurzen Textmeldung (z. B. „*Müdigkeit erkannt. Bitte Pause.*“) mit der Anzeige eines Kaffeetassensymbols. Bisher ist allerdings völlig unklar, ob und in welchem Maße diese Art von Feedback zur Erhöhung der Sicherheit beiträgt. Ebenso wenig ist geklärt, welche kontextuellen Bedingungen für einen Sicherheitseffekt gegeben sein müssen und durch welche Gestaltungsmaßnahmen die Wirksamkeit bei Bedarf erhöht werden könnte.

Vor diesem Hintergrund verfolgt die vorliegende Arbeit folgende Forschungsziele:

- 1) die Einbettung des Problems in einen geeigneten theoretischen Rahmen, der die Identifikation von Wirksamkeitshemmnissen und von Ansatzpunkten für eine gezielte Gestaltung verhaltenswirksamer Müdigkeitswarnungen erlaubt,

¹ Anmerkung: In dieser Arbeit wird durchgängig die Form „der Fahrer“ verwendet, um Personen aller Geschlechter zu bezeichnen, die ein Kraftfahrzeug führen. Die Wahl dieser Form beruht auf deren Kürze und Prägnanz. Leserinnen und Leser sind hiermit ausdrücklich aufgefordert, sich Personen aller Geschlechter in der Rolle des „Fahrers“ vorzustellen.

- 2) die empirische Erprobung der Standardwarnungsvariante „Kaffeetasse“ hinsichtlich ihrer Wirkung auf risikobezogene Überzeugungen und Verhalten,
- 3) die entsprechende empirische Erprobung einer alternativen Warnungsvariante „eigenes Bild“, die theoriegeleitet mit Fokus auf hohe Überzeugungswirkung entwickelt wurde, und
- 4) die Gewinnung empirischer Erkenntnisse zur Wirkung des situativen Kontexts, in dem die Warnung erfolgt, am Beispiel des universell wirksamen Faktors „Zielentfernung zum Warnungszeitpunkt“.

Die theoretische Beschäftigung mit dem Warnungsproblem soll dabei einen möglichst umfassenden Überblick über die multiplen Faktoren geben, die Einfluss auf die Reaktionen des Fahrers nach einer Müdigkeitsrückmeldung nehmen. Der Fokus liegt auf einer wichtigen Besonderheit menschlicher Entscheidungsprozesse: kognitiv, motivational und emotional bedingten Abweichungen von einer rationalen Norm, die im Sinne einer erfolgreichen Verhaltensbeeinflussung unbedingt berücksichtigt werden müssen. Als Basis der erfolgreichen Auseinandersetzung mit dem Thema ist darüber hinaus aber auch eine gewisse Kenntnis der Natur von Müdigkeit und ihrer Wirkung auf das Unfallrisiko erforderlich. Ferner sollte bekannt sein, welche Maßnahmen überhaupt gegen Müdigkeit helfen und wie Fahrer de facto bei Müdigkeit reagieren. Da die positive Beeinflussung des Fahrerverhaltens durch eine Warnung nur so gut sein kann, wie es die Rahmenbedingungen erlauben (Verkehrsinfrastruktur, Rechtliche Regelungen, Organisationsmerkmale u.a.), sollte auch bedacht werden, welche Gestaltungsmöglichkeiten sich auf diesen Ebenen bieten und dass alle Ebenen zusammen wirken. Ebenso gilt es den Stand der Detektionstechnologie und Erfahrungen mit vorhandenen Rückmeldungsansätzen zu berücksichtigen. Da die entsprechende empirische Basis mit Blick auf den privaten Kfz-Sektor sehr schmal ist, sollen hierbei auch die etwas zahlreicheren Erkenntnisse aus dem kommerziellen Bereich in die Überlegungen einbezogen werden. Auf diese Weise soll ein praktischer Rahmen für die Ableitung sinnvoller Designlösungen geschaffen werden, der auch über die hier fokussierten Faktoren hinaus in der Warnungsgestaltung genutzt werden kann.

2 Hintergrund und Theoretische Grundlagen

2.1 Müdigkeit beim Fahren: Problem und Lösungsansätze

2.1.1 Risiko durch Müdigkeit beim Autofahren

2.1.1.1 Verwendung des Begriffs Müdigkeit

Da es in der Wissenschaft unterschiedliche Auffassungen darüber gibt, was genau unter *Müdigkeit* zu verstehen ist, und wie sie sich von verwandten Konzepten abgrenzt (vgl. May & Baldwin, 2009; Schmidt, 2010), soll zunächst kurz definiert werden, wie der Begriff in dieser Arbeit verwendet wird. Vor dem Hintergrund der praktischen Bedeutsamkeit der Müdigkeit als Risikofaktor beim Autofahren wird folgende Begriffsbestimmung zugrunde gelegt: Müdigkeit ist eine durch die Tageszeit, vorangegangene Schlaf- und Wachzeiten sowie die Dauer und Art der Fahraufgabe bedingte Einschränkung der Leistungsfähigkeit in der Kraftfahrzeugführung.

Wie auch in der Anlage und Logik der durchgeführten Experimente ersichtlich werden wird, zielt diese Definition bezüglich der darin implizierten *Ursachen* von Müdigkeit in erster Linie auf die beiden im Rahmen der meisten Müdigkeitsmodelle prominentesten Faktoren ab: eine *circadiane* Komponente (aktuelle Befindlichkeit im Rahmen des Tag-Nacht-Rhythmus) und eine *homöostatische* Komponente (vorangegangene Zeit ohne Schlaf) (Achermann, 2004; Borbély, 1982). Damit knüpft die hier verwendete Definition an ein Verständnis von Müdigkeit an, das oft auch mit dem Begriff

Schläfrigkeit spezifiziert wird. Als eine dritte mögliche Quelle von Müdigkeit wird aber im Rahmen des hiesigen Verständnisses auch eine *aufgabenbedingte* Komponente (*time-on-task*) angesehen (Gundel, Marsalek & ten Thoren, 2007; Koh, Jones, Spencer & Thomas, 2007). Somit schließt Müdigkeit hier auch den Aspekt mit ein, der zuweilen mit dem Begriff *Ermüdung* bezeichnet wird (vgl. Karrier-Gauß, 2012).

Alle drei Ursachen werden eingeschlossen, weil alle drei die hier fokussierten Arten von *Leistungseinschränkungen* verschärfen. Beim Autofahren sind dies im Wesentlichen: 1) nachlassende Fähigkeit zur Daueraufmerksamkeit und daraus entstehende Fehler auf sensorischer, kognitiver und motorischer Ebene und 2) erhöhte Einschlafneigung und entsprechend erhöhte Wahrscheinlichkeit des Auftretens von Sekundenschlaf.

2.1.1.2 Merkmale müdigkeitsbedingter Unfälle und Risikofaktoren

Unfälle, die aufgrund der erstgenannten Art müdigkeitsbedingter Leistungseinschränkungen entstehen, sind schwierig zweifelsfrei als solche zu identifizieren (s.a. 2.1.1.3). Zwar können bestimmte Unfallmerkmale Hinweise geben, ob eine unangemessene Aufmerksamkeitsausrichtung die Unfallursache war, allein, es ist kaum möglich zu rekonstruieren, inwiefern Müdigkeit eine Rolle spielte, denn es gibt eine große Zahl anderer Faktoren, die ebenfalls Unaufmerksamkeit begünstigen (Gordon, 2009; Lee, Young & Regan, 2009; Regan, Young, Lee & Gordon, 2009).

Relativ eindeutig auf Müdigkeit zurückgeführt werden können solche Unfälle, bei denen die Zeichen für ein Einschlafen am Steuer sprechen. Horne und Reyner (1995b, zitiert nach Horne & Reyner, 1995a) nutzten folgende Merkmale zur Identifikation solcher Unfälle: Das Fahrzeug hat die Straße verlassen oder ist hinten auf ein anderes Fahrzeug aufgefahren, es gibt keine Brems Spuren, Wetter und Sicht waren gut, Defekte am Fahrzeug, überhöhte Geschwindigkeit, zu geringer Abstand und Alkoholeinfluss wurden ausgeschlossen.

Mit Hilfe solcher oder ähnlicher Kriterien konnten anhand von Unfallstudien Charakteristika müdigkeitsbedingter Unfälle herausgearbeitet werden. So ermittelte die US-Bundesbehörde für Straßen- und Fahrzeugsicherheit NHTSA, dass die Fahrer typischerweise (64% der Fälle) mit festen Objekten (Bäume, Leitplanken, Verkehrsschilder usw.) kollidierten. In 23% der Fälle kam es zu einem Zusammenstoß mit einem anderen Fahrzeug, und 7% der Unfallwagen überschlugen sich (nach Eskandarian, Sayed, Delaigue, Blum & Mortazavi, 2007). Wegen des Kontrollverlusts und hoher Aufprallgeschwindigkeiten führen solche Unfälle überproportional häufig zu besonders schweren Verletzungen oder Tod (Flatley, Horne & Reyner, 2004; Horne & Reyner, 1999).

Neben solchen markanten Folgen konnte auch eine ganze Reihe von Faktoren identifiziert werden, die das Auftreten müdigkeitsbedingter Unfälle begünstigen. Aus naheliegenden Gründen finden sich darunter zunächst die drei bereits in der Definition als primäre Müdigkeitsursachen identifizierten Komponenten wieder. Darüber hinaus tragen aber noch weitere Faktoren zur Erhöhung des Müdigkeitsunfallrisikos bei (s.a. Übersicht in Abbildung 1).

Circadianer Faktor, Tageszeit. Während der gesamten Nacht von etwa 1:00 bis 7:00 Uhr ist das Risiko müdigkeitsbedingter Unfälle im Vergleich zum Tage deutlich höher. Innerhalb der Nachtzeit liegt die Spitze zwischen 2:00 und 3:00 Uhr. Ein zweites, vergleichsweise kleineres Maximum wurde am Nachmittag zwischen 15:00 und 16:00 Uhr festgestellt (Eskandarian, Mortazavi & Sayed, 2012; Folkard, 1997; Horne & Reyner, 1995b). Horne und Reyner berechnen beispielhaft, dass unter Berücksichtigung der Verkehrsdichte die Wahrscheinlichkeit eines Müdigkeitsunfalls um 2:00 Uhr etwa 50mal und um 16:00 Uhr etwa 3mal so hoch ist wie um 10:00 Uhr.

Vor dem Hintergrund dieser circadianen Rhythmik stellen auch alle Umstände, die ein Fahren während der Leistungstiefs wahrscheinlicher machen und / oder via Desynchronisation zu exzessiver Müdigkeit führen, Risikofaktoren für Müdigkeitsunfälle dar. Dazu gehören unter anderem unregelmäßige Arbeits- und Schlafrythmen, häufiges Fahren bei Nacht und lange Fahrzeiten (Stutts, Wilkins, Scott & Vaughn, 2003).



Abbildung 1. Bandbreite endogener und exogener Variablen, die mit Müdigkeit in Verbindung gebracht werden. (Modifizierte Darstellung nach Di Milia et al., 2011, S. 517; wiederveröffentlicht mit Genehmigung von Pergamon, Genehmigung übermittelt durch Copyright Clearance Center, Inc.)

Homöostase-Faktor, Zeit ohne Schlaf. Mangel an Schlaf, sowohl akut als auch chronisch, ist mit einer Zunahme des Unfallrisikos assoziiert (Williamson et al., 2011). Stutts et al. (2003) berechneten in einer Fallkontrollstudie, wie sich die Odds² eines müdigkeitsbedingten Unfalls zu zunehmenden Reduktionen in der Dauer des vorangegangenen Schlafes verhielten. Im Vergleich zu Fahrern mit 8 Stunden Schlaf war das Risiko nach nur 6-7 Stunden Schlaf bereits etwa 3mal, nach 4-6 Stunden Schlaf etwa 10- bis 12mal und nach weniger als 4 Stunden etwa 20mal so hoch. Wer vor dem Unfall zwischen 15 und 20 Stunden wach geblieben war, dessen Risiko war 10fach erhöht. Nach mehr als 20 Stunden Wachheit war die Wahrscheinlichkeit eines Müdigkeitsunfalls mehr als 60mal so hoch.

Entsprechend stellen auch persönliche Umstände, die die Quantität oder Qualität des Schlafes akut oder chronisch beeinträchtigen, potentielle Risikofaktoren dar. Solche Umstände sind beispielsweise Nacht- oder wechselnde Schichtarbeit, übermäßig lange Arbeitszeiten, unbehandelte Schlafstörungen oder neugeborene Kinder (Connor, 2009; Ftouni et al., 2013; Gay, Lee & Lee, 2004). Medikamente und Substanzen wie Anxiolytika, Sedativa, Antihistaminika und Alkohol beeinflussen ebenfalls Müdigkeit und Unfallrisiko (Stutts et al., 2003).

² Die Odds ergeben sich aus dem Quotienten der Wahrscheinlichkeit, dass ein Unfall in der Stichprobe müdigkeitsbedingt war, und der Gegenwahrscheinlichkeit (dass für einen betrachteten Unfall andere Ursachen als Müdigkeit identifiziert worden waren). Aus Gründen der besseren Lesbarkeit und mangels einer eingängigen deutschen Entsprechung wird der Begriff Odds hier nicht übersetzt.

Zeit seit Fahrtbeginn und Zeit seit letzter Pause. Die Studie von Stutts et al. (2003) zeigte auch einen nichtlinearen Zusammenhang zwischen der *Fahrdauer* vor dem Unfall und der Wahrscheinlichkeit, dass es sich um einen müdigkeitsbedingten Unfall handelte. Eine Erhöhung des Risikos war bereits ab der zweiten Viertelstunde Fahrt festzustellen. Das höchste Risiko wurde innerhalb der zweiten Stunde beobachtet (siebenfach erhöht im Vergleich zu den ersten 15 min). Danach gab es wieder einen leichten Rückgang, insgesamt waren die Odds dennoch etwa vier- bis fünfmal so hoch. Die Ergebnisse jenseits von 5 Stunden Fahrdauer wurden hier zu einer Kategorie zusammengefasst, so dass die Risikoentwicklung in diesem Bereich nicht feiner aufzulösen ist. Zudem ist der Effekt der Fahrdauer bei den Müdigkeitsunfällen vermutlich mit dem anderer Variablen, wie Fahrtzeitpunkt, vorangegangene Wachdauer etc., konfundiert. Sagaspe et al. (2008) konnten jedoch in einer nächtlichen Realfahrt experimentell nachweisen, dass längere Fahrdauern Fahrfehler begünstigten. Wie sich die Häufigkeit von Autounfällen in Abhängigkeit von *Pausen* verhält, ist kaum untersucht. Unfallanalysen aus der Industrie (Tucker, Lombardi, Smith & Folkard, 2006) ebenso wie Leistungsdaten aus Fahrexperimenten (Horne & Reyner, 1996) lassen aber vermuten, dass Pausen zwar Sicherheitsgewinne bringen, dieser Effekt allerdings relativ kurzlebig ist und maximal eine halbe Stunde vorhält.

Zielentfernung. Bisher seltener im Fokus der Forschung, trägt vermutlich auch eine hohe Nähe zum Zielort zur Erhöhung der Wahrscheinlichkeit von Müdigkeitsunfällen bei (über die damit verbundenen längeren vorangegangenen Fahrdauern hinaus). Armstrong, Haworth, Watling und Trenorden (2011) fanden, dass etwa 20% der müdigkeitsbedingten Unfälle in ihrer Stichprobe weniger als 5 km vom Zielort entfernt auftraten. Insgesamt 50% der Unfälle ereigneten sich in einem Radius von höchstens 20 km Entfernung vom Fahrziel. Die Autoren vermuten als Wirkmechanismus, dass hohe Zielnähe bei Fahrern die Entscheidung begünstigt, trotz Müdigkeit weiterzufahren, und raten eine systematischere Erforschung dieses Einflusses an (s.a. Armstrong, Obst, Banks & Smith, 2010).

Merkmale der Fahraufgabe und der Umgebung. Müdigkeitsbedingte Unfälle treten deutlich häufiger unter monotonen Bedingungen auf (Connor, 2009; Horne & Reyner, 1999). Monotonie - geringe Variabilität der auftretenden Stimuli und Regulationserfordernisse - entsteht zum Beispiel auf Straßen mit langen geraden und ebenen Abschnitten, wie auf Autobahnen und Schnellstraßen, sowie in ländlichen Umgebungen mit geringer Verkehrsdichte. Carskadon und Dement (1987; nach Williamson et al., 2011) kommen zu dem Schluss, dass Monotonie (ebenso wie Langeweile, schweres Essen, warme Umgebung etc.) Müdigkeit nicht verursacht, sondern lediglich ein bestehendes latentes Schlafbedürfnis „entlarvt“ und in Erleben und Verhalten manifest werden lässt.

Interindividuelle Unterschiede. Neben den bisher genannten Faktoren existiert eine Vielzahl demographischer und Persönlichkeitsvariablen, welche Einfluss auf das Ausmaß auftretender Müdigkeit, deren subjektive Wahrnehmung und den Umgang damit haben und somit auch das Risiko müdigkeitsbedingter Unfälle verändern können. Am besten untersucht sind Alter und Geschlecht (Di Milia et al., 2011). Bruno (2004; nach Smolensky, Di Milia, Ohayon & Philip, 2011) zeigte, dass das Risiko müdigkeitsbedingter Unfälle für Fahrer jüngeren (18-24 J.) und mittleren (25-44 J.) Alters nachts ca. 2:30 - 3:30 Uhr eine Spitze erreicht, die in den Unfalldaten älterer Fahrer (<64 J.) nicht vorhanden ist (s.a. Armstrong et al., 2011). Bei den Älteren ist wiederum der Anstieg der Unfallhäufigkeiten am Nachmittag, den auch die beiden jüngeren Gruppen verzeichnen, sehr viel deutlicher ausgeprägt. Andere Studien (Akerstedt & Kecklund, 2001; Horne & Reyner, 1995b), die auch vorhandene Altersunterschiede in der Häufigkeit der Straßennutzung zu verschiedenen Tageszeiten berücksichtigten, erbrachten ähnliche Ergebnisse. Somit kommen altersbedingte Unterschiede im Müdigkeitsverlauf als Erklärung für die unterschiedlichen Risikomaxima in Frage. Innerhalb der Gruppe der Jüngeren

sind Männer nachts noch stärker gefährdet als Frauen (Akerstedt & Kecklund, 2001; Horne & Reyner, 1995b). Neben Unterschieden in bereits genannten Faktoren, die Ausmaß und Verlauf von Müdigkeit beeinflussen, spielen bei der Erklärung der Geschlechtsunterschiede – ebenso wie grundsätzlich in der Genese müdigkeitsbedingter Unfälle – vermutlich auch Persönlichkeitsunterschiede eine Rolle. Extraversion, Sensation Seeking, Neurotizismus und andere Merkmale mediiieren wahrscheinlich die Entstehung von Müdigkeit, deren Wahrnehmung und die Reaktionen darauf, allerdings fehlen bisher entsprechende Studien (Di Milia et al., 2011).

2.1.1.3 Fahren unter Müdigkeit und Unfallrisiko

Sowohl augenscheinlich als auch angesichts des in experimentellen Studien gesammelten umfangreichen Wissens darüber, wie sich Müdigkeit in einer Vielzahl fahrrelevanter Leistungsbereiche negativ auswirkt (Übersichten z. B. bei Goel, Basner, Rao & Dingus, 2013; Popp, 2005; Williamson et al., 2011), erscheint ein kausaler Zusammenhang von Müdigkeit und Unfällen in hohem Maße plausibel. Beim Versuch, diesen Zusammenhang zu quantifizieren, tun sich jedoch eine Reihe methodischer Hürden auf (Connor, 2009).

Einen Untersuchungsansatz bieten *Simulationsstudien*. Ein Vorteil des Simulationsansatzes im Vergleich zu epidemiologischen Ansätzen ist, dass die Müdigkeit vor einem Unfallereignis nicht nur relativ gut erfassbar ist, sondern auch gezielt manipuliert werden kann. Die Ergebnisse aus solchen Studien zeigen deutliche Effekte von Müdigkeit (meist operationalisiert durch Schlafentzug) auf Fahrleistung und Unfallwahrscheinlichkeit (Akerstedt, Peters, Anund & Kecklund, 2005; Connor, 2009; Ingre et al., 2006). Dennoch verbleiben auch bei hoher Realitätsnähe von Fahrsimulationen kontextuelle Unterschiede zum wirklichen Fahren (z. B. im Hinblick auf das von den Probanden erlebte Risiko), die Einfluss darauf haben, inwiefern sich die gemessenen Effekte in realen Verkehrssituationen wiederfinden (s.a. Hallvig et al., 2013; Philip et al., 2005; Rose, 2006, und Diskussion in 5.2.2).

Grundsätzlich ist es wünschenswert, das müdigkeitsassoziierte Unfallrisiko anhand realer Unfalldaten abzuschätzen. *Deskriptive Unfalluntersuchungen* und *Fall-Kontroll-Studien* sind jedoch mit methodischen Herausforderungen anderer Art konfrontiert. Zwei Hauptprobleme resultieren aus den Schwierigkeiten, zum einen die Müdigkeit eines Fahrers vor einem Unfallereignis (oder auch einem ungeschehenen Unfall in der Kontrollgruppe) zu bestimmen und zum anderen alternative Erklärungen für einen gefundenen Zusammenhang mit Sicherheit ausschließen zu können. Polizistenurteile oder eine nachträgliche Klassifizierung der Unfallursache anhand von Unfallmerkmalen führen vermutlich zu einer Unterschätzung des Einflusses von Müdigkeit: Auch wenn kein diagnostizierbares Einschlafen (s. 2.1.1.2) vorlag, kann Müdigkeit das Auftreten fataler Fehler begünstigt haben; ein offensichtlich alkoholierter Fahrer kann zusätzlich übermüdet gewesen sein. Die Zuordnung von Müdigkeit als Unfallursache erfolgt jedoch meist erst nach Ausschluss aller anderen möglichen Faktoren (z. B. Unaufmerksamkeit, Alkoholeinfluss; Williamson et al., 2011). Weil die nachträgliche Messung der Müdigkeit vor einem Unfall so schwierig ist, greifen epidemiologische Untersuchungen oft auf die Erfassung von Müdigkeitsursachen wie Schlafdauer, Länge des Wachzeitraums oder Tageszeit zurück und vergleichen Personen, die Unfälle hatten, bezüglich dieser Kriterien mit Personen, die keine Unfälle hatten. Das Fazit aus Studien dieser Art ist relativ deutlich: Müdigkeit erhöht das Unfallrisiko (Überblick bei Connor, 2009). Bezüglich der Größe des Effekts variieren die Schätzungen. Ergänzend zu den unter 2.1.1.2 berichteten Zahlen soll hier beispielhaft eine Fall-Kontroll-Studie angeführt werden, die Connor (2009) wegen der sauberen Methodik hervorhebt: Terán-Santos, Jiménez-Gómez und Cordero-Guevara (1999) fanden, dass bei Personen mit dem Müdigkeitsrisikofaktor Schlafapnoe die Odds eines Unfalls mit Verletzungsfolgen im Vergleich zur Kontrollgruppe auf das 7-

bis 8fache erhöht waren (s.a. Akerstedt, Connor, Gray & Kecklund, 2008; Connor et al., 2002; Connor, Whitlock, Jackson & Norton, 2001; Cummings, Koepsell, Moffat & Rivara, 2001; Nabi, 2006; Stutts et al., 2003).

Auch die in deskriptiven Unfallstudien gefundenen Zahlen schwanken, doch eine typische Schätzung lautet, dass etwa 15-20% aller Unfälle auf Müdigkeit zurückzuführen sind (Akerstedt, 2000; s.a. Fletcher, McCulloch, Baulk & Dawson, 2005; Hell & Langwieder, 2001; Horne & Reyner, 1995b; MacLean, Davies & Thiele, 2003; ten Thoren & Gundel, 2003)

Eine relativ neue und interessante Möglichkeit zur Erfassung der Rolle von Müdigkeit in Unfällen bieten *Field Operational Tests (FOT)*. Hierfür werden Fahrzeuge, die sich im normalen Gebrauch befinden, mit umfangreicher Messtechnik ausgestattet. Die Kombination dynamischer Fahrzeugdaten mit Videoaufnahmen des Fahrerverhaltens und der Verkehrssituation eröffnet bis dato nicht verfügbare Möglichkeiten, im Fall eines Unfalls die vorangegangene Müdigkeit eines Fahrers zu quantifizieren. Aus der bislang größten Studie dieser Art, in der über ein Jahr hinweg Daten von rund 100 Fahrzeugen gesammelt wurden, stammen die Schätzungen, dass Müdigkeit in 12% aller beobachteten Unfälle ursächlich beteiligt war (Dingus, Klauer, Neale, Petersen & Lee, 2006) und sich damit die Odds eines Unfalls auf das etwa Fünffache erhöhten (Klauer, Neale, Dingus, Sudweeks & Ramsey, 2006). Eine derzeit noch relevante Limitation von FOT sind die relativ geringen Fallzahlen, auf denen die Schlussfolgerungen beruhen (s.a. Hanowski, Wierwille & Dingus, 2003).

Vor dem Hintergrund solcher Daten und des häufig hohen Schweregrades müdigkeitsbedingter Unfälle schätzte eine internationale Expertengruppe (Akerstedt, 2000) Müdigkeit noch vor Alkohol und Drogen als bedeutsamste identifizier- und vermeidbare Unfallursache im Verkehrswesen ein, verbunden mit immensen Schäden für Individuen und Gesellschaft. In einem *Consensus Statement: Fatigue and Accidents in Transport Operations* formulierten sie die daraus folgende Forderung an die wissenschaftliche Gemeinschaft, in Zusammenarbeit mit Regierungen, Industrie, Erwerbsbevölkerung und Öffentlichkeit Strategien zum Müdigkeitsmanagement zu implementieren und die Forschung zu Ursachen, Folgen und Interventionsmöglichkeiten in Bezug auf Müdigkeit voranzutreiben.

2.1.2 Wirksamkeit von Maßnahmen gegen Müdigkeit

Eine Voraussetzung für die Entwicklung effektiver Interventionsstrategien sind Erkenntnisse über wirksame Gegenmaßnahmen bei Müdigkeit. Bevor eine Müdigkeitswarnung verhaltenswirksam gestaltet werden kann, muss klar definiert sein, welches Zielverhalten dadurch gefördert werden soll.

Eine kurze Kommunikationsepisode, wie sie auch durch eine typische Fahrzeuganzeige repräsentiert wird, führt bei müden Fahrern zu einer kurzfristigen Aktivierung, die jedoch schnell abklingt (vgl. Mallis et al., 2000; Schmidt, Schrauf, Simon, Buchner & Kincses, 2011; 2.3.2.2), so dass wenig später erneut ein kritisches Müdigkeitsniveau erreicht wird und wiederum gewarnt werden müsste. Die Konstruktion eines solchen „Wachhaltesystems“ ist sowohl unter dem Sicherheits- als auch dem rechtlichen Aspekt weder im Sinne der Nutzer noch der Entwickler von Müdigkeitswarnsystemen („MWS“ im Folgenden; Ayoob, Steinfeld & Grace, 2003). Stattdessen sollte eine Warnung darauf abzielen, den Fahrer zur Ergreifung von Maßnahmen zu motivieren, die zu einer länger anhaltenden Verbesserung seiner Fahrtüchtigkeit führen.

Die grundsätzlich wirksamste Maßnahme besteht darin, Fahren unter Müdigkeit von vornherein zu vermeiden. Weitere wirksame, aber nicht immer anwendbare Maßnahmen sind ein Fahrerwechsel (bei Verfügbarkeit eines anderen, ausgeruhten Fahrers) oder ein Abbruch der Fahrt für eine längere Schlafpause, z. B. Übernachtung. Mit Blick auf die Anwendbarkeit ist aber von besonderem Interesse, ob es wirksame Maßnahmen gibt, die im ungünstigeren Fall – Fahrer allein, Müdigkeit tritt

während der Fahrt auf – akut angewandt werden können, um in absehbarer Zeit die Fahrt fortzusetzen. Eine ganze Reihe solcher potentiellen Gegenmittel wurden inzwischen in kontrollierten Studien hinsichtlich ihrer Wirksamkeit auf Fahrerzustand und Fahrleistung untersucht.

Koffein. Der legale und gesellschaftlich verbreitete Konsum von Koffein, meist in Form von Kaffee, ist die am häufigsten und gleichzeitig mit der höchsten ökologischen Validität untersuchte Maßnahme gegen Müdigkeitseffekte beim Fahren. In einer vielzitierten experimentellen Studie zeigten Horne und Reyner (1996), dass müde³ Personen, die zu Anfang einer halbstündigen Pause 150 mg Koffein in einer Tasse Kaffee zu sich genommen hatten, in der folgenden Stunde einer simulierten Autofahrt seltener aus der Fahrspur gerieten und sowohl subjektiv (*KSS*) als auch objektiv (*EEG*) weniger müde waren als Personen in der Kontrollgruppe, die entkoffeinierten Kaffee bekommen hatten. Folgestudien mit ähnlichen Simulationsparadigmen demonstrierten auch die Effektivität von retardiertem⁴ Koffein (de Valck & Cluydts, 2001; de Valck, de Groot & Cluydts, 2003), die Wirksamkeit eines „funktionalen Energydrinks“⁵ (Reyner & Horne, 2002), die Wirksamkeit von Koffein gegen Müdigkeit am frühen Morgen nach einer kurzen Nacht (Reyner & Horne, 2000) und die noch bessere Wirksamkeit von Koffein, dessen Einnahme von einem Kurzschlaf gefolgt wurde (Reyner & Horne, 1997). In einer Reihe relativ aktueller Studien wurde schließlich auch im Kontext realer Nachtfahrten die positive Wirkung von Koffein auf Fahrleistung und subjektive Müdigkeit nachgewiesen (Philip et al., 2006; Sagaspe et al., 2007; Taillard et al., 2012).

Zu beachten bei der Anwendung von Koffein sind u.a. interindividuelle Unterschiede in Wirksamkeit und Verträglichkeit (Sagaspe et al., 2007). Zudem treten wie bei allen psychoaktiven Substanzen Gewöhnungseffekte auf, weshalb Koffein möglichst nur akut angewendet werden sollte (de Valck et al., 2003). Unerwünschte Nebenwirkungen, z. B. ein Anhalten der Aktivierung über die Fahrt hinaus und resultierende Schlafprobleme, können sich negativ auf die Akzeptanz der Maßnahme auswirken (Lenné, Regan, Triggs & Haworth, 2004). Für Wirkung über mehrere Stunden muss die Anwendung wiederholt werden, nach Aussetzen weiterer Koffeinzufuhr tritt dann sogar ein leichter Rebound-Effekt⁶ auf (Moore-Ede, Trutschel, Guttkuhn, Aguirre & Heitmann, 2009). Bis die Wirkung einsetzt, dauert es normalerweise etwa 30 Minuten (Horne & Reyner, 1999).

Verschreibungspflichtige Substanzen und Drogen. Zahlreiche Substanzen aus unterschiedlichen Wirkstoffgruppen, z. B. Medikamente zur Behandlung von Narkolepsie, Amphetamine oder Kokain, wirken unter ansonst müdigkeitsauslösenden Bedingungen vigilanz- und leistungsfördernd (nach Popp, 2005). Entsprechende verschreibungspflichtige Medikamente, ebenso wie Arzneimittel zur Behandlung von Schlafstörungen, können bei bestimmungsgemäßem Gebrauch in den betroffenen Patientengruppen das Risiko von Schläfrigkeit und Müdigkeitsunfällen mindern (Alford, 2009; Stutts et al., 2003). Als von jedermann anwendbare akute Gegenmaßnahme bei Müdigkeit sind diese Stoffe jedoch aus einer ganzen Reihe von Gründen (z. B. Nebenwirkungen, Toleranzentwicklung, Suchtpotential, Rebound-Phänomene, Verfügbarkeit, Legalität) nicht praktikabel.

³ Müdigkeit wurde durch teilweisen Schlafentzug in der vorangehenden Nacht und die Durchführung des Tests innerhalb des Nachmittagstiefs operationalisiert.

⁴ Hierbei wird der Wirkstoff über einen längeren Zeitraum hinweg allmählich freigesetzt.

⁵ der neben 80 mg Koffein auch noch eine Reihe anderer potentiell müdigkeitshemmender Substanzen wie Taurin und Glucose enthielt

⁶ Das heißt, Personen, die zuvor Koffein bekommen haben, sind unter diesen Umständen müder als Kontrollpersonen ohne Koffeineinnahme.

Kurzschlaf (Napping). Aus dem arbeitswissenschaftlichen Kontext liegen inzwischen viele Studien vor, die positive Effekte kurzer Schlafpausen auf subjektive und objektive Wachheit und Leistung unter müdigkeitsauslösenden Bedingungen belegen (Übersichten z. B. bei Driskell & Mullen, 2005; Caldwell, Caldwell & Schmidt, 2008; Krajewski, Mühlenbrock, Schnieder & Seiler, 2011). Die erste fahrspezifische experimentelle Untersuchung erfolgte im Rahmen der bereits erwähnten Simulationsstudie von Horne und Reyner (1996). Sie fanden, dass die Fahrleistung im Vergleich zur Placebobedingung nach einem *Nap* von maximal 15 Minuten im verstellbaren Fahrersitz ebenso gut aufrechterhalten werden konnte wie nach Koffeinkonsum. Bezüglich der subjektiven Müdigkeit war die Napping-Bedingung etwas schlechter als Koffein, aber besser als Placebo; im EEG zeigte sich nach dem Kurzschlaf die deutlichste Müdigkeitsreduktion. Kombiniert mit Koffein ließ ein *Nap* die Auswirkungen des Nachmittagstiefs⁷ auf die Fahrleistung völlig verschwinden; die Autoren kamen zu dem Schluss, dass sich die Effekte der beiden Maßnahmen addierten (Reyner & Horne, 1997). Philip et al. (1999) belegten die Effektivität von Naps in realen nächtlichen Autobahnfahrten. Sagaspe et al. (2007) zeigten altersbedingte Wirksamkeitsunterschiede: Bei jüngeren Fahrern (20-25) reduzierte ein Kurzschlaf die negativen Auswirkungen nächtlichen Fahrens ähnlich stark wie Koffein, bei Fahrern mittleren Alters (40-50) war die Wirksamkeit im Vergleich zu Koffein reduziert. Es wird vermutet, dass eine altersbedingte Verringerung des Schlafdrucks und der damit verbundenen Napping-Effizienz hinter diesem Unterschied steckt. Innerhalb der halben Stunde, die für die Schlafpause zur Verfügung stand, schliefen die Jüngeren sowohl länger als auch tiefer. Die Studie bestätigte zudem den Befund, dass die *subjektive* Wachheit eher durch Koffein als durch Napping beeinflussbar ist⁸. Demnach erweist sich Napping auch für Autofahrer als effektive und praktikable Gegenmaßnahme bei Müdigkeit, wobei interindividuelle Unterschiede in der Fähigkeit zu schlafen beachtet werden sollten. Wenigstens kurz erwähnt werden soll auch der Aspekt der *Schlafrägheit*. Dieses auch als Schlaftrunkenheit bekannte Phänomen bezeichnet eine unmittelbar nach dem Aufwachen auftretende Phase mit verminderter Leistungsfähigkeit, die mit zunehmender Wachdauer relativ schnell wieder verschwindet. Bei kurzen Naps von max. 15-20 min, wie sie für müde Autofahrer empfohlen werden (Horne & Reyner, 1999) – und evtl. auch im Rahmen sehr viel längerer Schlafpausen (s. Driskell & Mullen, 2005) – spielt Schlafrägheit jedoch keine bedeutsame Rolle. Entgegen früheren Annahmen (z. B. Bonnet, 1990) scheint auch die zeitliche Lage von Naps innerhalb des circadianen Rhythmus nicht entscheidend für deren Wirksamkeit zu sein (Driskell & Mullen, 2005).

Lichtexposition. Vermittelt über eine Hemmung des schlaffördernden Hormons Melatonin fungiert Licht als wichtigster externer Zeitgeber für den circadianen Schlaf-Wach-Rhythmus (Arendt & Skene, 2005) und wird deshalb im Rahmen von Schichtarbeit, Jetlag oder anderen desynchronisierenden Bedingungen therapeutisch zur gezielten Beeinflussung circadianer Rhythmen eingesetzt; ebenso zur Erhöhung der Wachheit während Nachtschichten (nach Popp, 2005). Insbesondere kurzwelliges (blaues) Licht scheint ein Schlüsselreiz für die Melatoninsuppression zu sein (Berson, Dunn & Takao, 2002; Brainard et al., 2001). Zur Anwendbarkeit im Kontext der Fahrzeugführung wurden noch nicht viele Studien publiziert.

⁷ nach vorheriger Schlafrestriktion

⁸ Einige Müdigkeitstheorien nehmen zusätzlich zu Komponenten des Schlafdrucks einen antagonistisch wirkenden Mechanismus (sekundärer Wachdruck, Arousal) an (z. B. Johns, 1998; nach Popp, 2005). Es könnte sein, dass das subjektive Müdigkeitsempfinden im Gegensatz zu physiologischen und Leistungsmaßen stärker von dieser Komponente als vom Schlafdruck abhängt, und dass Koffein auf diesen Aktivierungsmechanismus wirkt, während Napping nur den Schlafdruck reduziert (Sagaspe et al., 2007).

Landström, Akerstedt, Byström, Nordström und Wibom (2004) fanden in realen Nachtfahrten keinen Effekt einer 30minütigen Exposition an helles weißes Licht während einer Pause auf die subjektive Wachheit von Berufskraftfahrern. Taillard et al. (2012) testeten die Wirksamkeit eines in der Mitte des Armaturenbretts montierten blauen LED-Lichts, das während der gesamten Dauer einer vierstündigen nächtlichen Autobahnfahrt eingeschaltet blieb, und berichteten, dass dieses Treatment die Häufigkeit unerlaubten Überfahrens der Fahrbahnmarkierung ähnlich stark eindämmte wie Koffein⁹. Aus dieser Analyse ausgeschlossen blieben allerdings die Daten einer Subgruppe von 17% der Probanden, bei denen Linienübertretungen insgesamt häufiger waren als in der restlichen Stichprobe und die subjektiv über Blendung klagten. In dieser Gruppe war die Fahrleistung unter der Lichtexposition schlechter als in der Kontrollbedingung.

Aufgrund der durch Melatonin-suppression vermittelten Wirkung ist zu beachten, dass blaues Licht eventuell nur bei *nächtlicher* Müdigkeit¹⁰ zu messbaren Leistungsgewinnen führt. Im Rahmen dieser Einschränkung erscheint Licht als vielversprechender Ansatz, dessen Wirkung im Detail allerdings vor einem Einsatz in der Praxis noch näher quantifiziert werden sollte (z. B. bezüglich der Dauer des Effekts, unerwünschter Nebenwirkungen auf den circadianen Rhythmus etc.).

Kalte / frische Luft. *Fenster öffnen* oder *Klimaanlage aufdrehen* gehören zu den von Fahrern am häufigsten genutzten Gegenmaßnahmen bei Müdigkeit (Anund, Kecklund, Peters & Akerstedt, 2008; Armstrong et al., 2010; Maycock, 1997). Reyner und Horne (1998a) untersuchten die Wirksamkeit von 10°C kalter Luft aus der Klimaanlage über die Dauer einer zweistündigen Simulatorfahrt und fanden keine signifikanten Effekte auf Fahrleistung, subjektive oder objektive (EEG) Müdigkeit. Lediglich innerhalb der ersten halben Stunde nach dem Beginn der Anwendung war ein statistisch unbedeutsamer Trend zu weniger Fahrfehlern zu beobachten. Auch das Öffnen des Fensters beeinflusste in einer neueren Untersuchung bei realen Nachtfahrten auf der Autobahn weder subjektive noch physiologische Müdigkeitsmaße (Schwarz et al., 2012).

Musik / Radio. Ein ähnliches Befundmuster ergibt sich für die Strategie „Musikanlage aufdrehen“, sowohl was die Popularität der Anwendung als auch deren relative Ineffektivität angeht. In einer weiteren Bedingung ihrer Studie erlaubten Reyner und Horne (1998a) den Probanden, selbst ausgewählte Musik bei selbst gewählter Lautstärke zu hören. Während die Fahrer sich hierbei subjektiv wacher fühlten als in der Vergleichsbedingung ohne spezielle Maßnahme, fand sich auf der Leistungsebene wiederum lediglich ein deskriptiver Trend zu weniger Fahrfehlern, der in der ersten halben Stunde am besten erkennbar, aber zu keinem Zeitpunkt statistisch bedeutsam war. Im EEG gab es keine Müdigkeitsreduktion. Bei nächtlichen Autobahnfahrten (Schwarz et al., 2012) zeigten sich geringfügige aktivierende Effekte des Musikhörens, welche sich jedoch im Vergleich zur Mächtigkeit der Auswirkungen des Faktors *Nacht* auf die Müdigkeit wiederum als praktisch kaum bedeutsam erwiesen.

Wegen der geringen und zeitlich begrenzten Wirksamkeit werden beide Maßnahmen, kalte Luft und Radio, nicht zur Anwendung als einzige Gegenmaßnahme, sondern bestenfalls zur Überbrückung der Zeit empfohlen, bis ein Platz zum Anhalten gefunden ist und zu effektiveren Maßnahmen wie Napping oder Koffein gegriffen werden kann.

⁹ Als Baseline diente eine Placebo-Bedingung, in der die Probanden entkoffeinierten Kaffee erhielten.

¹⁰ die Anwendung von Licht am Tage erbringt oft keine Effekte (z. B. Badia, Myers, Boecker, Culpepper & Harsh, 1991; Kaida et al., 2006; Daurat et al., 1993; Popp, 2005).

Bewegung. Aus der Grundlagenforschung ist bekannt, dass abendliche oder nächtliche Bewegung von mittlerer bis hoher Intensität die Melatoninsekretion unmittelbar verändern und eine Verzögerung des nächtlichen Melatoninanstiegs am nächsten Tag bewirken kann (Buxton, L'Hermite-Balériaux, Hirschfeld & Cauter, 1997). Somit käme Bewegung ähnlich wie Licht oder strategisches Napping als präventive Maßnahme zur prospektiven Minderung von Müdigkeit in Frage (Atkinson, Edwards, Reilly & Waterhouse, 2007). Solche strategischen Anwendungen sind jedoch generell im Kontext des Autofahrens kaum untersucht. Bezüglich der hier fokussierten Anwendung zur akuten Müdigkeitsreduktion interessiert vor allem die unmittelbare Wirkung von Muskelaktivität auf das physiologische Arousal sowie deren Nachhaltigkeit. Während fahrspezifische Ergebnisse nicht bekannt sind, legen Untersuchungen zu verwandten Fragestellungen nahe, dass a) die genaue Dauer des Aktivierungseffekts von Art, Intensität und Timing der Bewegung abhängig ist, b) die Wirkung insgesamt nicht lange vorhält – z. B. maximal 15 Minuten nach leichter bis mittlerer Aktivität (nach Krajewski et al., 2011), maximal 30 Minuten nach intensiver körperlicher Betätigung (Horne & Foster, 1995; nach Horne & Reyner, 1999) und c) ambivalente Wirkungen auftreten können, da körperliche Anstrengung auf einer anderen Zeitskala auch Ermüdung provoziert (nach Popp, 2005).

Neben den aufgeführten wurde eine ganze Reihe weiterer Maßnahmen vorgeschlagen, deren Nützlichkeit aus mehreren Gründen bislang unklar bleibt, z. B., weil keine Forschungsergebnisse über Wirkung und Effektgröße im Kontext des Fahrens bei Müdigkeit vorliegen (z. B. olfaktorische Stimulation bei Tage, vgl. Popp, 2005) oder die Befundlage auf Grundlagenebene unschlüssig ist (z. B. bezüglich einer möglichen aktivierenden Wirkung von Licht am Tage). Bei vielen Verhaltensweisen und Strategien, auf die Autofahrer spontan zurückgreifen, wie Manierismen, Augenreiben, geistige Beschäftigung zur Reduktion von Monotonie, Singen, Willensanstrengung, aufrechtes Sitzen usw. (s.a. 3.3.4.4, 4.3.4.3) ist davon auszugehen, dass sie ebenfalls momentan zu einer Erhöhung der Aktivierung und Reduktion der Einschlafneigung führen; ebenso wie auch Pausen „ohne“ bestimmte Aktivitäten einen kurzfristigen aktivierenden Effekt haben (Caldwell et al., 2008; Phipps-Nelson, Redman & Rajaratnam, 2011). Das grundlegende Problem all dieser Maßnahmen ist deren fehlende Nachhaltigkeit. Ein leistungsbezogenes Wesensmerkmal von Müdigkeit besteht in einer großen Moment-zu-Moment-Variabilität (*performance variability*), von der vermutet wird, dass sie durch das Wechselspiel von Prozessen der Selbstaktivierung mit unvermeidlich immer wieder auftretenden Intrusionen schlafanbahnender Prozesse entsteht (Alhola & Polo-Kantola, 2007; Doran, Van Dongen & Dinges, 2001; Dorrian & Dinges, 2006).

Somit bleibt es auch vor dem Hintergrund neuerer Forschungsergebnisse bei dem von Horne und Reyner (1999) gezogenen Fazit: „*The best countermeasure to sleepiness is to sleep, or at least to take a nap*“ (S. 293); alternativ oder ergänzend eignet sich Koffein in entsprechender Dosierung, um mittelfristig die Fahrtüchtigkeit aufrechtzuerhalten. Die meisten der anderen hier vorgestellten Maßnahmen, deren positive Effekte gering und / oder kurzlebig sind, kommen sinnvoll nur als Behelfsmittel in Frage, um die Zeit zu überbrücken, bis der nächstmögliche Platz zum Anhalten gefunden ist. Bezüglich der einzigen Maßnahme, die unter bestimmten Umständen (gezielter Einsatz im Rahmen von Nachtfahrten) möglicherweise ebenso effektiv sein kann wie Kaffee oder Napping – blaues Licht – ist die empirische Basis derzeit noch nicht breit genug für wissenschaftlich fundierte Anwendungsempfehlungen. Die weitere anwendungsnahe Untersuchung der Effektivität von Gegenmaßnahmen ist einer der programmatischen Punkte auf der Agenda der internationalen Forschung zum Management des Müdigkeitsrisikos in Verkehrswesen und Arbeitswelt (Akerstedt, 2000).

2.1.3 Fahrerreaktionen auf Müdigkeit

Neben der Frage nach der *Soll*-Reaktion auf wahrgenommene oder durch ein Warnsystem zurückgemeldete Müdigkeit steht die Frage nach dem *Ist*-Zustand zu beantworten: Wie reagieren Fahrer typischerweise auf Müdigkeit? Die Ergebnisse von Fahrerbefragungen aus mehreren Ländern deuten darauf hin, dass es deutliche Diskrepanzen zwischen dem aus Sicherheitssicht optimalen und dem tatsächlichen Handeln gibt (Anund et al., 2008; Armstrong et al., 2010; Nordbakke & Sagberg, 2007; Schützhofer & Torner, 2008; Torner & Schützhofer, 2010). Verschiedene potentielle Gründe dieser Dissoziation wurden ebenfalls untersucht: Es könnte sein, dass Fahrer (1) die eigene Müdigkeit nicht adäquat wahrnehmen; (2) die mit Müdigkeit assoziierte Unfallgefahr unterschätzen; (3) unzutreffende Vorstellungen über die Wirksamkeit verschiedener Gegenmaßnahmen haben und / oder (4) vorhandenes Wissen über wirksame Handlungsoptionen aus noch näher zu untersuchenden Gründen nicht in die Tat umsetzen.

Subjektive Müdigkeit. Insgesamt wird in Fahrstudien ebenso wie in anderen Domänen zumeist eine hohe Übereinstimmung der subjektiven Müdigkeitswahrnehmung und objektiv messbarer Müdigkeitsparameter festgestellt (Akerstedt & Gillberg, 1990; Aurora, Caffo, Crainiceanu & Punjabi, 2011; Horne & Burley, 2010; Horne & Baulk, 2004; Kecklund & Akerstedt, 1993; Reyner & Horne, 1998b; Tremaine et al., 2010). Subjektive Müdigkeitsangaben steigen simultan mit EEG-Maßen, und diese Veränderungen, ebenso wie die subjektive Erkenntnis mit dem Schlaf zu kämpfen, gehen dem Auftreten grober Fahrfehler vorher: *“It was not possible for our subjects to fall asleep at the wheel and have an “accident” without experiencing a sustained period of increasing sleepiness, of which they were quite aware”* (Reyner & Horne, 1998b, S. 120). Allerdings wird von einem Teil der Fahrer die mit der Müdigkeit assoziierte *Einschlafwahrscheinlichkeit* unterschätzt¹¹ (ibd.). Wie bereits an anderer Stelle erwähnt, vermutet man, dass verschiedene schlaf- und wachheitsfördernde Komponenten (circadiane Rhythmik, Schlafhomöostase, time-on-task, Arousal) sich unterschiedlich stark in subjektiven, physiologischen und Leistungsmaßen der Müdigkeit niederschlagen, womit Dissoziationen möglich werden. Eine Reihe von Faktoren moderiert offenbar die Stärke des Zusammenhangs zwischen empfundener und objektiver Müdigkeit. Zum Beispiel werden hohe Korrelationen typischerweise unter müdigkeitsinduzierenden Bedingungen gefunden (des Nachts oder nach Schlafdeprivation), während Messungen am Tage, ohne Schlafdeprivation, geringere Zusammenhänge (Danker-Hopfe et al., 2001; Lafrance & Dumont, 2000; Schmidt et al., 2009) erbringen. Auch nach der Anwendung von Gegenmaßnahmen unter Schlafentzug können Dissoziationen auftreten. Unter anderem scheint nach *Naps* die subjektive Müdigkeit stärker ausgeprägt zu sein als der per Schlaflatenz messbare tatsächliche Schlafdruck (Tremaine et al., 2010). Das Fazit bezüglich der Frage *Sind Fahrer sich ihrer Müdigkeit bewusst?* lautet demnach: grundsätzlich ja, aber nicht unter allen Umständen gleich gut.

Subjektive Unfallgefahr. Ebenso wie einige Fahrer die Wahrscheinlichkeit am Steuer einzuschlafen unterschätzen, scheinen viele unzutreffende Vorstellungen davon zu haben, wie schwerwiegend einschlafbedingte Unfälle sind (Nordbakke & Sagberg, 2007). Hingegen stimmten in der gleichen Untersuchung immerhin drei Viertel der Befragten der Aussage zu, dass Müdigkeit die Fahrleistung ähnlich stark einschränkt wie Alkohol.

Wissen über Gegenmaßnahmen. Das erhobene Wissen der Befragten über die Wirksamkeit akut anwendbarer Gegenmaßnahmen fassen Nordbakke und Sagberg als „allgemein gut“ zusammen

¹¹ In einer Kontrollbedingung ohne Anwendung von Gegenmaßnahmen

(S. 1). Im Detail fällt die Passung zwischen objektiver und subjektiver Eignung je nach betrachteter Maßnahme unterschiedlich stark aus, wobei die Ergebnisse diesbezüglich über verschiedene Studien hinweg recht konsistent sind. Während Naps zumeist zutreffend als effektivste Maßnahme wahrgenommen werden¹², scheint der Effekt von Koffein tendenziell unterschätzt zu werden (Armstrong et al., 2010; Nordbakke & Sagberg, 2007; Schützhofer & Torner, 2008; Torner & Schützhofer, 2010). Dagegen werden zahlreiche ineffektive Maßnahmen regelmäßig von einem Teil der Fahrer in ihrer Wirksamkeit überschätzt, etwa *Fenster öffnen, Musik, Anhalten und essen / trinken, Anhalten und Füße vertreten*.

Anwendung von Gegenmaßnahmen. Weitere Diskrepanzen offenbaren sich beim Vergleich dieser Überzeugungen mit den im Müdigkeitsfall tatsächlich angewandten Maßnahmen. In der Studie von Nordbakke und Sagberg (2007) identifizierten 70% der Fahrer Napping als effektiv, doch nur 10% berichteten diese Maßnahme angewandt zu haben, als sie befürchteten am Steuer einzuschlafen. Im Gegensatz dazu werden andere, ineffektive Maßnahmen sehr häufig eingesetzt, darunter meistens *Anhalten und Füße vertreten, Anhalten und essen / trinken, Fenster öffnen, Musik hören* (Anund et al., 2008; Armstrong et al., 2010; Nordbakke & Sagberg, 2007; Schützhofer & Torner, 2008; Torner & Schützhofer, 2010). Obgleich diese Verhaltensweisen, wie oben erwähnt, auch bezüglich ihrer Wirksamkeit von einem Teil der Fahrer überschätzt werden, geht der Umfang ihrer Anwendung weit über das aufgrund dieser Fehleinschätzung zu erwartende Maß hinaus; d.h., sie werden oftmals wider besseres Wissen genutzt. Nordbakke und Sagberg (2007) stellen fest, dass Fahrer offenbar solche Maßnahmen präferieren, die innerhalb des Fahrzeugs und *ohne die Fahrt unterbrechen zu müssen* angewandt werden können. Ein großer Anteil der Fahrer (meist um die 75%) gibt an, schon trotz Müdigkeit weitergefahren zu sein (ibid., Armstrong et al., 2010). 26% der Befragten berichteten, sie hätten selbst nach einer wahrgenommenen Einschlafepisode am Steuer die Fahrt ohne Pause fortgesetzt; nur 23% hielten danach für einen Kurzschlaf an.

Auch für den Einsatz von Gegenmaßnahmen spielen interindividuelle Unterschiede eine Rolle. So fanden etwa Anund et al. (2008), dass ältere Fahrer häufiger auf die Möglichkeit des *Napping* zurückgreifen als jüngere. Dennoch ist auch in den Gruppen, in denen wirksame Maßnahmen vergleichsweise häufiger eingesetzt werden, die Verbreitung noch weit vom wünschenswerten Ausmaß entfernt (gegenüber 5% der jüngeren gaben beispielsweise 12% der älteren Fahrer an, eine Schlafpause eingelegt zu haben, als sie zuletzt am Steuer einzuschlafen fürchteten [Nordbakke & Sagberg, 2007]).

Drei Gründe werden wiederkehrend am häufigsten genannt, wenn Fahrer gefragt werden, warum sie trotz starker Müdigkeit nicht anhalten: *Nähe zum Zielort, Termine* und der *Wunsch, so bald wie möglich anzukommen* (Armstrong et al., 2010; Nordbakke & Sagberg, 2007; Torner & Schützhofer, 2010). Die Erwähnung des *Nähe*-Faktors in dieser Aufzählung stützt die Interpretation, dass die beobachtete Häufung von Müdigkeitsunfällen nahe des Zielorts (Armstrong et al., 2011) auf eine unangemessene Begünstigung der Entscheidung weiterzufahren zurückzuführen sein könnte.

Anzumerken ist, dass alle berichteten Erkenntnisse über die Anwendung von Gegenmaßnahmen auf Befragungsdaten beruhen. Wünschenswert ist eine zukünftige Ergänzung dieser Daten durch objektive Erhebungen. Da es in den Befragungen vermutlich eine Tendenz zu sozial erwünschten Antworten gibt, ist die tatsächliche Kluft zwischen Wissen und Handeln möglicherweise sogar noch größer.

¹² Die Darstellung hier beschränkt sich auf den Teil der untersuchten Gegenmaßnahmen, die akut und auch bei Unmöglichkeit eines Fahrerwechsels angewandt werden können.

Bezüglich der vier skizzierten potentiellen Gründe für Diskrepanzen zwischen Soll- und Ist-Reaktionen offenbaren sich somit auf allen Ebenen Optimierungspotentiale. Der größte und gleichzeitig bisher am wenigsten adressierte Interventionsbedarf besteht hierbei nach Einschätzung der meisten Autoren im Hinblick auf die frappierende Dissoziation zwischen Überzeugungen und Verhalten (Anund et al., 2008; Armstrong et al., 2010; Nordbakke & Sagberg, 2007; Schützhofer & Torner, 2008; Torner & Schützhofer, 2010). Ohne ein Verständnis der kognitiven und motivationalen Mechanismen, die für diese Dissoziation verantwortlich sind, werden Interventionsversuchen nur geringe Erfolgsaussichten beschieden sein.

2.1.4 Ansätze zur Minderung des Problems

In letzter Instanz hängen die Sicherheitsauswirkungen von Müdigkeit im Straßenverkehr von den Verhaltensentscheidungen jedes einzelnen Fahrers ab. Ansatzpunkte zur Reduktion des müdigkeitsassoziierten Risikos bieten sich auf jeder der multiplen kontextuellen Ebenen, in die diese Entscheidungen eingebettet sind - politische, rechtliche, gesellschaftliche und organisationale Rahmenbedingungen ebenso wie soziale Einflüsse, die aktuelle physische Umwelt und individuelle körperliche und psychische Gegebenheiten.

Grob können Ansätze zur Risikoreduktion in zwei Kategorien unterteilt werden: solche, die die Wahrscheinlichkeit verringern, dass Müdigkeit am Steuer überhaupt auftritt (*Fatigue reduction*) und solche, die bei vorhandener Müdigkeit deren potentielle negative Konsequenzen mindern (*Fatigue proofing*) (Fletcher et al., 2005; Gander et al., 2011). Ebenso können Maßnahmen in Bezug auf Ebenen der psychischen Regulation, auf denen sie im Rahmen der Fahraufgabe wirksam werden, betrachtet werden: strategisch (lange Zeitskala, Planung), taktisch (Sekundenskala, Manöverentscheidungen) und operational (Millisekundenskala, motorische Handlungsumsetzung) (Michon, 1985; s.a. Anund, 2009).

Die effektivste Risikokontrolle findet auf der strategischen Ebene bzw. unter dem Aspekt der *fatigue reduction* statt, also durch alle Maßnahmen, die darauf abzielen, dass Fahrer sich nur gut ausgeruht ans Steuer setzen und Fahrten bei Nacht oder nach Schlafentzug vermeiden. Da dies jedoch nicht immer möglich ist (s. Balkin, Horrey, Graeber, Czeisler & Dinges, 2011), ist es genauso wichtig, Strategien des *fatigue proofing*, die eher auf der taktischen und operationalen Ebene ansetzen, zu entwickeln. Im Rahmen jedes der im Folgenden vorgestellten Ansätze können grundsätzlich Beiträge sowohl zur *reduction* als auch zum *proofing* geleistet werden.

2.1.4.1 Gesetzgebung und Gesetzesvollzug

Für Deutschland relevante Rechtsnormen mit Einfluss auf das Müdigkeitsrisiko im Straßenverkehr existieren auf europäischer und nationaler Ebene; für den Luft- und Seeverkehr sind auch internationale Bestimmungen vorhanden. So legen etwa die europäische Verordnung 561/2006 und § 21a des deutschen *Arbeitszeitgesetzes* die Grenzen fest, innerhalb derer sich die Lenk- und Ruhezeiten von Berufskraftfahrern bewegen dürfen bzw. müssen, wobei relativ große Handlungsspielräume für Ausnahmen im Rahmen individueller Tarifverträge belassen werden. Auch für das Müdigkeitsrisiko berufstätiger privater Fahrer sind gesetzliche Arbeitszeitbestimmungen relevant, indem sie den Rahmen für tägliche Arbeits-, Pausen- und Ruhezeiten stecken und so unter anderem auf das Ausmaß von Müdigkeit, das Erholungsverhalten und die zeitliche Lage von Autofahrten Einfluss nehmen.

Neben arbeitsrechtlichen Bestimmungen bildet auch das geltende *Strafrecht* einen bedeutsamen Kontext für den Umgang mit Müdigkeit am Steuer. Während sich international bisher wenige Strafrechtsnormen explizit und in Verbindung mit eindeutigen Definitionskriterien mit *Müdigkeit* als Un-

fallursache befassen¹³, stellt Fahren unter Müdigkeit als Instanziierung einer *groben Gefährdung der Verkehrssicherheit* dennoch in den meisten Rechtsräumen eine Straftat dar. In Deutschland fallen fahrlässige Sachbeschädigung, Körperverletzung und Tötung aufgrund von Müdigkeit am Steuer unter § 315c *Gefährdung des Straßenverkehrs* des Strafgesetzbuches. Dort heißt es: „*Wer im Straßenverkehr [...] ein Fahrzeug führt, obwohl er a) infolge des Genusses alkoholischer Getränke oder anderer berauschender Mittel oder b) infolge geistiger oder körperlicher Mängel nicht in der Lage ist, das Fahrzeug sicher zu führen, [...] und dadurch Leib oder Leben eines anderen Menschen oder fremde Sachen von bedeutendem Wert gefährdet, wird mit Freiheitsstrafe bis zu fünf Jahren oder mit Geldstrafe bestraft*“, und weiterhin „... *ist der Versuch strafbar*“. Neben den strafrechtlichen Konsequenzen drohen der Entzug der Fahrerlaubnis und die Nichtübernahme des Schadens durch die Versicherung wegen grob fahrlässigen Handelns.

Obwohl somit die gesetzliche Grundlage zur Ahndung von Müdigkeit im Straßenverkehr gegeben ist, dürften mindestens zwei Probleme einer größeren Verhaltenswirksamkeit dieser Strafindrohung entgegenstehen. Zum einen ist davon auszugehen, dass viele Fahrer sich dieser Sachverhalte schlicht nicht bewusst sind. Unter diesem Aspekt könnte es möglicherweise tatsächlich sinnvoll sein, wie von einigen Experten gefordert, *Fahren unter Müdigkeit* explizit als Straftat in den Gesetzestext aufzunehmen (Fletcher et al., 2005). Auch Aufklärungskampagnen (s. 2.1.4.3) könnten dazu beitragen, die Wahrnehmung von Müdigkeitsfahrten als in mehrerlei Hinsicht gefährlich zu erhöhen. Zum anderen, und vermutlich entscheidender, sind die derzeit zur Verfügung stehenden Mittel zum *Vollzug* dieser Rechtsnorm überaus begrenzt. Studien zum Effekt des Strafrechts zeigen, dass weniger die Art oder Härte der Strafe als eine hohe Wahrscheinlichkeit, entdeckt und verurteilt zu werden, abschreckend wirkt (Doob & Webster, 2003; Entorf & Spengler, 2008; Wright, 2010). Im Moment wird Müdigkeit beim Fahren, wenn überhaupt, vor allem dann festgestellt, wenn es zu einem Unfall gekommen ist und der Fahrer zugibt müde gewesen bzw. eingeschlafen zu sein. Jenseits dessen ist der eindeutige Nachweis im Nachhinein ein schwieriges Unterfangen, selbst wenn die Unfallzeichen von einem Einschlafen am Steuer zeugen (vgl. 2.1.1.2). Zur standardisierten, schnellen und validen Überprüfung der Müdigkeit auf der Straße, analog etwa zur Messung des Atemalkoholgehalts, gibt es noch keinen anerkannten Kurztest. Verschiedene Verfahren werden hinsichtlich ihrer Tauglichkeit als *Fitness-for-Duty-Test* geprüft, z. B. pupillographische (Weil de Vega, 2007), posturographische (Schnupp, Schenka & Sommer, 2010) oder Tracking-Tests (Schenka, Schnupp, Heinze, Krajewski & Golz, 2010), die Psychomotorische Vigilanzaufgabe (PVT; Dinges & Powell, 1985; Loh, Lamond, Dorrian, Roach & Dawson, 2004), phonetisch-linguistische Analyse produzierter Sprache (Krajewski, Batliner & Golz, 2009) und andere (Balkin et al., 2011, s.a. 2.3.1). Ein Problem hierbei ist die Definition von Normwerten: Während die meisten dieser Aufgaben Müdigkeit beim Vergleich mit einer Baseline derselben Person gut erfassen können, macht die hohe interindividuelle Variabilität es schwierig, das Ergebnis einer einmaligen Messung richtig zu interpretieren.

2.1.4.2 Organisationale Maßnahmen

In einem aktuellen Überblicksartikel befassen sich Gander et al. (2011) mit Systemen zum Management des Müdigkeitsrisikos (*FRMS, fatigue risk management systems*) im Transportsektor und identifizieren eine Reihe von Faktoren, die auf Ebene der Organisation einen Einfluss auf das müdigkeitsbedingte Risiko haben. Dazu gehören *kulturelle und rechtliche Einbettung, Größe des Unternehmens,*

¹³ ein Beispiel ist „Maggie’s Law“, das 2003 in New Jersey in Kraft trat; nach Fletcher, McCulloch, Baulk, and Dawson (2005)

Art des Transportgeschäfts, die Sicherheitskultur des Unternehmens inklusive der Frage nach der Existenz eines Berichtswesens für Sicherheitsprobleme und das Entlohnungssystem ebenso wie – auf Individualebene – Lebens- und Arbeitsqualität sowie Wissen beziehungsweise Überzeugungen über Müdigkeit.

Viele dieser Organisationsmerkmale sind nicht nur für professionelle Fahrzeugführer relevant, sondern auch für alle privaten Fahrer, deren Lebensführung durch eine Organisation beeinflusst ist, also vor allem Berufstätige. Die Organisation bestimmt unter anderem darüber, wie die relativ breit gesteckten gesetzlichen Rahmenbestimmungen bezüglich Arbeits-, Pausen- und Ruhezeiten konkret umgesetzt werden und wirkt sich so auf das Müdigkeitsrisiko des Einzelnen aus. Dies gilt insbesondere für Branchen mit Nacht- oder wechselnder Schichtarbeit oder sehr langen Arbeitszeiten (z. B. Industriearbeiter, Sicherheitsbedienstete, Polizisten, Ärzte und Pflegepersonal, Feuerwehrleute, u.v.m.), aber auch für vermeintlich „normale“ Tätigkeiten. Neben den Arbeitszeiten und der Gestaltung der Arbeitsaufgaben ist bedeutsam, welcher Umgang mit Müdigkeit in einer Organisation gefördert wird (Krajewski et al., 2011): Verlangt die Unternehmenskultur beispielsweise einem müden Mitarbeiter ab, dass er ohne Pause durch das Nachmittagstief hindurch arbeitet (objektiv seine Arbeitsleistung schmälern), oder macht man sich für die leistungsfördernde Wirkung von Naps stark und stellt dafür eigene Rückzugsräume Verfügung? Die Kompetenz von Beschäftigten und Führungspersonal im Müdigkeitsmanagement kann auch durch betriebliche Aufklärung und Trainings erhöht werden (Gander, Marshall, Bolger & Girling, 2005). Ein Beispiel ist das vom DLR entwickelte „Wacham-Steuer“-Programm, das im Rahmen eines Modellprojekts mit Berufskraftfahrern validiert wurde, aber auch für den Einsatz in anderen Branchen in Frage kommt (Gundel & Tegen, 2006; ten Thoren, 2006). Es beinhaltet ein Training der Fahrer (u.a. Erhöhung der Bewusstheit über Schlafgewohnheiten anhand von Schlaftagebüchern, Erkennung von Müdigkeitssignalen und rechtzeitiges Ergreifen wirksamer Maßnahmen) ebenso wie die Arbeit mit Disponenten und Führungskräften. Zur Unterstützung der Ablaufoptimierung wird eine Software bereitgestellt, die anhand gesammelter Einsatzdaten (Fahr- und Pausenzeiten, Müdigkeitseinschätzungen der Fahrer, etc.) in Verbindung mit einem computationalen Modell (s.a. 2.3.1.1) bei der Identifikation von Schwachstellen in der Einsatzplanung hilft.

Die Möglichkeiten des organisationalen Müdigkeitsmanagements sind vielgestaltig und werden in Zukunft noch wichtiger werden, da der Trend in der Gesetzgebung dahin geht, lediglich Sicherheitsstandards vorzugeben, die zu erfüllen sind, und bezüglich des *Wie* mehr Verantwortung an Unternehmen und Beschäftigte zu übertragen (Gander et al., 2011).

2.1.4.3 Aufklärungskampagnen

Fletcher et al. (2005) nennen als die drei wesentlichen Aufgaben von Aufklärungskampagnen (1) eine Schärfung des Problembewusstseins, (2) eine Vermittlung von Wissen über sinnvolle Gegenmaßnahmen und (3) die Verankerung einer sozialen Norm für Verhalten in einer bestimmten Situation. Aus gutem Grund weisen diese Funktionen Ähnlichkeit mit den in 2.2 aufgeführten inhaltlichen Bestandteilen einer Warnung auf. In beiden Fällen handelt es sich um Formen persuasiver Kommunikation. Ein wesentlicher Unterschied besteht in der situativen Einbettung: Während bei Aufklärungskampagnen die Kommunikationssituation nur grob eingrenzbar ist, erfolgen Warnungen ereignisbezogen in einem ganz spezifischen Kontext mit großer Nähe zur Gefahrensituation. Aufklärungsmaßnahmen und Warnungen können als zusammengehörige Bausteine eines umfassenderen Warnsystems verstanden werden (Wogalter, Laughery & Mayhorn, 2006).

Im Rahmen des in Abschnitt 2.2 näher erläuterten C-HIP-Modells zielen Aufklärungskampagnen im Wesentlichen auf die Veränderung sicherheitsrelevanter Überzeugungen und Einstellungen ab. Wie Fletcher et al. (2005) anführen, sollte am Anfang der Entwicklung wirksamer Kampagnen zunächst ermittelt werden, welche Gruppen besonders gefährdet sind – z. B. jüngere Männer, Schichtarbeitende, Personen mit unbehandelten Schlafstörungen, Ferienreisende, Eltern junger Kinder, etc. (s. 2.1.1.2) –, gefolgt von einer Erhebung des Ist-Zustandes der Überzeugungen und Einstellungen bezüglich müden Fahrens in der jeweiligen Zielpopulation (vgl. 2.1.3 und 2.2.4). Die Diversität der Zielgruppen sollte bei der Auswahl der Kommunikationsansätze (z. B. emotional vs. wissensvermittelnd), Botschaften und Medien berücksichtigt werden. Mögliche Ansätze umfassen u.a. *den Vergleich des Risikos von Müdigkeit beim Fahren mit Fahren unter Alkoholeinfluss*; Informationen zur taktischen *Nutzung von Gegenmaßnahmen*, wie Fahrerwechsel, Koffein und Napping; Aufklärung über *minimale Schlafbedürfnisse*; Hilfen zum *Erkennen der Zeichen von Schläfrigkeit* bei sich selbst und anderen; Antizipation negativer *emotionaler Konsequenzen müden Fahrens* (z. B. persönliche Verantwortung für Verursachung eines tödlichen Unfalls); Hilfen zur besseren *Planung von Fahrten* und *In-Frage-Stellen bestehender Überzeugungen* bezüglich der persönlichen Fähigkeit, ohne Schlaf oder Koffein mit Müdigkeit umgehen zu können (Armstrong et al., 2011; Fletcher et al., 2005). Die Verbreitung erfolgt über zielgruppenspezifische Kombinationen von Medien, wie Broschüren, Postern, Fernseh- und Radiospots, Zeitungsartikeln, Flugblättern, verkehrsbezogenen Internetseiten, Zeitungsanzeigen, Plakattafeln und ähnlichen. Ein einprägsames Beispiel liefert eine australische Kampagne, die in einer Kombination eindringlicher TV-Spots, Plakattafeln und ganzseitiger Anzeigen in Zeitungen und Zeitschriften die Botschaft verbreitete „Fatigue kills / A 15-minute powernap could save your life“ (TAC, 2000, nach Fletcher et al., 2005; Video unter <https://www.youtube.com/watch?v=WOAMYQoLpg0>). Im deutschsprachigen Raum wandte sich aktuell die Schweizer Kampagne „Turboschlaf“ mit Videospots, einem Wettbewerb und einem Turboschlaf-Bus unter anderem an junge Fahrer vor ihrer Heimkehr nach einer durchgeführten Nacht (bfu, 2013; Abbildung 2). Im Fokus standen auch Senioren und berufsbedingte Vielfahrer.



Abbildung 2. Festival-Aktionen im Rahmen der Schweizer Turboschlaf-Kampagne. (Bild: www.turboschlaf.ch, Abdruck mit freundlicher Genehmigung der bfu)

In Deutschland scheint die Diskussion über Müdigkeit am Steuer bislang eher innerhalb der Fachorgane für Verkehrssicherheit stattzufinden; öffentlich ist das Müdigkeitsrisiko im Vergleich zu anderen Verkehrsrisiken, wie zu schnellem Fahren oder Ablenkung, kaum präsent. Aufklärungsangebote finden sich vor allem im Kontext spezieller Sicherheitsschulungen (in erster Linie für Berufskraftfahrer) oder sind, obgleich an private Fahrer gerichtet, für diese wenig sichtbar, wie etwa die Broschüre

„Müdigkeit im Straßenverkehr“ mit Informationen über die Unfallgefahr durch Müdigkeit, zur Erkennung von Müdigkeitsanzeichen und Situationen mit erhöhter Gefährdung, wirksamen Maßnahmen gegen Müdigkeit und einem Selbsttest zur Schlafqualität (ADAC, 2012; s.a. ten Thoren, 2006).

Evaluationsstudien zeigen, dass Aufklärungskampagnen wirksamer sind, wenn sie nicht für sich allein stehen, sondern im Rahmen umfassenderer Sicherheitsprogramme von anderen Maßnahmen (z. B. Verkehrsgesetzgebung, verstärkten Kontrollen, gezielter Information in der Fahrerausbildung, Schulungen, Schaffung positiver Anreize) flankiert werden. Zudem werden Unfallzahlen stärker reduziert, wenn die Intervention explizit auf einer Theorie der persuasiven Kommunikation beruht und wenn in vorangegangener Forschung bereits Faktoren identifiziert werden konnten, die dem Verhalten in der Zielgruppe zugrunde liegen (Delhomme et al., 1999; nach Armstrong et al., 2011).

2.1.4.4 Gestaltung des Verkehrsumfeldes

Ansatzpunkte sowohl zur Reduktion der am Steuer auftretenden Müdigkeit als auch zur Minderung möglicher negativer Konsequenzen vorhandener Müdigkeit bieten sich auch in der Gestaltung von Straßen und Verkehrsinfrastruktur.

Rüttelstreifen, bestehend entweder aus einer Textur ausgefräster Vertiefungen oder erhabener Markierungen, werden bereits in einigen Ländern als seitliche Fahrbahnbegrenzungen eingesetzt. Basierend auf der Erkenntnis, dass vielen einschlafbedingten Kollisionen ein unbemerktes Abkommen von der Straße vorangeht, können sie durch Vibrationen und Geräusche, die beim Überfahren entstehen, ein aufmerksamkeitslenkendes beziehungsweise weckendes Signal an den Fahrer übermitteln. Tatsächlich vermögen Rüttelstreifen offensichtlich einen Teil – vermutlich etwa ein Fünftel (Griffith, 1999; Hanley, Gibby & Ferrara, 2000; nach Jackson et al., 2011) – solcher Unfälle zu verhindern und stellen damit eine sinnvolle Maßnahme zur Minderung der negativen Konsequenzen von Müdigkeit im Verkehr dar. Doch nicht alle müdigkeitsbedingten Unfälle entstehen durch Einschlafen (Lenné et al., 2004), nicht alle sind durch ungewolltes Verlassen der Straße gekennzeichnet, und nicht in allen Fällen ist davon auszugehen, dass die durch die Rüttelstreifen vermittelten vibroakustischen Reize ausreichend sind, um den Fahrer zu wecken oder ihm zu einer rechtzeitigen Reaktion zu verhelfen.

Dem gegenüber tendieren Fahrer vermutlich dazu, die Wirksamkeit von Rüttelstreifen zu überschätzen, was zur Förderung sicherheitsgefährdender Entscheidungen beitragen könnte. In der bereits früher zitierten Studie von Nordbakke und Sagberg (2007) zeigten sich fast zwei Drittel der Befragten überzeugt davon, dass Rüttelstreifen eingeschlafene Fahrer aufwecken. Experimentelle Untersuchungen, wie effektiv die Streifen in dieser Hinsicht tatsächlich sind und welche Bedingungen die Wirksamkeit in welcher Form moderieren, gibt es kaum. Anund (2009) untersuchte im Fahrsimulator die Nachhaltigkeit der Aktivierung nach Kontakt mit Rüttelstreifen und fand in physiologischen Maßen und Querführung einen kurzfristigen Effekt, der zwischen 3 und 4 Minuten anhielt, bevor die gemessene Müdigkeit wieder das Ausgangsniveau erreichte.

Neben der Beschaffenheit der Straße haben auch die Straßenführung und –peripherie (Kurven, abwechslungsreiche Umgebung) als Merkmale der Fahraufgabe einen gewissen Einfluss auf die manifeste Müdigkeit sowie das Unfallrisiko (s. 2.1.1.3) und bieten damit grundsätzliche Möglichkeiten zu einer gezielten Gestaltung. Oftmals dürfte dabei allerdings der nötige Aufwand in einem ungünstigen Verhältnis zum erzielten Nutzen stehen, da diese Maßnahmen lediglich auf die aufgabenbedingte Komponente von Müdigkeit wirken, womit die Effekte von Schlafmangel oder Tageszeit nur unvollständig kompensiert werden können (Jackson et al., 2011; Thiffault & Bergeron, 2003).

Lohnender ist vermutlich die Investition in Infrastrukturmaßnahmen, welche die Fahrer bei der Anwendung effektiver Gegenmaßnahmen unterstützen. Neben der grundsätzlichen Verfügbarkeit bietet insbesondere die konkrete Ausgestaltung von Raststätten an Landstraßen und Autobahnen noch viel Raum zur Optimierung (Reyner, Horne & Flatley, 2010). Ziel sollte es sein, durch attraktive Angebote positive Anreize für Pausen zu schaffen. Solche Angebote könnten sich zum Beispiel auf ein verändertes Layout von Parkplätzen beziehen, welches auch geschützte Rückzugsräume für Naps im eigenen Pkw bereitstellt. Indoor-Ruhebereiche mit bequemen Schlafsesseln oder speziellen „Nap-Pods“ in attraktivem Design könnten helfen, mögliche Berührungspunkte abzubauen, die bei der Vorstellung eines „Raststättenschlafraums“ aufkommen könnten, und in Verbindung mit einem Angebot an Schlafutensilien wie Decken, Schlafmasken und eventuellem Lärmschutz für die Ohren den Bedürfnissen nach Privatheit, Wärme und Behaglichkeit Rechnung zu tragen. Zusätzliche Anreize könnten geschaffen werden, indem solche Angebote aktiv beworben und / oder mit Zusatznutzen verknüpft würden; subjektive oder finanzielle Kosten sollten vermutlich möglichst klein gehalten werden. Vorstellbar wären zum Beispiel Bonussysteme im Sinne von „wer im Shop etwas kauft, kann 20 Minuten gratis einen Nap-Pod nutzen“. Ähnliches gilt für ein aktives Anbieten koffeinhaltiger Getränke. Ergänzt wird die Wirkung einer solchen Pauseninfrastruktur durch effektive Leitsysteme, die die Fahrer zu den Rastplätzen führen.

2.1.4.5 Fahrzeugtechnologie

Die möglichen Divergenzen zwischen *objektiv* messbaren Indikatoren von Müdigkeit, Einschlafwahrscheinlichkeit, Unfallgefahr, Wirksamkeit von Gegenmaßnahmen und deren jeweiliger *subjektiver* Wahrnehmung (s. 2.1.3) sowie die Kluft zwischen normativ-optimalen und tatsächlichen Reaktionsweisen auf Müdigkeit waren der Ausgangspunkt für die Bestrebung, automatische Systeme zur Fahrerzustandsüberwachung zu entwickeln. Ein Vorteil solcher Technologien im Vergleich zu den bisher vorgestellten Ansätzen ist ihr Potential, zielgenau in kritischen Momenten auf den Fahrer einzuwirken.

Die Erforschung von Methoden zur objektiven Messung und Vorhersage von Müdigkeit wurde in den letzten drei Dekaden stark vorangetrieben und hat seither beträchtliche Fortschritte gemacht (s. 2.3.1 für detailliertere Darstellung verschiedener Ansätze sowie verbleibender Schwierigkeiten). Als Zielpunkt und Referenz für die Bewertung vorgeschlagener Überwachungssysteme umreißen Balkin et al. (2011) die Eigenschaften eines *idealen* Systems wie folgt: Es sollte *a)* aktuelle Müdigkeit *vorhersagen* können (anhand relevanter Faktoren wie Schlafhistorie, Tageszeit, Time-on-Task, Aufgabenmerkmalen, Stimulantienkonsum, individueller Widerstandsfähigkeit gegen die Effekte von Schlafmangel, etc., s.a. 2.1.1.2, 2.1.2 und 2.3.1.1), es sollte *b)* den tatsächlichen Status online *messen* können und diese Information zur Kalibrierung in die Modellvorhersage zurückfüttern (s. 2.3.1.2), und *c)* wirksam *intervenieren* können, sobald Defizite zu beobachten oder zu erwarten sind; wobei *wirksam* bedeutet, dass durch die Intervention Wachheit und Leistung so lange wie nötig¹⁴ wiederhergestellt und aufrechterhalten werden (s. 2.3.2).

Je stärker dabei *individuelle* Eigenschaften des jeweiligen Fahrers berücksichtigt werden, desto genauer kann die Vorhersage sein. Im Sinne einer hohen Akzeptanz sollte das System zudem möglichst *noninvasiv* messen (z. B. anhand von Leistungsparametern, die im Rahmen der Fahraufgabe ohnehin anfallen) und auch sonst *unaufwendig* zu nutzen sein (z. B. ohne die Notwendigkeit einer

¹⁴ d.h. bis beispielweise der Fahrer sicher zu Hause angekommen ist und dort den angemessenen Erholungsschlaf bekommen kann

manuellen Kalibrierung). Selbstverständlich sollten die verwendeten Indikatoren Müdigkeit *reliabel* und *valide* abbilden. Sie sollten sowohl eine *hohe Sensitivität* aufweisen – damit Trends detektiert werden können, bevor eine kritische Schwelle überschritten ist, und die Zahl von *Misses* so klein wie möglich gehalten wird – als auch über eine *hohe Spezifität* verfügen, um die Zahl *falscher Alarme* zu minimieren (s.a. 2.2.2). Zum *optimalen Zeitpunkt* sollten wirksame Gegenmaßnahmen in der *optimalen Dosierung* (wie lange nappen, wieviel Kaffee trinken etc.) vorgeschlagen und der Fahrer bei deren Umsetzung unterstützt werden (z. B. durch Routenplanung zur nächstgelegenen Raststelle). Das System sollte robust unter allen möglichen Umständen einsetzbar und *unter realistischen Bedingungen validiert* sein. Es sollte minimal *von der Fahraufgabe ablenken*, und die *Privatsphäre* des Anwenders sollte geschützt bleiben (Balkin et al., 2011; Barr, Popkin & Howarth, 2009; Brown, 1997; Dinges & Mallis, 1998; Dreßler, Karrer & Brandenburg, 2009; Eskandarian et al., 2012).

Bereits ohne jede Kenntnis des aktuellen Entwicklungsstandes wird ersichtlich, dass es nicht einfach ist, ein System zu entwickeln, das alle Forderungen gleichzeitig zu erfüllen vermag – beispielsweise *a)* in Bezug auf die Kombination von *Individualisierung* der Vorhersage durch Einfüttern von Daten des Lebensvollzugs, *unaufwendiger Benutzbarkeit* und *Schutz der Privatsphäre*, *b)* in Bezug auf das bei jeder Definition eines Schwellenwertes auftretende Problem der Gewichtung von *verpassten Ereignissen vs. falschen Alarmen* oder *c)* in Bezug auf die Frage nach der *tatsächlichen Verhaltens- und Sicherheitswirksamkeit* der Systemoutputs.

Inzwischen befinden sich zahlreiche Systeme in der Entwicklung – wobei ein deutlicher Schwerpunkt noch immer auf möglichen Detektionsmechanismen liegt –, und eine ganze Reihe ist auch bereits auf dem Markt. Näheres dazu wird in Abschnitt 2.3 dargestellt.

Abschließend ist festzustellen, dass im Rahmen von *fatigue reduction* und *fatigue proofing* Beiträge auf jeder Ansatzebene bedeutsam sind und am besten in einer gut auf einander abgestimmten Kombination ihr Wirkungspotential entfalten (Dawson & McCulloch, 2005; Dawson, Searle & Paterson, 2014; Gander et al., 2011; Horrey, 2011), was eine Kooperation der verschiedenen ausführenden Organe wesentlich macht. Ebenso wichtig ist, dass die Entwicklung und Umsetzung von Maßnahmen in enger Kopplung mit der wissenschaftlichen Forschung und unter Einbezug relevanter Theorien und empirischer Untersuchungen erfolgt, damit Interventionen bedarfsgerecht und im Sinne maximaler Effektivität gestaltet werden können.

2.2 Theoretische Aspekte der Warnwirkung

Im Fokus dieser Arbeit steht die bislang kaum untersuchte Frage, wie die Outputs von Müdigkeitswarnsystemen möglichst verhaltenswirksam gestaltet werden können. Um dies zu untersuchen, muss man zunächst eine Vorstellung von den Mechanismen haben, die bestimmen, *ob* und *wie erfolgreich* Warnungen überhaupt im Stande sind, Verhalten zu beeinflussen.

2.2.1 Grundsätzliche Überlegungen zu Warnungen

Mit dem ultimativen Ziel der Vermeidung von Personen- und Sachschäden sollen Warnungen als eine spezielle Form von Risikokommunikation über Gefahren informieren und dadurch bessere Entscheidungen ermöglichen und fördern (Wogalter et al., 2006). Im Rahmen der Hierarchie der Gefahrenkontrolle (*hazard control hierarchy*, Sanders & McCormick, 1993; nach Wogalter et al., 2006) sind sie als dritte Rückfallposition dann anzuwenden, wenn die vorgeordneten Ansätze (1) *Eliminierung der Gefahr* und (2) *Abschirmung von der Gefahr durch physische oder prozedurale Barrieren* impraktikabel oder nur unvollständig umsetzbar sind. Beispiele für die erste Ebene sind solche Ansätze, die ein Zusammentreffen der beiden Umstände „müde sein“ und „fahren wollen / müssen“ zu vermeiden

versuchen, z. B. durch sinnvolle Arbeitszeitgestaltung, Hilfen zur prospektiven Planung von Urlaubsfahrten, Fahrservices, etc. (s.a. 2.1.4). Es ist klar, dass durch solche Maßnahmen das Auftreten von Müdigkeit am Steuer zwar eingedämmt, aber nicht völlig eliminiert werden kann; ebenso wie es unmöglich ist, müdigkeitsresistente Menschen zu erschaffen oder die Fahrsituation so sicher zu gestalten, dass trotz Müdigkeit keine ernste Gefahr mehr besteht. Auch der Einsatz physischer und prozeduraler Barrieren ist in verschiedenerlei Hinsicht Limitationen unterworfen. Zum Beispiel können Rüttelstreifen, wie oben dargestellt, nur einen kleinen Teil einschlafbedingter Unfälle verhindern. Ein System, das nach einem negativen Fitness-for-Duty-Test verhindert, dass ein Fahrzeug überhaupt gestartet werden kann, wäre zwar effektiv, aber gleichzeitig unverhältnismäßig restriktiv (vgl. Karrer-Gauß, 2012; Summala, Häkkinen, Mikkola & Sinkkonen, 1999). Insofern stellen Müdigkeitswarnungen zwar keinen Ersatz für andere Sicherheitsstrategien dar, bilden aber eine unverzichtbare Ergänzung zu diesen (Lehto & Salvendy, 1995).

Damit Warnungen Verhalten in sicherheitsförderlicher Weise beeinflussen können, sollten sie drei Kategorien von Information enthalten: (1) *zur Art / Quelle der Gefahr*, (2) *zu drohenden negativen Konsequenzen* und (3) *Instruktionen, was zu tun ist*. Warnhinweise sollten in *zeitlicher und örtlicher Nähe zur Gefahr* auftauchen und an dieser Stelle möglichst kurz und prägnant sein. Auf der anderen Seite ist zum Verständnis der Gefährdung und der Effektivität von Gegenmaßnahmen zumeist eine komplexere Informationsvermittlung erforderlich. Wogalter et al. (2006) betonen daher, dass die Vorstellung, eine Warnung bestehe nur aus einem einzelnen Hinweis, zu kurz greift. Somit ist eine Anzeige, die bei festgestellter Müdigkeit im Fahrzeug erscheint, nur ein Bestandteil eines umfassenderen Warnsystems, das ebenso Hintergrundinformation und Aufklärungsmaßnahmen in anderen Formaten und mit anderen, komplexeren Inhalten umfasst, wie sie u.a. in 2.1.4.3 dargestellt sind.

2.2.2 Ein Rahmenmodell der Warnwirkung

Um einen Überblick zu gewinnen, welche Faktoren bei der Warnungsgestaltung im Sinne einer erfolgreichen Verhaltensbeeinflussung zu berücksichtigen sind, eignet sich das C-HIP-Modell (Wogalter, 1999, 2006, siehe Abbildung 3). Ein Warnprozess wird hierin als eine Form sicherheitsbezogener Kommunikation betrachtet. Demnach sind für eine Rahmentheorie der Warnung zwei Modellvorstellungen relevant: Ein Modell der *Kommunikation* (Communication – dafür steht das „C“ in C-HIP) und ein Modell der *menschlichen Informationsverarbeitung* (Human Information Processing – „HIP“).

Um den Kommunikationsprozess zu beschreiben, greift das Modell eine allgemein anerkannte Konzeption mit folgenden Bestimmungsstücken auf: einer *Quelle*, die eine Botschaft in Form einer Warnung enkodiert und über einen *Kanal* - im Rahmen einer spezifischen *Übermittlungssituation* - an einen *Empfänger* übermittelt, welcher die Botschaft dekodiert. Auf allen Stufen können Störeinflüsse dazu führen, dass Diskrepanzen zwischen der zu sendenden und der empfangenen Nachricht entstehen (Wogalter et al., 2006). Beispiele für solche Einflüsse, die für die Müdigkeitswarnung relevant sind, werden in den folgenden Abschnitten gegeben. Der wichtigste Indikator für den Erfolg oder Misserfolg einer Warnung ist das resultierende Verhalten des Empfängers. Bevor die Warnung jedoch zu beobachtbarem Verhalten führen kann, muss sie zunächst innerhalb des Empfängers erfolgreich eine Reihe von Verarbeitungsprozessen durchlaufen. Diese werden in der Tradition kognitiver Rahmenmodelle der Informationsverarbeitung als eine Sequenz funktionaler Module oder Stufen ebenfalls durch das C-HIP-Modell spezifiziert. Dabei kann die intendierte Beeinflussung des Verhaltens auf jeder einzelnen Stufe scheitern: Fällt die Verarbeitung auf einer Stufe ungünstig aus, bricht der Informationsfluss an dieser Stelle ab und folgende Stufen werden nicht mehr durchlaufen.

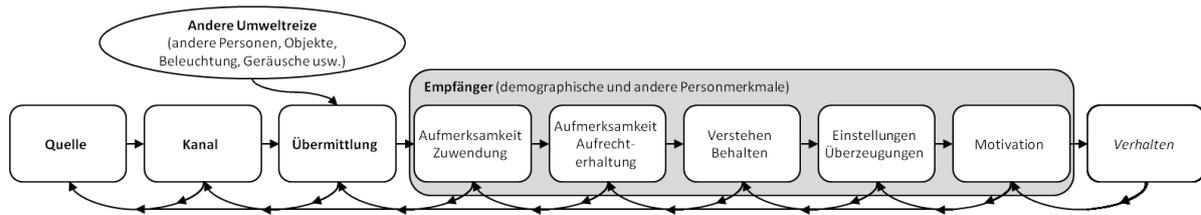


Abbildung 3. Das C-HIP-Modell des Warnungsprozesses. (Modifizierte Darstellung nach Wogalter, 2006, S. 52; wiederveröffentlicht mit Genehmigung von Lawrence Erlbaum Associates, Genehmigung übermittelt durch Copyright Clearance Center, Inc.)

Damit Verhalten verändert werden kann, muss eine Warnung als erstes bemerkt werden, sie muss beim Empfänger eine (1) *Aufmerksamkeitszuwendung* auslösen. Über die reine Reorientierung der Aufmerksamkeit hinaus, das heißt im Anschluss an das bloße Registrieren des Vorliegens einer Botschaft, müssen Aufmerksamkeitsressourcen in ausreichender Menge und zeitlicher Dauer bereitgestellt werden, damit der Inhalt verarbeitet werden kann - (2) *Aufrechterhaltung der Aufmerksamkeit*. Auch wenn genügend Ressourcen investiert wurden, um beispielsweise einen Warnungstext zu lesen, kann die weitere Verarbeitung stocken, wenn es Probleme auf der nächsten Stufe gibt: Der Warnungsinhalt muss (3) *verstanden* sowie gegebenenfalls bis zum Eintreten der gefährlichen Situation *im Gedächtnis behalten* werden. Widerspricht der elaborierte Inhalt¹⁵ persönlichen (4) *Überzeugungen* oder *Einstellungen*, wird ein warnungskonformes Verhalten ebenso unwahrscheinlich wie im Falle einer ungünstigen Konstellation von positiven und negativen Anreizen auf Ebene der (5) *Motivation*.

Im Konsens mit allgemeinen Modellen der Informationsverarbeitung beinhaltet das C-HIP-Modell neben der Konzeption einer sequentiell-linearen Verarbeitung auch die Vorstellung von *Rückkopplungen*, die von jeder Stufe beziehungsweise jedem Modul aus die Verarbeitung auf anderen Stufen beeinflussen können. Ist eine Person beispielsweise von der Ungefährlichkeit einer Umgebung überzeugt (Ebene der Einstellungen und Überzeugungen), sinkt die Wahrscheinlichkeit, dass eine Warnung von dieser Person überhaupt bemerkt und / oder aufmerksam verarbeitet wird (Ebenen der Zuwendung und Aufrechterhaltung von Aufmerksamkeit). Liegen auf Ebene der Motivation hohe Handlungskosten vor, die mit dem empfohlenen Verhalten verbunden sind, kann dies zu Urteilsverzerrungen auf Ebene der Einstellungen und Überzeugungen führen – und so weiter. Entsprechend sieht das Modell auch die Möglichkeit vor, dass Verarbeitungsprozesse sich im Rahmen einer wiederholten Konfrontation mit der Warnung verändern können. So ist zum Beispiel aus der Aufmerksamkeitsforschung bekannt, dass neuartige Reize eine höhere Salienz besitzen als vertraute, das heißt mit größerer Wahrscheinlichkeit die Aufmerksamkeit auf sich ziehen (s. Wickens & McCarley, 2007). Durch wiederholte Exposition nimmt auf Ebene des Langzeitgedächtnisses die Vertrautheit eines Warnreizes zu. Entsprechend nimmt die Wahrscheinlichkeit ab, dass das Auftreten der Warnung zu einer Aufmerksamkeitszuwendung führt (Wogalter, 2006).

Bereits in den Abschnitten zur Phänomenologie von Müdigkeit am Steuer wurde die Bedeutsamkeit *interindividueller Unterschiede* herausgestellt, und diese Bedeutsamkeit setzt sich im Rahmen der warnungsbezogenen Kommunikations- und Informationsverarbeitungsprozesse fort. Demographische Faktoren, Persönlichkeitsmerkmale, Kompetenzen und individuelle Erfahrungen beeinflussen

¹⁵ Mit *Elaboration* des Inhalts sind hier eine bewusste Verarbeitung und ein grundlegendes inhaltliches Verständnis der Botschaft gemeint. Elaboration bezeichnet allgemein die Verknüpfung neuer Informationen mit im Langzeitgedächtnis gespeicherten Informationen und kann mehr oder weniger intensiv erfolgen.

die Verarbeitung auf allen empfängerseitigen Stufen des C-HIP-Modells. Entsprechende Befunde existieren zum Beispiel für Alter, Geschlecht, Kontrollüberzeugungen, Selbstwirksamkeitserwartungen, Sensation Seeking, subjektive Normen (internalisierte soziale Erwartungen), Gesundheitsbewusstsein oder persönliche Erfahrungen mit der Gefahrensituation (Rogers, Lamson & Rousseau, 2000; Weaver, Gerber, Hancock & Ganey, 2003). Auch der Einfluss *situativer* Faktoren, welche im Rahmen der Übermittlung auftreten und die Art und Weise verändern, wie Warnungen wahrgenommen und bewertet werden, ist im C-HIP-Modell berücksichtigt („andere Umweltreize“). Beispielsweise wirken hohe aktuelle Anforderungen der Fahraufgabe negativ auf die Bereitschaft und Ressourcen zur bewussten Verarbeitung eines Warnungsinhalts; ebenso kann die Gegenwart anderer Personen auf vielfältige Weise den Verarbeitungsprozess verändern. Neben der Wichtigkeit der Berücksichtigung dieser Größen als Kontrollvariablen impliziert deren Einbezug in das Modell auch die Möglichkeit, dass die Verhaltenswirksamkeit von Warnungen durch individuen- und situationsbezogene Anpassungen in Inhalt und Format zu optimieren ist.

Eine methodisch bedeutsame Konsequenz aus der Vorstellung der stufenweisen Verarbeitung ist, dass aus dem Fehlen einer warnungskonformen Verhaltensantwort nicht auf die völlige Wirkungslosigkeit einer Warnung geschlossen werden kann. Die Warnung könnte dennoch Veränderungen zum Beispiel auf Ebene des Wissens oder der Überzeugungen erzeugt haben, die in späteren Entscheidungssituationen relevant werden. Demnach sollten Effekte von Warnungen und Warnungsdesign nicht nur auf Ebene des beobachtbaren Verhaltens, sondern auch auf den vorgeordneten kognitiven Verarbeitungsstufen untersucht werden (Wogalter, 2006).

In den folgenden Abschnitten wird das C-HIP-Modell als ordnender Rahmen benutzt, um einige Einflussgrößen zu betrachten, die im Fall der Müdigkeitswarnung im Fahrzeug eine Rolle für die erfolgreiche Verarbeitung spielen.

2.2.2.1 Quelle

Der im Hinblick auf Verhaltenswirksamkeit bedeutsamste Faktor auf Seiten der Warnungsquelle ist deren (vom Empfänger wahrgenommene) Glaubwürdigkeit. Diese wird wiederum von verschiedenen anderen wahrgenommenen Eigenschaften der Quelle beeinflusst, vor allem deren Expertise, aber auch Merkmalen wie Vertrautheit oder Status (Aronson, Akert & Wilson, 2008; Cox & Wogalter, 2006). Im Falle der Müdigkeitswarnung liegt ein für die Glaubwürdigkeit entscheidender Aspekt in der Validität und Messgenauigkeit des zugrundeliegenden Detektionssystems sowie einer gelungenen Setzung des Warnungskriteriums. Insbesondere eine hohe Zahl falscher¹⁶ Alarme hat eine negative Wirkung auf das Vertrauen, das der Empfänger dem System entgegenbringt und damit auf seine Bereitschaft, den Empfehlungen des Systems zu folgen (Lee & See, 2004; Parasuraman & Manzey, 2010; Wickens & McCarley, 2007). Da lediglich die *subjektive* Glaubwürdigkeit entscheidend ist, die der Quelle vom Empfänger attestiert wird, spielen auch Merkmale des Empfängers eine Rolle, darunter relativ stabile Eigenschaften wie Intelligenz und Kognitionsbedürfnis oder auch eigene Erfahrungen, z. B. mit Sekundenschlaf oder Müdigkeitsunfällen (s.a. 2.2.2.4, 2.2.4).

Vor dem Hintergrund verschiedener Forschungsbefunde aus anderen Domänen ist es zudem plausibel, dass neben der Messgüte weitere, de facto irrelevante, systemseitige Merkmale die subjektive Glaubwürdigkeit mitbestimmen, z. B. der Nimbus des Herstellers oder die Gestaltung der

¹⁶ oder auch aufgrund von mangelnder Deckung mit dem subjektiven Müdigkeitsempfinden lediglich als falsch empfundener

Warnanzeige im Hinblick auf Ästhetik oder „Umgangsformen“ (Dion, Berscheid & Walster, 1972; Parasuraman & Miller, 2004; Petty, Cacioppo & Goldman, 1981).

2.2.2.2 Kanal

Zwei wesentliche Gestaltungsaspekte bezüglich des Kanals, durch den die Warnbotschaft übermittelt wird, betreffen (1) *das Medium*, in dem die Warnung präsentiert wird (ggf. auch *die Medien*), und (2) die beim Empfänger adressierte *sensorische Modalität* (bzw. *Modalitäten*; Cohen, Cohen, Mendat & Wogalter, 2006). Obwohl diese Merkmale des Kanals die Verarbeitung der Botschaft durch den Empfänger potentiell auf allen Stufen beeinflussen, sind sie insbesondere kritisch für eine gelingende Aufmerksamkeitsausrichtung und semantische Verarbeitung.

Im Fahrzeug bewegt sich die Gestaltung dabei in dem Spannungsfeld, dass die Warnung einerseits die Aufmerksamkeit effektiv und lange genug auf sich ziehen sollte, um eine angemessen tiefe Verarbeitung des Inhalts zu ermöglichen, andererseits aber möglichst nicht mit der Fahraufgabe interferieren sollte. Notfalls muss ein Warnsignal stark genug sein, um einen Fahrer aus dem Sekundenschlaf zu holen, ohne jedoch eine Schreckreaktion hervorzurufen (Ayoob, Grace & Steinfeld, 2005; Eskandarian et al., 2007).

Einfache *akustische* oder *haptische* Signale sind in diesem Kontext sowohl salienter als auch besser mit den in erster Linie visuomotorischen Anforderungen des Fahrens vereinbar als visuelle Reize (Wickens, 2002, 2008; Wickens & McCarley, 2007). Dem gegenüber stehen Einschränkungen in der Möglichkeit, die im Müdigkeitskontext erforderlichen komplexeren Informationen und Handlungsanweisungen zu übermitteln. Vor diesem Hintergrund erscheinen Sprachanweisungen als eine vielversprechende Ergänzungsmöglichkeit. Allerdings können sich im Zusammenhang mit deren sequenziellem und temporärem Charakter auch hierbei Nachteile in Bezug auf Verständlichkeit und Nachhaltigkeit ergeben, insbesondere bei höherer Komplexität und Länge der Nachricht (Cohen et al., 2006). Visuell präsentierte Symbole und Bilder bieten ein hohes Potential zur Vermittlung komplexer Information in kurzen Verarbeitungszeiträumen, bergen aber wiederum ohne zusätzliche Textinformationen das Risiko der Fehlinterpretation (Daniel, Goldman, Lachenmayr, Erickson & Moore, 2001; Wogalter et al., 2006). Angesichts des Spannungsverhältnisses zwischen der zur Verhaltensbeeinflussung erforderlichen Komplexität und der in der Fahrsituation gebotenen Kürze empfiehlt sich die Einbettung der Fahrzeugwarnung in ein umfassenderes System risikobezogener Kommunikation. Zudem wirkt sich *Redundanz* sowohl in Bezug auf die gleichzeitige Ansprache mehrerer Sinnesmodalitäten (multimodale Warnungen) als auch auf die Nutzung verschiedener Medien positiv auf die empfängerseitige Verarbeitung des Warnungsinhalts aus (Cohen et al., 2006; Haas & van Erp, 2014; Wogalter et al., 2006).

2.2.2.3 Überbringung

Ein erster bedeutsamer Aspekt bezüglich der Überbringung einer Müdigkeitswarnung ist die Frage, ob ein MWS zum kritischen Zeitpunkt überhaupt *aktiviert* ist. Mit Blick auf die zu erwartende Akzeptanz beim Nutzer wird nämlich empfohlen, nicht nur verschiedene Systemeinstellungen individualisierbar zu machen, sondern auch die manuelle Deaktivierung des gesamten Systems zu ermöglichen (Barr et al., 2009; Eskandarian et al., 2012).

Ein zweiter wichtiger Aspekt der Überbringung sind die in der jeweiligen Warnsituation vorliegenden *Umweltbedingungen*, welche sowohl förderlich als auch hinderlich wirken können. Dem potentiell nachteiligen Einfluss einiger dieser Bedingungen kann durch vorausschauende Gestaltung des Warnsystems entgegengewirkt werden. Beispielsweise könnte bei einem adaptiven System die Laut-

stärke einer akustischen Ausgabe an die Intensität der Umgebungsgeräusche angepasst werden, damit die Warnung einerseits gut vernehmlich, aber gleichzeitig nicht unnötig erschreckend ist (Barr et al., 2009). Die Helligkeit eines Displays könnte an die Beleuchtungsbedingungen angepasst werden. Auch Verkehrsdichte und Komplexität der aktuellen Fahrsituation könnten die Wahl des optimalen Kanals beeinflussen (indem z. B. der visuelle Kanal nicht zusätzlich beansprucht wird, wenn ohnehin viel visuelle Information verarbeitet werden muss; Bekiaris & Nikolaou, 2004). Zu den relevanten Bedingungen der Überbringungssituation gehört auch die Anwesenheit anderer Personen, welche Einfluss auf Aufmerksamkeitszuwendung, Verständnis, Bewertungen und Entscheidungen des Fahrers nehmen können. Es lohnt darüber nachdenken, ob und wie durch eine kluge Gestaltung der Warnung auch potentielle positive soziale Einflüsse von Beifahrern aktiviert werden können. Ein dritter Aspekt betrifft alle Fragen des *Zeitpunkts* und der *Sequenzierung* von Warnungen. Bei welchem kritischen Niveau von Müdigkeit soll gewarnt werden? Sollen Warnungen wiederholt werden und wenn ja, wann? Wird dann einfach dieselbe Warnmeldung wiederholt, oder kommt ein mehrstufiges Konzept mit unterschiedlichen Warnungen (z. B. abhängig vom Gefährdungsgrad) zum Einsatz (Eskandarian et al., 2007; Karrer-Gauß, 2012)?

2.2.2.4 Empfänger

2.2.2.4.1 Aufmerksamkeitszuwendung

Das Einsetzen einer Müdigkeitswarnung muss in einer Umgebung mit konkurrierenden Reizen zunächst verlässlich bemerkt werden, es muss also in der Lage sein, exogen die Aufmerksamkeit auf sich zu ziehen. Gleichzeitig ist die Interferenz mit der Fahraufgabe zu minimieren. Je nach Umgebungssituation können unterschiedliche Modalitäten für diese Aufgabe optimal sein. Allgemein besitzen auditive Onsets die höchste Salienz; haptische Reize (z. B. Vibration) sind fast ebenso effektiv (Proctor & Proctor, 2006; Sarter, 2006; van Erp, Veltman & van Veen, 2003; nach Wickens & McCarley, 2007). Auch innerhalb der visuellen Modalität¹⁷ existieren verschiedene geeignete Möglichkeiten, um Warnungsreize salient zu machen. Visuelle Salienz hängt von der Unterschiedlichkeit oder der Neuartigkeit eines Reizes bezogen auf seine Umgebung ab, die auf verschiedenen basalen Wahrnehmungsdimensionen (z. B. Farbe, Bewegung, Helligkeit) besteht (Itti & Koch, 2000). Allgemein am wirkungsvollsten sind wiederholte Onsets (Blinken) sowie Bewegung und Farben, die mit der Umgebung kontrastieren (Wickens & Rose, 2001; nach Wickens & McCarley, 2007).

Auch die relative Größe einer Warnung, eine im Sinne der Erkennbarkeit gute Strukturierung und die Verwendung von Signalwörtern und Gefahrensymbolen erleichtern die Aufmerksamkeitszuwendung (Wogalter et al., 2006). Für den Einsatz von Signalwörtern (z. B. *Vorsicht!*, *Warnung!*, *Gefahr!*), graphischen Symbolen (z. B. Dreieck mit Ausrufezeichen) und Signalfarben (gelb, orange, rot) sowie deren Kombinationen im Rahmen von Sicherheitskennzeichnungen existieren Normen¹⁸, deren Konsultation auch Anregungen für die Gestaltung von Müdigkeitswarnungen im Fahrzeug geben kann (s.a. existierende Warnungsdesigns in 2.3.2).

Eine Kombination von Reizen in zwei oder mehreren Modalitäten (Multimodalität) vermag die Aufmerksamkeit des Fahrers in der Regel besser zu leiten als die Ansprache einer einzigen Modalität (Ho, Reed & Spence, 2007; Lehto, Lesch & Horrey, 2009; Spence & Ho, 2008; aber beachte auch Lees

¹⁷ wobei grundsätzliche Beschränkungen des Gesichtsfeldes sowie die spezielle Frage, ob die Augen des Fahrers überhaupt geöffnet sind, beachtet werden sollten

¹⁸ z. B. der US-amerikanische ANSI Z535 und die internationale ISO 3864 - für Deutschland übersetzt in die DIN 4844-1

et al., 2012). So können z. B. akustische oder haptische Signale in situationsangemessener Ausprägung und Intensität für eine primäre Aufmerksamkeitsorientierung sorgen. In einer visuellen Anzeige oder per Sprachausgabe können im Anschluss weiterführende Informationen gegeben werden, um den Fahrer in Situationsverständnis und Wahl einer angemessenen Reaktion zu unterstützen (Eskandarian et al., 2007).

Zu berücksichtigen ist weiterhin, dass auch eine im Rahmen der genannten Kriterien günstig gestaltete Warnung bei wiederholter Präsentation und mit wachsender *Vertrautheit* auf Seiten des Empfängers in geringerem Maße zu einer Aufmerksamkeitszuwendung führt (Wogalter & Laughery, 1996; nach Wogalter et al., 2006). Eine Idee, solchen Habituationsprozessen entgegenzuwirken, besteht darin, im Zuge einer wiederholten Exposition Format und / oder Inhalt der Warnung abzuwandeln (MacKinnon, Nohre, Pentz & Stacy, 2000; Wogalter & Brelsford, 1994). Darüber hinaus haben Aspekte der Überbringungssituation wie die genaue Ausprägung des detektierten Müdigkeitszustands (z. B. Augen offen vs. geschlossen), aktuelle Anforderungen der Fahraufgabe oder die Anwesenheit anderer Personen Implikationen dafür, welche Warnungsvariante optimal eine Aufmerksamkeitszuwendung auslöst (s.a. 2.2.2.3).

2.2.2.4.2 Aufrechterhaltung der Aufmerksamkeit

Viele der Eigenschaften, die die initiale Aufmerksamkeitszuwendung erleichtern, wirken auch förderlich in Bezug auf die Frage, ob der Empfänger anschließend genügend Aufmerksamkeit investiert, um die Bedeutung der Warnung zu extrahieren.

Grundsätzlich und speziell im Hinblick auf die Vereinbarkeit mit der Fahraufgabe sollte die Botschaft mit geringstmöglichem kognitivem Aufwand zu verstehen sein. *Kürze* ist daher anzustreben, sollte aber gegen die Anforderungen an den Inhalt der Warnung abgewogen werden. Bei Nachrichten, die nicht auf einen Blick erfasst werden können, sind Eigenschaften gefragt, welche Interesse erzeugen (vgl. 2.2.2.4.1) und nötige Anstrengung minimieren. Bei visuell präsentierten Textbotschaften wirken eine Reihe von Faktoren auf die Lesbarkeit, z. B. Schriftart, -größe, -farbe und Kontrast, Textausrichtung, Strukturierung in Sinneinheiten. Analog nehmen eine Reihe von Merkmalen Einfluss auf die auditive Verständlichkeit von Sprachbotschaften, wie z. B. Lautstärke, Frequenzspektrum, Aussprachecharakteristika, Lokalisation der Schallquelle, Sequenzierung (Edworthy & Hellier, 2006; Frascara, 2006; Haas & Edworthy, 2006; Reimer et al., 2012; Wogalter, 2006). In Ergänzung oder als Alternative zu Sprache kann ein schnelles Verstehen auch durch gut gestaltete *Symbole* begünstigt werden, die in Form von Bildern oder Piktogrammen in der visuellen Modalität, aber auch als *auditory icons* in der auditiven Modalität dargestellt werden können (Edworthy & Hellier, 2006; Freeman & Wogalter, 2001; Fricke & de Filippis, 2008; Haas & Edworthy, 2006).

2.2.2.4.3 Verstehen und Gedächtnis

Auch wenn genügend Aufmerksamkeitsressourcen zur Dekodierung der Botschaft investiert werden, ist nicht garantiert, dass der Empfänger die Nachricht so versteht, wie sie vom Sender intendiert war. Zum Verständnis gehören zwei Aspekte (Wogalter et al., 2006): ein *wörtliches Verständnis* der in der Warnung enthaltenen Informationen sowie *Konnotationen* – subjektive Bedeutungen, die der Empfänger im eigenen Gedächtnis mit den sprachlichen Informationen und nichtsprachlichen Merkmalen der Warnung verknüpft. Ein entscheidender Aspekt hierbei ist die entstehende *Gefahrenkonnotation*: Wie gut transportiert eine Warnung den Grad der tatsächlichen Gefährdung in das subjektive Verständnis? Beispielsweise existieren in den o.g. Normen relativ genaue Definitionen der Gefahrenniveaus, die mit bestimmten Signalwörtern bezeichnet werden sollen, wobei folgende Abstufung der

Gefährdungsgrade gilt: *Gefahr!* > *Warnung!* > *Vorsicht!*, doch empirische Untersuchungen zeigen, dass Nichtfachleute zwar *Gefahr!* tatsächlich als gefährlicher wahrnehmen als die anderen beiden Begriffe, zwischen diesen aber nicht weiter differenzieren. Ähnliches gilt für die Verwendung der Signalfarben *rot*, *orange* und *gelb* (Chapanis, 1994; Edworthy, Hellier, Walters, Clift-Mathews & Crowther, 2003; Hellier, Aldrich, Wright, Daunt & Edworthy, 2007; Künzer, Hofinger & Zink, 2014; Williams & Noyes, 2007; Wogalter & Silver, 1995). In der auditiven Modalität wird die Gefahrenkonnotation sowohl von Tonsignalen als auch von Sprachnachrichten u.a. verstärkt durch: höhere Intensität, Tonhöhe und -umfang, schnelle Abfolge von Elementen sowie eine dynamische Zunahme auf jeder der vorgenannten Dimensionen (Barzegar & Wogalter, 1998; Edworthy, Loxley & Dennis, 1991; Hellier, Edworthy, Weedon, Walters & Adams, 2002; Hollander & Wogalter, 2000; nach Wogalter et al., 2006; s.a. Baldwin, 2011; Marshall, Lee & Austria, 2007).

Neben Gestaltungsmerkmalen der Warnung beeinflussen viele individuelle Merkmale des Empfängers das Verständnis. Sensorischen Besonderheiten (z. B. Unterschieden in der Hörfähigkeit) kann durch Individualisierbarkeit bei der Auswahl von Warnungskanälen oder Kalibrierungsmöglichkeiten bezüglich der Intensität von Ausgaben begegnet werden. Sprach- oder Textausgaben sollten auf die Sprache des Empfängers einstellbar und so einfach wie möglich formuliert sein (z. B. hinsichtlich Wortwahl, Länge und Komplexität von Sätzen). Eine zentrale Rolle für das Verständnis spielt das Vorwissen des Empfängers, im Fall der Müdigkeitswarnung besonders das Wissen über Effekte von Müdigkeit beim Fahren und wirksame Gegenmaßnahmen (Wogalter et al., 2006). Relevantes Wissen kann durch eigene Erfahrung oder vermittelt durch Aufklärungsmaßnahmen erworben worden sein – oder eben nicht. Es gilt zu erforschen, inwiefern es praktikabel ist, umfassendere edukative Information auch in den Warnkontext zu integrieren oder wenigstens kontextuell näher an die spätere Warnsituation heranzuführen. Eine Möglichkeit bestände darin, bei Erstnutzung des Systems per Sprachausgabe oder Video eine Einführung zu geben, die neben Informationen zum System auch Hintergrundinformationen zu Gefahren müden Fahrens und wirksamen Gegenstrategien enthält.

Für optimales Verständnis sollten alle geforderten Inhaltsbestandteile – Informationen zur Art der Gefahr, Art und Schwere der drohenden Konsequenzen und Verhaltensanweisungen – *explizit*, *präzise* und *konkret* in der Warnung formuliert sein (Laughery, Vaubel, Young, Brelsford & Rowe, 1993; nach Wogalter et al., 2006). Ausnahmen vom Grundsatz der Explizitheit bilden Fälle, in denen die Warnung als Erinnerung fungiert, das heißt, in denen davon auszugehen ist, dass das relevante Wissen im Langzeitgedächtnis des Empfängers vorhanden ist und durch die Warnung lediglich im Arbeitsgedächtnis aktiviert werden soll (*awareness* vs. *knowledge*; Wogalter et al., 2006).

Vielfach wurde die Nützlichkeit *bildlicher Darstellungen* für das Verstehen und Behalten von Warninformationen belegt (Boersema & Zwaga, 1989; Collins, 1983; Dewar, 1999; Wolff & Wogalter, 1998; nach Wogalter et al., 2006). Im Kontext der Müdigkeitswarnung bietet sich der Einsatz aussagekräftiger Symbole insbesondere angesichts der Zeitbeschränkungen an, die beim Fahren für die Verarbeitung der Warnung bestehen. Als Symbol sollten wiederum nach Möglichkeit *konkrete* und *direkte* Repräsentationen der Gefahr gewählt werden (in Abgrenzung von abstrakten Symbolen oder Symbolen, die zwar Konkretes darstellen, deren übertragene Bedeutung aber erst erlernt werden muss). Als Richtlinie zur Evaluation von Symbolen sollten laut ANSI Z535 mindestens 85% richtige Interpretationen in der Zielpopulation angestrebt werden. Ebenso wichtig ist, dass ein Symbol nicht miss- oder gar gegenteilig interpretiert wird; der Anteil von Fehlinterpretationen sollte unter 5% liegen (Wogalter et al., 2006).

2.2.2.4.4 Überzeugungen und Einstellungen

Wenn die Warnungsbotschaft erfolgreich dekodiert wurde, hängt der weitere Erfolg der intendierten Verhaltensbeeinflussung davon ab, ob der Inhalt mit dem persönlichen Wissens- bzw. Glaubenssystem des Empfängers vereinbar ist. Wenn ja, ist die Verarbeitung auf dieser Stufe laut C-HIP-Modell erfolgreich bewältigt; zudem wird die Warnbotschaft das bestehende Überzeugungs- und Einstellungssystem bestätigen und verstärken (Wogalter et al., 2006).

Steht die Botschaft in Widerspruch zu sonst bestehenden Ansichten, kann sie nur verhaltenswirksam werden, wenn sie überzeugend genug ist, um diese entsprechend zu verändern. Dieser Aspekt ist besonders wichtig für die Gestaltung von Müdigkeitswarnungen (s. 2.2.3).

Eine für den Warnungserfolg zentrale Überzeugung ist die eigene Risikowahrnehmung, die zum einen durch die antizipierte Schwere drohender negativer Konsequenzen und zum anderen durch die subjektive Wahrscheinlichkeit deren Eintreffens beeinflusst wird. Je höher das wahrgenommene Risiko, desto eher werden Warnappelle befolgt (de Hoog, Stroebe & de Wit, 2007; Peters, Ruiter & Kok, 2013; Witte & Allen, 2000). Ebenfalls bedeutsam sind Überzeugungen, die sich auf Möglichkeiten beziehen, wie die Gefahr wirksam abgewendet werden kann, sowohl im Hinblick auf das empfohlene Verhalten als auch auf persönliche Fähigkeiten, die als alternative Bewältigungsoptionen wahrgenommen werden (Peters et al., 2013). All diese Einschätzungen sind subjektiv und unterliegen einer Reihe kognitiver Verzerrungen. Aufgrund ihrer Bedeutsamkeit im Kontext von Müdigkeitswarnungen wird ihr Einfluss später noch einmal genauer betrachtet (s. 2.2.4).

2.2.2.4.5 Motivation

Nicht zu vernachlässigen und am Ende der Verarbeitungskette entscheidend sind Aspekte der Energetisierung des Verhaltens, insbesondere von antizipierter Lust und Unlust, Leichtigkeit und Anstrengung, die mit den verschiedenen Handlungsoptionen verbunden sind. Besonders wichtig in diesem Zusammenhang – und in bisherigen Ansätzen zur Gestaltung von Müdigkeitswarnungen kaum berücksichtigt – sind subjektive *Kosten des empfohlenen Verhaltens*: mentale oder körperliche Anstrengungen, Zeit- oder finanzielle Aufwände. Je ungünstiger die situativen Bedingungen (z. B. bezüglich Verfügbarkeit benötigter Utensilien oder Infrastruktur, Zeitdruck, bestehender mentaler Beanspruchung) und je unbequemer, zeitraubender oder kostenintensiver die Ausführung des empfohlenen Verhalten, desto unwahrscheinlicher ist es, dass die Warnung befolgt wird (Dingus, Hathaway & Hunn, 1991; Wogalter, Allison & McKenna, 1989; Wogalter et al., 1987; nach Wogalter et al., 2006). Auch potentielle Kosten der *nicht* empfohlenen Verhaltensalternativen spielen eine Rolle. Insbesondere mögliche schwerwiegende negative Konsequenzen wirken motivierend für warnungskonformes Verhalten, was erneut auf die Wichtigkeit der expliziten und präzisen Erwähnung möglicher schädlicher Folgen hinweist (Laughery, 2006). Zu beachten ist auch, dass *unmittelbar* eintreffende Konsequenzen motivational stärker ins Gewicht fallen als solche, die erst verzögert oder eventuell gar nicht auftreten (Neth, Sims & Gray, 2006). Ein weiterer Faktor, dessen Nutzung in der Warnungsgestaltung vielleicht nicht ganz einfach, aber dennoch möglich und eventuell lohnend ist, sind *soziale Einflüsse*. Die Verfügbarkeit positiver Verhaltensmodelle (unmittelbar oder mittelbar) erhöht die Compliancewahrscheinlichkeit, ebenso wie das Vorhandensein negativer Modelle warnungskonformes Verhalten unwahrscheinlicher macht (Wogalter et al., 1989; nach Wogalter et al., 2006). Ebenfalls bedeutsam sind soziale Normvorstellungen (*was würde Person X, Y, Z von mir erwarten, wie ich mich verhalten soll?*) und deren subjektive Wichtigkeit (Ajzen, 1991, 2002; Ajzen & Madden, 1986). Auch Faktoren auf Ebene der Motivation werden später noch einmal genauer betrachtet (s. 2.2.4, 5.3).

2.2.3 Gewichtung der Verarbeitungsstufen bei der verhaltenswirksamen Gestaltung von Müdigkeitswarnungen im Fahrzeug

Wie in 2.2.2 deutlich wurde, ist jede einzelne Stufe des C-HIP-Modells essentiell für eine gelingende Verhaltensbeeinflussung und sollte demnach auch im Designprozess entsprechend bedacht werden. Mit Blick auf Müdigkeitswarnungen gibt es dennoch gute Gründe, zukünftige Forschungsanstrengungen verstärkt auf die *späten* Stufen der Verarbeitung, also auf das Wirken von Überzeugungen, Einstellungen und motivationalen Größen zu richten. Zum einen wurden diese Stufen in bisherigen Gestaltungsansätzen vergleichsweise *wenig berücksichtigt*. Zum anderen ist der *Bedarf an Beeinflussung* von Verarbeitungsprozessen im Fall der Müdigkeitswarnung auf späteren Stufen höher¹⁹ als bei Rückmeldungen anderer Fahrerassistenzsysteme.

Eine Veranschaulichung der bisherigen relativen Vernachlässigung der späten Stufen liefert eine Überblicksarbeit von Hagenmeyer (2007). Der Autor analysiert und evaluiert 18 existierende oder vorgeschlagene Warnsysteme auf verschiedenen Dimensionen. Unter anderem wird ein *Index der Warnungsqualität* auf Basis des C-HIP-Modells ermittelt. Hierfür wird einzeln bewertet, inwiefern die Rückmeldung des jeweiligen Systems (1) geeignet ist, die Aufmerksamkeit auf sich zu ziehen, (2) die Art der Gefahr benennt, (3) Informationen über negative Folgen zur Verfügung stellt und (4) Verhaltensempfehlungen gibt. Der entsprechenden Übersicht (S. 142) ist zu entnehmen, dass jedes einzelne der betrachteten Systeme die Anforderungen an die Aufmerksamkeitsausrichtung voll erfüllt. Vergleichsweise spärlich fallen dagegen die Bewertungen hinsichtlich der anderen drei Kriterien aus, welche das Potential zur Beeinflussung von Einstellungen und Motivation bergen. Aussagekräftig sind auch die weiteren Bewertungsdimensionen, die sich unter anderem um die Wahrnehmbarkeit (z. B. Multimodalität, Angemessenheit der sensorischen Kanäle für die Anwendungssituation, adaptierbare Intensität) und Beeinträchtigungsfreiheit (Gefahr der Ablenkung, Non-Intrusivität) drehen. Das ersichtliche Ungleichgewicht zwischen solchen, zweifelsohne wichtigen, Überlegungen und Überlegungen betreffs des psychologischen Kernproblems der Müdigkeitswarnung – motivational bedingter Verzerrungen in der Wahrnehmung des Risikos, der eigenen Widerstandsfähigkeit etc. – erscheint einigermaßen repräsentativ für die bisherige wissenschaftliche Beschäftigung mit der Frage nach der Gestaltung von Müdigkeitswarnungen. Einige wenige Ansätze, welche persuasive und handlungserleichternde Elemente beinhalten, werden in Abschnitt 2.3.2.3 vorgestellt. Einem Großteil der vorgeschlagenen Systeme (Übersichten bei Barr et al., 2009; Dawson et al., 2014; Dong, Hu, Uchimura & Murayama, 2011; Edwards et al., 2007; Hagenmeyer, 2007; Liu, Hosking & Lenné, 2009; Wright, Stone, Horberry & Reed, 2007) scheint hingegen die Vorstellung zugrunde zu liegen, es genüge, einen validen Detektionsalgorithmus zu entwickeln und den Fahrer lediglich zu informieren, sobald das Überwachungssystem Müdigkeit erkennt. Eine implizite Einstellung, die Lösung des Detektionsproblems sei das Schwierigste an der Entwicklung eines Müdigkeitswarnsystems, spiegelt sich auch in den Mengenverhältnissen einer Masse von Publikationen, die sich mit der Detektionsseite beschäftigen, gegenüber einer Handvoll, die sich ernsthaft mit der Frage auseinandersetzen, wie der Output eines solchen Systems zu gestalten ist. Noch weiter dünnt sich die Erkenntnislage aus, wenn nach sicherheitsrelevanten Effekten und deren Wirkmechanismen gefragt wird (vgl. 2.3.2.3).

Der zweite Grund, in der Forschung zu Müdigkeitswarnungen die späten Verarbeitungsstufen zu akzentuieren, liegt in deren erhöhter Bedeutsamkeit für den Erfolg der Rückmeldung auf Verhaltens-

¹⁹ und wohl auch auf früheren Stufen geringer, mehr dazu weiter unten

ebene. Veranschaulichen lässt sich dies anhand eines Vergleichs mit einem anderen fortschrittlichen Fahrerassistenzsystem, das ebenfalls eine Rückmeldung an den Fahrer beinhaltet: der Kollisionswarnung. Betrachtet man für jedes der beiden Assistenzsysteme getrennt den *Bedarf an Beeinflussung von Verarbeitungsprozessen* auf den Stufen des C-HIP-Modells, ergeben sich deutlich unterschiedliche Schwerpunkte. Die Kollisionswarnung hat, um wirksam zu sein, ihren wichtigsten Beitrag auf den frühen Ebenen der Wahrnehmung und Aufmerksamkeit zu leisten, indem sie die Aufmerksamkeit des Fahrers (zurück) auf die Straße und auf das zuvor unbemerkte, zu vermeidende Kollisionsobjekt lenkt. Hat sie dies geschafft, ist bezüglich der Einstellungen, Überzeugungen und Motivation des Fahrers vergleichsweise wenig Arbeit zu tun. Das Zielverhalten, das durch die Kollisionswarnung erleichtert werden soll, entspricht einer vergleichsweise einfachen Reiz-Reaktionsverknüpfung: Abbremsen oder Ausweichen²⁰. Das Auftreten eines konkreten, singulären Gefahrenereignisses steht unmittelbar bevor, die Situation verlangt eine schnelle Reaktion, es stehen kaum alternative Handlungsoptionen zur Verfügung, und es ist unwahrscheinlich, dass es zu einem bewussten Abwägen von Für und Wider kommt. Selbst wenn, stände der Entscheidung zu bremsen oder auszuweichen vermutlich nicht viel entgegen. Damit hat die Kollisionswarnung schwerpunktmäßig eine *informative, aufmerksamkeitslenkende* Funktion zu erfüllen (vgl. Fricke & Thüring, 2009). Vergleichsweise geringerer Bedarf in dieser Hinsicht besteht im Fall der Müdigkeitswarnung. Müde Fahrer sind sich in aller Regel des Umstands ihrer Müdigkeit bewusst (s. 2.1.3), somit vermittelt eine Müdigkeitsanzeige dem Fahrer zunächst keine neue, zuvor unzugängliche Information. Allenfalls kann eine Müdigkeitswarnung die vorhandene Information detaillieren (indem sie z. B. hilft, den Zeitpunkt zu erkennen, wann ein kritisches Level der Müdigkeit erreicht ist) oder als „Erinnerung“ fungieren (Wogalter et al., 2006). Wesentlich größerer Unterstützungsbedarf besteht in Bezug auf subjektive Überzeugungen und motivationale Aspekte. Dies hängt mit der Komplexität der notwendigen Urteils- und Entscheidungsprozesse und des geforderten Verhaltens zusammen. Im Fall der Müdigkeitswarnung ist die Gefahr wesentlich abstrakter, ein sekundenschnelles Agieren ist nicht nötig, zumeist wohl nicht einmal möglich. Der relativ undefinierte Zeithorizont eröffnet in wesentlich höherem Maße die Möglichkeit für Urteils- und Entscheidungsprozesse, bei denen subjektive Situationseinschätzungen (bezüglich der eigenen Müdigkeit, des Unfallrisikos, alternativer Möglichkeiten, sich zu aktivieren, etc.) eine Rolle spielen, welche motivational bedingten Verzerrungen unterliegen. Das warnungskonforme Verhalten ist zudem in Planung und Ausführung wesentlich komplexer als eine unmittelbare Brems- oder Ausweichreaktion. Ein neues Handlungsziel und ein neuer Handlungsplan müssen dazu erstellt werden. Aus handlungstheoretischer Sicht muss dafür die Regulation auf eine symbolische Ebene (Rasmussen, 1982, 1983) wechseln, was mit einer empfundenen Zunahme der mentalen Beanspruchung verbunden ist. Unmittelbar resultierende und antizipierte subjektive Kosten wirken demotivierend in Bezug auf die Ergreifung wirksamer Gegenmaßnahmen (s. 2.2.4.1). Dazu kommt die Robustheit des *unrealistischen Optimismus* bei der Gefährdungswahrnehmung, der selbst objektivem Leistungsfeedback standhält (ibd.). Vor diesem Hintergrund muss die Müdigkeitswarnung in viel stärkerem Maße eine *persuasive* und *motivierende* Funktion erfüllen.

Weil Einstellungen, Überzeugungen und Motivation eine so wichtige Rolle in dem Entscheidungsprozess spielen, auf den die Müdigkeitswarnung Einfluss nehmen muss, ist es angebracht, einen detaillierteren theoretischen Blick auf diese Stufen des C-HIP-Modells zu werfen und einige Variablen

²⁰ Im Modell der Regulationsebenen nach Rasmussen (1982, 1983) ist diese Verhaltensweise auf der Fertigkeit- oder höchstens regelbasierten Ebene zu verorten.

und Prozesse genauer zu spezifizieren, welche hier den Verlauf und das Ergebnis der Entscheidung beeinflussen.

2.2.4 Ein Modell sicherheitsbezogener Entscheidungsprozesse: Die Theorie der Schutzmotivation und ihre Ansatzpunkte für eine verhaltenswirksame Müdigkeitswarnung

Die Situation eines Autofahrers angesichts einer Meldung seines Müdigkeitswarnsystems repräsentiert ein typisches Beispiel einer *Entscheidung unter Unsicherheit*. Die bedeutsamste Klasse von Theorien zur Erklärung menschlichen Entscheidungsverhaltens unter unsicheren Bedingungen sind kognitive Erwartung-mal-Wert-Modelle (Jungermann, Fischer & Pfister, 2010). Diese gehen von folgenden Grundannahmen aus: (1) Bei der Wahl zwischen Handlungsoptionen suchen Personen nach der besten Möglichkeit, (2) Grundlage der Beurteilung, welche Optionen wie gut oder schlecht sind, sind deren antizipierte Folgen und (3) in der Begutachtung der Konsequenzen werden sowohl deren *subjektiver Nutzen*²¹ als auch die *wahrgenommene Wahrscheinlichkeit ihres Eintretens*²² berücksichtigt. Auch die *Theorie der Schutzmotivation* (Protection Motivation Theory, PMT; Maddux & Rogers, 1983) gehört zu dieser Modellgruppe. Sie wurde im Rahmen der Risikokommunikationsforschung entwickelt. Inhaltlich weist sie eine enge Passung zu der warnungstypischen Klasse von Situationen auf, in denen sich zwei Arten von Verhalten als Handlungsoptionen gegenüberstehen: auf der einen Seite ein *aus gesundheits- oder sicherheitsbezogener Sicht empfohlenes, aber mit subjektiven Handlungskosten verbundenes Verhalten* und auf der anderen Seite ein *angenehmer auszuführendes, aber gesundheits- oder sicherheitsgefährdendes Verhalten* (Schwarzer, 2004).

Die PMT ist eine der am häufigsten eingesetzten Theorien zur Gestaltung persuasiver Botschaften (Prentice-Dunn, McMath & Cramer, 2009). Aktuelle Anwendungsgebiete umfassen die Gestaltung von Warnhinweisen auf Zigarettenpackungen (Petersen & Lieder, 2006; Schneider, Gadinger & Fischer, 2012), die Beeinflussung der Geschwindigkeitwahl beim Autofahren (Glendon & Walker, 2013), die Nutzung von Sicherheitsgurten (Ouimet et al., 2008), das Sonnenschutzverhalten (Prentice-Dunn et al., 2009), die Anwendung von Informationssicherheits-Maßnahmen am Arbeitsplatz und in sozialen Netzwerken (Mohamed & Ahmad, 2012; Vance, Siponen & Pahlila, 2012), den Einsatz von Antiplagiats-Software an Universitäten (Lee, 2011), die Kondomnutzung (Boer & Mashamba, 2005; Lwin, Stanaland & Chan, 2010) und viele mehr.

Als theoretische Grundlage für Untersuchungen zur Wirksamkeit von Müdigkeitswarnungen qualifiziert sich die PMT insbesondere, indem sie spezifiziert, welche kognitiven Variablen auf Ebene der Überzeugungen und Einstellungen für Entscheidungen in der beschriebenen Situationsklasse relevant sind und wie diese Variablen in Bezug auf die entstehende Motivation zusammenwirken.

Abbildung 4 zeigt einen Überblick über die Annahmen der PMT. Der Fokus liegt auf den kognitiven Prozessen (*Mitte*), die zwischen verfügbaren sicherheits- und gesundheitsrelevanten Informationen (*linke Seite*) und dem resultierenden Verhalten (*rechte Seite*) vermitteln.

Die Quellen, aus denen Informationen über Risiken stammen, liegen sowohl in der Umwelt als auch innerhalb der Person. Aktuelle Wahrnehmungen werden bei der Risikobewertung also ebenso herangezogen wie im Langzeitgedächtnis abgelegte Inhalte. Im Fall der Müdigkeitswarnung handelt es sich um eine persuasive Nachricht aus der Umwelt. Diese trifft auf eine Konstellation aus anderen Informationen und Merkmalen auf Ebene der Person, beispielweise Erinnerungen – oder fehlende

²¹ entsprechend dem „Wert“ - der auch negativ sein kann, man spricht dann von *Kosten*

²² entsprechend der „Erwartung“

Erinnerungen – an Sekundenschlafereignisse, eine generelle Tendenz zur Risikobereitschaft oder Risikoaversion und so weiter. Auf diese Weise finden interindividuelle Unterschiede Eingang in das Modell.

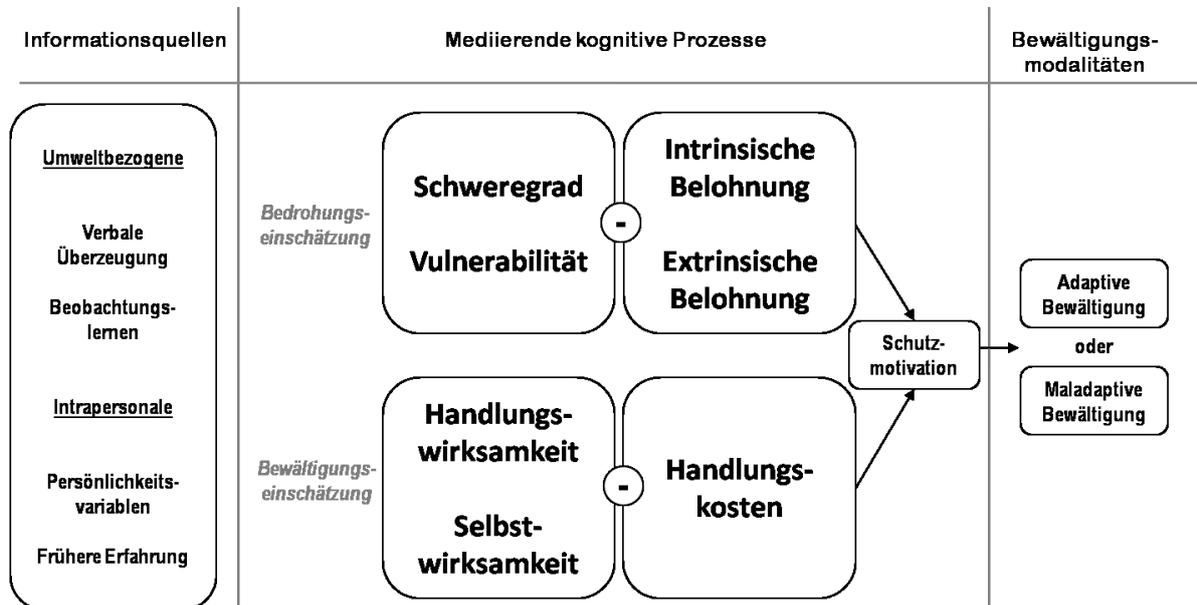


Abbildung 4. Übersicht über die Theorie der Schutzmotivation. (Modifizierte Darstellung nach Schwarzer, 2004, S. 57, Abdruck mit freundlicher Genehmigung des Hogrefe-Verlags.)

Auf Ebene des Verhaltens stehen dem Empfänger einer Gefahrenbotschaft zwei grundsätzliche Möglichkeiten zur Verfügung, die in der PMT als *Bewältigungsmodalitäten* (Coping modalities) bezeichnet werden, da es um den Umgang mit einer potentiellen Bedrohung geht. Unter einer *adaptiven* Bewältigung wird die Menge all jener Verhaltensweisen zusammengefasst, die zu einer effektiven Reduktion der Bedrohung führen. Im Fall der Müdigkeitswarnung entsteht die Bedrohung aus der verminderten Leistungsfähigkeit des Fahrers und den potentiell daraus resultierenden schädigenden Ereignissen. Als adaptiv sind demnach alle Verhaltensweisen anzusehen, welche zu einer Reduktion der Müdigkeit führen – gemäß 2.1.2 also im wesentlichen *Schlafen* oder *Koffeinaufnahme*. Als *maladaptive* Form der Bewältigung werden alle jene Verhaltensweisen bezeichnet, die nicht geeignet sind, das Risiko wirksam zu mindern. Im Kontext des Fahrens unter Müdigkeit entspricht dies einer Fortsetzung der Fahrt. Auch wenn dabei solche subjektiv als wirksam empfundenen Gegenmaßnahmen ergriffen werden, die in objektiven Wachheits- und Leistungsmaßen keinen oder nur einen sehr kurzlebigen Effekt erzielen (vgl. 2.1.2 und 2.1.3), ist dies wegen des fortbestehenden Risikos als maladaptive Bewältigung zu beurteilen.

Welche Form der Bewältigung gewählt wird, darüber entscheiden die in der Mitte von Abbildung 4 dargestellten *mediierenden kognitiven Prozesse*, die den Kern der PMT bilden. Der Theorie zufolge löst die Wahrnehmung einer Gefahreninformation zwei unterschiedliche Bewertungsprozesse aus. In einem Prozess der *Bedrohungseinschätzung* werden die Konsequenzen des maladaptiven Verhaltens bewertet: Wie schwerwiegend sind die potentiellen negativen Folgen (*Schweregrad*)? Wie wahrscheinlich ist es, dass ich persönlich davon betroffen sein werde (*Vulnerabilität*)? Welche angenehmen Konsequenzen hat das Risikoverhalten für mich (*intrinsische und extrinsische Belohnungen*)? Die resultierende Schutzmotivation und damit die Wahrscheinlichkeit einer adaptiven Verhaltensantwort werden höher ausfallen, je höher die ersten beiden Faktoren ausgeprägt sind, und werden gemindert durch hohe Ausprägungen auf der Belohnungsseite. Ein zweiter Prozess, die *Bewältigungseinschät-*

zung, gilt der Bewertung des empfohlenen Verhaltens: Wie effektiv erscheint mir dieses zur Reduktion der Bedrohung (*Handlungswirksamkeit*)? Wie sehr fühle ich mich selbst in der Lage, es auszuführen (*Selbstwirksamkeit*)? Welche Unannehmlichkeiten sind damit für mich verbunden (*Handlungskosten*)? Wie in der Bedrohungseinschätzung wirken dabei hohe Ausprägungen der beiden erstgenannten Faktoren in Richtung einer adaptiven Reaktion, hohe Ausprägungen auf Seiten der Handlungskosten dagegen hemmend. Aus dem Zusammenwirken aller Faktoren resultiert die Schutzmotivation im Sinne einer Tendenz zur Ausführung adaptiven Verhaltens, die geringer oder höher ausfallen kann.

Folglich setzt die Gestaltung einer verhaltenswirksamen Müdigkeitswarnung die Kenntnis von Schlüsselfaktoren und -mechanismen voraus, die Einfluss auf das Resultat der beiden Bewertungsprozesse, Bedrohungs- und Bewältigungseinschätzung, nehmen. Auf Grundlage dieser Kenntnis können dann Überlegungen angestellt werden, ob und gegebenenfalls *wie* diese Schlüsselemente in einem gezielten Warnungsdesign genutzt werden können, um die Bewertungsprozesse in Richtung einer adaptiven Verhaltensantwort zu beeinflussen.

2.2.4.1 Schlüsselemente in der Bedrohungseinschätzung

Bounded Rationality (Gigerenzer, 2002; Simon, 1959), eingeschränkte Rationalität, ist ein Begriff, der die Mechanismen menschlichen Urteilens und Entscheidens sehr treffend charakterisiert. Menschen streben grundsätzlich danach, gute Entscheidungen zu treffen; und subjektive Beurteilungen der Werte und Wahrscheinlichkeiten von Ereignissen zeigen in der Regel zumindest eine Kovarianz mit rational-normativ bestimmbaren Werten und Wahrscheinlichkeiten. Die Übereinstimmung ist aber nicht 1:1. Die Urteils- und Entscheidungsforschung hat inzwischen eine ganze Reihe systematischer Verzerrungen identifiziert, welche die Übersetzung objektiver Gegebenheiten in subjektive Wahrnehmungen und Bewertungen betreffen (Übersicht z. B. bei Wickens, Hollands, Banbury & Parasuraman, 2012). Die Kenntnis und Berücksichtigung dieser kognitiv, emotional und motivational verankerten Mechanismen ist essentiell bei dem Versuch, durch Warnungen Einfluss auf Verhalten zu nehmen.

Zum Beispiel zeigen Studien zum Beitrag des *subjektiven Schweregrads der Bedrohung* einerseits zu erwartende Muster: mit zunehmendem wahrgenommenem Schweregrad potentieller Schädigungen – z. B. drohender Verletzungen – wachsen auch die eingeschätzte Bedrohung und die Bereitschaft, Warnungen Folge zu leisten (Wogalter, Brelsford, Desaulniers & Laughery, 1991; Wogalter, Brems & Martin, 1993; nach Wogalter et al., 2006), und bezüglich der Warnungsgestaltung erhöhen bestimmte Elemente wie Signalfarben und –wörter, Expliztheit und konkrete direkte Repräsentationen der Gefahr die wahrgenommene Schwere der Bedrohung, ebenso wie die Risikowahrnehmung insgesamt (vgl. 2.2.2). Andererseits unterliegt die Wahrnehmung des Schweregrads negativer Ereignisfolgen auch Verzerrungen, z. B. aufgrund der *zeitlichen Kontingenzen von Handlung und Konsequenzen*. Zeitliche Unmittelbarkeit verstärkt den subjektiven Schrecken negativer Konsequenzen ebenso wie den subjektiven Reiz positiver Konsequenzen. Zeitliche Verzögerung führt zu einer Verminderung sowohl wahrgenommener Kosten als auch wahrgenommenen Nutzens (Neth, Sims & Gray, 2006). Eine ähnliche Wirkung hat die *Sicherheit vs. Unsicherheit, mit der Konsequenzen eintreffen* (s.a. 2.2.4.2). Dies hat Implikationen für die Reaktionen auf Müdigkeit am Steuer, die an späterer Stelle noch diskutiert werden.

Die *subjektive Vulnerabilität* in der PMT bezeichnet die wahrgenommene Wahrscheinlichkeit, mit der bei Unterlassung des empfohlenen Verhaltens die potentielle Schädigung eintritt. Im Kontext der Müdigkeitswarnung sind dafür mehrere subjektive Einschätzungen relevant, u.a.: Wie müde fühlt

sich der Fahrer selbst? Wie plausibel erscheint es ihm einzunicken oder durch mangelnde Aufmerksamkeit wichtige Fahrmanöver zu versäumen? Wie wahrscheinlich führt Sekundenschlaf oder Unaufmerksamkeit in der gegebenen Fahrsituation zu einem Unfall?

Eine wesentliche Größe, die solche subjektiven Urteile beeinflusst, sind *persönliche Erfahrungen* mit der gefährlichen Situation. Der Einfluss kann hierbei in zwei Richtungen gehen. Liegt eine hohe Vertrautheit mit der Situation – müde Auto fahren – vor, ohne dass es jemals zu Vorfällen – z. B. Einnicken, Unfällen oder Beinahe-Unfällen – gekommen ist, wird dies die wahrgenommene Vulnerabilität ebenso wie die Wahrscheinlichkeit adaptiven Verhaltens verringern (s. Goldhaber & deTurck, 1988; Otsubo, Wogalter et al., 1991; Wogalter, Kalsher & Racicot, 1993; nach Wogalter et al., 2006). Zudem wirkt eine solche Vertrautheit negativ auf frühere Informationsverarbeitungsstufen wie die Zuwendung von Aufmerksamkeit auf Warnhinweise oder deren Elaboration zurück (Godfrey, Allender, Laughery & Smith, 1983, LaRue & Cohen, 1987; Wogalter et al., 1991; nach Wogalter et al., 2006). Hat der Empfänger einer Warnung hingegen persönliche Erfahrungen²³ mit einer tatsächlich eingetretenen oder nur knapp vermiedenen Schädigung, wird er das Risiko eher überschätzen (ibid.). Für die experimentelle Forschung zur Wirksamkeit von Müdigkeitswarnungen ist dies (mindestens) insofern bedeutsam, als Erfahrungen mit müdem Fahren, Sekundenschlaf, müdigkeitsbedingten Unfällen etc. als Kontrollvariablen einbezogen werden sollten.

Der Einfluss der persönlichen Erfahrung auf die Vulnerabilitätswahrnehmung entspricht der gedächtnisbasierten kognitiven Verzerrung, die bei Anwendung der *Verfügbarkeitsheuristik* zur Schätzung von Wahrscheinlichkeiten entstehen kann (Tversky & Kahneman, 1974). Eine weitere bekannte und im Warnungskontext besonders bedeutsame kognitive Verzerrung ist das *Optimismusbias* (auch *unrealistischer Optimismus* [Weinstein, 1982] oder *Overconfidence*). Weinstein bezeichnete so den von ihm und anderen gefundenen Effekt, dass Personen die Wahrscheinlichkeit, *persönlich* von einem schädigenden Ereignis betroffen zu sein, im Vergleich zu dieser Wahrscheinlichkeit *für andere* systematisch unterschätzen. Diese Tendenz wurde in zahlreichen Studien in sehr unterschiedlichen Themenbereichen festgestellt (s. Jungermann et al., 2010; McMath & Prentice-Dunn, 2005), auch in der Domäne des Autofahrens. Fahrer überschätzen systematisch ihre eigenen Fähigkeiten (Horswill, Taylor, Newnam, Wetton & Hill, 2013; McKenna, Stanier & Lewis, 1991; Svenson, 1981) und beurteilen ihre eigene Unfallwahrscheinlichkeit, verglichen mit der von Angehörigen ihrer Bezugsgruppe, als geringer (DeJoy, 1989; Finn & Bragg, 1986; Harré & Sibley, 2007). Zum Optimismusbias gehört allgemein auch eine Überschätzung der eigenen Kapazitäten, ein schädigendes Ereignis abzuwenden (Klein & Helweg-Larsen, 2002; Sharot, 2012). Konsequenter, aber auch paradox, erstreckt sich der unrealistische Optimismus auch auf die Einschätzung der eigenen Resistenz gegenüber Urteilsverzerrungen (Pronin, Gilovich & Ross, 2004; nach Dogan, Steg, Delhomme & Rothengatter, 2012), was ihn noch robuster macht; und er tritt in impliziten Tests sogar noch stärker zutage als in expliziten Selbsteinschätzungen (Harré & Sibley, 2007; nach Dogan et al., 2012), was ihn als tief in den kognitiven Funktionsweisen des Menschen verankert ausweist. Für die verhaltenswirksame Gestaltung von Müdigkeitswarnungen ist diese Tendenz zweifelsohne ein – wenn nicht gar *das* – Kernproblem. Bei Betrachtung der bisher vorgeschlagenen Rückmeldungsansätze (mehr unter 2.3.2) zeigt sich, dass nur wenige davon überhaupt der Notwendigkeit von Überzeugungselementen Rechnung tragen. Eins der hierbei verfolgten Konzepte setzt darauf, durch *nicht-evaluatives Feedback* die Vulnerabilitätswahrnehmung zu erhöhen. Die Idee erscheint vielversprechend: der überoptimistischen Einschätzung des Fahrers bezüglich seiner Leistungsfähigkeit wird eine aktuelle Rückmeldung der objektiven Fahrleis-

²³ Dazu genügt es unter Umständen auch, jemanden persönlich zu kennen, dem etwas Derartiges passiert ist.

tung gegenübergestellt. Dogan et al. (2012) testeten in einem verkehrspsychologischen Experiment den Effekt von Leistungsfeedback auf die Gefahrenwahrnehmung in Fahrsituationen und kamen diesbezüglich zu relativ ernüchternden Ergebnissen. Auch unter Feedback blieb unrealistischer Optimismus in den Einschätzungen der Fahrer erhalten. Statt wie erhofft ihre Selbstwahrnehmung den rückgemeldeten Testergebnissen anzupassen, zogen die Fahrer die Validität des Tests in Zweifel.

Die Entwicklung kreativer Konzepte, wie die Wirkung dieses Mechanismus ausgeschaltet oder wenigstens abgeschwächt werden kann, ist eine zentrale Herausforderung in der Gestaltung verhaltenswirksamer Müdigkeitswarnungen. Einen interessanten Ansatzpunkt bietet hierbei das in anderen Warnungsdomänen bereits getestete Konzept der *Personalisierung*. Ursprünglich stammt es aus Anwendungskontexten, in denen eine substantielle Gefahr besteht, dass Warnungsempfänger sich nicht angesprochen fühlen, also die Warnung a priori *für sich persönlich* als irrelevant betrachten könnten (s. Vredenburgh & Zackowitz, 2006). Die Grundidee ist, dass durch persönliche Ansprache die wahrgenommene Relevanz der Nachricht erhöht wird. Experimentell konnte z. B. gezeigt werden, dass ein elektronisches Warnungsschild, das die Probanden namentlich ansprach, die Wirksamkeit der Warnung auf Verhaltensebene vergrößerte (hier: bezüglich des Anlegens von Schutzausrüstung; Wogalter, Racicot, Kalsher & Noel Simpson, 1994; nach Vredenburgh & Zackowitz, 2006). Während eine persönliche Ansprache im Fall der Müdigkeitswarnung auf den ersten Blick überflüssig erscheinen könnte – weil dem Adressaten eigentlich klar sein müsste, dass nur er gemeint sein kann – könnte der Ansatz dennoch aussichtsreich sein, wenn man an die soeben diskutierten Gründe denkt, aus denen ein Feedback trotzdem als persönlich irrelevant betrachtet werden kann. Besonders interessant dabei ist, dass das Aktivieren des Konzepts der eigenen Person, welches in jedermanns Leben hoch bedeutsam ist, vermutlich auf multiplen Ebenen und über multiple Funktionsmechanismen seine Wirkung entfaltet.

Noch einen Schritt weiter als eine verbale namentliche Ansprache geht in dieser Hinsicht die Idee, dem Warnungsempfänger quasi einen Spiegel vorzuhalten, um den Einfluss des Optimismusbias bei der Vulnerabilitätswahrnehmung auszuhebeln. Verglichen mit einer Rückmeldung der Fahrleistung oder der von einem Algorithmus detektierten Müdigkeit – denen gemeinsam ist, dass sie durch potentiell fehlbare Messtechnik vermittelt sind – stellt ein Spiegel- oder Kamerabild eine Repräsentation des eigenen kritischen Zustands dar, welche durch große *Unmittelbarkeit* gekennzeichnet ist. Möglicherweise könnte die Direktheit einer solchen Wahrnehmung weniger die Chance eröffnen, das Selbstbild (!) vor der inhärenten negativen Rückmeldung zu schützen. Wie die Anwendung videobasierter Verfahren in der Müdigkeitsdetektion (s. 2.3.1.2) nahelegt, gibt es Müdigkeitszeichen in Gesicht und Körperhaltung, die sich dem externen Betrachter deutlich offenbaren, z. B. schlaffe, hängende Gesichtszüge, halb oder ganz geschlossene Augenlider und ein verminderter Muskeltonus im ganzen Körper. In der Ganzheitlichkeit der visuellen Wahrnehmung führt die Kombination dieser Zeichen wahrscheinlich zu einer direkten Wahrnehmung der betreffenden Person als *müde* und *unfit* (vgl. Gibson, 1979). Die Ergänzung der aus der Introspektion heraus verfügbaren Sicht des Fahrers auf seinen eigenen Zustand durch diese Außensichtinformation könnte auf direktem Wege den unrealistischen Optimismus bei der Einschätzung der eigenen Gefährdung abschwächen, so dass der Fahrer zu einer realistischeren (oder pessimistischeren) Wahrnehmung der eigenen Verletzlichkeit gelangt. Neben diesem Wirkmechanismus, welcher den unmittelbaren Vulnerabilitätseindruck betrifft, sind andere Mechanismen denkbar, die ebenfalls die Compliance vergrößern sollten, wenn einem Warnungsempfänger ein Bild seiner selbst präsentiert wird. Beispielsweise könnte ein solcher Effekt auch, oder zusätzlich, durch eine Erhöhung der *Selbstaufmerksamkeit* im sozialpsychologischen Sinne und eine daraus folgende Tendenz, sich konform zu eigenen und sozialen Normen zu verhalten, ver-

mittelt werden. Gemäß dieser theoretischen Vorstellung führt die Wahrnehmung eines eigenen Spiegel- oder Videobildes dazu, dass der Fokus der Aufmerksamkeit auf das Selbst gelenkt wird. Das momentane Verhalten wird mit inneren Normen abgeglichen. Eventuell entdeckte Diskrepanzen werden als unangenehm empfunden, was eine Motivation darstellt, das Verhalten entsprechend so zu verändern, dass es der inneren Norm entspricht. Eine alternative Möglichkeit zur Beendigung des unangenehmen emotionalen Zustands wäre der Versuch, sich dem Zustand der Selbstaufmerksamkeit zu entziehen, z. B. indem das Anschauen des Spiegelbildes vermieden, die Situation verlassen und die Aufmerksamkeit auf andere Objekte gerichtet wird (Carver, 2003; Carver & Scheier, 1981; Duval & Silvia, 2002; Phillips & Silvia, 2005; nach Aronson et al., 2008).

Für die Anwendung im Kontext der Müdigkeitswarnung bedeutet dies, dass warnungskonformes Verhalten gefördert werden könnte, indem dem Fahrer ein Spiegelbild seines kritischen Zustandes präsentiert wird. Eine relativ einfache technische Umsetzung besteht in der Einbindung einer Aufnahme des Fahrers aus der aktuellen Fahrsituation in die visuelle Rückmeldung auf dem Warnungsdisplay. Das Potential einer solchen Rückmeldung zu untersuchen ist eine zentrale Zielstellung dieser Arbeit. Der theoretische Fokus liegt dabei auf dem vermuteten Mechanismus, dass der Anblick des eigenen Bildes die Vulnerabilitätswahrnehmung verstärkt und darüber warnungskonformes Verhalten, d.h. ein Anhalten des Fahrzeugs zugunsten eines Naps oder Kaffees, wahrscheinlicher macht.

Neben Warnungs- und relativ stabilen Personenmerkmalen sollten theoretisch auch *situative Faktoren* die Vulnerabilitätswahrnehmung beeinflussen. Zum Beispiel könnte sich ein müder Fahrer subjektiv weniger gefährdet fühlen, wenn in der aktuellen Fahrsituation Rüttelstreifen vorhanden sind. Wiederum kann die Wirkung solcher Situations- oder Kontextfaktoren kognitive Verzerrungen begünstigen. Beispielsweise ist denkbar, dass es im Sinne der *Repräsentativitätsheuristik* (Tversky & Kahneman, 1974) einem gleich müden Fahrer bei Tage unwahrscheinlicher erscheint einzunicken als nachts. Ein bei jeder Müdigkeitswarnung wirksames situatives Element dürfte die absolute und relative zeitliche Einbettung des Moments, in dem ein kritisches Niveau erreicht wird, in den Kontext der Gesamtfahrt sein. Vermutlich wird sich ein Fahrer, den im Moment der Warnung nur noch 20 Minuten Fahrt von seinem Ziel trennen, weniger vulnerabel fühlen, als ein Fahrer, der noch eine ganze Stunde zu fahren hat. Auf der kürzeren Strecke gibt es weniger Gelegenheiten für Fahrfehler, und zugleich wird auch die subjektive Prognose bezüglich des zu erwartenden Müdigkeitsverlaufs und der selbsteingeschätzten Möglichkeiten sich wach zu halten positiver ausfallen. Wie in 2.1.1.2 ausgeführt, gibt es Hinweise darauf, dass überproportional viele müdigkeitsbedingte Unfälle in relativer Nähe zum Zielort geschehen (Armstrong et al., 2011). Ein Grund dafür könnte in einer Unterschätzung der eigenen Vulnerabilität auf der kurzen verbleibenden Strecke liegen. Für die Warnungsgestaltung würde dies implizieren, dass bei geringer Zielentfernung der Bedarf an Überzeugungswirkung nochmals erhöht wäre. Weil eine bestimmte Entfernung zum Ziel ein universelles situatives Element jeder Müdigkeitswarnung ist, soll auch der Einfluss dieser Größe, in Interaktion mit dem Warnungsdesign, im Rahmen dieser Arbeit experimentell untersucht werden.

Intrinsische / extrinsische Belohnungen des maladaptiven Verhaltens, *weiterfahren*, resultieren nach einer Müdigkeitswarnung in erster Linie aus der Vermeidung von Handlungskosten, die im Falle einer adaptiven Reaktion entstehen würden (negative Verstärkung); diese werden im nächsten Abschnitt besprochen.

2.2.4.2 Schlüsselemente in der Bewältigungseinschätzung

Die Bewältigungseinschätzung führt zu einer Gesamtbewertung des adaptiven Verhaltens unter den drei Gesichtspunkten: Was nutzt es? Kann ich es ausführen? Was kostet es mich?

Die wahrgenommene *Handlungswirksamkeit* bezieht sich im Kontext der Müdigkeitswarnung auf die Überzeugung, dass eine Pause mit Koffein und / oder Schlaf im eigenen Anwendungsfall tatsächlich ein wirksames Mittel gegen Müdigkeit ist. Generell wird dies zwar durch Forschungsergebnisse belegt, doch wiederum kann es auf individueller Ebene tatsächliche oder fälschlich wahrgenommene Einschränkungen der Handlungswirksamkeit geben. So könnte eine tatsächliche Einschränkung aus einer hohen Koffeintoleranz resultieren. Subjektive Vorbehalte gegenüber der Anwendung von Naps könnten u.a. aus der Befürchtung entstehen, wenn man jetzt auch noch schlief, wäre man danach noch müder als zuvor. Im Hinblick auf die bei einem Teil der Fahrer feststellbare Unterschätzung wirksamer und Überschätzung unwirksamer Maßnahmen (2.1.3) werden Information und Aufklärungsarbeit weiterhin ein wichtiger Baustein des Müdigkeitsmanagements bleiben, und es lohnt darüber nachzudenken, wie diese Informationen auch in ein Fahrzeugwarnsystem integriert werden können (s.a. 2.3.2.3). Weiterhin könnte es Gestaltungsmerkmale geben, welche auf nicht-argumentativer Basis die wahrgenommene Handlungswirksamkeit einer Pause bei Müdigkeit vergrößern.

Die subjektive *Selbstwirksamkeit* beschreibt die wahrgenommenen eigenen Möglichkeiten zur Anwendung des empfohlenen Verhaltens. Müde Fahrer könnten dazu de facto nicht in der Lage sein oder sich subjektiv nicht in der Lage fühlen, weil sie z. B. Kaffee nicht vertragen oder Zweifel bezüglich ihrer Fähigkeit haben, im Rahmen einer 15minütigen Pause überhaupt einschlafen zu können. Weniger vom Selbst abhängig - aber ebenfalls bedeutsam - wirkt sich die aktuelle Verfügbarkeit von Rast- und Versorgungsmöglichkeiten auf die Umsetzbarkeit einer wirksamen Pause aus (s. 2.1.4.4). Jenseits dieser spezifischen Aspekte der individuellen und situativen Anwendbarkeit des empfohlenen Verhaltens wird ein generelles Konstrukt *Selbstwirksamkeit* auch im Sinne eines relativ stabilen Persönlichkeitsmerkmals als ein wichtiger Prädiktor für die Ausübung gesundheitsförderlicher Verhaltensweisen diskutiert, welches in der Forschung zur Warnungswirkung entsprechend als Kontrollvariable berücksichtigt werden kann (s. Schwarzer, 2004). Eine Unterstützung der *situativ* wahrgenommenen Selbstwirksamkeit durch gezielte Warnungsgestaltung erscheint grundsätzlich möglich, beispielsweise durch objektive Hilfen beim Finden der nächsten Rastgelegenheit oder durch eher emotional verankerte Elemente zur Förderung des Kompetenzerlebens.

Der Faktor jedoch, der im Kontext der Müdigkeitswarnung auf Seiten der Bewältigungseinschätzung vermutlich die meiste Aufmerksamkeit verdient, sind subjektive *Handlungskosten*: psychische, körperliche, soziale oder materielle Aufwände, die mit dem empfohlenen Verhalten verbunden sind (Fry & Prentice-Dunn, 2006). Im Fall des müden Fahrers sind zwei Arten solcher Unannehmlichkeiten besonders prominent: (1) *kognitiver Aufwand* und (2) *Zeitkosten*. Aus der Forschung zu Aufmerksamkeit und Handlungsregulation ist bekannt, dass Unterbrechungen in einem Tätigkeitsfluss als unangenehm empfunden werden (vgl. Hacker, 2014; Wickens & McCarley, 2007). Während die Option *Weiterfahren* als eine Fortsetzung der ablaufenden Handlung keinerlei Einsatz zusätzlicher kognitiver Ressourcen erfordert, fallen für eine Pause subjektive Aufgabenwechselkosten an. Ein neues Ziel und ein neuer Handlungsplan müssen erstellt werden. Aus handlungstheoretischer Sicht muss dazu die Regulation von einer automatisierten Ausführung auf eine symbolische Ebene wechseln, was mit einer *Zunahme der mentalen Beanspruchung* verbunden ist. Aus verschiedenen Handlungskontexten ist bekannt, dass Menschen dazu tendieren, mentale Mehranstrengungen zu vermeiden, wenn es „kognitive Abkürzungen“ gibt (Kahneman, 2011; Shugan, 1980). Zudem führt jede Pause zu einer – potentiell vermeidbaren – Verlängerung der Fahrzeit bzw. Verzögerung der Zielankunft. Weitere individuell wahrgenommene Arten von Kosten sind denkbar, z. B. hinsichtlich finanzieller Ausgaben, Sicherheitsbedenken oder sozialer Erwartungen.

Um die Tragweite dieser Kosten zu verstehen, ist es besonders wichtig, die von rational-normativen Nutzenfunktionen abweichenden psychischen Gesetzmäßigkeiten der menschlichen Nutzenwahrnehmung zu berücksichtigen. „Melioration dominates maximization“, folgern Neth et al. (2006) im Titel einer Studie, in der Probanden in einer Folge von Entscheidungen²⁴ entweder jeweils eine kurzfristige Verbesserung oder aber eine Gewinnmaximierung auf lange Sicht herbeiführen konnten. Trotz häufiger expliziter Rückmeldungen über die optimale Entscheidungsstrategie wurden hohe unmittelbare Belohnungen systematisch einem langfristig höheren Gewinn vorgezogen. Obwohl es interindividuelle Unterschiede in ihrem Ausmaß gibt (Ersner-Hershfield, Garton, Ballard, Samanez-Larkin & Knutson, 2009, nach Wickens et al., 2012), scheint diese Tendenz, die auch in tierischem Verhalten zu beobachten ist, evolutionär tief in den Funktionen der organismischen Informationsverarbeitung verwurzelt zu sein (Herrnstein, Rachlin & Laibson, 1997; nach Neth et al., 2006). Auch weitere Erkenntnisse aus der Entscheidungsforschung lassen im Fall der Müdigkeitswarnung die Voraussetzungen für die Wahl des empfohlenen Verhaltens ungünstig erscheinen. Zunächst fallen Verluste, also Kosten, als Motivationsfaktor bei vielen Entscheidungen offenbar stärker ins Gewicht als objektiv gleich hohe Gewinne, also Nutzen (Kahneman & Tversky, 1979, 1984; McGraw, Larsen, Kahneman & Schkade, 2010; Tom, Fox, Trepel & Poldrack, 2007). Damit in Verbindung steht die Tendenz zur *Risikoaffinität*, die unter einer ganz bestimmten Konstellation von Anreizen und assoziierten Wahrscheinlichkeiten auftritt: bei einer Wahl zwischen zwei Optionen, die beide negative Konsequenzen (Kosten) haben, welche aber bei der einen Option *mit Sicherheit*, bei der anderen nur *eventuell* (mit einer bestimmten Wahrscheinlichkeit) eintreten (Kahneman & Tversky, 1979; Kühberger, Schulte-Mecklenbeck & Perner, 1999; Scholer, Zou, Fujita, Stroessner & Higgins, 2010; Tversky & Kahneman, 1992; Weber & Chapman, 2005). In dieser Konstellation tendieren Entscheider dazu, sich zugunsten der riskanten²⁵ Option zu entscheiden, d.h. zugunsten der Option, bei der zumindest die Chance besteht, dass *keine* negativen Konsequenzen eintreffen. Genau diese Konstellation liegt, wie bei vielen anderen sicherheitsrelevanten Entscheidungen im Human-Factors-Bereich (s. Wickens et al., 2012), im Fall des müden Fahrers vor. Die Option *Weiterfahren*, in diesem Fall die riskante Option, kann *mit einer gewissen abstrakten Wahrscheinlichkeit* – deren Wahrnehmung zusätzlich einem Optimismusbias unterliegt, s.o. – *zu einem ebenfalls undefinierten Zeitpunkt in der Zukunft* in schwerwiegenden Kosten resultieren. Dagegen sind die Kosten im Fall einer Entscheidung für die *Pause-Option sicher* und treten *unmittelbar* auf.

Die resultierende motivationale Tendenz zur Vermeidung dieser Kosten ist ein starker Gegenspieler in Bezug auf die Ausführung des empfohlenen Verhaltens. Neben dem Optimismusbias ist sie vermutlich die zweite große Herausforderung für eine verhaltenswirksame Warnungsgestaltung. Ziel sollte es sein, durch die Gestaltung des Müdigkeitsassistenten, ebenso wie durch abgestimmte Maßnahmen auf den anderen Ansatzebenen des Fatigue Management (2.1.4), unmittelbare positive Anreize für Pausen zu schaffen und wahrgenommene Handlungskosten so weit wie möglich – am besten auf null – zu reduzieren. Einige konkrete Vorschläge hierzu werden in 5.3 diskutiert.

2.2.4.3 Fazit

Jede einzelne Variable, die in der Bedrohungs- und Bewältigungseinschätzung eine Rolle spielt, bietet somit Ansatzpunkte, die eine effektive Gestaltung von MWS-Rückmeldungen inspirieren können.

²⁴ unter Unsicherheit

²⁵ Der Begriff *riskant* steht hierbei dafür, dass das Eintreffen der Konsequenzen mit Unsicherheit verbunden ist.

Der Fokus in dieser Arbeit liegt auf der Vulnerabilitätseinschätzung und der Frage, ob die Tendenz zu unrealistischem Optimismus durch eine Spiegelung des Fahrerzustandes mittels Einbindung einer aktuellen Fotoaufnahme in die Warnung gemindert werden kann. Bevor die entsprechenden experimentellen Untersuchungen vorgestellt werden, soll aber zunächst noch ein Blick auf den aktuellen Entwicklungsstand der Systeme zur Müdigkeitsdetektion und -rückmeldung im Fahrzeug geworfen werden.

2.3 Müdigkeitswarnungen im Fahrzeug: Stand der Forschung und Entwicklung

2.3.1 Die Input-Seite: Technologien zur automatischen Erfassung des Fahrerzustands

Die Erforschung und Entwicklung von Müdigkeitsdetektionstechniken wird aktuell sehr aktiv vorangetrieben. Zur Begriffskombination *driver fatigue detection* verzeichnet die wissenschaftliche Suchmaschine Google Scholar wöchentlich etwa eine bis zwei neue Publikationen. Gemäß der Forderungen von Balkin et al. (2011; s. 2.1.4.5) sollte die Detektionsseite eines idealen Systems zur Fahrerzustandsüberwachung ein Modell zur individuellen Vorhersage von Müdigkeit mit Messtechnologien zur Erhebung des aktuellen Status kombinieren.

2.3.1.1 Modelle zur Vorhersage von Müdigkeit

Der entscheidende Vorteil der Verwendung numerisch implementierter Müdigkeitsmodelle ist die Möglichkeit zur Vorhersage. Somit muss nicht gewartet werden, bis ein kritischer Müdigkeitswert erreicht ist, sondern es kann – wenn alles stimmt – vorhergesagt werden, wie sich die Fahrermüdigkeit über die Zeit entwickeln und zu welchem Zeitpunkt in der Zukunft ein kritischer Wert erreicht sein wird. Das quasi unbestrittene Basismodell der Müdigkeit ist das Zweiprozessmodell (Achermann, 2004; Borbély, 1982). Die für einen bestimmten Zeitpunkt t vorhergesagte Müdigkeit ergibt sich hier als kombinierte Funktion einer oszillierenden circadianen Komponente C und einer mit zunehmender Zeit ohne Schlaf monoton wachsenden Schlafdruckkomponente S , welche durch Schlaf ebenfalls nach einer bestimmten Funktion wieder abgebaut wird. In neueren Modellen werden, je nach Kontext, dazu verschiedene weitere Faktoren berücksichtigt, z. B. Schlafqualität, vorangegangene Fahrdauer und Monotonie der Fahrstrecke (s.a. 2.3.1.4; Koh et al., 2007), Schlafträchtigkeit (Åkerstedt, Folkard & Portin, 2004), Lichtexposition (Jewett & Kronauer, 1999) und andere (Übersichten z. B. bei Dawson, Noy, Härmä, Åkerstedt & Belenky, 2011; Gundel et al., 2007). Praktische Einschränkungen ergeben sich aus der Notwendigkeit der Erfassung der Eingangsgrößen. Je präzisere und individuellere Informationen einem Modell zugeführt werden, desto genauere Vorhersagen ermöglicht dies theoretisch. Beispielsweise macht es einen Unterschied, ob die circadiane Komponente lediglich allgemein anhand der Uhrzeit oder anhand individueller Information über Schlaf-Wach-Rhythmen eines bestimmten Fahrers geschätzt wird. Diese Input-Erfordernisse führen zu einem Tradeoff zwischen zunehmender Genauigkeit der Vorhersage (mit wachsender Zahl bekannter Fahrerinformationen) und einer Abnahme in Nutzungskomfort und Schutz der Privatsphäre (s.a. 2.1.4.5).

2.3.1.2 Maße zur Online-Erfassung von Müdigkeit

Verschiedene Klassifikationen von Techniken zur kontinuierlichen Müdigkeitsmessung sind gebräuchlich (Dong et al., 2011; Krajewski et al., 2011; Sahayadhas, Sundaraj & Murugappan, 2012); die Gliederung hier erfolgt in Anlehnung an Balkin et al. (2011), die zwischen Messungen des Fahrerzustands *am Fahrer* und leistungsbezogener Messung *am Fahrzeug* differenzieren.

2.3.1.2.1 Messung am Fahrer

Maße der Hirnaktivität. Daten über die Aktivität des Gehirns liefern grundsätzlich eine sehr direkte und valide Reflexion des Fahrerzustands (He, 2013); verschiedene Indizes können dazu z. B. aus dem zeitlichen Verlauf oder dem Frequenzspektrum des EEG berechnet werden (z. B. Anund, 2009; Horne & Baulk, 2004; Lal, Craig, Boord, Kirkup & Nguyen, 2003). Lange Zeit ließen Schwierigkeiten mit der Artefaktbereinigung und die Invasivität der Messung den Einsatz in der Praxis fragwürdig erscheinen, und das EEG war vor allem als Bezugsnorm bei der Evaluation anderer Detektionsmethoden im Labor

hilfreich (Jap, Lal, Fischer & Bekiaris, 2009; Thorslund, 2004). Fortschritte in der Sensortechnik wie trockene Elektroden, single-channel-Messung, Nanotechnologie und kabellose Signalübertragung (Park, Xu, Sridhar, Chi & Cauwenberghs, 2011; Picot, Charbonnier & Caplier, 2009) eröffnen aber die Möglichkeit, dass in Zukunft EEG-basierte Müdigkeitsdetektion im Fahrzeug realisiert werden kann.

Lidschlussmaße. Verschiedene Messtechniken sind zur Erhebung des mit Müdigkeit abnehmenden Augenöffnungsgrades und der zunehmenden Dauer und Häufigkeit von Lidschlüssen einsetzbar, u.a. Elektroofokulographie (EOG; Picot, Charbonnier, Caplier & Vu, 2012) oder auch videobasierte Methoden, z. B. unter Nutzung von Infrarotlicht-Reflexionen in verschiedenen Schichten des Auges oder Tageslicht (Ogawa & Shimotani, 1997; Picot, Charbonnier & Caplier, 2010; Picot et al., 2012; Zhang & Zhang, 2006). Bei reliabler Erfassung weisen Lidschlussmaße eine hohe Detektionsgüte hinsichtlich der Müdigkeit auf (Eskandarian et al., 2012). In der Praxis ist die Messung aber nicht unproblematisch. Die EOG-Erhebung unterliegt denselben sensorbedingten Einschränkungen – aber auch Chancen – wie sie für das EEG gelten (s.o.). Videobasierte Methoden sind aufgrund der geringeren Invasivität eher tauglich für den Einsatz im Feld. Allerdings stellen hier wechselnde Beleuchtungsbedingungen und Winkel zwischen Kamera und Gesicht, Brillen und andere Umstände eine Herausforderung für die fehlerfreie Messung und automatische Signalverarbeitung dar (Eskandarian et al., 2012)

Maße des Gesichtsausdrucks und andere motorische Maße. Neben Indikatoren der Lidmotorik können eine Reihe weiterer Veränderungen in Muskelaktivität und –tonus zur Zustandsbeurteilung herangezogen werden, unter anderem Augenbewegungen, Kopfnicken, Gähnen, Gesichtstonus und Sitzhaltung. Eine bewährte, allerdings im realen Anwendungskontext impraktikable Methode zur Auswertung dieser Indikatoren ist die strukturierte Beobachtung durch geschulte Beurteiler, bei der die Klassifikation des Fahrerzustands anhand vorab definierter Verhaltensmerkmale vorgenommen wird (Anund et al., 2013; Dittrich, Brandenburg & Thüring, 2009; Lal et al., 2003; Lal & Craig, 2002; Wierwille & Ellsworth, 1994). Für eine automatisierte Erfassung kommen verschiedene Techniken in Frage, u.a. Elektromyographie (EMG), Messung der Körperbewegung anhand von Beschleunigungssensoren (Andreeva et al., 2004) und videobasierte automatische Bildverarbeitung (Dong, Hu, Uchimura & Murayama, 2010; Sigari, Pourshahabi, Soryani & Fathy, 2014), die in der Praxisanwendung mit den spezifischen bereits genannten Problemen konfrontiert sind.

Kardiovaskuläre und peripherphysiologische Maße. Auch Parameter des Herzschlags (z. B. die Schlagratenvariabilität; Heinze et al., 2010; nach Krajewski et al., 2011), der elektrodermalen Aktivität (z. B. Widerstand, Labilität; Michael, Passmann & Becker, 2012; Miro, Cano-Lozano & Buela-Casal, 2002), der Körpertemperatur und weitere vegetative Größen werden als potentielle Müdigkeitsindikatoren zur Diskussion gestellt. Wie auch bei anderen physiologischen Maßen könnten Fortschritte in der Sensortechnik hierbei helfen, das bislang bestehende Problem der intrusiven Messung (Notwendigkeit von Elektroden am Körper) zu überkommen. Beispielweise gibt es Ansätze, das EKG des Fahrers durch Biosensoren in Lenkrad und Sitzlehne (Yu, 2009) oder videobasiert photoplethysmographisch zu erfassen. Inwiefern diese Messansätze den weiteren Anforderungen an die Müdigkeitsdetektion, insbesondere in Bezug auf die Konstruktvalidität und Spezifität der Messung, gerecht werden, muss zukünftige Forschung zeigen.

Leistungsmaße, andere als Fahrleistung. Prinzipiell ist der Einsatz vigilanzfordernder Nebenaufgaben (z. B. Reaktionszeit- oder Trackingaufgaben, wie sie unter 2.1.4.1 bereits kurz dargestellt wurden) zwar auch im Rahmen einer kontinuierlichen Müdigkeitsmessung im Fahrzeug möglich, allerdings bedenklich in Bezug auf die geforderte Ablenkungsfreiheit eines Detektionssystems, ebenso

wie auf die Spezifität (z. B. können Ereignisse auch aufgrund hoher situativer Anforderungen der Fahraufgabe verpasst werden). Somit eignen sich Leistungsmaße, sofern sie nicht ohnehin im Rahmen der Fahrzeugführung anfallen, eher als vor Fahrtantritt im Auto durchführbare Fitness-for-duty-Tests oder als im Verdachtsfall angeforderte Zusatzinformation im Rahmen eines Warnkonzepts.

Subjektive Maße. Zur Erhebung der momentanen subjektiven Müdigkeitsempfindung existieren eine Reihe von Verfahren (Shahid, Shen & Shapiro, 2010; Shahid, Wilkinson, Marcu & Shapiro, 2012), am häufigsten eingesetzt und am besten evaluiert sind wohl die Karolinska Sleepiness Scale (KSS; Akerstedt & Gillberg, 1990) und die Stanford Sleepiness Scale (SSS; Hoddes, Zarcone, Smythe, Phillips & Dement, 1973). Öfter finden auch visuelle Analogskalen Anwendung (Michael et al., 2012; Philip et al., 2005). Obwohl subjektive Maße grundsätzlich geeignet sind, Müdigkeit valide zu erfassen (s. 2.1.3), verbietet sich ihr Einsatz zur Detektion in der Fahrpraxis: Zum einen sind sie bei entsprechender Motivation (s.a. 2.2.4) leicht zu verfälschen, zum anderen steht die nötige Abfrage im Widerspruch zum Prinzip der ablenkungs- und belästigungsfreien Erfassung.

2.3.1.2.2 Messung am Fahrzeug

Besonders praktisch erscheint die Möglichkeit, müdigkeitsassoziierte Leistungseinbußen direkt aus Fahrzeug- und Fahrparametern zu ermitteln, welche die Einflussnahme des Fahrers spiegeln. Dem Überblick hier liegt die Klassifikation und Zusammenfassung nach Eskandarian et al. (2012) zugrunde.

Maße des Lenkverhaltens. Unter Müdigkeit verändert sich das Lenkverhalten. *Mikrokorrekturen* – häufige kleine Lenkwinkelanpassungen, die dazu dienen, das Fahrzeug in der Spurmitte zu halten – werden seltener. *Makrokorrekturen* – größere Lenkwinkelveränderungen, z. B. in Kurven oder bei Spurwechseln – werden größer (sog. „Übersteuern“). Entsprechend betrachtet werden Lenkhäufigkeiten (Menge von Nulldurchgängen des Lenkrads oder Bewegungen einer definierten Größenordnung), Lenkgeschwindigkeiten, Lenkamplituden sowie verschiedene weitere Indizes, die aus den genannten Variablen berechnet werden können.

Maße der Querabweichung. Zusätzliche Informationen liefert die Betrachtung der aus den Lenkbewegungen resultierenden Fahrtrajektorie, da hier zumindest teilweise das Soll, also der Straßenverlauf, als Referenzgröße für die erbrachte Leistung einbezogen wird. Mögliche Maße für die Güte der Querführung sind ein Verlassen der Spur um eine definierte Breite, die Standardabweichung der lateralen Position oder die innerhalb eines Zeitfensters beobachtete maximale Abweichung, die jeweils auf Basis der Rohdaten oder bestimmter Frequenzkomponenten berechenbar sind.

Geschwindigkeits-, Brems-, Beschleunigungs- und Rotationsmaße. Obwohl einige Studien Müdigkeitseffekte auch in der Variabilität der Geschwindigkeit fanden, scheint diese doch insgesamt ein weniger sensibler Indikator zu sein. Ähnlich mehrdeutig ist die Befundlage bezüglich Beschleunigungs- und Rotationsparametern.

Lenk- und resultierende Querführungsmaße weisen demnach unter den fahrzeugbasierten Maßen das größte Potential als Müdigkeitsindikatoren auf. Die Erfassung von Lenkbewegungen, z. B. anhand von Sensoren an der Lenksäule, ist technisch vergleichsweise einfach und entsprechend reliabel. Schwieriger ist die Messung der Spurführung, da sie eine automatische Erkennung der Straßenbegrenzung und der relativen Fahrzeugposition voraussetzt. Diese basiert meist auf Kamerabildern. Die notwendigen komplexen Bildverarbeitungsalgorithmen sind störungsanfällig in Bezug auf wechselnde Umweltbedingungen, z. B. Beleuchtung, Spiegelung (bei nasser Fahrbahn), Verdeckung (von Kanten / Markierungen) oder Charakteristika der Straße (Apostoloff & Zelinsky, 2004; Ramstrom & Christensen, 2005; Sivaraman & Trivedi, 2013). Jenseits der reliablen Erfassung der Indikatoren selbst

stellt sich das Problem der Kontrolle von Störgrößen, die neben der Müdigkeit ebenfalls Einfluss auf das Fahrverhalten haben - wie z. B. Straßenverlauf, -breite und -belag, Seitenwind und individueller Fahrstil - und somit nach Möglichkeit ebenfalls erfasst und in der Müdigkeitsschätzung berücksichtigt werden müssen (Balkin et al., 2011; Daimler, 2013).

2.3.1.3 Detektionsalgorithmen

Egal, welche Messgröße oder Messgrößenkombination gewählt wird, für alle Ansätze gleichermaßen bedeutsam und herausfordernd ist die Transformation des gemessenen Signals in eine Entscheidung *unkritisch vs. kritisch*, um zu determinieren, ob eine Warnung gegeben werden sollte oder nicht. Die vermeintlich einfachste Methode besteht in der Definition eines Schwellenwertes (Sigari et al., 2014) und dessen direkter Anwendung auf das Signal. Hierbei ist zu berücksichtigen, dass derselbe Wert zwischen Individuen und sogar situationsabhängig innerhalb desselben Individuums unterschiedliche Kritikalität besitzen kann, so dass individuelle, adaptive Schwellenwerte zu bevorzugen sind (Friedrichs & Yang, 2010; Hamada, Ito, Adachi, Nakano & Yamamoto, 2003; Lawhern, Kerick & Robbins, 2013). Unter anderem aufgrund der Notwendigkeit, diverse Kontrollvariablen zu berücksichtigen, greifen viele vorgeschlagene Detektionssysteme auf eine Fusion multipler Sensordaten zurück. Zur Extraktion eines Müdigkeitsindex aus der Vielzahl von Messwerten (die unvollständig sein oder widersprüchliche Information liefern können) werden verschiedene computationale Verfahren genutzt, z. B. Fuzzy-Regelsysteme (Sammlungen von Wenn-Dann-Regeln mit unscharfer Zuordnung), wahr-scheinlichkeitstheoriebasierte Verfahren (z. B. Bayessche Netze, Dempster-Shafer-Theorie) oder Mustererkennungsverfahren (z. B. neuronale Netze, Support Vector Machines) (Bergasa, Nuevo, Sotelo, Barea & Lopez, 2006; Kiyimik, Akin & Subasi, 2004; Li, Seignez & Loonis, 2012; Shen, Li, Ong, Shao & Wilder-Smith, 2008; Vuckovic, Radivojevic, Chen & Popovic, 2002; Yang et al., 2009; Yeo, Li, Shen & Wilder-Smith, 2009; Klassifikation nach Sigari et al., 2014). Hierbei soll wiederum durch Einbezug individueller und situativer Merkmale die Treffgenauigkeit erhöht werden. Bezüglich der Frage, wie Schwellenwerte ermittelt werden sollten, erscheint es am sinnvollsten, primär die mit den gemessenen Müdigkeitsgraden assoziierten objektiven Gefährdungsgrade zugrundezulegen. In Bezug auf die Wahl des Warnzeitpunkts gilt es daneben psychologische Größen zu berücksichtigen, welche Einfluss auf die Reaktionsauswahl nehmen (z. B. die Übereinstimmung mit der subjektiven Müdigkeitswahrnehmung; Dreßler et al., 2009; Karrer-Gauß, 2012; s.a. 2.2.2).

2.3.1.4 Detektionsgüte aktueller Systeme

Trotz verbleibender methodischer Schwierigkeiten befinden sich bereits eine ganze Reihe automatischer Systeme zur Müdigkeitserkennung am Markt oder sind zumindest als Prototyp verfügbar (Übersichten bei Barr et al., 2009; Dawson et al., 2014; Dong et al., 2011; Edwards et al., 2007; Hagenmeyer, 2007; Liu et al., 2009; Wright et al., 2007).

Für den aktuellsten Überblicksartikel sichteten Dawson et al. (2014) sowohl die von Experten begutachtete wissenschaftliche, als auch die graue und Marketing-Literatur, um vorgeschlagene Müdigkeitsüberwachungssysteme sowie Veröffentlichungen bezüglich deren Detektionsgüte zu identifizieren. Ausgehend von Anforderungen an ein optimales System²⁶ entwickelten die Autoren einen Katalog von Kriterien, anhand derer sie die bisher erfolgten Validierungsbemühungen und die sich daraus ergebende Evidenz für die Güte der verschiedenen Systeme bewerteten. Basisanforderungen an jede Technologie sind *hohe Korrelationen mit Müdigkeitsmaßen, die als Goldstandard gelten* (z. B.

²⁶ Reliabilität und Validität, Sensitivität und Spezifität, Verallgemeinerbarkeit auf unterschiedliche Anwender, Robustheit, Beeinträchtigungsfreiheit und potentielle Nutzerakzeptanz

EEG oder die PVT, *Spalte 7* in Tabelle 1, S. 47), ebenso wie mit *Fahrleistungsmaßen* (Sp. 8). Darüber hinaus muss ein geeigneter Detektionsalgorithmus so definiert sein, dass sich für die Vorhersage sicherheitsrelevanter Ereignisse hohe *Sensitivität*, aber auch *Spezifität* ergeben (Sp. 9). Der Nachweis der Detektionsgüte sollte sowohl im *Labor* (Sp. 5), als auch im *Feld* gelingen (Sp. 6) und nicht nur *durch den Entwickler* (Sp. 3) erbracht werden, sondern auch *in den Versuchen unabhängiger Dritter repliziert* werden können (Sp. 4). Auch die Validierungslage hinsichtlich der *Nutzerakzeptanz* wurde begutachtet (Sp. 10), da diese eine unabdingbare Voraussetzung für den erfolgreichen Einsatz eines Systems ist. In die Wertungen fließt die *Qualität* der vorhandenen Evidenz (z. B. Nachweis hoher Sensitivität und Spezifität) in den jeweiligen Kategorien ebenso ein wie deren *Quantität* (z. B. kann aufgrund der Anforderung der Replizierbarkeit keine hohe Wertung erzielt werden, wenn nur eine einzige Studie vorliegt).

Die Ergebnisse in Tabelle 1 (S. 47) zeigen, dass die wenigsten der erhältlichen Systeme umfassend validiert sind – oder anders gesagt, dass sich eine ganze Zahl von Systemen am Markt befindet, ohne dass es fundierte Evidenz für deren Validität gibt. Zur Illustration des Entwicklungsstandes werden einige Beispiele herausgegriffen.

Das am umfassendsten evaluierte System, *Optalert*, besteht aus einer vom Fahrer zu tragenden Brille mit Messtechnik für infrarotlichtbasierte Okulographie und einer Signalverarbeitungseinheit auf dem Armaturenbrett, in der anhand von Lidschlussmaßen ein Müdigkeitsindex errechnet wird (JDS, Johns Drowsiness Scale; Johns, Tucker, Chapman, Crowley & Michael, 2007). Die Messtechnologie wurde sowohl vom Hersteller, als auch von unabhängigen Dritten getestet, zeigte dabei signifikante Korrelationen unter anderem mit PVT-Fehlern, EEG-Maßen und Spurverlassen und erwies sich als sensitiv für die Effekte vollständiger und partieller Schlafdeprivation, des circadianen Tiefs und von Koffein (Dawson et al., 2014). Besonders interessant im Hinblick auf die Detektionsgüte eines Müdigkeitswarners sind die Sensitivität und Spezifität bei der Vorhersage sicherheitskritischer Ereignisse. Nur für sehr wenige Systeme liegen diesbezüglich überhaupt Daten vor. Das Optalert-System erzielte in einer unabhängigen Simulatorstudie eine Sensitivität von 83% und eine Spezifität von 61% für die Vorhersage des Ereignisses *Verlassen der Spur mit dem ganzen Fahrzeug* innerhalb von 15 min nach einer Kriteriumsüberschreitung. Für ein *Verlassen der Spur mit mindestens zwei Rädern und einer halben Fahrzeugbreite* lag die Sensitivität bei 75% und die Spezifität bei 70% (Stephan et al., 2006; nach Johns et al., 2007). Versuchseinsätze in Flugwesen, Bergbau und Straßentransport weisen darauf hin, dass das System von den meisten Anwendern als akzeptabel empfunden wird. Aus der nur mittleren Spezifität könnten Probleme bezüglich Glaubwürdigkeit und Anwendervertrauen resultieren (Dawson et al., 2014).

Eine andere Umsetzung der infrarotlichtbasierten Okulographie ist das System *CoPilot / DD850*, bei dem Dioden, Kameras und Signalverarbeitung in einer Box auf dem Armaturenbrett versammelt sind. In der einzigen identifizierten unabhängigen Validierungsstudie (Beobachtung während 24 h ohne Schlaf) ergaben sich mittlere Korrelationen des PERCLOS-basierten Müdigkeitsmaßes mit Unfällen im Fahrsimulator und PVT-Fehlern (Dawson et al., 2014; Howard et al., 2006). Die Technologie wurde auch in einer relativ großen Feldstudie mit Berufskraftfahrern getestet und erhielt dabei mittlere bis niedrige Akzeptanzbewertungen. Die Einsatzmöglichkeiten des Systems werden dadurch begrenzt, dass es nur bei wenig Licht (bei Nachtfahrten oder starker Bewölkung) funktioniert. Kriteriumsbezogene Testergebnisse bezüglich Sensitivität und Spezifität wurden nicht vorgestellt (Dawson et al., 2014).

Auch Systeme, die auf maschinellem Sehen beruhen, werden bereits kommerziell angeboten. Ein Beispiel ist der *DSS (Driver State Sensor, Seeing Machines)*, der anhand der Bilder einer Stereokamera auf dem Armaturenbrett Gesichtsmerkmale des Fahrers automatisch detektiert und darauf basierend Blickrichtung und Lidschlussmaße errechnet. Wiederum liegt nur eine Validierungsstudie vor, hierin werden hohe Korrelationen des DSS-Maßes mit der Fahrleistung im Simulator und subjektiver Müdigkeit während 24 h ohne Schlaf berichtet (Dawson et al., 2014; Edwards, Aguirre, Davis, Dawson & Trutschel, 2008). Das System erlaubt den Einsatz in einem breiteren Spektrum von Beleuchtungsbedingungen und soll auch bei Brillen- oder Sonnenbrillenträgern anwendbar sein (Dawson et al., 2014) - letzteres erscheint allerdings zur Müdigkeitsdetektion fragwürdig, da der Algorithmus bei Verdeckung der Augen (z. B. durch Sonnenbrille) auf die Ausrichtung der Nase zurückgreift, um die Blickrichtung zu schätzen (Longhurst, 2002). Angaben zu Sensitivität und Spezifität liegen nicht vor.

Eine EEG-basierte Technologie ist das *Smart Cap Operator Fatigue Monitoring System*, das nach Testeinsätzen in der Bergbauindustrie seit kurzem frei erhältlich ist. Die Messung erfolgt durch trockene Elektroden innerhalb eines in einer Baseballkappe fixierten Kopfbands. Das Signal wird kabellos an eine Verarbeitungseinheit auf dem Armaturenbrett übertragen. In einer bis dato unveröffentlichten Studie soll für das System eine Sensitivität von 95% und Spezifität von 82% für das Kriterium *vier aufeinanderfolgende Verpasser im OSLER*²⁷ gefunden worden sein (Dawson et al., 2014). Dieses Kriterium entspricht gleichzeitig der gewählten Warnungsschwelle, so dass eine Warnung vergleichsweise spät aktiviert wird (Einschlafen liegt bereits vor). Die Detektionsgüte bezüglich geringerer Müdigkeitsausprägungen und im Feld ist bisher offen (Dawson et al., 2014).

Der Einwand eines sehr späten Warnzeitpunkts gilt auch für die verschiedenen Technologien, die auf das durch die Muskelentspannung beim Einschlafen verursachte Wegnicken des Kopfes reagieren. Die wenigen verfügbaren Validierungsstudien, welche am Ohr fixierte Nickdetektoren untersuchten, deuten zudem auf unzureichende Sensitivität und Spezifität bei der Erfassung von Müdigkeit hin (vgl. Tabelle 1; Edwards et al., 2008; Haworth & Vulcan, 1991).

Unter dem Aspekt der Praktikabilität erscheinen am Fahrzeug beziehungsweise an der Fahrtrajektorie gemessene Leistungsindikatoren besonders vielversprechend: Die Messung ist beeinträchtigungsfrei, und die benötigten Sensoren sind im Kontext anderer Assistenzsysteme (z. B. Spurhalteassistenten) teilweise bereits in Fahrzeugen vorhanden. So überrascht es nicht, dass neben den in Tabelle 1 mit frei erhältlichen Systemen aufgeführten Entwicklern auch viele Automobilhersteller (z. B. Ford, Volvo, Daimler, VW) für ihre hauseigene Fahrzeugausstattung auf diese Technologie setzen. Leider sind kaum Validierungsdaten zu finden. Zwar wurde grundsätzlich gezeigt, dass Spurführungsmaße wie die Variabilität der Querführung sensitiv für Müdigkeit sind (Mortazavi, Eskandarian & Sayed, 2009; Rudin-Brown, Williamson & Lenné, 2009; nach Dawson et al., 2014); jedoch wurden diese Daten nicht mit den zur Disposition stehenden kommerziellen Technologien, sondern anhand experimenteller Aufbauten im Fahrsimulator²⁸ erhoben. Der primäre Input aus einer Straßenkamera bzw. Lenksensoren wird bei manchen Systemen durch zusätzliche Informationen aus dem CAN-Bus (z. B. Uhrzeit, Geschwindigkeit, Blinkaktivität etc.) ergänzt, um die Spezifität der Müdigkeitserfassung zu erhöhen. Zahlen über die dadurch erreichte Sensitivität und Spezifität unter verschiedenen Fahr-

²⁷ Oxford Sleep Resistance Test - behaviorale Erhebungsversion des Maintenance of Wakefulness Test. Die Instruktion lautet wach zu bleiben. Einmal in 3 Sekunden leuchtet eine LED auf, was mit Tastendruck quittiert werden soll. Vier aufeinanderfolgende Verpasser werden als Indikator für Mikroschlaf betrachtet.

²⁸ bei denen z. B. der Verlauf der Fahrbahn a priori bekannt ist und Störvariablen kontrolliert werden

bedingungen sind jedoch nicht verfügbar. Die einzige feldbasierte Evidenz bezieht sich auf die subjektive Nützlichkeit des *SafeTrak*-Systems (Straßenkamera mit CPU-Box und Output-Dioden auf Höhe des Innenspiegels, Abbildung 5): in einem FOT empfanden es 42-69% der befragten Berufskraftfahrer als hilfreich für sicheres Fahren (Dinges, Maislin, Brewster, Krueger & Carroll, 2005; nach Dawson et al., 2014).

Das einzige der aufgeführten Systeme, welches ein prädiktives Müdigkeitsmodell im engeren Sinne einbezieht, ist das *ASTiD* (*Advisory System for Tired Drivers*; Abbildung 6). Es kombiniert eine circadiane Komponente (Tageszeit), eine subjektive Angabe des Fahrers bezüglich der Schlafqualität der letzten Nacht („good“ – „poor“ – „bad“), Time-on-Task-Informationen (Dauer der aktuellen Fahrt und Pausen) und per integriertem Drehratensensor erfasste Daten über laterale Fahrzeugbewegungen, um einen summativen Müdigkeitswert zu ermitteln (Koh et al., 2007). In einem umfangreichen Feldtest wurde das System in mehreren Transport- und Bergbauunternehmen eingesetzt, dem Vernehmen nach mit vielversprechenden Ergebnissen (Dawson et al., 2014). Unter anderem wird zusammenfassend von einem positiven Feedback seitens der Operateure berichtet. Die Diagnose des Systems sei meistens in Übereinstimmung mit der eigenen Empfindung. Falsche Alarme seien in erster Linie dann zu beobachten, wenn das System mangels Eingabe der Schlafqualität auf den Standardwert zurückgreife (Edwards et al., 2008). Detailliertere Studienergebnisse liegen jedoch wiederum nicht vor.



Abbildung 5. *SafeTRAK*-System mit Straßenkamera zur Erfassung von Spurhaltungsmaßen. (Bild: <http://www.safetrak.takata.com>, Abdruck mit freundlicher Genehmigung der Takata Corp.)

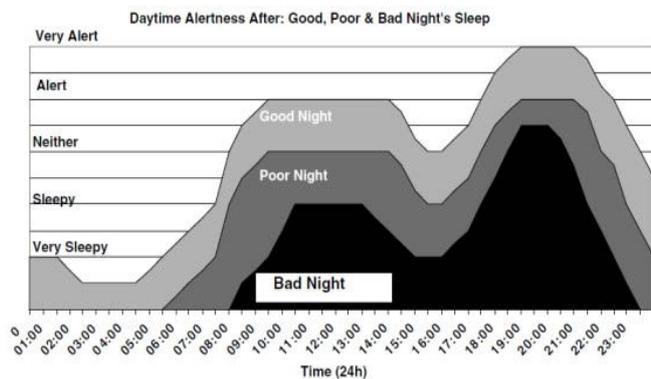


Abbildung 6. *ASTiD*. Vom Modell angenommene Müdigkeitsausprägungen nach Uhrzeit und Schlafqualität in der letzten Nacht. (Aus Koh et al., 2007, S. 748; © IOP Publishing. Abdruck mit Genehmigung. Alle Rechte vorbehalten.)

Somit ist es derzeit nur eingeschränkt möglich, sich ein Bild von der Detektionsgüte vorhandener Systeme zur Müdigkeitserkennung machen. Die Sorgfaltsgrundsätze, welche Dawson et al. hinsichtlich einer möglichen Anschaffung und Nutzung solcher Systeme durch Organisationen formulieren, lassen sich auch auf private Anwender übertragen: (1) Die Technologie sollte in unabhängigen, wissenschaftlich begutachteten Laborstudien anhand eines etablierten Müdigkeitsmaßes kriteriumsvalidiert sein. (2) Die Anbieter sollten detaillierte Angaben zu Sensitivität und Spezifität ebenso machen wie Angaben zur Zusammensetzung der Stichproben und sonstigen Methodik, mit der die Warnungsschwellwerte ermittelt wurden. (3) Es sollten Ergebnisse aus Feldstudien zur Anwendbarkeit und Detektionsgüte vorliegen. Selbst für die wenigen Systeme, welche die Validierungskriterien insgesamt relativ gut erfüllen, verbleiben zwei dringende Evaluationserfordernisse: die Erprobung im Feld und die Beantwortung der Frage, ob die Warnungen Verhalten in einer sicherheitsförderlichen Weise beeinflussen (Dawson et al., 2014, S. 148; s. 2.3.2).

Tabelle 1. Evidenz für die Detektionsgüte vorhandener Müdigkeitsüberwachungssysteme. (Tabelle überarbeitet aus Dawson et al., 2014, S. 145, S. 147, wiederveröffentlicht mit Genehmigung der W.B./Saunders Co. Ltd.; Genehmigung übermittelt durch Copyright Clearance Center, Inc.)

Legende: **** starke Evidenz, *** gute Evidenz, ** schwache Evidenz, * kaum Evidenz, – keine Evidenz

System	Funktionsweise	validiert durch Entwickler	validiert durch unabhängige Dritte	Evidenz in Laborstudien	Evidenz in Feldstudien	Übereinstimmung mit einem etablierten Müdigkeitsmaß (z. B. PVT, EEG)	Übereinstimmung mit Fahrleistungsmaßen	Sensitivität / Spezifität	Nutzerakzeptanz
Messung am Fahrer									
<i>Augenbewegungs- / Lidschlussmaße</i>									
Optalert	Okulographie mit Infrarotlichtreflexion · Dioden und Sensoren befestigt an Brillengestell, Kabel zu CPU auf dem Armaturenbrett · misst Häufigkeit, Geschwindigkeit und Dauer von Lidschlägen	***	***	***	**	****	***	***	*
CoPilot DD850	Okulographie mit Infrarotlichtreflexion · Dioden, Sensoren, Signalverarbeitung und Output in einem Gerät auf dem Armaturenbrett · PERCLOS-basierter Index	–	**	**	*	–	–	–	*
Seeing Machines DSS (FaceLab)	Stereobildbasierte Erkennung von Gesichtsmerkmalen zur Ableitung von Blickrichtung und Lidschlussmaßen · Kameras, Signalverarbeitung und Output in einem Gerät auf dem Armaturenbrett	–	**	**	–	–	**	–	–
Eye-Com / Eyefluence	keine Information	–	–	–	–	–	–	–	–
Smart Eye Antisleep	Monobildbasierte Erkennung von Gesichtsmerkmalen zur Ableitung von Blickrichtung und Lidschlussmaßen · Kamera plus Infrarotscheinwerfer zur Bildausleuchtung auf dem Armaturenbrett	–	–	–	–	–	–	–	–
<i>EEG-Maße</i>									
Smart Cap	Trockene Elektroden mit Prozessorkarte in Stirnband oder Baseballkappe mit Schweißband · kabellose Signalübertragung an CPU	–	**	**	–	***	–	**	**
B-Alert	Trockene Elektroden in Stirnband mit kleiner Prozessoreinheit am Hinterkopf · kabellose Signalübertragung an CPU	***	–	***	–	***	***	–	–
<i>Elektrischer Hautwiderstand</i>									
EDVTCs	Messung des elektrischen Hautwiderstands mittels Elektroden in Handgelenk- oder Fingerband · kabellose Signalübertragung an CPU	–	*	*	–	*	*	–	–

[Fortsetzung Tabelle 1]

System	Funktionsweise	validiert durch Entwickler	validiert durch unabhängige Dritte	Evidenz in Laborstudien	Evidenz in Feldstudien	Übereinstimmung mit einem etablierten Müdigkeitsmaß (z. B. PVT, EEG)	Übereinstimmung mit Fahrleistungsmaßen	Sensitivität / Spezifität	Nutzerakzeptanz
Messung am Fahrer (Fortsetzung)									
<i>Haltungs- / Kopfnickmaße</i>									
NapZapper	Hinter dem Ohr zu tragendes Gerät mit Rotationssensor (einfacher elektrischer Neigungsschalter) · reagiert auf Kopfeigung > Schwellwert (meist einstellbar um 15°)	–	*	*	–	–	–	–	–
StayAwake		–	–	–	–	–	–	–	–
Driver Fatigue Alarm		–	–	–	–	–	–	–	–
NoNap		–	–	–	–	–	–	–	–
Dozer's alarm		–	*	*	–	–	–	–	**
MicroNod	Anordnung kapazitiver Sensoren oberhalb des Kopfes (z. B. integriert in Dach) · misst Kopfeigung	–	–	–	–	–	–	–	–
TravelMate	Keine Information	–	–	–	–	–	–	–	–
StayAlert	flexibler transparenter Ball unter dem Kinn, befestigt an einer um den Hals gelegten Basis · bei Kompression durch absinkendes Kinn quietschendes Geräusch und Lichtsignal	–	–	–	–	–	–	–	–
<i>Leistung in Nebenaufgaben</i>									
Roadguard	Reaktionszeitmessung (>3 s) · rotes Lämpchen leuchtet in Intervallen von zufälliger Dauer (4 - 14s) auf · Fahrerreaktion mit Kontaktschalter am Lenkrad oder Fußschalter	–	*	*	–	–	–	–	–
Messung am Fahrzeug									
SafeTrak	Bildbasierte Erkennung der Fahrbahnbegrenzung, Berechnung von Spurhaltungsmaßen · Straßenkamera auf Höhe des Innenspiegels mit angeschlossener CPU-Box	–	–	–	**	–	–	–	**
MobilEye		–	–	–	–	–	–	–	–
AutoVue		–	–	–	–	–	–	–	–
Delphi	Keine Information	–	–	–	–	–	–	–	–
Kombinierte Messung									
ASTiD	Müdigkeitsmodell mit vier Quellen: 1) Tageszeit, 2) Schlafqualität letzter Nacht (Fahrerinput: good / poor / bad), 3) Time-on-task (Fahrdauer und Pausen), 4) laterale Fahrzeugbewegungen (via Drehratsensoren) · in einem Gerät	–	–	–	–	–	–	–	–

2.3.2 Die Output-Seite:

Vorgeschlagene Warnkonzepte und empirische Befunde zur Wirksamkeit

2.3.2.1 Diagnose „Fahrer müde“ – was nun?

Müdigkeitserkennung allein reduziert noch keine Unfallzahlen. Die Idee hinter der Fahrerzustandsüberwachung besteht darin, die gewonnene Information zur Erhöhung der Sicherheit zu nutzen. Wie diese Nutzung aussehen kann, dazu gibt es wiederum mehrere Ansätze, die sich grob in die bereits eingeführte Klassifikation nach *fatigue proofing* – Versuchen, negative *Konsequenzen* der Müdigkeit zu verhindern oder abzumildern – und *fatigue reduction* – Ansätzen zur ursächlichen Beseitigung oder Minderung der *Müdigkeit an sich* – einteilen lassen. Ein zur ersten Kategorie gehörendes Konzept fokussiert darauf, im Zeitfenster der geminderten Fahrerleistungsfähigkeit vorhandene Sicherheitstechnologien im Fahrzeug entsprechend zu aktivieren bzw. zu sensitivieren. Denkbar sind Anpassungen der Einstellungen z. B. des Antiblockiersystems (ABS), des automatischen Bremsvorhalts (EBP), der dynamischen Tempo- und Abstandsregelung (ACC), der automatischen Stabilitätsregelung, des Kollisionswarnsystems, des Spurhalteassistenten, des Totwinkelassistenten, des elektronischen Gurtstraffersystems, der elektronischen Servolenkung und weiterer Assistenzsysteme (Fung & Dick, 2012). Andere Reaktionskonzepte drehen sich um die Kommunikation des Risikos an Dritte, z. B. an den angrenzenden Verkehr oder an eine zentrale Leitstelle (letzteres v.a. im kommerziellen Sektor; s.a. Dawson, Chapman & Thomas, 2012; McGehee, Raby, Carney, Lee & Reyes, 2007; Misener, 2007). Dennoch wird auch in absehbarer Zukunft die wichtigste Determinante dafür, inwiefern sich die Information über den kritischen Fahrerzustand in Sicherheitsgewinne umsetzen lässt, die Reaktion des Fahrers selbst bleiben. Rückmeldungen eines Müdigkeitsdetektors an den Fahrer sind je nach ihrer Gestaltung eher dem *fatigue-proofing*- oder dem *fatigue-reduction*-Ansatz zuzurechnen. Eine Reihe vorgeschlagener und existierender Konzepte fokussieren in erster Linie darauf, durch äußere Reize ein Einschlafen des Fahrers zu verhindern. Die Rückmeldungen dieser Systeme fungieren nicht als Warnungen im engeren Sinne (s. 2.2), sondern partiell als Teil einer Überprüfung, ob der Fahrer noch wach ist (indem eine Reaktion auf die Rückmeldung gefordert wird), vor allem aber als äußerer Weck- oder Aktivationsimpuls, der auf eine momentane Erhöhung des Erregungsniveaus abzielt. Da in diesem Konzept die Müdigkeit nicht ursächlich beseitigt wird, handelt es sich um eine Ausprägung des *fatigue proofing*. Teilweise, besonders in professionellen Anwendungen, werden diese Ausgaben auch mit automatischen Fahrzeugreaktionen (z. B. Notstop), Benachrichtigungen an Meldestellen und ähnlichen Maßnahmen kombiniert. Anders verhält es sich mit Rückmeldungen, die geeignet sind, das Verhalten des Fahrers so zu beeinflussen, dass die zugrundeliegende Müdigkeit abgebaut wird, die also auf *fatigue reduction* abzielen. Gemäß der Schlussfolgerungen aus 2.1.2 sind dies Rückmeldungen, die den Fahrer motivieren, die Fahrt zu unterbrechen, einen *Turboschlaf* zu halten und / oder Koffein einzunehmen.

Zur Illustration und Bewertung des Entwicklungsstandes hinsichtlich an den Fahrer gerichteter Rückmeldungen von Müdigkeitsdetektoren wird im Folgenden eine Auswahl vorgeschlagener oder bereits im Gebrauch befindlicher Umsetzungen vorgestellt. Von besonderem Interesse sind dabei relevante Forschungsbefunde in Bezug auf die erzielte oder zu erwartende Wirkung dieser Rückmeldungen auf *Wachheit* und *Fahrsicherheit*.

2.3.2.2 Rückmeldungen mit Schwerpunkt auf Wachheitskontrolle und Aktivierung

Ein markantes Beispiel aus dem Bereich der „Wachhaltesysteme“ ist das auch in Tabelle 1 aufgeführte *Engine Driver Vigilance Telemetric Control System* (EDVTCS). Neben dem Einsatz im Zugverkehr soll es auch im Straßengüterverkehr (Langstrecken und Gefahrguttransporte) bereits verwendet worden

sein (Dawson et al., 2014; Whitlock & Pethick, 2002). Bei Überschreitung der auf eine Minute vor dem Einschlafen kalibrierten Warnungsschwelle ertönt zunächst ein anhaltender Alarm (Dawson et al., 2014). Gleichzeitig wird²⁹ ein Notbremsmechanismus aktiviert, der vom Fahrer durch Drücken eines Vigilanzknopfs noch gestoppt werden kann (Hagenmeyer, 2007). Wie bezüglich der Detektionsgüte liegen auch hinsichtlich der Sicherheitswirksamkeit des Systems keine Studien vor.

Zur Kategorie der auf Wachheitskontrolle ausgerichteten Systeme gehören auch die meisten der oben vorgestellten *Kopfnickdetektoren*. Bei den am Ohr getragenen Geräten besteht der Output zu meist aus einem Alarmton, bei einigen kann stattdessen oder zusätzlich ein Vibrationsalarm eingestellt werden. Funktionell handelt es sich also um Wecker, die im Fall des einschlafbedingten Kopfabsinkens anspringen. Hinsichtlich der Sicherheitswirksamkeit ergibt sich damit bereits konzeptbedingt das Problem, dass die Warnung sehr spät erfolgt. Schon lange vor dem Wegnicken des Kopfes können z. B. die Augen geschlossen sein; nach dem Alarm vergeht weitere Zeit, bevor der Fahrer sich wieder orientiert hat. In einem der wenigen empirischen Tests (Nachtfahrtsimulation; Haworth & Vulcan, 1991) zeigte sich kein Vorteil durch ein NapZapper-System in Bezug auf die untersuchten Variablen *Wahrscheinlichkeit, den Parcours zu vollenden, Häufigkeit langer Lidschlüsse, Gesamtfahrzeit mit geschlossenen Augen, Fahrleistung und Vigilanz bei Fahrtende*. Hinsichtlich auftretender Fahrfehler wird aus einer anderen Simulatorstudie berichtet, dass in den meisten Fällen die NapZapper-Alarmschwelle erst überschritten wurde, nachdem das Fahrzeug bereits vollständig die Spur verlassen hatte (Edwards et al., 2008). Auch eine denkbare sensitivere Einstellung des Geräts (Reaktion bei geringeren Neigungswinkeln) erscheint nicht sinnvoll, da bereits ohne dies hohe Raten falscher Alarme auftreten (Dawson et al., 2014). Die konzeptuellen Einwände lassen sich auch auf andere Rückmeldungen übertragen, die auf der Detektion von Nickbewegungen des Kopfes basieren.

Neben den raren Befunden zur Wirksamkeit auf dem Markt befindlicher Wachhaltetechnologien existiert eine Reihe von Studien, die das Aktivierungspotential verschiedener Reize im Hinblick auf eine *mögliche* Verwendung in solchen Systemen untersuchen. Mallis et al. (2000) testeten die Wirkung von vibrotaktile Stimulation und auditiv präsentierten Aufforderungen („*Bleiben Sie wach, bleiben Sie aufmerksam.*“ / „*Achten Sie auf den Reiz.*“ / „*Bitte passen Sie auf.*“) auf die Vigilanz müder³⁰ Probanden und fanden weder über die Gesamtdauer der jeweils 20minütigen Testphasen hinweg noch in der entsprechenden Minute der Stimulation einen Unterschied im Vergleich zu einer Bedingung ohne Stimulation. Eine nicht signifikante Tendenz zu weniger Fehlern zeigte sich lediglich beim Vergleich der Minute unmittelbar vor der Stimulation mit der Minute danach. Bereits in der zweiten Minute danach war diese Tendenz wieder verschwunden. Auch die per Lidschluss gemessene Müdigkeit unterschied sich nicht zwischen den Bedingungen. Zu ähnlichen Ergebnissen führte eine Realfahrtstudie, in der Schmidt et al. (2011) die Wirkung kurzer Kommunikationsepisoden auf Wachheits- und Leistungsmaße untersuchten. In der Minute der Kommunikation waren Lidschlussdauern und EEG-Alphaspindelraten reduziert, jedoch hielt die Aktivierung nur eine bis zwei Minuten an. Für solche und weitere denkbare Aktivierungskomponenten (wie Vibrationen des Lenkrads oder Fahrersitzes, Temperaturänderungen, Musik, Modulationen der Fahrdynamik, auditive interaktive Spiele etc.) gilt, dass sie als Teil eines Rückmeldungssystems sinnvoll sein können, indem sie im Sinne eines *fatigue proofing* als spät im Unfallgeschehen ansetzende Barriere und / oder als überbrückende Unterstützung der Wachheit fungieren (s.a. Caldwell et al., 2008; Landström, Englund, Nordström &

²⁹ im Zugverkehr, für den Einsatz auf der Straße ist keine Information verfügbar

³⁰ Im Verlauf von 42 Stunden ohne Schlaf, gemessen anhand von PVT-Verpassern und anderen PVT-Parametern.

Aström, 1999; Lenné et al., 2004; Reyner & Horne, 1998a; Verwey & Zaidel, 1999). Sie als *einzig* Rückmeldungsform von Müdigkeitsdetektoren einzusetzen, erscheint hingegen aus mehreren Gründen unzureichend oder sogar kontraproduktiv.

Die erzielte Aktivierung beruht auf einer momentanen Überlagerung der zugrundeliegenden Müdigkeit durch relativ kurzlebige Erregungsprozesse (vgl. 2.1.2). Um eine solche Erregung über längere Dauer aufrechtzuerhalten, müsste eine Stimulation nicht nur immer wieder wiederholt werden, sondern zusätzlich müsste auch die Qualität der Reizung variiert werden, um Adaptations- oder Habituationseffekten entgegenzuwirken (s. Pérez-González & Malmierca, 2014; Webster, 2012). Die physiologische Ursache der Müdigkeit wird dadurch nicht beseitigt. Auch wenn es gelingt, das Vigilanzniveau insgesamt zu steigern, bleibt das Problem der erhöhten Moment-zu-Moment-Variabilität der Leistungsfähigkeit bestehen, welche das Auftreten von Fehlern begünstigt (Alhola & Polo-Kantola, 2007; Doran et al., 2001; Dorrian & Dinges, 2006). Zudem gilt es zu berücksichtigen, dass neben den Vigilanzgewinnen durch Anregung von außen auch Leistungseinbußen aufgrund von kognitiver Überbeanspruchung und Ablenkung auftreten können (Lenné et al., 2004).

Weiterhin sollte die Möglichkeit unerwünschter Verhaltensanpassungen und Risikokompensation (Fuller, 2005; Rudin-Brown & Jamson, 2013; Wilde, 1982) beachtet werden: Fahrer könnten das System dazu nutzen, bei Müdigkeit länger als normal weiterzufahren und sich darauf verlassen, dass das System sie wachhält. Karrer-Gauß (2012) untersuchte diesen Sachverhalt in einer Reihe von Studien. Subjektive Einschätzungen von Berufskraftfahrern bestätigten die Plausibilität der Annahme, dass die Einführung von Müdigkeitsdetektionssystemen zu Risikokompensation führt, *„insbesondere, wenn das System durch eine Aktivierung des Fahrers eine Weiterfahrt trotz starker Müdigkeit ermöglicht“* (S.7) Weniger eindeutige Ergebnisse erbrachte eine Simulationsstudie. Erwartungsgemäß verlängerte sich mit einem Überwachungssystem an Bord die selbstgewählte Fahrdauer müder Probanden signifikant. Allerdings schätzten sich nicht nur die Fahrer selbst in der Bedingung mit System als wacher ein, sondern diese Einschätzung spiegelte sich auch in Beobachterratings. Karrer-Gauß vermutet, dass in der experimentellen Überwachungssituation durch reaktiv erhöhte Leistungsmotivation vermehrt Ressourcen zur Selbstaktivierung freigesetzt wurden. Sollte dies der verantwortliche Mechanismus sein, ist zu bezweifeln, dass auch im realen Fahralltag eine höhere Aktivierung allein durch die Präsenz eines Detektionssystems bewirkt wird.

Abschließend sind Aspekte der Beeinträchtigungsfreiheit und Nutzerakzeptabilität zu berücksichtigen. Jenseits einer hier nicht geführten Wertediskussion zum Verhältnis von Sicherheit auf der einen und menschlicher Autonomie auf der anderen Seite erscheint es fragwürdig, ob sich ein privater Autokäufer für ein System begeistern kann, das ihm bei detektierter Müdigkeit nach einem durchdringenden Warnton nur wenige Sekunden Zeit lässt, um eine automatische Vollbremsung zu verhindern. Gleichzeitig aber erscheinen Systeme, die ausschließlich auf eine Wachheitskontrolle ausgelegt sind, als eine späte Unfallbarriere nur in Kombination mit solchen automatischen Fahrzeugreaktionen sinnvoll. Die Aktivierung des Fahrers sollte somit als eine nötigenfalls überleitende, aber auf keinen Fall als alleinige Funktion des Outputs von Systemen zur Müdigkeitserkennung verstanden werden.

2.3.2.3 Rückmeldungen mit Schwerpunkt auf Verhaltensänderung

Neben der möglichst sparsam³¹ zu verwendenden Wachhaltefunktion gibt es eine Reihe weiterer Funktionen, die durch die Rückmeldung eines Müdigkeitsdetektionssystems erfüllt werden sollten (vgl. Karrer-Gauß, 2012).

Diese Funktionen lassen sich gut auf die oben vorgestellten allgemeinen Bestandteile einer Warnung (2.2.1), den Informationsverarbeitungsprozess sensu C-HIP-Modell (2.2.2) und die durch die PMT näher spezifizierten Einflussfaktoren auf Ebene der Überzeugungen und Motivation (2.2.4) beziehen. Die Systemrückmeldung soll (1) *über die Müdigkeit informieren*. Diese Funktion ist insbesondere in den Fällen relevant, in denen die subjektive Wahrnehmung des Fahrers von der objektiv festgestellten Müdigkeit abweicht. Die Rückmeldung soll dem Fahrer (2) *eine Bewertung der Kritikalität* des festgestellten Zustandes liefern. Sie soll (3) *eine Handlungsempfehlung* geben – gemäß des wissenschaftlichen Erkenntnisstandes: eine Pause einzulegen, zu nappen und / oder Koffein einzunehmen – und sie soll (4) *Unterstützung bei der Umsetzung des empfohlenen Verhaltens* gewähren – z. B. durch Angabe der nächstgelegenen Rastmöglichkeit. All diese Funktionen zielen letztendlich darauf ab, eine Verhaltensänderung zu bewirken, und adressieren dazu motivational bedeutsame *Einschätzungen und Überzeugungen*: Die *Information* und *Bewertung* bezüglich des erfassten Fahrerzustands sollen helfen, die subjektive Vulnerabilität und den wahrgenommenen Schweregrad der Bedrohung situationsangemessen einzustellen, die *Handlungsempfehlung* und *-unterstützung* untermauern die Wirksamkeit und Durchführbarkeit einer Pause und reduzieren tatsächliche und wahrgenommene Aufwände, also Handlungskosten.

In den verschiedenen vorgeschlagenen oder bereits am Markt befindlichen Rückmeldungskonzepten, welche nicht als reine Wachheitskontrolle fungieren, sondern auch auf eine Verhaltensänderung ausgerichtet sind, finden sich die genannten Funktionen in unterschiedlichem Ausmaß wieder.

Das grafische Display des *Optalert*-Systems (Abbildung 7) informiert kontinuierlich in Form eines numerischen JDS-Wertes zwischen 1 und 10 über die per Sensorbrille gemessene Müdigkeit. Dazu gibt es eine verbale Risikoeinschätzung – „low“ / „medium“ / „high“ risk – aus, die grafisch durch Farbe, Größe und räumliche Anordnung in Anlehnung an die Gestaltungsempfehlungen der o.g. Normen (vgl. 2.2.2.4) unterstützt wird. Bei Überschreitung der Schwellen hin zu mittlerer bzw. hoher Gefährdung werden jeweils ein unterschiedlicher auditiver Alarm und eine Sprachnachricht ausgegeben. Anzumerken ist, dass das System explizit für die Nutzung als Teil eines umfassenderen *Fatigue-Management-Systems* im organisationalen Kontext entwickelt wurde, in dem die unmittelbare Rückmeldung an den Fahrer nur ein Baustein ist. So werden alle Fahrerdaten auch an eine Zentrale übertragen und können dort auf verschiedenen Aggregationsebenen von der gesamten Flotte bis hin zum Individuum ausgewertet werden. Für ermächtigte Schichtleiter gibt es die Option eine automatische SMS- oder E-Mail-Benachrichtigung zu empfangen, wenn ein Fahrer eine *high-risk*-Warnung erhält. Die Implementation des Systems soll von Schulungen begleitet, die Daten sollen zur Optimierung von Einsatzplänen und für individuelle Interventionen genutzt werden (<http://www.optalert.com/>). Aufgrund dieser unterschiedlichen kontextuellen Einbettung können – unabhängig davon, ob die Nutzung in den Unternehmen tatsächlich gemäß der *best practice* erfolgt oder ob man die Möglichkeiten des Systems zu restriktiver Überwachung und Kontrolle gebraucht – Ergebnisse zur Wirksamkeit nicht unmittelbar auf den privaten Sektor übertragen werden.

³¹ „im besten Fall niemals“ (Hagenmeyer, 2007, p. 21)

Inzwischen existiert ein beträchtlicher Datenpool aus Einsätzen im Straßen- und Bergbautransport (E-Mail-Korrespondenz mit Dr. Andrew Tucker³²). Dennoch sind relativ wenig sicherheitsrelevante Ergebnisse veröffentlicht. Laut Auskunft von Andrew Tucker erreichen nach dem Erscheinen einer Warnung die JDS-Werte im Mittel für eine Dauer von 13 Minuten wieder Ausprägungen im geringen Risikobereich³³, und unter Anwendung des Optalert-Systems sollen noch keine müdigkeitsbedingten Unfälle aufgetreten sein. Des Weiteren berichten Corbett und Newman (2013, 2014) in zwei kurzen Abstracts von positiven Effekten des kontinuierlichen Müdigkeits-Feedbacks auf die gemessenen JDS-Werte in einer vierstündigen Flugsimulation. Kleine Effekte des Feedbacks auf den maximalen JDS-Wert pro Fahrt sowie die Anzahl und Dauer von Müdigkeitsspitzen fand auch eine Studie mit Fahrern des australischen Militärs (Aidman, Chadunow, Johnson & Reece, 2012). Im Vergleich zu der relativ soliden Evaluation des Systems hinsichtlich der Detektionsseite wäre eine ausgiebigere Evaluation hinsichtlich der Sicherheitswirkungen dennoch wünschenswert.



Abbildung 7. Grafische Rückmeldungen des Optalert-Systems auf verschiedenen Müdigkeitsstufen. (Bild: <http://www.optalert.com>; Abdruck mit Genehmigung der Optalert Pty. Ltd.)



Abbildung 8. Output-Box des CoPilot / DD850 (Bild: Blanco et al., 2009, S. 36; Abdruck mit freundlicher Genehmigung der Autoren und der NHTSA)

Einige empirische Daten liegen auch für die Wirkungen des *CoPilot/DD850*-System vor. Das Rückmeldungskonzept wurde im Rahmen eines partizipativen Gestaltungsprozesses mit zwei Fokusgruppen (Berufskraftfahrer und Designexperten) erarbeitet (Ayoob, Steinfeld & Grace, 2003; Ayoob et al., 2005). Dabei offenbarten sich Unterschiede in den Wünschen und Ansprüchen verschiedener Gruppen an das System: „... drivers viewed the system as a loyal servant that would alert the driver when he became drowsy, while the scientific community viewed the system as a trusted advisor that would encourage the driver to stop and rest“ (Ayoob et al., 2003, S. 1840). Das Enddesign versucht eine auf Verhaltensänderung abzielende Rückmeldung mit der Erfüllung möglichst vieler Nutzerwünsche zu vereinen. Als ein Ergebnis des partizipativen Designprozesses sind viele Einstellungen individuell wählbar (Klänge, Lautstärke, Helligkeit, Alarmschwelle). Bezüglich der Sensitivität der Müdigkeitsdetektion haben Fahrer die Wahl zwischen drei Stufen: *hoch*, *mittel* und *niedrig*³⁴. Die Schwelle für den vollen Alarm liegt jeweils bei 12% PERCLOS³⁵. Der Initialalarm ist ein einzelnes auditives Signal. Bei Auslösung des vollen Alarms wird der vom Fahrer eingestellte Ton mit einer Rate von 1 Hz

³² Forschungsleiter bei Optalert

³³ in Daten aus Bergbau, Militär und Straßentransport

³⁴ *hoch* - PERCLOS wird über die jeweils letzte Minute berechnet, Schwellenwert für Initialalarm: 8% -, *mittel* - PERCLOS über die jeweils letzten drei Minuten; Schwelle für Initialalarm: 9% -, *niedrig* - Berechnung über 5 min; Schwelle Initialalarm: 10%

³⁵ PERCLOS: Prozent der Zeit, in der die Pupille zu mehr als 80% verdeckt ist

wiederholt, und das Display leuchtet auf. Der Alarm hält so lange an, bis der Fahrer den OK-Knopf auf der Oberseite des Geräts (Abbildung 8) drückt. In Folge erscheint in der Balkenanzeige auf der Vorderseite des Geräts eine Visualisierung der längsten Lidschlussdauer in der letzten Messperiode (und der entsprechenden blind zurückgelegten Fahrstrecke bei einer Geschwindigkeit von 61 mi/h), dazu werden in numerischen Displays die Anzahl der Warnungen und die Warnungsrate (Warnungen / Stunde) seit dem letzten Reset angezeigt. Nach 15 Sekunden oder unmittelbar durch erneutes Drücken des OK-Knopfes verschwinden die Anzeigen wieder (Blanco et al., 2009; Rau et al., 2009).

Sicherheitsrelevante Effekte des Warnsystems wurden in einem Field Operational Test (FOT) mit 96 Berufskraftfahrern und 46 LKW untersucht. Innerhalb des Operationsbereichs des Systems³⁶ erwies sich die durch PERCLOS gemessene Müdigkeit in der Experimentalbedingung als insgesamt etwas geringer als in der Baseline-Bedingung mit inaktivem System; außerhalb des Operationsbereichs fand sich kein entsprechender Unterschied. Hinsichtlich der Anzahl von Überschreitungen des Müdigkeitskriteriums wurde dagegen kein signifikanter Effekt gefunden; deskriptiv kam es anteilig sogar zu mehr alarmauslösenden Situationen, wenn ein aktives Warnsystem an Bord war. Besonders interessant im Kontext dieser Arbeit sind die Ergebnisse bezüglich des beobachteten *Verhaltens nach einem Müdigkeitsalarm*. Die durchschnittliche Zeit, die nach einer Kriteriumsüberschreitung verstrich, bevor der Truck für mindestens 10 Minuten angehalten wurde, lag bei etwas über einer Stunde, unabhängig davon, ob eine Warnung erfolgt war oder nicht. Auch für die Art der Verhaltensweisen unmittelbar nach einer Warnung bzw. Überschreitung des Müdigkeitskriteriums wurde kein bedeutsamer Effekt gefunden. Generell traten in den betrachteten 5 Minuten am häufigsten selbstaktive Verhaltensweisen auf (große Blickbewegungen, Änderung der Sitzposition, Berührungen des Gesichts etc.); in weniger als 5% der Fälle kam es zu einem Anhalten des Fahrzeugs innerhalb dieser Zeit. Die Anzahl verschiedener sicherheitskritischer Ereignisse (Unfälle, Beinahe-Unfälle und unfallrelevante Konflikte) blieb in der Bedingung mit aktivem Warnsystem ebenso unverändert wie Maße der fahrerseitigen Schlafquantität und -qualität. Analysiert wurde auch der Umgang der Nutzer mit dem System. Die Mehrheit der Fahrer, 76%, wählte die mittlere Sensitivitätsstufe (hoch: 3%; niedrig: 21%). Die mittlere Dauer von Alarmen vor deren Abschaltung per OK-Knopf bewegte sich je nach Tageszeit zwischen etwa 5 Sekunden (z. B. zwischen 10:00 und 12:00 Uhr) und bis zu etwa 52 Sekunden (zwischen 03:00 und 04:00 Uhr). Einige Fahrer stellten die Lautstärke des Warntons auf das Minimum ein, manche drehten dazu die Lautstärke des Radios auf, was „als bewusste Anstrengung den Alarm zu überdecken“ interpretiert werden kann (Blanco et al., 2009, S. 151). Im Rahmen des FOT nahmen alle Fahrer vor der Datenerhebung an einer Fatigue-Management-Schulung teil.

Die Forschung rund um das CoPilot-System ist als einer der bisher umfassendsten Versuche zu würdigen, nicht nur ein verhaltenswirksames Müdigkeitswarnsystem zu entwickeln, sondern auch dessen sicherheitsrelevante Effekte empirisch zu untersuchen. Das Rückmeldungskonzept mit der Visualisierung der blind absolvierten Fahrdauer und -strecke ist ein Versuch, das psychologische Problem hinter der Müdigkeitswarnung zu adressieren und durch geeignete Informationen Verzerrungen in der Vulnerabilitätswahrnehmung des Fahrers zu beseitigen (vgl. Ayoob et al., 2005). Dass das System trotz der Sorgfalt bei der Entwicklung kaum messbare Wirkungen hatte, zeigt, dass die Nutzung der Müdigkeitsinformation zur Erhöhung der Sicherheit kein triviales Problem ist. Leider ist es im FOT nicht möglich, die Effekte der Rückmeldungsgestaltung sauber von Limitationen des Systems zu trennen, die auf der Detektionsseite liegen (z. B. eingeschränkter Einsatzbereich, falsche Alarmerkennung durch fehlende Pupillenerfassung bei Seitenblicken etc., vgl. Rau et al., 2009). Die Erfor-

³⁶ Geschwindigkeit mindestens 35 mph, geringes Umgebungslicht (Nacht oder Dämmerung)

schung der Verhaltens- und Sicherheitswirksamkeit verschiedener Warnkonzepte in kontrollierteren experimentellen Settings ist daher dringend erforderlich.

Wie bei *Optalert* ist auch bei dem EEG-basierten *Smart-Cap*-System die Rückmeldung im Fahrzeug in ein umfassenderes organisationales Fatigue-Management-Konzept inklusive der Möglichkeit zum zentralisierten Monitoring eingebettet. Auf einem Touchscreen wird dem Fahrer kontinuierlich die gemessene Müdigkeit als Zahlenwert zwischen 1 und 5 angezeigt. Bei Erreichen des Schwellenwertes von 4 ertönt ein auditiver Alarm, der aufgrund der diskutierten einschlafnahen Lage dieses Kriteriums (vgl. 2.3.1.4) in erster Linie als Weck- bzw. Aktivierungssignal zu verstehen ist. Durch die kontinuierliche Rückmeldung und die im Organisationskontext vorgesehenen begleitenden Maßnahmen hat das System aber zumindest das Potential auch müdigkeitsrelevante Verhaltensänderungen zu bewirken und nicht nur als bloße Wachheitskontrolle zu fungieren. Trotz erfolgter Markteinführung und vorangegangener Testeinsätze im Feld sind aber bislang keine Daten zu Sicherheitseffekten veröffentlicht.

Eine ganze Reihe der in Tabelle 1 aufgeführten Systeme, insbesondere in den Bereichen Eye- und Lanetracking, wird ausschließlich als Detektionssystem, d.h. ohne eigenes Rückmeldungsdesign, entwickelt und zur Verfügung gestellt. Eines der spurführungsbasierten Systeme, welches eine eigene einfache Rückmeldung integriert, ist *SafeTrak*. Auf der fahrerzugewandten Seite der Box (s. Abbildung 5) befindet sich eine rote Leuchtdiode. Bei Spurverlassen leuchtet sie, begleitet von einem Warnton, kontinuierlich auf. Wird anhand des Fahrverhaltens Müdigkeit diagnostiziert, blinkt sie mit längeren AN- und kürzeren AUS-Intervallen, dazu wird im Abstand von 5 Minuten eine aus mehreren Tönen bestehende Warnsequenz ausgegeben (Takata Corp., 2008). Das Verständnis dieser Warnung setzt beim Fahrer ein gewisses Vorwissen voraus; sicherheitsbezogene Untersuchungen dieser Rückmeldungsvariante liegen nicht vor. Allerdings beinhaltet das System, genauso wie die anderen Nur-Detektions-Systeme, natürlich die Option, die erfassten Daten – zur selbst zu spezifizierenden Weiterverwendung – an Bordcomputer und fahrzeuginterne Anzeigesysteme zu übertragen. Gekoppelt mit einer anderen Rückmeldungsvariante kam das *SafeTrak* als Teil eines Bündels von Fatigue-Management-Maßnahmen in einem FOT zum Einsatz (Dinges et al., 2005). Während einer zweiwöchigen Testphase bekamen Berufskraftfahrer simultan Feedback von drei verschiedenen Überwachungssystemen. Ein dauerhaft am Handgelenk getragenes Aktimeter zeichnete Wach- und Schlafphasen auf und gab auf dieser Grundlage eine analoge „Leistungs-Tankanzeige“ aus; ergänzend konnte per Knopfdruck ein entsprechender numerischer Wert von 0 - 100% abgerufen werden. Zwei auf dem Armaturenbrett befestigte Anzeigen gaben Rückmeldung über die aktuell erfasste Fahrer-müdigkeit (PERCLOS-basiert) und ein aggregiertes Fahrleistungsmaß (aus *SafeTrak*), jeweils in Form eines numerischen Wertes von 0 (höchste Müdigkeit / schlechteste Fahrleistung) bis 99 (höchste Wachheit / beste Fahrleistung). Zusätzlich wurden die Teilnehmer vor der Testphase im Rahmen eines Kurses über Folgen von Müdigkeit und Möglichkeiten des Müdigkeitsmanagements unterrichtet. Neben den Rückmeldesystemen war während der Testphase ein hydraulisches System zur Erleichterung der Spurhaltung aktiviert. Im Vergleich zu einem zweiwöchigen Kontrollzeitraum, in welchem sämtliche Technologien ausgeschaltet blieben, wurde für den Feedback-Zeitraum eine Abnahme der gemessenen Müdigkeit während Nachtfahrten, sowohl im Lidschluss- als auch im Spurhaltungsmaß, festgestellt. Im Hinblick auf die Wirkmechanismen des Feedbacks wurde untersucht, ob die Erholungsschlafzeiten der Fahrer unter der Rückmeldebedingung länger wurden. Insgesamt betrachtet wiesen weder die aktigraphische Aufzeichnung noch die von den Fahrern geführten Schlaftagebücher einen solchen Effekt aus. Bei getrennter Betrachtung von Arbeits- und freien Tagen offenbarte sich eine durchschnittliche Verlängerung des Schlafes an *freien* Tagen um 45 Minuten pro Tag, jedoch

ist nicht davon auszugehen, dass diese sporadisch längeren Schlafdauern einen großen Teil des aktivierenden Effekts des Feedbacks erklären können. Vielmehr besprechen Dingens et al. (2005), ähnlich wie Karrer-Gauß (2012), die Möglichkeit, dass in der Testsituation das kontinuierliche Feedback zu einer Mobilisierung von Ressourcen für Vigilanz und kompensierende Verhaltensweisen während des Fahrens – mit entsprechenden Kosten für Wachheit und Leistung außerhalb der Fahrzeiten – geführt haben könnte. Diese Vermutung wird gestützt durch den Befund, dass sich während des Feedbackzeitraums die Leistung in *außerhalb der Fahrzeiten* durchgeführten PVT-Tests verschlechterte, ebenso wie sich die subjektive Müdigkeit der Fahrer verstärkte. Ein Einfluss des Feedbacks auf die Häufigkeit von Pausen oder die Art der Pausennutzung wurde nicht untersucht. Aufgrund des massiven Einsatzes vieler Technologien bleibt unklar, welchen Anteil einzelne Rückmeldungen am Gesamteffekt hatten.



Abbildung 9. Benutzeroberfläche des Systems ASTiD.
(Bild: <http://www.fmig.org>; Abdruck mit Genehmigung der Fatigue Management International Ltd.)



Abbildung 10. Visuelle Warnmeldung des Systems Driver Alert Control (Bild: <https://www.media.volvocars.com>; Abdruck mit Genehmigung der Volvo Car Corp.)

Auch das ASTiD schließt eine eigene Rückmeldungsvariante ein. Wie die Namensgebung *Advisory System for Tired Drivers* nahelegt, ist es als Frühwarnsystem konzipiert, das dem Fahrer bei der Erkennung von Müdigkeitszeichen assistieren und gegebenenfalls zu einer Pause raten soll (Koh et al., 2007). Dazu gehört eine kontinuierliche Anzeige der errechneten Fahrermüdigkeit (Abbildung 9). Bei Erreichung kritischer Werte gibt das System auditive und visuelle Warnungen aus, welche eine Pausenempfehlung beinhalten (Wright et al., 2007). Bezüglich der Sicherheitswirksamkeit gibt es keine veröffentlichten Ergebnisse in der begutachteten wissenschaftlichen Literatur. Laut eines Vortrags auf einer Fatigue-Management-Konferenz des ICMM (ICMM, 2012; Thomas, 2012) kam es durch den Einsatz der organisationalen Variante des Systems³⁷ im Bergbautransport zu einer Reduktion von Messepisoden im kritischen Bereich von 12% auf 10%. Einzelheiten zur Methodik oder inferenzstatische Kennwerte werden aber nicht berichtet. Im selben Dokument heißt es, im Vergleich zu einer Baseline sei während einer Interventionsperiode die Anzahl von Alarmen während Tagschichten von 20 auf 13 und während Nachtschichten von 480 auf 102 gesunken; wiederum ist aber die Methodik nicht ersichtlich. Zu interessierenden potentiell vermittelnden Variablen (z. B. unmittelbaren Reaktionen der Fahrer auf Systemwarnungen, Veränderungen des Erholungsverhaltens, Gebrauch aktivierender Substanzen u.ä.) sind keine Informationen zu finden.

Inzwischen bietet auch eine Reihe von Automobilherstellern Müdigkeitswarner als Fahrzeugausstattung an; einige Rückmeldungskonzepte aus diesem Bereich werden hier abschließend vorgestellt.

³⁷ beinhaltet die Übertragung von Informationen an eine zentrale Leitstelle

Das *Attention-Assist*-System von Mercedes-Benz, dessen individualisierter Detektionsalgorithmus auf dem Fahrverhalten basiert und viele Kontrollvariablen berücksichtigt, verfolgt ähnlich wie das *ASTiD* eine Strategie der frühzeitigen Intervention mit dem Ziel, die fahrerseitige Erkennung von Müdigkeit zu unterstützen und „Anstoß zu einer Pause zu geben, bevor es gefährlich wird“ (Daimler, 2013). Bei erkannter Fahrermüdigkeit gibt es einen Warnton aus. Zugleich erscheinen in der Multifunktionsanzeige ein Kaffeetassensymbol und der Text *Attention Assist: Pause!* In einer neueren Version gibt es die zusätzliche Möglichkeit für den Fahrer, eine Informationsseite mit einer fünfstufigen *Attention-Level*-Balkenanzeige und einer Anzeige der seit der letzten Pause verstrichenen Zeit im Multifunktionsdisplay aufzurufen; zudem kann zwischen zwei Sensitivitätsstufen (*Standard* vs. *empfindlich*) gewählt werden.

Ein sehr ähnliches Rückmeldungskonzept findet sich im *Driver-Alert-Control*-System von Volvo (Abbildung 11; Volvo Car Group, 2008), welches im Jahr 2007 als erste speziell zur Müdigkeitsüberwachung konzipierte Technologie für den privaten Markt eingeführt wurde.



Abbildung 11. Integration der visuellen Statusrückmeldung des Driver Alert (Mitte) in andere Fahrzeuganzeigen. (Bild: Ford, Abdruck mit Genehmigung der Ford Motor Company)

Auch die Statusrückmeldung des *Driver-Alert*-Systems von Ford beinhaltet eine fünfstufige Balkenanzeige. Im Unterschied zu den vorigen Systemen wird nicht die verbleibende (abnehmende) Aufmerksamkeitskapazität, sondern das auf Spurhaltungsparametern basierende (zunehmende) Müdigkeitsmaß visualisiert (Ford, 2010). Im Bereich bis drei Balken ist die Anzeige grün, der vierte Balken ist orange, der fünfte rot. Mit fortschreitender Müdigkeit bewegt sich ein Statuscursor auf ein am Ende der Skala abgebildetes Kaffeetassensymbol zu (Abbildung 11). Das Warnkonzept ist zweistufig. Zunächst erscheint, begleitet von einer Tonausgabe, eine gelbe Textbotschaft (*Driver Alert - WARNING - Rest Suggested*) im Multifunktionsdisplay, welche nach 10 Sekunden wieder verschwindet. Wird anhand des Fahrverhaltens im Anschluss weiterhin Müdigkeit detektiert, wird erneut ein Ton ausgegeben und es erscheint eine weitere Warnung in roter Schrift (*Driver Alert - WARNING - Rest Now*), die verschwindet, wenn der Fahrer den OK-Knopf drückt. Versäumt der Fahrer die Reaktion, wird die Anzeige erst zurückgesetzt, wenn das Fahrzeug angehalten und die Tür geöffnet wird.

Das System *Müdigkeitserkennung* von VW präsentiert im Warnungsfall ein akustisches Signal und eine visuelle Anzeige mit einem Kaffeetassensymbol und dem Text *Müdigkeit erkannt. Bitte Pause*. Wird innerhalb der nächsten 15 Minuten das Fahrzeug nicht gestoppt, wird die Ausgabe wiederholt (<http://www.volkswagen.de/>).

Empirische Studien zur Untersuchung der Sicherheitswirkungen dieser Warnungen wurden nicht gefunden. Es können jedoch einige Anmerkungen zur Evaluation auf theoretischer Basis formuliert werden. Im Hinblick auf die zu erwartende Effektivität der Rückmeldungen ist zu würdigen, dass alle vorgestellten Konzepte erkennbar auf eine frühe Intervention und das Zielverhalten „Pause“ ausgerichtet sind. Einen Hinweis darauf, wie diese zu einer *effektiven* Pause werden kann, liefert das allge-

genwärtige³⁸ Kaffeetassensymbol. Zudem werden teilweise in zum Warnsystem gehörenden Zusatzmaterialien wichtige Hintergrundinformationen zur Verfügung gestellt. Zum Beispiel wird in einem Informationstrailer über die VW-Müdigkeitserkennung³⁹ abschließend auf das *Bordbuch* hingewiesen, welches „praktische Hinweise auch für die sinnvolle Pausengestaltung“ gebe.

Mehrere vermutlich wirksamkeitseinschränkende Aspekte hängen mit der Zugänglichkeit der Rückmeldungs- bzw. Hintergrundinformation für den Fahrer zusammen. Abgesehen davon, dass Müdigkeitserkennung erst seit relativ kurzer Zeit überhaupt in Neufahrzeugen erscheinen, gehören sie, wie andere fortgeschrittene Fahrerassistenzsysteme, zumindest derzeit noch zu den luxuriöseren Ausstattungsvarianten, sind also a priori nur für einen Teil aller Fahrer verfügbar. Auch wer ein Fahrzeug mit Warnsystem besitzt, kommt nicht zwingend in den Genuss der Rückmeldungen, denn alle Systeme können – im Hinblick auf Nutzerakzeptanz selbstverständlich – in einem Einstellungsmenü wahlweise ein- oder ausgeschaltet werden. Die beschriebenen Statusanzeigen (vor *Warnungsniveau*) müssen vom Fahrer aktiv über ein Menü aufgerufen werden. Das *Bordbuch* und andere Quellen für hilfreiche Zusatzinformationen müssen überhaupt konsultiert werden (zum Einfluss von Zugangskosten auf die Nutzung von Informationen s. Wickens & McCarley, 2007).

Bezüglich der Unterstützung des Zielverhaltens ist „Pause“ zwar einerseits eine relativ konkrete und mit Blick auf Müdigkeitsreduktion richtige Handlungsempfehlung, dennoch wäre eine noch stärkere Konkretisierung (auf Ebene der Warnung im Fahrzeug, nicht im Zusatzmaterial) vermutlich zielführend. Das Konzept *Napping* als wirksame Gegenmaßnahme taucht bislang nirgends auf, und auch *Koffein* ist nur in Form des Kaffeetassensymbols repräsentiert. Aufgrund eines Mangels an Forschungsergebnissen bleibt auch unklar, in welchem Umfang die verwendeten Warnungen geeignet sind, die notwendige *Überzeugungsfunktion* zu erfüllen, indem sie beispielsweise die subjektive Risikowahrnehmung oder den wahrgenommenen Nutzen einer Pause vergrößern.

Insgesamt, auch mit Blick auf die anderen vorgestellten Systeme, ist zu konstatieren, dass kaum Forschungsergebnisse hinsichtlich der erzielten Wirkungen existieren bzw. veröffentlicht sind. Noch mehr als auf die müdigkeitsbezogenen Effekte der Systeme trifft dies für leistungs- und sicherheitsbezogene Zielvariablen und wichtige intervenierende Variablen – unter anderem die unmittelbaren Reaktionen von Fahrern auf Warnungen – zu. Darüber hinaus können die meisten der ohnehin raren Erkenntnisse vermutlich nicht ohne weiteres auf den privaten Sektor übertragen werden, da sie aus Anwendungen stammen, in denen die Überwachung des Fahrers durch Zentralisierung und die darin implizierten Sanktionsmöglichkeiten eine andere Dimension hat.

2.3.3 Methodische Herausforderungen bei der Untersuchung der Warnungswirksamkeit

Zur Evaluation und Weiterentwicklung von Müdigkeitswarnern ist es daher dringend erforderlich, deren sicherheitsrelevante Effekte in viel größerem Umfang als bisher zu untersuchen. Die Wahl der jeweils am besten geeigneten Methode ist dabei vor dem Hintergrund der aktuellen Forschungsfrage und der zur Verfügung stehenden Ressourcen zu treffen. Eine wichtige Rolle spielt auch das Entwicklungsstadium, in dem sich die zu erprobenden Warnungsvarianten befinden (Wickens & Hollands, 2000).

³⁸ In den *Tech News* einer Automobil-Webseite kommentiert eine Autorin: „Do carmakers have to draw you a picture of a cup of coffee to get you to take a break when you're sleepy? Apparently so.“ Halpert (2012)

³⁹ Videobeitrag *Volkswagen Golf Technik, Assistenz und Komfortsysteme Animation Müdigkeitserkennung* der AutoMoto TV Deutschland, verfügbar unter <https://www.youtube.com/watch?v=JlvONH4kzhg> (30.07.2014)

So können offenkundig in deskriptiven Unfallstudien oder epidemiologischen Fallkontrollstudien nur solche Systeme untersucht werden, die bereits einen gewissen Verbreitungsgrad aufweisen. Eine Erprobung von Designvarianten in konzeptuellen Phasen (wie hier der Warnung mit eigenem Bild) ist nicht möglich. Zur Untersuchung der Wirksamkeit einer vorhandenen Gestaltungsform (wie hier der Warnung mit Kaffeetassensymbol) kommen solche Studien grundsätzlich in Frage, haben allerdings mit den bereits in 2.1.1.3 angerissenen Problemen zu kämpfen. Um beispielsweise die Müdigkeit vor einem Unfall post hoc zu bestimmen, müssten bei den Fahrern, die ein Warnsystem im Fahrzeug haben, die entsprechenden Daten bei der Unfallaufnahme ausgelesen und gespeichert werden. Noch schwieriger wäre es, eine angemessene Referenzgruppe gleich müder Fahrer innerhalb der Unfallteilnehmer ohne Warnsystem zu identifizieren. Um die Effekte von Störvariablen statistisch kontrollieren zu können, wäre die Sammlung einer Unmenge von Daten notwendig.

Ähnliche Einwände gelten für naturalistische Fahrstudien (Naturalistic Driving Studies, vgl. Vollrath & Krems, 2011) bzw. FOT. Während hierbei eine post-hoc-Bestimmung der Müdigkeit in der Vergleichsgruppe theoretisch möglich ist – z. B. anhand von Videobeurteilungen oder Auswertung der Fahrdaten –, liegt die methodische Hürde vor allem in dem immensen Erhebungs- und Auswertungsaufwand. Ganz besonders die Erhebung der wichtigen unmittelbaren Fahrerreaktionen (sowohl im Verhalten, als auch auf kognitiver, emotionaler und motivationaler Ebene) gestaltet sich schwierig.

In dem Maße, in dem eine Untersuchung im realen Verkehr sich einer experimentellen Logik annähert, kommen dazu ethische Probleme, z. B., dass den Teilnehmern in der Baselinebedingung ein sicherheitsförderliches System vorenthalten werden müsste. Probanden nach Müdigkeitsinduktion ungeschützt im Realverkehr zu testen verbietet sich aufgrund der Sicherheitsrisiken. Ein Ansatz, dennoch Experimente im Realverkehr durchzuführen, besteht darin, Fahrschulwagen mit doppelter Pedalerie zu benutzen und dem Probanden einen geschulten Beifahrer an die Seite zu geben, der bei Bedarf die Kontrolle über das Fahrzeug übernehmen kann (z. B. Philip et al., 2006). Neben den dennoch verbleibenden Sicherheitsbedenken besteht aber auch bei dieser Methode das Problem, dass Störgrößen während der Versuchsfahrt nur bedingt kontrolliert werden können (z. B. Wetter, Verkehrsdichte, Verhalten anderer Verkehrsteilnehmer etc.). Der technische, personelle und finanzielle Aufwand ist wiederum erheblich, und es muss abgewogen werden, inwiefern dieser dem Entwicklungsstadium des Warnsystems angemessen ist.

Zusammenfassend weisen Erhebungen und Tests im Realverkehr zwar einerseits hohe externe Validität auf, sind aber andererseits mit drei wesentlichen Nachteilen verbunden: (1) Die interne Validität ist eingeschränkt, (2) es ist schwierig, wichtige intervenierende Variablen auf kognitiver und emotionaler Ebene zu erfassen, und (3) die Untersuchungen sind aufwendig und teuer (s.a. Vollrath & Krems, 2011).

Für frühe Designphasen und entsprechend vorab zu beantwortende theoretische Fragestellungen wäre ein effizienteres Forschungsinstrument wünschenswert, mit dem diese Nachteile umgangen werden können. In der verkehrspsychologischen Forschung werden zu diesem Zweck üblicherweise Simulationsstudien erfolgreich eingesetzt. Trotz der Aussicht auf erhebliche Erkenntnisgewinne mit vergleichsweise geringem Aufwand und trotz wiederkehrend erhobener Forderungen nach experimentellen Labor- und Simulationsstudien zur Warnungseffektivität (Anund, 2009; Balkin et al., 2011; Eskandarian et al., 2007) liegen bisher so gut wie keine entsprechenden Untersuchungen vor. Warum nicht?

Ein wahrscheinlicher Grund liegt in der bereits herausgearbeiteten Besonderheit der Müdigkeitswarnung, dass für deren Erfolg vs. Misserfolg in erster Linie Prozesse auf Ebene der Überzeugungen und Motivation bedeutsam sind. Betrachtet man nur einige der Variablen, die laut PMT darüber entscheiden, wie stark ein Fahrer zu einer Pause motiviert ist – z. B. die Schwere einer Schädigung, die aus der Müdigkeit resultieren könnte, oder die subjektiven Kosten, die mit einer Pause verbunden sind –, ergeben sich augenscheinliche Unterschiede zwischen einer realen und einer simulierten Fahrsituation. Damit resultiert für einen klassischen Versuchsaufbau, in dem lediglich die Fahrumgebung simuliert wird, eine fragwürdige ökologische Validität. Die zentrale Herausforderung besteht also darin, nicht nur die *äußere* Situation des Autofahrens zu simulieren, sondern auch eine der Realität vergleichbare *innere* Situation beim Fahrer zu schaffen, in der dieser ein Risiko wahrnimmt und motiviert ist, sicher sein Ziel zu erreichen (Details s. 2.3.4). Wenn dies gelänge, würde es den Weg für eine effiziente und systematische experimentelle Erprobung von Warnungsdesigns in der Zukunft eröffnen. In dieser Arbeit wird erstmals der Versuch unternommen, ein solches Paradigma zu entwickeln.

2.3.4 Anforderungen an ein ökologisch valides Fahrsimulationsparadigma

Wie kann beim Fahrer eine psychologische Situation geschaffen werden, welche in wesentlichen Punkten analog zu der Motivationslage in der realen Fahrsituation ist, in der eine Müdigkeitswarnung erscheint? Analysiert man die zugrundeliegenden Risikowahrnehmungen und die Faktoren, die dazu beitragen, erschließen sich folgende Eckpunkte, die beim Aufbau des Paradigmas zu berücksichtigen sind:

(1) Der Fahrer muss mit authentischer Müdigkeit konfrontiert sein. Um die reale Entscheidungssituation valide nachzustellen, müssen die Teilnehmer die subjektive Beanspruchung und die leistungseinschränkenden Effekte von Müdigkeit *aktuell erleben*. Vorgestellte Müdigkeit und hypothetische Beurteilungen kommen nicht in Frage. Darüber hinaus ist authentische Müdigkeit erforderlich für eine glaubwürdige Warnung.

(2) Die Warnung muss müdigkeitsabhängig erfolgen, um glaubwürdig zu sein. Auch die Wahl eines geeigneten Detektionsalgorithmus inklusive eines geeigneten Warnungskriteriums ist ein Aspekt des Warnungsdesigns. Der Fokus hier liegt jedoch auf den Auswirkungen verschiedener Gestaltungsvarianten, gegeben ein Gelingen der Müdigkeitsdetektion. Demnach muss die Warnung mit dem fraglichen Design auch in der Simulation *müdigkeitsabhängig* präsentiert werden können, was die Verfügbarkeit eines validen Verfahrens zur Müdigkeitserfassung in Echtzeit voraussetzt.

(3) Es muss ein echter Anreiz bestehen, die Fahrstrecke bis zum Ziel zu bewältigen. Während bei den meisten realen Fahrten zwangsläufig eine bestimmte Strecke bis zum Ende gefahren werden muss, damit der Fahrer *am Ziel* ist und somit die Fahrhandlung erfolgreich abschließen kann, ist dies im Fahrversuch nicht a priori der Fall. Daher muss in der Simulation ein ausdrücklicher Anreiz gesetzt werden, die Fahrt so lange fortzusetzen, bis ein bestimmtes Ziel erreicht ist.

(4) Durch Müdigkeit beim Fahren muss eine potentielle Bedrohung entstehen. Sekundenschlaf oder Unaufmerksamkeit können in der Realität zu schwerwiegenden Sach- und Personenschäden führen. Im Vergleich dazu ist ein Abkommen von der Fahrbahn oder sonstiger „Unfall“ in der Simulation per se so gut wie folgenlos. Damit auch im Simulator für den Fahrer ein echter Anreiz besteht, Fahrfehler zu vermeiden, müssen diese mit expliziten und *realen* Verlusten verknüpft werden.

(5) Das Einlegen einer Pause muss mit gewissen Handlungskosten einhergehen. In einer Realfahrt ist jedes Anhalten und Pausieren mit einem zusätzlichen Handlungsaufwand verbunden, wel-

cher vermieden werden kann, wenn keine Pause gemacht wird. Im besten Fall muss ein Fahrer „nur“ die Entscheidung treffen, die Fahrt zu unterbrechen⁴⁰, eine Gelegenheit zum Halten finden und die durch die Pause entstehende Verlängerung der Reisezeit tolerieren. Im ungünstigeren Fall kommen weitere psychologische Kosten hinzu, z. B. aufgrund unangenehmer Witterungseinflüsse oder drohender negativer Konsequenzen einer verspäteten Ankunft.

2.3.5 Umsetzung der Anforderungen im vorgestellten Versuchsaufbau

In dem hier vorgestellten Paradigma werden diese Anforderungen wie folgt umgesetzt:

(1) Zur experimentellen Manipulation der Müdigkeit wird eine Teilschlafdeprivation in der Nacht vor dem Fahrversuch mit einer Durchführung des Tests innerhalb circadianer Müdigkeitshochs kombiniert (vgl. u.a. de Valck et al., 2003; Filtness, Reyner & Horne, 2012; Horne & Reyner, 1996; Horne & Baulk, 2004; Reyner & Horne, 2002; Details in 3.2.2.3 und 4.2.2.3).

(2) Die Detektion warnungsauslösender Müdigkeitszustände erfolgt anhand eines strukturierten Fremdbeobachtungsverfahrens (*TUBSS*; Dittrich et al., 2009). Im Rahmen eines *Wizard-of-Oz*-Paradigmas übernimmt der Versuchsleiter – für den Fahrer im Simulator nicht erkennbar – die Funktion der „automatischen“ Müdigkeitsdetektion. Ein wesentlicher Vorteil des Fremdbeobachtungsverfahrens ist die hohe Augenscheinvalidität des gewählten Müdigkeitskriteriums (*TUBSS*-Stufe 5; Details in 3.2.2.4): Mit dem Einsetzen von Indikatoren wie *lange Lidschlüsse*, *Seitwärtsrollen der Augen* und *fehlende Fixation* gehen auch ernste Gefährdungen der Verkehrssicherheit einher.

(3) Der Anreiz, die Fahrstrecke bis zum Ende zu bewältigen, wird durch die Einführung eines *Zielbonus* gesetzt, welcher einen wesentlichen Teil der finanziellen Aufwandsentschädigung für den Versuch ausmacht und nur im Falle einer sicheren Zielankunft ausgezahlt wird (Details in 3.2.2.3 und 4.2.2.3).

(4) Die Bedrohung, die von einem müdigkeitsbedingten Fahrfehler ausgeht, entsteht durch die Möglichkeit eines finanziellen Verlusts. Die Teilnehmer sind informiert, dass das Fahrverhalten in Echtzeit überwacht wird. Sollte es zu einer Verletzung definierter Gütekriterien in der Längs- oder Querführung (s.a. 3.2.2.3, 4.2.2.3) kommen, gilt dies als Fahrfehler und führt zu einer erheblichen Einbuße in der Aufwandsentschädigung. Dadurch wird ein Anreiz geschaffen, Fahrfehler zu vermeiden, der in klassischen Simulationsparadigmen nicht wirksam ist.

(5) Die subjektiven Kosten einer Pause, welche in einem klassischen Simulationsversuch deutlich geringer sind als in der Realität⁴¹, werden durch die Einführung finanzieller Pausenkosten erhöht: Eine Pause ist nicht umsonst, sondern kostet ebenfalls einen gewissen Betrag, der vom Zielbonus abgezogen wird. Dieser Abzug ist jedoch sehr viel geringer als der entsprechende Abzug, der im Falle eines Fahrfehlers droht (s.a. 3.2.2.3, 4.2.2.3).

Wichtigste Operationalisierung der Warnungswirksamkeit sind beobachtbare Pausen. Daneben gilt das Interesse theoretischen kognitiven Präkursoren der Pausenentscheidung. Durch die Berücksichtigung der genannten Eckpunkte wird die grundlegendste Anforderung an die Validität eines experimentellen Paradigmas, die sogenannte Augenscheinvalidität, erfüllt. Diese resultiert aus einer *qualitativen* Vergleichbarkeit der Entscheidungskonstellationen in Simulation und Realität. *Quantitativ*

⁴⁰ wobei bereits die Unterbrechung einer laufenden Handlung als aversiv empfunden wird, s. 2.2.4.2.

⁴¹ z. B. kann man jederzeit anhalten, man befindet sich in einer geschützten Umgebung, man hat ohnehin die Zeit für den Versuch eingeplant, etc.

verbleiben deutliche Unterschiede zwischen den Situationen⁴². Daraus folgt, dass aus den Simulationsergebnissen keine *absoluten* Schätzungen hinsichtlich der realen Fahrsituation abgeleitet werden können – z. B. hinsichtlich der absoluten Anzahl von Pausen, die in der Realität auf eine Warnungsvariante folgen. Was das Simulationsparadigma jedoch erlauben soll, sind *relative* Schlussfolgerungen bezüglich der Wirksamkeit verschiedener Warnungsgestaltungsvarianten („Der Effekt von Warnung A auf Zielgröße X ist größer als der von Warnung B, und dieser ist größer als der von Warnung C“) für die reale Fahrsituation.

Im Rahmen dieser Forschungsarbeit wurde das neu entwickelte Paradigma in zwei experimentellen Tests der Verhaltenswirksamkeit von Müdigkeitswarnungen unter verschiedenen situativen Bedingungen eingesetzt.

⁴² Beispielweise wird ein drohender Verlust körperlicher Unversehrtheit oder gar des Lebens als wesentlich schwerwiegender empfunden als der drohende Abzug eines gewissen Geldbetrags von einer Aufwandsentschädigung. Ebenfalls unklar ist, mit welchem finanziellen Abzug die subjektiven Kosten einer Pause in der Realität aufzuwiegen sind, etc.

3 Experiment 1: Etablierung eines Fahrsimulationsparadigmas und Vergleich personalisierter mit konventionellen Warnungen

3.1 Ziele

Anknüpfend an den wissenschaftlichen Bedarf nach experimentellen Tests der Warnungseffektivität und die in 2.2.4 identifizierten Ansatzpunkte zur wirksameren Warnungsgestaltung verfolgte das erste Experiment folgende Ziele:

1) Etablierung eines Simulationsparadigmas zur experimentellen Untersuchung der Verhaltenswirksamkeit von Müdigkeitswarnungen

Erstmals sollte ein neues Paradigma eingesetzt werden, anhand dessen mit hoher externer Validität im Fahrsimulator getestet werden kann, wie Autofahrer auf Müdigkeitswarnungen reagieren. Gemäß den Erkenntnissen zu wirksamen Maßnahmen gegen Müdigkeit wurde als wichtigste abhängige Variable betrachtet, ob Fahrer nach einer Warnung eine Pause einlegten – d.h. das Fahrzeug anhielten und verließen – oder nicht. Die Bereitschaft zur Unterbrechung der Fahrt wurde als Voraussetzung für die Anwendung beider wirksamen Maßnahmen der *fatigue reduction*, Kaffee trinken oder schlafen, angesehen. Neben dem *beobachtbaren Verhalten* der Fahrer nach einer Müdigkeitswarnung wurden auf Basis der Theorie der Schutzmotivation (PMT) motivational bedeutsame kognitive Einschätzungen ebenfalls als Indikatoren der Warnwirksamkeit analysiert; allen voran die *subjektive Vulnerabilität*, aber auch die weiteren subjektiven Größen *Schweregrad der Bedrohung*, *Handlungswirksamkeit*, *Selbstwirksamkeit*, *maximal tolerierte Pausenkosten* und *selbsteingeschätzte Pausenwahrscheinlichkeit*.

2) Vergleich einer konventionellen und einer personalisierten Warnung bezüglich ihrer Überzeugungs- und Verhaltenswirksamkeit

Wie in Abschnitt 2.2 erarbeitet wurde, stellt die *Überzeugungswirkung* im Rahmen der Müdigkeitswarnung eine wesentliche Voraussetzung für deren Effektivität dar. Gleichzeitig ist bisher unklar, wie effektiv vorhandene Gestaltungsvorschläge im Hinblick auf diese Überzeugungsfunktion sind und ob – und gegebenenfalls wie – die Überzeugungswirkung vergrößert werden könnte. Eine zentrale theoretische Zielgröße der notwendigen Überzeugung ist die *subjektive Vulnerabilität*, die vom Fahrer wahrgenommene Wahrscheinlichkeit, dass ihm aufgrund der Müdigkeit etwas zustoßen könnte. Diese unterliegt kognitiven Verzerrungen wie der Optimismusbias, welche durch ein Warnungsdesign überwunden werden müssen. Einen möglicherweise wirksamen Ansatz dazu bietet die Personalisierung der Warnung mittels eines Bildes des müden Fahrers aus der aktuellen Fahrsituation (s. 2.2.4.1). Ziel des ersten Experiments war es, die Wirksamkeit einer solchen Rückmeldung mit der Wirksamkeit einer Standardwarnung aus dem privaten Kfz-Sektor zu vergleichen. Es wurde vermutet, dass eine personalisierte Warnung zu höherer Compliance führt. Als Standardwarnung ohne Selbstbezug wurde eine Rückmeldung mit Kaffeetassensymbol herangezogen (vgl. 2.3.2). Um die Mechanismen eines möglichen Verhaltenseffekts nachvollziehen zu können, sollten die Wirkungen der Warnungen auf alle zentralen PMT-Variablen analysiert werden. Der vermutete Wirkmechanismus betraf eine Erhöhung der subjektiven Vulnerabilität (s.a. 2.2.4.1).

3) Abschätzung des Effekts der Zielentfernung als Variable der aktuellen Fahrsituation

Jede Müdigkeitswarnung erfolgt eingebettet in einen situativen Kontext, welcher ebenfalls Einfluss auf die Einschätzungen und die resultierende Entscheidung des Fahrers nimmt (s. 2.2.4.1). Ein wichtiger Kontextfaktor dürfte die *Entfernung zum Ziel* sein, welche im Moment einer Müdigkeitswarnung

noch verbleibt. Es wird vermutet, dass diese ebenfalls die Einschätzung der subjektiven Vulnerabilität beeinflusst und dass sich Fahrer bei kurzer Restdistanz subjektiv sicherer fühlen und weniger Pausen einlegen als bei langer (s.a. 2.2.4.1). Diese Vermutung sollte empirisch getestet werden - wiederum unter Einbezug der Wirkung auf die kognitiven mediierenden Variablen der PMT. Exemplarisch für eine relativ kurze gegenüber einer längeren Restdistanz wurden dabei die Ausprägungen 30 km und 100 km betrachtet.

Explorativ sollte zudem untersucht werden, ob es Wechselwirkungen der Warnungsgestaltung mit dem Warnungskontext gibt, oder ob sich deren mögliche Effekte lediglich addieren.

3.2 Methode

3.2.1 Untersuchungsdesign

Aus der Kombination des Faktors *Warnungstyp* mit den Ausprägungen (1) *allgemein* – Kaffeetassen-symbol – und (2) *personalisiert* – eigenes Bild – und des Faktors *Rückgemeldete Zielentfernung zum Warnzeitpunkt* mit den Ausprägungen (1) *gering* – 30 km – und (2) *hoch* – 100 km – resultierte ein 2x2-Versuchsplan (s. Tabelle 2).

Tabelle 2. Untersuchungsdesign und Gestaltung der Warnanzeigen in den vier experimentellen Bedingungen

		Faktor 1: Warnungstyp (Personalisierung)	
		<i>allgemein</i>	<i>personalisiert</i>
Faktor 2: Rückgemeldete Zielentfernung	<i>gering</i>		
	<i>hoch</i>		

Um im Sinne valider Ergebnisse unerwünschte Reaktionstendenzen bei den Probanden zu vermeiden, wurde im Experiment eine Coverstory eingesetzt (s. 3.2.2.3); im Anschluss an die Datenerhebung erfolgte ein Debriefing. Aus diesem Grund kam für das Experiment nur ein reines *Zwischen-subjekt-design* in Frage; jeder Teilnehmer erlebte also nur eine der vier möglichen Kombinationen aus Warnungsdesign und Zielentfernung.

3.2.2 Materialien & Versuchsaufbau

3.2.2.1 Gestaltung und Anzeige der Warnmeldungen

Die bei einer Warnung erscheinende visuelle Anzeige bestand aus drei Elementen vor einem schwarzen Hintergrund (s. Tabelle 2). Am oberen Rand befand sich ein orangeroter Balken mit den Worten

Pause empfohlen in weißer Schrift in Fettdruck. Am unteren Rand stand je nach Bedingung in hellgrauer Schrift *noch 30 Kilometer bis zum Ziel* oder *noch 100 Kilometer bis zum Ziel*. Die Entfernungsangabe *30 Kilometer* beziehungsweise *100 Kilometer* war innerhalb des Textes durch Fettdruck in weißer Farbe hervorgehoben. Den zentralen und größten Teil der Fläche nahm das Warnsymbol ein. Dieses bestand für die Bedingung *allgemeine Warnung* aus einem hellgrauen Kaffeetassensymbol vor dunkelgrauem Hintergrund, in der Bedingung *personalisierte Warnung* aus einer in Graustufen ausgegebenen Porträtaufnahme des Probanden. Diese Aufnahme wurde während der Simulatorfahrt mit Hilfe einer auf dem Armaturenbrett montierten Infrarotkamera gewonnen. Der Bildausschnitt zeigte jeweils das Gesicht, den Hals und in den meisten Fällen, abhängig von der gewählten Sitzhöhe und der Körpergröße, auch den Schulteransatz des Teilnehmers. Im Sinne der Erhöhung der wahrgenommenen Vulnerabilität wurde jeweils ein Bild ausgewählt, welches in besonderem Maße Ausdrucksmerkmale von Müdigkeit aufwies. Auf den statischen Abbildungen handelte es sich dabei in erster Linie um geschlossene oder weitgehend geschlossene Augenlider, einen geringen Gesichtstonus („schlafes Gesicht“) sowie gegebenenfalls eine in der Haltung von Nacken und Schultern erkennbare geringe Oberkörperspannung.

Von den drei geforderten Bestandteilen einer Warnung (s. 2.2.1) lag der Fokus der im Fahrzeug erscheinenden (expliziten) Warnmeldung somit auf der Verhaltensempfehlung. Über die anderen beiden Warnungsaspekte, Art der Gefahr und drohende negative Konsequenzen, waren die Teilnehmer bereits im Rahmen der zuvor erfolgten Instruktion explizit aufgeklärt worden (s.a. 3.2.2.3). Bei Erscheinen der Warnung wurden diese Informationen durch weitere implizite Informationen ergänzt: Zum einen impliziert die Aktivierung der Warnung zu einem bestimmten Zeitpunkt, dass *nun* ein kritisches Müdigkeitsniveau erreicht ist, die Gefahr also aktuell relevant ist; zum anderen unterstreichen die Kontextinformationen der unterschiedlichen Warnungsgestaltungen – in einem Ausmaß, das genau zur Untersuchung steht – die Gefährdungsinformation.

Die Anzeige der Warnmeldungen erfolgte über ein 7"-Display mit einer Auflösung von 800 x 600 Pixeln, das rechts der Hauptfahrzeuginstrumente auf dem Armaturenbrett installiert war (s. Abbildung 12). Das Erscheinen der visuellen Warnmeldung wurde begleitet von einem fahrzeugtypischen akustischen Signal (Dauer 600 ms, Hauptfrequenz ca. 1200 Hz, D6), welches über zwei auf der Rückbank installierte Lautsprecher übermittelt wurde.

3.2.2.2 Versuchsumgebung

Die Versuche wurden im Fahrsimulator des Zentrums Mensch-Maschine-Systeme der TU Berlin durchgeführt. Die Teilnehmer saßen in einem stationären Realfahrzeug (VW Bora) und benutzten Lenkrad, Gaspedal und Bremse, um die simulierte Fahrt zu kontrollieren. Die visuelle Simulation erfolgte per Frontalprojektion auf einer 2,35 m breiten und 1,72 m hohen Leinwand im Abstand von 1,50 m zum Fahrzeug. Eine Simulation von Fahrgeräuschen war aktiviert, ebenso wie eine Force-Feedback-Funktion in der Lenkung. Fahrzeugvibrationen wurden nicht simuliert. Die Steuerung der Simulationsrechner erfolgte über ein Softwaresystem von VRtainment (http://www.vrtainment.de/vrtainment/html/software/sim_index_1.htm).

Der Container des Fahrsimulators ist in zwei separate Räume aufgeteilt: in einem steht das Versuchsfahrzeug mit der Simulation der Fahrumgebung, im zweiten befindet sich der Computerarbeitsplatz des Versuchsleiters. In den vorliegenden Studien war in diesem Raum ein zusätzlicher Computerarbeitsplatz zur Durchführung der Prä- und Post-Befragungen der Teilnehmer eingerichtet. Auch ein Tisch, auf dem neben Gebäck und Wasser auch Kaffee und verschiedene Energydrinks bereit-

standen, war hier untergebracht. Während sich ein Teilnehmer im Fahrzeug befand, ermöglichte eine Sprechanlage zu jedem Zeitpunkt eine Kommunikation mit dem Versuchsleiter.



Abbildung 12. Die Fahrumgebung aus Teilnehmersicht.

Die Beleuchtungsverhältnisse im Simulator waren denen einer Nachtfahrt mit eingeschaltetem Scheinwerfer nachempfunden: neben der Projektion der Fahrumgebung und den schwach leuchtenden Anzeigen im Fahrzeuginnenraum gab es keine weiteren Lichtquellen. Bei der simulierten Fahrstrecke handelte es sich um eine Autobahn mit je zwei Fahrstreifen pro Richtung, Seitenstreifen und Mittelstreifen mit Schutzplanke. Die Strecke wies einen monotonen Verlauf mit gelegentlichen sanften Kurven auf und führte durch eine abwechslungsarme Umgebung mit einer visuellen Randtextur aus Bäumen. Neben dem Egofahrzeug gab es keinen weiteren Verkehr (s. Abbildung 12).

3.2.2.3 Anreizsituation

3.2.2.3.1 Schaffung von Müdigkeit im Versuch

Im Sinne der internen und externen Validität des Versuchs war es erforderlich, dass die Teilnehmer während der Simulatorfahrt deutliche Müdigkeit erlebten (s. 2.3.4). Zu diesem Zweck wurde die Schlafdauer der Teilnehmer in der Nacht vor dem Versuch auf 4.5 Stunden beschränkt. Die Schlafrestriktion erfolgte durch späteres Zubettgehen, wobei die genaue zeitliche Lage des verkürzten Schlafs orientiert an der avisierten Aufstehzeit mit jedem Teilnehmer in einem Vorgespräch individuell vereinbart wurde. Die Teilnehmer wurden informiert, dass die Einhaltung der Absprachen eine unerlässliche Voraussetzung für die Teilnahme am Versuch sei. Zur Überprüfung erhielt jeder Teilnehmer in der Nacht vor dem Versuch einen Anruf etwa 5 Minuten vor der vereinbarten Schlafenszeit sowie einen Weckanruf zur vereinbarten Aufstehzeit. Im Rahmen des Weckanrufs wurden die Teilnehmer daran erinnert, dass sie von diesem Zeitpunkt an bis zum Versuch nicht mehr schlafen und keinerlei koffeinhaltigen Getränke oder sonstige stimulierende Substanzen zu sich nehmen sollten.

Eine zusätzliche Maßnahme zur Schaffung von Müdigkeit während der Simulatorfahrt bestand darin, die Zeit der Versuchsdurchführung in das circadiane Nachmittagstief zu legen. Für den Großteil der Messungen (70%) konnte dies umgesetzt werden, sie fanden in der Zeit zwischen 14:30 Uhr und 16:00 Uhr statt. Aus organisatorischen Gründen musste der verbleibende Teil der Versuche zwischen 19:00 und 21:30 Uhr durchgeführt werden. Für die resultierende Müdigkeit der Probanden machte dies keinen Unterschied (s. 3.3.1).

3.2.2.3.2 Nutzen und Kosten von Handlungsergebnissen und Handlungen

Wie in der realen Fahrsituation sollten die Probanden auch in der Simulationsumgebung motiviert sein, wach und aufmerksam zu bleiben, Fahrfehler zu vermeiden und sicher ans Ziel zu gelangen (s. 2.3.4). Entsprechende Anreize wurden im Versuch durch die Möglichkeit monetärer Gewinne und Verluste gesetzt (s.a. Abbildung 13). Im Folgenden ist dargestellt, wie die Teilnehmer hierzu in standardisierter Form schriftlich instruiert wurden.

Einleitend wurde zunächst auf die Einschränkungen der Leistungsfähigkeit durch Müdigkeit sowie deren Rolle bei der Verursachung von Unfällen hingewiesen. Es folgte die Information, dass bisher nur die zwei Maßnahmen *Koffein* und *Kurzschlaf* in ihrer Wirksamkeit gegen Müdigkeit wissenschaftlich bestätigt werden konnten. Die anstehende Simulatorfahrt sei insofern mit der realen Verkehrssituation vergleichbar, als die aktuelle Müdigkeit das Auftreten von Fahrfehlern wahrscheinlicher mache.

Die Aufgabe der Teilnehmer bestand darin, eine bestimmte Strecke bis zum Ende zu fahren, wobei eine Reihe von Regeln galt, die in ihrer Gesamtheit darauf ausgerichtet waren, die motivationale Konstellation einer Realfahrt herzustellen. Die Probanden wurden informiert, dass sie für das *fehlerfreie Durchfahren* der Strecke bis zum Ziel zusätzlich zu einer pauschalen Versuchsvergütung von 15 € einen *Bonus von weiteren 15 €* erhielten (Anreiz zur Zielerreichung). Im Falle eines Fahrfehlers entfiel dieser Bonus. Es sei jederzeit möglich, eine Pause einzulegen, in der Kaffee getrunken und / oder geschlafen werden könne. Für eine erfolgreiche Zielankunft nach einer Pause wurde ein Bonus von 10 € in Aussicht gestellt. In diesem Sinne war die Pause zwar einerseits mit subjektiven Kosten (5 €) verbunden, andererseits hatte sie auch einen subjektiven Nutzen, indem sie die Wahrscheinlichkeit eines Erfolgs erhöhte beziehungsweise das Risiko minderte, völlig ohne Bonus aus dem Versuch herauszugehen.

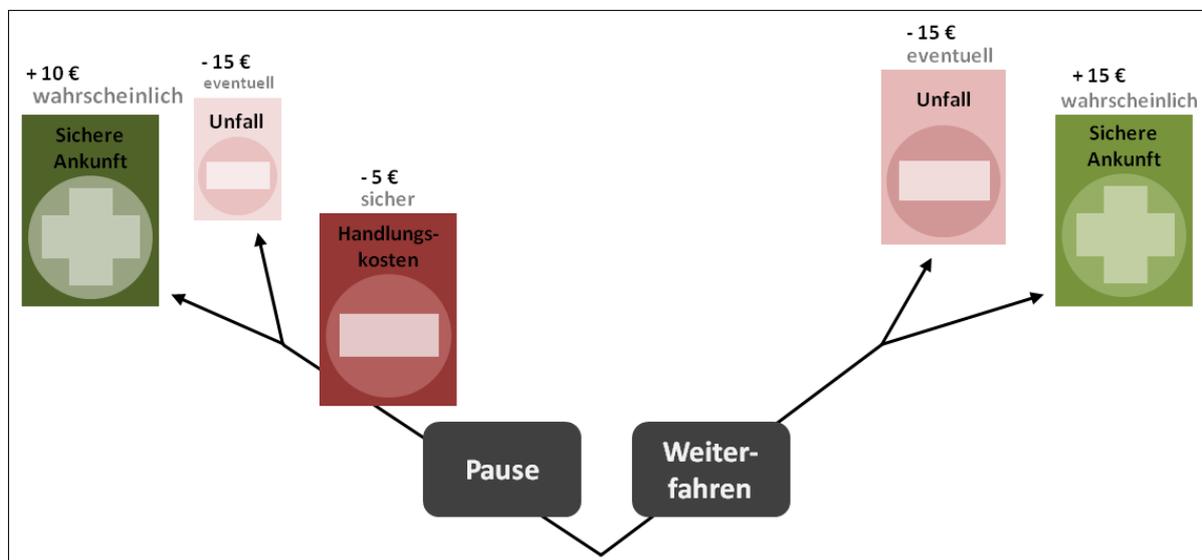


Abbildung 13. Versuch einer Visualisierung der Anreizsituation. Anhand von Größe und Farbtiefe sollen die Akzentuierung unmittelbarer und sicherer Konsequenzen (im Vergleich zu eventuell in der Zukunft auftretenden) in der subjektiven Motivation sowie die subjektive Wahrscheinlichkeit der verschiedenen Konsequenzen veranschaulicht werden (s.a. 2.2.4).

Laut Instruktion galt für die Fahrstrecke eine erlaubte Höchstgeschwindigkeit von 100 km/h, und das Fahrzeug sollte durchgängig auf dem rechten von zwei vorhandenen Fahrstreifen gehalten werden. Daraus ergaben sich zwei Arten möglicher Fehler. Als Fehler in der Querführung wurde gewer-

tet, wenn die linke oder rechte Fahrstreifenbegrenzung um eine halbe Fahrzeugbreite oder mehr überfahren wurde. Ein Fehler in der Längsführung wurde festgestellt, sobald die zulässige Höchstgeschwindigkeit um mindestens 15 km/h überschritten wurde. Die Teilnehmer waren unterrichtet, dass die Fahrleistung kontinuierlich überwacht und im Falle eines Fahrfehlers eine sofortige Rückmeldung gegeben würde.

Abschließend wurden die Probanden informiert, dass ihr Fahrzeug über ein System zur Müdigkeitsüberwachung verfüge und im Falle eines detektierten kritischen Zustands eine Verhaltensempfehlung ausgeben würde. Ein bestehender Pausenwunsch konnte entweder über die Sprechanlage des Simulationsfahrzeugs mitgeteilt oder durch einfaches Anhalten signalisiert werden. Kaffee und andere koffeinhaltige Getränke standen im Versuchsleiterraum bereit.

Im Sinne der Validität der Erhebung war es nötig, den Teilnehmern im Hinblick auf den Zweck sowie die Durchführungsmodalitäten des Versuchs einige Informationen zu vermitteln, die erst nach Abschluss der Sitzung als falsch aufgeklärt werden konnten. A priori wurde als Zweck der Untersuchung angegeben, es sollten die Auswirkungen von Müdigkeit auf die Fahrleistung in Abhängigkeit von der Fahrdauer untersucht werden. Die Probanden wurden informiert, dass Ihnen dazu bei Fahrtbeginn per Zufallsgenerator eine bestimmte Fahrstrecke zugeteilt werde, deren genaue Länge auch der Versuchsleiter nicht kenne, die aber typischerweise in einer bis maximal zwei Stunden zu bewältigen sei. Die Notwendigkeit dieser Coverstory liegt in der Besonderheit des Versuchs begründet, dass die genaue Sitzungsdauer in direktem Maße davon abhängig war, wie schnell ein Proband nach Fahrtantritt das gesetzte Müdigkeitskriterium überschritt. Dieser Fakt wurde den Teilnehmern gegenüber verschleiert, um unerwünschte Taktiken zur Verkürzung der Sitzungsdauer durch Simulation von Müdigkeit zu vermeiden. Der wahre Zweck des Versuchs, die Reaktion auf Müdigkeitswarnungen zu untersuchen, wurde erst nach der Sitzung offenbart, um sozial erwünschtes Verhalten oder Reaktanz zu minimieren. Da die Reaktion auf die Warnung die wichtigste abhängige Variable darstellte, war vorgesehen, dass im Falle der Äußerung einer Pausenabsicht durch den Probanden der Versuch beendet war. Auch dieser Fakt wurde den Teilnehmern a priori nicht bekannt gegeben, um Verfälschungen zu vermeiden.

Der Wortlaut der *Instruktion* und des *Informationsblatts* „*Fahrfehler*“, welche den Teilnehmern in schriftlicher Form ausgehändigt wurden, ist im Anhang (A.1.1 und A1.2) zu finden.

3.2.2.4 Instrument zur Online-Müdigkeitserfassung: Die TUBSS

Eine weitere Voraussetzung für die interne und externe Validität des Versuchs war, dass die Müdigkeitswarnung zu einem Zeitpunkt erfolgte, zu welchem die Probanden tatsächlich mit kritischer Müdigkeit konfrontiert waren (s. 2.3.4). Das dazu benötigte Detektionsverfahren sollte (1) hohe Messgenauigkeit und Validität aufweisen, (2) im Kontext des Einsatzes praktikabel und (3) so wenig invasiv wie möglich sein sowie (4) nicht mit dem Zustand des Probanden interferieren, insbesondere nicht zu dessen Aktivierung beitragen (Schmidt et al., 2011). Auf Basis dieser Anforderungen fiel die Wahl auf ein videobasiertes Beobachtungsverfahren.

Die eingesetzte TUBSS (*TU Berlin Schläfrigkeitsskala*; Dittrich et al., 2009) stellt eine Weiterentwicklung der Methodik von Wierwille und Ellsworth (1994) zur beobachtungs-basierten Müdigkeitsbeurteilung dar. Der Zustand einer Testperson wird hierbei anhand definierter Verhaltenskriterien (z. B. Dauer und Häufigkeit von Lidschlägen und Lidschlüssen, Sakkadencharakteristika, Sitzposition, Lenkrad- und sonstige Körperbewegungen, selbstaktivierende Verhaltensweisen) durch einen externen Bewerter zunächst einer der vier Kategorien 1 - *wach*, 2 - *müde / schläfrig*, 3 - *sehr müde* oder 4 - *Sekundenschlaf* zugeordnet. In einem zweiten Beurteilungsschritt werden Ratings im mittleren Ska-

lenbereich weiter differenziert, indem im Falle einer vorangegangenen Kategorisierung als *müde / schläfrig* oder *sehr müde* abgefragt wird, ob es eine Tendenz in Richtung einer angrenzenden Stufe gibt. Auf diese Weise resultiert für die TUBSS ein Wertebereich von 1 – *nicht müde* bis 8 – *Sekundenschlaf*, der eine stärkere Differenzierung im mittleren Bereich ermöglicht als das ursprüngliche Verfahren.

Die Müdigkeitsmessung wurde durch den Versuchsleiter auf Basis eines Live-Videobildes des Fahrers vorgenommen, welches von einer auf dem Armaturenbrett montierten Kamera übertragen wurde. Grundlage eines Ratings war entsprechend der Standardvorgehensweise (vgl. Dittrich et al., 2009) eine vorangegangene Beobachtung von 1 Minute Dauer. Eine Referenzkarte mit einer Übersicht der relevanten Verhaltensweisen lag andauernd zum Abgleich bereit. Im Anschluss an die Beobachtungsphase wurde anhand der graphischen Benutzeroberfläche des digitalen TUBSS-Tools durch den Versuchsleiter der entsprechende TUBSS-Wert ermittelt und zur Speicherung eingegeben. Zwischen den einzelnen Beobachtungsepochen lag jeweils ein Intervall von 4 Minuten. Das Kriterium, dessen Erreichen dazu führte, dass dem Probanden eine Warnung angezeigt wurde, lag bei TUBSS-Stufe 5, was der Wortmarke *sehr müde mit Tendenz zu schläfrig* entspricht.

Übersichtsdarstellungen zu den relevanten Verhaltensindikatoren und deren Zuordnung zu den Stufen sowie zum Vorgehen beim Rating mit der TUBSS sind im Anhang zu finden (A.3.4 und A.3.5); weitere Informationen zur TUBSS geben Dittrich et al. (2009).

3.2.2.5 Fragen zur Erfassung der mediiierenden kognitiven Variablen

Neben der Warnungswirkung auf Verhaltensebene galt das Forschungsinteresse der Art und Weise, wie diese Wirkung durch die in der PMT postulierten Einflussgrößen auf Kognitionsebene vermittelt wird. In Ermangelung eines Standardinstruments zur Erhebung der kognitiven Einschätzungen wurden entsprechende Items für die einzelnen Modellfaktoren neu erstellt. Die Formulierung der Fragen erfolgte in Anlehnung an die von Petersen und Lieder (2006) verwandten Skalen zur Erhebung der PMT-Variablen. In der von Petersen und Lieder mit 336 Rauchern und Raucherinnen durchgeführten experimentellen Untersuchung wurde die Wirkung schriftlicher und schriftlich-graphischer Warnhinweise auf Zigarettenpackungen geprüft. Das Vorgehen in der Operationalisierung der Modellfaktoren bestand darin, für eine Auswahl möglicher in Folge des Rauchens auftretender negativer Ereignisse (z. B. Herzinfarkt, Kehlkopfkrebs, Lungenkrebs etc.) jeweils auf einer Skala von 0 bis 10 die entsprechenden kognitiven Einschätzungen der Probanden zu erfragen; z. B. *Wie schlimm ist es Ihrer Meinung nach von den folgenden Dingen betroffen zu sein?* (Schweregrad der Schädigung) oder *Wie wahrscheinlich ist es, dass Sie von den folgenden Dingen betroffen sein werden?* (Wahrscheinlichkeit der Schädigung).

In der Fahrsituation mit Müdigkeitswarnung besteht das maladaptive Verhalten darin, weiterzufahren und nicht zu pausieren. Die in der Realität damit verbundenen potentiellen negativen Folgen werden vermittelt über unzureichende Vigilanz im noch wachen Zustand oder über ein Sekundenschlafereignis. Im Fahrsimulator wurden die subjektiven Kosten eines Unfalls qualitativ über den Verlust des Zielbonus nachgestellt, welcher im Falle eines Fahrfehlers drohte. Ein Fahrfehler konnte wiederum durch Einnicken (Sekundenschlaf) oder Unaufmerksamkeit bedingt sein. Die Abfrage der PMT-Modellfaktoren bezog sich daher jeweils auf die Ereignisse *Einnicken / in Sekundenschlaf fallen* und *Auftreten eines Fahrfehlers*.

In einem Test verschiedener Warnungsdesigns fällt der am meisten interessierende Zeitabschnitt in Bezug auf die Ausprägung der kognitiven PMT-Variablen auf die Zeit nach der Warnmeldung: Es soll untersucht werden, inwiefern sich warnungsbedingt Unterschiede in den Situationseinschätzun-

gen ergeben. Als optimal für die Erhebung erscheint daher ein Zeitfenster in den Sekunden bzw. Minuten nach der Warnung, in denen vermutlich die relevanten Entscheidungsprozesse ablaufen. Ein solcher Befragungszeitpunkt konfliktiert jedoch mit dem noch wichtigeren Ziel der Untersuchung, die Auswirkungen der Warnung auch auf Ebene des Verhaltens zu untersuchen, denn es ist zu befürchten, dass eine Befragung unter diesen Umständen mit der Verhaltensentscheidung interferiert. Aus diesem Grund wurde die Erhebung der Modellfaktoren als retrospektive Befragung zum frühestmöglichen Zeitpunkt nach Erfassung des resultierenden Verhaltens durchgeführt, das heißt, nachdem ein Proband sich entweder für eine Pause entschieden hatte oder die kritische Zeit nach der Warnung abgelaufen war, ohne dass ein Pausenwunsch geäußert wurde. Um den Abruf und Bericht der subjektiven Einschätzungen in der interessierenden Phase zu erleichtern, rekurierte die Formulierung jedes Items explizit auf den Zeitraum nach der Warnung.

Subjektiver Schweregrad der Schädigung. Das Ausmaß, in dem die Teilnehmerinnen die im Paradigma umgesetzten potentiellen negativen Folgen des Weiterfahrens als schwerwiegend empfanden, wurde erhoben mit der Formulierung: „*Wie schlimm erschien Ihnen nach der Systemmeldung die Möglichkeit,...*“, gefolgt von den zwei Möglichkeiten „... *dass Ihnen ein Fahrfehler unterläuft und Sie so den Zielbonus verlieren?*“ und „... *dass Sie einnicken / in Sekundenschlaf fallen und so den Zielbonus verlieren?*“. Die Beurteilung erfolgte jeweils auf einer Skala von 0 bis 9, deren Endpunkte mit den Wortmarken *gar nicht schlimm* und *sehr schlimm* bezeichnet waren⁴³.

Subjektive Vulnerabilität. Die Frage zur Erhebung der wahrgenommenen persönlichen Anfälligkeit für potentielle negative Folgen des Weiterfahrens lautete „*Wie gefährdet haben Sie sich nach der Systemmeldung empfunden,...*“. Die Extrema der zehnstufigen Skala (0–9) trugen die Wortmarken *gar nicht gefährdet* und *sehr stark gefährdet*.

Handlungswirksamkeitserwartung. Das empfohlene Verhalten bei Müdigkeit war eine Pause. Wie geeignet den Teilnehmern diese Maßnahme erschien, das Schadensrisiko im Fahrversuch zu reduzieren, wurde erhoben mit der Frage: „*Um wieviel Prozent wäre Ihrer Einschätzung nach durch eine Pause das Risiko verringert worden, ...*“. Den 11 Stufen der zugehörigen Skala waren Prozentangaben von 0 bis 100% zugeordnet.

Situative Selbstwirksamkeitserwartung. Selbstwirksamkeitserwartung bezieht sich auf die subjektive Empfindung, selbst Kontrolle über die Ausführung des empfohlenen Verhaltens zu haben. Die Erhebung der erlebten Selbstwirksamkeit erfolgte situationsspezifisch mit der Frage: „*Wie stark hatten Sie nach der Systemmeldung das Gefühl, dass es von Ihnen selbst abhing, ob Sie eine Pause machen oder nicht?*“. Die Endpunkte der zehnstufigen Skala (0-9) waren mit *gar nicht* und *sehr stark* bezeichnet.

Subjektive Wahrscheinlichkeit des Zielverhaltens. Alle vorgenannten Faktoren beeinflussen laut PMT die resultierende Schutzmotivation und damit die Wahrscheinlichkeit, entweder das empfohlene oder das gesundheitsgefährdende Verhalten auszuführen. Wenn die im Versuch vorgenommene Variation der Warnungsgestaltung zu Unterschieden im Verhalten führt, sollten sich entsprechende Unterschiede auch auf Ebene der Intention manifestieren. Denkbar ist auch, dass durch die experimentelle Manipulation bedingte Unterschiede in kognitiven Einschätzungen zwar zu schwach sind, um Unterschiede auf Verhaltensebene zu bewirken, aber dennoch Unterschiede auf der Intentions-

⁴³ Die Formulierung der potentiellen negativen Konsequenzen (... *dass Ihnen ein Fahrfehler unterläuft ... etc.*) wurde in allen Fragen zur Erhebung der PMT-Modellfaktoren einheitlich verwendet und wird in den folgenden Beschreibungen nicht mehr gesondert aufgeführt.

ebene nachweisbar sind. Zur Prüfung derartiger Effekte wurde die subjektive Bereitschaft zur Ausführung des Zielverhaltens erhoben mit der Frage: „*Wie wahrscheinlich war es nach der Systemmeldung, dass Sie eine Pause einlegen?*“. Die Beurteilung erfolgte auf einer Skala von 0 (*nicht wahrscheinlich*) bis 9 (*sehr wahrscheinlich*).

3.2.2.6 Weitere Fragen im Nachbefragungsbogen

Bemerken und Verständnis der Warnung. Wie Wogalter (2006) anmerkt, ist es insbesondere für den Fall, dass eine Warnung keine beobachtbaren Effekte auf der Verhaltensebene bewirkt, wünschenswert in Erfahrung zu bringen, auf welcher Stufe oder welchen Stufen die Informationsverarbeitung innerhalb des Empfängers gescheitert ist (s. 2.2.2). Zwei Items in der Nachbefragung zielten darauf ab, den Erfolg der frühen Verarbeitungsschritte *Zuwendung* und *Aufrechterhaltung* von Aufmerksamkeit gemäß des C-HIP-Modells sowie ein grundlegendes *Verstehen* der Warnung zu prüfen: (1) *Welche Zielentfernung wurde Ihnen mit der Müdigkeitswarnung zusammen angegeben?* - hier konnten die Teilnehmer entweder die wahrgenommene Anzahl der verbleibenden Kilometer in ein Freitextfeld eingeben oder die Option *weiß ich nicht* auswählen – und (2) *Welches Bild zeigte Ihnen das Müdigkeitswarnsystem auf dem Display an?* mit 7 Auswahlmöglichkeiten (*Wecker, Auge, Kaffeetasse, Bett, eigenes Foto, Foto einer anderen Person, weiß ich nicht*). Anhand der Antworten konnte im Falle des Weiterfahrens überprüft werden, inwiefern die Botschaft von den Teilnehmern überhaupt wahrgenommen und semantisch verarbeitet wurde.

Subjektive Müdigkeit zum Warnzeitpunkt und nach Ende der Versuchsfahrt. Zweimal beurteilten die Teilnehmer ihre Müdigkeit anhand der Karolinska Sleepiness Scale (KSS, Akerstedt & Gillberg, 1990): Einmal retrospektiv für den Zeitpunkt der Müdigkeitswarnung und einmal für die aktuelle Situation der Nachbefragung. Die KSS wurde in der von Niederl (2007) verwendeten deutschen Übersetzung benutzt.

Müdigkeitsbeurteilung des eigenen Warnungsbildes. Mit dem Ziel, die wahrgenommene Vulnerabilität zu erhöhen, wurden für die Anzeige in der *personalisierten Warnungsbedingung* Bilder ausgewählt, auf denen Müdigkeitszeichen möglichst deutlich erkennbar sein sollten. Als Manipulationscheck wurde in die retrospektive Befragung ein Item aufgenommen, um das prinzipielle Potential der Bilder zur Vermittlung einer pessimistischeren Selbsteinschätzung zu ermessen. Das Bild, das ein Teilnehmer in seiner Warnanzeige gesehen hatte, wurde ihm nochmals präsentiert, zusammen mit der Frage *Wie müde sehen Sie Ihrer Meinung nach auf diesem Bild aus?*, welche anhand der Karolinska-Skala von 0 – *sehr wach* – bis 8 – *sehr müde, große Probleme wach zu bleiben, mit dem Schlaf kämpfend* – beantwortet wurde.

Subjektive Aktivierung durch die Warnung. Eine kurzfristige Aktivierung des Fahrers gilt als eine der Funktionen, die Müdigkeitswarnungen erfüllen können (s. 2.3.2). Mit der Frage *Wie aktivierend wirkte die Müdigkeitswarnung auf Sie?* wurde eine subjektive Einschätzung dieses Effekts erhoben. Die Endpunkte der zehnstufigen Skala (0-9) waren mit *gar nicht aktivierend* und *sehr stark aktivierend* bezeichnet.

Subjektive Ablenkung durch die Warnung. Eine Anforderung an die Warnungsgestaltung besteht darin, die Aufmerksamkeit des Nutzers auf die Anzeige zu lenken und zwecks Elaboration der Warnbotschaft dort für eine gewisse Zeit zu halten (s. 2.2.2). Gleichzeitig ist bei der Fahrzeugführung jede Ablenkung der Aufmerksamkeit weg von der aktuellen Straßensituation aber auch ein potentielles Risiko. Aus Human-Factors-Sicht gilt es, den bestmöglichen Ausgleich zwischen diesen beiden gegensätzlichen Anforderungen zu finden. Gestaltungsvarianten, die zu einer besseren Elaboration der Warnung führen, bringen eventuell eine längere Vernachlässigung der Verkehrssituation mit sich. In

der aktuellen Untersuchung wird vermutet, dass die Präsentation eines Portraits des Fahrers zu intensiverer Aufmerksamkeitszuwendung führt als die Anzeige eines Kaffeetassensymbols. Neben der Untersuchung dieser Frage auf Ebene der Fahrleistung⁴⁴ war auch die subjektive Beurteilung durch die Fahrerinnen und Fahrer von Interesse. Diese wurde mit der Formulierung *Wie ablenkend fanden Sie die Warnungsanzeige für Ihre Fahraufgabe?* erhoben. Die zehnstufige Skala (0-9) reichte von *gar nicht ablenkend* bis *stark ablenkend*.

Maximal tolerierte Pausenkosten. Aus theoretischer Sicht stehen mit dem empfohlenen Verhalten verbundene Handlungskosten der Effektivität von Warnungen entgegen (s. 2.2.4). Im Fahrsimulationsparadigma werden in der realen Fahrsituation vorliegende positive und negative Handlungsanreize des Weiterfahrens und des Pausierens durch die Möglichkeit finanzieller Gewinne und Verluste nachgebildet: Die erfolgreiche Zielankunft bringt einen Bonus von 15 €, welcher im Falle eines Fahrfehlers komplett verloren ist; eine Pause zu machen, ist mit einem Abzug von 5 € verbunden, so dass nach einer Pause immer noch ein Bonus von 10 € möglich ist. Für die Wahl dieser konkreten Ausprägungen gibt es keine hinreichend genaue theoretische Grundlage – die Durchführung des ersten Experiments stellt in dieser Hinsicht auch eine Erprobung des Paradigmas dar. Theoretisch wünschenswert wäre es, mit der Parametrisierung dieser Variablen eine Situation zu schaffen, in der subjektiv ein annäherndes Gleichgewicht in der Attraktivität der beiden Optionen „Anhalten“ und „Weiterfahren“ – beziehungsweise ein minimaler Nachteil für die Option „Anhalten“ - besteht, weil Überzeugungseffekte der Warnung in dieser Situation am besten zu beobachten wären. Die theoretisch zu vermeidenden Extreme der Parametrisierung der finanziellen Anreize sind Konstellationen, die Boden- oder Deckeneffekte schaffen, das heißt, in denen die Anreizsituation motivational so eindeutig ist, dass sich alle Teilnehmer einstimmig für die eine oder für die andere Handlungsoption entscheiden. Alle denkbaren Anreizkonstellationen, die zwischen diesen beiden Polen liegen, bieten theoretisch die Möglichkeit, Unterschiede in der Wirksamkeit verschiedener Warnungsgestaltungsvarianten zum Vorschein zu bringen. Obwohl durch die konkrete Ausprägung der finanziellen Nutzen- und Kostenwerte zweifelsohne ein ganz bestimmter quantitativer Referenzrahmen (s. Kahneman & Tversky, 1979) für die Entscheidung aufgespannt wird, liegt der maßgebliche Aspekt für die Validität des Paradigmas in der *qualitativen* Modellierung der Anreizsituation. Zur Evaluation der gewählten finanziellen Anreize und für die Weiterentwicklung des Paradigmas ist es interessant, Hinweise auf den theoretischen „Umkipppunkt“ in der gewählten Konstellation zu erhalten, also einen Schwellwert für die Handlungskosten zu ermitteln, bei dem sich die Teilnehmerinnen und Teilnehmer gerade eben noch vorstellen können, die Pause zu nehmen. Ein entsprechendes Item war in der Nachbefragung enthalten. Nach einem kurzen Einleitungstext, der die konkrete finanzielle Anreizsituation im Experiment ins Gedächtnis rief, lautete die Frage: *Wie groß dürfte der durch eine Pause entstehende finanzielle Abzug vom Zielbonus 15 € maximal sein, damit Sie noch darüber nachdenken, eventuell eine Pause einzulegen?* Die Teilnehmerinnen und Teilnehmer schrieben ihre Antwort in ein Freitextfeld.

Vorerfahrung mit Müdigkeitswarnsystemen. Der Grad der Vertrautheit mit Warnreizen kann deren kognitive Verarbeitung in mehrerlei Hinsicht beeinflussen (s. 2.2.2). Aus diesem Grund wurden in der Nachbefragung mit drei Items Vorwissen und Teilnehmer über Müdigkeitswarnsysteme sowie entsprechende Vorerfahrungen erfasst: (1) *Haben Sie vor dieser Untersuchung schon einmal etwas von Kfz-Müdigkeitswarnsystemen gehört?* (Antwortmöglichkeiten: *ja* oder *nein*), (2) *Sind Sie schon einmal mit einem Fahrzeug gefahren, dass mit einem Müdigkeitswarnsystem ausgestattet war?* (Im

⁴⁴ Ergebnisse in Weidner (2013)

ja-Fall wurde zur Angabe des Fahrzeugtyps aufgefordert) und (3) *Besitzt Ihr eigenes Fahrzeug ein Müdigkeitswarnsystem?* (wiederum wurde bei ja-Antwort zusätzlich der Fahrzeugtyp erfragt).

Sekundenschlaferfahrungen und Unfallgeschichte als Autofahrer. Ebenso wie Vertrautheit mit der Warnung beeinflusst Vertrautheit mit der Gefahrensituation die kognitiven Prozesse, welche die Verhaltenswirksamkeit der Warnung mediiieren (s. 2.2.2, 2.2.4). Mit den folgenden drei Items wurden allgemeine Unfallerfahrungen, Sekundenschlaferfahrungen sowie Erfahrungen mit müdigkeitsbedingten Unfällen erfasst: (1) *Hatten Sie mit dem Auto mitverschuldete Unfälle? Falls ja, geben Sie bitte an, wie viele.* (Antwortmöglichkeiten: ja mit Freitextfeld / nein), (2) *Haben Sie beim Autofahren schon einmal Sekundenschlaf erlebt? (ja /nein)* und (3) *Hatten Sie mitverschuldete Unfälle, bei denen Müdigkeit eine ursächliche Rolle spielte? Falls ja, geben Sie bitte an, wie viele.* (Antwortmöglichkeiten: ja mit Freitextfeld / nein).

Allgemeine subjektive Pausenwahrscheinlichkeit. Wenn die experimentelle Variation verhaltensrelevante Einschätzungen, Pausenintention und Pausenverhalten in der erlebten Fahrsituation beeinflusst, könnte es sein, dass sich entsprechende Effekte auch auf eine generelle Einstellung gegenüber Müdigkeitswarnungen übertragen. Explorativ wurde daher ein Item zur Erhebung einer allgemeinen subjektiven Pausenwahrscheinlichkeit mit aufgenommen: *„Sie haben ein Müdigkeitswarnsystem in Ihrem Auto oder angenommen, sie hätten eines. Wie wahrscheinlich ist / wäre es generell, dass sie eine Pause einlegen, wenn das System eine solche empfiehlt?“*. Die Endpunkte der zehnstufigen Skala (0-9) waren mit *nicht wahrscheinlich* und *sehr wahrscheinlich* bezeichnet.

Wahrnehmung von Außengeräuschen im Fahrsimulator. Aus organisatorischen Gründen konnte eine Koinzidenz der Datenerhebungsphase mit der Durchführung einer Baumaßnahme in der Halle, die den Fahrsimulatorcontainer beherbergt, nicht vollständig vermieden werden. Außerhalb des Containers entstanden während einiger Messungen zeitweise hohe Lärmpegel. Während der Versuchsfahrt waren die Probandinnen und Probanden davon zweifach abgeschirmt - erstens durch die Containeraußenwand und zweitens durch das Fahrzeug -, zudem erfolgte eine akustische Überdeckung der möglichen durchdringenden Restgeräusche durch das im Fahrzeuginnenraum präsentierte konstante Fahrgeräusch. Zur zusätzlichen Kontrolle des Paradigmas wurde dennoch ein Item in die Nachbefragung aufgenommen, um die eventuelle Wahrnehmung von externen Geräuschen zu erheben, welche einen potentiellen Einfluss auf das Wachheitsniveau haben: *In der Halle rund um den Fahrsimulator wird gerade gebaut. In welchem Maße haben Sie während des Fahrens Störgeräusche von außen wahrgenommen?* Die Beantwortung erfolgte auf einer zehnstufigen Skala (0-9) mit den Endpunkten *habe keine Geräusche von außen wahrgenommen* und *habe andauernd Geräusche von außen wahrgenommen*.

Wachhaltestrategien. Aus explorativem Interesse wurde ein Item in die Nachbefragung aufgenommen, mit dem während der Fahrt genutzte Wachhaltestrategien erfragt wurden: *Was haben Sie getan, um sich wach zu halten? Bitte beschreiben Sie kurz, mit welchen Maßnahmen / Verhaltensweisen Sie versucht haben, Ihrer Müdigkeit entgegenzuwirken.* Zur Beantwortung standen ein Freitextfeld sowie die Auswahloption *habe nichts getan, um mich wachzuhalten* zur Verfügung.

Das Originallayout des Nachbefragungsbogens mit allen Items ist in Anhang A.1.4 dargestellt.

3.2.3 Durchführung

Nach der Begrüßung nahm jeder Teilnehmende zunächst im Versuchsleiterraum des Fahrsimulators an einem Computerarbeitsplatz Platz und bekam als erstes die beiden Instruktionsblätter mit den Informationen zur anstehenden Fahraufgabe einschließlich der entsprechenden Rahmenbedingungen sowie zu möglichen Arten von Fahrfehlern zum gründlichen Lesen ausgehändigt (s. 3.2.2.3.2 und

Anhänge A.1.1 und A.1.2). Im Anschluss wurden im Gespräch mit dem Versuchsleiter das Instruktionsverständnis geprüft und mögliche Fragen geklärt, woraufhin dem Teilnehmer die schriftliche Einverständniserklärung (s. Anhang A.3.3) vorgelegt wurde, die eine Aufklärung über die Möglichkeit zum Versuchsabbruch sowie über die Möglichkeit zur Untersagung der Verwendung der erhobenen Daten beinhaltet.

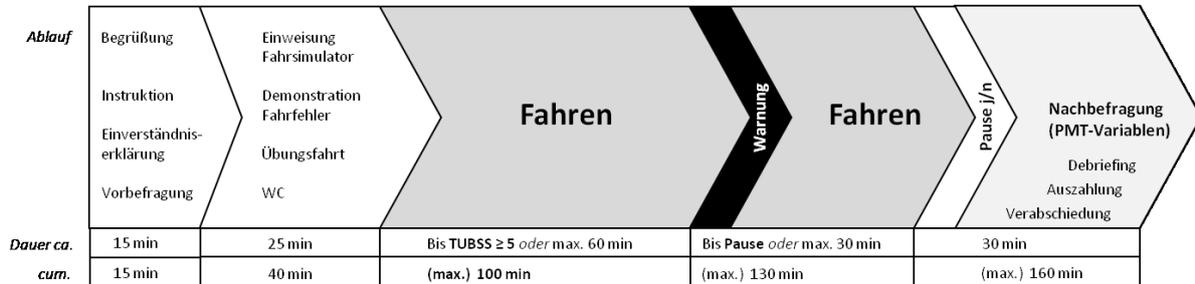


Abbildung 14. Überblick über den zeitlichen Ablauf des Fahrversuchs.

Im Falle des Einverständnisses mit der Teilnahme bearbeiteten die Teilnehmer als nächstes am Computer den Vorbefragungsbogen (Anhang A.1.3). Dieser diente zum einen der Erhebung einiger demographischer Informationen (*Alter, Geschlecht, Bildung, aktuelle Tätigkeit, Muttersprache, Jahresfahrleistung*), zum anderen wurde eine Reihe weiterer Kontrollvariablen erfragt (*Selbsteinschätzung der Deutschkenntnisse, Zeit des Zubettgehens und Aufstehens in der vorangegangenen Nacht, tatsächlich schlafend verbrachte Zeit, Konsum von Kaffee oder anderen stimulierenden Substanzen, weitere Schlafepisoden nach dem Aufstehen*⁴⁵). Außerdem beurteilten die Teilnehmer ihre aktuelle Müdigkeit auf der Karolinska Sleepiness Scale (KSS, Akerstedt & Gillberg, 1990). Alle Befragungsdaten wurden unter Nutzung des Online-Fragebogensystems SoSci Survey (www.soscisurvey.de) erhoben.

Im Anschluss wechselten die Teilnehmer in den Simulator, wo nach der Einstellung einer geeigneten Sitzposition zunächst eine kurze Einweisung in die Fahrzeugbedienung erfolgte. Anhand der bereits sichtbaren Fahrumgebung wurden einige nähere Informationen zur Art der Strecke gegeben (*keine anderen Verkehrsteilnehmer, keine überraschenden Ereignisse, sanfte Kurven*), die Position des Warnungsdisplays gezeigt sowie der Hinweis gegeben, dass keine anderen Bedienelemente als die zur Fahrzeugführung erforderlichen benutzt werden sollten.

Es folgte eine Demonstration der möglichen Fahrfehler. Dazu fuhren die Teilnehmer beabsichtigt je zweimal links und rechts langsam aus der Fahrspur heraus und bekamen eine Rückmeldung, zu welchem Zeitpunkt das Toleranzkriterium überschritten wurde. Analog wurde der Längsführungsfehler anhand einer absichtlichen Überschreitung des Geschwindigkeitslimits von 100 km/h demonstriert.

Im Rahmen einer kurzen Übungsfahrt von 10-15 Minuten Dauer konnten sich die Teilnehmer dann mit der Fahrcharakteristik des Simulators vertraut machen. Nach einer obligatorischen Toilettenpause und einer nochmaligen Erinnerung an die wichtigsten Eckpunkte der Instruktion begann die Experimentalfahrt.

Während der Fahrt wurde durch den Versuchsleiter alle 5 Minuten eine Bewertung der aktuellen Müdigkeit der Versuchsperson mit Hilfe der TUBSS vorgenommen (s. 3.2.2.4). Erreichte oder über-

⁴⁵ Bezüglich der potentiell kritischen Fragen wurden die Teilnehmer zum aufrichtigen Antworten aufgefordert, mit dem Hinweis, dass eventuelle Abweichungen von den Absprachen für sie keine negativen Konsequenzen hätten, aber deren Dokumentation wichtig für die Auswertung der Daten sei.

schritt das aktuelle Rating den Kriteriumswert 5 - *sehr müde mit Tendenz zu schläfrig* -, wurde eine Müdigkeitswarnung entsprechend der jeweiligen experimentellen Bedingung präsentiert (s. 3.2.1 und 3.2.2.1). Das Erscheinen der Warnmeldung wurde von einem kurzen Hinweistext begleitet; die visuelle Anzeige blieb für 2 Minuten sichtbar, bevor sie wieder durch einen schwarzen Bildschirm ersetzt wurde. Die Teilnehmer waren informiert, dass das Verschwinden der Warnung Teil des Warnkonzepts sei und nicht darauf hinweise, dass die gefährliche Situation vorüber sei⁴⁶. Wurde innerhalb von 60 Minuten nach Fahrtbeginn das Müdigkeitskriterium nicht erreicht, erfolgte die Präsentation der Warnung spätestens zu diesem Zeitpunkt.

Nach Anzeige der Warnung wurde der Versuch noch maximal 30 Minuten fortgesetzt. Äußerte der Fahrer vor Ablauf dieser Zeitspanne den Wunsch nach einer Pause, wurde die Fahrt unmittelbar beendet. Auch in der Fahrzeit nach der Warnung nahm der Versuchsleiter in Intervallen von 5 Minuten Müdigkeitsbeurteilungen mit der TUBSS vor.

Nach Beendigung der Fahrt kehrten die Teilnehmer an den Computerarbeitsplatz im Versuchslerraum zurück und bearbeiteten dort die retrospektive Befragung (Anhang A.1.4), in deren Rahmen die subjektiven Einschätzungen der PMT-Variablen erhoben wurden. Weiterhin beinhaltete diese Befragung Items zur Prüfung des Warnungsverständnisses, eine subjektive Müdigkeitseinschätzung mit der Karolinska-Skala, Einschätzungen der subjektiven Ablenkung und Aktivierung durch die Warnung und der allgemeinen subjektiven Compliancewahrscheinlichkeit nach Müdigkeitswarnungen sowie Abfragen bezüglich der maximal tolerierten Pausenkosten, eventuell angewandter Wachhaltestrategien, Vorerfahrungen mit Müdigkeitswarnsystemen, Erfahrungen mit Sekundenschlaf und Unfällen beim Autofahren (s. 3.2.2.5).

Im Anschluss erfolgten das Debriefing über Zweck und Logik der Untersuchung und die Auszahlung der Aufwandsentschädigung. Eine zusammenfassende Darstellung des Versuchsablaufs liefert Abbildung 14⁴⁷. Im Mittel dauerte die Fahrt unter Müdigkeit in der Bedingung *geringe Zielentfernung* $M = 69.6$ min ($SD = 15.8$ min) und in der Bedingung *hohe Zielentfernung* $M = 80.4$ min ($SD = 13.1$ min). Der gesamte Versuch von der Begrüßung bis zur Verabschiedung nahm $M = 135.0$ min ($SD = 16.3$ min) bzw. $M = 146.2$ min ($SD = 14.6$ min) in Anspruch. Alle Daten wurden im Zeitraum von Anfang März bis Anfang Mai 2011 erhoben.

3.2.4 Hypothesen

Die Theorie der Schutzmotivation liefert kein exaktes mathematisches Modell, wie die relevanten kognitiven Einschätzungen bei der Formation der Schutzmotivation zusammenwirken und nach welchen Prinzipien sich die resultierende Motivation in Verhalten übersetzt, sondern postuliert lediglich, dass eine Zunahme auf bestimmten Einschätzungsvariablen und eine Abnahme auf anderen einen Anstieg der Schutzmotivation und der Wahrscheinlichkeit adaptiven Verhaltens zur Folge haben. Ebenso wenig sind die Gesetzmäßigkeiten bekannt, nach denen eine bestimmte Zu- oder Abnahme auf den Dimensionen Personalisierung der Warnung und Zielentfernung sich in veränderte Wahrnehmungen von Vulnerabilität etc. übersetzt.

⁴⁶ Desgleichen waren die Teilnehmer informiert, dass auch das vorübergehende Ausbleiben einer weiteren Warnung nicht als Anhaltspunkt zu werten sei, dass die Gefahr vorüber sei. Das System sei so eingestellt, dass eine Warnung frühestens nach 30 Minuten wiederholt werde.

⁴⁷ Die dort angegebenen Zeiten beziehen sich auf die Dauern, die vorab für die entsprechenden Versuchsteile maximal veranschlagt wurden.

Vor dem Hintergrund des Mangels an theoretischen oder empirischen Anhaltspunkten zur Konkretisierung eines komplexeren Modells und in Übereinstimmung mit dem Sparsamkeitsgrundsatz in der Modellbildung wird daher zunächst davon ausgegangen, dass die untersuchten Faktoren - einen grundsätzlichen Effekt vorausgesetzt - *gleichzeitig*⁴⁸ und *additiv* zur Ausprägung der jeweiligen Wahrnehmungen beitragen. Nach der gleichen Maßgabe wird bei der Entstehung der Schutzmotivation ein additives Zusammenwirken der PMT-Modellfaktoren (mit dem in der Theorie postulierten Vorzeichen) angenommen, das in beobachtbarem adaptivem Verhalten resultiert, wenn ein individueller Schwellenwert überschritten wird.

Auf der Grundlage dieser theoretischen Annahmen und der Überlegungen in 2.2.4.1 und 3.1 werden folgende Hypothesen aufgestellt:

I. Pausenhäufigkeit

- a) Haupteffekt Warnungstyp: Bei personalisierter Warnung (*eigenes Bild*) entscheiden sich mehr Fahrer für eine Pause als bei allgemeiner Warnung (*Kaffeetasse*).
- b) Haupteffekt Zielentfernung: Bei höherer Zielentfernung (*100 km*) entscheiden sich mehr Fahrer für eine Pause als bei geringerer Zielentfernung (*30 km*).

II. Subjektive Pausenwahrscheinlichkeit

- a) Haupteffekt Warnungstyp: Bei personalisierter Warnung (*eigenes Bild*) ist die subjektive Pausenwahrscheinlichkeit im Mittel höher als bei allgemeiner Warnung (*Kaffeetasse*).
- b) Haupteffekt Zielentfernung: Bei höherer Zielentfernung (*100 km*) ist die subjektive Pausenwahrscheinlichkeit im Mittel höher als bei geringerer Zielentfernung (*30 km*).

III. Subjektive Vulnerabilität

- a) Haupteffekt Warnungstyp: Bei personalisierter Warnung (*eigenes Bild*) ist die subjektive Vulnerabilität im Mittel höher als bei allgemeiner Warnung (*Kaffeetasse*).
- b) Haupteffekt Zielentfernung: Bei höherer Zielentfernung (*100 km*) ist die subjektive Vulnerabilität im Mittel höher als bei geringerer Zielentfernung (*30 km*).

IV. Maximal tolerierte Pausenkosten

Bezüglich der subjektiven Kosten, die für die Pausenoption maximal in Kauf genommen werden, macht die PMT keine expliziten Aussagen. Geht man allerdings von den Annahmen eines allgemeinen Erwartung-mal-Wert-Modells aus⁴⁹, sollten mit größerer subjektiver Vulnerabilität auch höhere Pausenkosten akzeptiert werden. Somit wird erwartet:

- a) Haupteffekt Warnungstyp: Bei personalisierter Warnung (*eigenes Bild*) werden im Mittel höhere Kosten für eine Pause toleriert als bei allgemeiner Warnung (*Kaffeetasse*).
- b) Haupteffekt Zielentfernung: Bei höherer Zielentfernung (*100 km*) werden im Mittel höhere Kosten für eine Pause toleriert als bei geringerer Zielentfernung (*30 km*).

⁴⁸ in Abgrenzung von der Vorstellung eines stufenweisen oder hierarchischen Prozesses

⁴⁹ Die Annahmen lauten: Für beide Optionen – Pause und Weiterfahren – wird ein SEU-Wert (*subjective expected utility*) bestimmt, in den jeweils Wahrscheinlichkeiten und subjektive Nutzen / Kosten verschiedener distaler Handlungsergebnisse (Bonus für sichere Zielankunft vs. Einbußen für Fahrfehler) *unter der Bedingung*, dass man sich für Option A oder B entscheidet, einfließen. Die bedingte Wahrscheinlichkeit, nach einer Pause sicher das Ziel zu erreichen, sollte als höher wahrgenommen werden als die entsprechende Wahrscheinlichkeit *ohne* Pause (und entsprechend umgekehrt für Fahrfehler). Laut Modell wird die Pausenoption dann gewählt, wenn $SEU_{\text{Pause}} > SEU_{\text{Weiterfahren}}$. Demnach ergibt sich im Falle höherer subjektiver Vulnerabilität (Fehlerwahrscheinlichkeit) ein größerer Kostenspielraum, in welchem die Pause immer noch als die bessere Option aus der Rechnung hervorgeht (s.a. Jungermann, Fischer & Pfister, 2010).

Laut Vorhersage des oben spezifizierten Modells, das von einer Additivität der Faktorwirkungen ausgeht, werden keine Interaktionswirkungen erwartet. Indes gibt es auch für die Additivitätsannahme keinen weiteren theoretischen Grund als den Sparsamkeitsgrundsatz, und ein derzeit noch nicht genauer spezifizierbares komplexeres Zusammenwirken der experimentellen Faktoren ist ebenso gut vorstellbar. Aus diesem Grund sollen die Interaktionseffekte jeweils explorativ mit untersucht werden.

Hinsichtlich der verbleibenden drei PMT-Variablen *Subjektiver Schweregrad der Schädigung*, *wahrgenommene Handlungswirksamkeit* und *Selbstwirksamkeit* werden keine Effekte der experimentellen Manipulation erwartet. Zur Kontrolle werden für diese Variablen Analysen analog zur Prüfung der Effekte auf die Vulnerabilität durchgeführt.

3.2.5 Stichprobe

3.2.5.1 Einschlusskriterien und Rekrutierung

Mit Blick auf eine gute Passung zwischen untersuchter Stichprobe und Zielpopulation und im Sinne interner und externer Versuchvalidität wurde eine Reihe von Merkmalen als Voraussetzung für die Teilnahme an der Untersuchung definiert (vergleiche Filtner et al., 2012; Horne & Reyner, 1996; Reyner & Horne, 1998a; Reyner & Horne, 2000). Teilnehmende Personen sollten regelmäßig Auto fahren (mindestens drei Stunden pro Woche) und seit mindestens zwei Jahren im Besitz eines Pkw-Führerscheins sein. Ausgangspunkt für den Erfolg der Schlafrestriktion war ein regelmäßiges Schlafverhalten. Aus diesem Grund wurden potentielle Teilnehmer vor der Untersuchung nach ihren üblichen Schlaf- und Wachzeiten befragt. Ausgeschlossen wurden Personen, deren übliche Schlafdauer weniger als sechs Stunden pro Nacht betrug oder die angaben, an mehr als drei Tagen in der Woche um mehr als eine Stunde von den angegebenen Zeiten abzuweichen. Auch die Einnahme von Medikamenten war ein Ausschlusskriterium. Abschließend war es erforderlich, dass die Teilnehmer bereit waren, in der Nacht vor dem Versuch ihre Schlafdauer einzuschränken und am Versuchstag auf Koffein und andere stimulierende Substanzen zu verzichten. Aus Gründen der Sicherheit verpflichteten sich die Interessenten, die An- und Abreise zum und vom Durchführungsort ausschließlich mit öffentlichen Verkehrsmitteln zu bewältigen, um nicht selbst unter Müdigkeit fahren zu müssen.

Die Ansprache potentieller Probandinnen und Probanden erfolgte über Aushänge auf dem Gelände der TU Berlin und über eine Anzeige auf <http://www.kleinanzeigen.ebay.de/>. Der Screeningfragebogen war online auf der Plattform <https://www.soscsurvey.de/> implementiert; Wortlaut und Layout sind in Anhang A.3.2 zu finden. Geeignete Personen wurden telefonisch oder per E-Mail kontaktiert.

3.2.5.2 Charakteristika

20 Frauen und 20 Männer im Alter von 20 bis 59 Jahren ($M = 32.5$, $SD = 12.4$) nahmen am Versuch teil. Alter und Geschlecht waren in den vier Experimentalgruppen ausbalanciert.

16 Personen waren schon einmal oder öfter verursachend an einem Unfall beteiligt. 2 Personen wiesen einen der Unfälle als müdigkeitsbedingt aus, beide gehörten zur Gruppe mit geringer Zielentfernung, je eine zur Gruppe mit personalisierter und unpersonalisierter Warnanzeige. Etwa die Hälfte der Teilnehmer ($N=21$) gab an, beim Autofahren schon einmal Sekundenschlaf erlebt zu haben. Diese Teilnehmer waren gleichmäßig auf die Gruppen mit unpersonalisierter und personalisierter Warnung verteilt. Bezüglich des Faktors Zielentfernung besteht insofern ein Ungleichgewicht, als jeweils mehr Teilnehmer in den zwei Experimentalgruppen mit geringer Zielentfernung über Sekundenschlafferfahrungen verfügten. Ein Chi-Quadrat-Test nach Pearson weist diesen Verteilungsunterschied als signifi-

kant aus ($\chi^2(1) = 4.31, p = .038$).

Von den 25 Teilnehmern, die schon einmal von Müdigkeitswarnsystemen gehört hatten, waren 2 bereits mit einem solchen System gefahren, niemand hatte jedoch eines in seinem eigenen Fahrzeug.

3.3 Ergebnisse

3.3.1 Voralysen

3.3.1.1 Subjektive Müdigkeit vor der Fahrt, zum Warnzeitpunkt und nach der Fahrt

In der Nacht vor dem Versuch unterzogen sich die Teilnehmer einer Schlafrestriktion; zudem erfolgte die Fahrt während des Nachmittagstiefs (s. 2.3.4). Einen Hinweis darauf, inwiefern diese Maßnahmen den gewünschten Erfolg – eine Stichprobe *müder* Autofahrer – erzielten, liefern die subjektiven Müdigkeitsbewertungen, die anhand der Karolinska Sleepiness Scale (Wertebereich von 0 – *sehr wach* – bis 8 – *sehr müde, große Probleme wach zu bleiben, mit dem Schlaf kämpfend*) für die Zeitpunkte *vor* und *nach der Fahrt* sowie für den *Warnungszeitpunkt* erhoben wurden.

Die mittlere subjektive Müdigkeit betrug vor der Fahrt $M = 5.21$ ($SD = 1.29$), nach der Fahrt $M = 5.55$ ($SD = 1.50$). Im Kontext der internen und externen Validität des Versuchsaufbaus besonders relevant ist die retrospektiv beurteilte subjektive Müdigkeit zum Zeitpunkt vor der Warnung, die im Mittel mit $M = 6.43$ ($SD = 1.06$) angegeben wurde. Ausgehend von dem Wert 4 als Mitte der Skala mit der Wortmarke *weder wach noch müde* zeigt sich damit, dass die Studienteilnehmer generell zum Warnzeitpunkt tatsächlich Müdigkeit verspürten. Hinsichtlich der Schwere dieser Müdigkeit in Bezug auf die Einschlafneigung kann noch differenziert werden: 12 Probanden wählten mit Skalenwert 6 die Einschätzung sich *müde* zu fühlen, *aber gleichzeitig keine Probleme mit dem Wachbleiben* zu haben. 4 Teilnehmer empfanden die zusätzliche Wortmarke *mit dem Schlaf kämpfend* (Skalenwert 8) als zutreffend, und bei der größten Gruppe – 18 Personen gaben den KSS-Wert 7 an – zeigte sich zusätzlich zu der Empfindung von Müdigkeit zumindest eine Tendenz zu Problemen sich wachzuhalten. Für 6 Personen lag die subjektive Müdigkeitsempfindung unterhalb des KSS-Wertes 6.

Es gab keine Unterschiede zwischen den Experimentalgruppen bezüglich der subjektiven Müdigkeitsausprägung zum Warnzeitpunkt (alle $F < 1$).

3.3.1.2 Müdigkeitsverläufe während der Fahrt und Überschreitung des warnungskritischen Wertes

Gemäß der TUBSS-Ratings, welche der Versuchsleiter im Abstand von 5 Minuten auf Basis einer einminütigen Videobeobachtung vornahm, erreichten genau 60 Prozent ($n = 24$) der 40 Teilnehmer vor Ablauf der maximal für die erste Fahrphase vorgesehenen Zeit von einer Stunde das Müdigkeitskriterium (mindestens Stufe 5), was die folgende Darbietung der Warnung veranlasste. Die gemessene Müdigkeit betrug dabei für die große Mehrheit der Fälle genau 5, *sehr müde mit Tendenz zu schläfrig*, wie der Mittelwert von $M = 5.08$ ($SD = 0.28$) zeigt.

In der Gruppe der übrigen 16 Personen, welche die Warnungsanzeige aufgrund des Zeitlimits erhielten, lag die mittlere Müdigkeit vor dem Warnzeitpunkt bei $M = 2.81$ ($SD = 0.83$), entsprach also in etwa der TUBSS-Stufe 3, die mit der Wortmarke *schläfrig* bezeichnet ist. Die Experimentalgruppen unterschieden sich nicht systematisch in der Häufigkeit der Kriteriumserreichung oder der mittleren Müdigkeit. Die TUBSS-Verlaufskurven aller Teilnehmer sind, geordnet nach den experimentellen Bedingungen, in Anhang B.1.1 wiedergegeben.

3.3.1.3 Bemerken und Verständnis der Warnanzeige

Alle Teilnehmer konnten korrekt berichten, welche Zielentfernung Ihnen mit der Müdigkeitswarnung zusammen präsentiert worden war. Auch das Warnsymbol gaben alle richtig an, mit Ausnahme einer Teilnehmerin aus der Gruppe mit der Standardwarnung, welche die Option „weiß ich nicht“ auswählte. In die berichteten Analysen wurden ihre Daten dennoch mit einbezogen (s.a. 4.3.1.3 und Diskussion in 4.4.1). Berechnungen unter Ausschluss des Datensatzes führten inferenzstatistisch zu vergleichbaren Ergebnissen.

3.3.1.4 Wahrnehmung von Außengeräuschen

Auf der Skala von 0 bis 9 zur Beurteilung der Wahrnehmung von Außengeräuschen gab die Mehrheit der Teilnehmerinnen und Teilnehmer Werte im niedrigen Bereich an ($n = 31$ für Werte von 0 bis 2; davon 22 „*habe keine Geräusche von außen wahrgenommen*“). Die Wertungen der verbleibenden Probandinnen und Probanden verteilen sich gleichmäßig auf die Skalenstufen von 3 bis 8. Der Mittelwert der Beurteilungen liegt bei $M = 1.45$ ($SD = 2.33$). Ein Kruskal-Wallis-Test zeigt keine signifikanten Unterschiede der Verteilung in Abhängigkeit der Zugehörigkeit zu einer der vier Experimentalgruppen, $H(3) = 3.20$, $p = .362$.

Demnach kann ein das Aktivationsniveau betreffender Einfluss von Störgeräuschen für die meisten Messungen ausgeschlossen werden. Dies deckt sich auch mit den Ergebnissen aus der Analyse der subjektiven Müdigkeit. In einzelnen Fällen trat eine mittlere bis hohe Wahrnehmung von Außengeräuschen auf. Obwohl ein leichter unerwünschter Effekt auf das resultierende absolute Müdigkeitsniveau innerhalb der gesamten Stichprobe nicht auszuschließen ist, bleibt der Vergleich der Wirksamkeit der experimentellen Faktoren davon unbenommen, da dieser im Fall seiner Existenz alle Experimentalgruppen im gleichen Maß betraf⁵⁰.

3.3.1.5 Müdigkeitsurteile für die Warnungsbilder in der Bedingung „personalisierte Warnung“

Die Hälfte der mit eigenem Bild gewarnten Teilnehmer nahm im Rahmen der retrospektiven Befragung eine Müdigkeitsbeurteilung ihres Warnungsbildes mit der KSS vor (je $n = 5$ für geringe vs. hohe Zielentfernung). Der Mittelwert der Bewertungen auf der Skala von 0 – *sehr wach* – bis 8 – *sehr müde, große Probleme wach zu bleiben, mit dem Schlaf kämpfend* lag bei $M = 7.30$ ($SD = 0.95$). Dies bestätigt, dass die ausgewählten Bilder prinzipiell ein hohes Potential hatten, die subjektive Vulnerabilität in Richtung einer pessimistischeren Einschätzung der eigenen Leistungsfähigkeit zu verändern.

3.3.2 Prüfung der Hypothesen

3.3.2.1 Allgemeines Vorgehen

Folgendes allgemeines Prozedere fand in der Auswertung beider Experimente Anwendung: Die inferenzstatistische Prüfung von Häufigkeitsunterschieden (*Pausenhäufigkeiten*) erfolgte anhand logistischer Regression. Zur Prüfung von Mittelwertsunterschieden (*PMT- und weitere Variablen*) wurden, auch bei gerichteter Formulierung der erwarteten Effekte von Zielentfernung und Warnungsgestaltung, ANOVAs durchgeführt, welche neben den Haupteffekten jeweils auch den explorativ analysierten Interaktionsterm einbezogen. Bei mehr als zwei Faktorstufen (*Experiment 2*) wurden signifikante Effekte mit bonferronikorrigierten Einzelvergleichen weiter analysiert. Für alle Varianzanalysen wurden die Daten auf Normalverteilung und Varianzhomogenität geprüft; Ergebnis-

⁵⁰ Allerdings würde ein solcher Effekt die Teststärke schmälern, da er die Fehlervarianz erhöhen würde.

se dieser Tests werden nur in Fällen berichtet, in denen eine Abweichung von den geforderten Voraussetzungen vorlag.

Numerische Gruppenmittelwerte und Standardabweichungen werden berichtet, sofern sie deskriptiv interessant erscheinen. Übersichten aller Mittelwerte, Standardabweichungen und Fallzahlen sowie der Statistiken zur Signifikanzprüfung sind in den Anhängen B.1.3 und B.2.4 zu finden. Zur Veranschaulichung der Wirkung der experimentellen Faktoren werden jeweils drei Fehlerbalkengrafiken mit den Gruppenmittelwerten, gesplittet nach (1) *Warnungstyp*, (2) *Zielentfernung* und (3) *Warnungstyp x Zielentfernung*, präsentiert.

Die kognitiven Einschätzungen nach der PMT wurden in Experiment 1 jeweils einzeln für die Ereignisse *Fahrfehler* und *Einnicken* erhoben. Die Resultate glichen sich weitestgehend, wobei für das Ereignis *Einnicken* meistens größere Varianzen auftraten. Aus Platzgründen beschränkt sich die Darstellung hier auf die *Fahrfehler*-Ergebnisse (für eine Übersicht aller Ergebnisse siehe Anhang B.1.3).

3.3.2.2 Zur Interpretation der statistischen Kennwerte

Inferenzstatistik liefert einen Weg, auf der Grundlage bestimmter Annahmen eine Wahrscheinlichkeit zu ermitteln, dass ein Stichprobeneffekt (also z. B. Gruppenunterschiede in der gefundenen Größe - oder noch größer) durch Zufall zustande kommt, obwohl in der Grundgesamtheit, aus der die Stichprobe stammt, kein solcher Effekt vorliegt. Als obere Grenze für die akzeptable Irrtumswahrscheinlichkeit bezüglich der Annahme der Alternativhypothese wird in den empirischen Sozialwissenschaften zumeist $\alpha = .05$ festgelegt. Da dieser Wert jedoch ein willkürlich gewähltes Kriterium ist, wird ein schematischer Umgang damit bei der Beurteilung der Bedeutsamkeit empirischer Testergebnisse vielfach kritisiert, und es werden verschiedene alternative Herangehensweisen vorgeschlagen (Loftus, 1993, 1996, 2009; Rasch, Hofmann, Friese & Naumann, 2010; Sedlmeier, 2009). Unter anderem können die anhand von Statistikprogrammen ohne zusätzlichen Aufwand zu ermittelnden empirischen p-Werte in die Ergebnisbeurteilung einbezogen werden. „So ist ein Mittelwertsunterschied mit $p = 0.06$ offensichtlich bedeutsamer als einer mit $p = 0.60$ “⁵¹ (Rasch et al., 2010, S. 58). Eine wichtige Rolle bei der Beurteilung der empirischen p-Werte spielen auch Überlegungen zur gewünschten Sensitivität vs. Spezifität des Tests: Wäre es im Zweifel schlimmer, einen in der Tat vorhandenen Effekt zu übersehen (β -Fehler) oder einen de facto nicht vorhandenen Effekt anzunehmen (α -Fehler)? Im Human-Factors-Bereich geht es oft darum zu beurteilen, ob eine Designvariante besser⁵² ist als eine andere. Vor diesem Hintergrund ist es - anders als in der Grundlagenforschung, in der die Allgemeingültigkeit von Theorien auf dem Prüfstand steht - hier zuweilen schwerwiegender, einen β -Fehler zu begehen, insbesondere in sicherheitskritischen Bereichen (Wickens, Gordon & Liu, 2004). Wenn es empirische Hinweise gibt, dass eine Gestaltungsvariante zu sichererem Verhalten beiträgt, wäre es gravierender, die Chance auf weniger Unfälle zu vergeben, indem geschlossenfolgert wird, beide Varianten seien „gleich wirksam“, weil die statistische Irrtumswahrscheinlichkeit $p > .05$ ist. Dies gilt um so mehr, wenn die verfügbare Anzahl von Testdurchführungen, also das Stichproben- n , ressourcenbedingt eingeschränkt ist (z. B. aufgrund der begrenzten Verfügbarkeit von Experten in einer bestimmten Domäne als Probanden oder limitiertem Zugang zu komplexer Testtechnik wie Simulatoren).

⁵¹ Oder, mit Rosnow und Rosenthal (1989, S.1277) ein wenig epischer formuliert, „[...] we only wish to emphasize that dichotomous significance testing has no ontological basis. [...] Can there be any doubt that God views the strength of evidence for or against the null as a fairly continuous function of the magnitude of p ?“ (erweitert zitiert nach Rasch et al., 2010)

⁵² effektiver, effizienter und / oder angenehmer zu nutzen

In diesem Kontext einer wünschenswerten hohen Sensitivität der Tests wird in der Auswertung der vorliegenden Studien nicht ausschließlich auf die Erfüllung oder Nichterfüllung des Signifikanzkriteriums von $\alpha < .05$ geachtet, sondern es wird auch Wert auf die Ergebnisse der graphischen Auswertung und die Frage nach der Replizierbarkeit von Befunden gelegt, um Hinweise auf deren Zufälligkeit vs. Reliabilität abzuleiten (vgl. Loftus, 1993, 1996; Sedlmeier, 2009).

3.3.2.3 Pausenhäufigkeit

Nur eine einzige Teilnehmerin entschied sich dafür, nach der Warnung eine Pause einzulegen. Diese Teilnehmerin gehörte zur Experimentalgruppe mit der höchsten erwarteten Pausenhäufigkeit, *personalisierte Warnung & hohe Zielentfernung*.

Aufgrund der äußerst seltenen Nutzung der Pausenoption durch die Probanden entziehen sich die Ergebnisse einer inferenzstatistischen Auswertung. Mögliche Gründe des weitestgehenden Verzichts auf Pausen werden in 3.4 diskutiert.

3.3.2.4 Subjektive Pausenwahrscheinlichkeit

Nach der auf Verhaltensebene beobachteten Pausenhäufigkeit stellt die subjektive Bereitschaft, im Fahrversuch nach der Warnung eine Pause einzulegen, die nächstwichtigste abhängige Variable dar, auf der sich Unterschiede in Abhängigkeit von Warnungsgestaltung und Zielentfernung manifestieren könnten. Insgesamt ist die von den Teilnehmern angegebene Wahrscheinlichkeit, nach der Systemmeldung zu pausieren, eher gering ($M_{ges} = 2.45$, $SD = 2.50$ auf der Skala von 0 – *nicht wahrscheinlich* bis 9 – *sehr wahrscheinlich*). Wie in Abbildung 15 nachzuvollziehen ist, hat die Art der Warnung keinen statistisch bedeutsamen Einfluss auf die Pausenintention ($M_{Kaff} = 2.35$, $SD = 2.54$; $M_{Bild} = 2.55$, $SD = 2.52$; $F(1,36) = 0.06$, $p = .798$). Zwischen den Stufen des Faktors Zielentfernung zeigt sich ein deskriptiver Mittelwertsunterschied in der erwarteten Richtung ($M_{30km} = 1.85$, $SD = 1.69$; $M_{100km} = 3.05$, $SD = 3.03$), der jedoch bei einer angestrebten Irrtumswahrscheinlichkeit von $p < .05$ nicht signifikant ist ($F(1,36) = 2.39$, $p = .131$). Auch der Interaktionseffekt ist in diesem Sinne nicht statistisch bedeutsam ($F(1,36) = 2.01$, $p = .165$).

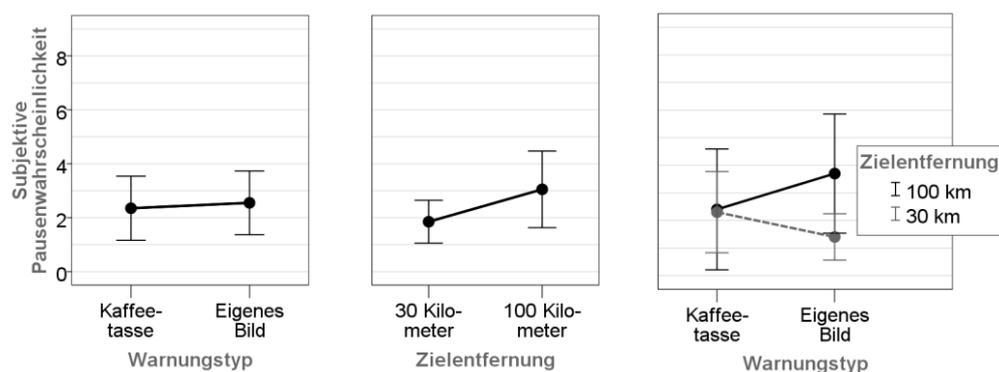


Abbildung 15. Mittlere subjektive Wahrscheinlichkeit, nach der Warnmeldung im Experiment eine Pause einzulegen. Links: Haupteffekt des Warnungstyps, Mitte: Haupteffekt der Zielentfernung, rechts: Interaktionseffekt. Fehlerbalken stellen 95%-Konfidenzintervalle dar.

3.3.2.5 Subjektive Vulnerabilität

Bezüglich der in der Theorie der Schutzmotivation benannten kognitiven Einschätzungen, welche die Warnungswirksamkeit medieren, wurde vermutet, dass die wahrgenommene Gefährdung der Aspekt sei, auf den sowohl die Warnungsgestaltung als auch das Situationsmerkmal Nähe zum Ziel die unmittelbarste Wirkung haben.

Abbildung 16 zeigt die Mittelwerte der retrospektiv erhobenen subjektiven Vulnerabilität für Fahrfehler zum Zeitpunkt nach der Müdigkeitswarnung. Die wahrgenommene Gefährdung liegt insgesamt im eher niedrigen bis mittleren Bereich ($M_{ges} = 3.88$, $SD = 2.441$ auf der Skala von 0 – gar nicht gefährdet bis 9 – sehr stark gefährdet). Beim Vergleich der beiden Warnungstypen offenbart sich auf deskriptiver Ebene ein Unterschied in der erwarteten Richtung: Im Mittel gaben die Teilnehmer, die ihr eigenes Bild gesehen hatten, um einen Skalenpunkt höhere Vulnerabilitätswerte an als die Teilnehmer aus der Gruppe mit dem herkömmlichen Warnsymbol ($M_{Bild} = 4.35$, $SD = 2.207$; $M_{Kaff} = 3.40$, $SD = 2.624$). Vor dem Hintergrund der innerhalb der Gruppen vorhandenen Varianz ist dieser Unterschied jedoch nicht statistisch bedeutsam ($F(1,36) = 1.57$, $p = .218$). Ein ganz ähnliches Muster zeigt sich beim Vergleich der Stufen des Faktors Zielentfernung. Die Gruppe mit hoher Zielentfernung zum Warnzeitpunkt schätzte sich insgesamt als anfälliger für Fahrfehler ein als die Gruppe, die nur noch eine geringe Distanz bis zum Ziel zurückzulegen hatte ($M_{30km} = 3.40$, $SD = 2.326$; $M_{100km} = 4.35$, $SD = 2.519$), jedoch verfehlt auch dieser Effekt eine statistische Signifikanz ($F(1,36) = 1.57$, $p = .218$). Bei Betrachtung der Wechselwirkung zwischen Warnsymbol und Entfernung detailliert sich das deskriptive Muster der Kennwerte weiter: Während in der Kaffeetasse-Gruppe die wahrgenommene Anfälligkeit für Fahrfehler bei geringer Zielentfernung niedriger ausgeprägt ist ($M_{Ka30} = 2.50$, $SD = 2.321$; $M_{Ka100} = 4.30$, $SD = 2.710$), liegt sie in der Eigenes-Bild-Gruppe bei geringer Distanz zum Ziel ebenso hoch wie bei höherer Zielentfernung ($M_{Bi30} = 4.30$, $SD = 2.058$; $M_{Bi100} = 4.40$, $SD = 2.459$). Jedoch lässt die Datenlage auch für diesen Interaktionseffekt eine Generalisierung der Stichprobenergebnisse auf die Population nicht zu ($F(1,36) = 1.26$, $p = .270$).

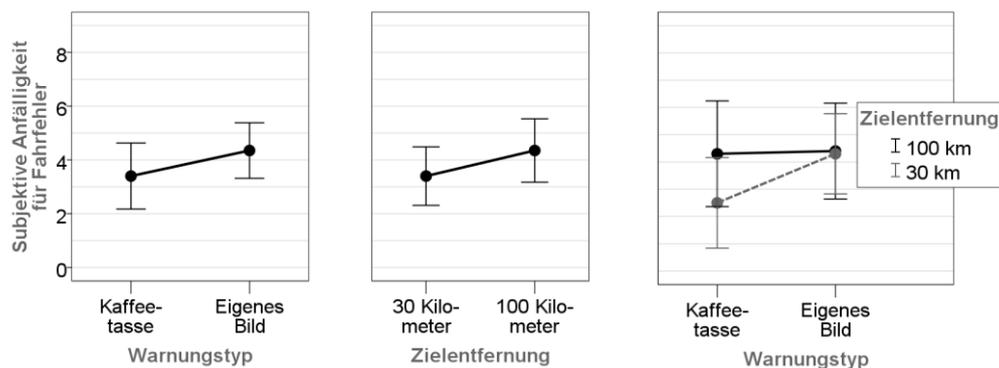


Abbildung 16. Mittlere nach der Warnmeldung wahrgenommene Gefährdung, einen Fahrfehler zu begehen und den Zielbonus zu verlieren. Links: Haupteffekt des Warnungstyps, Mitte: Haupteffekt der Zielentfernung, rechts: Interaktionseffekt. Fehlerbalken stellen 95%-Konfidenzintervalle dar.

3.3.2.6 Maximal tolerierte Pausenkosten

Wie in Abschnitt 3.2.2.6 ausführlicher dargestellt wurde, war es insbesondere zur Bewertung der gewählten Anreizkonstellation im Rahmen des Fahrsimulationsparadigmas interessant, eine subjektive Obergrenze für die akzeptierten Kosten einer Pause zu ermitteln, jenseits derer die Teilnehmer unter keinen Umständen anhalten würden. Neben dem Vergleich dieses Schwellenwerts mit den tatsächlichen Pausenkosten steht auch zu untersuchen, ob die experimentellen Bedingungen möglicherweise zu Unterschieden in der pausenbezogenen Investitionsbereitschaft führen.

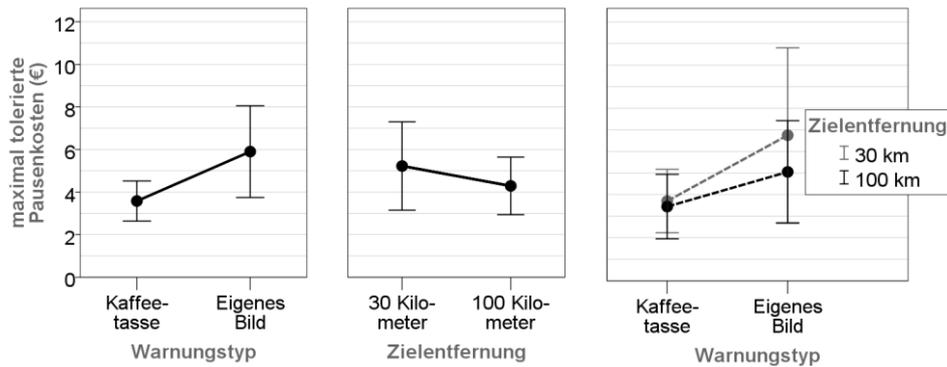


Abbildung 17. Mittelwerte der tolerierten Höchstkosten einer Pause im Fahrversuch (unter Einbezug eines statistischen Extremwerts). Links: Haupteffekt des Warnungstyps, Mitte: Haupteffekt der Zielentfernung, rechts: Interaktionseffekt. Fehlerbalken stellen 95%-Konfidenzintervalle dar.

39 Personen machten diesbezügliche Angaben in der Nachbefragung. Der Gesamtmittelwert der akzeptierten Maximalkosten liegt knapp unter dem Betrag von 5 €, der im Fahrversuch für eine Pause von der Entschädigung abgezogen worden wäre, wobei eine relativ hohe Streuung der individuellen Werte zu beobachten ist ($M_{ges} = 4.77$, $SD = 3.711$). Deskriptiv zeigt sich ein interessanter Unterschied in Abhängigkeit von der Warnungsgestaltung: In der Gruppe mit der personalisierten Warnung liegt nicht nur der Mittelwert um etwa 2 € höher, die Angaben streuen auch über einen weiteren Bereich ($M_{Bild} = 5.90$, $SD = 4.601$; $M_{Koff} = 3.58$, $SD = 1.953$; vergleiche Abbildung 17). Dies bleibt auch wahr, wenn ein statistischer Extremwert (liegt mehr als das Dreifache des oberen Quartils vom Median entfernt, in Gruppe *Bild & 30km*) von 20 € aus der Analyse ausgeschlossen wird ($M_{Bild} = 5.16$, $SD = 3.275$; vergleiche Abbildung 18). Während in der *Kaffeetasse*-Gruppe 10 Personen bereit sind, die geforderten 5 € oder mehr auszugeben (genau 5 €: $n = 9$, 7 €: $n = 1$), sind dies in der Gruppe *Eigenes Bild* 14 Personen, von denen die Hälfte auch mehr als den Ankerwert investieren würde (7 €: $n = 1$, 8 €: $n = 1$, 10 €: $n = 4$, 20 €: $n = 1$). Inferenzstatistisch verfehlt der Effekt der Warnungsgestaltung das Signifikanzniveau, es bleibt aber anzumerken, dass die errechnete Irrtumswahrscheinlichkeit relativ gering ist ($F(1,35) = 4.045$, $p = .052$ bei Inklusion des Extremwertes⁵³ bzw. $F(1,34) = 3.125$, $p = .086$ bei dessen Ausschluss⁵⁴.) Auch beim Vergleich der Zielentfernungsgruppen ist deskriptiv ein kleiner Mittelwertsunterschied festzustellen ($M_{30km} = 5.23$, $SD = 4.432$; $M_{100km} = 4.29$, $SD = 2.805$), der jedoch bei Ausschluss des Extremwerts ebenso wie die tendenziell höhere Varianz in der Gruppe mit geringer Zielentfernung verschwindet ($M_{30km} = 4.45$, $SD = 2.832$). In keinem Fall ist von einer statistischen Signifikanz auszugehen ($F(1,35) = 0.714$, $p = .404$ bzw. $F(1,34) = 0.072$, $p = .790$). Auch die visuell auszumachende Andeutung eines Interaktionseffekts in Abbildung 17 geht, wie Abbildung 18 deutlich zeigt, lediglich auf den einen extremen Wert zurück; es gibt keine signifikante Wechselwirkung der Faktoren ($F(1,35) = .389$, $p = .537$ bzw. $F(1,34) = .000$, $p = .988$).

⁵³ unter Verletzung der Annahme gleicher Varianzen in den Warnungsgruppen, $F(1,37)=4.81$, $p = .035$

⁵⁴ und bei erfüllter Varianzhomogenitätsannahme, $F(1,36)=2.28$, $p = .140$

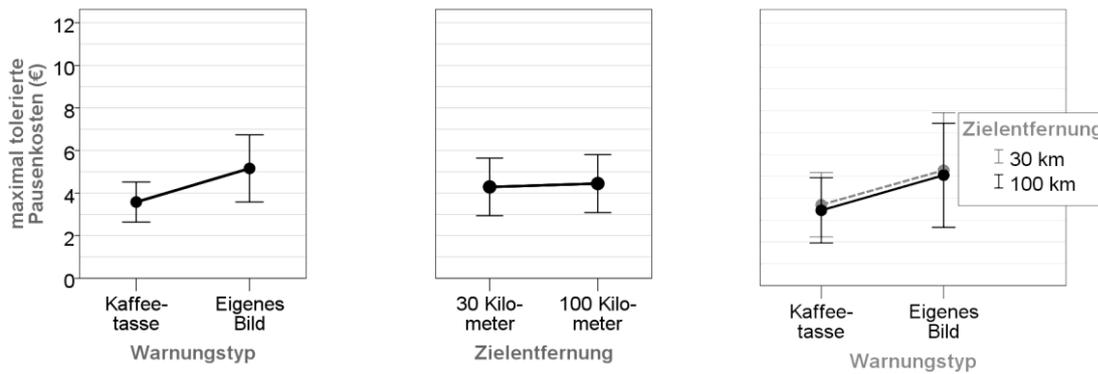


Abbildung 18. Mittelwerte der tolerierten Höchstkosten einer Pause im Fahrversuch (unter Ausschluss des statistischen Extremwerts). Links: Haupteffekt des Warnungstyps, Mitte: Haupteffekt der Zielentfernung, rechts: Interaktionseffekt. Fehlerbalken stellen 95%-Konfidenzintervalle dar.

3.3.3 Analyse der verbleibenden PMT-Variablen

3.3.3.1 Subjektiver Schweregrad der Schädigung

Im Rahmen der Theorie der Schutzmotivation sollten weder die Personalisierung der Warnung noch die verbleibende Restdistanz zum Warnungszeitpunkt einen Einfluss darauf ausüben, wie schwerwiegend oder *schlimm* den Teilnehmern die Aussicht erschien, aufgrund eines müdigkeitsbedingten Lapsus den Zielbonus zu verlieren.

Abbildung 19 gibt die Gruppenmittelwerte des auf Fahrfehler bezogenen wahrgenommenen Schweregrads der Schädigung wieder. Bezüglich des Haupteffekts der Warnungsgestaltung scheint sich die Vermutung zu bestätigen: Sowohl augenscheinlich als auch nach inferenzstatistischer Maßgabe sind die Mittelwerte für die beiden Warnsymbol-Gruppen nahezu gleich ($M_{Bild} = 3.90$, $SD = 2.382$; $M_{Kaff} = 3.35$, $SD = 2.641$; $F(1,36) = 0.52$, $p = .475$). Etwas anders verhält es sich, wenn man die Stichprobenmittel getrennt nach der jeweiligen Zielentfernung betrachtet: Ist diese hoch, wird die Aussicht einer Entlohnungseinbuße offenbar als tragischer empfunden ($M_{100km} = 4.45$, $SD = 2.799$; $M_{30km} = 2.80$, $SD = 2.042$). Dieses Muster, das dem der Vulnerabilitätsdimension ähnelt, weist sogar statistische Signifikanz auf ($F(1,36) = 4.69$, $p = .037$). Auch in der Wechselwirkung der beiden experimentellen Faktoren zeigt sich auf deskriptiver Ebene ein ähnliches Muster wie bereits zuvor bei der Vulnerabilität. In der Gruppe mit der Kaffeetasse als Warnsymbol wird ein möglicher Wegfall des Bonus im Mittel bei geringer Zielentfernung als weniger schwerwiegend beurteilt ($M_{Ka30} = 2.20$, $SD = 1.989$) als bei noch weiter entferntem Ziel ($M_{Ka100} = 4.50$, $SD = 2.799$). Dieser Unterschied findet sich auch in der *Bild*-Gruppe, ist dort allerdings dadurch verringert, dass ein Bonusausfall auch bei geringer Zielentfernung als etwas schwerwiegender wahrgenommen wird ($M_{Bi30} = 3.40$, $SD = 2.011$). Alle, die die Information erhielten, noch relativ weit fahren zu müssen, empfanden den möglichen Ausfall als gleichermaßen gravierend, unabhängig von der Warnungsgestaltung ($M_{Bi100} = 4.40$, $SD = 2.716$). Wie bei der Vulnerabilität ist aber auch für dieses Interaktionsmuster die Wahrscheinlichkeit, dass es ein zufälliges Ergebnis ist, zu hoch, um es als statistisch signifikant anzusehen ($F(1,36) = 0.73$, $p = .399$).

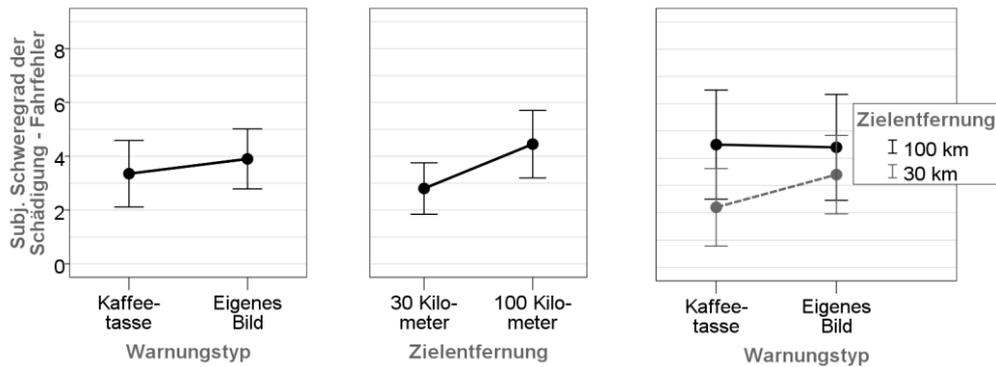


Abbildung 19. Mittlerer nach der Warnmeldung wahrgenommener Schweregrad der Schädigung im Fall eines Fahrfehlers und entsprechenden Verlusts des Zielbonus. Links: Haupteffekt des Warnungstyps, Mitte: Haupteffekt der Zielentfernung, rechts: Interaktionseffekt. Fehlerbalken stellen 95%-Konfidenzintervalle dar.

3.3.3.2 Subjektive Handlungswirksamkeit

Im Fahrversuch bezieht sich die subjektive Handlungswirksamkeit gemäß der PMT auf die wahrgenommene Effektivität einer Pause, Müdigkeit zu bekämpfen und so das Fehlerrisiko zu mindern. Diese wurde in der retrospektiven Befragung erhoben als Prozentsatz, um den sich nach Wahrnehmung der Teilnehmer durch eine Pause die Wahrscheinlichkeit eines Fahrfehlers reduziert hätte. Die Gruppenmittelwerte dieser Variablen sind in Abbildung 20 dargestellt.

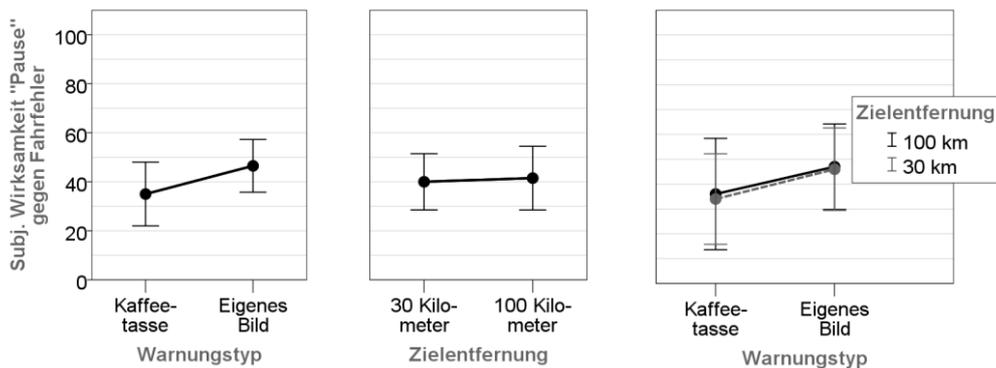


Abbildung 20. Mittlere wahrgenommene Reduktion der Wahrscheinlichkeit eines Fahrfehlers durch eine Pause im Fahrversuch. Links: Haupteffekt des Warnungstyps, Mitte: Haupteffekt der Zielentfernung, rechts: Interaktionseffekt. Fehlerbalken stellen 95%-Konfidenzintervalle dar.

Insgesamt bewegen sich die Werte im mittleren Bereich ($M_{ges} = 40.75$, $SD = 25.858$), was angesichts der Tatsache, dass es sich um eine potentielle Risikoreduktion handelt, beachtlich ist. Hinsichtlich der Warnungsgestaltung liegt die wahrgenommene Pausenwirksamkeit in der Gruppe mit der personalisierten Warnung um etwa 10% höher als in der Gruppe mit dem Kaffeetassensymbol ($M_{Bild} = 46.50$, $SD = 23.005$; $M_{Kaff} = 35.00$, $SD = 27.815$); in Anbetracht der hohen interindividuellen Varianz ist dieser Effekt jedoch nicht statistisch signifikant ($F(1,36) = 1.93$, $p = .174$). Darüber hinaus zeigen sich hypothesenkonform weder beim Vergleich der Zielentfernungsgruppen noch bei Betrachtung der Wechselwirkung der Faktoren nennenswerte Unterschiede in der Beurteilung der Handlungswirksamkeit ($F < 1$ für beide Effekte).

3.3.3.3 Situative Selbstwirksamkeit

Als letzte kognitive Einschätzung im Sinne der PMT wurde in der retrospektiven Befragung erhoben, wie stark die Teilnehmer nach der Warnmeldung das Empfinden hatten, die Entscheidung über Pause oder Weiterfahren selbst in der Hand zu haben. Eine starke Überzeugung, das empfohlene Verhalten ausführen zu können, ist eine wichtige Voraussetzung für dessen tatsächliche Umsetzung. Unterschiede zwischen den experimentellen Bedingungen sollten theoretisch nicht auftreten.

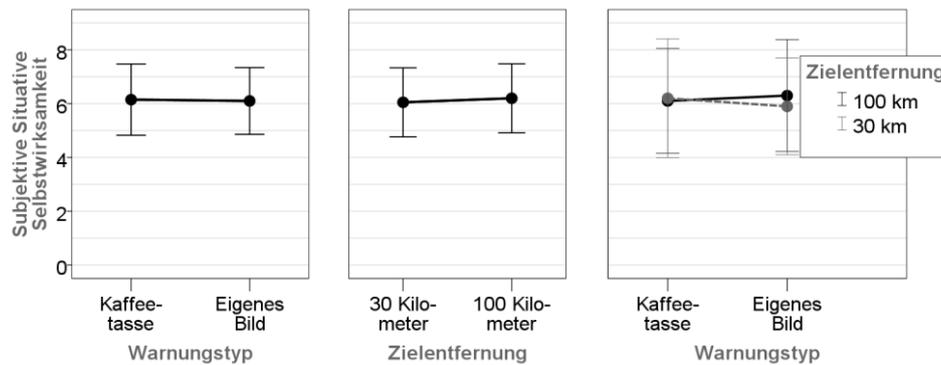


Abbildung 21. Mittlere wahrgenommene Fähigkeit, nach der Warnmeldung eine Pause einzulegen. Links: Haupteffekt des Warnungstyps, Mitte: Haupteffekt der Zielentfernung, rechts: Interaktionseffekt. Fehlerbalken stellen 95%-Konfidenzintervalle dar.

Wie Abbildung 21 illustriert, lag die situative Selbstwirksamkeit insgesamt im oberen Skalenbereich ($M_{ges} = 6.13$, $SD = 2.710$ auf der Skala von 0 – gar nicht bis 9 – sehr stark). Das Muster der Mittelwerte stützt ebenso wie die Ergebnisse der ANOVA die Vorstellung, dass keiner der experimentellen Faktoren die Selbstwirksamkeit systematisch beeinflusst ($F < 0.1$ für alle Effekte).

3.3.4 Weitere Analysen

3.3.4.1 Allgemeine Subjektive Pausenwahrscheinlichkeit

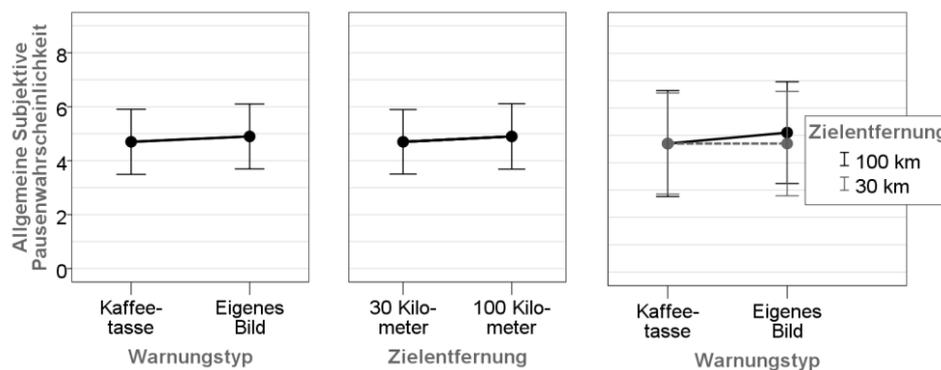


Abbildung 22. Mittlere subjektive Wahrscheinlichkeit, in der Realität nach einer Kfz-Müdigkeitswarnung eine Pause einzulegen. Links: Haupteffekt des Warnungstyps, Mitte: Haupteffekt der Zielentfernung, rechts: Interaktionseffekt. Fehlerbalken stellen 95%-Konfidenzintervalle dar.

Anhand der Angaben der Teilnehmer auf dieser explorativ mit in den Fragebogen aufgenommenen Skala kann analysiert werden, inwiefern die Erfahrung in der spezifischen und simulierten Fahrsituation Auswirkungen auf die generelle Bereitschaft hat, in realen Fahrsituationen nach Müdigkeitswarnungen zu pausieren. Während für die spezifische Situation zumindest auf deskriptiver Ebene

Mittelwertsunterschiede zwischen einigen Gruppen zutage treten, liegt die generelle Bereitswilligkeit zu Pausen insgesamt auf einem höheren Niveau, jedoch völlig indifferent bezüglich der erlebten experimentellen Bedingung, im mittleren Skalenbereich ($M_{ges} = 4.80$, $SD = 2.54$ auf der Skala von 0 – nicht wahrscheinlich bis 9 – sehr wahrscheinlich; $F < 1$ für alle Effekte; vergleiche Abbildung 22).

3.3.4.2 Subjektive Aktivierung durch die Warnung

36 Teilnehmer machten in der retrospektiven Befragung Angaben dazu, wie stark sie sich durch die Warnung aktiviert fühlten (Gruppenkennwerte in Abbildung 23). Die insgesamt hohen Werte zeugen davon, dass die meisten davon einen deutlichen Effekt der Warnung auf ihren momentanen Wachheitsgrad verspürten ($M_{ges} = 6.42$, $SD = 2.632$ auf der Skala von 0 – gar nicht aktivierend bis 9 – stark aktivierend).

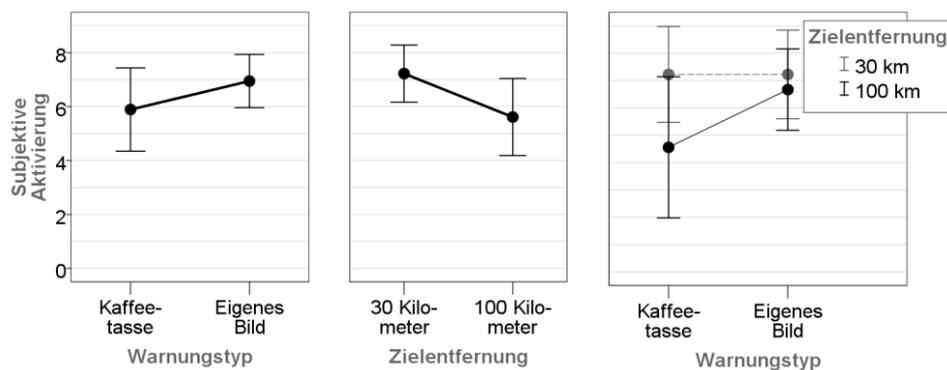


Abbildung 23. Mittlere subjektive Aktivierung durch die Warnung. Links: Haupteffekt des Warnungstyps, Mitte: Haupteffekt der Zielentfernung, rechts: Interaktionseffekt. Fehlerbalken stellen 95%-Konfidenzintervalle dar.

Im Vergleich der Warnungsdesigngruppen weist die *Kaffeetasse*-Gruppe einen geringeren Mittelwert auf ($M_{Kaff} = 5.89$, $SD = 3.104$; $M_{Bild} = 6.94$, $SD = 1.984$), der mit einer größeren Heterogenität der Urteile einhergeht (während von den Teilnehmern, die eine personalisierte Warnung gesehen hatten, nur zwei Personen Werte im unteren (< 4.5) Skalenbereich wählten, waren es sechs in der Gruppe mit dem allgemeinen Warnsymbol). Inferenzstatistisch ist der Effekt der Warnungsgestaltung nicht signifikant ($F(1,32) = 1.626$, $p = .211^{55}$). Eine relativ geringe Irrtumswahrscheinlichkeit besteht bezüglich der Generalisierbarkeit des Effekts der Zielentfernung ($F(1,32) = 3.788$, $p = .060$). Bei höherer zurückgemeldeter noch zu bewältigender Distanz bis zum Ziel wird der aktivierende Effekt der Warnung deutlich geringer eingeschätzt, als wenn nur noch wenige verbleibende Kilometer angezeigt wurden. Eventuell relativieren die Teilnehmer die erlebte Aktivierung und deren Dauer an den Anforderungen der noch zu absolvierenden Fahrt (s. 3.4.3).

Betrachtet man die Mittelwerte für alle vier Faktorstufenkombinationen, scheint dieser Abwertungseffekt bei langer Restdistanz exklusiv in der Gruppe mit unpersönlicher Warnmeldung aufzutreten ($M_{Ka100} = 4.56$, $SD = 3.358$; $M_{Ka30} = 7.22$, $SD = 2.279$). Bei personalisierter Warnung wird die Aktivierung durch die Warnung auch bei langer verbleibender Fahrstrecke fast ebenso stark eingeschätzt wie bei kürzerer Zieldistanz ($M_{Bi100} = 6.67$, $SD = 1.936$; $M_{Bi30} = 7.22$, $SD = 2.108$). Allerdings ist die interindividuelle Varianz hoch, insbesondere in der Gruppe mit geringer Zielentfernung und allge-

⁵⁵ Ein Levene-Test zeigt signifikante Varianzunterschiede zwischen den Experimentalgruppen ($F(1,34) = 8.025$, $p = .008$ für die Warnungsgruppen, $F(1,32) = 3.589$, $p = .024$ für alle Faktorstufenkombinationen), aufgrund gleicher Gruppengrößen wird aber von reliablen F-Werten ausgegangen (vgl. Field, 2009).

meinem Warnsymbol, so dass Zweifel an der Systematik dieses Interaktionsergebnisses nicht ausgeräumt werden können ($F(1,32) = 1.626, p = .211$).

3.3.4.3 Subjektive Ablenkung durch die Warnung

Für die hier betrachteten „weiteren Analysen“ wurden keine expliziten Hypothesen formuliert, so auch nicht bezüglich der subjektiven Ablenkungswirkung der Warnung. Eine mögliche Vermutung könnte aber lauten, dass ein Porträt der eigenen Person die Aufmerksamkeit stärker fesseln und damit stärker von der Fahraufgabe ablenken könnte als ein allgemeines Warnsymbol wie eine Kaffeetasse. Abbildung 24 zeigt die Gruppenmittelwerte des entsprechenden Items aus der retrospektiven Befragung.

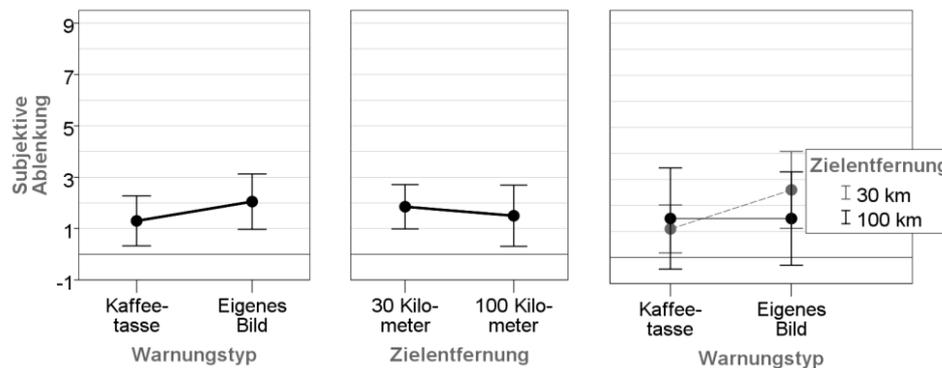


Abbildung 24. Mittlere subjektive Ablenkung durch die Warnanzeige. Links: Haupteffekt des Warnungstyps, Mitte: Haupteffekt der Zielentfernung, rechts: Interaktionseffekt. Fehlerbalken stellen 95%-Konfidenzintervalle dar.

Insgesamt schätzen die Teilnehmer die Warnanzeigen als relativ wenig beeinträchtigend in Bezug auf das Fahren ein ($M_{ges} = 1.68, SD = 2.200$ auf der Skala von 0 - gar nicht ablenkend bis 9 – stark ablenkend, $n=40$). Tatsächlich ist die empfundene Ablenkung in der Gruppe *eigenes Bild* im Mittel etwas höher als in der Gruppe mit dem Kaffeetassensymbol ($M_{Kaff} = 1.30, SD = 2.080; M_{Bild} = 2.05, SD = 2.305$); relativ zur Varianz innerhalb der Gruppen ist dieser Effekt aber nicht signifikant ($F(1,36) = 1.149, p = .291$). Die Zielentfernung zeigt keinen systematischen Einfluss auf den Grad der subjektiven Ablenkung durch die Warnung ($F(1,36) = 0.250, p = .620$), und auch der Interaktionseffekt ist nicht signifikant ($F(1,36) = 1.149, p = .291$), auch wenn bei personalisierter Warnung der Mittelwert der Gruppe mit kurzer Zieldistanz etwas höher liegt als in den anderen Gruppen.

3.3.4.4 Wachhaltestrategien

Im Rahmen der schriftlichen Nachbefragung wurden die Teilnehmer auch gebeten, kurz zu beschreiben, mit welchen Maßnahmen oder Verhaltensweisen sie während der Fahrt versucht hatten, ihrer Müdigkeit entgegenzuwirken und sich wach zu halten. Alle 40 Teilnehmer machten dazu Angaben, üblicherweise stichwortartig im Stil von „über schöne / interessante Dinge nachgedacht, Sitzposition gewechselt“, „abwechselnd auf Straße, Fahrbahnrand, Umgebung und Armatur geschaut, häufiges Augenzwinkern“, „bestimmte Lieder ‚im Ohr gehabt‘“ oder „ans Ziel gedacht“. Eine vollständige Aufstellung aller Antworten ist in Anhang B.1.2 zu finden.

Zur inhaltlichen Exploration und Systematisierung der angewandten Wachhaltestrategien wurde eine qualitative Inhaltsanalyse (Mayring, 2007) durchgeführt, woran anschließend explorativ untersucht wurde, ob sich strategiebedingte Unterschiede in der Fahrleistung abzeichneten⁵⁶.

3.3.4.4.1 Inhaltliche Erfassung und Kategorisierung der berichteten Maßnahmen

Tabelle 3. Kategorien von Wachhaltestrategien nach der ersten Reduktion.

1	Bewegen des Oberkörpers	23	Zählen der Streckenposten
2	Bewegen der Beine	24	Zählen von Pfeilern/Bäumen/Felsen
3	Bewegen der Hände	25	Nachdenken
4	Bewegen der Füße	26	Konzentration
5	Bewegen des Kopfes	27	Gedanke an Musik
6	Bewegen der Arme	28	Nachdenken über Schönes
7	Bewegen, nicht näher spezifiziert	29	Nachdenken über vergangenen und kommenden Tag
8	Aufreißen der Augen	30	Aufsagen von Gedichten im Kopf
9	Blickbewegung	31	Grummeln
10	Kneifen in den Oberschenkel	32	Pfeifen
11	Kratzen des Oberschenkels	33	Schauen aus dem Auto
12	Reiben der Augen	34	Selbstgespräche
13	tiefes Atmen	35	Singen
14	Ziehen an den Haaren	36	Summen
15	Zwinkern	37	Sich Figuren aus der Landschaft vorstellen
16	Wahrnehmung körperlicher Reize	38	Gedanke ans Geld
17	Druck unter den Augen	39	Gedanke ans Ziel
18	Abschätzen der verbleibenden Fahrtdauer	40	Konzentration auf die Fahrt
19	Abschätzen der vergangenen Fahrtdauer	41	Ehrgeiz
20	Kopfrechnen	42	Selbstinstruktion
21	Problemlösung im Kopf	43	Vermeidung des Gedankens an Wachheit
22	Zählen (im Kopf)		

Das erste Analyseziel war es, einen Überblick über die Art der verwendeten Maßnahmen zu gewinnen. Zu diesem Zweck wurden anhand des von Mayring (2007) empfohlenen Vorgehens für die *zusammenfassende Inhaltsanalyse* anhand von mehreren Abstraktionsschritten aus dem vorhandenen Material induktiv Kategorien gebildet. Hierbei werden die wörtlichen Angaben zunächst *paraphrasiert* – nach Streichung aller nicht inhaltstragenden Textbestandteile (z. B. ausschmückende, wiederholende, verdeutlichende Wendungen) werden alle Aussagen auf eine einheitliche Sprachebene und in eine grammatikalische Kurzform transformiert – und auf einem zunächst geringeren Abstraktionsniveau *generalisiert*. Im Rahmen einer *ersten Reduktion* werden bedeutungsgleiche Paraphrasen gestrichen und auf einem höheren Generalisierungsniveau nur solche Phrasen übernommen, welche auch auf diesem Niveau noch als zentral inhaltstragend erachtet werden. In der *zweiten Reduktion* werden Paraphrasen nochmals gebündelt und inhaltlich weiter zusammengefasst.

⁵⁶ Die Analysen wurden im Rahmen einer durch die Autorin dieser Dissertation angeleiteten Arbeit durch B.Sc. Christine Weidner durchgeführt (Weidner, 2013).

Mayring empfiehlt, einen Teil des vorhandenen Materials aus der Konstruktion der Kategorien zunächst auszuschließen und nach Sichtung von 10-50% der Daten die bis dato erstellten Klassen anhand des bisher nicht verwendeten Materials einer logischen Revision zu unterziehen. Aufgrund des relativ geringen Umfangs des hier vorhandenen Materials wurde diese Empfehlung so umgesetzt, dass die induktive Kategoriebildung anhand der Daten aus dem später berichteten Experiment 2 und die logische Überprüfung anhand der Daten aus Experiment 1 vollzogen wurden.

Die Antworten aus Experiment 2 erbrachten nach der Paraphrasierung und Generalisierung insgesamt 150 Analyseeinheiten (Beispiele: „Strecken“, „tiefes Atmen“, „Pfeifen“, „Selbstgespräche“, „Berechnen der Fahrdauer bei unterschiedlichen Geschwindigkeiten“, „Gedanke ans Geld“ etc., siehe auch Anhang B.2.2). Nach alphabetischer Sortierung und Streichung von Dopplungen wurden die verbliebenen Einheiten nach Themen sortiert und dann im Zuge der *Ersten Reduktion* weiter abstrahiert (z. B. wurden „Änderung der Beinstellung“, „Bewegen des Knies“ und „Strecken der Beine“ zu „Bewegung der Beine“ zusammengefasst, siehe auch Anhang B.2.3). Die resultierenden 43 Kategorien sind in Tabelle 3 aufgeführt.

Nach Durchführung der *zweiten Reduktion* gemäß denselben Prinzipien verblieben 5 inhaltliche Kategorien: 1) Bewegung, 2) sensorische Stimulation, 3) geistige Problemlösung, 4) hedonistische geistige Beschäftigung und 5) Selbstmotivierung, welche in Tabelle 4 näher erläutert werden.

Die ebenfalls dort notierten Prozentwerte repräsentieren die relativen Häufigkeiten, mit denen Teilnehmer des ersten Experiments berichteten, mindestens eine Strategie aus der jeweiligen Kategorie angewandt zu haben. Die Anteile der genutzten Strategien bezogen auf alle Nennungen sind in Abbildung 25 (S. 91) dargestellt. Am häufigsten kam *Bewegung* vor; etwa die Hälfte aller untersuchten Fahrer gab an, auf diese Strategie zurückgegriffen zu haben. An zweiter Stelle lag *hedonistische geistige Beschäftigung*; etwas mehr als ein Drittel der Probanden versuchte mit solchen Aktivitäten der Müdigkeit entgegenzuwirken. *Problemlösen*, *sensorische Stimulation* und *Selbstmotivierung* kamen bei jeweils einem Fünftel bis einem Viertel der Fahrer zum Einsatz. Wie aus diesen Anteilen ersichtlich ist, wurden zum Teil auch Maßnahmen aus mehr als einer Kategorie kombiniert eingesetzt. Die meisten Fahrer berichteten Maßnahmen aus einer (55.0%) oder zwei Kategorien (37.5%; drei Kategorien: 7.5%). Die häufigsten Kombinationen waren *Bewegung & sensorische Stimulation* (25.0% aller Zweierkombinationen) und *Bewegung & hedonistische Beschäftigung* (20.8%).

Tabelle 4. Kategorien von Wachhaltestrategien nach der zweiten Reduktion. In Klammern: Anteil der Fahrer in Experiment 1, die angeben, mindestens eine Maßnahme aus der Kategorie genutzt zu haben.

1 Bewegung (47.5%) <i>Dynamische oder statische Muskelaktivität mit Schwerpunkt auf Ausführung</i>	4 Hedonistische geistige Beschäftigung (37.5%) <i>Mentale Aktivitäten mit Schwerpunkt auf Zerstreuung / Unterhaltung</i>
2 Sensorische Stimulation (22.5%) <i>Verschaffen zusätzlicher sensorischer Reize in verschiedenen Sinnesmodalitäten</i>	5 Selbstmotivierung (25.0%) <i>Willensanstrengung und Selbstinstruktion mit Schwerpunkt auf erfolgreichem Fahren</i>
3 Geistige Problemlösung (20.0%) <i>mentale Anstrengung mit Schwerpunkt auf nicht-fahraufgabenbezogenem Problemlösen</i>	6 keine (0.0%) <i>keine Strategie berichtet</i>

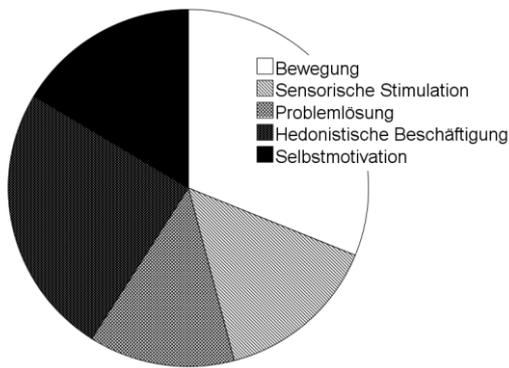


Abbildung 25. Anteil der Nennung der fünf verschiedenen Wachhaltestrategien an allen berichteten Maßnahmen. Mehrfachnennungen waren möglich.

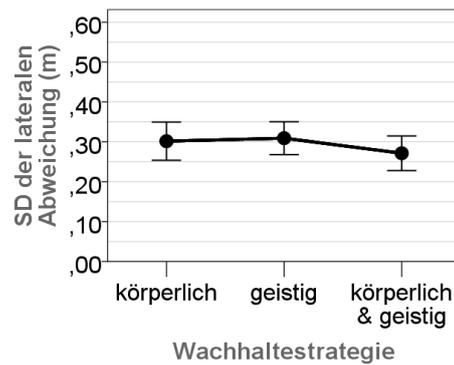


Abbildung 26. Mittlere Standardabweichung der lateralen Fahrzeugposition abhängig von der angewandten globalen Wachhaltestrategie.

3.3.4.4.2 Wachhaltestrategien und Fahrleistung

Mit Hilfe der kategorisierten Daten über die Wachhaltestrategien kann explorativ analysiert werden, ob bestimmte Strategien eher erfolgreich waren als andere. Als objektives Maß für die Fahrleistung wird dazu die Variabilität der Querführung betrachtet, welche im Zusammenhang mit müdem Fahren ein gut validiertes Performanzmaß⁵⁷ ist (Eskandarian et al., 2012). In die Analyse fließt die Fahrtrajektorie über die Gesamtdauer des Versuchs ein, mit Ausnahme der Startphase im Umfang von 20 Minuten und der Endphase im Umfang von 5 Minuten. Hintergrund für die Kürzung am Anfang sind die Annahmen, dass die Teilnehmer zum einen nach 20 Minuten so weit mit der Fahrzeugbedienung vertraut sind, dass die gemessene Fahrleistung nicht mehr wesentlich durch Bedienungsschwierigkeiten verzerrt wird, und dass zum anderen eventuelle Aktivierungseffekte aus der vorangegangenen Instruktions- und Übungsphase, in der noch Interaktion mit dem Versuchsleiter stattfand, dann abgeklungen sind. Die letzten 5 Minuten wurden aus Gründen der Konsistenz abgeschnitten, weil in ebenfalls durchgeführten Analysen bezüglich der Variabilität der Geschwindigkeit das Anhalten, also der Abfall der Geschwindigkeit auf 0, am Ende des Versuchs die betrachteten Kennwerte verzerrt hätte. Die Ergebnisse der Geschwindigkeitsanalysen waren analog zu den hier berichteten Ergebnissen für die Güte der Querführung (Weidner, 2013).

Da alle Probanden mindestens eine Wachhaltestrategie angegeben hatten, wurde nicht die Wirksamkeit verschiedener Maßnahmen gegenüber einer Baseline „ohne Maßnahme“ geprüft, sondern lediglich die Effektivität unterschiedlicher Maßnahmen verglichen. Für diesen Vergleich wurden aus den fünf beschriebenen Kategorien drei Metakategorien gebildet: 1) körperliche Strategien (zusammengefasst aus *Bewegung* und *sensorische Stimulation*), 2) geistige Strategien (zusammengefasst aus *Problemlösung*, *hedonistische Beschäftigung* und *Selbstmotivation*) und 3) kombinierte körperliche und geistige Strategien⁵⁸. In die Analyse flossen die Daten der 37 Teilnehmer ein, die alle nötigen

⁵⁷ Je höher die Variabilität der Spurhaltung, als desto schlechter wird die Fahrleistung angesehen.

⁵⁸ Da die Möglichkeit zur beliebig kombinierten Nennung von Maßnahmen aus bis zu 5 verschiedenen Kategorien bestand, können aufgrund der resultierenden hohen Anzahl von Gruppen und geringen *n* pro Gruppe nicht alle Kombinationen verglichen werden.

Voraussetzungen⁵⁹ erfüllten. Abbildung 26 zeigt die mittlere Variabilität der lateralen Fahrzeugposition der drei Gruppen. Inferenzstatistisch gibt es keine Unterschiede in der Fahrgüte ($F(2,34) = 0.825$, $p = .447$), auch wenn auf deskriptiver Ebene die Spurhaltung in der Gruppe mit kombiniertem Strategieinsatz eine Nuance stabiler erscheint ($M_{komb} = 0.27$ m, $SD = 0.056$ m, $n = 9$) als in den anderen beiden ($M_{körper} = 0.30$ m, $SD = 0.071$ m, $n = 11$; $M_{geis} = 0.31$ m, $SD = 0.080$ m, $n = 17$).

3.4 Diskussion

3.4.1 Determinanten der Warnungswirksamkeit

Ziel der ersten Studie war es, mit Hilfe eines neuen Fahrsimulationsparadigmas Einflüsse auf die Wirksamkeit von Müdigkeitswarnungen zu ergründen. Auf Seiten der Warnungsgestaltung stand dabei ein bereits in der Praxis eingesetztes allgemeines Warnsymbol einer neuen Form von Warnanzeige gegenüber, welche durch den Einsatz eines in der aktuellen Fahrsituation aufgenommenen Porträtfotos den Personbezug der Warnung, die subjektive Vulnerabilität und die Bereitschaft zur Umsetzung einer Pausenempfehlung erhöhen sollte. Gleichzeitig wurde untersucht, welche Rolle die Entfernung spielt, die einen Fahrer zum Warnungszeitpunkt noch von seinem Ziel trennt.

Auf Grundlage des C-HIP-Modells und der Theorie der Schutzmotivation wurde nach Effekten sowohl auf Verhaltensebene als auch auf theoretisch vorgeordneten Ebenen der Informationsverarbeitung, insbesondere motivational relevanter kognitiver Einschätzungen, gesucht.

In Bezug auf das Verhalten konnten keine systematischen Effekte beobachtet werden, da mit einer Ausnahme keiner der Teilnehmer die Fahrt unterbrach, um eine Pause zu machen. Zwar passt das Ergebnis, dass die eine Person, die sich für eine Pause entschied, zu der Experimentalgruppe mit der hypothetisch stärksten Pausenmotivation gehörte – *personalisierte Warnung und hohe Zielentfernung* –, zu den theoretischen Erwartungen, liefert aber nicht genug Evidenz für einen kausalen Zusammenhang.

Die äußerst geringe Pausenhäufigkeit im Fahrversuch deckt sich mit den Ergebnissen für die von den Probanden selbst eingeschätzte Intention, im Fahrversuch nach der Warnung eine Pause einzulegen, welche insgesamt eher schwach ausgeprägt war. Es gab eine Tendenz zu höherer Pausenwahrscheinlichkeit bei höherer Zielentfernung; in Abhängigkeit der Warnungstypen war kein Unterschied festzustellen. Interessanterweise beurteilten die Studienteilnehmer die allgemeine Wahrscheinlichkeit, *in der Realität* nach Müdigkeitswarnungen eine Pause einzulegen als höher – insgesamt im mittleren Bereich. Diese Einschätzung zeigte sich statistisch völlig unabhängig von der im Versuch erlebten Warnungsdesignvariante und Zieldistanz.

Verschiedene Interpretationen sind möglich. Dass die Pausenwahrscheinlichkeit für die reale Situation höher eingeschätzt wird als für den Fahrversuch gibt zum einen Hinweise darauf, dass die im Versuch geschaffene Anreizsituation noch nicht ausreichend zu Pausen motivierte und für weitere Verwendung des Paradigmas entsprechend optimiert werden kann (s. 3.4.4). Dafür spricht klar auch die Seltenheit beobachteter Pausen. Dies schließt aber nicht aus, dass die Schätzung der realen Pausenwahrscheinlichkeit dennoch Ungenauigkeiten aufweist. In der Einstellungsforschung ist das Phänomen bekannt, dass Intentionen Verhalten besser vorhersagen, je spezifischer das Verhalten formuliert ist und je zeitnäher Einstellung und Verhalten erhoben werden (McEachan, Conner, Taylor &

⁵⁹ 1) Angabe mindestens einer Wachhaltestrategie, 2) keine Anwendung von Strategien, die direkten negativen Einfluss auf die gemessene Fahrleistung haben („Schlangenlinien fahren“), 3) technisch einwandfreie Aufzeichnung der Fahrdaten

Lawton, 2011; Michie & Johnston, 2012; Schwarzer, 2004; Sheeran, 2002). Es ist möglich, dass durch die allgemeine Formulierung der Frage die mentale Simulation der Situation und damit eine präzise Vorhersage erschwert und bei der Beantwortung eine Tendenz zur Mitte bzw. zu sozial erwünschten Antworten begünstigt wurde.

Bezüglich der von der Theorie der Schutzmotivation postulierten kognitiven Einschätzungen, die zwischen Warnbotschaft und Verhalten vermitteln, war vermutet worden, dass sowohl die Warnungsgestaltung als auch die Situationsvariable in erster Linie die wahrgenommene *Vulnerabilität* beeinflussen würden. Hinsichtlich der personalisierten Warnung wurde angenommen, dass durch die Präsentation eines Porträtfotos aus der aktuellen Fahrsituation, auf dem der Fahrer sich selbst mit deutlichen Müdigkeitszeichen wie schlaffem Gesicht und halb oder ganz geschlossenen Lidern sehen konnte, sein Optimismus-Bias bei der Einschätzung der eigenen Gefährdung vermindert werden und er damit zu einer realistischeren beziehungsweise pessimistischeren Vulnerabilitätswahrnehmung gelangen könnte als im Fall der Warnung mit dem Kaffeetassensymbol. Bei hoher Zielentfernung sollte die wahrgenommene Gefährdung dadurch vergrößert werden, dass es mehr Gelegenheiten für Fehler gab und mit zunehmender Fahrtdauer auf eintöniger Strecke auch eine allgemeine Zunahme der Müdigkeit oder vermehrte Episoden verminderter Wachheit zu erwarten waren. Obwohl nicht statistisch signifikant, entspricht das Muster der Gruppenmittelwerte diesen theoretischen Erwartungen: Sowohl die mit eigenem Bild Gewarnten als auch diejenigen, welche die Information erhielten, noch weiter fahren zu müssen, schätzen sich insgesamt als gefährdeter ein als die entsprechenden Vergleichspersonen. Angesichts der relativ kleinen und sehr heterogenen Stichprobe sowie der hohen Praxisrelevanz der Ergebnisse gibt es somit gute Gründe, trotz der bei $p_{max} = .05$ nicht signifikanten Ergebnisse die zugrundeliegenden theoretischen Überlegungen nicht augenblicklich ad acta zu legen. Eine Folgestudie mit einer homogeneren Stichprobe und einer Reihe methodischer Veränderungen (s. 4.2 und Anhang A.3.1) soll Hinweise liefern, inwiefern das für die subjektive Vulnerabilität beobachtete Muster replizierbar oder ein reines Zufallsprodukt ist. Das gleiche gilt für einen möglichen Interaktionseffekt von Warnungsgestaltung und Zielentfernung: Wiederum nicht signifikant, zeigen die Gruppenmittelwerte Anhaltspunkte dafür, dass durch Personalisierung die wahrgenommene Gefährdung auch bei geringer Zielentfernung auf ein mittleres Niveau angehoben werden könnte, wie es im Falle einer Standardwarnung nur bei hoher Zielentfernung vorliegt.

3.4.2 Befunde hinsichtlich der verbleibenden PMT-Variablen

Kein Einfluss der experimentellen Manipulationen wurde bezüglich des subjektiven *Schweregrads der Schädigung* erwartet. Tatsächlich scheint die Personalisierung der Warnungsgestaltung keine systematische Wirkung darauf zu haben, wie *schlimm* einer Person ein antizipierter möglicher Verlust des Zielbonus erscheint. Die Zielentfernung hingegen macht eventuell doch einen Unterschied: Bei weit entferntem Ziel wurde die Aussicht einer finanziellen Einbuße als gravierender beurteilt. Post hoc könnte dieses Ergebnis so erklärt werden, dass der antizipierte Aufwand bei der subjektiven Kalkulation eine Rolle spielt und es deshalb als tragischer angesehen wird, mit geringer Entlohnung von dannen ziehen zu müssen, nachdem man mehr geleistet hat. Obwohl diese Erklärung in der Rückschau durchaus einleuchtend erscheint, wären a priori auch genau gegenteilige Vorhersagen möglich gewesen. So zeigen zum Beispiel zahlreiche Studien (siehe z. B. Gilbert, Morewedge, Risen & Wilson, 2004; Kahneman & Miller, 1986; Medvec, Madey & Gilovich, 1995), dass die antizipierte Bedauerlichkeit eines Ereignisses zunimmt, je eher man sich vorstellen kann, es noch abzuwenden - zum Beispiel wird es als tragischer empfunden, die Abfahrt eines Zuges um wenige Sekunden zu verpassen als zehn Minuten zu spät zu kommen. Angenommen, man schließt im Fahrversuch die Pau-

senoption von vornherein aus und versucht sich anderweitig wachzuhalten, scheint dies auf der kurzen Strecke eher möglich. Somit müsste es auch als schmerzlicher empfunden werden, wenn einem dennoch ein Mißgeschick beim Fahren unterliefe. Es wird interessant sein zu sehen, ob sich der gefundene Effekt der Zielentfernung auf den wahrgenommenen Schweregrad der Schädigung im zweiten Versuch replizieren lässt. Eine alternative Erklärung für das beobachtete Muster könnte ein unscharfes Gefahrenkonzept auf Seiten der Teilnehmer sein. Es gibt Hinweise darauf, dass bei der subjektiven Risikowahrnehmung die Wahrscheinlichkeit und die Folgeschwere eines Ereignisses keine klar getrennten Konstrukte sind. Beispielsweise fanden Wogalter et al. (1991) eine hohe Korrelation von $r = .80$ zwischen diesen beiden Einschätzungen für eine umfangreiche Liste potentiell gefährlicher Konsumprodukte (wobei ein in seiner Höhe unbekannter objektiver Zusammenhang dieser beiden Eigenschaften bei Produkten von der Liste vermutlich tatsächlich existierte).

Auch auf die wahrgenommene *Handlungswirksamkeit einer Pause* war kein Effekt der Warnungsgestaltung oder der Zielentfernung vermutet worden. Die Ergebnisse der Signifikanztests bestätigen diese Erwartung. Vor dem Hintergrund der bereits vorgenommenen Einschränkungen bezüglich der im Versuch erreichten Teststärke soll aber nicht undiskutiert bleiben, dass eine Tendenz zu höherer Handlungswirksamkeitserwartung bei personalisierter Warnung beobachtet wurde. Die Handlungswirksamkeit war operationalisiert als Differenzbetrag, um den sich aus Sicht der Teilnehmer durch eine Pause die Wahrscheinlichkeit eines Fahrfehlers vermindert hätte. Demnach liegen der Handlungswirksamkeit zwei Einschätzungen zugrunde: (1) Die geschätzte Wahrscheinlichkeit eines Fahrfehlers, *nachdem* eine Pause gemacht wurde, und (2) die wahrgenommene Wahrscheinlichkeit eines Fahrfehlers *ohne* Pause. Letztere entspricht der subjektiven Vulnerabilität, so dass eine Korrelation von Vulnerabilität und Handlungswirksamkeit plausibel erscheint. Geht man davon aus, dass alle Teilnehmer das Item zur Handlungswirksamkeit korrekt verstanden haben, könnte man die geschätzte Fehlerwahrscheinlichkeit *nach* einer Pause berechnen, in dem man die angegebene Handlungswirksamkeit von der subjektiven Vulnerabilität subtrahiert. Bei visueller „Verrechnung“ von Abbildung 16 und Abbildung 20 bedeutete dies, dass sich im Gegensatz zur subjektiven Vulnerabilität die geschätzten Fehlerwahrscheinlichkeiten *nach* einer Pause möglicherweise nicht in Abhängigkeit der Warnungsgestaltung unterscheiden, für die hohe Zielentfernung im Vergleich zur geringeren hingegen auch nach einer Pause ein höheres wahrgenommenes Fehlerrisiko verbliebe. Diese Betrachtungen sind aber spekulativ, denn zum einen waren die Items nicht gleich skaliert und zum anderen war das Item zur Erhebung der Handlungswirksamkeit trotz einer verständlichen Formulierung und graphischen Hervorhebung des entscheidenden „um wie viel Prozent...“ konzeptuell möglicherweise schwieriger zu erfassen. Im Folgeexperiment soll die wahrgenommene Wirksamkeit einer Pause zur Bekämpfung von Müdigkeit anhand der beiden Fehlerwahrscheinlichkeiten *mit* und *ohne* Pause erhoben werden. Auf diese Weise kann nicht nur überprüft werden, ob die beobachtete Tendenz zu höherer wahrgenommener Wirksamkeit bei personalisierter Warnung replizierbar ist, sondern es lässt sich auch genauer untersuchen, ob die Personalisierung gegebenenfalls nur die wahrgenommene Fehleranfälligkeit *ohne* Pause oder auch die Einschätzung der Fehlerwahrscheinlichkeit nach einer hypothetischen Pause verändert.

Die situative *Selbstwirksamkeit*, die Überzeugung das empfohlene Verhalten auch ausüben zu können, war insgesamt relativ hoch ausgeprägt. Damit ist es unwahrscheinlich, dass der Mangel an manifestem Pausenverhalten auf mangelhafte Ausprägungen dieses Faktors zurückzuführen ist. Wie erwartet existierten keine Unterschiede in Abhängigkeit von experimentellen Bedingungen.

3.4.3 Weitere Befunde

Die *erlebte Aktivierung* durch die Warnung war insgesamt hoch. Es gab eine nicht statistisch bedeutende Tendenz zu höherer subjektiver Aktivierung im Falle der personalisierten Warnung (diskutiert in 4.4.3). Noch deutlicher war eine Tendenz, dass die anregende Wirkung der Warnung als geringer empfunden wurde, wenn die rückgemeldete Zielentfernung hoch war.

Eine mögliche Erklärung für diese Beobachtung könnte sein, dass die Teilnehmer beim Urteilen die erlebte Aktivierung und deren Dauer an den Anforderungen der noch zu absolvierenden Fahrt relativieren. Unklar bliebe dabei, inwiefern der Effekt auf eine Relativierung an der zum Warnungszeitpunkt *vorgestellten* Restdistanz oder an der *tatsächlich* noch absolvierten Strecke beziehungsweise Fahrdauer zurückzuführen wäre. Beide unterschieden sich in Abhängigkeit von der Ausprägung des Experimentalfaktors Zielentfernung, da der Durchführungsplan vorsah, dass in der 30 km-Bedingung die Strecke über die rückgemeldete Restdistanz noch zu Ende gefahren wurde (durchschnittliche Dauer 22 Minuten), wohingegen die Teilnehmer, sofern sie keinen Pausenwunsch äußerten, nach der 100 km-Rückmeldung noch maximal 30 Minuten weiterfahren, bevor der Versuch beendet wurde. Vermutlich haben beide Größen einen Einfluss auf das Urteil. Wenn die antizipierte Restfahrstrecke ein wirksamer Faktor ist, könnte ein entsprechender Effekt bereits unmittelbar oder zeitnah nach der Rückmeldung zu finden sein. Dies zu untersuchen, soll aber nicht Ziel der Folgestudie sein, da zur Vermeidung von Interferenz mit der Pausenentscheidung weiterhin auf eine Befragung während des Fahrens verzichtet werden soll. Mögliche Mechanismen einer in Tendenz sichtbaren Interaktion von Warnungsgestaltung und Zieldistanz in der Aktivierungswirkung werden an späterer Stelle diskutiert (4.4.3). Hinsichtlich der Nachhaltigkeit des aktivierenden Effekts der Warnung können anhand der retrospektiven subjektiven Berichte keine Schlüsse gezogen werden. Es steht jedoch zu vermuten, dass der Effekt nur wenige Minuten vorhält, wie es in ähnlichen Untersuchungen gezeigt wurde (z. B. Schmidt et al., 2011).

Eine mögliche Erwartung bezüglich der *Ablenkungswirkung* der Warnungsanzeige lautet, dass die personalisierte Version mit eigenem Bild aufgrund des Selbstbezugs und der damit verbundenen höheren Relevanz stärker die Aufmerksamkeit binden und damit von der Fahraufgabe abziehen könnte als ein Kaffeetassensymbol. Bei insgesamt geringer subjektiver Ablenkung zeigt die Tendenz der Mittelwerte in die entsprechende Richtung, allerdings ist der Unterschied sehr gering und nicht signifikant.

Insgesamt ist zu aktivierenden und ablenkenden Effekten der Warnung festzuhalten, dass diese in der vorliegenden Studie nicht im Fokus standen, sondern als Nebenprodukte der Befragung mit betrachtet werden konnten. Grundsätzlich sollten sich Aussagen dazu nicht nur auf subjektive Einschätzungen stützen, da geeignete objektive Methoden vorhanden sind, um das Messrepertoire zu ergänzen. Im Gegensatz zur Erhebung der kognitiven Einschätzungen, die per definitionem subjektbasiert ist, existiert zur Erfassung von Aktivierung und Ablenkung ein großes Spektrum objektiver Methoden, zum Beispiel die Verwendung physiologischer Maße, Blickbewegungsparameter oder Erfassung der Leistung in dualen Aufgaben.

Die Ergebnisse bezüglich der von den Fahrern genutzten Wachhaltestrategien werden in 4.4.3 gemeinsam mit den Befunden aus Experiment 2 diskutiert.

3.4.4 Fahrsimulationsparadigma

Das im aktuellen Versuch benutzte Fahrsimulationsparadigma wurde entwickelt, um mit hoher externer Validität unter sicheren und kontrollierbaren Bedingungen Faktoren der Warnungswirkung

untersuchen zu können. Besonderes Augenmerk galt dabei der Schaffung einer der Realität vergleichbaren motivationalen Situation mit authentischer Müdigkeit, einer müdigkeitsabhängigen Warnung, einem Anreiz, wach und aufmerksam zu bleiben und fehlerfrei das Ziel zu erreichen, einer von der eigenen Müdigkeit ausgehenden potentiellen Bedrohung und einer mit subjektiven Handlungskosten verbundenen Pausenoption (s. 2.3.4 und 3.2.2.3).

Neben den Betrachtungen zur Wirkung der experimentellen Faktoren können aus den Ergebnissen des Fahrversuchs auch Schlussfolgerungen zur Evaluation und Optimierung der Methode gezogen werden.

Von größter Bedeutung in dieser Hinsicht ist das Phänomen, dass nahezu kein beobachtbares Pausenverhalten auftrat. Dank der differenzierten Ergebnisse aus der retrospektiven Befragung ist es möglich, theoriegeleitet anhand des C-HIP-Modells und der PMT nach methodenbedingten Ursachen hierfür zu suchen. Bezüglich der frühen Verarbeitungsstufen zeigen die Ergebnisse, dass die Warnmeldungen sowohl mit Aufmerksamkeit verarbeitet als auch verstanden und behalten wurden: Alle Teilnehmer konnten die mit der Warnung präsentierte Zielentfernung und, mit Ausnahme einer Teilnehmerin aus der *Kaffeetasse*-Gruppe⁶⁰, das Warnsymbol korrekt berichten. Es liegt also nahe, die Ursachen für die weitestgehende Verhaltensunwirksamkeit der Warnungen auf den späteren Verarbeitungsstufen der Einstellungen, Überzeugungen und Motivation zu suchen.

Eine vermutlich wichtige Stellgröße in diesem Zusammenhang ist die subjektive *Vulnerabilität* für Fahrfehler. Diese war insgesamt gering bis mittelmäßig ausgeprägt; das heißt, die Teilnehmer hielten es für eher unwahrscheinlich, selbst von dem potentiellen Schadensereignis betroffen zu sein. Um in der Folgestudie neben den kognitiven Einschätzungen auch die Anzahl manifester Pausen untersuchen zu können, ist es also wünschenswert, das Fahrparadigma so zu verändern, dass Fahrfehler wahrscheinlicher werden. Ansatzpunkte hierzu bieten sich zum Beispiel in der Verringerung des Toleranzkriteriums für Fahrfehler, einer längeren Fahrdauer oder stärkeren Anforderungen an das Lenkverhalten.

Auch die *Müdigkeit* der Teilnehmer spielt eine wichtige Rolle für die Validität des Versuchsaufbaus. Sie trägt zum einen zur tatsächlichen und wahrgenommenen Gefährdung durch Fahrfehler bei, zum anderen ist sie eine Voraussetzung für eine glaubwürdige Warnung. Sowohl die Ergebnisse der subjektiven Müdigkeitsbeurteilungen für den Warnzeitpunkt als auch die TUBSS-Beobachterratings zeigen, dass bezüglich der erreichten Müdigkeitsausprägungen in der Stichprobe noch Spielraum nach oben besteht. Die Resultate beider Messverfahren legen den Schluss nahe, dass nur etwa zwei Drittel der Probanden beim Fahren so müde wurden, wie es im Paradigma wünschenswert wäre. Demnach ist es ratsam, die Versuchsvorbereitung und –durchführung entsprechend anzupassen. Eine Möglichkeit dazu besteht in der Verlegung der Versuchszeit vom Nachmittagstief in das noch stärker ausgeprägte Leistungstief in der Mitte der Nacht. Es verwundert etwas, dass entgegen der Beobachtungen in anderen Studien (z. B. de Valck et al., 2003; Horne & Reyner, 1996; Horne & Baulk, 2004; Reyner & Horne, 1998a), die Verschärfung des Nachmittagstiefs durch eine zuvor erfolgte Schlafrestriktion offenbar nicht ausreichend war, um die erwünscht hohe Müdigkeit bei den Fahrern zu erzeugen. Eine mögliche Erklärung könnte in dem Aspekt liegen, dass es in den zitierten Studien für die Fahrer keine starke Motivation gab, sich wach zu halten und Fahrfehler zu vermeiden. Die Einführung einer mit Müdigkeit assoziierten Bedrohung - wie in diesem Fall durch finanzielle Einbu-

⁶⁰ Unklar bleibt, ob die Teilnehmerin das Symbol schon zum Warnzeitpunkt nicht semantisch verarbeitet hat oder sich nur in der späteren Abfragesituation (in der erschwerend die Antwortmöglichkeiten verbal, nicht mehr ikonisch dargeboten wurden) nicht mehr erinnern konnte.

ßen – könnte zu einer verstärkten physiologischen Erregung oder einer erhöhten willentlichen Rekrutierung von Ressourcen zur Selbstaktivierung (s.a. Dinges et al., 2005; Karrer-Gauß, 2012) geführt haben, die im Falle der hier zu absolvierenden Fahrdauer noch ausreichte, um in vielen Fällen das Erreichen des Müdigkeitskriteriums zu verhindern. Neben der Verlegung der Durchführungszeit in das nächtliche circadiane Tief besteht daher ein weiterer Ansatz zur Verstärkung der Müdigkeit in der Verlängerung der Fahrzeit sowohl vor als auch nach einer Warnung.

Ebenso wie die subjektive Vulnerabilität lag auch der empfundene *Schweregrad* der potentiellen Schädigung im Versuch insgesamt nur im geringen bis mittleren Bereich. Um Pausen insgesamt wahrscheinlicher zu machen, bietet es sich an, die finanzielle Anreizsituation so zu modifizieren, dass mehr auf dem Spiel steht, Fahrfehler also mit größeren Einbußen verbunden sind. Gleichzeitig kann die Ausführung des empfohlenen Verhaltens erleichtert werden, indem die mit einer Pause assoziierten Kosten gesenkt werden.

Einige letzte Anmerkungen zur Methode gelten der Erhebung der subjektiven Einschätzungen mit Hilfe eines retrospektiven Fragebogens. Retrospektive Befragungen eignen sich zur Untersuchung subjektiver Wahrnehmungen, Gedanken und Gefühle in Situationen, in denen nicht mit einem ablaufenden Verhaltensprozess interferiert werden soll (Young & Stanton, 2005). Neben den grundsätzlichen Caveats, die bei jeder schriftlichen Befragung zu beachten sind (vergleiche z. B. Sedlmeier & Renkewitz, 2013), müssen aufgrund der Retrospektivität der Erhebung einige weitere Besonderheiten berücksichtigt werden. Im Allgemeinen kommen zu der Frage, in welchem Ausmaß der jeweilige Gegenstand sich überhaupt einer äußerbaren subjektiven Einschätzung erschließt, mögliche Probleme der Probanden hinzu, sich an den jeweiligen zum interessierenden Zeitpunkt vorherrschenden Zustand zu erinnern (Leonard, Jacko, Yi & Sainfort, 2006). Spezifisch sind vor allem solche Verzerrungen der Erinnerung beziehungsweise des Urteils von Interesse, welche systematisch mit der erfolgten Verhaltensentscheidung variieren. Es ist vorstellbar, dass Einschätzungen der eigenen Gefährdung, der Handlungswirksamkeit und so weiter beim Urteilen im Nachhinein durch das gewählte Verhalten verzerrt werden. So könnte zum Beispiel jemand, der sich zum Warnzeitpunkt durchaus gefährdet fühlte, sich aber zur Vermeidung subjektiver Handlungskosten gegen eine Pause entschieden hat, im Rückblick aus Gründen der kognitiven Konsonanz⁶¹ das empfundene Risiko schmälern. Derartige Effekte sind nicht auszuschließen und kaum kontrollierbar, werden allerdings in dieser Studie vor dem Hintergrund in Kauf genommen, dass das *Verhalten* nach der Warnung die wichtigste abhängige Variable darstellt. In dem Konflikt, durch die Art der Messung entweder mit dem Prozess der Verhaltensentscheidung zu interferieren (bei Erfassung der kognitiven Einschätzungen direkt nach der Warnung) oder Verzerrungen der kognitiven Einschätzungen zu begünstigen (bei retrospektiver Befragung), wird der Möglichkeit zur Beobachtung unverfälschten Verhaltens höhere Priorität beigemessen. Zudem steht in der Studie nicht die theoretische Beziehung von kognitiven Einschätzungen und Verhalten im Fokus. Für den Vergleich kognitiver Einschätzungen über die experimentellen Bedingungen hinweg stellen allgemein wirksame Verzerrungen ein nachrangiges Problem dar, sofern diese Verzerrungen nicht systematisch mit den Bedingungen variieren.

Bezüglich einiger Items in der retrospektiven Befragung ergeben sich Möglichkeiten, durch eine situationsspezifischere Formulierung (anknüpfend an die erfolgte Entscheidung für oder gegen eine Pause) möglicherweise das Verständnis zu erleichtern (s. 4.2.2.4). Hinsichtlich des Items zur Erhebung der subjektiven Handlungswirksamkeit gab es die spezifische Rückmeldung einzelner Teilnehmer,

⁶¹ s. Festinger (1962); Aronson, Akert & Wilson (2008)

dass es möglich sein sollte, auch eine *negative* Handlungswirksamkeitserwartung zum Ausdruck zu bringen⁶². Diese Möglichkeit wurde im zweiten Versuch im Zuge der bereits erwähnten Erfassung der Handlungswirksamkeit in zwei Schritten (Fehlerwahrscheinlichkeit mit vs. ohne Pause) geschaffen.

3.4.5 Fazit und Ausblick

Vorerst kann die Wirkung der beiden Warnungsgestaltungsvarianten, Standard- und personalisierte Warnung nur auf Ebene der kognitiven Einschätzungen verglichen werden. Erwartungskonform ist die subjektive Vulnerabilität bei personalisierter Warnung höher als bei allgemeiner und bei hoher Zielentfernung höher als bei geringer. Möglicherweise wirkt die Warnungsgestaltung nicht nur auf die subjektive Vulnerabilität, sondern auch auf die wahrgenommene Handlungswirksamkeit einer Pause als Mittel gegen Müdigkeit. Bislang zeigen sich diese Muster auf Stichprobenebene und es bleibt unklar, inwiefern sie auf die Population übertragen werden können. Ein erweiterter Replikationsversuch soll zeigen, wie stabil die Befunde aus dem ersten Experiment sind, und gleichzeitig auch Ergebnisse auf der Verhaltensebene erbringen.

⁶² Die hier verwendete Skala reichte von 0 bis 100%. Es bestand also die Möglichkeit, der Pause *keinerlei* Wirksamkeit zu bescheinigen; jedoch war es nicht möglich, die Erwartung zum Ausdruck zu bringen, dass und wie stark durch eine Pause die Wahrscheinlichkeit einer erfolgreichen Zielankunft *verringert* wird.

4 Experiment 2: Mit Warnsystem sicherer als ohne?

4.1 Ziele

Im ersten Experiment wurde unter Berücksichtigung der Zielentfernung die Wirkung einer personalisierten Warnung mit der einer Standard-Müdigkeitswarnung verglichen. In Experiment 2 stand die weiter gefasste Frage im Fokus, inwiefern die Präsenz eines Müdigkeitswarners überhaupt positive Effekte auf die Pausenentscheidung hat. Dazu wurde eine neue Referenzbedingung eingeführt, in der die Fahrer kein Warnsystem an Bord hatten und sich bei ihren Pausenentscheidungen lediglich auf ihre eigenen Einschätzungen verließen. Neben der Möglichkeit, dass eine Müdigkeitswarnung die Pausenwahrscheinlichkeit *nicht erhöht*, waren dabei grundsätzlich sogar *negative Effekte* der Warnung aufgrund unerwünschter Verhaltensanpassungen im Sinne von Risikokompensation (s.a. 2.3.2) denkbar.

1) Test einer Variante des Fahrsimulationsparadigmas mit erhöhter Grundwahrscheinlichkeit von Pausen

Ob ein Fahrer sich angesichts einer Müdigkeitswarnung zum Anhalten entscheidet oder nicht, ist das augenscheinlich valideste Maß für deren Wirksamkeit. Im ersten Experiment konnten zwar die kognitiven Präkursoren der Pausenentscheidung untersucht werden, allerdings war die Auftretenswahrscheinlichkeit von Pausen so gering, dass es unmöglich war, die Auswirkung der experimentellen Variationen auch auf Verhaltensebene analysieren. Ein Ziel des zweiten Experiments war es, durch gezielte Veränderungen des Fahrsimulationsparadigmas die Grundwahrscheinlichkeit von Pausen auf ein Niveau zu heben, auf dem warnungs- und situationsbedingte Unterschiede prinzipiell beobachtet werden konnten.

Geeignete Ansatzpunkte dazu konnten aus den verhaltensrelevanten PMT-Variablen abgeleitet werden. Zur Erhöhung der absoluten subjektiven Vulnerabilität wurden verschiedene Maßnahmen zur Erhöhung der Müdigkeit und der Aufgabenschwierigkeit getroffen. Veränderungen in der Konstellation der finanziellen Anreize zielten auf eine Erhöhung des Schweregrads der Bedrohung (finanzielle Einbuße bei Fahrfehler) und eine gleichzeitige Senkung mit der Pause verbundener Handlungskosten. Zudem wurde die potentielle Eindringlichkeit der Warnung erhöht, indem die Möglichkeit zur Wiederholung eingeführt wurde (vgl. Hagenmeyer, 2007).

2) Vergleich der Verhaltenswirksamkeit von zwei Warnungsvarianten gegenüber einer Fahrsituation ohne Müdigkeitswarner

Auch ohne Warnsystem können Fahrer zu der Einschätzung gelangen, dass eine Pause angebracht wäre. Im zweiten Experiment sollte getestet werden, ob und wie stark verhaltensrelevante kognitive Einschätzungen (PMT-Variablen) und beobachtete Pausenhäufigkeit durch Müdigkeitswarnungen positiv beeinflusst werden. Dazu wurden wieder die Standardwarnung mit dem Kaffeetassensymbol und die personalisierte Warnung mit eigenem Bild betrachtet und einer Situation ohne MWS gegenübergestellt, in der jeweils nur die verbleibende Zielentfernung rückgemeldet wurde. Grundsätzlich sollte jede Form von Warnung zur Erhöhung der subjektiven Vulnerabilität und Pausenwahrscheinlichkeit beitragen. Wie in Experiment 1 wurde vermutet, dass die personalisierte Warnung hierbei einen stärkeren Effekt haben würde als die Standardwarnung.

3) Abschätzung des Effekts der Zielentfernung als Variable der aktuellen Fahrsituation

Wiederum war auch von Interesse, ob und wie sich die Grundwahrscheinlichkeit von Pausen und die Warnungswirksamkeit gegebenenfalls im Kontext unterschiedlicher verbleibender Zielentfernungen verändern. Als Instanziierung einer kurzen und einer längeren Restfahrstrecke wurden diesmal die

Ausprägungen 32 km und 102 km gewählt⁶³. Die Untersuchung möglicher Interaktionen erfolgte explorativ.

Ein darüber hinaus verfolgtes Ziel im Rahmen des zweiten Experiments war eine Erhöhung der Teststärke. Da es aufgrund limitierter Ressourcen nicht möglich war, die Gruppengrößen in den Zellen des experimentellen Designs zu erhöhen, wurde drauf abgezielt, die interindividuelle Varianz zu begrenzen. Dazu wurde die hinsichtlich des Alters der Fahrer untersuchte Spannbreite reduziert. Da jüngere Fahrer am stärksten durch Müdigkeitsunfälle gefährdet sind (s. 2.1.1.2), wurde diese Altersgruppe fokussiert. Eine weitere Maßnahme mit dem Ziel, die interne Validität zu verbessern, war die Umstellung der Fragebogenitems zur Erhebung der PMT-Variablen von einer allgemeinen auf eine situationsspezifische Formulierung (je nach Pausenentscheidung *ja / nein* und erlebter Warnvariante).

4.2 Methode

4.2.1 Untersuchungsdesign

Ein 3x2-Design mit sechs experimentellen Bedingungen ergab sich aus der Kombination des Faktors *Rückmeldungstyp* mit den möglichen Ausprägungen (1) *reine Entfernungsrückmeldung*, (2) *allgemeine Warnung* – Kaffeetassensymbol – und (3) *personalisierte Warnung* – eigenes Bild – und des Faktors *Zielentfernung zum ersten Warnzeitpunkt* mit den Varianten (1) *gering* – 32 km – und (2) *hoch* – 102 km (s.a. Tabelle 5). Die Variation beider Faktoren erfolgte wiederum *zwischen* Personen, da nach einmal erlebtem Ausgang des Versuchs bei einer wiederholten Messung die Glaubwürdigkeit des Szenarios nicht mehr hätte gewährleistet werden können (s. 3.2.1, 3.2.2.3).

4.2.2 Materialien & Versuchsaufbau

Entsprechend der Schlussfolgerungen aus Experiment 1 (s. 3.4.4) wurden neben der Einführung einer neuen Bedingung *reine Entfernungsrückmeldung* eine Reihe von Veränderungen im Paradigma vorgenommen, welche auf zwei Zielkontexte abstellten: (1) eine allgemeine Erhöhung des wahrgenommenen Risikos, der resultierenden Schutzmotivation und damit der Häufigkeit beobachtbaren Pausenverhaltens und (2) eine Erhöhung der Teststärke im Rahmen der begrenzten Verfügbarkeit von Fahrsimulationsterminen.

Die Reihenfolge, in der die jeweiligen Unterschiede hier dargestellt werden, folgt der inhaltlichen Gliederungslogik des Methodenteils. Eine Übersicht über alle methodischen Veränderungen findet sich in Anhang A.3.1.

4.2.2.1 Gestaltung und Anzeige der Warnmeldungen

Das generelle Layout der visuellen Warnanzeigen wurde ebenso wie der Warnton und die technischen Geräte zu deren Wiedergabe aus dem ersten Versuch übernommen (s. 3.2.2.1).

Die zusätzliche Anzeige für die Bedingung *reine Entfernungsrückmeldung* zeigte in der Bildmitte das im Kontext von Fahrerassistenzsystemen gebräuchliche Symbol einer Zielfahne; der orangefarbene Balken darüber enthielt das Wort *Routeninformation* anstelle des Texts *Pause empfohlen*, welcher in den zwei Warnungsbedingungen beibehalten wurde (s. Tabelle 5, S. 101).

⁶³ Hintergrund der Entscheidung für „krumme“ Restbeträge war die Überlegung, dass diese im Rahmen der Coverstory noch glaubwürdiger wirken könnten als die ursprünglichen Ausprägungen, 30 km und 100 km.

Tabelle 5. Untersuchungsdesign und Gestaltung der Systemanzeigen in den sechs experimentellen Bedingungen.

		Faktor 1: Art der Rückmeldung / Warnung		
		Entfernungsrückmeldung	Allgemeine Warnung	Personalisierte Warnung
Faktor 2: Zielentfernung erste Warnung	gering			
	hoch			

Zusätzlich wurden zugunsten größerer Glaubwürdigkeit die im unteren Anzeigenteil erscheinenden Angaben zur verbleibenden Zielentfernung insofern verändert, als nunmehr bei der ersten Warnung anstatt 30 km beziehungsweise 100 km die „krummen“ Beträge 32 km beziehungsweise 102 km erschienen. In Fällen, in denen aufgrund des Verlaufs der Müdigkeit eines Teilnehmers eine wiederholte Warnung erfolgte, wurde die Restkilometerangabe durch einen entsprechend der inzwischen zurückgelegten Strecke plausiblen Betrag ersetzt (s. 4.3.1).

4.2.2.2 Versuchsumgebung

Auch der zweite Versuch fand im Fahrsimulator des ZMMS der TU Berlin statt (Details s. 3.2.2.2)⁶⁴.

4.2.2.3 Anreizsituation

4.2.2.3.1 Schaffung von Müdigkeit im Versuch

Im Sinne ökologisch valider Ergebnisse war es wiederum wichtig, dass die Versuchsteilnehmer beim Fahren mit echter Müdigkeit konfrontiert waren. Um möglichst in der gesamten Stichprobe hohe Müdigkeitsniveaus zu erzielen, wurde das Prozedere im Vergleich zu Experiment 1 in mehreren Punkten verschärft.

Zunächst durchliefen alle Teilnehmer die gleiche Schlafrestriktion wie im ersten Versuch, das heißt, sie schliefen in der Nacht vor dem Versuch nur 4.5 Stunden, mit den entsprechenden beschriebenen Arrangements und Kontrollmechanismen (s. 3.2.2.3). Zusätzlich wurden die Experimentalsitzungen in den Zeitraum des absoluten circadianen Minimums der Leistungsfähigkeit zwischen etwa 1:00 Uhr und 4:00 Uhr in der darauf folgenden Nacht verlegt. Um neben dem Homöostase- und dem circadianen Faktor auch der dritten Quelle von Ermüdung, *time on task*, mehr Raum zu geben, wurde außerdem die maximale Fahrzeit, die ein Teilnehmer vor der ersten Warnung zu absolvieren hatte (sofern er nicht bereits vorher das Müdigkeitskriterium überschritt) von einer Stunde auf zwei Stunden verlängert. Eine weitere Fahrzeitverlängerung betraf die Post-Warnungsphase: Anders als in

⁶⁴ Die Baumaßnahmen waren inzwischen erfolgreich beendet.

Experiment 1 war auch in der Bedingung mit *hoher Zielentfernung* der Versuch erst dann zu Ende, wenn die angekündigte Reststrecke von 102 km vollständig bewältigt war, was etwa einer Stunde Fahrzeit nach der Warnung entsprach. Insgesamt zielten alle Veränderungen darauf ab, über eine Erhöhung der im Versuch erlebten Müdigkeit in allen Bedingungen die subjektive Vulnerabilität für Fahrfehler und in den Warnungsbedingungen auch die Glaubwürdigkeit der Warnung zu erhöhen.

4.2.2.3.2 Nutzen und Kosten von Handlungsergebnissen und Handlungen

Um Handlungsanreize zu schaffen, wie in der Realität auch während der simulierten Fahrt wach und aufmerksam zu bleiben, Fahrfehler zu vermeiden und die Fahrt bis zur Zielerreichung fortzusetzen, wurde dieselbe Grundkonstellation möglicher monetärer Gewinne und Verluste eingesetzt wie im ersten Versuch (s. 3.2.2.3 und Abbildung 13). Die quantitative Gewichtung der einzelnen Entlohnungen beziehungsweise Abzüge wurde jedoch verändert, mit dem Ziel, beobachtbares Pausenverhalten insgesamt wahrscheinlicher zu machen. Zu diesem Zweck wurden die finanziellen Parameter so verschoben, dass die von müdem Fahren ausgehende Bedrohung gravierender wurde und gleichzeitig Pausen mit geringeren subjektiven Handlungskosten einhergingen. Im Einzelnen war die Anreizkonstellation wie folgt gestaltet:

Die Grundvergütung, die unabhängig vom Ausgang der Fahrt gezahlt wurde, betrug nur noch 5 € (*1. Experiment: 15 €*), so dass insgesamt ein größeres Gewicht auf der Fahrleistung lag. Der Bonus bei erfolgreicher Zielankunft belief sich auf 30 €, sofern auf eine Pause verzichtet wurde, beziehungsweise 28,50 € *mit* Pause. Mit 1,50 € kostete damit eine Pause deutlich weniger als im ersten Versuch und in etwa so viel wie ein Kaffee in einer preisgünstigen Raststätte. Fahrfehler, deren Auftreten im Vergleich zum Vorgängerexperiment durch zusätzliche Maßnahmen noch wahrscheinlicher gemacht wurde (siehe unten), führten zur vollständigen Einbuße des Bonus.

4.2.2.3.3 Fahraufgabe und Wahrscheinlichkeit von Fahrfehlern

Wiederum bestand die Aufgabe darin, die gegebene Strecke bis zu deren Ende zu durchfahren, ohne bestimmte Gütekriterien in der Quer- oder Längsführung zu verletzen. Bezogen auf die Längsführung wurde das Geschwindigkeitslimit von 100 km/h aus dem ersten Versuch beibehalten; als Fehler zählte die Überschreitung dieser Geschwindigkeit um mehr als 15 km/h. Bezüglich der Anforderungen an die Quersführung wurden zwei Veränderungen im Paradigma vorgenommen, die zum Ziel hatten, die Schwierigkeit der Aufgabe und damit die subjektive Vulnerabilität für Fahrfehler zu erhöhen, um das Auftreten von Pausen insgesamt wahrscheinlicher zu machen. Zum einen wurde die Dichte von Kurven im Parcours erhöht, so dass Unaufmerksamkeit oder Sekundenschlaf eher zu einem Verlassen des vorgesehenen Fahrstreifens führten. Zum anderen wurde die Toleranz bezüglich der Querabweichung deutlich verringert. Während im ersten Versuch noch eine halbe Fahrzeugbreite gestattet war, galt es nun als Fehler, sobald sich ein Rad mit komplettem Umfang jenseits der linken oder rechten Fahrbahnmarkierung befand (vgl.a. Horne & Reyner, 1996; Reyner & Horne, 1997, 2002).

Zusätzlich gab es mehr Fehlergelegenheiten nicht nur durch die erhöhte Kurvendichte, sondern auch durch die Verlängerung der maximal möglichen Gesamtfahrzeit (siehe oben). Da die tatsächliche Fahrzeit wieder von der Entwicklung des Fahrerzustands abhing und daher a priori nicht exakt vorhergesagt werden konnte, wurde erneut auf die Coverstory zurückgegriffen, dass der Versuchsschreiber zu Beginn des Versuchs eine bestimmte Fahrstrecke auslöse, welche im Mittel in etwa 2 Stunden zu bewältigen sei, aber auch bis zu 3 Stunden in Anspruch nehmen könne (vergleiche 3.2.2.3).

4.2.2.4 Fragen zur Erfassung der mediierenden kognitiven Variablen gemäß der PMT

Der inhaltliche Aufbau des retrospektiven Fragebogens, mit dem die subjektiven Einschätzungen gemäß der PMT sowie weitere im Kontext des Verhaltens nach Müdigkeitswarnungen relevante Variablen erhoben wurden, orientierte sich an dem entsprechenden Instrument aus Experiment 1.

Formal wurden Überarbeitungen einzelner Item-Formulierungen sowie einige nötige Anpassungen an das neue Versuchsdesign (s.u.) vorgenommen.

Ziel der Veränderungen in den Formulierungen war es, vor dem Hintergrund einer Vielzahl möglicher Versuchsverläufe einen stärkeren Situationsbezug der entsprechenden Fragen herzustellen. Im ersten Experiment war der Versuch unternommen worden, alle Fragen so allgemein zu formulieren, dass sie auf alle möglichen vorangegangenen Verläufe des Versuchs in Bezug auf die Entscheidung für oder gegen eine Pause passten. Ein Vorteil eines solchen Vorgehens liegt in der Standardisierung: Allen Teilnehmern können exakt dieselben Fragen gestellt werden. Auf der Negativseite resultiert daraus eine Abstraktheit, die möglicherweise das Verständnis erschwert. Da sich in Experiment 2 wegen der Einführung einer neuen Bedingung ohne Müdigkeitswarner sowie der Möglichkeit wiederholter Systemmeldungen der konkret erlebte Versuchsablauf noch in zwei weiteren Variablen unterscheiden konnte, wurden im Stil eines Interviews die Formulierungen an einigen Stellen stärker an die unterschiedlichen möglichen Verläufe angepasst. Beispiele werden weiter unten gegeben.

Insgesamt resultierten 8 kontextspezifische Versionen des Fragebogens, die sich im Detail in Abhängigkeit folgender Situationsmerkmale unterschieden:

(1) Anzahl von Warnungen beziehungsweise Entfernungsrückmeldungen, die ein Teilnehmer zuvor im Fahrversuch erhalten hatte:

- Hatte der Müdigkeitsverlauf des Probanden nur eine Warnung / Entfernungsmeldung ausgelöst, erfolgte die Abfrage der PMT-Variablen analog zum Vorgehen in Experiment 1.
- Im Falle von zwei Warnungen / Entfernungsmeldungen wurden die subjektiven Einschätzungen der PMT-Variablen *Schweregrad der Schädigung*, *Vulnerabilität*, *Handlungswirksamkeit*, *Selbstwirksamkeit* und *subjektive Pausenwahrscheinlichkeit* sowie die Abfragen zur semantischen Verarbeitung der Systemmeldungen und zur Müdigkeitseinschätzung mit der KSS in zwei deutlich voneinander getrennten Sektionen zuerst für den ersten und danach für den zweiten Anzeigzeitpunkt erhoben.

(2) Systemvariante: Warnung vs. reine Entfernungsinformation:

- Die Fragen zu subjektiven Einschätzungen rund um den Rückmeldungszeitpunkt referierten nun anstatt auf eine allgemeine „Systemmeldung“ spezifisch entweder auf „die Müdigkeitswarnung“ oder „die Entfernungsrückmeldung“.
- Wie im ersten Versuch wurde in der Bedingung Warnung mit eigenem Bild zusätzlich mit Hilfe der Karolinska-Skala erfragt, wie müde sich die Teilnehmer sich auf dem Warnungsbild beziehungsweise den beiden Warnungsbildern einschätzten.

(3) Entscheidung des Teilnehmers anzuhalten vs. weiterzufahren:

- Die Entscheidungsprozesse, die zum Anhalten oder Weiterfahren nach der Systemmeldung geführt haben, stehen im Fokus der PMT-Items. Je nachdem, welche Entscheidung getroffen wurde, unterscheiden sich die Fragen, zu deren Beantwortung kontrafaktisches Denken erforderlich ist. Dies hat Konsequenzen für die passende Wahl von Indikativen oder Konjunktiven in einzelnen Fragen und macht es schwierig, eine allgemeingültige Formulierung zu finden, die

auf beide möglichen Entscheidungsausgänge passt und gleichzeitig noch gut verständlich ist. Die entsprechenden Formulierungen wurden daher auf die Entscheidung abgestimmt. (s. Beispiele zur subjektiven Handlungswirksamkeit in Tabelle 6)

Tabelle 6. Formulierung der Items zur Erhebung der PMT-Variablen Vulnerabilität und Handlungswirksamkeit in Experiment 1 vs. 2.

	Entscheidung des Teilnehmers	PMT-Variable	Itemformulierung
Experiment 1	„Pause“ oder „Weiterfahren“	Vulnerabilität	Wie gefährdet haben Sie sich nach der Systemmeldung empfunden, dass Ihnen ein Fahrfehler unterläuft und Sie so den Zielbonus verlieren?
		Handlungswirksamkeit	<u>Um</u> wieviel Prozent wäre nach Ihrer Einschätzung durch eine Pause das Risiko verringert worden, dass Ihnen ein Fahrfehler unterläuft?
Experiment 2	„Pause“	Vulnerabilität (ohne Pause)	Sie haben sich entschieden, eine Pause zu machen. Für wie wahrscheinlich haben Sie es gehalten, dass Ihnen sonst (ohne Pause) ein Fahrfehler unterläuft?
		Vulnerabilität (mit Pause)	Für wie wahrscheinlich haben Sie es gehalten, dass Ihnen <u>nach der Pause</u> ein Fahrfehler unterläuft?
	„Weiterfahren“	Vulnerabilität (ohne Pause)	Sie haben sich entschieden die Strecke ohne Pause durchzufahren. Für wie wahrscheinlich haben Sie es gehalten, dass Ihnen hierbei ein Fahrfehler unterläuft?
		Vulnerabilität (mit Pause)	Angenommen, Sie hätten eine Pause gemacht: Für wie wahrscheinlich hätten Sie es gehalten, dass Ihnen <u>nach einer Pause</u> ein Fahrfehler unterläuft?

Eine weitere Veränderung der Fragenformulierung, die mit keinem der genannten Faktoren zusammenhängt, betrifft die Erhebung der *subjektiven Handlungswirksamkeit*. Zum einen hatten Teilnehmer im ersten Versuch den Wunsch geäußert, eine *negative* Handlungswirksamkeitserwartung für die Pause zum Ausdruck zu bringen (das heißt, eine Pause *senkt* subjektiv sogar die Wahrscheinlichkeit, danach fehlerfrei zu fahren) - was in der ursprünglichen Abfrage nicht möglich war (diese Teilnehmer wählten dann den Wert 0 aus). Zum anderen sollte die Komplexität des Urteils verringert werden, indem die subjektive Handlungswirksamkeit – die *Differenz*, um die sich durch eine Pause im Vergleich zum Weiterfahren das Risiko eines Fahrfehlers vermindert hätte – nicht mehr direkt, sondern in zwei getrennten Schritten erhoben wurde. Wie im ersten Experiment wurde dazu die subjektive Vulnerabilität abgefragt, welche der geschätzten Gefährdung *ohne Pause* entspricht. Neu war eine zusätzliche Schätzung der Gefährdung, welche auch *nach* einer Pause verblieben wäre. Die subjektive Handlungswirksamkeit wurde in der Auswertung aus der Differenz dieser beiden Fehlerwahrscheinlichkeiten berechnet⁶⁵. Die alten und neuen Versionen dieser Abfragen, die in Tabelle 6 darge-

⁶⁵ Um das Konstrukt der Gefährdung im Sinne einer Fehlerwahrscheinlichkeit besser zu erfassen und gleichzeitig eine feinere Abstufung als im ersten Versuch zu erlauben, wurde zusätzlich das Skalenformat verändert. Anstelle von Einschätzungen auf einer zehnstufigen Likertskala von 0 bis 9, wurden geschätzte Wahrscheinlichkeitswerte von 0 bis 100% erfragt, die in 2.5% -Schritten abgestuft auszuwählen waren (s.a. Anhänge A.4.2.4 und A.4.2.5)

stellt sind, veranschaulichen gleichzeitig gut die bereits beschriebenen Anpassungen der Formulierung an die Entscheidung des Teilnehmers für oder gegen eine Pause.

In den Anhängen A.2.4 und A.2.5 sind exemplarisch zwei der acht Versionen des Fragebogens wiedergegeben, in denen sich das gesamte Spektrum der Variationen wiederfindet: a) die Version für den Fall *Anzahl = 1, Meldung = Warnung, Entscheidung = Pause* und b) die Version für den Fall *Anzahl = 2, Meldung = Entfernungsrückmeldung, Entscheidung = Weiterfahren*.

4.2.3 Durchführung

Der Ablauf des Versuchs folgte im Wesentlichen dem Prozedere in Experiment 1 (s. 3.2.3). Die für die Instruktion genutzten Informationsblätter (Anhang A.2.1 und A.2.2) und die Fahrfehlerprobe im Simulator waren adaptiert an die veränderten Rahmenbedingungen in Bezug auf Fahrfehler und Struktur der finanziellen Vergütung.

In der Instruktion bekamen die Teilnehmer je nach Rückmeldungsbedingung unterschiedliche Informationen. In den beiden Warnungsgruppen (*Kaffeetasse* und *Eigenes Bild*) wurde darauf hingewiesen, dass das Fahrzeug über ein Müdigkeitswarnsystem verfüge, und es wurden entsprechende Informationen zum Operationsmodus des Systems gegeben (s. Anhang A.2.2). Dem gegenüber erhielten die Teilnehmer in der Bedingung *reine Entfernungsrückmeldung* keine Informationen über eine Müdigkeitserfassung und lediglich den Hinweis, dass Ihnen während der Fahrt zu einem oder zwei Zeitpunkten die verbleibende Zielentfernung angezeigt werde (s. Anhang A.2.1). Tatsächlich folgte die Präsentation der Rückmeldung jedoch denselben müdigkeitsabhängigen Regeln wie in den Warnungsgruppen (s.u.). Alle Gruppen erhielten identische Informationen über die Gefahren von Müdigkeit beim Autofahren, sinnvolle Gegenmaßnahmen und die Option einer Pause mit Kaffee oder einem Nap.

Nach den entsprechenden Einführungsschritten (s. Abbildung 27) begann gegen 1:40 Uhr die simulierte Fahrt. Wiederum wurden alle 5 Minuten TUBSS-Bewertungen der Müdigkeit des Fahrers vorgenommen. Abweichend von Experiment 1 wurde, sofern der Fahrer nicht bereits vorher das Müdigkeitskriterium ($TUBSS \geq 5$) erreicht hatte, bis zu 120 min gewartet (Experiment 1: max. 60 min), bevor die Warnung oder Rückmeldung entsprechend der experimentellen Bedingung notfalls auch ohne Erreichung des Kriteriums präsentiert wurde. Wie die Durchführung des Versuchs während des nächtlichen circadianen Tiefs zielte auch diese Veränderung auf eine Erhöhung der Müdigkeit und damit der Grundwahrscheinlichkeit von Pausen ab. Sofern der Teilnehmer nach der Systemmeldung die Fahrt fortsetzte, wurde auch die TUBSS-Müdigkeitsbeurteilung fortgesetzt. Anders als in Experiment 1 konnte diesmal eine zweite Warnung oder Rückmeldung erfolgen, sofern das Müdigkeitskriterium erneut erreicht wurde. Kam es dazu, wurde die mit der zweiten Anzeige rückgemeldete Zielentfernung entsprechend der seit der ersten Anzeige zurückgelegten Strecke angepasst. Nach einer zweiten Anzeige erfolgten keine erneuten Wiederholungen, unabhängig vom weiteren Müdigkeitsverlauf. Die Teilnehmer in den Warnungsbedingungen waren informiert, dass das System nur maximal zwei Warnungen ausgeben würde und danach das Ausbleiben weiterer Warnungen kein Indiz für einen unbedenklichen Fahrerszustand wäre. Sofern der Teilnehmer nicht bereits vorher einen Pausenwunsch äußerte, wurde nach der initialen Warnung die Fahrt noch so lange fortgesetzt, bis das Fahrtziel entsprechend der Zielentfernungsbedingung erreicht war, je nach gewählter Geschwindigkeit also etwa 20 Minuten in der Bedingung mit geringer Zielentfernung und etwa eine Stunde in der Bedingung mit hoher Zielentfernung. Im Anschluss bearbeiteten die Teilnehmer die Nachbefragung. Bei Äußerung eines Pausenwunsches wurde die Fahrt sofort beendet und anschließend die Nachbe-

fragung bearbeitet, bevor eine abschließende Aufklärung über Ziele und Aufbau des Versuchs erfolgte.

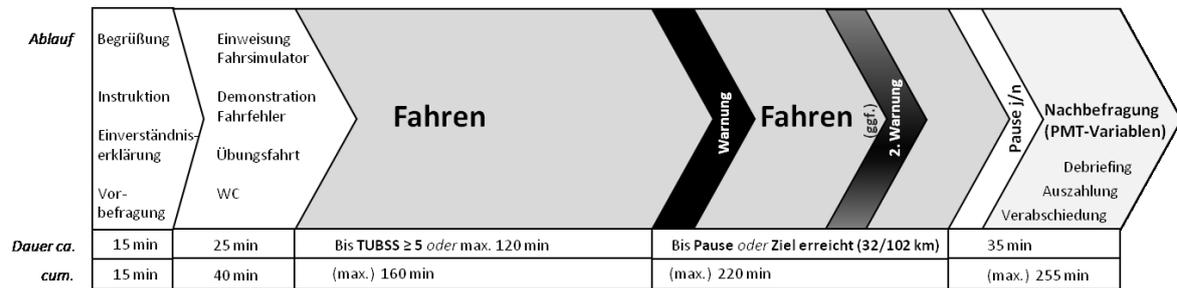


Abbildung 27. Überblick über den zeitlichen Ablauf des Fahrversuchs.

Die in Abbildung 27 angegebenen Zeiten sind veranschlagte Maximaldauern. Im Mittel dauerte die Fahrt unter Müdigkeit in der Bedingung *geringe Zielentfernung* $M = 51.7$ min ($SD = 26.3$ min) und in der Bedingung *hohe Zielentfernung* $M = 82.3$ min ($SD = 32.0$ min). Der gesamte Versuch von der Begrüßung bis zur Verabschiedung nahm durchschnittlich $M = 128.3$ min ($SD = 26.1$ min) bzw. $M = 160.5$ min ($SD = 31.3$ min) in Anspruch. Alle Sitzungen wurden in zwei Erhebungszeiträumen Anfang März bis Ende Mai 2012 und Anfang August bis Ende September 2012 durchgeführt.

4.2.4 Hypothesen

Zusätzlich zu den bereits dargelegten theoretischen Überlegungen (s. 2.2.4, 3.2.4) wird angenommen, dass auch eine Standardwarnung ohne Personbezug die Wahrscheinlichkeit adaptiven Verhaltens im Vergleich zu einer Situation ohne Warnsystem erhöht. Wiederum wird vermutet, dass ein solcher Effekt über die Bedrohungseinschätzung, genauer gesagt die subjektive Vulnerabilitätswahrnehmung, vermittelt wird. Aufgrund der theoretisch wirksameren Abschwächung des Optimismus-bias in der Vulnerabilitätswahrnehmung sollte die personalisierte Warnung mit eigenem Bild allerdings zu noch höheren Ausprägungen in subjektiver Vulnerabilität, subjektiver und objektiver Pausenwahrscheinlichkeit führen als die Standardwarnung. Bezüglich der PMT- und Verhaltensvariablen werden daraus folgende Hypothesen abgeleitet:

I. Pausenhäufigkeit

- Haupteffekt Warnungstyp: Bei allgemeiner Warnung (*Kaffeetasse*) entscheiden sich mehr Fahrer für eine Pause als bei reiner *Entfernungsinformation*, und bei personalisierter Warnung (*eigenes Bild*) entscheiden sich mehr Fahrer für eine Pause als bei allgemeiner Warnung (*Kaffeetasse*).
- Haupteffekt Zielentfernung: Bei höherer Zielentfernung (*102 km*) entscheiden sich mehr Fahrer für eine Pause als bei geringerer Zielentfernung (*32 km*).

II. Subjektive Pausenwahrscheinlichkeit

- Haupteffekt Warnungstyp: Bei allgemeiner Warnung (*Kaffeetasse*) ist die subjektive Wahrscheinlichkeit einer Pause im Mittel höher als bei reiner *Entfernungsinformation* und bei personalisierter Warnung (*eigenes Bild*) höher als bei allgemeiner Warnung (*Kaffeetasse*).
- Haupteffekt Zielentfernung: Bei höherer Zielentfernung (*102 km*) ist die subjektive Wahrscheinlichkeit einer Pause höher als bei geringerer (*32 km*) Zielentfernung.

III. Subjektive Vulnerabilität

- Haupteffekt Warnungstyp: Bei allgemeiner Warnung (*Kaffeetasse*) fühlen sich die Fahrer im Mittel anfälliger für Fahrfehler als bei reiner *Entfernungsinformation* und bei personalisierter Warnung (*Eigenes Bild*) anfälliger als bei allgemeiner Warnung (*Kaffeetasse*).

- b) Haupteffekt Zielentfernung: Bei höherer Zielentfernung (102 km) fühlen sich die Fahrer im Mittel anfälliger für Fahrfehler als bei geringerer Zielentfernung (32 km).

IV. Maximal tolerierte Pausenkosten

Gemäß allgemeiner Annahmen der Erwartung-mal-Wert-Theorie (s.a. 3.2.4) wird zudem Folgendes vorhergesagt:

- a) Haupteffekt Warnungstyp: Bei allgemeiner Warnung (*Kaffeetasse*) werden im Mittel höhere Kosten für eine Pause toleriert als bei reiner *Entfernungsinformation*; bei personalisierter Warnung (*eigenes Bild*) erscheinen den Fahrern im Mittel höhere Kosten akzeptabel als bei allgemeiner Warnung (*Kaffeetasse*).
- b) Haupteffekt Zielentfernung: Bei höherer Zielentfernung (102 km) werden im Mittel höhere Pausenkosten toleriert als bei geringerer Zielentfernung (32 km).

Bezüglich der jeweiligen Interaktionseffekte werden mangels entsprechender mathematischer Spezifität der PMT keine Hypothesen formuliert; der Interaktionsterm wird jedoch wiederum explorativ mit in die jeweiligen Modelle einbezogen⁶⁶.

Für die verbleibenden PMT-Variablen *Subjektiver Schweregrad der Schädigung*, *wahrgenommene Handlungswirksamkeit* und *Selbstwirksamkeit* werden weiterhin keine Effekte der experimentellen Manipulation erwartet. Zur Kontrolle werden jedoch auch diese Variablen den entsprechenden Analysen unterzogen.

4.2.5 Stichprobe

Das Prozedere bei der Rekrutierung der Probanden inklusive der Ein- und Ausschlusskriterien war analog zu dem in Experiment 1, mit dem einzigen Unterschied, dass das Altersspektrum auf Fahrer jüngeren bis mittleren Alters eingeschränkt wurde (s. 4.1).

Die resultierende Stichprobe bestand aus 47 Männern und 13 Frauen zwischen 19 und 44 Jahren ($M = 26.3$, $SD = 5.1$). Alter und Geschlecht waren in den sechs Experimentalgruppen gleichmäßig verteilt. Ein Drittel der Teilnehmenden ($n = 20$) war schon einmal oder mehrmals an der Verursachung eines Unfalls beteiligt. Nur zwei Teilnehmer wiesen je einen dieser Unfälle als müdigkeitsbedingt aus; einer von ihnen gehörte zu der Gruppe *Kaffeetasse-102km*, der andere zur Gruppe *Entfernungsrückmeldung-32km*. Die 30 Personen, welche angaben, schon einmal Sekundenschlaf erlebt zu haben, ebenso wie die 42, welche schon einmal von Müdigkeitswarnsystemen gehört hatten, waren gleichmäßig auf die Meldungstyp- und Zielentfernungsgruppen verteilt. Zwei Teilnehmer waren schon einmal mit einem Müdigkeitswarnsystem gefahren (beide in der Gruppe *Entfernungsrückmeldung*, je einer mit hoher und geringer Zielentfernung); niemand hatte eines in seinem eigenen Fahrzeug.

4.3 Ergebnisse

4.3.1 Voralysen

4.3.1.1 Subjektive Müdigkeit vor der Fahrt, zu den Rückmeldungszeitpunkten und nach der Fahrt

Um einen Eindruck zu bekommen, inwiefern die verschärften Maßnahmen zur Förderung von Müdigkeit während der Versuchsfahrt tatsächlich den erwünschten Erfolg hatten, können zunächst wie-

⁶⁶ Eine Anpassung der theoretischen Erwartungen für die Interaktionseffekte aufgrund einiger beobachteter Tendenzen (Vulnerabilität, Pausenwahrscheinlichkeit) in Experiment 1 erschien vor dem Hintergrund der hohen statistischen Unsicherheit und des Fehlens starker theoretischer Argumente verfrüht. Dasselbe gilt für mögliche Effekte der verbleibenden PMT-Variablen Schweregrad, Handlungswirksamkeit und Selbstwirksamkeit.

der die subjektiven Müdigkeitsbeurteilungen der Fahrer herangezogen werden. Mit Hilfe der Karolinska Sleepiness Scale (Wertebereich von 0 – „sehr wach“ – bis 8 – „sehr müde, große Probleme wach zu bleiben, mit dem Schlaf kämpfend“ –, s.a. Anhänge A.2.3, A.2.4 und A.2.5) beurteilten die Teilnehmer ihre Befindlichkeit jeweils vor der Fahrt, nach der Fahrt und retrospektiv für den Zeitpunkt bzw. die zwei Zeitpunkte unmittelbar vor einer Warnung oder Rückmeldung.

Im Stichprobenmittel wurde die subjektive Müdigkeit vor der Fahrt mit $M = 5.73$ ($SD = 1.44$), nach der Fahrt mit $M = 6.58$ ($SD = 1.27$) angegeben. Von besonderem Interesse im Sinne der Versuchslogik ist wiederum die während der Fahrt und insbesondere im Kontext der Systemmeldungen erlebte Müdigkeit. Diese lag für den Zeitpunkt vor der ersten Systemanzeige im Mittel bei $M = 6.53$ ($SD = 1.30$; $n = 60$), vor der zweiten bei $M = 6.68$ ($SD = 1.25$; $n = 41$).

Um die Auswertung zu vereinheitlichen, wird im Folgenden der jeweils *letzte* Anzeigzeitpunkt betrachtet. Dies ist insofern sinnvoll, als dies im Hinblick auf die zu untersuchende Überzeugungsfunktion von Warnungen der Punkt ist, ab dem keine weitere Einflussnahme möglich ist.

Die mittlere subjektive Müdigkeit vor der jeweils letzten Warnung / Rückmeldung betrug $M = 6.85$ ($SD = 1.12$; $n = 60$). Wie im ersten Versuch verortete sich der größte Teil der Fahrer ($n = 30$) auf Stufe 7 der Karolinska-Skala. Der Anteil derer, die den Maximalwert 8 wählten ($n = 15$) war höher als im ersten Versuch; ebenso nahm der Anteil derer ab, die angaben, sich müde zu fühlen, aber keine Probleme mit dem Wachbleiben zu haben (KSS-Stufe 6; $n = 11$). Lediglich 4 Personen wählten KSS-Werte unter 6. Im Mittel macht die Zunahme der Müdigkeit vor dem letzten Warnzeitpunkt von Experiment 1 zu Experiment 2 etwa einen halben KSS-Skalenpunkt aus. Inferenzstatistisch ist dieser Zuwachs relativ klein ($r = 0.18$), aber signifikant ($t(98) = 1.902$, $p = .030$). Abbildung 28 zeigt die mittleren subjektiven Müdigkeitsurteile für alle Messzeitpunkte im Vergleich über die Experimente.

4.3.1.2 Müdigkeitsverläufe während der Fahrt und Überschreitung des warnungskritischen Wertes

Weitere Hinweise auf den Erfolg der müdigkeitssteigernden Maßnahmen liefert die Analyse der TUBSS-Ratings, welche auf Grundlage einer jeweils einminütigen Videobeobachtung im Abstand von 5 Minuten durch den Versuchsleiter vorgenommen wurden.

In der ersten Studie hatte nur etwas mehr als die Hälfte der Teilnehmer das Müdigkeitskriterium (TUBSS-Stufe 5) erreicht oder überschritten; den anderen war die Warnung aufgrund des Ablaufs der maximal für die erste Fahrphase vorgesehenen Zeit von einer Stunde präsentiert worden.

Im vorliegenden zweiten Experiment erhielten fast alle ($n = 59$) Teilnehmer die Warnung, nachdem sie zuvor das TUBSS-Müdigkeitskriterium erreicht hatten. Nur eine einzige Person (Gruppe *Entfernungsmeldung-32km*) hatte die TUBSS-Stufe 4 (*schläfrig mit Tendenz zu sehr müde*) noch nicht überschritten, als ihr nach zwei Stunden Fahrt die Systemmeldung dargeboten wurde. Die erste Kriteriumsüberschreitung trat im Mittel nach etwa 32 Minuten Fahrzeit auf ($M = 6.47$; $SD = 3.81$,

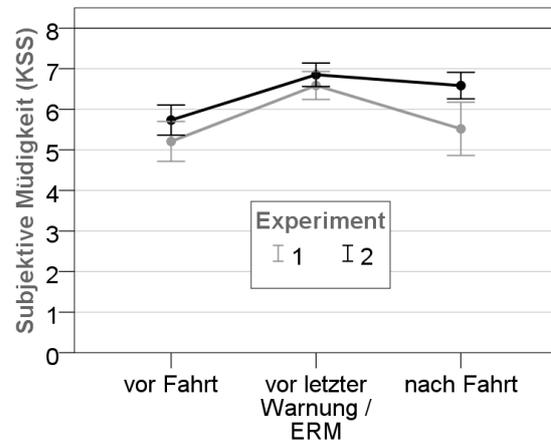


Abbildung 28. Mittlere subjektive Müdigkeit in Experiment 1 und 2 zu drei Messzeitpunkten: vor der Fahrt, unmittelbar vor der letzten Warnung oder Entfernungsrückmeldung (ex post) und nach der Fahrt. Fehlerbalken stellen 95%-Konfidenzintervalle dar.

$n = 59$ für die Nummer des TUBSS-Messzeitpunktes), die zweite – sofern eine solche vorkam - nach etwa 41 Minuten ($M = 8.29$; $SD = 4.99$, $n = 41$ für die Nummer des TUBSS-Messzeitpunktes). Zu beiden Zeitpunkten entsprach die gemessene Müdigkeit größtenteils TUBSS-Stufe 5, *sehr müde mit Tendenz zu schläfrig* ($M = 5.08$, $SD = 0.34$ vor der ersten Anzeige; $M = 5.17$, $SD = 0.49$ vor der gegebenenfalls zweiten Anzeige). Die Ausprägungen der genannten Maße unterscheiden sich nicht signifikant zwischen den Experimentalgruppen, mit Ausnahme eines erwartbaren Effekts der *Zielentfernung* auf den mittleren Zeitpunkt des zweiten kritischen TUBSS-Wertes ($F(1,35) = 4.38$, $p = .044$): Da in der Gruppe mit hoher Zielentfernung nach der ersten Anzeige noch länger gefahren werden musste, gab es hier auch zu späteren Messzeitpunkten noch Gelegenheiten zu Kriteriumsüberschreitungen, was den mittleren Zeitpunkt der zweiten kritischen Müdigkeit nach hinten verschiebt ($M_{32km} = 6.41$; $SD = 3.39$; ; $M_{102km} = 9.62$; $SD = 5.56$). In Anhang B.2.1 sind die Verlaufskurven der TUBSS-Müdigkeitswerte aller Teilnehmer geordnet nach experimentellen Bedingungen wiedergegeben.

4.3.1.3 Bemerken und Verständnis der Warnanzeige

Zur Erfassung möglicher Unterschiede, die bedingt durch das Warnungsdesign und die Fahrsituation in den frühen Stufen der Informationsverarbeitung auftreten, wurden die Teilnehmer im Anschluss an die Fahrt befragt, welches Warnsymbol und welche Restdistanzangabe sie gesehen hatten.

Wahrnehmung der Zielentfernung zum ersten Anzeigezeitpunkt. Während die „runden“ Restkilometerangaben aus Experiment 1 in der Rückschau mit hundertprozentiger Genauigkeit berichtet werden konnten, ergab sich für die „krummen“ Zahlen in Experiment 2 eine leichte Streuung der wiedergegebenen Werte. Für den ersten Warnzeitpunkt berichteten in der Gruppe mit geringer Zielentfernung 27 Personen den korrekten Wert *32 km*. Von den drei verbleibenden Teilnehmern gab einer *38 km* an; ein anderer *28 km* (dieser hatte in der zweiten Anzeige *23 km* gesehen und konnte für die entsprechende Entfernung keine Angabe machen) und ein dritter *15 km* (diesen Wert, der bezüglich der zweiten Anzeige zutreffend war, berichtete dieser Teilnehmer für beide Warnzeitpunkte). In der Gruppe mit hoher Zielentfernung nannten 24 Personen die korrekten *102 km*. Je ein Teilnehmer erinnerte sich an *100*, *103*, *104* und *105 km*. Ein Proband machte keine Angabe für den ersten Warnzeitpunkt, konnte aber die in der zweiten Systemmeldung angezeigten *85 km* Restdistanz zutreffend berichten.

Demnach kann festgestellt werden, dass die Informationen über die Zielentfernung zum ersten Anzeigezeitpunkt von den Fahrern adäquat genug verarbeitet wurden, um im Sinne der Versuchslogik und des C-HIP-Modells Schlussfolgerungen über die nachfolgenden Verarbeitungsprozesse bei *geringer* gegenüber *hoher* Zielentfernung ziehen zu können. Die wenigen auftretenden Abweichungen sind relativ gering, so dass - selbst wenn man davon ausgeht, dass die Fehler tatsächlich bereits bei der ersten Enkodierung und nicht, was wahrscheinlicher ist, erst beim Abruf der Information im Nachhinein auftraten – sich die wahrgenommenen Zieldistanzen noch immer im gewünschten Skalenbereich eines *nahen* beziehungsweise *weiter entfernten* Ziels befanden.

Wahrnehmung der Zielentfernung zum zweiten Anzeigezeitpunkt. 41 der insgesamt 60 Fahrer erhielten auf Grundlage ihres Müdigkeitsverlaufs eine zweite Warnung oder Entfernungsrückmeldung. Erwartungsgemäß kam eine zweite Meldung in der Gruppe mit ursprünglich hoher Zielentfernung häufiger vor: 80% der Teilnehmer in dieser Bedingung ($n = 24$; s. Tabelle 7) überschritten nach der ersten Anzeige erneut das Müdigkeitskriterium. Im Vergleich dazu traf dies in der *32-km*-Bedingung nur auf etwas mehr als die Hälfte zu, was aber vor dem Hintergrund, dass die Restfahrzeit hier nur noch etwa 19 Minuten betrug, ebenfalls bemerkenswert ist und für eine insgesamt hohe

Müdigkeit im Kreis der Fahrer spricht. Über die drei Warnungsbedingungen hinweg ist die Häufigkeit einer zweiten Anzeige annähernd gleich verteilt (s. Tabelle 7).

Tabelle 7. Anzahl der Personen, die 2 Warnungen / Entfernungsmeldungen erhielten, in den Experimentalgruppen

		Zielentfernung bei erster Meldung		
		32 km	102 km	Gesamt
Warnungsbedingung	Entfernungsmeldung	7	9	16
	Kaffeetasse	6	7	13
	eigenes Bild	4	8	12
	Gesamt	17	24	41

Auch für den zweiten Warn- bzw. Rückmeldungszeitpunkt berichteten die Fahrer in der retrospektiven Befragung, an welche angezeigte Zielentfernung sie sich erinnerten.

Tabelle 8 zeigt alle tatsächlich präsentierten Werte sowie die entsprechenden Angaben der Teilnehmer. Deren große Mehrheit konnte die Kilometeranzeigen präzise wiedergeben. Bei 4 der 5 fehlerhaften Angaben liegt die Abweichung in

einem vernachlässigbaren Bereich von jeweils 3 km Unter- beziehungsweise Überschätzung. Nur ein Teilnehmer machte keine Angabe. Wie oben erwähnt, kann jedoch anhand der Tatsache, dass er die Entfernung zum ersten Anzeigezeitpunkt zumindest ungefähr berichten konnte, vermutet werden, dass er sich auch zum zweiten Zeitpunkt fünf Minuten später in etwa über die verbleibende Zielentfernung im Klaren war.

Tabelle 8. Mit der zweiten Warnung / Rückmeldung angezeigte Restkilometer (fett) und entsprechende Teilnehmerangaben aus der retrospektiven Befragung (unfett) in den Experimentalgruppen. Grau unterlegt: Fälle mit Abweichungen zwischen angezeigtem und berichtetem Wert.

			Zielentfernung bei erster Meldung																	
			32 km								102 km									
Warnungsbedingung	Entfernungsmeldung	Anzeige	13	22	23	93	18	93	85	85	77	77	53	85						
		Bericht	13	22	23	23	23	26	23	93	18	93	82	85	77	77	50	85		
	Kaffeetasse	Anzeige	7	14	17	23	15	23	85	77	77	85	93	93	85					
		Bericht	7	14	17	23	15	85	77	77	85	93	93	85						
	eigenes Bild	Anzeige	23	23	20	23	75	85	68	52	93	52	93	93						
		Bericht	23	23	20	26	75	85	68	52	93	52	93	93						

Wahrnehmung des dargestellten Symbols. Aus der Gruppe *Entfernungsrückmeldung* konnten 18 von 20 Probanden für den ersten Anzeigezeitpunkt und 14 von 16 für den zweiten Anzeigezeitpunkt a posteriori korrekt berichten, dass auf dem Display eine *Fahne* zu sehen gewesen war. Von den insgesamt 3 Fahrern, welche für irgendeinen Zeitpunkt die Option *weiß ich nicht* wählten, tat nur einer dies für beide Zeitpunkte, die anderen beiden gaben jeweils für einen Zeitpunkt das korrekte Symbol an. Interessanterweise waren alle drei in der Lage, die korrespondierenden Entfernungsangaben richtig zu reproduzieren.

Aus der Gruppe mit der *Allgemeinen Warnung* erinnerten für den ersten Zeitpunkt 17 von 20, für den zweiten 10 von 13 korrekt das *Kaffeetassensymbol*. Unter den 3 Personen, die irgendwann die Option *weiß ich nicht* wählten bzw. - in einem Fall - auf die Beantwortung der Frage verzichteten, waren wiederum 2, die zumindest für einen der Zeitpunkte das richtige Symbol berichteten. Von diesen beiden wusste einer (102km-Gruppe) beide Zielentfernungen, der andere (32km-Gruppe) berichtete eine annähernd korrekte Zahl für den ersten Warnzeitpunkt, für welchen er auch das

Symbol erinnerte. Der eine Proband, der zweimal *weiß ich nicht* wählte (32km-Gruppe), gab wiederum beide Zielentfernungen richtig an, ebenso wie der einzige Teilnehmer, der für beide Zeitpunkte eine falsche Antwortalternative (Wecker) auswählte (102km-Gruppe).

In der Gruppe mit der *Personalisierten Warnung* konnten jeweils alle Befragten richtig berichten, dass sie ein *Bild ihrer selbst* gesehen hatten.

Zusammenfassend und mit Blick auf die weitere Auswertung kann somit festgestellt werden, dass die dargebotenen Warnungsinformationen die frühen Stufen des C-HIP-Modells in befriedigender Verarbeitungsqualität durchlaufen haben. Bezüglich der Erinnerung an die Anzeigen ist besonders wichtig, dass es keinen einzigen Totalausfall gab: Jeder Teilnehmer konnte zu jeder dargebotenen Rückmeldung wenigstens eine Angabe machen. Demnach wurde jede einzelne Rückmeldung hinsichtlich ihres Vorliegens bemerkt und verarbeitet, was in erster Linie in den Warnungsbedingungen relevant ist. In der Bedingung *reine Entfernungsrückmeldung* erscheint die Verarbeitung des dargebotenen Symbols ohnehin zweitrangig, da es keine wesentliche Information übermittelt, und wie oben beschrieben kann hinsichtlich der Zielentfernung geschlussfolgert werden, dass die Teilnehmer diese zu jedem Zeitpunkt zutreffend – mit seltenen, sehr geringen Ungenauigkeiten – abschätzen konnten.

Hinsichtlich der weiteren Analysen stellt sich die Frage, wie mit den Ergebnissen der vereinzelt Fälle umgegangen werden soll, bei denen Defizite in der frühen Verarbeitung nicht ausgeschlossen werden können⁶⁷. Im Rahmen der hier gestellten Frage nach der Nützlichkeit verschiedener Warnungsvarianten erscheint es aus praktischer Sicht nicht sinnvoll, die entsprechenden kognitiven Einschätzungen und das Verhalten aus den weiteren Analysen auszuschließen. Selbst wenn eine ungenaue frühe Verarbeitung gegeben wäre, sind die resultierenden Einschätzungen am Ende ausschlaggebend für den Erfolg oder Misserfolg einer Gestaltungsvariante. In dieser Hinsicht ist es irrelevant, ob ein Warnsymbol beispielsweise deswegen zu einer geringeren Vulnerabilitätseinschätzung führte, weil es gar nicht oder nur oberflächlich semantisch verarbeitet wurde oder weil es als Symbol nicht stark genug die Assoziation von Gefahr anstößt. Zudem machen Rückkopplungen der Gefährlichkeitswahrnehmung auf Aufmerksamkeitszuwendung und Behalten die Trennung dieser Aspekte schwierig. Aus diesem Grund werden in den hier berichteten Analysen alle Daten einbezogen (s.a. Diskussion in 4.4.1).

4.3.1.4 Müdigkeitsurteile für die Warnungsbilder in der Bedingung „personalisierte Warnung“

Alle Teilnehmer in der personalisierten Warnungsbedingung bewerteten die eigenen Porträts, welche zu diesem Zweck noch einmal präsentiert wurden, retrospektiv anhand der KSS (*0 – sehr wach – bis 8 – sehr müde, große Probleme wach zu bleiben, mit dem Schlaf kämpfend*). Die große Mehrheit beurteilte ihr Aussehen auf dem Bild mit hohen Müdigkeitswerten. Für das zum letzten Warnzeitpunkt gezeigte Bild lag das mittlere KSS-Rating bei $M = 7.00$ ($SD = 1.62$). Dies spricht für die Eignung der Bilder im Sinne der experimentellen Manipulation.

⁶⁷ zu beachten bleibt die Möglichkeit, dass nicht die Enkodierung der Information zum Anzeigezeitpunkt scheiterte, sondern lediglich der Abruf zum Befragungszeitpunkt nicht mehr möglich war

4.3.2 Prüfung der Hypothesen

4.3.2.1 Pausenhäufigkeit

Abbildung 29 zeigt die relative Häufigkeit, mit der sich Teilnehmer für eine Pause entschieden, aufgeschlüsselt nach den experimentellen Bedingungen. Insgesamt äußerten 17 der 60 Teilnehmer den Entschluss, die Fahrt zu unterbrechen, was einem Anteil von etwa 28% entspricht.

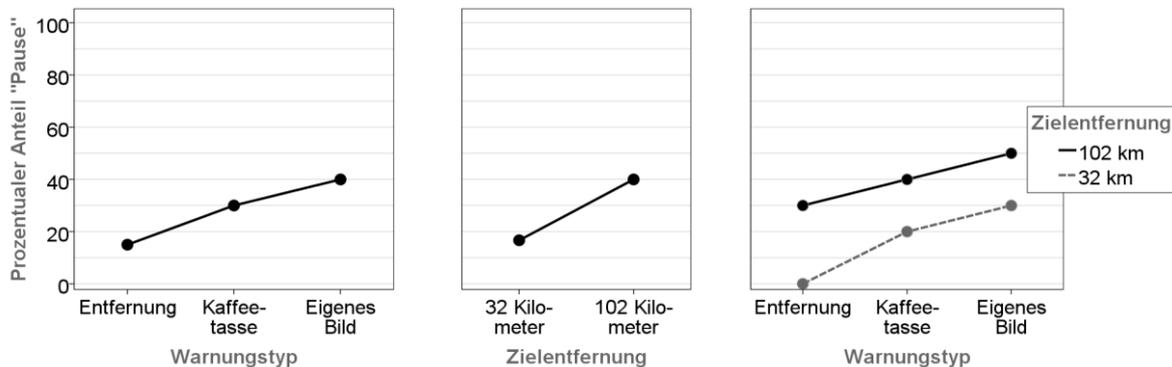


Abbildung 29. Prozentualer Anteil der Personen pro Referenzgruppe, die sich nach der Systemmeldung für eine Pause entschieden. Links: aufgeschlüsselt nach Warnungsbedingung ($n_{\text{pro Gruppe}} = 20$), Mitte: aufgeschlüsselt nach Zielentfernung ($n_{\text{pro Gruppe}} = 30$), rechts: nach Warnungstyp x Zielentfernung ($n_{\text{pro Gruppe}} = 10$).

Vergleicht man die relativen Häufigkeiten von Pausen in Abhängigkeit von der Warnungsbedingung, zeigt sich, dass sich von den je 100% ($n = 20$) der Personen, welche unter jeder Faktorstufe die Wahl hatten, 15% ($n = 3$) nach einer reinen Entfernungsmeldung ohne Warncharakter für eine Pause entschieden, 30% ($n = 6$) nach einer allgemeinen Warnanzeige mit Kaffeetassensymbol und 40% ($n = 8$) nach einer personalisierten Warnanzeige mit Eigenem Bild.

Auch beim Vergleich der beiden Zielentfernungsbedingungen offenbaren sich Verteilungsunterschiede. Von den je 30 Fahrern wählten bei geringer Zielentfernung etwa 17% ($n = 5$) eine Pause, bei hoher Zielentfernung 40% ($n = 12$).

Betrachtet man schließlich das Zusammenspiel von Warnungsbedingung und Zielentfernung, wird deutlich, dass in einer Bedingung kein einziger Fahrer anhielt: War das Ziel nah, fühlte sich durch eine reine Entfernungsrückmeldung niemand zu einer Pause animiert. Bemerkenswert ist, dass sich im Vergleich dazu 2 von 10 Teilnehmern in der allgemeinen und 3 von 10 in der personalisierten Warnungsbedingung trotz geringer Zielentfernung entschieden, die Fahrt noch einmal zu unterbrechen. War das Ziel noch weit entfernt, wählten 3 Personen auch ohne Warnung eine Pause. Wirkten hohe Zielentfernung und personalisierte Warnung zusammen, erhöhte sich der Anteil der Pausierer auf die Hälfte ($n = 5$) aller Entscheider in dieser Situation, bei allgemeiner Warnung war es nur einer weniger ($n = 4$).

Die genannten Unterschiede im Pausenverhalten wurden mit Hilfe einer logistischen Regression auf statistische Signifikanz geprüft. Als kategoriale Prädiktoren gingen die Zielentfernung (*hoch* vs. *gering*) sowie zwei weitere Kontraste, welche die Warnungsbedingungen repräsentieren, in die Gleichung ein. Der erste dieser Kontraste erbringt ein Regressionsgewicht für den Vergleich der allgemeinen Warnungsbedingung (Kaffeetasse) mit dem reinen Entfernungsfeedback, der zweite Kontrast vergleicht die Wirksamkeit der personalisierten Warnung mit dem Entfernungsfeedback. Auf die Einbeziehung der Interaktionsterme wurde wegen der sehr geringen erwarteten Häufigkeiten in einigen Zellen verzichtet.

Tabelle 9. Ergebnisse der logistischen Regression zur Vorhersage der beobachteten Pausenwahrscheinlichkeiten durch Warnungstyp und Zielentfernung.

	<i>b</i>	<i>(SE)</i>	<i>p</i>	95%-Konfidenzintervall für Odds Ratio		
				<i>Unterer Wert</i>	<i>Odds Ratio</i>	<i>Oberer Wert</i>
Warnung Kaffeetasse vs. Entfernungsmeldung	0.94	(0.82)	0.249	0.52	2.57	12.81
Warnung Bild vs. Entfernungsmeldung	1.43	(0.81)	0.076	0.86	4.17	20.19
Zielentfernung hoch vs. gering	1.28*	(0.64)	0.045	1.03	3.58	12.47
Konstante	-1.24	(0.67)	0.063			

Modell- $\chi^2(3) = 7.62$, $p = .055$. $R^2 = 0.11$ (Hosmer & Lemeshow), 0.12 (Cox & Snell), 0.17 (Nagelkerke). * $p < .05$

Insgesamt verbessert die Aufnahme der Prädiktoren das Modell im Vergleich zum einfachsten Modell mit nur einer Konstanten (das für jeden Teilnehmer vorhersagen würde, dass er *keine* Pause macht) in geringem, aber marginal signifikantem Umfang (siehe χ^2 in Tabelle 9, letzte Zeile), wobei, wie die R^2 -Werte zeigen, ein relativ großer Anteil der Pausenentscheidungen vom Modell unerklärt bleibt.

Von den einzelnen Prädiktoren leistet entsprechend des Signifikanzkriteriums von $p < 0.05$ nur die *Zielentfernung* einen bedeutsamen Beitrag zur Vorhersage von Pausen. Demnach erhöht sich bei hoher Zielentfernung die Wahrscheinlichkeit zu pausieren im Verhältnis zur Wahrscheinlichkeit weiterzufahren auf das etwa 3.6fache (s. Odds Ratio in Tabelle 9). Allerdings ergeben sich ein sogar etwas höheres *b*-Gewicht und entsprechendes Odds Ratio auch für den Prädiktor *Warnung mit Bild vs. Entfernungsmeldung*. Vermutlich wegen der geringeren Probandenanzahl in den Warnungs- im Vergleich zu den Zielentfernungsbedingungen ist hier aber auch die Unsicherheit der Schätzung (*SE*) etwas höher, womit der Effekt bei gefordertem $\alpha < .05$ nicht signifikant ist. Akzeptiert man jedoch die Irrtumswahrscheinlichkeit von $p = 0.076$, sprechen die Daten dafür, dass auch durch eine personalisierte Warnung das Chancenverhältnis von Pause zu Weiterfahren auf etwa das 4.2fache im Vergleich zur Situation ohne Warnsystem steigt. Dem gegenüber verfehlt der Effekt der *Warnung mit Kaffeetasse* deutlich die Signifikanz.

4.3.2.2 Subjektive Pausenwahrscheinlichkeit

Im Einklang mit der Zunahme beobachtbaren Pausenverhaltens waren auch die in der retrospektiven Befragung erhobenen subjektiven Pausenwahrscheinlichkeiten zum jeweils letzten Warnzeitpunkt in Experiment 2 insgesamt höher als in Experiment 1 ($M_{Exp1} = 2.45$, $SD = 2.50$; $M_{Exp2} = 3.92$, $SD = 3.16$; $t(95.02) = -2.58268$, $p = .006$, korrigiert für ungleiche Varianzen; Skala von 0 – nicht wahrscheinlich bis 9 – sehr wahrscheinlich).

Abbildung 30 stellt die Mittelwerte der Experimentalgruppen, aufgeschlüsselt nach Warnungsbedingung, Zielentfernung und der Kombination beider Faktoren, einander zum Vergleich gegenüber.

⁶⁸ gerichteter t-Test für unabhängige Stichproben

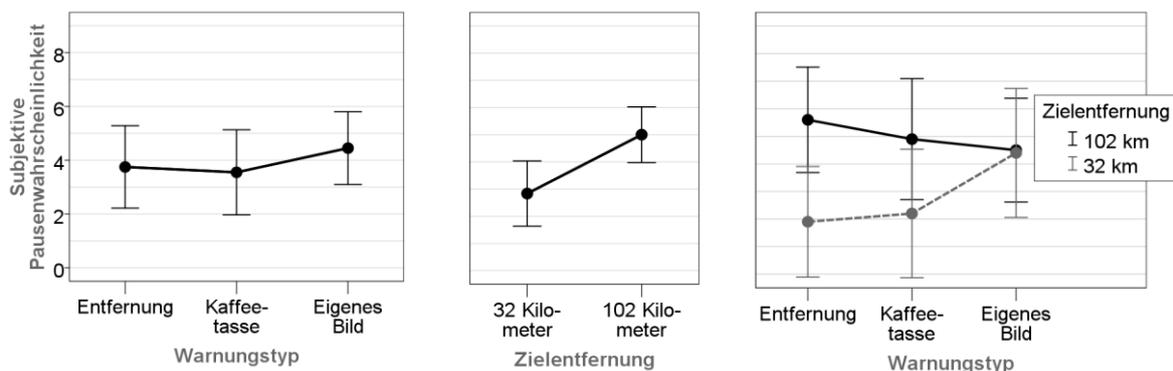


Abbildung 30. Mittlere subjektive Wahrscheinlichkeit, nach der letzten Systemmeldung im Experiment eine Pause einzulegen. Links: Haupteffekt des Warnungstyps, Mitte: Haupteffekt der Zielentfernung, rechts: Interaktionseffekt. Fehlerbalken stellen 95%-Konfidenzintervalle dar.

Wie sich zeigt, führte insgesamt keine der beiden Warnungsvarianten zu einer signifikant stärkeren Pausenintention als eine reine Entfernungsinformation ($M_{Entf} = 3.75$, $SD = 3.28$, $M_{Koff} = 3.55$, $SD = 3.38$; $M_{Bild} = 4.45$, $SD = 2.89$; $F(2,54) = .508$, $p = .604$). In erwarteter Richtung offenbart sich hingegen ein deutlicher Haupteffekt der Zielentfernung ($M_{32km} = 2.83$, $SD = 3.22$, $M_{102km} = 5.00$, $SD = 2.74$; $F(1,54) = 8.010$, $p = .007$). Hinsichtlich der Interaktion zeigen die Stichprobenmittelwerte ein interessantes Muster: Während es übereinstimmend mit dem Haupteffekt der Zielentfernung den Befragten sowohl ohne Warnung als auch bei allgemeiner Warnung jeweils sehr viel unwahrscheinlicher erscheint, dass sie eine Pause machen, wenn nur noch wenige Kilometer zurückzulegen sind ($M_{En32} = 1.90$, $SD = 2.81$, $M_{Ko32} = 2.20$, $SD = 3.26$) weicht der entsprechende Mittelwert in der Gruppe mit personalisierter Warnung recht deutlich nach oben ab ($M_{Bi32} = 4.40$, $SD = 3.27$) und liegt etwa auf dem gleichen Niveau wie bei hoher Zielentfernung ($M_{Bi102} = 4.50$, $SD = 2.64$). Obwohl dieser Unterschied mehr als zwei Skalenpunkte ausmacht, ist der Interaktionseffekt vor dem Hintergrund der hohen interindividuellen Varianz dennoch nicht signifikant ($F(2,54) = 1.964$, $p = .150$). Eine weitere interessante Beobachtung auf Ebene der Stichprobenmittelwerte, nämlich, dass bei hoher Zielentfernung die Pausenintention *ohne Warnung* am stärksten ist ($M_{En102} = 5.60$, $SD = 2.68$), muss bei geringerer Unterschiedsgröße ebenfalls dem Zufall zugeschrieben werden.

4.3.2.3 Subjektive Vulnerabilität

Wieder wurden neben den objektiven und subjektiven Verhaltenswahrscheinlichkeiten auch die kognitiven Einschätzungen erfragt, die gemäß der PMT Verhaltensintentionen und Verhalten beeinflussen. Theoretisch sollte unter diesen vor allem die wahrgenommene Vulnerabilität systematisch sowohl mit der Zielentfernung als auch mit der Warnungsbedingung variieren (s. 4.2.4). Betrachtet wird wiederum die Befindlichkeit in Bezug auf den Zeitpunkt nach der jeweils letzten Systemanzeige.

Insgesamt liegen die angegebenen subjektiven Vulnerabilitätswerte im mittleren Skalenbereich und erscheinen damit bei Interpretation als wahrgenommene Fehlerwahrscheinlichkeiten relativ hoch ($M_{ges} = 46.75$, $SD = 28.65$ auf der Skala von 0 bis 100%).

Der Vergleich der Warnungsgruppen (s. Abbildung 31, S. 115) zeigt deskriptiv das erwartete Bild: Die mittlere Vulnerabilität liegt nach einer allgemeinen Warnung etwa 5% und nach einer personalisierten Warnung etwa 15% höher als ohne Warnung ($M_{Entf} = 39.63$, $SD = 29.53$, $M_{Koff} = 45.00$, $SD = 29.23$; $M_{Bild} = 55.63$, $SD = 26.13$), inferenzstatistisch ist der Haupteffekt aber mit $p = .203$ nicht signifikant ($F(2,54) = 1.644$). Ähnlich verhält es sich mit dem Haupteffekt der Zielentfernung: Ist diese hoch, wird die Vulnerabilität im Mittel um 10% höher eingeschätzt als bei nahem Ziel ($M_{102km} = 51.83$,

$SD = 27.63$, $M_{32km} = 41.67$, $SD = 29.20$), doch auch für diesen Effekt liegt in Anbetracht der vorhandenen Unterschiede innerhalb der Gruppen die Irrtumswahrscheinlichkeit bei $p = .171$ ($F(1,54) = 1.923$).

In Bezug auf die Wechselwirkung von Warnung und Zielentfernung findet sich ein ähnliches Muster der Stichprobenmittelwerte wie schon zuvor bei der subjektiven Pausenwahrscheinlichkeit: Während ohne Warnung die Vulnerabilität bei kurzer Restdistanz deutlich geringer eingeschätzt wird ($M_{En32} = 30.50$, $SD = 25.89$) als bei langer ($M_{En102} = 48.75$, $SD = 31.39$), fühlen sich die Teilnehmer nach einer personalisierten Warnung auch auf der kurzen Strecke ebenso gefährdet ($M_{Bi32} = 54.75$, $SD = 28.61$) wie auf der langen ($M_{Bi102} = 56.50$, $SD = 24.92$). In abgeschwächter Form erscheint dieses Muster auch in der Bedingung mit allgemeiner Warnung ($M_{Ka32} = 39.75$, $SD = 30.42$; $M_{Ka102} = 50.25$, $SD = 28.59$). In Relation zu den interindividuellen Unterschieden ist die Interaktion aber weit von einer statistischen Signifikanz entfernt ($F(2,54) = 0.423$, $p = .658$).

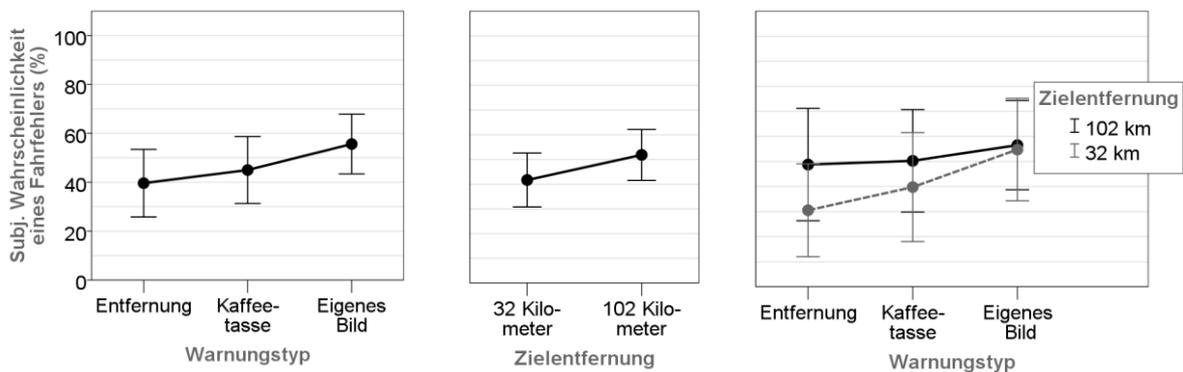


Abbildung 31. Mittlere nach der letzten Systemmeldung wahrgenommene Gefährdung, einen Fahrfehler zu begehen. Links: Haupteffekt des Warnungstyps, Mitte: Haupteffekt der Zielentfernung, rechts: Interaktionseffekt. Fehlerbalken stellen 95%-Konfidenzintervalle dar.

4.3.2.4 Maximal tolerierte Pausenkosten

Wiederum wurden die Teilnehmer nach der Fahrt befragt, welchen Geldbetrag sie in der gegebenen Situation maximal für eine Pause auszugeben bereit wären. Trotz der in vielerlei Hinsicht unterschiedlichen Rahmenbedingungen unterscheiden sich insgesamt die maximal tolerierten Pausenkosten über die Experimente nicht signifikant ($M_{Exp1} = 4.77$ €, $SD = 3.71$; $M_{Exp2} = 4.53$ €, $SD = 3.54$; $t(97) = 0.329$, $p = .743$).

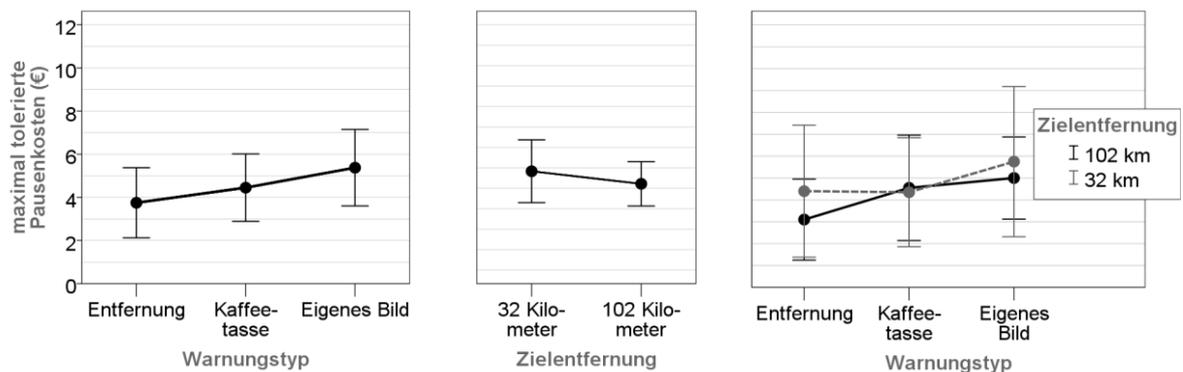


Abbildung 32. Mittelwerte der tolerierten Höchstkosten einer Pause im Fahrversuch (unter Einbezug von zwei statistischen Extremwerten). Links: Haupteffekt des Warnungstyps, Mitte: Haupteffekt der Zielentfernung, rechts: Interaktionseffekt. Fehlerbalken stellen 95%-Konfidenzintervalle dar.

Ebenfalls ähnlich wie in Experiment 1 offenbarte die explorative Datenanalyse zwei extreme Ausreißerwerte, welche in der jeweiligen Bedingung außerhalb von $M \pm 3 SD$ lagen. Abbildung 32 zeigt das Muster der Gruppenmittelwerte unter Einbeziehung der Extremwerte. In Abhängigkeit der

Warnbedingung nimmt die mittlere Zahlungsbereitschaft für eine Pause zu ($M_{Entf} = 3.75 \text{ €}$, $SD = 3.47$; $M_{Kaff} = 4.45 \text{ €}$, $SD = 3.34$; $M_{Bild} = 5.38 \text{ €}$, $SD = 3.79$), in Relation zur Gesamtvarianz ist der entsprechende Haupteffekt aber nicht signifikant ($F(2,54) = 1.023$, $p = .367$).

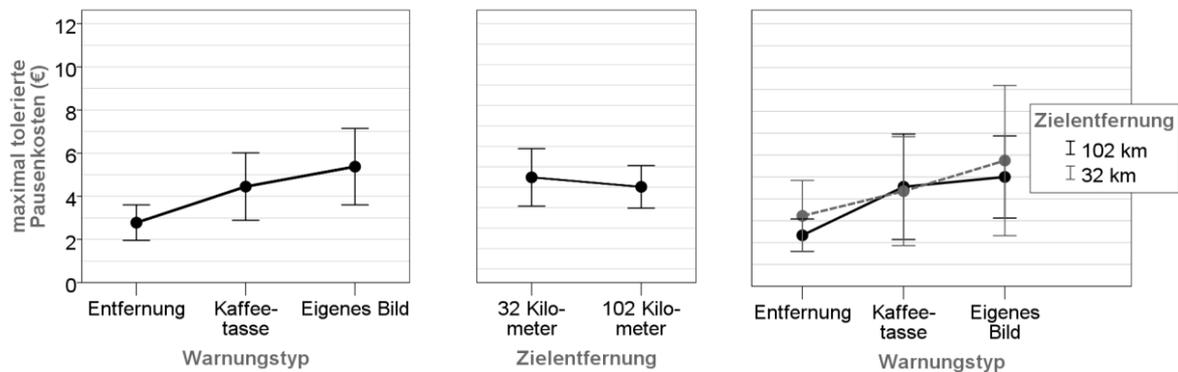


Abbildung 33. Mittelwerte der tolerierten Höchstkosten einer Pause im Fahrversuch (unter Ausschluss von zwei statistischen Extremwerten). Links: Haupteffekt des Warnungstyps, Mitte: Haupteffekt der Zielentfernung, rechts: Interaktionseffekt. Fehlerbalken stellen 95%-Konfidenzintervalle dar.

Beide extremen Ausreißer stammen aus der Gruppe mit reiner Entfernungsrückmeldung (je einer mit 32km und 102km Zielentfernung), und verzerren sowohl den Mittelwert als auch die Streuung in dieser Bedingung erheblich nach oben, wie in Abbildung 33 zu sehen ist, welche die Situation unter Ausschluss der Extremwerte darstellt ($M_{Entf} = 2.78 \text{ €}$, $SD = 1.656$). Der Haupteffekt der Warnbedingung ist in dieser Konstellation signifikant ($F(2,52) = 3.232$, $p = .048$), was per Einzelvergleich ausschließlich auf den bedeutsamen Unterschied von 2.60 € zwischen der Gruppe mit personalisierter Warnung und der Referenzgruppe ohne Warnsystem zurückzuführen ist ($p = .045$; $D_{Ka-En} = 1.67 \text{ €}$, $p = .333$; $D_{Bi-Ka} = 0.93 \text{ €}$, $p = 1.00$; p -Werte korrigiert nach Bonferroni)⁶⁹.

Der Effekt der Zielentfernung ($M_{32km} = 4.83 \text{ €}$, $SD = 4.109$; $M_{Kaff} = 4.22$, $SD = 2.903$) und der Interaktionseffekt erweisen sich weder unter Einbezug noch unter Ausschluss der Extremwerte als statistisch signifikant ($F < 1$).

4.3.3 Analyse der verbleibenden PMT-Variablen

4.3.3.1 Subjektiver Schweregrad der Schädigung

In Bezug auf die Frage, wie schwerwiegend oder schlimm den Teilnehmern die Aussicht erschien, einen Fahrfehler zu begehen und eine finanzielle Einbuße zu erleiden, wurde kein Effekt der experimentellen Faktoren erwartet.

Entgegen dieser Erwartung zeigte sich ein signifikanter Haupteffekt der Warnungsbedingung ($F(2,54) = 3.509$, $p = .037$): Wie in Abbildung 34 (S. 117) zu erkennen ist, wird der Schweregrad der Schädigung in der Gruppe mit der allgemeinen Warnung deutlich geringer eingeschätzt als in den anderen beiden Gruppen ($M_{Kaff} = 3.95$, $SD = 2.40$; $M_{Entf} = 5.90$, $SD = 2.83$, $M_{Bild} = 5.75$, $SD = 2.38$; Einzelvergleiche: $D_{En-Ka} = 1.95$, $p = .063$; $D_{Bi-Ka} = 1.80$, $p = .097$, p -Werte korrigiert nach Bonferroni).

Die Betrachtung der Interaktionswirkung zeigt, dass dieser Effekt über die Zielentfernungsbedingungen hinweg konsistent ist ($F(2,54) = 0.052$, $p = .949$). Die Zielentfernung macht erwartungsgemäß

⁶⁹ Laut Levene-Test ($F(5,52) = 2.423$, $p = .048$) resultieren auch signifikante Varianzunterschiede zwischen den Experimentalgruppen, aufgrund gleicher Gruppengrößen wird aber dennoch von einer Reliabilität des F-Werts für den Faktor Warnungsgestaltung ausgegangen (vgl. Field, 2009).

keinen Unterschied für den wahrgenommenen Schweregrad der Schädigung $F(1,54) = 0.805$, $p = .374$.

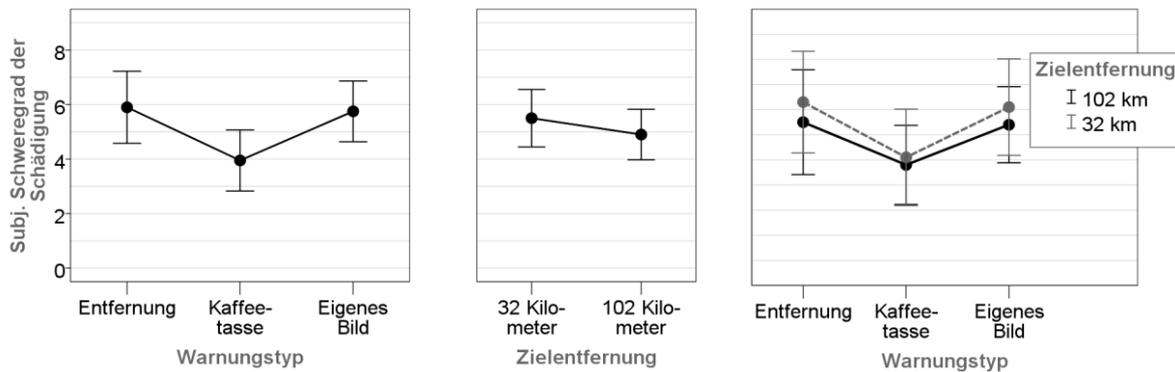


Abbildung 34. Mittlerer nach der letzten Systemanzeige wahrgenommener Schweregrad der Schädigung im Fall eines Fahrfehlers. Links: Haupteffekt des Warnungstyps, Mitte: Haupteffekt der Zielentfernung, rechts: Interaktionseffekt. Fehlerbalken stellen 95%-Konfidenzintervalle dar.

4.3.3.2 Subjektive Handlungswirksamkeit

Die subjektive Handlungswirksamkeit einer Pause gibt den Betrag an, um den sich in der Wahrnehmung der Fahrer durch eine Pause die Fehlerwahrscheinlichkeit reduziert. Anders als in Experiment 1 wurde diese Variable nicht direkt erfragt, sondern in zwei Schritten erfasst. Zum einen schätzte jeder Teilnehmer die Wahrscheinlichkeit eines Fahrfehlers unter der Bedingung, dass *keine Pause* gemacht wird – diese Einschätzung entspricht der oben bereits ausgewerteten subjektiven Vulnerabilität und wird im Folgenden zur besseren Abgrenzung als *subjektive Vulnerabilität ohne Pause* bezeichnet. Zum anderen wurde erhoben, wie die Teilnehmer die Wahrscheinlichkeit eines Fehlers unter der Bedingung, dass *vorher pausiert wurde*, wahrnahmen; im Folgenden bezeichnet als *subjektive Vulnerabilität mit / nach Pause*. Als *subjektive Handlungswirksamkeit* fließt die Differenz aus den jeweiligen Vulnerabilitätsurteilen mit und ohne Pause in die Analyse ein. Da die verabredete Pausenoption in allen experimentellen Bedingungen gleich war (10-15 Minuten mit der Möglichkeit Kaffee zu trinken oder kurz zu schlafen), wurden keine Unterschiede in der subjektiven Wirksamkeit erwartet.

Die meisten Teilnehmer empfanden eine Pause als probates Mittel zur Verbesserung der Fahrleistung: im Durchschnitt reduzierte sich pausenbedingt die wahrgenommene Fehlerwahrscheinlichkeit um etwa 20% ($M_{ges} = 18.90$). Wie die Streuung von $SD = 22.84$ zeigt, variierte die absolute Höhe der Urteile dabei beträchtlich, was sich in ähnlicher Form für alle hier betrachteten subjektiven Einschätzungen wiederfindet. Qualitativ besonders interessant ist, dass immerhin 5 Teilnehmer der Pause keinerlei Wirksamkeit bescheinigten (*Handlungswirksamkeit* = 0) und weitere 5 die Pause diesbezüglich sogar als schädlich empfanden und glaubten, dass diese das Auftreten von Fahrfehlern in der Folge eher begünstige (*Handlungswirksamkeit* < 0)⁷⁰.

Entgegen der theoretischen Erwartung hatte die Warnungsbedingung einen signifikanten Effekt auf die wahrgenommene Effektivität einer Pause ($F(2,53) = 3.427$, $p = .040$). Wie Abbildung 35 (S. 118) zeigt, liegt diese in der Gruppe mit personalisierter Warnung um etwa 15% höher als in den anderen Gruppen ($M_{Bild} = 29.13$, $SD = 22.50$; $M_{Kaff} = 14.74$, $SD = 26.60$; $M_{Entf} = 12.63$, $SD = 15.74$). In bonferronikorrigierten Einzelvergleichen erweist sich der Unterschied zwischen Warnung mit *Eigenem Bild* und reinem *Entfernungsfeedback* als marginal signifikant ($D = 16.50$; $p = .062$), für den Ver-

⁷⁰ Diese Überzeugungen zeigten sich trotz der Informationen über die Wirksamkeit der Pause, die in der Instruktion vermittelt worden waren.

gleich der zwei Warnungen untereinander ergibt sich eine höhere Irrtumswahrscheinlichkeit ($D = 14.86$; $p = .117$). Die *allgemeine* Warnungsbedingung unterscheidet sich nicht von der Bedingung *Entfernungsfeedback* ($D = 1.64$; $p = 1.000$).

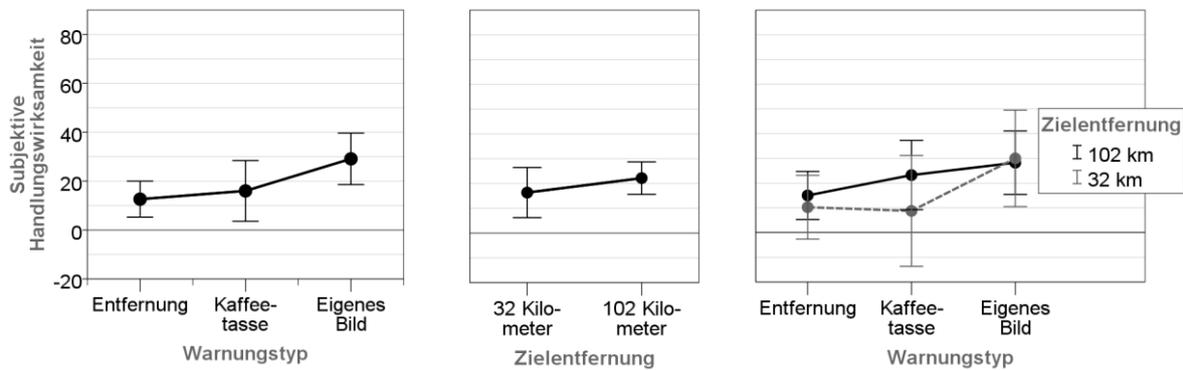


Abbildung 35. Mittlere wahrgenommene Reduktion der Wahrscheinlichkeit eines Fahrfehlers im Fahrversuch durch eine Pause. Links: Haupteffekt des Warnungstyps, Mitte: Haupteffekt der Zielentfernung, rechts: Interaktionseffekt. Fehlerbalken stellen 95%-Konfidenzintervalle dar. Ein Teilnehmer in der Gruppe Kaffeetasse-32km machte keine Angabe.

Deskriptiv ist auch eine Tendenz zu höheren Pausenwirksamkeitserwartungen bei weiter entferntem Ziel vorhanden ($M_{102km} = 22.17$, $SD = 17.53$; $M_{32km} = 15.52$, $SD = 27.19$), dennoch ist der Haupteffekt der Zielentfernung nicht signifikant ($F(1,53) = 1.502$, $p = .226$). Auch eine leichte entfernungsabhängige Divergenz der Mittelwerte in der Warnbedingung mit *Kaffeetasse* führt nicht zu einem signifikanten Interaktionseffekt ($F(2,53) = 1.020$, $p = .368$).

4.3.3.3 Subjektive Vulnerabilität nach Pause

Durch die veränderte Art der Erhebung der subjektiven Handlungswirksamkeit in Experiment 2 kann analysiert werden, ob höhere Wirksamkeitserwartungen ihre Quelle ausschließlich in höheren Vulnerabilitätswahrnehmungen *ohne* Pause oder auch in geringeren Vulnerabilitätswahrnehmungen *nach / mit* Pause haben.

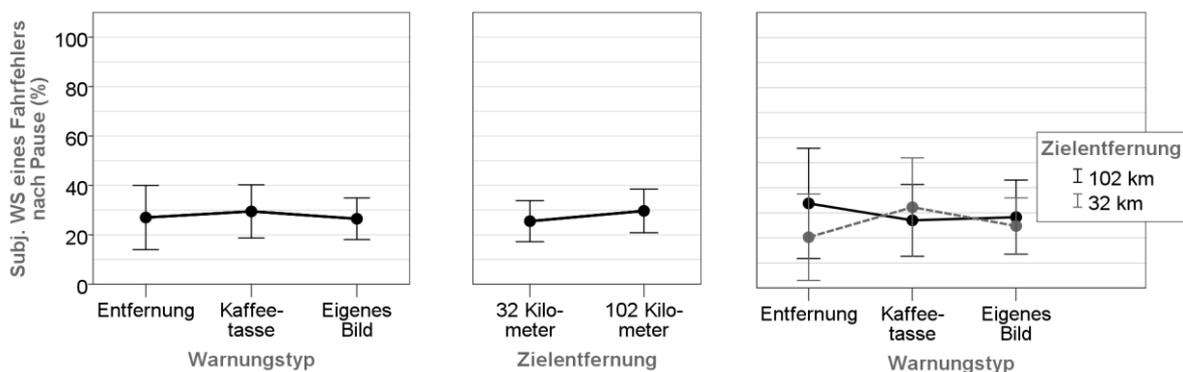


Abbildung 36. Mittlere wahrgenommene Wahrscheinlichkeit, nach einer Pause einen Fahrfehler zu begehen. Links: Haupteffekt des Warnungstyps, Mitte: Haupteffekt der Zielentfernung, rechts: Interaktionseffekt. Fehlerbalken stellen 95%-Konfidenzintervalle dar. Ein Teilnehmer in der Gruppe Kaffeetasse-32km machte keine Angabe.

Dazu können zunächst die einfachen Korrelationen zwischen den Variablen betrachtet werden. Wie bereits auf Grundlage der Ergebnisse von Experiment 1 vermutet, zeigt die wahrgenommene Handlungswirksamkeit einen starken positiven Zusammenhang mit der *subjektiven Vulnerabilität ohne Pause* ($r = .64$, $p = .000$). Der Zusammenhang mit der *subjektiven Vulnerabilität mit Pause* ist erwartungsgemäß negativ, jedoch sehr schwach und nicht signifikant ($r = -.19$, $p = .067$). Auch die

Betrachtung der Gruppenmittelwerte der *Vulnerabilität mit Pause* weist darauf hin, dass diese sich über die experimentellen Bedingungen hinweg nicht in nennenswertem Ausmaß unterscheidet (siehe Abbildung 36, alle $F < 1$). Demnach speisen sich die für die subjektive Handlungswirksamkeit beobachteten Unterschiede vor allem aus Unterschieden in der subjektiven *Vulnerabilität ohne Pause*.

4.3.3.4 Situative Selbstwirksamkeit

Für die letzte der in der PMT postulierten medierenden kognitiven Einschätzungen, die Frage, wie stark sich die Teilnehmer nach der letzten Systemanzeige in der Lage fühlten, eine Pause zu machen, wurden wiederum keine Unterschiede zwischen den experimentellen Bedingungen erwartet.

Insgesamt liegen die Werte im mittleren bis oberen Skalenbereich ($M_{ges} = 5.14$, $SD = 2.72$ auf der Skala von 0 – *gar nicht* bis 9 – *sehr stark*). Abbildung 37 zeigt die Mittelwerte der Experimentalgruppen. Beide Haupteffekte verfehlen deutlich die Signifikanz ($F < 1$). Auch die in der rechten Grafik erkennbare Andeutung einer Interaktion, der gemäß in einer Situation *ohne Warnsystem* die Selbstwirksamkeitswahrnehmung bei nahem Ziel geringer wäre als bei höherer Zielentfernung ($M_{En102} = 6.10$, $SD = 2.182$; $M_{En32} = 4.00$, $SD = 3.055$) ist angesichts der hohen Gesamtvarianz nicht statistisch bedeutsam ($F(2,53) = 1.026$, $p = .353$).

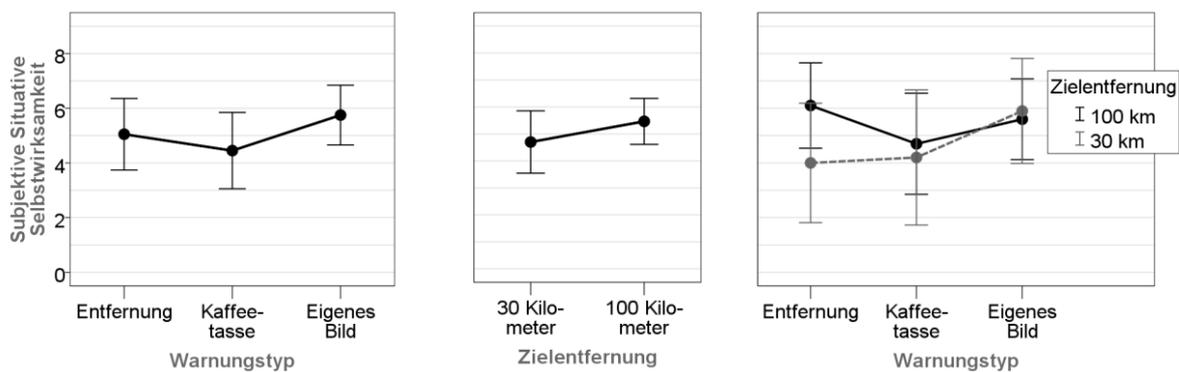


Abbildung 37. Mittlere wahrgenommene Fähigkeit, nach der letzten Systemanzeige eine Pause einzulegen. Links: Haupteffekt des Warnungstyps, Mitte: Haupteffekt der Zielentfernung, rechts: Interaktionseffekt. Fehlerbalken stellen 95%-Konfidenzintervalle dar. Ein Teilnehmer in der Gruppe Kaffeetasse-32km machte keine Angabe.

4.3.4 Weitere Analysen

4.3.4.1 Subjektive Aktivierung durch die Warnung

Hinsichtlich der Frage, wie stark die Teilnehmer sich durch die Anzeige aktiviert fühlten, gab es in Experiment 1 Hinweise darauf, dass die erlebte Aktivierung möglicherweise an der noch zu bewältigenden Fahrstrecke relativiert und die anregende Wirkung bei höherer Distanz entsprechend abgewertet wurde. Außerdem steht die Replizierbarkeit des deskriptiven Ergebnisses zu untersuchen, dass dieser Abwertungseffekt möglicherweise durch eine personalisierte Warnung aufgehoben wurde, was auf eine länger anhaltende Aktivierung in dieser Bedingung hindeuten könnte.

Über die Zielentfernungen hinweg hatte die Warnbedingung, wie in Abbildung 38 (S. 120) gut erkennbar ist, keinen Effekt ($F < 1$). Die vermutete Minderung der eingeschätzten Aktivierung bei höherer Distanz trat hingegen sehr deutlich zutage ($F(1,54) = 13.765$, $p = .000$; $M_{32km} = 7.60$, $SD = 1.453$; $M_{102km} = 5.87$, $SD = 2.129$).

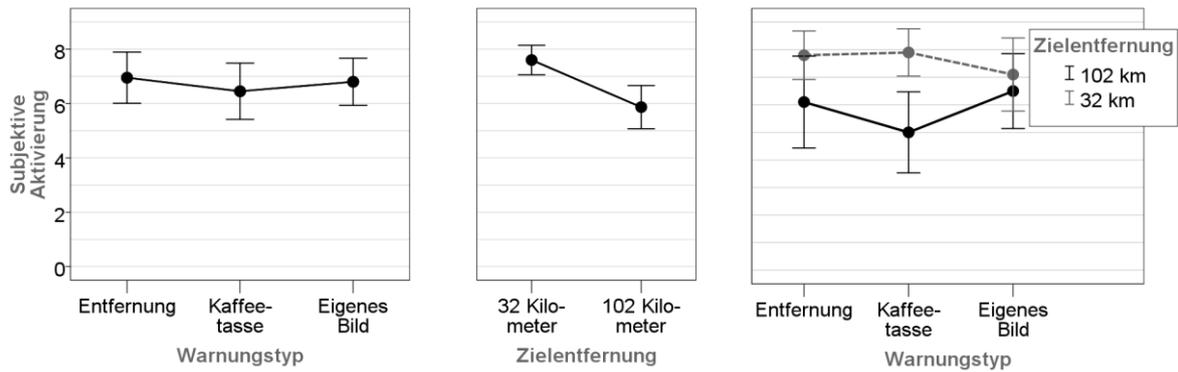


Abbildung 38. Mittlere subjektive Aktivierung durch die Warnung. Links: Haupteffekt des Warnungstyps, Mitte: Haupteffekt der Zielentfernung, rechts: Interaktionseffekt. Fehlerbalken stellen 95%-Konfidenzintervalle dar.

Bei deskriptiver Betrachtung der Wechselwirkung der Faktoren findet sich in der Tat das Mittelwertemuster aus dem ersten Experiment wieder: Während in der allgemeinen Warnbedingung die berichtete Aktivierung bei hoher Restdistanz deutlich geringer ist als bei nahem Ziel ($M_{Ka102} = 5.00$, $SD = 2.055$; $M_{Ka32} = 7.90$, $SD = 1.197$), fällt diese Minderung bei personalisierter Warnung nur sehr gering aus ($M_{Bi102} = 6.50$, $SD = 1.900$; $M_{Bi32} = 7.10$, $SD = 1.853$). Die Werte aus der Bedingung ohne Warnsystem komplettieren das Bild auf interessante Weise, indem sie - unter Berücksichtigung der Konfidenzintervalle - eher dem Muster in der personalisierten als der allgemeinen Warnbedingung ähneln ($M_{En102} = 6.10$, $SD = 2.331$; $M_{En32} = 7.80$, $SD = 1.229$). Der Interaktionseffekt ist statistisch jedoch nicht signifikant, mit $p = .142$ ($F(2,54) = 2.021$).

4.3.4.2 Subjektive Ablenkung durch die Warnung

Ein Bild der eigenen Person könnte aufgrund des stärkeren Selbstbezugs im Vergleich zu einem allgemeinen Symbol wie einer Fahne oder Kaffeetasse stärker die Aufmerksamkeit binden und damit von der Fahraufgabe ablenken. Experiment 1 hatte bezüglich des Vergleichs von Porträt und Tasse eine nicht signifikante Tendenz der Mittelwerte in dieser Richtung erbracht.

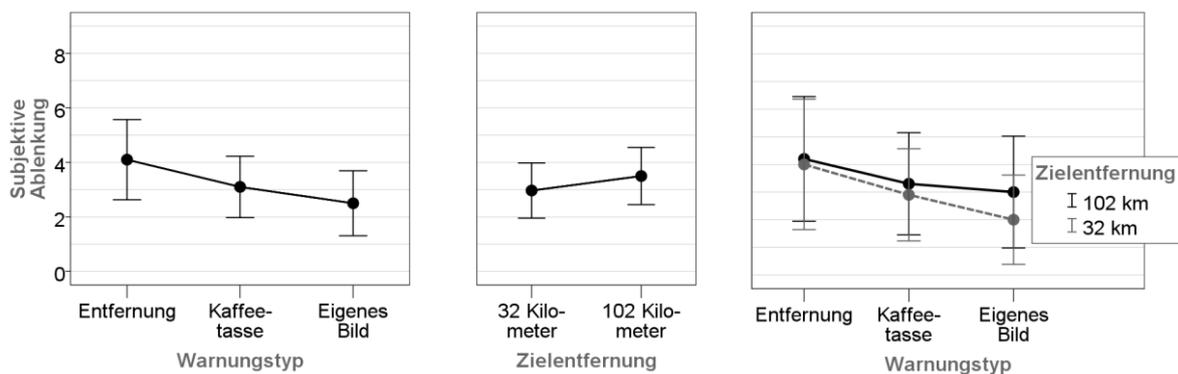


Abbildung 39. Mittlere subjektive Ablenkung durch die Warnanzeige. Links: Haupteffekt des Warnungstyps, Mitte: Haupteffekt der Zielentfernung, rechts: Interaktionseffekt. Fehlerbalken stellen 95%-Konfidenzintervalle dar.

Die Mittelwerte aus den drei Warnungsbedingungen zeigen ein unerwartetes Muster (Abbildung 39): Während sich die berichtete Aktivierung in den Bedingungen *Kaffeetasse* und *eigenes Bild* kaum unterscheidet ($M_{Kaff} = 3.10$, $SD = 2.404$; $M_{Bild} = 2.50$, $SD = 2.544$), liegt sie beim Entfernungfeedback deskriptiv am höchsten ($M_{Entf} = 4.10$, $SD = 3.144$). Der Effekt ist aber nicht signifikant ($p = .192$).

Erwartungsgemäß weisen auch die Zielentfernung und die Wechselwirkung beider Faktoren keinen signifikanten Effekt auf (beide $F < 1$).

4.3.4.3 Wachhaltestrategien: Art, Umfang und Effekt auf die Fahrleistung

Auch in Experiment 2 wurden die Teilnehmer im Rahmen der retrospektiven Befragung gebeten, Angaben zu den von ihnen benutzten Wachhaltestrategien zu machen. 50 der 60 untersuchten Fahrer trugen Antworten in das Freitextfeld ein (vollständige Aufstellung in Anhang B.2.2). Die Aussagen wurden dem in 3.3.4.4.1 beschriebenen Vorgehen gemäß in semantische Einheiten unterteilt, und diese Analyseeinheiten wurden je einer von 5 verschiedenen Strategiekategorien zugeordnet. Schrieb ein Teilnehmer beispielsweise, er habe „in Gedanken gesungen oder über komplizierte Dinge gegrübelt“, entsprach dies einer kombinierten Nutzung von Strategien der Kategorie 4 (hedonistische geistige Beschäftigung) und 3 (geistige Problemlösung).

Tabelle 10 schlüsselt für jede Strategieart auf, wieviel Prozent der Fahrer mindestens eine Verhaltensweise aus der jeweiligen Kategorie berichteten. Wie in Experiment 1 war *Bewegung* die am häufigsten genutzte Praktik: Jeder zweite Fahrer griff darauf zurück. Je etwa ein Drittel der Befragten gab an, mittels *sensorischer Stimulation*, *Problemlösen* und *hedonistischer Beschäftigung* versucht zu haben der Müdigkeit entgegenzuwirken. Ein Viertel setzte *selbstmotivierende Gedanken* und verstärkte volitionale Anstrengung ein. Während im ersten Experiment alle Teilnehmer mindestens eine Verhaltensweise berichtet hatten, machten diesmal 10.0% der Teilnehmer keine Angabe; außerdem wurden häufiger Strategiekombinationen angegeben. Der Großteil der Fahrer nutzte Maßnahmen aus einer (31.7%) oder zwei Kategorien (36.7%), aber etwa jeder fünfte machte auch von drei (18.3%) oder sogar vier (3.3%) Kategorien Gebrauch. Die am häufigsten eingesetzte Strategiekombination war erneut *Bewegung & sensorische Stimulation* (20.3% aller Zweierkombinationen), gefolgt von *Bewegung & hedonistische Beschäftigung* und *Problemlösung & hedonistische Beschäftigung* (jeweils 12.5%).

Tabelle 10. Kategorien von Wachhaltestrategien und Anteil der Fahrer in Experiment 2, die angaben, mindestens eine Maßnahme aus der Kategorie genutzt zu haben.

1 Bewegung (50.0%)	4 Hedonistische geistige Beschäftigung (33.3%)
<i>Dynamische oder statische Muskelaktivität mit Schwerpunkt auf Ausführung</i>	<i>Mentale Aktivitäten mit Schwerpunkt auf Zerstreuung / Unterhaltung</i>
2 Sensorische Stimulation (33.3%)	5 Selbstmotivierung (25.0%)
<i>Verschaffen zusätzlicher sensorischer Reize in verschiedenen Sinnesmodalitäten</i>	<i>Willensanstrengung und Selbstinstruktion mit Schwerpunkt auf erfolgreichem Fahren</i>
3 Geistige Problemlösung (31.7%)	6 keine (10.0%)
<i>mentale Anstrengung mit Schwerpunkt auf nicht-fahraufgabenbezogenem Problemlösen</i>	<i>keine Strategie berichtet</i>

Um zu untersuchen, ob bestimmte Strategien tatsächlich zu besseren Fahrleistungen beitrugen, wurde wiederum die Qualität der Querführung betrachtet (vergleiche 3.3.4.4.2). Obwohl diesmal einzelne Personen keine Maßnahme berichteten, ist deren Anzahl mit $n = 6$ zu klein für eine stabile Schätzung einer Baseline. Daher wurden wie im ersten Versuch die drei Metakategorien 1) körperliche Strategien (zusammengefasst aus *Bewegung* und *sensorische Stimulation*), 2) geistige Strategien (zusammengefasst aus *Problemlösung*, *hedonistische Beschäftigung* und *Selbstmotivation*) und 3) kombinierte körperliche und geistige Strategien in ihrer Wirksamkeit verglichen. In die Analyse flossen die Daten der 47 Teilnehmer ein, die alle erforderlichen Voraussetzungen an die Qualität der Daten (s. 3.3.4.4.2) erfüllten. Abbildung 41 (S. 122) zeigt die Gruppenmittelwerte der Variabilität der lateralen Fahrzeugposition. Wie deutlich zu erkennen ist, unterscheiden sich diese nicht signifikant voneinander ($F(2,44) = 0.005, p = .995$).

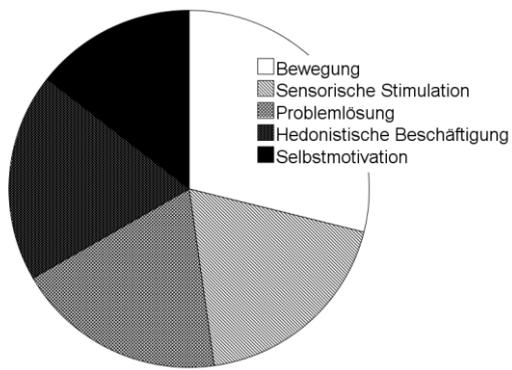


Abbildung 40. Anteil der Nennung der fünf verschiedenen Wachhaltestrategien an allen berichteten Maßnahmen. Mehrfachnennungen waren möglich.

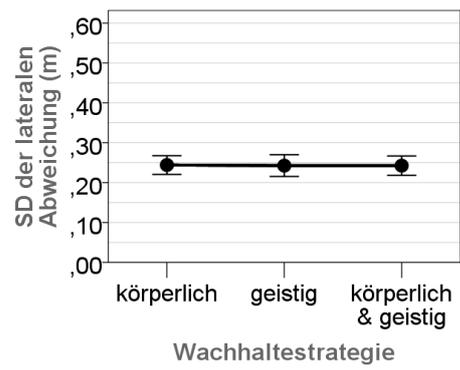


Abbildung 41. Mittlere Standardabweichung der lateralen Fahrzeugposition abhängig von der angewandten globalen Wachhaltestrategie. Gruppengrößen: $n_{körper} = 14$; $n_{geis} = 15$; $n_{komb} = 18$.

4.4 Diskussion

4.4.1 Determinanten der Warnungswirksamkeit

Die Veränderungen des experimentellen Paradigmas im Hinblick auf die Induktion beobachtbarer *Pausen* waren erfolgreich (s. 4.4.4), und neben Pausen an sich gab es in Experiment 2 auch Unterschiede im Pausenverhalten in Abhängigkeit von der Warnungsgestaltung zu beobachten. Qualitativ ergab sich genau das erwartete Muster: Nach einer personalisierten Warnung entschieden sich mehr Fahrer anzuhalten als nach einer Standardwarnung, aber auch nach der Standardwarnung stoppten mehr Fahrer als in der Vergleichsbedingung ohne Warnsystem. Statistisch war dabei nur der Vergleich der personalisierten Warnung mit der Baseline marginal signifikant. Hinsichtlich der Wirkung der Zielentfernung wurde die Hypothese unterstützt, dass mehr Fahrer im Rahmen einer längeren verbleibenden Fahrstrecke eine Pause wählen. Während Warnungen grundsätzlich auf allen Zieldistanzen zu mehr Pausen führen, ist ihre Wirksamkeit im Vergleich zu einer Situation ohne Warnsystem auf der kurzen Distanz – auf der ohne Warnung niemand pausierte – möglicherweise noch stärker als auf der langen, auf der auch ohne zusätzlichen Gefahrenhinweis einige Fahrer eine Pause einlegten.

Der Effekt der Zielentfernung auf das Pausenverhalten fand sich auch auf Ebene der geäußerten *subjektiven Pausenwahrscheinlichkeit* wieder, welche als Kenngröße der insgesamt resultierenden Schutzmotivation verstanden werden kann. Der Effekt der Warnungsvariante auf das Verhalten spiegelte sich dagegen nur teilweise auf der Intentionsebene.

Von den in Frage kommenden kognitiven Einschätzungen, auf denen ein Verhaltenseffekt laut der PMT beruhen könnte, galt die *subjektive Vulnerabilität*, die wahrgenommene eigene Anfälligkeit für Fahrfehler, als aussichtsreichster Kandidat. Obwohl die entsprechenden Effekte der Zielentfernung und der Warnungsgestaltung wiederum das Signifikanzniveau verfehlten, spricht ein anderes Faktum dennoch für deren Systematik: Die Gruppenwerte auf Stichprobenebene entsprechen nicht nur den theoretischen Erwartungen, sondern replizieren auch exakt die qualitativen Muster aus Experiment 1. Dies deutet darauf hin, dass wie vermutet durch die Spiegelung des kritischen Fahrerzustands per Videobild eine stärkere Gefährdungswahrnehmung induziert werden kann als durch die Standardwarnung mit dem Kaffeetassensymbol. Die Standardwarnung selbst erhöht die subjektive Gefährdung im Vergleich zur Situation ohne Warnsystem nur wenig. Ebenso wie in Experiment 1 liefern die Stichprobenmittelwerte auch Hinweise darauf, dass das Vorliegen einer Warnung – insbesondere einer personalisierten – bei kurzer Zieldistanz einen stärkeren Einfluss auf die subjektive Gefährdung hat als bei langer. Es erscheint plausibel, dass ein Fahrer das Auftreten eines müdigkeitsbedingten Lapsus für wahrscheinlicher hält, wenn noch eine vergleichsweise weite Strecke zu bewältigen ist, und wie im ersten Versuch war eine entsprechende Tendenz auf Ebene der Stichprobenmittelwerte zu finden. Ebenfalls repliziert wurde das qualitative Muster, dass durch eine Warnung mit eigenem Bild auch bei kurzer Zieldistanz die subjektive Gefährdung auf das Niveau angehoben wurde, das sonst nur bei hoher Zielentfernung vorlag. Vor dem Hintergrund einer ressourcenbedingt begrenzten Teststärke liefert die Replizierbarkeit der Befunde trotz unbefriedigender Signifikanzwerte Hinweise darauf, dass es sich bei diesen Beobachtungen um reliable Effekte handelt.

Auf Grundlage der erhöhten subjektiven Vulnerabilität *und* der erhöhten wahrgenommenen Handlungswirksamkeit der Pause im Kontext der Warnung mit eigenem Bild liegt die Vermutung nahe, dass Fahrer nach einer personalisierten Warnung auch bereit sind, größere Kosten für eine Pause in Kauf zu nehmen. Die Ergebnisse hinsichtlich der *maximal tolerierten Pausenkosten* bestätigen dies. Eine Standardwarnung scheint hingegen nicht auszureichen, um die pausenbezogene Investitionsbe-

reitschaft im Vergleich zu einer Situation ohne Warnung bedeutsam zu erhöhen. Auch eine hohe Zielentfernung führt nicht zur Akzeptanz höherer Pausenkosten. Dies widerspricht teilweise den theoretischen Erwartungen: Laut SEU-Modell müssten sowohl erhöhte Vulnerabilitätswerte (höhere Wahrscheinlichkeit negativer Konsequenzen) als auch erhöhte Handlungswirksamkeitserwartungen (Nutzenwert einer Pause) dazu führen, dass höhere Pausenkosten in Kauf genommen werden. Empirisch scheint hingegen vor allem die Handlungswirksamkeitserwartung ausschlaggebend zu sein. Dieses Ergebnis passt zu entsprechenden Befunden aus der Entscheidungsforschung, die zeigen, dass die adäquate⁷¹ Berücksichtigung der Wahrscheinlichkeiten von Handlungsergebnissen im Urteils- und Entscheidungsprozess offenbar schwieriger ist als die Nutzung von Nutzen-/Kosteninformationen. Interessanterweise blieb in Experiment 2 trotz in vielerlei Hinsicht unterschiedlicher Rahmenbedingungen (z. B. bezüglich möglicher Einbußen bei Fahrfehlern, Müdigkeitsniveau, subjektiver Fehlerwahrscheinlichkeit, Ankerwert der Pausenkosten etc.) das *Gesamtniveau* der angegebenen akzeptierten Pausenkosten relativ konstant (bei etwas unter 5 €). Allerdings wäre es nach zwei experimentellen Tests verfrüht, daraus Schlussfolgerungen für die Praxis abzuleiten.

4.4.2 Befunde hinsichtlich der verbleibenden PMT-Variablen

In beiden Experimenten war theoretisch davon ausgegangen worden, dass weder Zielentfernung noch Warnungsgestaltung einen Effekt auf die PMT-Variable *subjektiver Schweregrad der Schädigung* zeigen sollten. Die Ergebnisse von Experiment 2 bestätigen diese Erwartung bezüglich der Zielentfernung⁷², der Interaktion und des Vergleichs *keine vs. personalisierte Warnung*. Unerwartet jedoch wurde die Aussicht auf einen fahrfehlerbedingten Verlust eines erheblichen Teils der Entschädigung in der Standardwarnungsbedingung mit Kaffeetasse als weniger schlimm beurteilt als in den anderen beiden Warnungsbedingungen. Dieser Effekt trat konsistent über die Entfernungsbedingungen auf. Eine ähnliche, allerdings viel geringfügigere, Tendenz zeigte sich auch in Experiment 1. Über mögliche Interpretationen dieses Befundes kann nur spekuliert werden. Sofern es sich nicht um ein Zufallsresultat handelt, könnten mit der Kaffeetasse assoziierte positive Valenzen eine Rolle spielen. Antizipierte Emotionen spielen vermutlich eine große Rolle in der Abschätzung subjektiver Kosten und Nutzen (Keer, van den Putte, Bas & Neijens, 2010; Loewenstein & Lerner, 2003; Mellers, 2001); und bei der Beurteilung des subjektiven Schweregrads der Schädigung handelt es sich um eine Beurteilung der potentiellen Kosten des maladaptiven Verhaltens *Weiterfahren*. Wäre das Konzept „Tasse Kaffee“ emotional positiver besetzt als die Zielfahne oder das eigene von Müdigkeit gezeichnete Konterfei (wenigstens bezüglich letzterem erscheint die theoretische Erwartung relativ klar), könnte dies zu einer Verzerrung des wahrgenommenen Schweregrads der Bedrohung führen, wenn die Summe der antizipierten negativen Emotionen (negative Valenz des Verlusts, aber positive Valenz des Symbols) bei der Beurteilung als Richtmaß benutzt wird. Sofern sich für diese Interpretation weitere Belege finden ließen, hätte dies wichtige Implikationen für die Verwendung positiv besetzter Symbole in der Warnungsgestaltung. Einerseits ist bekannt, dass durch die konkrete und explizite Darstellung drohender Schädigungen – welche u.a. emotional negativ besetzt sind – die wahrgenommene Bedrohung erhöht wird und damit grundsätzlich die Schutzmotivation steigt (Laughery, 2006; Wogalter et al., 2006). Andererseits gilt es solche Copingprozesse zu berücksichtigen, die sich nicht auf die ursächliche Beseitigung der Gefahr, sondern auf die Beseitigung des unangenehmen Gefühls konzentrieren (Gefahrenkontrolle vs. Angstkontrolle, s. Leventhal & Watts, 1966; Witte & Allen, 2000;

⁷¹ gemessen an der normativen Entscheidungstheorie

⁷² Der in Experiment 1 beobachtete Trend zu höheren Ausprägungen bei hoher Zielentfernung wurde nicht repliziert.

Witte, 1994), was zur Folge hat, dass eine hohe Bedrohung auch kognitive Mechanismen der Abwehr anstoßen kann, die in Bezug auf das adaptive Verhalten kontraproduktiv wirken. Aus diesem Grund orientieren sich Persuasionsansätze in letzter Zeit verstärkt auch auf die Möglichkeit, nicht nur durch Darstellung potentieller Schädigungen die wahrgenommenen Kosten des maladaptiven Verhaltens zu erhöhen, sondern die positiven Anreize des empfohlenen Verhaltens zu verdeutlichen und dessen wahrgenommene Kosten zu reduzieren (Lewis, Watson & White, 2008, 2010; Lewis, Watson, White & Tay, 2007; O'Keefe & Wu, 2012; Wickens et al., 2012, s.a. 2.1.4.4, 5.3). Möglicherweise ist dies auch eine der Intentionen hinter der Verwendung des Kaffeetassensymbols in den meisten Warnkonzepten für Privatfahrzeuge. Es steht zu erforschen, ob sich ein möglicher Nebeneffekt des Symbols, die wahrgenommene Bedrohlichkeit im Vergleich zu einer Situation ohne Warnung zu schmälern, replizieren lässt und, falls ja, wie er sich in Relation zu dem intendierten Effekt, Lust auf eine wirksame Pause zu wecken, in der motivationalen Gesamtbilanz auswirkt.

Auch bezüglich der *wahrgenommenen Handlungswirksamkeit* einer Pause zur Müdigkeitsreduktion bzw. zur Senkung des Fahrfehlerrisikos wurden keine Effekte der experimentellen Manipulationen erwartet. Die angebotene Pausenoption war immer dieselbe, und es wurde vermutet, dass die Antizipation ihrer Effekte in allen Bedingungen lediglich die vorhandene Vulnerabilitätswahrnehmung um einen bestimmten, relativ konstanten Betrag mindern würde. Entgegen dieser Erwartung zeigte sich ein signifikanter Effekt der Warnungsbedingung. Die Pausenoption wurde in der Warnungsbedingung mit eigenem Bild, verglichen mit Baseline und Standardwarnung, als effektiver wahrgenommen. Derselbe Trend hatte sich bereits in Experiment 1 gezeigt. Die Inspektion der *antizipierten Fehlerwahrscheinlichkeiten* für die weitere *Fahrt nach einer Pause* offenbarte, dass diese in allen Bedingungen nahezu gleich eingeschätzt werden. Demnach kann sich ein Fahrer, der sich nach einer Warnung mit seinem eigenen Bild fehleranfälliger fühlt als ein Teilnehmer in der Standardwarnungsbedingung, in seiner eigenen Wahrnehmung durch eine Pause auf dasselbe höhere Funktionsniveau zurückbringen, das auch der standardgewarnte Fahrer als Resultat der Pause wahrnimmt. Grundsätzlich empfindet die Mehrheit der Fahrer die Pause als wirksame Maßnahme; jedoch sieht immerhin ein Sechstel der Befragten darin auch keinerlei Nutzen oder nimmt die Pause sogar als abträglich für das danach erwartete Leistungsniveau wahr. Dieses Ergebnis belegt quantitativ die Existenz negativer Handlungswirksamkeitserwartungen, die sich im ersten Versuch⁷³ bereits in qualitativen Anmerkungen einiger Teilnehmer wie „wenn ich jetzt eine Pause mache, dann bin ich danach noch müder“ offenbart hatten. Das Ergebnis bestätigt die Schlussfolgerungen aus anderen Studien (Armstrong et al., 2010; Nordbakke & Sagberg, 2007; Schützhofer & Torner, 2008; Torner & Schützhofer, 2010), wonach bei einem Teil der Fahrer falsche Überzeugungen über die Wirksamkeit von Gegenmaßnahmen bestehen. Solche Überzeugungen stehen der Verhaltenswirksamkeit von Müdigkeitswarnungen entgegen und müssen im Sinne erfolgreichen Müdigkeitsmanagements entsprechend adressiert werden. Über die situationsnahe Bereitstellung entsprechender aufklärender Informationen hinaus erscheinen dabei besonders solche Ansätze vielversprechend, welche den Fahrern ermöglichen, eigene praktische Erfahrungen mit der Wirkung kurzer Naps zu sammeln. Dies kann nicht nur durch Probierangebote ähnlich der Turboschlafkampagne (s.a. 2.1.4.2) befördert werden, sondern auch durch Maßnahmen wie eine generelle Aufwertung und Etablierung von Naps in der Arbeitsgesellschaft (s. Krajewski et al., 2011) oder die Schaffung einer entsprechenden Infrastruktur im Verkehrswesen (s.a. 2.1.4.4).

⁷³ in welchem methodenbedingt die geringste attestierbare Wirkung der Pause bei 0 lag

Hinsichtlich der *Selbstwirksamkeit* der Fahrer in der Entscheidungssituation nach einer Warnung oder Rückmeldung bestätigen die Ergebnisse aus beiden Experimenten weitgehend die Erwartung, dass diese nicht durch die experimentellen Faktoren beeinflusst wird. Allein in der in Experiment 2 neu hinzugekommenen Referenzbedingung *ohne* Warnsystem gab es eine nicht signifikante Tendenz zu einer entfernungsabhängigen Dissoziation der wahrgenommenen Selbstwirksamkeit dergestalt, dass es bei geringer Entfernung weniger als eine Frage der eigenen Entscheidung wahrgenommen wurde, ob eine Pause gemacht wird oder nicht. Theoretisch wäre ein solcher Befund durchaus interpretierbar im Sinne einer bei geringer Zielentfernung stärkeren externen (situationalen) Rechtfertigung weiterzufahren, welcher in der Bedingung ohne Warnung kein entsprechender externer Druck zu pausieren entgegengesetzt ist. Im Rahmen der vorliegenden Studie kann aber nicht beantwortet werden, ob es sich hierbei um einen reliablen Effekt handelt oder nicht.

4.4.3 Weitere Befunde

Im Hinblick auf die im Nachhinein berichtete *Aktivierung* durch die Rückmeldung wurde das Ergebnis aus Experiment 1 bestätigt, dass diese bei hoher Zielentfernung deutlicher geringer eingeschätzt wird. Dies erhärtet die Vermutung, dass der erlebte Aktivierungseffekt rückblickend an dessen Nachhaltigkeit bezogen auf die gesamte Fahrtdauer relativiert wird. Die Wechselwirkung von Warnungsgestaltung und Zielentfernung war wiederum nicht signifikant, aber qualitativ replizierten die Ergebnisse das Muster aus Experiment 1. Demnach fiel die mit hoher Zielentfernung einhergehende Abschwächung der berichteten Aktivierung bei personalisierter Warnung geringer aus als in den anderen beiden Warnungsbedingungen, was als Indiz für eine nachhaltigere Aktivierungswirkung durch das eigene Bild interpretiert werden könnte. Theoretisch könnte ein solcher Effekt zum Beispiel auf einer länger anhaltenden Aktivierung durch selbstbezogene Kognitionen beruhen, die durch das Einblenden der Anzeige angestoßen werden. Eine solche Hypothese sollte aber auf jeden Fall erneut mit objektiver Erhebungsmethodik und höherer zeitlicher Auflösung überprüft werden; die hier betrachteten subjektiven Einschätzungen können dafür nur von explorativem und hypothesengenerierendem Wert sein. Anzumerken ist noch, dass die in der Baselinebedingung beobachtete Aktivierungswirkung nicht auf die reale Fahrsituation übertragbar ist, da sie auf einer salienten Rückmeldung der Zielentfernung beruht, die normalerweise nicht in dieser Art erfolgt.

Diese ungewohnte Art der Rückmeldung könnte möglicherweise auch die Beobachtung erklären, dass die im Nachhinein berichtete *subjektive Ablenkung* durch die Anzeige qualitativ (nicht signifikant) in der Gruppe mit dem reinen Entfernungsfeedback am höchsten war. Theoretisch wurde eher erwartet, dass die Warnung mit eigenem Bild einerseits aufgrund ihrer Neuartigkeit und andererseits aufgrund des hohen Selbstbezugs möglicherweise stärker die Aufmerksamkeit fesseln und von der Fahraufgabe ablenken würde. Zumindest in den subjektiven Urteilen findet sich hierfür jedoch kein Anhaltspunkt. Ebenso wie die Effekte hinsichtlich der Aktivierung bilden diese Ergebnisse jedoch nur einen Teilaspekt des Phänomens ab und sollten auf jeden Fall durch Untersuchungen mit objektiven Methoden ergänzt werden, bevor daraus Schlüsse für die Praxis gezogen werden.

Die experimentelle Kontrolle im Rahmen der Fahrsimulation unterband die Anwendung der meisten während der Fahrt anwendbaren Maßnahmen zur Selbstaktivierung, die in entsprechenden Studien oft berichtet werden (z. B. Fenster öffnen, Klimaanlageinstellungen verändern, Musik hören, Essen, etc., s. 2.1.3). Dennoch gaben die meisten Fahrer in der Nachbefragung verschiedene Verhaltensweisen an, mit denen sie im Rahmen der eingeschränkten Möglichkeiten während der Fahrt versucht hatten sich wachzuhalten. Aus dem zunächst sehr heterogen erscheinenden Spektrum dieser Maßnahmen – Bewegen, Strecken, Augenaufreißen, Kneifen, Kratzen, Atmen, Kopfrechnen, an Musik

denken, Gedichte aufsagen, Schauen, Grummeln, Pfeifen, Selbstgespräche, Singen, Summen und noch weitere – wurden mit Hilfe einer qualitativen Inhaltsanalyse nach Mayring (2007) induktiv fünf Kategorien gebildet: *Bewegung*, *sensorische Stimulation*, *geistige Problemlösung*, *hedonistische geistige Beschäftigung* und *Selbstmotivierung / Willensanstrengung*. Die ermittelten Nutzungshäufigkeiten für Maßnahmen aus den jeweiligen Kategorien ergeben für Experiment 1 und 2 ähnliche Verteilungen. Auf verschiedene Arten von Bewegung wurde von jeweils etwa der Hälfte der Fahrer zurückgegriffen; die verbleibenden Strategien wurden in etwas geringerem Umfang etwa gleich häufig genutzt. Der Vergleich der drei Metakategorien *körperliche*, *geistige* und *kombinierte körperlich-geistige Maßnahmen* erbrachte keinerlei Unterschiede hinsichtlich der resultierenden Variabilität der Querführung als Maß der Fahrleistung. Ein zusätzlicher Vergleich mit einer Baseline, in der keinerlei Maßnahmen angewandt werden, wäre wünschenswert, um abschätzen zu können, ob die verwendeten Maßnahmen irgendeinen Effekt auf die müdigkeitsbedingte Verschlechterung der Fahrleistung hatten. Da die Strategien von den Teilnehmern selbst gewählt und nicht experimentell manipuliert wurden, war ein solcher Vergleich aber nicht möglich, da ein Verzicht auf die Anwendung von Gegenmaßnahmen zu selten vorkam⁷⁴. Vor dem Hintergrund entsprechender Forschungsbefunde (s.a. 2.1.1.3, 2.1.2) steht jedoch zu vermuten, dass durch die Anwendung der berichteten Verhaltensweisen keine signifikante Verbesserung in Bezug auf Müdigkeit und Fahrleistung erreicht wird. Zudem kann man argumentieren, dass mit Blick auf die ökologische Fahrsituation die Anwendung dieser immer zur Verfügung stehenden Maßnahmen gewissermaßen die Baseline darstellt. Der Versuch der Selbstaktivierung scheint eine natürliche Reaktion auf empfundene Müdigkeit zu sein, was unter anderem darin zum Ausdruck kommt, dass sich in verschiedenen Skalen zur Erhebung von Müdigkeit durch externe Beobachter viele der genannten Verhaltensweisen – z. B. Augenreiben, Gesichtreiben, Grimassieren, Kratzen, Arm- und Beinbewegungen, Ruheloses Hin- und Herrutschen im Sitz etc. – als Indikatoren für bestimmte Müdigkeitsstufen wiederfinden (Anund et al., 2013; Dittrich et al., 2009; Wierwille & Ellsworth, 1994).

4.4.4 Fahrsimulationsparadigma

Neben situations- und warnungsbedingten Unterschieden zeigt die Analyse der abhängigen Variablen auch, dass die Veränderungen des Fahrsimulationsparadigmas, welche auf die Erhöhung der absoluten Auftretenswahrscheinlichkeit von Pausen abzielten, erfolgreich waren.

Wie erwartet führten die Verlegung des Testzeitraums in das nächtliche circadiane Tief und die Verlängerung der möglichen Fahrzeiten vor und nach einer Warnung im Vergleich zu Experiment 1 zu einer deutlichen Erhöhung der Fahrermüdigkeit, welche sowohl in subjektiven als auch in objektiven Maßen nachweisbar war. Mit einer Ausnahme erreichten alle Fahrer innerhalb der zur Verfügung stehenden Zeit das Müdigkeitskriterium für die Warnungspräsentation, was eine wichtige Voraussetzung für die Glaubwürdigkeit der Warnung darstellt. Für ein hohes Müdigkeitsniveau in der Stichprobe spricht auch, dass mehr als die Hälfte der Fahrer auf der kurzen Zieldistanz (welche in knapp 20 Minuten zu bewältigen war) und 80% der Fahrer auf der langen Zieldistanz eine zweite Warnung erhielten. Auch die Niveaus der subjektiven Vulnerabilität, des subjektiven Schweregrads der Bedrohung und der subjektiven Pausenwahrscheinlichkeit lagen im Vergleich zu Experiment 1 signifikant höher. Die Gesamtheit der Veränderungen führte zu der erwünschten Erhöhung der beobachteten Pausenwahrscheinlichkeit, welche auch die verhaltensbezogene Beurteilung von Unterschieden zwischen den Bedingungen erlaubte.

⁷⁴ und zudem nur durch den Verzicht auf eine Angabe im Fragebogen operationalisiert werden kann

Anzumerken ist noch, dass sich trotz der bereits relativ restriktiv erscheinenden Rahmenbedingungen insgesamt nur etwas mehr als ein Viertel der Fahrer für eine Pause entschied. Dies zeigt, dass es keine triviale Aufgabe ist einen müden Fahrer zum Anhalten zu bewegen – mit den entsprechenden Implikationen für das Gewicht, das in zukünftiger Forschung auf die angemessene Gestaltung der Outputseite von MWS gelegt werden sollte. Für nachfolgende Anwendungen des Paradigmas wäre es aus Gründen der Testeffizienz vermutlich wünschenswert, darüber nachzudenken, mit welchen Maßnahmen die Grundwahrscheinlichkeit von Pausen noch weiter in einen mittleren Bereich gehoben werden könnte.

Mit dem vorgestellten Untersuchungsaufbau steht erstmals ein experimentelles Paradigma für den Fahrsimulator zur Verfügung, mit dem unter realitätsnahen Anreizbedingungen die Wirkung verschiedener Faktoren, insbesondere der Warnungsgestaltung, auf die Compliance nach Müdigkeitswarnungen untersucht werden kann. Damit ist eine wichtige Lücke geschlossen, um den bisherigen Mangel an empirischer Forschung zu Fragen des optimalen Rückmeldungsdesigns in Zukunft zu beheben.

5 Allgemeine Diskussion und Ausblick

5.1 Zur Gestaltung verhaltenswirksamer Müdigkeitswarnungen

5.1.1 Human Factors im Warnungsdesign: mehr als Wahrnehmbarkeit und Nutzerakzeptanz

Als erstes Fazit einer eingehenden Beschäftigung mit dem Thema ist es möglich, folgende grobe Ungleichgewichte in der bisherigen Forschung rund um die Entwicklung von Müdigkeitswarnsystemen zu identifizieren:

(1) Verhältnis Input : Output. Das erste Ungleichgewicht besteht hinsichtlich des Verhältnisses von Forschung zur *Input*- vs. *Output*seite dieser Systeme. Unzählige aktuelle Veröffentlichungen stellen neue Entwicklungen in Bezug auf Sensortechnologien und Detektionsalgorithmen zur Erfassung von Fahrermüdigkeit vor. Im Vergleich zu den Anfängen haben die Detektionstechnologien beeindruckende Fortschritte gemacht und erscheinen mittlerweile in vielerlei Hinsicht praxistauglich. Inzwischen ist nicht mehr nötig, als - z. B. - eine ganz normale Baseballkappe aufzusetzen oder einfach nur ein Fahrzeug zu führen, damit Lidschlussparameter, Hirnaktivitätsmuster oder Spurführungsmaße relativ reliabel gemessen und in Echtzeit komplexen Algorithmen zur Müdigkeitserkennung zugeführt werden können. Dennoch verbleibt auch auf der Detektionsseite ein Bedarf an weiterer Forschung und Entwicklung, und auch innerhalb der Veröffentlichungen zum Thema Detektion ist ein Ungleichgewicht festzustellen: Auf dem Kontinuum vom Vorschlag (und zum Teil auch der Markteinführung) neuer Technologien über deren Validierung im Labor bis hin zu Ergebnissen aus dem Feld, z. B. hinsichtlich Sensitivität und Spezifität bei der Vorhersage sicherheitskritischer Ereignisse, nimmt die Erkenntnisdichte merklich ab (s.a. Dawson et al., 2014). Weitere Optimierungsmöglichkeiten bestehen u.a. in Bezug auf die Anpassung von Detektionsalgorithmen an individuelle Besonderheiten, die Abschirmung der Messergebnisse von externen Störvariablen und den Einbezug prädiktiver Müdigkeitsmodelle.

Noch krasser als die Gegensätze innerhalb der Detektionsforschung erscheint allerdings das Ungleichgewicht zwischen Forschung zur Detektionsseite insgesamt und Forschung, die sich auf die sinnvolle Nutzung der detektierten Information im Rahmen einer Rückmeldung an den Fahrer bezieht. Auch angesichts der Möglichkeiten, die Müdigkeitsinformation z. B. zur optimierten Einstellung automatischer Fahrzeugsicherheitssysteme zu nutzen oder die Gefahr an andere Fahrzeuge zu kommunizieren, wird auch in absehbarer Zukunft⁷⁵ in erster Linie eine angemessene Reaktion des *Fahrers* entscheidend dafür sein, ob durch die Detektion das Risiko gemindert werden kann oder nicht.

Um die Fahrerreaktion im Sinne einer Müdigkeitsreduktion günstig zu beeinflussen, bedarf es einer geeigneten Gestaltung der Rückmeldung des Detektionssystems. Im Vergleich zu der Masse an Forschung zur Entwicklung angemessener Detektionsalgorithmen gibt es wenige Studien, die sich mit der Entwicklung angemessener Rückmeldungskonzepte beschäftigen.

(2) Verhältnis "Human Factors": Human Factors. Innerhalb der bereits relativ spärlichen Forschungsliteratur, die sich in irgendeiner Form mit Fragen der Outputgestaltung befasst, setzen sich ungleiche Gewichtungen verschiedener relevanter Aspekte fort.

⁷⁵ logischerweise genau so lange, wie es unter dem Sicherheitsaspekt überhaupt *interessant* ist, den Fahrerzustand zu kennen, d.h. solange der Fahrer irgendwelche Aufgaben der Fahrzeugführung übernimmt und nicht nur Passagier in einem vollständig automatisierten System ist

Noch relativ gut berücksichtigt werden Aspekte der Wahrnehmbarkeit, des Ablenkungspotentials und der Nutzerakzeptanz. Von den identifizierten Funktionen, welche eine Müdigkeitswarnung zu erfüllen hat⁷⁶, liegt der emergente Fokus, besonders im privaten Kfz-Sektor, auf der *Informationsfunktion* und dem *Handlungsvorschlag*. Beide sind angesichts potentieller Divergenzen zwischen subjektiver und tatsächlicher Fahrermüdigkeit sowie teilweise falscher Überzeugungen hinsichtlich wirksamer Gegenmaßnahmen wichtige Elemente, aber allein nicht hinreichend für eine verhaltenswirksame Warnung. Um Verhaltenswirksamkeit zu erreichen, muss das Augenmerk viel mehr als bisher auf motivationale Aspekte gerichtet werden, welche die Ausführung der Handlungsempfehlung behindern. Für diese motivationalen Aspekte erscheinen die verbleibenden beiden Warnungsfunktionen *Kritikalitätsbewertung* und *Handlungsunterstützung* besonders bedeutsam, und es bleibt fraglich, ob diese Funktionen von vorhandenen Rückmeldungsentwürfen befriedigend erfüllt werden. Natürlich liefert der reine Fakt, dass eine Müdigkeitswarnung erscheint, gleichzeitig eine Kritikalitätsbewertung. Zentral bezüglich der Funktionsbewertung ist aber, dass es nicht ausreicht, wenn das System den Zustand als bedrohlich bewertet, solange es nicht gelingt, dass der Fahrer dies nach der Warnmeldung ebenfalls tut. Was bisher in der Warnungsgestaltung kaum zur Kenntnis genommen wurde, sind kognitiv und emotional verankerte Verzerrungen in der subjektiven Gefährdungswahrnehmung und anderen Situationsbeurteilungen des Fahrers, welche im Rahmen des Entscheidungsprozesses für oder gegen eine angemessene Reaktion auf die Warnung eminent wichtig sind. Eine extrem wirksame dieser Verzerrungen ist der unrealistische Optimismus. Im Verbund mit einer unvorteilhaften Gesamtkonstellation motivationaler Anreize, welche in der Müdigkeitswarnungssituation vorliegt, bildet er eine starke Gegenkraft zur Ausführung des empfohlenen Verhaltens anzuhalten und eine Pause zu machen. Aus diesem Grund müssen sich Müdigkeitswarnungen viel stärker als andere Fahrzeugwarnungen daran messen lassen, wie effektiv sie auf Ebene der Überzeugungen und Motivation des Fahrers wirksam werden können. Dieser Aspekt wurde trotz seiner Wichtigkeit bisher theoretisch und empirisch weitestgehend vernachlässigt. Eine Handvoll Ansätze, welche erkennbar auf Überzeugungen und Motivation des Fahrers abzielt, ist gegenüber vorhandenen Überlegungen zu „anderen“ Human Factors (Aspekte wie Wahrnehmbarkeit, Verhinderung einer Schreckreaktion, Vereinbarkeit mit der Fahraufgabe, Nutzerakzeptanz) deutlich in der Minderzahl.

Die bisherige relative Vernachlässigung des Überzeugungs- und Motivationsaspekts könnte auf mehrere Ursachen zurückgehen. Zum einen stellt die Müdigkeitswarnung im Hinblick auf die assoziierte motivationale Ambivalenz, ausgeprägte subjektive Handlungskosten etc. ein Novum im Kreise der Fahrzeugwarnungen dar, welche bisher eher Informationen und Reaktionshilfen für einfache und auf Motivationsebene relativ eindeutig unterstützte Reaktionen wie Bremsen oder Ausweichen zur Verfügung stellten. Dies hat zur Folge, dass bisherige Human-Factors-Standardprozeduren für die Entwicklung von Fahrzeugwarnungen im Falle der Müdigkeitswarnung zu kurz greifen. Möglicherweise überwiegt vor dem Hintergrund des Mangels an Erfahrungen mit Warnungen, die auf nennenswerten „motivationalen Widerstand“ treffen könnten, auch bei manchen Entwicklern ein übermäßig rationales Menschenbild im Sinne eines Fahrers, der lediglich darüber informiert werden muss, dass er müde ist, und dann schon die richtigen Schritte einleitet. Auch das komplette Gegenteil könnte der Fall sein: Möglicherweise werden die irrationalen Momente im menschlichen Entscheidungsverhalten durchaus zur Kenntnis genommen, aber es herrscht die implizite Haltung, dass diese ohnehin nicht zu beeinflussen seien und daher auch nicht berücksichtigt werden müssen. Ob so oder so, in

⁷⁶ (1) über Müdigkeit informieren, (2) die Kritikalität des festgestellten Zustandes verdeutlichen, (3) eine Handlungsempfehlung geben, (4) bei der Umsetzung des empfohlenen Verhaltens unterstützen (s. 2.3.2.3)

der Human-Factors-Evaluation und Entwicklung von Müdigkeitswarnungen wäre es sträflich, einen derart mächtigen Faktor zu ignorieren. Kaum ein anderer Aspekt als die inhärenten Besonderheiten des menschlichen Urteils- und Entscheidungsverhaltens verdient es wohl prototypischer, als *Human Factor* bezeichnet und entsprechend berücksichtigt zu werden.

(3) Verhältnis Konzeption : Empirische Prüfung. Ein letztes Ungleichgewicht in der wissenschaftlichen Beschäftigung mit dem Output von Müdigkeitswarnsystemen besteht bezüglich der empirischen Prüfung ihrer sicherheitsbezogenen Wirkungen. Zumeist gehen die Bemühungen nicht über die Formulierung einiger konzeptueller Überlegungen, z. B. hinsichtlich theoretischer Anforderungen an das Warnungsdesign, und die Forderung nach empirischer Forschung hinaus. In den wenigen Studien, welche tatsächlich die Auswirkungen der Präsenz von Müdigkeitswarnern untersuchen, wird oft nur die gemessene Müdigkeit als abhängiges Maß fokussiert. Ohne nähere Informationen über die kurz- und langfristigen Reaktionen der Fahrer auf die Warnung wird es nicht möglich sein die Mechanismen zu verstehen, welche die – meist ausbleibende oder schwache – Wirkung auf Ebene der Müdigkeit oder sicherheitskritischer Ereignisse vermitteln. Neben Verhaltensdaten müssen dazu auch Reaktionen auf kognitiver und emotionaler Ebene berücksichtigt werden. Ein plausibler Grund dafür, dass die Wirksamkeit von Müdigkeitswarnungen bisher so wenig empirisch geprüft wurde, sind methodische Schwierigkeiten. FOTs sind zu aufwendig, um sie als Forschungs- und Evaluationsinstrument in frühen Entwicklungsstadien einzusetzen. Experimentelle Labor- und Fahrsimulationstests wurden bislang so gut wie nicht durchgeführt, vermutlich weil bisher unklar war, wie die im Warnungs-geschehen unmittelbar bedeutsame motivationale Konstellation einer realen Fahrsituation im geschützten Versuch nachvollzogen werden könnte. Die Verfügbarkeit eines ökologisch validen Fahrsimulationsparadigmas stellt somit eine wesentliche Voraussetzung für die empirische Prüfbarkeit verschiedener Warnungsdesigns hinsichtlich ihrer Wirkungen auf kognitiver, emotionaler und Verhaltensebene dar.

5.1.2 Gewonnene Erkenntnisse zur Überzeugungs- und Verhaltenswirksamkeit verschiedener Warnungsdesigns

Auf Basis der Entwicklung eines neuen Fahrsimulationsparadigmas, das die benannte methodische Lücke schließt, konnten in dieser Arbeit erste Erkenntnisse zur Wirksamkeit von Müdigkeitswarnungen auf Überzeugungen, Motivation und Pausenverhalten gewonnen werden.

Das erste Forschungsziel (s. Abschnitt 1) bestand darin, das psychologische Problem hinter der Müdigkeitswarnung in einen *theoretischen Rahmen* einzubetten, in dem relevante Einflussgrößen identifiziert und damit Gestaltungsansätze eröffnet werden. Der allgemeine Prozess der Verarbeitung der Warnungsinformation lässt sich in geeigneter Weise durch das C-HIP-Modell abbilden. Eine Detaillierung und Konkretisierung relevanter Einflussgrößen auf den besonders wichtigen Stufen der *Überzeugungen* und der *Motivation* liefert die Theorie der Schutzmotivation (PMT). Diese spezifiziert eine Reihe subjektiver Einschätzungen, die für den Ausgang von Risikoentscheidungen funktionell bedeutsam und damit als Ansatzpunkte für gezieltes Warnungsdesign von Interesse sind: Vulnerabilität, Schweregrad der Schädigung, Handlungswirksamkeit und Selbstwirksamkeit.

Fokussiert wurden der Aspekt der subjektiven Vulnerabilität, also der wahrgenommenen Gefährdung, und die Frage, wie wirksam verschiedene Gestaltungsvarianten diese Einschätzung in Richtung einer Pausenentscheidung beeinflussen können. Verglichen wurden eine Standardwarnung, wie sie in den meisten mit Warnsystem ausgerüsteten Pkw verwendet wird, und eine personalisierte Warnung mit eigenem Bild, von der vermutet wurde, dass sie eine stärkere Wirkung auf die Vulnerabilität

und damit die Pausenentscheidung haben würde. Die Warnungswirkung wurde in zwei verschiedenen Situationskontexten, nah am Ziel und weiter entfernt, analysiert.

Die empirischen Erkenntnisse zur Wirksamkeit der *Standardwarnung mit dem Kaffeetassensymbol* (Forschungsziel 2) können wie folgt zusammengefasst werden: Erwartungsgemäß sind sowohl die Vulnerabilitätswahrnehmung als auch die Pausenhäufigkeit nach dieser Warnungsvariante etwas höher als ohne explizite Warnung. Tendenziell akzeptieren die Fahrer nach der Standardwarnung auch etwas höhere Pausenkosten als ungewarnte Fahrer. Die beobachteten Zugewinne bleiben allerdings so klein, dass sie in keinem Fall statistische Signifikanz erreichen.

Die neu gestaltete *Warnungsvariante mit dem Bild des Fahrers* führt im Vergleich zur Baseline ohne Warnung zu größeren Zuwächsen in Vulnerabilität und beobachteten Pausen als die Standardwarnung (s. Forschungsziel 3). Zudem empfinden die mit dem eigenen Bild gewarnten Fahrer eine Pause als deutlich wirksamer gegen Müdigkeit und sind bereit, höhere Kosten dafür in Kauf zu nehmen.

Der *situative Kontext* (s. Forschungsziel 4) hat einen bedeutsamen Einfluss auf die Entscheidungen der Fahrer nach einer Müdigkeitswarnung. Bei weit entferntem Ziel sind die Odds einer Pause im Vergleich zum nahen Ziel etwa drei- bis vierfach erhöht. Die entsprechende Tendenz findet sich auch auf Ebene der Vulnerabilität wieder. Somit erhöht sich mit abnehmender Zielentfernung der Interventionsbedarf. Es gibt Hinweise darauf, dass die Warnung mit eigenem Bild bei geringer Zielentfernung den entsprechenden Nachteil besser auszugleichen vermag als die Standardwarnung: Während sich Fahrer sowohl ohne Warnung als auch nach der Standardwarnung bei geringer Zielentfernung weniger anfällig für Fahrfehler fühlen, ist die Vulnerabilitätswahrnehmung bei mit eigenem Bild Gewarnten auch bei nahem Ziel ähnlich hoch wie bei weit entferntem. Erwartungsgemäß finden sich ähnliche Muster hinsichtlich der beobachteten Pausen wieder.

Während die Muster auf Stichprobenebene den Erwartungen entsprechen und auch über die Versuche hinweg konsistent sind, erreichen nicht alle Effekte statistische Signifikanz (s.a. Diskussion in 3.4.1 und 4.4.1). Im Gegensatz zum Effekt der Zielentfernung ist beispielsweise der Effekt der Warnung mit eigenem Bild auf die Pausenhäufigkeit im Vergleich zur Baseline nur marginal signifikant. Allerdings zeigt der Vergleich der geschätzten Effektgrößen, dass die Signifikanzunterschiede wohl teilweise den unterschiedlichen Gruppengrößen geschuldet sind (Zielentfernung: jeweils 30 Personen, Warnungstypen: jeweils 20 Personen). So erhöht eine personalisierte Warnung im Vergleich zur Baseline die geschätzten Odds für eine Pause um etwa das Vierfache (mit entsprechend größerer Unsicherheit) und wirkt sich damit in etwa genauso stark auf die Pausenwahrscheinlichkeit aus wie eine hohe Zielentfernung.

Einige unerwartete Effekte hinsichtlich der verbleibenden PMT-Variablen traten nur inkonsistent auf und werden an anderer Stelle diskutiert (3.4.2, 4.4.2).

Zusammenfassend ist festzustellen, dass die derzeit in den meisten privaten Pkw mit Müdigkeitswarnsystemen eingesetzte Gestaltungsvariante die Pausenbereitschaft – sowohl im Verhalten, als auch auf Ebene vorgeordneter Empfindungen und Einschätzungen – im Vergleich zu einer Situation ohne Warnung nur in sehr geringem Maße erhöht. Eine mit Fokus auf Überzeugungsstärke gestaltete Warnung mit eigenem Bild erweist sich als insgesamt wirksamer. Selbst diese insgesamt größeren Effekte sind jedoch nicht in allen Fällen deutlich verschieden von der Grundsituation ohne Warnsystem. Mit Rückbezug auf die in 3.3.2.2 aufgeworfene Frage nach der Wahl des Signifikanzkriteriums zwischen höherer Sensitivität vs. Spezifität kann folgendes festgestellt werden: Die vorliegende Untersuchung repräsentiert eine typische Human-Factors-Fragestellung, in der die Sicherheitswirksam-

keit verschiedener Gestaltungsvarianten zu beurteilen ist. Vor diesem Hintergrund erscheinen die potentiellen negativen Konsequenzen eines β -Fehlers weniger gravierend als die eines α -Fehlers. Die technische Umsetzung ist mit relativ geringem Aufwand zu bewerkstelligen. Bei Übernahme des vermutlich wirksameren Warnkonzepts mit dem eigenen Bild wäre das neue System dem alten im schlimmsten Fall (dem Fall eines β -Fehlers) in der Wirksamkeit ebenbürtig. Sofern – worauf die Replizierbarkeit der Ergebnismuster hinweist – der Effekt reliabel ist, würden durch die Übernahme des neuen Designs Sicherheitsgewinne resultieren. Im Falle eines α -Fehlers, das heißt bei Nichtübernahme des neuen Designs trotz eines vorhandenen Effekts, würde man sich hingegen weiterhin auf eine weniger effektive Warnungsvariante verlassen (vgl. Wickens et al., 2004). Vor diesem Hintergrund und unter Berücksichtigung der ressourcenbedingt limitierten Stichprobengröße sollten die gefundenen Effekte der Warnung mit eigenem Bild als bedeutsam interpretiert werden.

Somit zeigt sich einerseits, dass die Personalisierung in der vorliegenden Form ein aussichtsreicher Weg ist, die Verhaltens- und Sicherheitswirksamkeit von Müdigkeitswarnungen im Fahrzeug zu vergrößern. Andererseits besteht aber auch noch viel Spielraum für weiterführende kreative Ansätze zum Umgang mit der herausfordernden Motivationskonstellation im Rahmen der Müdigkeitswarnung.

5.1.3 Anschließende Forschungsfragen

Aus den erzielten Erkenntnissen erwächst auch neuer Forschungsbedarf, z. B. mit Ziel der Absicherung der Ergebnisse, der näheren Spezifikation von Wirkungsmechanismen oder der Klärung weiterführender Fragen hinsichtlich der Anwendbarkeit der Ergebnisse in der Praxis.

Zum Beispiel stellen sich, neben einer wünschenswerten Replikation des Kernbefunds, weitere Fragen rund um die beobachtete Wirkung der Warnung mit eigenem Bild. Es wäre interessant herauszufinden, welche relative Rolle der reine Fakt, dass es sich um ein *Bild der eigenen Person* handelt, gegenüber der wahrgenommenen *Müdigkeit dieser eigenen Person* für die Wirkung auf Vulnerabilität, Pausenentscheidungen und so weiter spielt. Damit in Verbindung steht die Frage nach den theoretischen Mechanismen, auf denen die Wirkung beruht. Mindestens drei verschiedene sind denkbar, die einander auch nicht ausschließen und theoretisch alle gleichzeitig wirken könnten. Zum ersten könnte, im klassischen Sinne personalisierter Warnungen (s. Vredenburg & Zackowitz, 2006), durch den persönlichen Bezug die wahrgenommene Relevanz der Warnbotschaft für die eigene Person erhöht und damit eine elaborierte Verarbeitung der Nachricht begünstigt werden. Elaboration, d.h. bewusste Auseinandersetzung mit der Problematik, könnte den Einfluss impliziter Einstellungen wie des Optimismusbias schwächen. Zum zweiten könnte, wie in dieser Arbeit fokussiert, der Effekt auf einer direkten Wahrnehmung der eigenen Person als angeschlagen, müde und verletzlich basieren, welche unmittelbar aus der visuellen Verarbeitung des eigenen Bildes resultiert (s. 2.2.4.1). Zum dritten kommt eine sozialpsychologische Vermittlung über erhöhte Selbstaufmerksamkeit und die damit verbundene Tendenz, sich konform mit eigenen und sozialen Normen zu verhalten, in Frage (s. 2.2.4.1).

Auch aus den Befunden zur Warnung mit dem Kaffeetassensymbol ergeben sich weiterführende Fragen. Neben der allgemein geringen Wirksamkeit war insbesondere der unerwartete Befund in Bezug auf die reduzierte Bedrohungsschwere in dieser Bedingung auffällig. Es steht zu erforschen, ob es sich um einen reliablen Effekt handelt. Falls ja, müssen die zugrundeliegenden Mechanismen aufgedeckt werden, um Schlussfolgerungen zu ermöglichen, wie in der Warnungsgestaltung damit umgegangen werden kann. Angenommen beispielsweise, es würde sich herausstellen, dass das Kaffeetassensymbol zwar einerseits in erwünschter Weise die Lust auf eine Pause beflügelt, andererseits

aber die wahrgenommene Bedrohlichkeit der Situation schmälert; dann könnten vielleicht durch eine zeitliche oder anderweitige Separierung einer Warnung, die zunächst unzweideutig die Bedrohungswahrnehmung schärft, und einer darauf folgenden Handlungsempfehlung mit dem Kaffeetassensymbol dessen positive Effekte ohne den unerwünschten Nebeneffekt genutzt werden.

In den hier vorgestellten Untersuchungen vollzogen sich alle Fahrerentscheidungen im Kontext einer zuvor erfolgten Aufklärung über die Risiken von Müdigkeit und wirksame Gegenmaßnahmen. Ein wichtiger nächster Schritt wäre, zu untersuchen, welche Konsequenzen das Ausbleiben solcher Aufklärungsinformationen für die Reaktionen der Fahrer hat. Es steht zu vermuten, dass die Aufklärung das Gesamtniveau der Pausenwahrscheinlichkeit erhöht. In diesem Fall wäre es angebracht, besonders wirksame Informationselemente zu identifizieren und darüber nachzudenken, wie diese in den Fahrt- und Warnungskontext integriert werden können.

Eine wichtige Frage, die sich im Hinblick auf jede technologische Neuerung stellt, ist, wie sich das Nutzungsverhalten auf einer längeren Zeitskala verändert. Diesbezüglich sollte unter anderem untersucht werden, in welchem Maße die Wirkungen der Warnung mit eigenem Bild und auch der Standardwarnung Habituationseffekten unterliegen. Ein anderer wichtiger Aspekt sind eventuelle unerwünschte Verhaltensanpassungen im Sinne einer Risikokompensation. Die vorliegenden Untersuchungen erbrachten keine Hinweise darauf, dass für die Art der hier verwendeten Warnungen solche möglichen negativen Wirkungen die positiven unterminieren könnten. Dennoch ist nicht ausgeschlossen, dass sich bei langfristiger Nutzung unerwünschte Adaptationen einstellen. Längsschnittstudien zur Entwicklung des Nutzungsverhaltens über die Zeit sind daher wünschenswert.

Zum Thema längerfristige und unerwünschte Wirkungen sollten auch mögliche Nachteile der personalisierten Warnung mit eigenem Bild reflektiert werden. Ein bereits diskutierter Aspekt ist die möglicherweise höhere Ablenkungswirkung. In den hier betrachteten subjektiven Maßen ergab sich kein Hinweis darauf, doch sollten auch Ergebnisse entsprechender objektiver Tests (z. B. Blickbewegungsmessung, Leistung in Doppelaufgaben etc.) eingeholt und mit angemessenem Gewicht in den Überlegungen zur Warnungsgestaltung berücksichtigt werden. Sofern sich ein Einfluss des eigenen Bildes auf die Tendenz zum unrealistischen Optimismus bestätigen ließe, wären auch die zeitliche Dynamik dieses Effekts und die Auswirkungen wiederholter Exposition von Interesse. Es ist wahrscheinlich, dass der unrealistische Optimismus grundsätzlich eine adaptive Funktion bezüglich des subjektiven emotionalen Wohlbefindens erfüllt (Conversano et al., 2010; Korn, Sharot, Walter, Heekeren & Dolan, 2014; Schwarzer & Jerusalem, 1995). Sollten Konfrontationen mit dem eigenen müden Konterfei diese Verarbeitungstendenz längerfristig mindern⁷⁷, könnte dies auch Konsequenzen für das Ausmaß erlebter positiver Emotionen haben. Unter anderem könnte dies die Nutzerzufriedenheit und Systemakzeptanz beeinflussen. Es ist daher wichtig, nicht nur alle Auswirkungen zu studieren, sondern auch mögliche Interaktionen zwischen wünschenswerten Warnungseigenschaften zu berücksichtigen, die nicht immer zu hundert Prozent miteinander vereinbar sein müssen. Es wurde bereits kurz angesprochen (s.2.1.4.5), dass sich bereits auf Ebene der reinen Definition idealer Systemeigenschaften eine Reihe von Forderungen finden lassen, die in der gemeinsamen Umsetzung Konfliktpotential bergen. Auch wenn dies die Zielrichtung sein sollte, wird es nicht immer möglich sein, eine Designlösung zu finden, die allen Forderungen gleichermaßen gerecht wird. Dort, wo Tra-

⁷⁷ Aus verschiedenen Gründen scheint dies zwar unwahrscheinlich - z. B. weil sich die Müdigkeitswarnung nicht auf eine generelle Einschätzung der Person, sondern nur auf einen aktuellen und durch eigene Bemühungen reversiblen Zustand bezieht -, dennoch wäre es interessant, wie lange eine mögliche Wirkung eigentlich anhält.

deoffs unvermeidlich sind, sollte der Punkt (oder der Bereich) der optimalen Gewichtung konfligierender Faktoren am besten empirisch hinsichtlich der Gesamtwirkung auf Müdigkeit, Verhalten und Sicherheit definiert werden.

Gemäß der Weisheit „*Es gibt nichts Praktischeres als eine gute Theorie*“ wurde die PMT in dieser Arbeit als Grundlage für die Erarbeitung sinnvoller Gestaltungsansätze genutzt. Vor diesem Hintergrund wurde ein pragmatischer Ansatz im Umgang mit der Theorie und ihren Variablen gewählt. Dies betrifft u.a. die Vorstellung davon, wie die relevanten Einschätzungen zu Bedrohung und Bewältigungsmöglichkeiten zustande kommen. Die PMT ist eine kognitive Theorie, und es gibt Ansätze in der psychologischen Forschung, im Rahmen „kognitiver“ Prozesse nur solche Prozesse zu berücksichtigen, die *bewusst* (auch *explizit* oder *unter Aufwand von Aufmerksamkeitsressourcen*) ablaufen. Diese Ansicht wird hier offensichtlich nicht vertreten. Stattdessen wird angenommen, dass die betrachteten risikorelevanten Wahrnehmungen immer aus einem Zusammenwirken bewusster und unbewusster Prozesse („Bauchgefühl“) resultieren. Ein expliziter Ausschluss automatischer und emotionaler Verarbeitungsprozesse als rekrutierte Informationsquelle bei der Bedrohungs- und Bewältigungseinschätzung erscheint weder im Sinne der Grundlagenformulierung der PMT (Maddux & Rogers, 1983) noch aus Anwendungssicht sinnvoll (bezüglich methodischer Konsequenzen s. 5.2.1). Im Gegenteil erweitert sich, indem diese Prozesse einbezogen werden, das Spektrum von Ansätzen zur effektiven Warnungsgestaltung. So mutet bereits der hier vorgeschlagene Mechanismus einer Erhöhung der wahrgenommenen Vulnerabilität ziemlich *implizit* an, um einer ebenfalls *impliziten* Verzerrungstendenz, dem Optimismusbias, zu begegnen. Es erscheint aussichtsreich, in dieser Richtung weiterzudenken und zu erforschen, wie automatische und emotionale Verarbeitungsprozesse für eine verhaltenswirksame Warnungsgestaltung gezielt genutzt werden können. Ein Beispiel aus einer verwandten Domäne liefert eine Studie von Branaghan und Gray (2010) zur Geschwindigkeitswahl beim Autofahren. Im Rahmen einer simulierten Fahraufgabe wurde hier in der Experimentalbedingung auf unbewusstem Wege bei den Fahrern das stereotype Konzept „ältere Person“ aktiviert. Dies führte zu einer Reduktion der gewählten Geschwindigkeit von guter mittlerer Effektgröße. Verschiedentlich wurde bereits gezeigt, dass das Priming konkreter Verhaltensweisen, aber auch abstrakterer Eigenschaften und Konzepte (z. B. Höflichkeit, Hilfsbereitschaft), die mit bestimmten Verhaltensweisen assoziiert sind, es wahrscheinlicher macht, dass die entsprechenden Verhaltensweisen auftreten (VanBaaren, Holland, Kawakami & van Knippenberg, 2004; Bargh, Chen & Burrows, 1996; Chartrand & Bargh, 1999; Macrae & Johnston, 1998; nach Branaghan & Gray, 2010). Die Berücksichtigung unbewusster Verarbeitungsprozesse kann angesichts der Herausforderungen der Müdigkeitswarnung, welche zu bedeutsamen Anteilen ebenfalls in unbewussten Verarbeitungsmechanismen begründet sind, vermutlich nur hilfreich bei der Entwicklung verhaltenswirksamerer Warnungsdesigns sein.

Ein weiterer Ausgangspunkt für anschließende Forschung ist die bisher unerklärte Varianz in den Pausenentscheidungen und relevanten kognitiven Einschätzungen. Je nach Maß klären die Modelle mit den Faktoren Zielentfernung und Warnungstyp nur etwa 10 bis 15% der Gesamtvarianz auf. Auch in der insgesamt homogeneren Stichprobe in Experiment 2 spielen individuelle Unterschiede offensichtlich eine große Rolle. Einige potentielle Faktoren wie Alter, Geschlecht und generelle Selbstwirksamkeitserwartung hatten in den hier vorgestellten Untersuchungen keinen bedeutsamen Effekt; für andere wie Vorerfahrungen mit Müdigkeitsunfällen und Sekundenschlaf waren nicht die statistischen Voraussetzungen gegeben, um den Effekt beurteilen zu können. Weitere demographische Faktoren, Persönlichkeitsmerkmale, Kompetenzen und individuelle Erfahrungen kommen als Determinanten der Verhaltensentscheidung in Frage, u.a. Bildung, subjektive Normen, Gesundheitsbewusstsein, Kognitionsbedürfnis, Technikaffinität oder persönliche Erfahrungen mit Maßnahmen wie

Napping. Neben der Identifikation besonders bedeutsamer Merkmale steht als Aufgabe für weitere Forschung auch die Beurteilung von deren Nutzbarkeit im Rahmen von Interventionen an.

Simulationen und Laborexperimente bieten eine ausgezeichnete Möglichkeit, die Grundlagen der Warnungswirksamkeit zu erforschen und verschiedene Warnungskonzepte bereits in frühen Phasen des Designprozesses zu evaluieren. Dennoch bleibt am Ende die Notwendigkeit, die Warnungswirkung auf Müdigkeit und Sicherheit auch im Feld zu untersuchen. Erste Schritte einer solchen Forschung liegen in Form einiger FOTs vor, jedoch ist deren Aussagekraft aus verschiedenen Gründen noch eingeschränkt. Zum Beispiel lag der Fokus zumeist auf Berufskraftfahrern, wohingegen kaum Felddaten aus dem privaten Sektor vorhanden sind⁷⁸. Neben der gemessenen Müdigkeit und sicherheitsrelevanten Zielgrößen (z. B. Fahrleistung, sicherheitskritische Ereignisse, Unfälle) sollten auch die unmittelbaren Fahrerreaktionen auf Warnungen untersucht werden, und dies nicht nur auf Verhaltens-, sondern auch auf kognitiver, motivationaler und emotionaler Ebene, damit Ansatzpunkte für eine optimierte Warnungsgestaltung abgeleitet werden können. Mit zunehmender Verbreitung von Müdigkeitswarnern eröffnen sich neben FOTs auch andere methodische Möglichkeiten zur Evaluation der realen Sicherheitseffekte, z. B. deskriptive Unfallstudien und Fall-Kontroll-Studien. Schließlich wäre es wünschenswert, auch die inzwischen erheblichen Datensammlungen der Anbieter kommerzieller Systeme wie Optalert, Smart Cap, ASTiD etc. aus der praktischen Anwendung im Transportwesen einer systematischeren Auswertung zu unterziehen und neue Felddaten in Kooperation mit Warnsystem- und Automobilherstellern zu sammeln.

5.2 Zum Fahrsimulationsparadigma

Die Bereitstellung eines Fahrsimulationsparadigmas, das die spezifische motivationale Konstellation einer realen Fahrsituation qualitativ nachbilden kann, ist ein wichtiger Schritt hin zu mehr empirischer Evaluation und insgesamt regerer Forschungstätigkeit zum Output von Müdigkeitsdetektoren. Auf Basis der gewonnenen Erfahrungen können einerseits Ansatzpunkte zur weiteren Verbesserung des Paradigmas und andererseits Einsatzmöglichkeiten jenseits der Erforschung von Müdigkeitswarnungen identifiziert werden.

5.2.1 Methodische Anpassungs- und Optimierungsmöglichkeiten

Zur besseren Übersicht ist es sinnvoll, das Paradigma als modular aus folgenden Bestandteilen zusammengesetzt zu begreifen: (1) Müdigkeitsinduktion, (2) Anreizkonstellation (inklusive Fahrsimulation), (3) Messung der Müdigkeit, (4) Warnkonzept (bzw. allgemeine experimentelle Manipulation), (5) Erfassung der abhängigen Variablen. Der Kern und die zentrale Methodeninnovation bestehen in der Einführung der Anreizkonstellation, aber alle Teile sind für die Versuchslogik bedeutsam. Im Rahmen zukünftiger Einsätze kann jeder Bestandteil entsprechend der Anforderungen der aktuellen Forschungsfrage modifiziert werden.

Nach dem ersten Einsatz wurde die Methode bereits mehreren Veränderungen unterzogen, die vor allem auf eine Erhöhung der Müdigkeit und des Risikos sowie eine Erleichterung von Pausen abzielten. Hinsichtlich der Müdigkeitsinduktion erwies sich im aktuellen Untersuchungskontext im Gegensatz zu anderen (z. B. Horne & Reyner, 1996; Reyner & Horne, 1997, 1998a) eine Durchführung im circadianen Nachmittagstief nach Schlafrestriktion auf 4.5 Stunden als nicht ausreichend, um in der Stichprobe durchgängig die geforderten Müdigkeitsniveaus zu erzeugen. Zwei potentielle Gründe

⁷⁸ So kommen auch Rau et al. (2005) in einem ihrer FOT-Berichte zu dem Schluss: *“Finally, the learning accomplished by this research should assist the development of similar systems for passenger vehicle drivers, where we observe the largest prevalence of the fatigue crash problem.”* (S. 7)

für diesen Unterschied liegen in der umgesetzten Kontrolle der Schlafrestriktion sowie der unterschiedlichen Bedeutsamkeit der Fahrleistung in den verschiedenen Untersuchungen. Um sicher zu sein, dass Schlafrestriktionen im Sinne der experimentellen Müdigkeitsmanipulation umgesetzt werden, ist es grundsätzlich wünschenswert, dies anhand direkter oder indirekter (z. B. durch Aktimeter) Beobachtung nachzuvollziehen. Ressourcenbedingt konnte in den vorliegenden Versuchen keine lückenlose, sondern nur eine punktuelle Kontrolle umgesetzt werden; darüber hinaus konzentrierten sich die Bemühungen darauf, durch entsprechende Informationen ein Vertrauensverhältnis zu den Teilnehmern aufzubauen und hohe Motivation zur Kooperation zu erreichen. Anhand des Feedbacks der Teilnehmer gibt es keinen Grund zu vermuten, dass die vorgesehene Schlafrestriktion nicht ordnungsgemäß umgesetzt wurde. Ein wahrscheinlicherer Grund für mögliche Unterschiede in der beobachtbaren Müdigkeit liegt in der wirksamen Anreizkonstellation. In den bisherigen Versuchsaufbauten waren die Teilnehmer nicht motiviert, ihre Fahrleistung hoch zu halten und Fahrfehler zu vermeiden. In den hier beschriebenen Experimenten könnte der motivationale Anreiz zu einer verstärkten willentlichen Rekrutierung von Ressourcen zur Selbstaktivierung geführt haben, wie er als vermutlicher Effekt einer Überwachung der Fahrleistung auch in anderen Warnungsstudien bereits gefunden wurde (Karrer-Gauß, 2012). Zuletzt besteht auch die Möglichkeit, dass die auftretende Müdigkeit sich eventuell gar nicht unterschied (zur Messung wurden jeweils unterschiedliche Methoden benutzt), sondern lediglich unterschiedlich hohe Anforderungen an ein „ausreichendes“ Müdigkeitsniveau bestanden.

Bezüglich der Anreizkonstellation, quasi der experimentellen Grundeinstellung der PMT-Variablen im Versuch, existiert eine Vielzahl von Ansatzpunkten, die an anderer Stelle bereits detailliert dargestellt wurden (s. 3.2.2.3, 4.2, Anhang A.3.1). Als Zielrichtung für die meisten Fragestellungen bietet es sich vermutlich an, die Grundeinstellung so auszutarieren, dass insgesamt ein mittleres Niveau der Pausenwahrscheinlichkeit bzw. sonstigen Zielvariable erreicht wird, um die Beobachtbarkeit experimenteller Effekte zu optimieren.

Die Überwachung der Müdigkeit zur Determinierung des Warnungszeitpunktes erfolgte in den vorliegenden Untersuchungen anhand der TUBSS, eines beobachtungsbasierten Ratingverfahrens. Das Verfahren wurde aufgrund seines Potentials zur validen und gleichzeitig nonintrusiven Messung ausgewählt. Als andere geeignete Methoden zur Müdigkeitsmessung in Echtzeit kommen z. B. EEG-Messungen, Eye- oder Lanetracking in Frage. Immer stellt sich die Frage nach der Definition des Schwellenwerts. Die gewählte TUBSS-Stufe bietet mit dem Einsetzen von Indikatoren wie *lange Lid-schlüsse*, *Seitwärtsrollen der Augen* und *fehlende Fixation* hierfür eine hohe Augenscheinvalidität. Zu beachten ist, dass die Reliabilität des Verfahrens bisher nur unter Offline-Bedingungen, d.h. im Einsatz zur Bewertung von Videoaufzeichnungen, getestet wurde (Dittrich et al., 2009). Es verbleibt zu zeigen, inwiefern sich die gute Reliabilität auf die Bewertung in Echtzeit generalisiert.

Die vorliegenden Studien liefern erste Ergebnisse zum Einfluss eines Faktors des Warnungsdesigns und eines Kontextfaktors auf die Verhaltenswirksamkeit von Warnungen. Weitere Warnungs- und Kontextfaktoren können in analoger Weise untersucht werden. Die Anwendungsmöglichkeiten des Paradigmas beschränken sich aber nicht auf die Warnungsforschung; auch im Rahmen anderer Fragestellungen könnte die Erzeugung einer fahrtypischen Anreizkonstellation Ergebnissen aus dem Fahr Simulator zu einer höheren ökologischen Validität verhelfen (s. 5.2.2).

Bezüglich der Auswahl der abhängigen Variablen in der Evaluation von Warnungsdesigns ist klar, dass es sich um sicherheitsrelevante Größen handeln muss. Wie an anderer Stelle ausgeführt, sind hierbei nicht nur die ultimativen Zielgrößen, wie resultierende Müdigkeit oder Unfallwahrscheinlichkei-

ten, von Interesse. Zur Ableitung sinnvoller Gestaltungsvorschläge ist es vor allem erforderlich, die Mechanismen zu verstehen, die zwischen Warnung und Zielgröße vermitteln. Neben Reaktionen der Fahrer auf der Verhaltensebene müssen dazu auch emotionale, motivationale und kognitive Kenngrößen, welche dem Verhalten zugrundeliegen, betrachtet werden. Deren Erfassung setzt die Verfügbarkeit geeigneter Methoden voraus. In den vorliegenden Untersuchungen wurden subjektive Einschätzungen per Fragebogen retrospektiv erhoben. Vor- und Nachteile der Retrospektivität wurden bereits diskutiert (s. 3.4.4). An dieser Stelle sollen noch kurz Implikationen der Befragungsmethodik an sich betrachtet werden. Eine zu beachtende grundsätzliche Einschränkung der Befragung besteht darin, dass Menschen nicht in alles Einsicht haben und über alles Auskunft geben können, was sie bewegt. Beispielweise hätten die Teilnehmer in der o.g. Studie von Branaghan und Gray (2010) nicht sagen können, dass in ihrem Gedächtnis das stereotype Konzept „Älterer Mensch“ aktiviert war, dennoch hatte diese Aktivierung offensichtlich Einfluss auf ihr Verhalten. Darüber hinaus können in den Einschätzungen und Auskünften Befragter Verzerrungen, z. B. im Sinne sozialer Erwünschtheit, auftreten. Dennoch wurde zum Zwecke der Erhebung der PMT-Variablen die Befragung als die Methode mit den besten Aussichten auf valide Ergebnisse ausgewählt. Mit der PMT wird davon ausgegangen, dass die als relevant identifizierten Einschätzungen – *Wie anfällig fühle ich mich? Wie schlimm erscheint mir das, was passieren könnte? Als wie hilfreich empfinde ich die Pausenoption in meiner Situation?* etc. – tatsächlich die Grundlage der Entscheidung für oder gegen eine Pause bilden. Wie in 5.1.3 ausgeführt, wird angenommen, dass diese Wahrnehmungen sowohl aus bewussten als auch unbewussten Bewertungsprozessen gespeist werden. Die unbewussten Prozesse selbst mögen nicht wahrnehmbar sein, wohl aber deren Resultate auf Ebene der empfundenen Emotion und Motivation (das „Bauchgefühl“). Auf dieser Ebene erschließen sie sich wiederum einer Abfrage. Mit Hilfe „empfindungsnaher“ Formulierungen in den Fragen – z. B. *Wie haben Sie [...] empfunden, Wie stark hatten Sie das Gefühl [...]* etc. – wurde versucht, auf diese unmittelbaren Wahrnehmungen zuzugreifen. Es wird angenommen, dass die resultierenden Angaben und die tatsächlich motivational wirksamen Bewertungen wahrscheinlich nicht zu hundert Prozent deckungsgleich, die vorhandenen Schnittmengen aber dennoch substantiell genug sind, um als valide Abbildung gelten zu können.

Unglücklicherweise ist das Spektrum von Methoden zur Erfassung subjektiver Einschätzungen und Bewertungen insgesamt nicht besonders groß. Ein möglicher alternativer Ansatz wäre der Einsatz impliziter Tests, bei denen z. B. aus einer Erleichterung oder Verlangsamung der Reaktionszeiten in bestimmten Zuordnungsaufgaben auf zugrundeliegende Überzeugungsstrukturen geschlossen wird (s. z. B. Greenwald, Poehlman, Uhlmann & Banaji, 2009; Houwer, 2003; Williams & Kaufmann, 2012). Einen anderen Zugang könnten verschiedene Verfahren der Emotionsmessung (z. B. Erfassung des emotionalen Ausdrucks mit EMG oder Beobachtung, psychophysiologische Verfahren) bieten. Mit diesen Verfahren wäre es zwar vermutlich schwierig, genau die in der PMT spezifizierten Einschätzungen zu erfassen, aber es wäre z. B. möglich, psychische Reaktionen auf eine Warnung im Sinne einer Bewertung *positiv / negativ* und einer Ausprägungsstärke oder spezifische relevante Emotionen wie Furcht zu erfassen. Obwohl jede dieser Methoden ihre eigenen Probleme mitbringt – u.a. hinsichtlich Spezifität und Durchführbarkeit – wäre es interessant, die Ergebnisse aus subjektiven Befragungen mit den Ergebnissen solcher Methoden abzugleichen.

5.2.2 Mehr ökologische Validität für Fahrsimulationsversuche jenseits der Warnungsevaluation

Die Verwendung eines Paradigmas mit einer leistungsbezogenen Anreizsituation könnte möglicherweise nicht nur ein nützliches Instrument zur Erforschung der Warnungswirkung sein, sondern darü-

ber hinaus auch in anderen Untersuchungsfragen die Übertragbarkeit von Simulationsdaten auf die reale Fahrsituation zu verbessern helfen.

Beispielweise werden Simulationsstudien auch eingesetzt, um die fahrleistungsbezogenen Auswirkungen von Müdigkeit am Steuer zu untersuchen und die damit einhergehende Erhöhung des Unfallrisikos zu bemessen (s. 2.1.1.3). Ein entscheidender Vorteil im Vergleich zum Studium realer Unfälle ist hierbei die experimentelle Kontrolle über das Ausmaß der Müdigkeit als der unabhängigen Variablen. Auf Seiten der Nachteile stehen kontextuelle Unterschiede zum wirklichen Fahren, die zur Folge haben, dass sich nicht alle beobachteten Effekte 1:1 in den realen Verkehr übertragen lassen. Zum Beispiel zeigt eine Vergleichsstudie bei schlafdeprivierten Personen längere Reaktionszeiten und höheres subjektives Müdigkeitsempfinden im Simulator als im realen Verkehr (Philip et al., 2005). Bezüglich der Häufigkeit, mit der Fahrbahnmarkierungen überfahren wurden, waren Simulation und Realität vergleichbar, jedoch waren die beobachteten Amplituden im Fahrsimulator größer. Als Ursprung dieser Effekte kommen sicherlich eine ganze Reihe von Unterschieden zwischen der realen Fahrsituation und der verwendeten Simulation in Frage (u.a. auch Detaillierungsgrad und Vielfalt sensorischer Eindrücke). Ein wesentlicher Faktor dürfte jedoch die unterschiedliche Aktivierung aufgrund der Unterschiede im subjektiven Risikoerleben sein. Es steht zu vermuten, dass die Teilnehmer im Fahrsimulator weniger motiviert waren Unfälle zu vermeiden und damit weniger Ressourcen zur momentanen Selbstaktivierung zur Verfügung standen bzw. aufgewendet wurden. Eine Verwendung von Leistungsanreizen in der simulierten Fahrt könnte dazu führen, dass sich die Ergebnisse aus der Simulation stärker den in der Realität zu beobachtenden Effekten angleichen.

Dieses Argument lässt sich auf weitere Forschungsfragen übertragen, die im Fahrsimulator untersucht werden und bei denen Risikowahrnehmung und Motivation eine wichtige Rolle spielen. In den Bemühungen, durch immer realistischere Darstellung der sensorischen Eindrücke (z. B. in Bezug auf visuelle Szenerie, Geräusche, Haptik, Abmessungen, Fahrdynamik etc.) größere Realitätsnähe von Simulationen zu erreichen, wird es lohnenswert sein zu berücksichtigen, dass auch die inneren Einstellungen des Fahrers sein Erleben und Verhalten beeinflussen, und auch auf dieser Ebene für realitätsnähere Bedingungen zu sorgen, wo dies angemessen erscheint.

5.3 Andere Ansatzpunkte der PMT zum wirksamen Müdigkeitsmanagement

Mit der subjektiven Vulnerabilität und Wegen, wie diese in Richtung höherer Pausenwahrscheinlichkeit beeinflusst werden kann, wurde in dieser Arbeit nur einer von multiplen möglichen Ansatzpunkten der PMT für ein verhaltenswirksames Design von Müdigkeitswarnungen fokussiert. Einige sehr kurze Ausblicke, wie die anderen PMT-Faktoren in der Warnungsgestaltung und allgemein im Fatigue-Management gezielter genutzt werden könnten, wurden bereits in 2.2.4 gegeben. Abschließend und als Anregung für zukünftige Forschungsbemühungen soll eine besonders effektiv erscheinende Ansatzmöglichkeit noch etwas eingehender betrachtet werden.

Neben dem Optimismusbias erscheint eine aus Erkenntnissen der Entscheidungsforschung vorhersagbare motivationale Tendenz zur Vermeidung unmittelbarer *Handlungskosten* als stärkster Gegenpol einer verhaltenswirksamen Warnung. Zusätzlich zu den unvermeidlichen *Zeitkosten*, die mit einer Pause einhergehen, spielen hierbei *mentaler Aufwand* durch den nötigen Wechsel auf eine höhere Regulationsebene und eine daraus entstehende Aversion gegenüber der Unterbrechung der laufenden Handlung eine Rolle (Hacker, 2014; Kahneman, 2011; Shugan, 1980; Wickens & McCarley, 2007; s.a. 2.2.4.2.) Auf Gestaltungsebene kommen für den wirkungsvollen Umgang mit diesen Handlungskosten zwei Ansätze in Frage: (1) auftretende und wahrgenommene Kosten auf das ge-

ringstmögliche Maß *reduzieren* und (2) auftretende und wahrgenommene Kosten durch Schaffung zusätzlicher positiver Anreize *kompensieren*. Vermutlich ist es am sinnvollsten, beide Ansätze parallel zu verfolgen. Als ein Effekt der Reduktion und Kompensation von Handlungskosten ist zu erwarten, dass es dem Fahrer zunächst leichter fällt, ein neues Handlungsziel *Pause* in die eigene Motivation zu übernehmen. Des Weiteren kann die erfolgreiche Verwirklichung des Pausenziels unterstützt werden, indem durch sinnvolle Informationsbereitstellung die Entwicklung und Umsetzung eines konkreten Handlungsplans erleichtert wird. Zur Erfüllung dieser Funktionen erscheinen mehrere Gestaltungsmaßnahmen als geeignet.

Ein erster Ansatz besteht in einer Konkretisierung der ausgegebenen Handlungsempfehlung. Die relativ undefinierte empfohlene „Pause“ könnte spezifiziert werden hinsichtlich einer vorgeschlagenen Dauer (z. B. 15 min), hinsichtlich Empfehlungen, wie die Pause genutzt werden sollte (Kaffee oder Energydrink trinken, nappen) und am besten auch hinsichtlich eines konkreten Zeitpunkts (z. B. in vier Minuten – wenn Rastplatz X erreicht ist). Die letztgenannte Konkretisierung setzt zum Teil die Umsetzung eines zweiten Ansatzes voraus, einer Verknüpfung des Müdigkeitsassistenten mit Routen- und Navigationsinformationen. Dadurch wäre es möglich, die Pause automatisch in die aktuelle Routenplanung zu integrieren und für den Fahrer den kognitiven Aufwand beim Auffinden eines Rastplatzes zu minimieren. Auch bei der Umsetzung von Naps im Fahrzeug könnte assistiert werden, z. B. durch einen Vorschlag zur empfohlenen Dauer und eine integrierte Weckfunktion bis hin zu Funktionen der Sitzeinstellung oder Bereitstellung entspannender Musik. Weiterführend könnten in zeitlich und örtlich konkretisierten Pausenvorschlägen auch Informationen über die jeweiligen Möglichkeiten zur sinnvollen Pausengestaltung vor Ort verwendet werden, z. B. hinsichtlich des Angebots an koffeinhaltigen Getränken und verfügbaren Nap-Möglichkeiten (im Auto, Schlafsessel, Nap-Pod etc.). Hierbei wird ein weiteres Mal offenbar, wie wichtig es ist, dass Maßnahmen auf den verschiedenen Ebenen des Fatigue-Management ineinander greifen (s. 2.1.4): Je besser die entsprechende Infrastruktur auf die Versorgung müder Fahrer eingerichtet ist, desto effektiver kann der Fahrer unterstützt werden (s.a. 2.1.4.4).

Im Verbund mit Maßnahmen auf anderen Ebenen könnte eine Müdigkeitswarnung dann auch mit zusätzlichen Pausenanreizen verknüpft werden. Dahinter steht die Idee, die motivationale Bilanz der Pausenoption zu verbessern, indem den unmittelbar entstehenden Handlungskosten ebenfalls unmittelbar auftretende positive Konsequenzen an die Seite gestellt werden. Entsprechende Anreizsysteme könnten in Zusammenarbeit mit Verkehrsclubs, Krankenkassen, Raststellenbetreibern etc. und eventuell sogar Polizei und Justiz geschaffen werden. Ein Beispiel: Wer den ersten Pausenvorschlag des Systems umsetzt, bekommt an genau dieser Raststätte einen Kaffee umsonst (oder rabattiert). Alternativ könnten Bonuspunkte für die Krankenkasse oder gar für den Punkteabbau an anderer Stelle gesammelt werden, der Fahrer könnte sich für die Teilnahme an der Verlosung eines attraktiven Preises qualifizieren, und so weiter. Darüber hinaus können Möglichkeiten untersucht werden, wie die Pausenoption durch die Warnungsgestaltung auf anderen Wegen mit positiven Emotionen verknüpft werden könnte. Die Idee, durch ein Kaffeetassensymbol die Lust auf eine Pause zu wecken, erscheint als ein plausibler Ansatz in dieser Richtung (s. aber auch 4.4.1, 5.1.3), jedoch ist vorstellbar, dass es noch wirkungsvollere Möglichkeiten gibt (s.a. Blood, Zatorre, Bermudez & Evans, 1999; Deterding, 2012; Hamari, Koivisto & Sarsa, 2014; Herz, Eliassen, Beland & Souza, 2004; Huron, 2011; Lewis et al., 2010; Norman, 2004).

Verbleiben die Zeitkosten als Element der Pausenkosten, dem nicht beizukommen ist? Auch diesbezüglich gibt es Möglichkeiten, die subjektive Wahrnehmung als Kosten in günstiger Weise zu beeinflussen. In einem vorausschauenden Navigationsassistenten, welcher bei der Routenplanung müdig-

keitsrelevante Aspekte berücksichtigt (z. B. Dauer der Fahrt, Uhrzeit, evtl. Informationen über den Fahrerzustand) könnten z. B. Pausen a priori in der Fahrtplanung einkalkuliert werden. Dies sollte helfen, dass Pausen weniger als *Zeitverlust* empfunden werden, und entsprechend auch in anderweitig verfügbaren Routenplanern (z. B. im Internet) umgesetzt werden. Mögliche weitere Inspirationen könnten u.a. aus der Forschungsliteratur zum Thema *Framing* erwachsen (z. B. Kühberger, 1998; Levin, Gaeth, Schreiber & Lauriola, 2002; Tversky & Kahneman, 1981).

Über die Beschäftigung mit Handlungskosten hinaus bieten die verbleibenden PMT-Faktoren weitere Ansatzpunkte für eine Optimierung des Warnungsdesigns und die Entwicklung von Maßnahmen auf den anderen Ebenen des Müdigkeitsmanagements. Neben der PMT und dem C-HIP-Modell können auch andere Theorien der Informationsverarbeitung im Allgemeinen und der Entscheidung und Persuasion im Besonderen als Grundlage zur Ableitung von Gestaltungsvorschlägen genutzt werden. Wichtig ist vor allem, dass die Mechanismen berücksichtigt werden, die zwischen einer Müdigkeitswarnung und der Umsetzung einer effektiven Pause vermitteln. Wenn es in dieser Arbeit gelungen ist aufzuzeigen, dass eine angemessene Berücksichtigung dieser Mechanismen eine mindestens ebenso komplexe Aufgabe ist wie die Detektion von Müdigkeit, sollte dies Anstoß geben, der verhaltenswirksamen Gestaltung des Outputs in der Forschung und Entwicklung rund um Systeme zur Müdigkeitsüberwachung in Zukunft das gebührende Gewicht zu verleihen.

Literaturverzeichnis

- Achermann, P. (2004). The two-process model of sleep regulation revisited. *Aviation, space, and environmental medicine*, 75(3 Suppl), A37-43.
- ADAC. (2012). *Müdigkeit im Straßenverkehr*.
- Aidman, E., Chadunow, C., Johnson, K. & Reece, J. (2012). *Real-Time Driver Drowsiness Feedback Improves Driver Alertness and Self-reported Driving Performance* (Report of the Defence Science and Technology Organisation). Edinburgh, South Australia, Australia.
- Ajzen, I. & Madden, T. J. (1986). Prediction of goal-directed behavior: Attitudes, intentions, and perceived behavioral control. *Journal of Experimental Social Psychology*, 22(5), 453–474. doi:10.1016/0022-1031(86)90045-4
- Ajzen, I. (1991). The theory of planned behavior. *Organizational Behavior and Human Decision Processes*, 50(2), 179–211. doi:10.1016/0749-5978(91)90020-T
- Ajzen, I. (2002). Perceived Behavioral Control, Self-Efficacy, Locus of Control, and the Theory of Planned Behavior. *Journal of Applied Social Psychology*, 32(4), 665–683. doi:10.1111/j.1559-1816.2002.tb00236.x
- Akerstedt, T. & Gillberg, M. (1990). Subjective and objective sleepiness in the active individual. *The International Journal of Neuroscience*, 52(1-2), 29–37.
- Akerstedt, T. & Kecklund, G. (2001). Age, gender and early morning highway accidents. *Journal of Sleep Research*, 10(2), 105–110. doi:10.1046/j.1365-2869.2001.00248.x
- Akerstedt, T. (2000). Consensus Statement: Fatigue and accidents in transport operations. *Journal of Sleep Research*, 9(4), 395. doi:10.1046/j.1365-2869.2000.00228.x
- Akerstedt, T., Connor, J., Gray, A. & Kecklund, G. (2008). Predicting road crashes from a mathematical model of alertness regulation--The Sleep/Wake Predictor. *Accident Analysis and Prevention*, 40(4), 1480–1485. doi:10.1016/j.aap.2008.03.016
- Akerstedt, T., Folkard, S. & Portin, C. (2004). Predictions from the Three-Process Model of Alertness. *Aviation, Space, and Environmental Medicine*, 75(Supplement 1), A75-A83.
- Akerstedt, T., Peters, B., Anund, A. & Kecklund, G. (2005). Impaired alertness and performance driving home from the night shift: a driving simulator study. *Journal of Sleep Research*, 14(1), 17–20. doi:10.1111/j.1365-2869.2004.00437.x
- Alford, C. A. (2009). Sleepiness, countermeasures and the risk of motor vehicle accidents. In J. C. Verster, S. R. Pandi-Perumal, J. G. Ramaekers & J. J. Gier (Hrsg.), *Drugs, Driving and Traffic Safety* (S. 207–232). Basel: Birkhäuser.
- Alhola, P. & Polo-Kantola, P. (2007). Sleep deprivation: Impact on cognitive performance. *Neuropsychiatric Disease and Treatment*, 3(5), 553–567.
- Andreeva, E. O., Aarabi, P., Philiastides, M. G., Mohajer, K., Emami, M. & Dasarthy, B. V. (2004). Driver drowsiness detection using multi-modal sensor fusion. In B. V. Dasarthy (Hrsg.), *Multisensor, Multisource Information Fusion: Architectures, Algorithms, and Applications 2004* (Vol. 5434, S. 380–390).
- Anund, A. (2009). *Sleepiness at the wheel* (Dissertation). Stockholm: Karolinska Institutet.
- Anund, A., Fors, C., Hallvig, D., Åkerstedt, T., Kecklund, G. & Timmer, A. (2013). Observer Rated Sleepiness and Real Road Driving: An Explorative Study. *PLoS ONE*, 8(5), e64782. doi:10.1371/journal.pone.0064782
- Anund, A., Kecklund, G., Peters, B. & Akerstedt, T. (2008). Driver sleepiness and individual differences in preferences for countermeasures. *Journal of Sleep Research*, 17(1), 16–22. doi:10.1111/j.1365-2869.2008.00633.x
- Apostoloff, N. & Zelinsky, A. (2004). Vision In and Out of Vehicles: Integrated Driver and Road Scene Monitoring. *The International Journal of Robotics Research*, 23(4), 513–538. doi:10.1177/0278364904042206
- Arendt, J. & Skene, D. J. (2005). Melatonin as a chronobiotic. *Sleep medicine reviews*, 9(1), 25–39. doi:10.1016/j.smrv.2004.05.002
- Armstrong, K., Haworth, N., Watling, C. & Trenorden, J. (2011). *Improving the identification of fatigue-related crashes in the Australian Capital Territory: Report of the Centre for Accident Research & Road Safety*. Queensland, Australia.
- Armstrong, K., Obst, P., Banks, T. & Smith, S. (2010). Managing driver fatigue: education or motivation? *Road & Transport Research*, 19(3), 14–20.
- Aronson, E., Akert, R. M. & Wilson, T. D. (2008). *Sozialpsychologie*. München: Pearson Studium.
- Atkinson, G., Edwards, B., Reilly, T. & Waterhouse, J. (2007). Exercise as a synchroniser of human circadian rhythms: an update and discussion of the methodological problems. *European journal of applied physiology*, 99(4), 331–341. doi:10.1007/s00421-006-0361-z
- Aurora, R. N., Caffo, B., Crainiceanu, C. & Punjabi, N. M. (2011). Correlating subjective and objective sleepiness: revisiting the association using survival analysis. *Sleep*, 34(12), 1707–1714. doi:10.5665/sleep.1442
- Ayoob, E. M., Steinfeld, A. & Grace, R. (2003). Identification of An "Appropriate" Drowsy Driver Detection Interface for Commercial Vehicle Operations. *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*, 47(16), 1840–1844. doi:10.1177/154193120304701602
- Ayoob, M., Grace, R. & Steinfeld, A. (2005). *Driver-Vehicle-Interface (DVI) Development of a Drowsy Driver Detection and Warning System for Commercial Vehicles: Report CMU-RI-TR-05-46*. Carnegie Mellon University, Pittsburgh, Pennsylvania.
- Badia, P., Myers, B., Boecker, M., Culpepper, J. & Harsh, J. R. (1991). Bright light effects on body temperature, alertness, EEG and behavior. *Physiology & Behavior*, 50(3), 583–588.
- Baldwin, C. L. (2011). Verbal collision avoidance messages during simulated driving: perceived urgency, alerting effectiveness and annoyance. *Ergonomics*, 54(4), 328–337. doi:10.1080/00140139.2011.558634
- Balkin, T., Horrey, W. J., Graeber, R., Czeisler, C. & Dinges, D. F. (2011). The challenges and opportunities of technological approaches to fatigue management. *Accident Analysis and Prevention*, 43(2), 565–572.
- Bargh, J. A., Chen, M. & Burrows, L. (1996). Automaticity of social behavior: Direct effects of trait construct and stereotype activation on action. *Journal of Personality and Social Psychology*, 71(2), 230–244. doi:10.1037/0022-3514.71.2.230
- Barr, L., Popkin, S. & Howarth, H. (2009). *An evaluation of emerging driver fatigue detection measures and technologies: Report no. FMCSA-RRR-09-005*. Washington: U.S. Department of Transportation.
- Barzegar, R. S. & Wogalter, M. S. (1998). Intended Carefulness for Voiced Warning Signal Words. *Proceedings of the Hu-*

- man Factors and Ergonomics Society Annual Meeting, 42(15), 1068–1072. doi:10.1177/154193129804201503
- Bekiaris, E. D. & Nikolaou S. I. (2004). *Towards the Development of Design Guidelines Handbook for Driver Hypovigilance Detection and Warning – The AWAKE Approach*. Hellenic Institute of Transport, Greece.
- Bergasa, L. M., Nuevo, J., Sotelo, M. A., Barea, R. & Lopez, M. E. (2006). Real-Time System for Monitoring Driver Vigilance. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 7(1), 63–77. doi:10.1109/TITS.2006.869598
- Berson, D. M., Dunn, F. A. & Takao, M. (2002). Phototransduction by retinal ganglion cells that set the circadian clock. *Science*, 295(5557), 1070–1073. doi:10.1126/science.1067262
- bfu. (2013). *Turboschlaf-Kampagne*. <http://www.turboschlaf.ch>
- Blanco, M., Bocanegra, J. L., Morgan, J. F., Fitch, G. M., Medina, A., Olson, R. L., . . . Green, K. (2009). *Assessment of a Drowsy Driver Warning System for Heavy-Vehicle Drivers: Final Report DOT 811 117* (Final Report, DOT 811 117). Washington: NHTSA, US Department of Transportation.
- Blood, A. J., Zatorre, R. J., Bermudez, P. & Evans, A. C. (1999). Emotional responses to pleasant and unpleasant music correlate with activity in paralimbic brain regions. *Nature Neuroscience*, 2(4), 382–387. doi:10.1038/7299
- Boer, H. & Mashamba, M. T. (2005). Psychosocial Correlates of HIV Protection Motivation Among Black Adolescents in Venda, South Africa. *AIDS Education and Prevention*, 17(6), 590–602. doi:10.1521/aeap.2005.17.6.590
- Boersema, T. & Zwaga, H. J. G. (1989). Selecting Comprehensive Warning Symbols for Swimming Pool Slides. *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*, 33(15), 994–998. doi:10.1177/154193128903301520
- Bonnet, M. H. (1990). Dealing with shift work: Physical fitness, temperature, and napping. *Work & Stress*, 4(3), 261–274. doi:10.1080/02678379008256988
- Borbély, A. (1982). A two process model of sleep regulation. *Human Neurobiology*, 1(3), 195–204.
- Brainard, G. C., Hanifin, J. P., Greeson, J. M., Byrne, B., Glickman, G., Gerner, E. & Rollag, M. D. (2001). Action Spectrum for Melatonin Suppression: Evidence for a Novel Circadian Photoreceptor in the Human Eye. *The Journal of Neuroscience*, 21(16), 6405–6412. doi:10.1007/978-1-4615-0937-0_45
- Branaghan, R. J. & Gray, R. (2010). Nonconscious activation of an elderly stereotype and speed of driving. *Perceptual and motor skills*, 110(2), 580–592.
- Brown, I. D. (1997). Prospects for technological countermeasures against driver fatigue. *Accident analysis and prevention*, 29(4), 525–531.
- Bruno, G. A. (2004). *Temporal patterns of single-vehicle accidents in Texas due to driver fatigue or sleep during 1975–1994: Master's Thesis at the University of Texas, School of Public Health*. Houston, Texas.
- Buxton, O. M., L'Hermite-Balériaux, M., Hirschfeld, U. & Cauter, E. (1997). Acute and delayed effects of exercise on human melatonin secretion. *Journal of Biological Rhythms*, 12(6), 568–574.
- Caldwell, J. A., Caldwell, J. L. & Schmidt, R. M. (2008). Alertness management strategies for operational contexts. *Sleep Medicine Reviews*, 12(4), 257–273. doi:10.1016/j.smrv.2008.01.002
- Carskadon, M. A. & Dement, W. C. (1987). Daytime sleepiness: quantification of a behavioral state. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, 11(3), 307–317.
- Carver, C. S. & Scheier, M. F. (1981). *Attention and Self-Regulation: A Control-Theory Approach to Human Behavior*. SSSP Springer Series in Social Psychology. New York, NY: Springer.
- Carver, C. S. (2003). Self-awareness. In Mark R. Leary & June Price Tangney (Hrsg.), *Handbook of Self and Identity*. Guilford Press.
- Chapanis, A. (1994). Hazards associated with three signal words and four colours on warning signs. *Ergonomics*, 37(2), 265–275. doi:10.1080/00140139408963644
- Chartrand, T. L. & Bargh, J. A. (1999). The chameleon effect: The perception-behavior link and social interaction. *Journal of Personality and Social Psychology*, 76(6), 893–910. doi:10.1037/0022-3514.76.6.893
- Cohen, H. H., Cohen, J., Mendat, C. C. & Wogalter, M. S. (2006). Warning Channel: Modality and Media. In M. S. Wogalter (Hrsg.), *Handbook of Warnings*. Mahwah, N.J.: Lawrence Erlbaum Associates.
- Collins, B. L. (1983). Evaluation of Mine-Safety Symbols. *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*, 27(11), 947–949. doi:10.1177/154193128302701117
- Connor, J. L. (2009). The role of driver sleepiness in car crashes: a review of the epidemiological evidence. In J. C. Verster, S. R. Pandi-Perumal, J. G. Ramaekers & J. J. Gier (Hrsg.), *Drugs, Driving and Traffic Safety* (S. 187–205). Basel: Birkhäuser.
- Connor, J., Norton, R., Ameratuanga, S., Robinson, E., Civil, I., Dunn, R., . . . Jackson, R. (2002). Driver sleepiness and risk of serious injury to car occupants: Population based case control study. *BMJ*, 324(7346), 1125. doi:10.1136/bmj.324.7346.1125
- Connor, J., Whitlock, G., Jackson, R. & Norton, R. (2001). The role of driver sleepiness in car crashes: a systematic review of epidemiological studies. *Accident Analysis and Prevention*, 33(1), 31–41.
- Conversano, C., Rotondo, A., Lensi, E., Della Vista, O., Arpone, F. & Reda, M. A. (2010). Optimism and its impact on mental and physical well-being. *Clinical practice and epidemiology in mental health*, 6, 25–29. doi:10.2174/1745017901006010025
- Corbett, M. & Newman, D. (2013). The Use Of Bio-Feedback As A Mitigation Tool For Pilot Drowsiness. *Aviation, Space, and Environmental Medicine*, 84(4), 320.
- Corbett, M. & Newman, D. (2014). A potential tool to reduce pilot in-flight drowsiness. *Aviation, Space, and Environmental Medicine*, 85(3), 349.
- Cox, E. P. III & Wogalter, M. S. (2006). Warning Source. In M. S. Wogalter (Hrsg.), *Handbook of Warnings*. Mahwah, N.J.: Lawrence Erlbaum Associates.
- Cummings, P., Koepsell, T. D., Moffat, J. M. & Rivara, F. P. (2001). Drowsiness, counter-measures to drowsiness, and the risk of a motor vehicle crash. *Injury Prevention*, 7(3), 194–199. doi:10.1136/ip.7.3.194
- Daimler (2013). *Einfach Technik: Der Attention Assist von Mercedes-Benz*. <http://blog.daimler.de/2013/09/04/einfach-technik-der-attention-assist-von-mercedes-benz/>
- Daniel, K. L., Goldman, K. D., Lachenmayr, S., Erickson, J. D. & Moore, C. (2001). Interpretations of a teratogen warning symbol. *Teratology*, 64(3), 148–153. doi:10.1002/tera.1058
- Danker-Hopfe, H., Kraemer, S., Dorn, H., Schmidt, A., Ehlert, I. & Herrmann, W. M. (2001). Time-of-day variations in different measures of sleepiness (MSLT, pupillography, and SSS) and their interrelations. *Psychophysiology*, 38(5), 828–835.
- Daurat, A., Aguirre, A., Foret, J., Gonnet, P., Keromes, A. & Benoit, O. (1993). Bright light affects alertness and perfor-

- mance rhythms during a 24-h constant routine. *Physiology & Behavior*, 53(5), 929–936.
- Dawson, D. & McCulloch, K. (2005). Managing fatigue: it's about sleep. *Sleep medicine reviews*, 9(5), 365–380. doi:10.1016/j.smrv.2005.03.002
- Dawson, D., Chapman, J. & Thomas, M. J. (2012). Fatigue-proofing: A new approach to reducing fatigue-related risk using the principles of error management. *Sleep Medicine Reviews*, 16(2), 167–175. doi:10.1016/j.smrv.2011.05.004
- Dawson, D., Noy, Y. I., Härmä, M., Åkerstedt, T. & Belenky, G. (2011). Modelling fatigue and the use of fatigue models in work settings. *Accident Analysis & Prevention*, 43(2), 549–564. doi:10.1016/j.aap.2009.12.030
- Dawson, D., Searle, A. K. & Paterson, J. L. (2014). Look before you (s)leep: Evaluating the use of fatigue detection technologies within a fatigue risk management system for the road transport industry. *Sleep Medicine Reviews*, 18, 141–152.
- de Houwer, J. (2003). The Extrinsic Affective Simon Task. *Experimental psychology*, 50(2), 77–85.
- de Hoog, N., Stroebe, W. & de Wit, J. B. F. (2007). The impact of vulnerability to and severity of a health risk on processing and acceptance of fear-arousing communications: A meta-analysis. *Review of General Psychology*, 11(3), 258–285. doi:10.1037/1089-2680.11.3.258
- de Valck, E. & Cluydts, R. (2001). Slow-release caffeine as a countermeasure to driver sleepiness induced by partial sleep deprivation. *Journal of Sleep Research*, 10(3), 203–209.
- de Valck, E., de Groot, E. & Cluydts, R. (2003). Effects of slow-release caffeine and a nap on driving simulator performance after partial sleep deprivation. *Perceptual and motor skills*, 96(1), 67–78.
- DeJoy, D. M. (1989). The optimism bias and traffic accident risk perception. *Accident Analysis & Prevention*, 21(4), 333–340.
- Delhomme, P., Vaa, T., Meyer, T., Harland, G., Goldenbeld, C., Järmark, S., . . . Vlasta, R. (1999). *Evaluated road safety media campaigns: An overview of 265 evaluated campaigns and some meta-analysis on accidents*. GADGET project, Contract No. RO-97-SC.2235, INRETS, Arcueil, France.
- Deterding, S. (2012). Gamification: Designing for Motivation. *interactions*, 19(4), 14. doi:10.1145/2212877.2212883
- Dewar, R. (1999). Design and Evaluation of Graphic Symbols. In H. J. G. Zwaga, T. Boersema & H. C. M. Hoonhout (Hrsg.), *Visual information for everyday use. Design and research perspectives* (S. 285–303). London: Taylor & Francis.
- Di Milia, L., Smolensky, M. H., Costa, G., Howarth, H. D., Ohayon, M. M. & Philip, P. (2011). Demographic factors, fatigue, and driving accidents: An examination of the published literature. *Accident Analysis & Prevention*, 43(2), 516–532. doi:10.1016/j.aap.2009.12.018
- Dinges, D. F. & Mallis, M. M. (1998). Managing fatigue by drowsiness detection: Can technological promises be realised? In L. Hartley (Hrsg.), *Managing Fatigue in Transportation: Proceedings of the Third International Conference on Fatigue and Transportation*. Oxford: Elsevier.
- Dinges, D. F. & Powell, J. W. (1985). Microcomputer analyses of performance on a portable, simple visual RT task during sustained operations. *Behavior Research Methods, Instruments & Computers*, 17(6), 652–655.
- Dinges, D. F., Maislin, G., Brewster, R., Krueger, G. P. & Carroll, R. (2005). Pilot test of fatigue management technologies. *Transportation Research Record*, 1922, 175–182.
- Dingus, T. A., Hathaway, J. A. & Hunn, B. P. (1991). A Most Critical Warning Variable: Two Demonstrations of the Powerful Effects of Cost on Warning Compliance. *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*, 35(15), 1034–1038. doi:10.1177/154193129103501503
- Dingus, T. A., Klauer, S., Neale, V. L., Petersen, A. & Lee, S. E. (2006). *The 100-car naturalistic driving study*. NHTSA Report DOT HS 810 593. Springfield, VA: US Department of Transportation.
- Dion, K., Berscheid, E. & Walster, E. (1972). What is beautiful is good. *Journal of Personality and Social Psychology*, 24(3), 285–290.
- Dittrich, E., Brandenburg, S. & Thüring, M. (2009). Beobachtungs-basierte Erfassung von Müdigkeit im Kfz – die TUBS-Skala. In A. Lichtenstein, C. Stöbel & C. Clemens (Hrsg.), *Der Mensch im Mittelpunkt technischer Systeme. 8. Berliner Werkstatt Mensch-Maschine-Systeme* (S. 38-40). VDI Verlag: Düsseldorf.
- Dogan, E., Steg, L., Delhomme, P. & Rothengatter, T. (2012). The effects of non-evaluative feedback on drivers' self-evaluation and performance. *Accident Analysis & Prevention*, 45, 522–528. doi:10.1016/j.aap.2011.09.004
- Dong, Y., Hu, Z., Uchimura, K. & Murayama, N. (2010). A robust and efficient face tracking kernel for Driver Inattention Monitoring System. *Proceedings of the 2010 IEEE Intelligent Vehicles Symposium (IV)*, 929–934.
- Dong, Y., Hu, Z., Uchimura, K. & Murayama, N. (2011). Driver Inattention Monitoring System for Intelligent Vehicles: A Review. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 12(2), 596–614. doi:10.1109/TITS.2010.2092770
- Doob, A. N. & Webster, C. M. (2003). Sentence Severity and Crime: Accepting the Null Hypothesis. *Crime and Justice*, 30, 143–195.
- Doran, S. M., Van Dongen, H. P. & Dinges, D. F. (2001). Sustained attention performance during sleep deprivation: evidence of state instability. *Archives Italiennes de Biologie*, 139(3), 253–267.
- Dorrian, J. & Dinges, D. F. (2006). Sleep Deprivation and its Effects on Cognitive Performance. In T. L. Lee-Chiong (Hrsg.), *Sleep. A comprehensive handbook*. Hoboken, N.J.: Wiley-Liss.
- Dreßler, A., Karrer, K. & Brandenburg, S. (2009). Gestaltung einer verhaltenswirksamen Müdigkeitsrückmeldung im Kraftfahrzeug. *MMI Interaktiv*, 1–7.
- Driskell, J. E. & Mullen, B. (2005). The Efficacy of Naps as a Fatigue Countermeasure: A Meta-Analytic Integration. *Human Factors*, 47(2), 360–377. doi:10.1518/0018720054679498
- Duval, T. S. & Silvia, P. J. (2002). Self-awareness, probability of improvement, and the self-serving bias. *Journal of Personality and Social Psychology*, 82(1), 49–61. doi:10.1037/0022-3514.82.1.49
- Edwards, D. J., Sirois, B., Dawson, T., Aguirre, A., Davis, B. & Trutschel, U. (2007). Evaluation of Fatigue Management Technologies Using Weighted Feature Matrix Method. In *Driving assessment 2007: Proceedings of the 4th International Driving Symposium on Human Factors in Driver Assessment, Training, and Vehicle Design*. Iowa City: University Public Policy Center.
- Edwards, D., Aguirre, A., Davis, B., Dawson, T. & Trutschel, U. (2008). *Operator fatigue detection technology review: Research Report for Caterpillar Inc*. Peoria IL.
- Edworthy, J. & Hellier, E. (2006). Complex nonverbal auditory signals and speech warnings. In M. S. Wogalter (Hrsg.), *Handbook of Warnings*. Mahwah, N.J.: Lawrence Erlbaum Associates.
- Edworthy, J., Hellier, E., Walters, K., Clift-Mathews, W. & Crowther, M. (2003). Acoustic, semantic and phonetic influences in spoken warning signal words. *Applied Cognitive Psychology*, 17(8), 915–933. doi:10.1002/acp.927

- Edworthy, J., Loxley, S. & Dennis, I. (1991). Improving auditory warning design: relationship between warning sound parameters and perceived urgency. *Human Factors*, 33(2), 205–231.
- Entorf, H. & Spengler, H. (2008). *Is Being 'Soft on Crime' the Solution to Rising Crime Rates? Evidence from Germany: IZA DP No. 3710*. Forschungsinstitut zur Zukunft der Arbeit. Berlin.
- Ersner-Hershfield, H., Garton, M. T., Ballard, K., Samanez-Larkin, G. R. & Knutson, B. (2009). Don't stop thinking about tomorrow: Individual differences in future self-continuity account for saving. *Judgment and decision making*, 4(4), 280–286.
- Eskandarian, A., Mortazavi, A. & Sayed, R. A. (2012). Drowsy and Fatigued Driving: Problem Significance and Detection Based on Driver Control Functions. In A. Eskandarian (Hrsg.), *Handbook of Intelligent Vehicles* (S. 941–974). London: Springer.
- Eskandarian, A., Sayed, R., Delaigue P., Blum, J. & Mortazavi, A. (2007). *Advanced driver fatigue research*. Report No. FMCSA-RRR-07-001. Washington: US Department of Transportation.
- Festinger, L. (1962). Cognitive Dissonance. *Scientific American*, 207(4), 93–106. doi:10.1038/scientificamerican1062-93
- Filtiness, A. J., Reyner, L. A. & Horne, J. A. (2012). Driver sleepiness - comparisons between young and older men during a monotonous afternoon simulated drive. *Biological Psychology*, 89(3), 580–583. doi:10.1016/j.biopsycho.2012.01.002
- Finn, P. & Bragg, B. W. (1986). Perception of the risk of an accident by young and older drivers. *Accident Analysis and Prevention*, 18(4), 289–298.
- Flatley, D., Horne, J. & Reyner, L. A. (2004). *Sleep related crashes on sections of different road types in the UK (1995-2001)*. Road Safety Research Report No. 52. London: Department for Transport.
- Fletcher, A., McCulloch, K., Baulk, S. D. & Dawson, D. (2005). Countermeasures to driver fatigue: a review of public awareness campaigns and legal approaches. *Australian and New Zealand Journal of Public Health*, 29(5), 471–476.
- Folkard, S. (1997). Black times: Temporal determinants of transport safety. *Accident Analysis and Prevention*, 29(4), 417–430.
- Ford (2010). *Ford Technology Newsbrief 08-2010*. <http://technology.fordmedia.eu/>
- Frascara, J. (2006). Typography and the visual design of warnings. In M. S. Wogalter (Hrsg.), *Handbook of Warnings*. Mahwah, N.J.: Lawrence Erlbaum Associates.
- Freeman, K. & Wogalter, M. S. (2001). Evaluation of Pictorial Symbols to Warn Computer Keyboard Users about Carpal Tunnel Syndrome (CTS). *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*, 45(20), 1468–1472. doi:10.1177/154193120104502004
- Fricke, N. & de Filippis, M. (2008). Effects of auditory warnings on driving behaviour. In D. d. Waard (Hrsg.), *Human factors for assistance and automation* (S. 117–128). Maastricht: Shaker Publishing.
- Fricke, N., & Thüning, M. (2009). Verbesserung des Situationsbewusstseins in zeit- und sicherheitskritischen Verkehrssituationen durch semantische Anreicherung von Warnsignalen. *Zeitschrift für Arbeitswissenschaft*, 63(1), 55–65.
- Friedrichs, F. & Yang, B. (2010). Camera-based drowsiness reference for driver state classification under real driving conditions. *Proceedings of the 2010 IEEE Intelligent Vehicles Symposium (IV)*, 101–106.
- Fry, R. B. & Prentice-Dunn, S. (2006). Effects of a psychosocial intervention on breast self-examination attitudes and behaviors. *Health Education Research*, 21(2), 287–295. doi:10.1093/her/cyh066
- Ftouni, S., Sletten, T. L., Howard, M., Anderson, C., Lenné, M. G., Lockley, S. W. & Rajaratnam, S. M. W. (2013). Objective and subjective measures of sleepiness, and their associations with on-road driving events in shift workers. *Journal of Sleep Research*, 22(1), 58–69. doi:10.1111/j.1365-2869.2012.01038.x
- Fuller, R. (2005). Towards a general theory of driver behaviour. *Accident Analysis and Prevention*, 37(3), 461–472. doi:10.1016/j.aap.2004.11.003
- Fung, K. & Dick, T. J. (2012). System and Method for Responding to Driver Behavior. Patent US2012212353-A1 der Honda Motor Co., Ltd..
- Gander, P. H., Marshall, N. S., Bolger, W. & Girling, I. (2005). An evaluation of driver training as a fatigue countermeasure. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 8(1), 47–58. doi:10.1016/j.trf.2005.01.001
- Gander, P., Hartley, L., Powell, D., Cabon, P., Hitchcock, E., Mills, A. & Popkin, S. (2011). Fatigue risk management: Organizational factors at the regulatory and industry/company level. *Accident Analysis & Prevention*, 43(2), 573–590. doi:10.1016/j.aap.2009.11.007
- Gay, C. L., Lee, K. A. & Lee, S.-Y. (2004). Sleep patterns and fatigue in new mothers and fathers. *Biological Research for Nursing*, 5(4), 311–318. doi:10.1177/1099800403262142
- Gérard, N., Minge, M. & Thüning, M. (2008). *Varianten zur Warnung beim Sekundenschlaf am Steuer*. Interner Abschlussbericht zum Projekt "Driver drowsiness-related HMI Concepts" der Technischen Universität Berlin in Kooperation mit der Audi AG und Volkswagen AG.
- Gibson, J. J. (1979). *The ecological approach to visual perception*. Boston: Houghton Mifflin.
- Gigerenzer, G. (2002). *Bounded rationality: The adaptive toolbox*. Cambridge, MA: The MIT Press.
- Gilbert, D. T., Morewedge, C. K., Risen, J. L. & Wilson, T. D. (2004). Looking forward to looking backward: the miscalibration of regret. *Psychological science*, 15(5), 346–350. doi:10.1111/j.0956-7976.2004.00681.x
- Glendon, A. I. & Walker, B. L. (2013). Can anti-speeding messages based on protection motivation theory influence reported speeding intentions? *Accident Analysis & Prevention*, 57, 67–79. doi:10.1016/j.aap.2013.04.004
- Godfrey, S. S., Allender, L., Laughery, K. R. & Smith, V. L. (1983). Warning Messages: Will the Consumer Bother to Look? *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*, 27(11), 950–954. doi:10.1177/154193128302701118
- Goel, N., Basner, M., Rao, H. & Dinges, D. F. (2013). Circadian Rhythms, Sleep Deprivation, and Human Performance. *Progress in Molecular Biology and Translational Science*, 119, 155–190.
- Goldhaber, G. M. & deTurck, M. A. (1988). Effects of Consumer's Familiarity with a Product on Attention and Compliance with Warnings. *Journal of Products Liability*, 11, 29–37.
- Gordon, C. P. (2009). Crash Studies of Driver Distraction. In M. A. Regan, J. D. Lee & K. L. Young (Hrsg.), *Driver distraction. Theory, effects, and mitigation*. Boca Raton: CRC Press.
- Greenwald, A. G., Poehlman, T. A., Uhlmann, E. L. & Banaji, M. R. (2009). Understanding and using the Implicit Association Test: III. Meta-analysis of predictive validity. *Journal of personality and social psychology*, 97(1), 17–41. doi:10.1037/a0015575

- Griffith, M. (1999). Safety Evaluation of Rolled-In Continuous Shoulder Rumble Strips Installed on Freeways. *Transportation Research Record*, 1665(1), 28–34. doi:10.3141/1665-05
- Gundel, A. & Tegen, C. (2006). *Wege aus der Müdigkeit - DLR-Modellprojekt mit Ford-Truckern zeigt Erfolg von Wach-am-Steuer-Training*. http://www.dlr.de/desktopdefault.aspx/tabid-24/82_read-2594/82_page-8/
- Gundel, A., Marsalek, K. & ten Thoren, C. (2007). A critical review of existing mathematical models for alertness. *Somnologie - Schlafforschung und Schlafmedizin*, 11(3), 148–156. doi:10.1007/s11818-007-0312-X
- Haas, E. & Edworthy, J. (2006). An introduction to auditory warnings and alarms. In M. S. Wogalter (Hrsg.), *Handbook of Warnings*. Mahwah, N.J.: Lawrence Erlbaum Associates.
- Haas, E. C. & van Erp, J. B. F. (2014). Multimodal warnings to enhance risk communication and safety. *Safety science*, 61, 29–35. doi:10.1016/j.ssci.2013.07.011
- Hacker, W. (2014). *Allgemeine Arbeitspsychologie: Psychische Regulation von Tätigkeiten* (3., vollst. überarb. Aufl). Göttingen: Hogrefe.
- Hagenmeyer, L. (2007). *Development of a multimodal, universal human-machine-interface for hypovigilance-management-systems* (Dissertation). Heimsheim: Jost-Jetter.
- Hallvig, D., Anund, A., Fors, C., Kecklund, G., Karlsson, J. G., Wahde, M. & Åkerstedt, T. (2013). Sleepy driving on the real road and in the simulator—A comparison. *Accident Analysis & Prevention*, 50, 44–50. doi:10.1016/j.aap.2012.09.033
- Halpert, J. (2012). *Drowsiness Detection Systems*. <http://www.jeanknowscars.com/cool-tech/car-tech-news/drowsiness-detection-systems/>
- Hamada, T., Ito, T., Adachi, K., Nakano, T. & Yamamoto, S. (2003). Detecting method for drivers' drowsiness applicable to individual features. Proceedings of the 2003 IEEE International Conference on Intelligent Transportation Systems, 1405–1410.
- Hamari, J., Koivisto, J. & Sarsa, H. (2014). Does Gamification Work? - A Literature Review of Empirical Studies on Gamification. *Proceedings of the 47th Hawaii International Conference on System Sciences (HICSS)*, 3025–3034.
- Hanley, K., Gibby, A. & Ferrara, T. (2000). Analysis of Accident-Reduction Factors on California State Highways. *Transportation Research Record*, 1717(1), 37–45. doi:10.3141/1717-06
- Hanowski, R. J., Wierwille, W. W. & Dingus, T. A. (2003). An on-road study to investigate fatigue in local/short haul trucking. *Accident Analysis & Prevention*, 35(2), 153–160. doi:10.1016/S0001-4575(01)00098-7
- Harré, N. & Sibley, C. G. (2007). Explicit and implicit self-enhancement biases in drivers and their relationship to driving violations and crash-risk optimism. *Accident Analysis and Prevention*, 39(6), 1155–1161. doi:10.1016/j.aap.2007.03.001
- Haselton, M. G. & Nettle, D. (2006). The paranoid optimist: an integrative evolutionary model of cognitive biases. *Personality and Social Psychology Review*, 10(1), 47–66. doi:10.1207/s15327957pspr1001_3
- Haworth, N. L. & Vulcan, P. (1991). *Report No. 15: Testing of Commercially Available Fatigue Monitors*. Clayton: Monash University Accident Research Centre.
- He, J. (2013). Drowsiness Detection and Management. *Journal of Ergonomics*, 3(2), e118.
- Heinze, C., Trutschel, U., Schnupp, T., Sommer, D., Schenka, A., Krajewski, J. & Golz, M. (2010). Operator Fatigue Estimation Using Heart Rate Measures. In R. Magjarevic, O. Dössel & W. C. Schlegel (Hrsg.), *IFMBE Proceedings* (S. 930–933). Berlin, Heidelberg: Springer.
- Hell, W. & Langwieder, K. (2001). *Einschlafunfälle im Straßenverkehr - eine bisher oft verkannte Unfallursache: Auftretenshäufigkeit und Prävention*. München: GDV und Institut für Fahrzeugsicherheit.
- Hellier, E., Aldrich, K., Wright, D. B., Daunt, D. & Edworthy, J. (2007). A Multi Dimensional Analysis of Warning Signal Words. *Journal of Risk Research*, 10(3), 323–338. doi:10.1080/13669870601066963
- Hellier, E., Edworthy, J., Weedon, B., Walters, K. & Adams, A. (2002). The perceived urgency of speech warnings: semantics versus acoustics. *Human factors*, 44(1), 1–17.
- Herrnstein, R. J., Rachlin, H. & Laibson, D. I. (1997). *The matching law: Papers in psychology and economics*. New York, Cambridge, MA: Harvard University Press.
- Herz, R. S., Eliassen, J., Beland, S. & Souza, T. (2004). Neuroimaging evidence for the emotional potency of odor-evoked memory. *Neuropsychologia*, 42(3), 371–378. doi:10.1016/j.neuropsychologia.2003.08.009
- Ho, C., Reed, N. & Spence, C. (2007). Multisensory in-car warning signals for collision avoidance. *Human factors*, 49(6), 1107–1114.
- Hoddes, E., Zarcone, V., Smythe, H., Phillips, R. & Dement, W. C. (1973). Quantification of sleepiness: a new approach. *Psychophysiology*, 10(4), 431–436.
- Hollander, T. D. & Wogalter, M. S. (2000). Connoted hazard of voice warning signal words: An examination of auditory components. *Proceedings of the International Ergonomics Association & the Human Factors and Ergonomics Society Congress*, 44(3), 702–705.
- Horne, J. & Foster, S. C. (1995). Can exercise overcome sleepiness? *Sleep Research*, 24A, 437.
- Horne, J. & Reyner, L. (1999). Vehicle accidents related to sleep: a review. *Occupational and Environmental Medicine*, 56(5), 289–294. doi:10.1136/oem.56.5.289
- Horne, J. A. & Baulk, S. D. (2004). Awareness of sleepiness when driving. *Psychophysiology*, 41(1), 161–165. doi:10.1046/j.1469-8986.2003.00130.x
- Horne, J. A. & Burley, C. V. (2010). We know when we are sleepy: Subjective versus objective measurements of moderate sleepiness in healthy adults. *Biological Psychology*, 83(3), 266–268. doi:10.1016/j.biopsycho.2009.12.011
- Horne, J. A. & Reyner, L. A. (1995a). Driver sleepiness. *Journal of Sleep Research*, 4, 23–29.
- Horne, J. A. & Reyner, L. A. (1995b). Sleep related vehicle accidents. *BMJ*, 310(6979), 565–567.
- Horne, J. A. & Reyner, L. A. (1996). Counteracting driver sleepiness: effects of napping, caffeine, and placebo. *Psychophysiology*, 33(2), 306–309.
- Horrey, W. J. (2011). Research needs and opportunities for reducing the adverse safety consequences of fatigue. *Accident Analysis & Prevention*, 43, 591–594.
- Horswill, M. S., Taylor, K., Newnam, S., Wetton, M. & Hill, A. (2013). Even highly experienced drivers benefit from a brief hazard perception training intervention. *Accident Analysis & Prevention*, 52, 100–110. doi:10.1016/j.aap.2012.12.014
- Howard, M., Clarke, C., Gullo, M., Johns, M., Swann, P. & Pierce, R. (2006). Evaluation of two eyelid closure monitors for drowsiness detection. *Sleep and Biological Rhythms*, 4(s1), A13. doi:10.1111/j.1479-8425.2006.00242.x
- Huron, D. (2011). Why is sad music pleasurable? A possible role for prolactin. *Musicae Scientiae*, 15(2), 146–158. doi:10.1177/1029864911401171

- ICMM (2012). *Summary report of the Managing fatigue in the extractive industries workshop 2012*, Perth, Western Australia.
- Ingre, M., Akerstedt, T., Peters, B., Anund, A., Kecklund, G. & Pickles, A. (2006). Subjective sleepiness and accident risk avoiding the ecological fallacy. *Journal of Sleep Research*, 15(2), 142–148. doi:10.1111/j.1365-2869.2006.00517.x
- Itti, L. & Koch, C. (2000). A saliency-based search mechanism for overt and covert shifts of visual attention. *Vision Research*, 40, 1489–1506.
- Jackson, P., Holmes, A., Hilditch, Reed, N., Smith, L. & Merat, N. (2011). *Fatigue and Road Safety: A critical analysis of recent evidence*. Road Safety Web Publication No. 21. London: Department for Transport.
- Jap, B. T., Lal, S., Fischer, P. & Bekiaris, E. (2009). Using EEG spectral components to assess algorithms for detecting fatigue. *Expert Systems with Applications*, 36(2), 2352–2359. doi:10.1016/j.eswa.2007.12.043
- Jewett, M. E. & Kronauer, R. E. (1999). Interactive Mathematical Models of Subjective Alertness and Cognitive Throughput in Humans. *Journal of Biological Rhythms*, 14(6), 588–597. doi:10.1177/074873099129000920
- Johns, M. (1998). Rethinking the assessment of sleepiness. *Sleep medicine reviews*, 2(1), 3–15.
- Johns, M. W., Tucker, A., Chapman, R., Crowley, K. & Michael, N. (2007). Monitoring eye and eyelid movements by infrared reflectance oculography to measure drowsiness in drivers. *Somnologie - Schlafforschung und Schlafmedizin*, 11(4), 234–242. doi:10.1007/s11818-007-0311-y
- Jungermann, H., Fischer, K. & Pfister, H.-R. (2010). *Die Psychologie der Entscheidung: Eine Einführung* (3. Aufl.). Heidelberg: Spektrum.
- Kahneman, D. & Miller, D. T. (1986). Norm theory: Comparing reality to its alternatives. *Psychological Review*, 93(2), 136–153. doi:10.1037/0033-295X.93.2.136
- Kahneman, D. & Tversky, A. (1979). Prospect theory: An analysis of decision under risk. *Econometrica*, 47(2), 263–291.
- Kahneman, D. & Tversky, A. (1984). Choices, values, and frames. *American Psychologist*, 39(4), 341–350. doi:10.1037//0003-066X.39.4.341
- Kahneman, D. (2011). *Thinking, fast and slow*. London: Lane.
- Kaida, K., Takahashi, M., Haratani, T., Otsuka, Y., Fukasawa, K. & Nakata, A. (2006). Indoor exposure to natural bright light prevents afternoon sleepiness. *Sleep*, 29(4), 462–469.
- Karrer-Gauß, K. (2012). *Prospektive Bewertung von Systemen zur Müdigkeitserkennung - Ableitung von Gestaltungsempfehlungen zur Vermeidung von Risikokompensation aus empirischen Untersuchungen* (Dissertation). Technische Universität Berlin.
- Kecklund, G. & Akerstedt, T. (1993). Sleepiness in long distance truck driving: an ambulatory EEG study of night driving. *Ergonomics*, 36(9), 1007–1017. doi:10.1080/00140139308967973
- Keer, M., van den Putte, Bas & Neijens, P. (2010). The role of affect and cognition in health decision making. *The British Journal of social Psychology*, 49, 143–153. doi:10.1348/014466609X425337
- Kiyamik, M. K., Akin, M. & Subasi, A. (2004). Automatic recognition of alertness level by using wavelet transform and artificial neural network. *Journal of neuroscience methods*, 139(2), 231–240. doi:10.1016/j.jneumeth.2004.04.027
- Klauer, S. G., Neale, V. L., Dingus, T. A., Sudweeks, J. D. & Ramsey, D. J. (2006). *The impact of driver inattention on near-crash/crash risk: An analysis using the 100-car naturalistic driving study data*. Washington: NHTSA.
- Klein, C. T. & Helweg-Larsen, M. (2002). Perceived Control and the Optimistic Bias: A Meta-Analytic Review. *Psychology & Health*, 17(4), 437–446. doi:10.1080/0887044022000004920
- Koh, A., Jones, G. R., Spencer, J. W. & Thomas, I. (2007). Chromatic analysis of signals from a driver fatigue monitoring unit. *Measurement Science and Technology*, 18(3), 747–754. doi:10.1088/0957-0233/18/3/026
- Korn, C. W., Sharot, T., Walter, H., Heekeren, H. R. & Dolan, R. J. (2014). Depression is related to an absence of optimistically biased belief updating about future life events. *Psychological medicine*, 44(3), 579–592. doi:10.1017/S0033291713001074
- Krajewski, J., Batliner, A. & Golz, M. (2009). Acoustic sleepiness detection: framework and validation of a speech-adapted pattern recognition approach. *Behavior Research Methods*, 41(3), 795–804. doi:10.3758/BRM.41.3.795
- Krajewski, J., Mühlenbrock, I., Schnieder, S. & Seiler, K. (2011). Wege aus der müden (Arbeits-)Gesellschaft: Erklärungsmodelle, Messansätze und Gegenmaßnahmen. *Zeitschrift für Arbeitswissenschaft*, 65(2), 97–115.
- Kühberger, A. (1998). The Influence of Framing on Risky Decisions: A Meta-analysis. *Organizational Behavior and Human Decision Processes*, 75(1), 23–55. doi:10.1006/obhd.1998.2781
- Kühberger, A., Schulte-Mecklenbeck, M. & Perner, J. (1999). The Effects of Framing, Reflection, Probability, and Payoff on Risk Preference in Choice Tasks. *Organizational Behavior and Human Decision Processes*, 78(3), 204–231. doi:10.1006/obhd.1999.2830
- Künzer, L., Hofinger, G. & Zink, T. (2014). Psychological Aspects of German Signal Words in Evacuation Warnings. In U. Weidmann, U. Kirsch & M. Schreckenber (Hrsg.), *Pedestrian and Evacuation Dynamics 2012* (S. 1135–1147). Cham: Springer.
- Lafrance, C. & Dumont, M. (2000). Diurnal variations in the waking EEG: comparisons with sleep latencies and subjective alertness. *Journal of Sleep Research*, 9(3), 243–248.
- Lal, S. & Craig, A. (2002). Driver fatigue: electroencephalography and psychological assessment. *Psychophysiology*, 39(3), 313–321.
- Lal, S., Craig, A., Boord, P., Kirkup, L. & Nguyen, H. (2003). Development of an algorithm for an EEG-based driver fatigue countermeasure. *Journal of Safety Research*, 34(3), 321–328. doi:10.1016/S0022-4375(03)00027-6
- Landström, U., Akerstedt T., Byström M., Nordström B. & Wibom R. (2004). Effect on truck drivers' alertness of a 30-min exposure to bright light: a field study. *Perceptual and motor skills*, 98(3), 770–776.
- Landström, U., Englund, K., Nordström, B. & Aström, A. (1999). Sound exposure as a measure against driver drowsiness. *Ergonomics*, 42(7), 927–937. doi:10.1080/001401399185216
- LaRue, C. & Cohen, H. H. (1987). Factors Affecting Consumers' Perceptions of Product Warnings: An Examination of the Differences between Male and Female Consumers. *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*, 31(5), 610–614. doi:10.1177/154193128703100529
- Laughery, K. R. (2006). Safety communications: Warnings. *Applied Ergonomics*, 37(4), 467–478. doi:10.1016/j.apergo.2006.04.020
- Laughery, K. R., Vaubel, K. P., Young, S. L., Brelsford, J. W. & Rowe, A. L. (1993). Explicitness of consequence information in warnings. *Safety science*, 16(5-6), 597–613. doi:10.1016/0925-7535(93)90025-9

- Lawhern, V., Kerick, S. & Robbins, K. A. (2013). Detecting alpha spindle events in EEG time series using adaptive autoregressive models. *BMC neuroscience*, 14, 101. doi:10.1186/1471-2202-14-101
- Lee, J. D. & See, K. A. (2004). Trust in automation: designing for appropriate reliance. *Human factors*, 46(1), 50–80.
- Lee, J. D., Young, K. L. & Regan, M. A. (2009). Defining Driver Distraction. In M. A. Regan, J. D. Lee & K. L. Young (Hrsg.), *Driver distraction. Theory, effects, and mitigation*. Boca Raton: CRC Press.
- Lee, Y. (2011). Understanding anti-plagiarism software adoption: An extended protection motivation theory perspective. *Decision Support Systems*, 50(2), 361–369. doi:10.1016/j.dss.2010.07.009
- Lees, M. N., Cosman, J., Lee, J. D., Vecera, S. P., Dawson, J. D. & Rizzo, M. (2012). Cross-modal warnings for orienting attention in older drivers with and without attention impairments. *Applied ergonomics*, 43(4), 768–776. doi:10.1016/j.apergo.2011.11.012
- Lehto, M. R. & Salvendy, G. (1995). Warnings: a supplement not a substitute for other approaches to safety. *Ergonomics*, 38(11), 2155–2163. doi:10.1080/00140139508925259
- Lehto, M. R., Lesch, M. F. & Horrey, W. J. (2009). Safety Warnings for Automation. In S. Y. Nof (Hrsg.), *Springer Handbook of Automation* (S. 671–695). Heidelberg: Springer.
- Lench, H. C. & Ditto, P. H. (2008). Automatic optimism: Biased use of base rate information for positive and negative events. *Journal of Experimental Social Psychology*, 44(3), 631–639. doi:10.1016/j.jesp.2007.02.011
- Lenné, M. G., Regan, M. A., Triggs, T. & Haworth, N. L. (2004). *Review of Recent Research in Applied Experimental Psychology: Implications for Countermeasure Development in Road Safety*. Report No. 223. Monash University Accident Research Centre.
- Leonard, V. K., Jacko, J. A., Yi, J. S. & Sainfort, F. (2006). Human Factors And Ergonomics Methods. In G. Salvendy (Hrsg.), *Handbook of Human Factors and Ergonomics*. Hoboken, NJ: Wiley.
- Leventhal, H. & Watts, J. C. (1966). Sources of resistance to fear-arousing communications on smoking and lung cancer. *Journal of personality*, 34(2), 155–175.
- Levin, I. P., Gaeth, G. J., Schreiber, J. & Lauriola, M. (2002). A New Look at Framing Effects: Distribution of Effect Sizes, Individual Differences, and Independence of Types of Effects. *Organizational Behavior and Human Decision Processes*, 88(1), 411–429. doi:10.1006/obhd.2001.2983
- Lewis, I. M., Watson, B. & White, K. M. (2010). Response efficacy: The key to minimizing rejection and maximizing acceptance of emotion-based anti-speeding messages. *Accident Analysis & Prevention*, 42(2), 459–467. doi:10.1016/j.aap.2009.09.008
- Lewis, I. M., Watson, B., White, K. M. & Tay, R. (2007). Promoting public health messages: Should we move beyond fear-evoking appeals in road safety? *Qualitative Health Research*, 17(1), 61–74. doi:10.1177/1049732306296395
- Lewis, I.M., Watson, B. & White, K. M. (2008). An examination of message-relevant affect in road safety messages: Should road safety advertisements aim to make us feel good or bad? *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 11(6), 403–417. doi:10.1016/j.trf.2008.03.003
- Li, X., Seignez, E. & Loonis, P. (2012). Reliability-based driver drowsiness detection using Dempster-Shafer theory. *Proceedings of the 12th International Conference on Control Automation Robotics & Vision (ICARCV 2012)*, 1059–1064.
- Liu, C. C., Hosking, S. G. & Lenné, M. G. (2009). Predicting driver drowsiness using vehicle measures: Recent insights and future challenges. *Journal of Safety Research*, 40(4), 239–245. doi:10.1016/j.jsr.2009.04.005
- Loewenstein, G. & Lerner, J. (2003). The role of affect in decision-making. In R. J. Davidson, K. R. Scherer & H. H. Goldsmith (Hrsg.), *Handbook of affective sciences*. New York: Oxford University Press.
- Loftus, G. R. (1993). A picture is worth a thousand p values: On the irrelevance of hypothesis testing in the microcomputer age. *Behavior Research Methods, Instruments, and Computers*, 25, 250–256.
- Loftus, G. R. (1996). Psychology will be a much better science when we change the way we analyze data. *Current Directions in Psychological Science*, 5(6), 161–171. doi:10.1111/1467-8721.ep11512376
- Loh, S., Lamond, N., Dorrian, J., Roach, G. & Dawson, D. (2004). The validity of psychomotor vigilance tasks of less than 10-minute duration. *Behavior Research Methods, Instruments & Computers*, 36(2), 339–346. doi:10.3758/BF03195580
- Longhurst, G. (2002). *Understanding driver visual behaviour*. http://www.seeingmachines.com/pdfs/media_coverage/2002/2002_TTI_p92.pdf
- Lwin, M. O., Stanaland, A. J. S. & Chan, D. (2010). Using Protection Motivation Theory to Predict Condom Usage and Assess HIV Health Communication Efficacy in Singapore. *Health Communication*, 25(1), 69–79. doi:10.1080/10410230903473540
- MacKinnon, D. P., Nohre, L., Pentz, M. A. & Stacy, A. W. (2000). The alcohol warning and adolescents: 5-year effects. *American Journal of Public Health*, 90(10), 1589–1594.
- MacLean, A. W., Davies, D. R. & Thiele, K. (2003). The hazards and prevention of driving while sleepy. *Sleep Medicine Reviews*, 7(6), 507–521. doi:10.1016/S1087-0792(03)90004-9
- Macrae, C. N. & Johnston, L. (1998). Help, I Need Somebody: Automatic Action and Inaction. *Social Cognition*, 16(4), 400–417. doi:10.1521/soco.1998.16.4.400
- Maddux, J. E. & Rogers, R. W. (1983). Protection motivation and self-efficacy: A revised theory of fear appeals and attitude change. *Journal of Experimental Social Psychology*, 19(5), 469–479. doi:10.1016/0022-1031(83)90023-9
- Mallis, M., Maislin, G., Konowal, N., Bryne, V., Bierman, D., Davis, R., . . . Dinges, D. F. (2000). *Biobehavioral Responses to Drowsy Driving Alarms and Alerting Stimuli*. Report DOT HS 809 202. Washington: NHTSA.
- Marshall, D. C., Lee, J. D. & Austria, R. A. (2007). Alerts for in-vehicle information systems: annoyance, urgency, and appropriateness. *Human factors*, 49(1), 145–157.
- May, J. F. & Baldwin, C. L. (2009). Driver fatigue: The importance of identifying causal factors of fatigue when considering detection and countermeasure technologies. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 12(3), 218–224. doi:10.1016/j.trf.2008.11.005
- Maycock, G. (1997). Sleepiness and driving: the experience of UK car drivers. *Accident Analysis & Prevention*, 29(4), 453–462.
- Mayring, P. (2007). *Qualitative Inhaltsanalyse: Grundlagen und Techniken* (9. Aufl.). UTB: Vol. 8229. Weinheim: Beltz.
- McEachan, R. R.-C., Conner, M., Taylor, N. J. & Lawton, R. J. (2011). Prospective prediction of health-related behaviours with the Theory of Planned Behaviour: A meta-analysis. *Health Psychology Review*, 5(2), 97–144. doi:10.1080/17437199.2010.521684
- McGehee, D. V., Raby, M., Carney, C., Lee, J. D. & Reyes, M. L. (2007). Extending parental mentoring using an event-triggered video intervention in rural teen drivers. *Journal of Safety Research*, 38(2), 215–227. doi:10.1016/j.jsr.2007.02.009

- McGraw, A. P., Larsen, J. T., Kahneman, D. & Schkade, D. (2010). Comparing gains and losses. *Psychological Science*, 21(10), 1438–1445. doi:10.1177/0956797610381504
- McKenna, F. P., Stanier, R. A. & Lewis, C. (1991). Factors underlying illusory self-assessment of driving skill in males and females. *Accident Analysis and Prevention*, 23(1), 45–52.
- McMath, B. F. & Prentice-Dunn, S. (2005). Protection Motivation Theory and Skin Cancer Risk: The Role of Individual Differences in Responses to Persuasive Appeals. *Journal of Applied Social Psychology*, 35(3), 621–643. doi:10.1111/j.1559-1816.2005.tb02138.x
- Medvec, V. H., Madey, S. F. & Gilovich, T. (1995). When less is more: Counterfactual thinking and satisfaction among Olympic medalists. *Journal of Personality and Social Psychology*, 69(4), 603–610. doi:10.1037/0022-3514.69.4.603
- Mellers, B. A. (2001). Anticipated Emotions as Guides to Choice. *Current Directions in Psychological Science*, 10(6), 210–214. doi:10.1111/1467-8721.00151
- Michael, L., Passmann, S. & Becker, R. (2012). Electrodermal lability as an indicator for subjective sleepiness during total sleep deprivation. *Journal of Sleep Research*, 21(4), 470–478. doi:10.1111/j.1365-2869.2011.00984.x
- Michie, S. & Johnston, M. (2012). Theories and techniques of behaviour change: Developing a cumulative science of behaviour change. *Health Psychology Review*, 6(1), 1–6. doi:10.1080/17437199.2012.654964
- Michon, I. (1985). A critical view of driver behaviour models: What do we know, what should we do? In L. Evans & R. C. Schwing (Hrsg.), *Human Behavior and Traffic Safety*. Boston: Springer.
- Miro, E., Cano-Lozano, M. C. & Buela-Casal, G. (2002). Electrodermal activity during total sleep deprivation and its relationship with other activation and performance measures. *Journal of Sleep Research*, 11(2), 105–112. doi:10.1046/j.1365-2869.2002.00286.x
- Misener, J. A. (2007). *Onboard monitoring and reporting for commercial vehicle motor safety: Final report*. Washington: U.S. Dept. of Transportation, FMCSA.
- Mohamed, N. & Ahmad, I. H. (2012). Information privacy concerns, antecedents and privacy measure use in social networking sites: Evidence from Malaysia. *Computers in Human Behavior*, 28(6), 2366–2375. doi:10.1016/j.chb.2012.07.008
- Moore-Ede, M., Trutschel, U., Guttkuhn, R., Aguirre, A. & Heitmann, A. (2009). Fatigue Countermeasure Rebound: Temporary Alertness Gain from Caffeinated Chewing Gum Repaid as Excessive Sleepiness after Countermeasure Cessation. *Abstract Book of the Fatigue Management in Transportation Operations 2009 International Conference*, 67.
- Mortazavi, A., Eskandarian, A. & Sayed, R. A. (2009). Effect of drowsiness on driving performance variables of commercial vehicle drivers. *International Journal of Automotive Technology*, 10(3), 391–404. doi:10.1007/s12239-009-0045-x
- Nabi, H. (2006). Awareness of driving while sleepy and road traffic accidents: Prospective study in GAZEL cohort. *BMJ*, 333(7558), 75–0. doi:10.1136/bmj.38863.638194.AE
- Neth, H., Sims, C. R. & Gray, W. D. (2006). Melioration dominates maximization: Stable suboptimal performance despite global feedback. In R. & M. N. Sun (Hrsg.), *Proceedings of the 28th annual meeting of the Cognitive Science Society* (S. 627–632). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum.
- Niederl, T. (2007). *Untersuchungen zu kumulativen psychischen und physiologischen Effekten des fliegenden Personals auf der Kurzstrecke am Beispiel des Flugbetriebes der Boeing 737 Flotte der Deutschen Lufthansa AG* (Dissertation). Universität Kassel.
- Nordbakke, S. & Sagberg, F. (2007). Sleepy at the wheel: Knowledge, symptoms and behaviour among car drivers. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 10(1), 1–10. doi:10.1016/j.trf.2006.03.003
- Norman, D. A. (2004). *Emotional design: Why we love (or hate) everyday things*. New York: Basic Books.
- Ogawa, K. & Shimotani, M. (1997). A Drowsiness detection system. *Mitsubishi Electric Advance. A Quarterly Survey of NewProducts, Systems, and Technology*, (78), 13–16.
- O’Keefe, D. J. & Wu, D. (2012). Gain-framed messages do not motivate sun protection: a meta-analytic review of randomized trials comparing gain-framed and loss-framed appeals for promoting skin cancer prevention. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 9(6), 2121–2133. doi:10.3390/ijerph9062121
- Ouimet, M. C., Morton, B. G. S., Noelcke, E. A., Williams, A. F., Leaf, W. A., Preusser, D. F. & Hartos, J. L. (2008). Perceived Risk and Other Predictors and Correlates of Teenagers’ Safety Belt Use During the First Year of Licensure. *Traffic Injury Prevention*, 9(1), 1–10. doi:10.1080/15389580701638793
- Parasuraman, R. & Manzey, D. H. (2010). Complacency and bias in human use of automation: An attentional integration. *Human Factors*, 52(3), 381–410.
- Parasuraman, R. & Miller, C. A. (2004). Trust and etiquette in high-criticality automated systems. *Communications of the ACM*, 47(4), 51–55. doi:10.1145/975817.975844
- Park, J., Xu, L., Sridhar, V., Chi, M. & Cauwenberghs, G. (2011). Wireless dry EEG for drowsiness detection. *Proceedings of the 33rd Annual International Conference of the IEEE EMBS*, 3298–3301. doi:10.1109/IEMBS.2011.6090895
- Pérez-González, D. & Malmierca, M. S. (2014). Adaptation in the auditory system: An overview. *Frontiers in integrative neuroscience*, 8, 19. doi:10.3389/fnint.2014.00019
- Peters, G.-J. Y., Ruiter, R. A. C. & Kok, G. (2013). Threatening communication: a critical re-analysis and a revised meta-analytic test of fear appeal theory. *Health Psychology Review*, 7(Suppl 1), S8–S31. doi:10.1080/17437199.2012.703527
- Petersen, L.-E. & Lieder, F. (2006). Die Effektivität von schriftlichen und graphischen Warnhinweisen auf Zigarettenschachteln. *Zeitschrift für Sozialpsychologie*, 37(4), 245–258. doi:10.1024/0044-3514.37.4.245
- Petty, R. E., Cacioppo, J. T. & Goldman, R. (1981). Personal involvement as a determinant of argument-based persuasion. *Journal of Personality and Social Psychology*, 41(5), 847–855. doi:10.1037/0022-3514.41.5.847
- Philip, P., Sagaspe, P., Taillard, J., Valtat, C., Moore, N., Akerstedt, T., . . . Bioulac, B. (2005). Fatigue, sleepiness, and performance in simulated versus real driving conditions. *Sleep*, 28(12), 1511–1516.
- Philip, P., Taillard, J., Moore, N., Delord, S., Valtat, C., Sagaspe, P. & Bioulac, B. (2006). The Effects of Coffee and Napping on Nighttime Highway Driving: A Randomized Trial. *Annals of Internal Medicine*, 144(11), 785–791.
- Philip, P., Taillard, J., Quera-Salva, M. A., Bioulac, B. & Akerstedt, T. (1999). Simple reaction time, duration of driving and sleep deprivation in young versus old automobile drivers. *Journal of Sleep Research*, 8(1), 9–14.
- Phillips, A. G. & Silvia, P. J. (2005). Self-awareness and the emotional consequences of self-discrepancies. *Personality & Social Psychology Bulletin*, 31(5), 703–713. doi:10.1177/0146167204271559
- Phipps-Nelson, J., Redman, J. R. & Rajaratnam, S. M. W. (2011). Temporal profile of prolonged, night-time driving performance: Breaks from driving temporarily reduce time-on-

- task fatigue but not sleepiness. *Journal of Sleep Research*, 20(3), 404–415. doi:10.1111/j.1365-2869.2010.00900.x
- Picot, A., Charbonnier, S. & Caplier, A. (2009). Monitoring Drowsiness On-line Using a Single Encephalographic Channel. In C. A. B. de Mello (Hrsg.), *Biomedical Engineering* (S. 154–164). Rijeka: InTech.
- Picot, A., Charbonnier, S. & Caplier, A. (2010). Drowsiness detection based on visual signs: Blinking analysis based on high frame rate video. *Proceedings of the Instrumentation and Measurement Technology Conference I2MTC '10*, 801–804.
- Picot, A., Charbonnier, S., Caplier, A. & Vu, N.-S. (2012). Using retina modelling to characterize blinking: Comparison between EOG and video analysis. *Machine Vision and Applications*, 23(6), 1195–1208. doi:10.1007/s00138-011-0374-4
- Popp, R. (2005). *Gegenmaßnahmen bei Schläfrigkeit. Der Effekt von kurzweiligem Licht und olfaktorischer Stimulation* (Dissertation). Universität Regensburg.
- Prentice-Dunn, S., McMath, B. F. & Cramer, R. J. (2009). Protection Motivation Theory and Stages of Change in Sun Protective Behavior. *Journal of Health Psychology*, 14(2), 297–305. doi:10.1177/1359105308100214
- Proctor, R. & Proctor, J. (2006). Sensation and Perception. In G. Salvendy (Hrsg.), *Handbook of Human Factors and Ergonomics* (S. 53–57). Hoboken, NJ: Wiley.
- Pronin, E., Gilovich, T. & Ross, L. (2004). Objectivity in the eye of the beholder: Divergent perceptions of bias in self versus others. *Psychological Review*, 111(3), 781–799. doi:10.1037/0033-295X.111.3.781
- Ramstrom, O. & Christensen, H. (2005). A method for following unmarked roads. *Proceedings of the Intelligent Vehicles Symposium 2005 (IEEE)*, 650–655.
- Rasch, B., Hofmann, W., Friese, M. & Naumann, E. (2010). *Quantitative Methoden*. Heidelberg: Springer.
- Rasmussen, J. (1982). Human errors. A taxonomy for describing human malfunction in industrial installations. *Journal of Occupational Accidents*, 4(2-4), 311–333. doi:10.1016/0376-6349(82)90041-4
- Rasmussen, J. (1983). Skills, rules, and knowledge; signals, signs, and symbols, and other distinctions in human performance models. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, 13(3), 257–266. doi:10.1109/TSMC.1983.6313160
- Rau, P. S. (2005). *Drowsy driver detection and warning system for commercial vehicle drivers: Field operational test design, analysis, and progress*. Washington: NHTSA.
- Rau, P. S., Fitch, G. M., Bocanegra, J. L., Blanco, M. & Hanowski, R. J. (2009). *Assessment of a Drowsy Driver Warning System (DDWS) for Heavy Vehicle Drivers*. Blacksburg: VTTI.
- Regan, M. A., Young, K. L., Lee, J. D. & Gordon, C. P. (2009). Sources of Driver Distraction. In M. A. Regan, J. D. Lee & K. L. Young (Hrsg.), *Driver distraction. Theory, effects, and mitigation* (S. 249–279). Boca Raton: CRC Press.
- Reimer, B., Gould, D., Chahine, N., Greve, G., Mehler, B., Wang, Y., . . . Levantovsky, V. (2012). An exploratory study on the impact of typeface design in a text rich user interface on off-road glance behavior. *Proceedings of the 4th International Conference on Automotive User Interfaces and Interactive Vehicular Applications*, 25–32.
- Reyner, L. A. & Horne, J. A. (1997). Suppression of sleepiness in drivers: combination of caffeine with a short nap. *Psychophysiology*, 34(6), 721–725.
- Reyner, L. A. & Horne, J. A. (1998a). Evaluation of In-Car Countermeasures to Sleepiness: Cold Air and Radio. *Sleep*, 21(1), 46–50.
- Reyner, L. A. & Horne, J. A. (1998b). Falling asleep whilst driving: Are drivers aware of prior sleepiness? *International Journal of Legal Medicine*, 111(3), 120–123.
- Reyner, L. A. & Horne, J. A. (2000). Early morning driver sleepiness: Effectiveness of 200 mg caffeine. *Psychophysiology*, 37(2), 251–256. doi:10.1111/1469-8986.3720251
- Reyner, L. A. & Horne, J. A. (2002). Efficacy of a 'functional energy drink' in counteracting driver sleepiness. *Physiology and Behavior*, 75(3), 331–335.
- Reyner, L. A., Horne, J. A. & Flatley, D. (2010). Effectiveness of UK motorway services areas in reducing sleep-related and other collisions. *Accident Analysis & Prevention*, 42(4), 1416–1418. doi:10.1016/j.aap.2010.02.010
- Rogers, W. A., Lamson, N. & Rousseau, G. K. (2000). Warning research: An integrative perspective. *Human factors*, 42(1), 102–139.
- Rose, A. (2006). *Unterschiede physiologischer Indikatoren des Fahrerzustands zwischen Real- und Simulationsfahrt* (Dissertation). TU Berlin.
- Rosnow, R. L. & Rosenthal, R. (1989). Statistical procedures and the justification of knowledge in psychological science. *American Psychologist*, 44(10), 1276–1284. doi:10.1037/0003-066X.44.10.1276
- Rudin-Brown, C. M., Williamson, A. & Lenné, M. G. (2009). *Can driving simulation be used to predict changes in real-world crash risk*. Clayton: Monash University Accident Research Centre.
- Rudin-Brown, C. M. & Jamson, S. (2013). *Behavioural adaptation and road safety: Theory, evidence, and action*. Boca Raton: CRC Press.
- Sagaspe, P., Taillard, J., Akerstedt, T., Bayon, V., Espié, S., Chaumet, G., . . . Philip, P. (2008). Extended driving impairs nocturnal driving performances. *PLoS ONE*, 3(10), e3493. doi:10.1371/journal.pone.0003493
- Sagaspe, P., Taillard, J., Chaumet, G., Moore, N., Bioulac, B. & Philip, P. (2007). Aging and Nocturnal Driving: Better with Coffee or a Nap? A Randomized Study. *Sleep*, 30(12), 1808–1813.
- Sahayadhas, A., Sundaraj, K. & Murugappan, M. (2012). Detecting driver drowsiness based on sensors: A review. *Sensors*, 12(12), 16937–16953. doi:10.3390/s121216937
- Sanders, M. S. & McCormick, E. J. (1993). *Human factors in engineering and design* (7. Aufl.). New York: McGraw-Hill.
- Sarter, N. (2006). Multiple-Resource Theory as a Basis for Multimodal Interface Design: Success Stories, Qualifications, and Research Needs. In A. F. Kramer, D. A. Wiegmann & A. Kirlik (Hrsg.), *Attention From Theory to Practice* (S. 187–195). Oxford University Press.
- Schenka, C., Schnupp, T., Heinze, C., Krajewski, J. & Golz, M. (2010). The compensatory tracking task: A pattern recognition based approach for classifying vigilance. In A. Spink, F. Grieco, O. Krips, L. Loijens, L. Noldus & P. Zimmerman (Hrsg.), *Proceedings of the 7th International Conference on Methods and Techniques in Behavioral Research* (S. 470–472). Wageningen: Noldus Information Technology.
- Schmidt, E. A. (2010). *Die objektive Erfassung von Müdigkeit während monotoner Tagfahrten und deren verbale Selbsteinschätzung durch den Fahrer* (Dissertation). Düsseldorf: Heinrich-Heine-Universität.
- Schmidt, E. A., Schrauf, M., Simon, M., Buchner, A. & Kincses, W. E. (2011). The short-term effect of verbally assessing drivers' state on vigilance indices during monotonous daytime driving. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology And Behaviour*, 14(3), 251–260. doi:10.1016/j.trf.2011.01.005

- Schmidt, E. A., Schrauf, M., Simon, M., Fritzsche, M., Buchner, A. & Kincses, W. E. (2009). Drivers' misjudgement of vigilance state during prolonged monotonous daytime driving. *Accident Analysis and Prevention*, 41(5), 1087–1093. doi:10.1016/j.aap.2009.06.007
- Schneider, S., Gadinger, M. & Fischer, A. (2012). Does the effect go up in smoke? A randomized controlled trial of pictorial warnings on cigarette packaging. *Patient Education and Counseling*, 86(1), 77–83. doi:10.1016/j.pec.2011.03.005
- Schnupp, T., Schenka, A. & Sommer, D. (2010). Using postural control system measures to detect hypovigilance. In A. Spink, F. Grieco, O. Krips, L. Loijens, L. Noldus & P. Zimmerman (Hrsg.), *Proceedings of the 7th International Conference on Methods and Techniques in Behavioral Research* (S. 470–472). Wageningen: Noldus Information Technology.
- Scholer, A. A., Zou, X., Fujita, K., Stroessner, S. J. & Higgins, E. T. (2010). When risk seeking becomes a motivational necessity. *Journal of Personality and Social Psychology*, 99(2), 215–231. doi:10.1037/a0019715
- Schützhofer, B. & Torner, F. (2008). *Studie „Müdigkeit am Steuer“: Kurzbericht*. http://www.sicherunterwegs.at/downloads/KURZBERICHT_Muedigkeit_am_Steuer.pdf
- Schwarz, J. F. A., Ingre, M., Fors, C., Anund, A., Kecklund, G., Taillard, J., . . . Åkerstedt, T. (2012). In-car countermeasures open window and music revisited on the real road: Popular but hardly effective against driver sleepiness. *Journal of Sleep Research*, 21(5), 595–599. doi:10.1111/j.1365-2869.2012.01009.x
- Schwarzer, R. & Jerusalem, M. (1995). Optimistic Self-Beliefs as a Resource Factor in Coping with Stress. In S. E. Hobfoll & M. W. Vries (Hrsg.), *Extreme Stress and Communities: Impact and Intervention* (S. 159–177). Dordrecht: Springer.
- Schwarzer, R. (2004). *Psychologie des Gesundheitsverhaltens: Einführung in die Gesundheitspsychologie* (3. Aufl.). Göttingen: Hogrefe.
- Sedlmeier, P. & Renkewitz, F. (2013). *Forschungsmethoden und Statistik für Psychologen und Sozialwissenschaftler* (2. Aufl.). München: Pearson Studium.
- Sedlmeier, P. (2009). Beyond the Significance Test Ritual. *Zeitschrift für Psychologie*, 217(1), 1–5. doi:10.1027/0044-3409.217.1.1
- Shahid, A., Shen, J. & Shapiro, C. M. (2010). Measurements of sleepiness and fatigue. *Journal of Psychosomatic Research*, 69(1), 81–89. doi:10.1016/j.jpsychores.2010.04.001
- Shahid, A., Wilkinson, K., Marcu, S. & Shapiro, C. M. (Hrsg.). (2012). *STOP, THAT and One Hundred Other Sleep Scales*. New York: Springer.
- Sharot, T. (2012). *The optimism bias: A tour of the irrationally positive brain*. New York: Vintage Books.
- Sheeran, P. (2002). Intention-Behavior Relations: A Conceptual and Empirical Review. *European Review of Social Psychology*, 12(1), 1–36. doi:10.1080/14792772143000003
- Shen, K.-Q., Li, X.-P., Ong, C.-J., Shao, S.-Y. & Wilder-Smith, E. P. (2008). EEG-based mental fatigue measurement using multi-class support vector machines with confidence estimate. *Clinical Neurophysiology*, 119(7), 1524–1533. doi:10.1016/j.clinph.2008.03.012
- Shugan, S. M. (1980). The cost of thinking. *Journal of Consumer Research*, (7), 99–111.
- Sigari, M., Pourshahabi, M., Soryani, M. & Fathy, M. (2014). A Review on Driver Face Monitoring Systems for Fatigue and Distraction Detection. *International Journal of Advanced Science and Technology*, 64, 73–100.
- Simon, H. A. (1959). Theories of decision-making in economics and behavioral science. *The American Economic Review*, 49(3), 253–283.
- Sivaraman, S. & Trivedi, M. M. (2013). Integrated Lane and Vehicle Detection, Localization, and Tracking: A Synergistic Approach. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 14(2), 906–917. doi:10.1109/TITS.2013.2246835
- Smolensky, M. H., Di Milia, L., Ohayon, M. M. & Philip, P. (2011). Sleep disorders, medical conditions, and road accident risk. *Accident Analysis & Prevention*, 43(2), 533–548. doi:10.1016/j.aap.2009.12.004
- Spence, C. & Ho, C. (2008). Tactile and Multisensory Spatial Warning Signals for Drivers. *IEEE Transactions on Haptics*, 1(2), 121–129. doi:10.1109/TOH.2008.14
- Stephan, K., Hosking, S., Regan, M. A., Verdoorn, A., Young, K. & Haworth, N. L. (2006). *The relationship between driving performance and the Johns Drowsiness Scale as measured by the Optalert system*. Clayton: Monash University Accident Research Centre.
- Stutts, J. C., Wilkins, J. W., Scott, O. J. & Vaughn, B. V. (2003). Driver risk factors for sleep-related crashes. *Accident Analysis and Prevention*, 35(3), 321–331.
- Summala, H., Häkkinen, H., Mikkola, T. & Sinkkonen, J. (1999). Task effects on fatigue symptoms in overnight driving. *Ergonomics*, 42(6), 798–806. doi:10.1080/001401399185298
- Svenson, O. (1981). Are we all less risky and more skillful than our fellow drivers? *Acta Psychologica*, 47(2), 143–148. doi:10.1016/0001-6918(81)90005-6
- TAC. (2000). *Fatigue Campaign 2000*. <http://www.tac.vic.gov.au/>
- Taillard, J., Capelli, A., Sagaspe, P., Anund, A., Åkerstedt, T., Philip, P. & Gamble, K. L. (2012). In-Car Nocturnal Blue Light Exposure Improves Motorway Driving: A Randomized Controlled Trial. *PLoS ONE*, 7(10), e46750. doi:10.1371/journal.pone.0046750
- Takata Corp. (2008). *SafeTRAC Driver's Guide*. <http://www.safetrak.takata.com/Products.aspx>
- ten Thoren, C. & Gundel, A. (2003). Müdigkeit als Unfallursache im Stadtbereich - eine Befragung von Unfallbeteiligten. *Somnologie*, 7(4), 125–133. doi:10.1046/j.1432-9123.2003.00003.x
- ten Thoren, C. (2006). *Wach am Steuer*. Landsberg: Hüthig Jehle Rehm.
- Terán-Santos, J., Jiménez-Gómez, A. & Cordero-Guevara, J. (1999). The association between sleep apnea and the risk of traffic accidents. *The New England Journal of Medicine*, 340(11), 847–851. doi:10.1056/NEJM199903183401104
- Thiffault, P. & Bergeron, J. (2003). Monotony of road environment and driver fatigue: a simulator study. *Accident Analysis and Prevention*, 35(3), 381–391.
- Thomas, I. (2012). *ASTiD Advisory System for Tired Drivers: Presentation at the Managing fatigue in the extractive industries workshop*, Perth, Western Australia.
- Thorslund, B. (2004). *Electrooculogram analysis and development of a system for defining stages of drowsiness* (Masterarbeit). Universität Linköping.
- Tom, S. M., Fox, C. R., Trepel, C. & Poldrack, R. A. (2007). The neural basis of loss aversion in decision-making under risk. *Science*, 315(5811), 515–518. doi:10.1126/science.1134239
- Torner, F. & Schützhofer, B. (2010). *Eine Erhebung von körperlichen und fahrspezifischen Anzeichen für akute Müdigkeit am Steuer sowie eine Analyse der eingeleiteten Gegenmaßnahmen der FahrerInnen (Poster präsentiert auf dem 6. gemeinsamen Symposium der DGVM und der DGVP in Tübingen)*. http://www.sicherunterwegs.at/downloads/2010_muedigkeit.pdf
- Tremaine, R., Dorrian, J., Lack, L., Lovato, N., Ferguson, S., Zhou, X. & Roach, G. (2010). The relationship between subjective and objective sleepiness and performance during a simu-

- lated night-shift with a nap countermeasure. *Applied Ergonomics*, 42(1), 52–61. doi:10.1016/j.apergo.2010.04.005
- Tucker, P., Lombardi, D., Smith, L. & Folkard, S. (2006). The impact of rest breaks on temporal trends in injury risk. *Chronobiology International*, 23(6), 1423–1434. doi:10.1080/07420520601070315
- Tversky, A. & Kahneman, D. (1974). Judgment under Uncertainty: Heuristics and Biases. *Science*, 185(4157), 1124–1131. doi:10.1126/science.185.4157.1124
- Tversky, A. & Kahneman, D. (1981). The framing of decisions and the psychology of choice. *Science*, 211(4481), 453–458. doi:10.1126/science.7455683
- Tversky, A. & Kahneman, D. (1992). Advances in prospect theory: Cumulative representation of uncertainty. *Journal of Risk and Uncertainty*, 5(4), 297–323. doi:10.1007/BF00122574
- van Erp, J. B. F., Veltman, A. & van Veen, H. A. H. C. (2003). A Tactile Cockpit Instrument to Support Altitude Control. *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*, 47(1), 114–118. doi:10.1177/154193120304700124
- VanBaaren, R. B., Holland, R. W., Kawakami, K. & van Knippenberg, A. (2004). Mimicry and Prosocial Behavior. *Psychological Science*, 15(1), 71–74. doi:10.1111/j.0963-7214.2004.01501012.x
- Vance, A., Siponen, M. & Pahlila, S. (2012). Motivating IS security compliance: Insights from Habit and Protection Motivation Theory. *Information & Management*, 49(3-4), 190–198. doi:10.1016/j.im.2012.04.002
- Verwey, W. B. & Zaidel, D. M. (1999). Preventing drowsiness accidents by an alertness maintenance device. *Accident Analysis & Prevention*, 31(3), 199–211. doi:10.1016/S0001-4575(98)00062-1
- Vollrath, M. & Krems, J. (2011). *Verkehrspsychologie*. Stuttgart: Kohlhammer.
- Volvo Car Group. (2008). *Volvo Cars introduces new systems for alerting tired and unconcentrated drivers*. <https://www.media.volvocars.com/global/en-gb/media/pressreleases/13831>
- Vredenburg, A. G. & Zackowitz, I. B. (2006). Expectations. In M. S. Wogalter (Hrsg.), *Handbook of Warnings*. Mahwah, N.J.: Lawrence Erlbaum Associates.
- Vuckovic, A., Radivojevic, V., Chen, A. C. N. & Popovic, D. (2002). Automatic recognition of alertness and drowsiness from EEG by an artificial neural network. *Medical Engineering & Physics*, 24(5), 349–360.
- Weaver, J. L., Gerber, T. N., Hancock, P. A. & Ganey, H. C. N. (2003). Individual differences in behavioral compliance to warnings representing varying degrees of threat. *International Journal of Occupational Safety and Ergonomics*, 9(2), 149–160.
- Weber, B. J. & Chapman, G. B. (2005). Playing for peanuts: Why is risk seeking more common for low-stakes gambles? *Organizational Behavior and Human Decision Processes*, 97(1), 31–46. doi:10.1016/j.obhdp.2005.03.001
- Webster, M. A. (2012). Evolving concepts of sensory adaptation. *F1000 biology reports*, 4, 21. doi:10.3410/B4-21
- Weidner, C. K. (2013). *Wachhaltestrategien und Fahrleistungen müder Autofahrer im Kontext von Müdigkeitswarnungen* (Bachelorarbeit). TU Berlin.
- Weil de Vega, C. B. (2007). *Fahrerschläfrigkeit gemessen mit dem Pupillographischen Schläfrigkeitstest an süddeutschen Autobahn-Raststätten* (Dissertation). Eberhard-Karls-Universität, Tübingen.
- Weinstein, N. D. (1982). Unrealistic optimism about susceptibility to health problems. *Journal of behavioral medicine*, 5(4), 441–460.
- Whitlock, A. & Pethick, J. (2002). *Driver vigilance devices: Systems review*. London: Railway Safety & Standards Board. http://www.rssb.co.uk/SiteCollectionDocuments/pdf/reports/research/T024_rpt_final.pdf
- Wickens, C. D. & Hollands, J. G. (2000). *Engineering psychology and human performance* (3. Aufl.). Upper Saddle River: Prentice Hall.
- Wickens, C. D. & McCarley, J. S. (2007). *Applied attention theory*. Boca Raton: Taylor & Francis. <http://site.ebrary.com/lib/alltitles/docDetail.action?docID=10209613>
- Wickens, C. D. & Rose, P. N. (2001). *Human factors handbook for displays: Summary of findings from the army research lab's advanced displays & interactive displays federated laboratory*. Thousand Oaks: Rockwell Scientific.
- Wickens, C. D. (2002). Multiple resources and performance prediction. *Theoretical Issues in Ergonomics Science*, 3(2), 159–177. doi:10.1080/14639220210123806
- Wickens, C. D. (2008). Multiple resources and mental workload. *Human Factors*, 50(3), 449–455.
- Wickens, C. D., Gordon, S. E. & Liu, Y. (2004). *An introduction to human factors engineering* (2. Aufl.). Upper Saddle River: Pearson Prentice Hall.
- Wickens, C. D., Hollands, J., Banbury, S. & Parasuraman, R. (2012). *Engineering Psychology and Human Performance* (4. Aufl.). New York: Pearson Education.
- Wierwille, W. W. & Ellsworth, L. A. (1994). Evaluation of driver drowsiness by trained raters. *Accident Analysis and Prevention*, 26(5), 571–581.
- Wilde, G. J. S. (1982). The Theory of Risk Homeostasis: Implications for Safety and Health. *Risk Analysis*, 2(4), 209–225. doi:10.1111/j.1539-6924.1982.tb01384.x
- Williams, B. J. & Kaufmann, L. M. (2012). Reliability of the Go/No Go Association Task. *Journal of Experimental Social Psychology*, 48(4), 879–891. doi:10.1016/j.jesp.2012.03.001
- Williams, D. J. & Noyes, J. M. (2007). How does our perception of risk influence decision-making? Implications for the design of risk information. *Theoretical Issues in Ergonomics Science*, 8(1), 1–35. doi:10.1080/14639220500484419
- Williamson, A., Lombardi, D. A., Folkard, S., Stutts, J., Courtney, T. K. & Connor, J. L. (2011). The link between fatigue and safety. *Accident Analysis and Prevention*, 43(2), 498–515. doi:10.1016/j.aap.2009.11.011
- Witte, K. & Allen, M. (2000). A Meta-Analysis of Fear Appeals: Implications for Effective Public Health Campaigns. *Health Education & Behavior*, 27(5), 591–615. doi:10.1177/109019810002700506
- Witte, K. (1994). Fear control and danger control: A test of the extended parallel process model (EPPM). *Communication Monographs*, 61(2), 113–134. doi:10.1080/03637759409376328
- Wogalter, M. S. & Brelsford, J. W. (1994). Incidental Exposure to Rotating Warnings on Alcoholic Beverage Labels. *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*, 38(5), 374–378. doi:10.1177/154193129403800505
- Wogalter, M. S. & Laughery, K. R. (1996). WARNING: Sign and Label Effectiveness. *Current Directions in Psychological Science*, 5, 33–37.
- Wogalter, M. S. & Silver, N. C. (1995). Warning signal words: connoted strength and understandability by children, elders, and non-native English speakers. *Ergonomics*, 38(11), 2188–2206. doi:10.1080/00140139508925262

- Wogalter, M. S. (2006). Communication-Human Information Processing (C-HIP) Model. In M. S. Wogalter (Hrsg.), *Handbook of Warnings* (S. 51-61). Mahwah: Lawrence Erlbaum Associates.
- Wogalter, M. S., Allison, S. T. & McKenna, N. A. (1989). Effects of Cost and Social Influence on Warning Compliance. *Human Factors*, 31(2), 133–140.
- Wogalter, M. S., Brelsford, J. W., Desaulniers, D. R. & Laughery, K. R. (1991). Consumer product warnings: The role of hazard perception. *Journal of Safety Research*, 22(2), 71–82. doi:10.1016/0022-4375(91)90015-N
- Wogalter, M. S., Brems, D. J. & Martin, E. G. (1993). Risk perception of common consumer products: Judgments of accident frequency and precautionary intent. *Journal of Safety Research*, 24(2), 97–106. doi:10.1016/0022-4375(93)90004-7
- Wogalter, M. S., DeJoy, D. M. & Laughery, K. R. (Hrsg.). (1999). *Warnings and risk communication*. Philadelphia: Taylor & Francis.
- Wogalter, M. S., Godfrey, S. S., Fontanelle, G. A., Desaulniers, D. R., Rothstein, P. R. & Laughery, K. R. (1987). Effectiveness of Warnings. *Human Factors*, 29(5), 599–612.
- Wogalter, M. S., Kalsher, M. J. & Racicot, B. M. (1993). Behavioral compliance with warnings: Effects of voice, context, and location. *Safety Science*, 16(5-6), 637–654. doi:10.1016/0925-7535(93)90028-C
- Wogalter, M. S., Laughery, K. R. & Mayhorn, C. B. (2006). Warnings and Hazard Communications. In G. Salvendy (Hrsg.), *Handbook of Human Factors and Ergonomics* (S. 889–911). Hoboken, NJ: Wiley.
- Wogalter, M. S., Racicot, B. M., Kalsher, M. J. & Noel Simpson, S. (1994). Personalization of warning signs: The role of perceived relevance on behavioral compliance. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 14(3), 233–242. doi:10.1016/0169-8141(94)90099-X
- Wolff, J. S. & Wogalter, M. S. (1998). Comprehension of Pictorial Symbols: Effects of Context and Test Method. *Human Factors*, 40(2), 173–186. doi:10.1518/001872098779480433
- Wright, N. A., Stone, B. M., Horberry, T. J. & Reed, N. (2007). *A review of in-vehicle sleepiness detection devices. Published project report: PPR157*. Wokingham: TRL Limited.
- Wright, V. (2010). *Deterrence in Criminal Justice: Evaluating Certainty vs. Severity of Punishment*. Washington: The Sentencing Project.
- Yang, J. H., Mao, Z.-H., Tijerina, L., Pilutti, T., Coughlin, J. F. & Feron, E. (2009). Detection of Driver Fatigue Caused by Sleep Deprivation. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics - Part A: Systems and Humans*, 39(4), 694–705. doi:10.1109/TSMCA.2009.2018634
- Yeo, M. V., Li, X., Shen, K. & Wilder-Smith, E. P. (2009). Can SVM be used for automatic EEG detection of drowsiness during car driving? *Safety science*, 47(1), 115–124. doi:10.1016/j.ssci.2008.01.007
- Young, M. S. & Stanton, N. A. (2005). Applying Interviews to Usability Assessment. In N. Stanton (Hrsg.), *Handbook of human factors and ergonomics methods* (S.29-1 – 29-5). Boca Raton: CRC Press.
- Yu, X. (2009). *Report No. CTS 09-15: Real-time Nonintrusive Detection of Driver Drowsiness*. Minneapolis: ITS Institute.
- Zhang, Z. & Zhang, J. (2006). A New Real-Time Eye Tracking for Driver Fatigue Detection. *Proceedings of the 6th International Conference on ITS Telecommunications*, 8–11

Anhang

A	Methoden und Materialien	A-1
A.1	Experiment 1	A-1
A.1.1	Exp. 1 - Instruktionsblatt 1 (Aufgabe und Rahmenbedingungen)	A-1
A.1.2	Exp 1 - Instruktionsblatt 2 (Beschreibung Fahrfehler)	A-2
A.1.3	Exp. 1 - Vorbefragung	A-3
A.1.4	Exp. 1 - Retrospektive Befragung	A-5
A.2	Experiment 2	A-9
A.2.1	Exp. 2 - Instruktionsblatt 1 (Aufgabe und Rahmenbedingungen) - Bedingung <i>Entfernungsrückmeldung</i> -	A-9
A.2.2	Exp. 2 - Instruktionsblatt 1 (Aufgabe und Rahmenbedingungen) - Bedingungen mit Müdigkeitswarnung (<i>Kaffeetasse / Bild</i>) -	A-10
A.2.3	Exp. 2 - Vorbefragung	A-11
A.2.4	Exp. 2 - Nachbefragung (Bsp. 1: Typ = Warnung, Anzahl = 1, Pause = ja)	A-13
A.2.5	Exp. 2 – Nachbefragung (Bsp. 2: Typ = Entfernungsmeld., Anzahl = 2, Pause = nein)	A-16
A.3	Methoden und Materialien in beiden Experimenten	A-20
A.3.1	Übersicht über methodische Veränderungen in Exp. 2 im Vergleich zu Exp. 1	A-20
A.3.2	Exp. 1 und 2 - Screening-Fragebogen	A-1
A.3.3	Exp. 1 und 2 - Einverständniserklärung	A-3
A.3.4	Exp. 1 und 2 - Referenzkarte mit Müdigkeitsstufen und -indikatoren nach Dittrich et al. (2009)	A-4
A.3.5	Exp. 1 und 2 - Gewinnung der Müdigkeitswerte mit der TUBSS	A-5
B	Ergebnisse	B-1
B.1	Ergebnisse Experiment 1	B-1
B.1.1	Exp. 1 - TUBSS-Müdigkeitsverläufe aller Teilnehmer	B-1
B.1.2	Exp. 1 - Angaben der Teilnehmer zu Wachhaltestrategien	B-5
B.1.3	Exp. 1 - Übersicht über alle abhängigen Variablen - Mittelwerte und Standardabweichungen für alle Faktorstufen, Signifikanztests	B-6
B.2	Ergebnisse Experiment 2	B-9
B.2.1	Exp. 2 - TUBSS-Müdigkeitsverläufe aller Teilnehmer	B-9
B.2.2	Exp. 2 -Angaben der Teilnehmer zu Wachhaltestrategien und deren Paraphrasierung / Generalisierung	B-15
B.2.3	Exp. 2: Induktive Kategorisierung der Wachhaltestrategien	B-18

B.2.4	Exp. 2 - Übersicht über alle abhängigen Variablen - Mittelwerte und Standardabweichungen für alle Faktorstufen, Signifikanztests	B-21
B.3	Ergebnisse Exp. 1 und Exp. 2	B-23
B.3.1	Exp. 1 und 2 - Übersicht über erwartete und empirische Ergebnisse (qualitativ)	B-23

A Methoden und Materialien

A.1 Experiment 1

A.1.1 Exp. 1 - Instruktionsblatt 1 (Aufgabe und Rahmenbedingungen)

Information für Studienteilnehmerinnen und -teilnehmer

Liebe Teilnehmerin, lieber Teilnehmer,
hier finden Sie die wichtigsten Informationen zu Ihrer späteren Fahraufgabe. Bitte lesen Sie die Informationen aufmerksam durch.

Müdigkeit beim Autofahren führt zu Leistungseinschränkungen und spielt eine nicht unerhebliche Rolle bei der Verursachung von Unfällen im Straßenverkehr. Zur Bekämpfung von akuter Müdigkeit konnten bisher nur zwei Maßnahmen wissenschaftlich als wirksam bestätigt werden: ein kurzes Nickerchen von ca. 10-15 Minuten oder die Zufuhr von Koffein, z.B. durch eine Tasse Kaffee.

Ihre heutige Fahrt im Simulator ist vergleichbar mit einer solchen realen Verkehrssituation. Sie fahren eine bestimmte Strecke, wobei Ihre Müdigkeit das Auftreten von Fehlern beim Fahren wahrscheinlicher macht – z.B. durch Sekundenschlaf oder die Begünstigung von Unaufmerksamkeit. Ihre Aufgabe im Fahrszenario ist es, eine vorgegebene Strecke bis zum Ende zu fahren. Dabei gelten bestimmte Rahmenbedingungen:

Sie erhalten für Ihre Fahrt eine **Grundvergütung von 15 €**.

Zusätzlich zu dieser Grundvergütung haben Sie die Chance einen **Zielbonus von 15 €** zu erwerben, wenn es Ihnen gelingt, die Strecke **bis zum Ende** zu fahren, **ohne einen groben Fahrfehler** zu machen (was das bedeutet, können Sie gleich noch ausprobieren).

Unterläuft Ihnen ein solcher **Fahrfehler**, **entfällt der Zielbonus (=> 0 €)**; sie bekommen also in diesem Fall nur Ihre Grundvergütung.

Wenn Sie befürchten aufgrund Ihrer Müdigkeit einen Fahrfehler zu machen, können Sie eine **Pause machen**, in der Sie z.B. einen Kaffee trinken oder im Fahrzeug ein kurzes Schläfchen halten können, um Ihre Fahrtüchtigkeit wiederherzustellen. Erreichen Sie nach einer Pause fehlerfrei das Ziel, bekommen Sie immer noch einen **Zielbonus von 10 €** (im Vergleich zu 15 € bei fehlerfreier Zielerreichung ohne vorherige Pause). Dies gilt unabhängig davon, ob Sie vor der Pause bereits eine Müdigkeitswarnung (s.u.) erhalten haben oder nicht.

Ihr Fahrzeug verfügt über ein **Müdigkeitssystem**, das gefährliche Fahrerzustände erkennen kann. Identifiziert das System bei Ihnen einen kritischen Müdigkeitszustand, in dem das Risiko eines Fahrfehlers erhöht ist, bekommen Sie eine entsprechende Rückmeldung. Diese erfolgt durch einen **Warnton** und eine „**Pause empfohlen**“-**Einblendung auf dem Display** rechts vom Lenkrad, welche **für 2 Minuten sichtbar** ist und dann von selbst wieder verschwindet. (Das System ist so eingestellt, dass es bei anhaltender oder wiederkehrender Müdigkeit nach frühestens 30 min eine erneute Warnung anzeigen würde.) Bei der Warnung handelt es sich um eine reine **Empfehlung** des Systems; ob Sie eine **Pause** machen wollen oder nicht, **entscheiden Sie selbst**.

Die Länge der zu absolvierenden Fahrstrecke hängt von Zufallsfaktoren ab und ist somit auch dem Versuchsleiter im Vorhinein nicht genau bekannt. Typischerweise werden Sie 1 bis maximal 2 Stunden unterwegs sein. Sobald Sie das Ziel erreicht haben, erhalten Sie eine Rückmeldung.

A.1.2 Exp 1 - Instruktionsblatt 2 (Beschreibung Fahrfehler)

Was ist ein Fahrfehler?

Ihre Aufgabe ist es, die Strecke mit einer Höchstgeschwindigkeit von 100 km/h abzufahren und dabei auf der rechten Spur zu bleiben. Somit ergeben sich 2 Arten möglicher Fehler:

Grobe Abweichung von der rechten Fahrspur

Kommt Ihr Fahrzeug weit nach links oder rechts von der rechten Spur ab, gilt dies als Fehler. Es gibt einen gewissen Toleranzbereich, den Sie gleich ausprobieren können.

Grobe Überschreitung des Geschwindigkeitslimits

Auch wenn Sie versehentlich schneller fahren als 100 km/h, gilt dies als Fahrfehler. Auch hier existiert ein Toleranzbereich (bis 115 km/h). Nach unten hin gibt es keine Geschwindigkeitsbegrenzung, d.h., Sie können grundsätzlich so langsam fahren wie Sie wollen

A.1.3 Exp. 1 - Vorbefragung



Vom Versuchsleiter auszufüllen:

Bitte Vp-Nr. eingeben. (MW__)

Bitte Vp-Nr. 2 angeben.

Termin-Tageszeit

 14:30 19:00

Bitte anonymisierten Vp-Code eingeben.

1. + 3. Buchstabe des Mädchennamens der Mutter

1. + 3. Buchstabe des Vornamens des Vaters

eigener Geburtstag (nur der Tag)

Vom Versuchsteilnehmer auszufüllen:

Wie alt sind Sie?

 Jahre

Bitte geben Sie Ihr Geschlecht an.

 männlich weiblich

Bitte geben Sie Ihren höchsten Abschluss an.

kein Abschluss

Hauptschulabschluss

Realschulabschluss

abgeschlossene Lehre / Ausbildung

Abitur

Hochschulabschluss

sonstiges, und zwar:

Welcher Tätigkeit gehen Sie im Moment nach?

Schüler/in

in Ausbildung

Student/in

nicht berufstätig

berufstätig

im Ruhestand

sonstiges, und zwar:

Was ist Ihre Muttersprache?

deutsch

englisch

andere Sprache – bitte eingeben:

Auf einer Skala von 0 – 100%: Wie gut verstehen Sie die deutsche Sprache?

0 10% 20% 30% 40% 50% 60% 70% 80% 90% 100%

Auf einer Skala von 0 – 100 %: Wie gut sprechen Sie die deutsche Sprache?

0 10% 20% 30% 40% 50% 60% 70% 80% 90% 100%

Wann sind Sie letzte Nacht schlafen gegangen?

Bitte geben Sie an, wann Sie tatsächlich ins Bett gegangen sind, auch wenn diese Zeit von der abgesprochenen Schlafzeit abweicht. Format HH:MM, also z.B. „00:25“

um ca. Uhr

Bis wann haben Sie heute geschlafen?

Bitte geben Sie an, wann Sie vor der Studie aufgestanden sind, auch wenn diese Zeit von der abgesprochenen Aufstehzeit abweicht.

Format: HH:MM, also z.B. „06:30“.

bis ca. Uhr

Wie lange haben Sie heute Nacht insgesamt geschlafen?

Bitte geben Sie an, wieviel Zeit Sie tatsächlich schlafend verbracht haben. Minuten können als Nachkommazahl angegeben werden, z.B. „0,25“ Stunden für 15 Minuten.

ca. Stunden

Haben Sie heute Kaffee oder andere stimulierende Substanzen zu sich genommen?

Bitte geben Sie entsprechenden Genuss an, auch wenn dieser von der Absprache abweicht. Falls Sie mit „ja“ antworten, geben Sie bitte an, welche Substanzen und wieviel davon Sie zu sich genommen haben (z.B. „2 Tassen schwarzer Tee, 1 Dose Red Bull Energydrink“).

ja, und zwar (bitte Art und Menge angeben)

nein

Haben Sie zwischen dem Aufstehen und dem Fahrversuch ein / mehrere Nickerchen gehalten?

Falls ja, geben Sie bitte die Zeit(en) an.

ja, und zwar von:

nein

Wieviel Kilometer fahren Sie jährlich mit dem Auto?

weniger als 10.000 km

10.000 – 20.000 km

20.000 – 30.000 km

mehr als 30.000 km

Wie beurteilen Sie Ihren momentanen Zustand auf dieser Skala?

0 1 2 3 4 5 6 7 8

sehr wach wach weder wach noch müde müde, aber keine Probleme wach zu bleiben Sehr müde, große Probleme wach zu bleiben, mit dem Schlaf kämpfend

A.1.4 Exp. 1 - Retrospektive Befragung



Bitte Vp-Nr. eingeben. (MW__)

Welche Zielentfernung wurde Ihnen mit der Müdigkeitswarnung zusammen angegeben?

Der Warnungstext lautete: „Noch km bis zum Ziel“ weiß ich nicht

Welches Bild zeigte Ihnen das Müdigkeitswarnsystem auf dem Display an?

einen Wecker
 ein Auge
 eine Kaffeetasse
 ein Bett
 mein eigenes Foto
 das Foto einer anderen Person
 weiß ich nicht

Die folgenden Fragen beziehen sich ausschließlich auf Ihre Gedanken und Empfindungen während der gerade absolvierten Fahrt im Simulator:

Wie beurteilen Sie Ihren Zustand zum Zeitpunkt der Systemmeldung (Müdigkeitswarnung) auf dieser Skala?

0	1	2	3	4	5	6	7	8
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>						
sehr wach		wach		weder wach noch müde		müde, aber keine Probleme wach zu bleiben		Sehr müde, große Probleme wach zu bleiben, mit dem Schlaf kämpfend

Wie schlimm erschien Ihnen nach der Systemmeldung die Möglichkeit,

		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
... dass Ihnen ein Fahrfehler unterläuft und Sie so den Zielbonus verlieren?	gar nicht schlimm	<input type="radio"/>	sehr schlimm									
... dass Sie einnicken / in Sekundenschlaf fallen und so den Zielbonus verlieren?	gar nicht schlimm	<input type="radio"/>	sehr schlimm									

Wie gefährdet haben Sie sich nach der Systemmeldung empfunden,

		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
... dass Ihnen ein Fahrfehler unterläuft und Sie so den Zielbonus verlieren?	gar nicht gefährdet	<input type="radio"/>	sehr stark gefährdet									
... dass Sie einnicken / in Sekundenschlaf fallen und so den Zielbonus verlieren?	gar nicht gefährdet	<input type="radio"/>	sehr stark gefährdet									

Um wieviel Prozent wäre nach Ihrer Einschätzung durch eine Pause das Risiko verringert worden,

... dass Ihnen ein Fahrfehler unterläuft?



... dass Sie einnicken / in Sekundenschlaf fallen?



Wie stark hatten Sie nach der Systemmeldung das Gefühl, dass es von Ihnen selbst abhängt, ob Sie eine Pause machen oder nicht?



Wie wahrscheinlich war es nach der Systemmeldung, dass Sie eine Pause einlegen?



Wie aktivierend wirkte die Systemmeldung auf Sie?



In diesem Experiment bekommen Sie 15 € Bonus für eine erfolgreiche Zielerreichung. Einnicken und / oder ein Fahrfehler resultieren in einem kompletten Wegfall des Bonus. Eine Pause zu machen, führt zu einem leichten Abzug (-5€), so dass Sie nach einer Pause noch 10 € Zielbonus bekommen.

Wie groß dürfte der durch eine Pause entstehende Abzug vom Zielbonus 15 € maximal sein, damit Sie noch darüber nachdenken, eventuell eine Pause einzulegen?



Haben Sie vor dieser Untersuchung schon einmal etwas von Kfz-Müdigkeitswarnsystemen gehört?

- ja
- nein

Sind Sie schon einmal mit einem Fahrzeug gefahren, das mit einem Müdigkeitswarnsystem ausgestattet war?

Falls „ja“, geben Sie bitte den Fahrzeugtyp an.

- ja (Angaben zum Fahrzeugtyp)
- nein

Besitzt Ihr eigenes Fahrzeug ein Müdigkeitswarnsystem?

Falls „ja“, geben Sie bitte den Fahrzeugtyp an.

- ja (Angaben zum Fahrzeugtyp)
- nein

Sie haben ein Müdigkeitswarnsystem in Ihrem Auto oder angenommen, Sie hätten eines. Wie wahrscheinlich ist / wäre es generell, dass Sie eine Pause einlegen, wenn das System eine solche empfiehlt?

0 1 2 3 4 5 6 7 8 9

nicht
wahrscheinlich sehr
wahrscheinlich

Wie ablenkend fanden Sie die Warnungsanzeige für Ihre Fahraufgabe?

gar nicht
ablenkend stark
ablenkend

Was haben Sie getan, um sich wach zu halten?

Bitte beschreiben Sie kurz, mit welchen Maßnahmen / Verhaltensweisen Sie versucht haben, Ihrer Müdigkeit entgegenzuwirken.

habe nichts
getan, um mich
wach zu halten

In der Halle rund um den Fahrsimulator wird gerade gebaut. In welchem Maße haben Sie während des Fahrens Störgeräusche von außen wahrgenommen?

0 1 2 3 4 5 6 7 8 9

habe keine
Geräusche
von außen
wahrgenommen habe
andauernd
Geräusche
von außen
wahrgenommen

Wie beurteilen Sie Ihren momentanen Zustand auf dieser Skala?

0 1 2 3 4 5 6 7 8

sehr wach wach weder
wach noch
müde müde, aber
keine
Probleme
wach zu
bleiben Sehr müde,
große
Probleme
wach zu
bleiben, mit
dem Schlaf
kämpfend

Die folgenden Fragen beziehen sich nicht auf die Fahrsimulation, sondern auf Ihre realen Erfahrungen als Autofahrer:

Hatten Sie mit dem Auto mitverschuldete Unfälle?

Falls ja, geben Sie bitte an, wie viele.

ja (bitte Anzahl mitverschuldeteten Unfälle angeben)
 nein

Haben Sie beim Autofahren schon einmal Sekundenschlaf erlebt?

ja
 nein

Hatten Sie mitverschuldete Unfälle, bei denen Müdigkeit eine ursächliche Rolle spielte?

Falls ja, geben Sie bitte an, wie viele.

ja (Anzahl müdigkeitsbedingter Unfälle)
 nein

Wenn Sie während des Fahrens eine Warnung erhalten haben, die KEIN Foto von Ihnen beinhaltet, klicken Sie in dieser Frage bitte auf „entfällt“.

Wenn Sie während des Fahrens eine Warnung erhalten haben, die ein Foto von Ihnen beinhaltet, wenden Sie sich bitte an den Untersuchungsleiter. Dieser wird Ihnen das Bild noch einmal zeigen.

Wie müde sehen Sie Ihrer Meinung nach auf diesem Bild aus?

0 1 2 3 4 5 6 7 8

sehr wach,
gar nicht
müde

sehr müde,
mit dem
Schlaf
kämpfend

entfällt

Weiter

A.2 Experiment 2

A.2.1 Exp. 2 - Instruktionsblatt 1 (Aufgabe und Rahmenbedingungen) - Bedingung *Entfernungsrückmeldung* -

Information für Studienteilnehmerinnen und -teilnehmer

Liebe Teilnehmerin, lieber Teilnehmer,

hier finden Sie die wichtigsten Informationen zu Ihrer späteren Fahraufgabe. Bitte lesen Sie die Informationen aufmerksam durch.

Müdigkeit beim Autofahren führt zu Leistungseinschränkungen und spielt eine nicht unerhebliche Rolle bei der Verursachung von Unfällen im Straßenverkehr. Zur Bekämpfung akuter Müdigkeit konnten bisher nur zwei Maßnahmen wissenschaftlich als wirksam bestätigt werden: ein kurzes Nickerchen von ca. 10-15 Minuten *oder* die Zufuhr von Koffein, z.B. durch eine Tasse Kaffee oder ein koffeinhaltiges Erfrischungsgetränk („Energy-Drink“).

Ihre heutige Fahrt im Simulator ist vergleichbar mit einer realen Verkehrssituation. Sie fahren eine bestimmte Strecke, wobei Ihre Müdigkeit das Auftreten von Fehlern beim Fahren wahrscheinlicher macht – z.B. durch Sekundenschlaf oder die Begünstigung von Unaufmerksamkeit.

Ihre Aufgabe im Fahrscenario ist es, eine vorgegebene Strecke bis zum Ende zu fahren. Dabei gelten bestimmte Rahmenbedingungen:

- Sie erhalten für Ihre Fahrt eine **Grundvergütung von 5 €**.
- **Zusätzlich** zu dieser Grundvergütung haben Sie die Chance einen **Zielbonus von 30 €** zu erwerben, wenn es Ihnen gelingt, die Strecke **bis zum Ende** zu fahren, **ohne einen Fahrfehler** zu machen (was das bedeutet, können Sie gleich noch ausprobieren). Sollte Ihnen ein Fahrfehler unterlaufen, bekommen Sie dies sofort zurückgemeldet.
- **Unterläuft** Ihnen ein solcher **Fahrfehler**, **entfällt der Zielbonus**; sie bekommen also in diesem Fall nur Ihre Grundvergütung.
- Wenn Sie befürchten, aufgrund Ihrer Müdigkeit einen Fahrfehler zu machen, können Sie eine **Pause machen**, in der Sie einen Kaffee trinken oder im Fahrzeug ein kurzes Schläfchen halten können, um Ihre Fahrtüchtigkeit wiederherzustellen. Eine Pause kostet 1,50 €. Erreichen Sie danach fehlerfrei das Ziel, bekommen Sie also immer noch einen **Zielbonus von 28,50 €** (im Vergleich zu 30 € bei fehlerfreier Zielerreichung ohne vorherige Pause). Eine Pause ist während der gesamten Fahrt jederzeit möglich.

Die Länge der zu absolvierenden Fahrstrecke hängt von Zufallsfaktoren ab und ist somit auch dem Versuchsleiter im Vorhinein nicht genau bekannt. Sie werden jedoch maximal 3 Stunden unterwegs sein. **Zu einem oder zwei Zeitpunkt/en** erhalten Sie durch das System jeweils eine **Rückmeldung über die verbleibende Entfernung** bis zum Ziel.

Sobald Sie das **Ziel erreicht** haben, erhalten Sie ebenfalls eine **Rückmeldung**.

A.2.2 Exp. 2 - Instruktionsblatt 1 (Aufgabe und Rahmenbedingungen) - Bedingungen mit Müdigkeitswarnung (Kaffeetasse / Bild) -

Information für Studienteilnehmerinnen und -teilnehmer

Liebe Teilnehmerin, lieber Teilnehmer,

hier finden Sie die wichtigsten Informationen zu Ihrer späteren Fahraufgabe. Bitte lesen Sie die Informationen aufmerksam durch.

Müdigkeit beim Autofahren führt zu Leistungseinschränkungen und spielt eine nicht unerhebliche Rolle bei der Verursachung von Unfällen im Straßenverkehr. Zur Bekämpfung akuter Müdigkeit konnten bisher nur zwei Maßnahmen wissenschaftlich als wirksam bestätigt werden: ein kurzes Nickerchen von ca. 10-15 Minuten *oder* die Zufuhr von Koffein, z.B. durch eine Tasse Kaffee oder ein koffeinhaltiges Erfrischungsgetränk („Energy-Drink“).

Ihre heutige Fahrt im Simulator ist vergleichbar mit einer realen Verkehrssituation. Sie fahren eine bestimmte Strecke, wobei Ihre Müdigkeit das Auftreten von Fehlern beim Fahren wahrscheinlicher macht – z.B. durch Sekundenschlaf oder die Begünstigung von Unaufmerksamkeit.

Ihre Aufgabe im Fahrscenario ist es, eine vorgegebene Strecke bis zum Ende zu fahren. Dabei gelten bestimmte Rahmenbedingungen:

- Sie erhalten für Ihre Fahrt eine **Grundvergütung von 5 €**.
- **Zusätzlich** zu dieser Grundvergütung haben Sie die Chance einen **Zielbonus von 30 €** zu erwerben, wenn es Ihnen gelingt, die Strecke **bis zum Ende** zu fahren, **ohne einen Fahrfehler** zu machen (was das bedeutet, können Sie gleich noch ausprobieren). Sollte Ihnen ein Fahrfehler unterlaufen, bekommen Sie dies sofort zurückgemeldet.
- **Unterläuft** Ihnen ein solcher **Fahrfehler**, **entfällt der Zielbonus**; sie bekommen also in diesem Fall nur Ihre Grundvergütung.
- Wenn Sie befürchten, aufgrund Ihrer Müdigkeit einen Fahrfehler zu machen, können Sie eine **Pause machen**, in der Sie einen Kaffee trinken oder im Fahrzeug ein kurzes Schläfchen halten können, um Ihre Fahrtüchtigkeit wiederherzustellen. Eine Pause kostet 1,50 €. Erreichen Sie danach fehlerfrei das Ziel, bekommen Sie also immer noch einen **Zielbonus von 28,50 €** (im Vergleich zu 30 € bei fehlerfreier Zielerreichung ohne vorherige Pause). Dies gilt unabhängig davon, ob Sie vor der Pause bereits eine Müdigkeitswarnung (s.u.) erhalten haben oder nicht.
- Ihr Fahrzeug verfügt über ein **Müdigkeitssystem**, das gefährliche Fahrzustände erkennen kann. Identifiziert das System bei Ihnen einen kritischen Müdigkeitszustand, in dem das Risiko eines Fahrfehlers erhöht ist, bekommen Sie eine entsprechende Rückmeldung. Diese erfolgt durch einen **Warnton** und eine „**Pause empfohlen**“-Einblendung auf dem **Display** rechts vom Lenkrad, welche **für 2 Minuten sichtbar** ist und dann von selbst wieder verschwindet. Das System ist so eingestellt, dass es bei anhaltender oder wiederkehrender Müdigkeit **höchstens ein Mal** die **Warnung wiederholt**, also während der gesamten Fahrzeit maximal 2 Warnungen ausgibt. Bei der Warnung handelt es sich um eine reine **Empfehlung** des Systems; ob Sie eine **Pause** machen oder nicht, **entscheiden Sie selbst**.

Die Länge der zu absolvierenden Fahrstrecke hängt von Zufallsfaktoren ab und ist somit auch dem Versuchsleiter im Vorhinein nicht genau bekannt. Sie werden jedoch maximal 3 Stunden unterwegs sein. Sobald Sie das **Ziel erreicht** haben, erhalten Sie eine **Rückmeldung**.

A.2.3 Exp. 2 - Vorbefragung



1. Wie alt sind Sie?

Jahre

2. Bitte geben Sie Ihr Geschlecht an.

männlich weiblich

3. Bitte geben Sie Ihren höchsten Abschluss an.

kein Abschluss
 Hauptschulabschluss
 Realschulabschluss
 abgeschlossene Lehre / Ausbildung
 Abitur
 Hochschulabschluss
 sonstiges, und zwar:

4. Welcher Tätigkeit gehen Sie im Moment nach?

Schüler/in
 in Ausbildung
 Student/in
 nicht berufstätig
 berufstätig
 im Ruhestand
 sonstiges, und zwar:

5. Was ist Ihre Muttersprache?

deutsch
 englisch
 andere Sprache – bitte eingeben:

6. Auf einer Skala von 0 – 100%: Wie gut verstehen Sie die deutsche Sprache?

0 10% 20% 30% 40% 50% 60% 70% 80% 90% 100%

7. Auf einer Skala von 0 – 100 %: Wie gut sprechen Sie die deutsche Sprache?

0 10% 20% 30% 40% 50% 60% 70% 80% 90% 100%

8. Wann sind Sie letzte Nacht schlafen gegangen?

Bitte geben Sie an, wann Sie tatsächlich ins Bett gegangen sind, auch wenn diese Zeit von der abgesprochenen Schlafzeit abweicht. Format HH:MM, also z.B. „00:25“

um ca. Uhr

Bis wann haben Sie heute geschlafen?

Bitte geben Sie an, wann Sie vor der Studie aufgestanden sind, auch wenn diese Zeit von der abgesprochenen Aufstehzeit abweicht.

Format: HH:MM, also z.B. „06:30“.

bis ca. Uhr

Wie beurteilen Sie Ihren momentanen Zustand auf dieser Skala?

0	1	2	3	4	5	6	7	8
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>				
sehr wach		wach		weder wach noch müde		müde, aber keine Probleme wach zu bleiben		Sehr müde, große Probleme wach zu bleiben, mit dem Schlaf kämpfend

ENDE TEIL 1. Bitte klicken Sie "Weiter" und informieren Sie den Versuchsleiter.

A.2.4 Exp. 2 - Nachbefragung (Bsp. 1: Typ = Warnung, Anzahl = 1, Pause = ja)



Bitte Vp-Nr. eingeben. (MWII_)

Welche Zielentfernung wurde Ihnen mit der Müdigkeitswarnung zusammen angegeben?

Der Warnungstext lautete: „Noch km bis zum Ziel“ weiß ich nicht

Welches Bild zeigte Ihnen das Müdigkeitssystem auf dem Display an?

einen Wecker
 ein Auge
 eine Kaffeetasse
 eine Fahne
 mein eigenes Foto
 das Foto einer anderen Person
 weiß ich nicht

Die folgenden Fragen beziehen sich ausschließlich auf Ihre Gedanken und Empfindungen während der gerade absolvierten Fahrt im Simulator:

Wie beurteilen Sie Ihren Zustand unmittelbar vor der Müdigkeitswarnung auf dieser Skala?

0 1 2 3 4 5 6 7 8
sehr wach wach weder wach noch müde müde, aber keine Probleme wach zu bleiben Sehr müde, große Probleme wach zu bleiben, mit dem Schlaf kämpfend

Wie schwerwiegend / schlimm erschien Ihnen nach der Müdigkeitswarnung die Möglichkeit, aufgrund eines Fahrfehlers den Zielbonus zu verlieren?

0 1 2 3 4 5 6 7 8 9
gar nicht schwerwiegend / schlimm sehr schwerwiegend / schlimm

Sie haben sich entschieden, eine Pause zu machen.

Für wie wahrscheinlich haben Sie es gehalten, dass Ihnen sonst (ohne Pause) ein Fahrfehler unterläuft?

Bitte wählen Sie einen Wert zwischen 0 und 100 Prozent Wahrscheinlichkeit aus.

[Bitte auswählen]

Für wie wahrscheinlich haben Sie es gehalten, dass Ihnen nach der Pause ein Fahrfehler unterläuft?

Bitte wählen Sie einen Wert zwischen 0 und 100 Prozent Wahrscheinlichkeit aus.

[Bitte auswählen]

Nicht jede Fahrsituation eignet sich gleichermaßen dazu, eine Pause einzulegen.

Wie sehr fühlten Sie sich nach der Müdigkeitswarnung dazu in der Lage, eine Pause zu machen?

0 1 2 3 4 5 6 7 8 9
gar nicht sehr stark

Wie wahrscheinlich war es nach der Müdigkeitswarnung, dass Sie eine Pause einlegen?

0 1 2 3 4 5 6 7 8 9

nicht
wahrscheinlich

sehr
wahrscheinlich

In dieser Untersuchung bekommen Sie 30 € Bonus für eine erfolgreiche Zielerreichung. Ein Fahrfehler resultiert in einem kompletten Wegfall des Bonus. Eine Pause zu machen führt zu einem leichten Abzug (-1,50 €), so dass Sie nach einer Pause noch 28,50 € Zielbonus bekommen.

Wie groß dürfte der durch eine Pause entstehende Abzug vom Zielbonus 30 € maximal sein, damit Sie noch darüber nachdenken, eventuell eine Pause einzulegen?

Pause dürfte zu maximal € Abzug vom Zielbonus führen

Wie ablenkend fanden Sie die Warnungsanzeige für Ihre Fahraufgabe?

gar nicht
ablenkend

stark
ablenkend

Wie aktivierend wirkte das Anzeigen der Warnung auf Sie?

0 1 2 3 4 5 6 7 8 9

gar nicht
aktivierend

stark
aktivierend

Was haben Sie getan, um sich wach zu halten?

Bitte beschreiben Sie kurz, mit welchen Maßnahmen / Verhaltensweisen Sie versucht haben, Ihrer Müdigkeit entgegenzuwirken.

habe nichts getan, um mich wach zu halten

Wie beurteilen Sie Ihren momentanen Zustand auf dieser Skala?

0 1 2 3 4 5 6 7 8

sehr wach

wach

weder wach noch müde

müde, aber keine Probleme wach zu bleiben

Sehr müde, große Probleme wach zu bleiben, mit dem Schlaf kämpfend

Die folgenden Fragen beziehen sich nicht auf die Fahrsimulation, sondern auf Ihre realen Erfahrungen als Autofahrer:

Hatten Sie mit dem Auto mitverschuldete Unfälle?

Falls ja, geben Sie bitte an, wie viele.

ja (bitte Anzahl mitverschuldeter Unfälle angeben)

nein

Haben Sie beim Autofahren schon einmal Sekundenschlaf erlebt?

ja

nein

Hatten Sie mitverschuldete Unfälle, bei denen Müdigkeit eine ursächliche Rolle spielte?
Falls ja, geben Sie bitte an, wie viele.

- ja (Anzahl müdigkeitsbedingter Unfälle)
 nein

Haben Sie vor dieser Untersuchung schon einmal etwas von Kfz-Müdigkeitswarnsystemen gehört?

- ja
 nein

Sind Sie schon einmal mit einem Fahrzeug gefahren, das mit einem Müdigkeitswarnsystem ausgestattet war?

Falls „ja“, geben Sie bitte den Fahrzeugtyp an.

- ja (Angaben zum Fahrzeugtyp)
 nein

Besitzt Ihr eigenes Fahrzeug ein Müdigkeitswarnsystem?

Falls „ja“, geben Sie bitte den Fahrzeugtyp an.

- ja (Angaben zum Fahrzeugtyp)
 nein

Sie haben ein Müdigkeitswarnsystem in Ihrem Auto oder angenommen, Sie hätten eines. Wie wahrscheinlich ist / wäre es generell, dass Sie eine Pause einlegen, wenn das System eine solche empfiehlt?

0 1 2 3 4 5 6 7 8 9

nicht
wahrscheinlich sehr
wahrscheinlich

Wenn Sie während des Fahrens eine Warnung erhalten haben, die KEIN Foto von Ihnen beinhaltet, klicken Sie in dieser Frage bitte auf „entfällt“.

Wenn Sie während des Fahrens eine Warnung erhalten haben, die ein Foto von Ihnen beinhaltet, wenden Sie sich bitte an den Untersuchungsleiter. Dieser wird Ihnen das Bild noch einmal zeigen.

Wie müde sehen Sie Ihrer Meinung nach auf diesem Bild aus?

0 1 2 3 4 5 6 7 8

sehr wach,
gar nicht
müde sehr müde,
mit dem
Schlaf
kämpfend

entfällt

A.2.5 Exp. 2 – Nachbefragung (Bsp. 2: Typ = Entfernungsmeld., Anzahl = 2, Pause = nein)



Bitte Vp-Nr. eingeben. (MWII_)

Die folgenden Fragen beziehen sich ausschließlich auf Ihre Gedanken und Empfindungen während der gerade absolvierten Fahrt im Simulator.

Sie haben während der Fahrt 2 Entfernungsrückmeldungen erhalten.

Achtung: Die folgenden Fragen beziehen sich immer auf den

Zeitpunkt der 1. Entfernungsmeldung

Welche Zielentfernung wurde Ihnen mit der 1. Entfernungsrückmeldung zusammen angegeben?

Der Anzeigetext lautete: „Noch km bis zum Ziel“ weiß ich nicht

Welches Bild zeigte Ihnen das System zusammen mit der 1. Entfernungsrückmeldung auf dem Display an?

einen Wecker
 ein Auge
 eine Kaffeetasse
 eine Fahne
 mein eigenes Foto
 das Foto einer anderen Person
 weiß ich nicht

Wie beurteilen Sie Ihren Zustand unmittelbar vor der 1. Entfernungsrückmeldung auf dieser Skala?

0 1 2 3 4 5 6 7 8

sehr wach wach weder wach noch müde müde, aber keine Probleme wach zu bleiben Sehr müde, große Probleme wach zu bleiben, mit dem Schlaf kämpfend

Wie schwerwiegend / schlimm erschien Ihnen nach der 1. Entfernungsrückmeldung die Möglichkeit, aufgrund eines Fahrfehlers den Zielbonus zu verlieren?

0 1 2 3 4 5 6 7 8 9
gar nicht schwerwiegend / schlimm sehr schwerwiegend / schlimm

Wie beurteilen Sie Ihren momentanen Zustand auf dieser Skala?

0	1	2	3	4	5	6	7	8
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>						
sehr wach		wach		weder wach noch müde		müde, aber keine Probleme wach zu bleiben		Sehr müde, große Probleme wach zu bleiben, mit dem Schlaf kämpfend

Die folgenden Fragen beziehen sich nicht auf die Fahrsimulation, sondern auf Ihre realen Erfahrungen als Autofahrer:

Hatten Sie mit dem Auto mitverschuldete Unfälle?

Falls ja, geben Sie bitte an, wie viele.

- ja (bitte Anzahl mitverschuldeteten Unfälle angeben)
- nein

Haben Sie beim Autofahren schon einmal Sekundenschlaf erlebt?

- ja
- nein

Hatten Sie mitverschuldete Unfälle, bei denen Müdigkeit eine ursächliche Rolle spielte?

Falls ja, geben Sie bitte an, wie viele.

- ja (Anzahl müdigkeitsbedingter Unfälle)
- nein

Haben Sie schon einmal etwas von Kfz-Müdigkeitswarnsystemen gehört?

- ja
- nein

Sind Sie schon einmal mit einem Fahrzeug gefahren, das mit einem Müdigkeitswarnsystem ausgestattet war?

Falls „ja“, geben Sie bitte den Fahrzeugtyp an.

- ja (Angaben zum Fahrzeugtyp)
- nein

Besitzt Ihr eigenes Fahrzeug ein Müdigkeitswarnsystem?

Falls „ja“, geben Sie bitte den Fahrzeugtyp an.

- ja (Angaben zum Fahrzeugtyp)
- nein

Sie haben ein Müdigkeitswarnsystem in Ihrem Auto oder angenommen, Sie hätten eines. Wie wahrscheinlich ist / wäre es generell, dass Sie eine Pause einlegen, wenn das System eine solche empfiehlt?

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
<input type="radio"/>									
nicht wahrscheinlich									sehr wahrscheinlich

A.3 Methoden und Materialien in beiden Experimenten

A.3.1 Übersicht über methodische Veränderungen in Exp. 2 im Vergleich zu Exp. 1

Kontext	Maßnahme	Ansatzpunkt	Exp. 1	Exp. 2
Anreizsituation / Höhe der Schutzmotivation	Fahrfehler wahrscheinlicher machen Aufgabenschwierigkeit erhöhen	Toleranz für Spurabweichung	halbe Fahrzeugbreite jenseits der Fahrbahnmarkierung	1 Rad jenseits der Fahrbahnmarkierung
		Kurven im Parcours	geringe Zahl	höhere Zahl
		mitgeteilte voraussichtliche Dauer des Fahrversuchs	min. 1, max. 2 Stunden	min. 1, max. 3 Stunden
	Subjektive Müdigkeit (zum und nach WZP) erhöhen	Testzeit	nachmittags ab 14:30 Uhr abends ab 19:00 Uhr	nachts ab 01:00 Uhr
		max. Fahrzeit bis Warnung	60 min	120 min
		max. Fahrzeit ab Warnung bis Ende des Versuchs	30km-Bedingung: 20 min 100km-Bedingung: 30 min	30km-Bedingung: 20 min 100km-Bedingung: 60 min
	Eindringlichkeit der Warnung erhöhen	Wiederholung von Warnungen	nur 1 x Warnung	müdigkeitsabhängig bis zu 2x Warnung / Rückmeldung
	Schweregrad der Bedrohung (finanzieller Verlust bei Fahrfehler) erhöhen	Grundvergütung	15 €	5 €
		Bonus "Erfolg" ohne Pause	15 €	30 €
		Bonus nach Fahrfehler	0 €	0 €
Pausenkosten senken	Bonus "Erfolg" nach Pause	10 € (Pausenkosten: -5,00 €)	28,50 € (Pausenkosten: -1,50 €)	
Teststärke	Verständlichkeit der Fragebogen-Items optimieren	Formulierung der Items im Fragebogen zu Modellfaktoren	allgemein	situationspezifisch
	Design: mögliche Effektgröße maximieren	Faktorstufen "Warnungstyp"	<i>Eigenes Bild vs. Kaffeetasse</i>	<i>Eigenes Bild vs. Baseline reine Entfernungsrückmeldung</i>
	Reduktion von Fehlervarianz	Reduktion von interindividueller Varianz	heterogene Stichprobe	homogenere Stichprobe aus der am meisten gefährdeten Altersgruppe

A.3.2 Exp. 1 und 2 - Screening-Fragebogen



Fahrsimulatorstudie - Vorab-Befragung

Hallo. Wir freuen uns, dass Sie sich für unsere Fahrsimulatorstudie interessieren.

Je nach Fragestellung einer Studie werden Probanden mit unterschiedlichen Eigenschaften benötigt. Bitte beantworten Sie uns dazu die unten stehenden Fragen vollständig und wahrheitsgemäß.

Ihre Antworten werden ausschließlich zur Kontrolle der Stichprobenausammensetzung verwendet und sofort gelöscht, sobald sie diesen Zweck erfüllt haben.

Wie alt sind Sie?

 Jahre

Bitte geben Sie Ihr Geschlecht an.

 männlich weiblich

Welcher Tätigkeit gehen Sie im Moment nach?

 Schüler/in
 in Ausbildung
 Student/in
 nicht berufstätig
 berufstätig
 im Ruhestand
 sonstiges, und zwar:

Nehmen Sie zur Zeit Medikamente?

(Falls Sie ausschließlich die „Pille“ zur Verhütung und keine anderen Medikamente nehmen, kreuzen Sie bitte ebenfalls „nein“ an.)

 ja nein

Besitzen Sie einen Führerschein für Pkw?

 ja nein

Seit wie vielen Jahren besitzen Sie einen Führerschein für Pkw?

Falls Sie keinen Führerschein besitzen, tragen Sie bitte „0“ ein.

Kommazahlen sind möglich, z.B. „0,5“ für ein halbes Jahr.

seit Jahren

Wie viele Stunden pro Woche fahren Sie durchschnittlich aktiv (d.h. als Fahrer) mit einem Pkw?

Kommazahlen sind möglich, z.B. „2,5“ für zweieinhalb Stunden (2h 30 min).

ca. Stunden pro Woche

Wie viele Stunden schlafen Sie durchschnittlich pro Nacht?

Minuten können Sie wieder als Nachkommazahl angeben, z.B. „0,5“ für 30 Minuten oder „0,25“ für 15 Minuten.

etwa Stunden

Um welche Zeit gehen Sie an Arbeitstagen üblicherweise schlafen?

im Format HH:MM, also zum Beispiel „01:30“ Uhr

ca. um Uhr

Um welche Zeit stehen Sie an Arbeitstagen üblicherweise auf?
im Format HH:MM, also z.B. „07:25“ Uhr

ca. um Uhr

An wie vielen Tagen pro Woche (inkl. Wochenende) weichen Sie um insgesamt mehr als 1h von den oben genannten Einschlaf- und Aufstehzeiten ab?

Beispiel: An den meisten Wochentagen gehen Sie um 00:00 Uhr ins Bett und stehen um 7:30 Uhr auf. Mittwochs, samstags und sonntags gehen Sie um 0:30 ins Bett und stehen am nächsten Tag um 8:30 auf. In diesem Fall tragen Sie „3“ ein.

Zahl der Tage mit Abweichung von mehr als 1 Stunde:

Sind Sie bereit, für die anstehende Studie ihre Schlafdauer in der Nacht vor dem Versuch durch späteres Zubettgehen auf 4,5 Stunden einzuschränken?

ja nein

Sind Sie bereit am Tag vor der anstehenden Studie auf den Genuss von Koffein bzw. anderen stimulierenden Substanzen zu verzichten?

ja nein

Sind Sie bereit, für die An- und Abreise zum bzw. vom Durchführungsort der Studie ausschließlich öffentliche Verkehrsmittel zu nutzen?

ja nein

Wenn Sie als Proband in Frage kommen, wie können wir Sie kontaktieren?

Bitte geben Sie eine E-Mail-Adresse und eine Telefonnummer an.

Wichtige Information zum Datenschutz: Dieser Fragebogen dient ausschließlich der Auswahl geeigneter Versuchspersonen für eine wissenschaftliche Studie zum Thema „Fahrverhalten bei Nacht“. Sollten Sie nicht dem für diese Studie benötigten Profil entsprechen, werden Ihre Daten umgehend gelöscht. Können Sie als Versuchsperson in Frage, werden Ihre Daten gelöscht, sobald wir Sie kontaktiert haben.

E-Mail und Telefonnummer:

A.3.3 Exp. 1 und 2 - Einverständniserklärung

Einverständniserklärung

zur Durchführung einer Simulationsstudie.

Ich erkläre hiermit freiwillig mein Einverständnis für das vorgesehene Experiment.

Ich bin über das Versuchsvorhaben vom Versuchsleiter _____ informiert worden und hatte die Gelegenheit, weiterführende Fragen zu stellen, welche zu meiner Zufriedenheit beantwortet wurden. Mit der anonymisierten Veröffentlichung der Daten, die in dieser Studie erhoben werden, erkläre ich mich einverstanden.

Mir ist ausdrücklich bekannt, dass ich das Experiment jederzeit ohne Angabe von Gründen sofort abbrechen kann und ich die Einwilligung zur Verwendung meiner Daten jederzeit widerrufen und die Vernichtung meiner Daten fordern kann.

Ort und Datum

Unterschrift Proband

Unterschrift Versuchsleiter

A.3.4 Exp. 1 und 2 - Referenzkarte mit Müdigkeitsstufen und -indikatoren nach Dittrich et al. (2009)

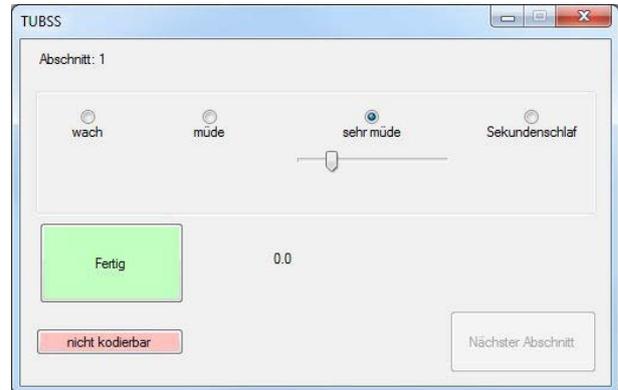
1 wach	2 müde / schläfrig	3 sehr müde	4 Sekundenschlaf
Schnelle Lidschläge (<0.5 Sek)	Lidschlüsse (ca. 0,5 bis 1 Sek)	Lange Lidschlüsse (1 bis 2 Sek)	Auftreten von Sekundenschlaf
Schnelle Blicke (Sakkaden)	Seltene Sakkaden, lange Fixationen („glasiger Blick“)	Seitwärtsrollen der Augen	Überlange Lidschlüsse
Normaler Gesichtstonus	Häufigere Lidschläge	Fehlende Fixation	Keine Körperbewegung
Gelegentliche Körperbewegungen	Geringer Gesichtstonus („schlaffes Gesicht“)	Seltene Lidschläge	Während Übergang zum Sekundenschlaf (Wegnicken & Wiederaufwachen):
Kleinere Lenkradbewegungen	Selbstaktivierende Verhaltensweisen (Manierismen): Augenreiben, Gesichtreiben, Grimassieren, Kratzen, Ruheloses Hin- und Herrutschen im Sitz	Geringer Gesichtstonus	Ruckartige bzw. schreckhafte Körperbewegungen, Wiederaufrichten des Kopfes/Körpers
		Nur vereinzelte Körperbewegungen	
		Bequeme Position im Sitz	
		Nur vereinzelte, große Lenkradbewegungen	

A.3.5 Exp. 1 und 2 - Gewinnung der Müdigkeitswerte mit der TUBSS

Schritt 1



Schritt 2



Graphische Benutzeroberfläche zur Eingabe der TUBSS-Ratings

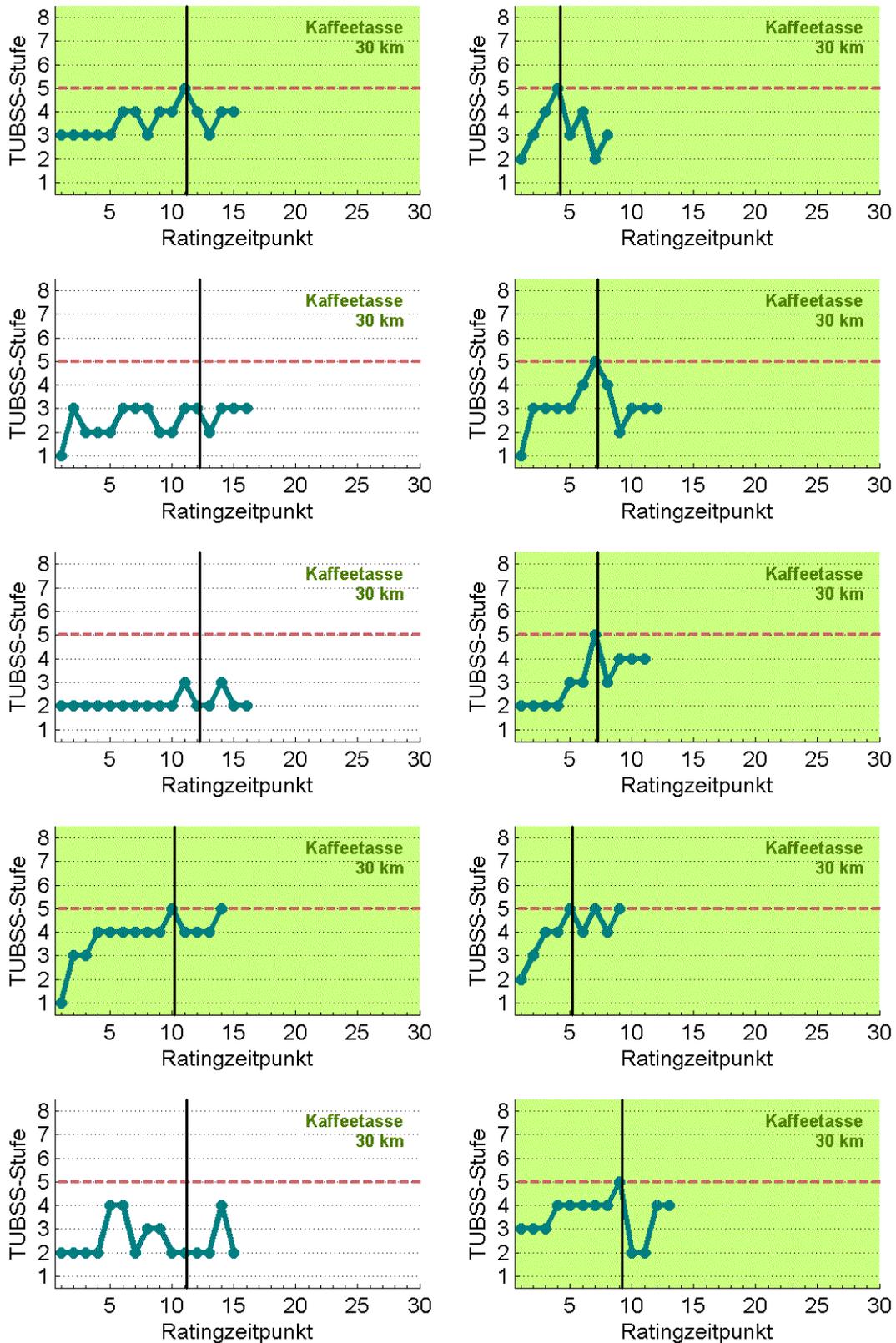
Schritt 1	wach		müde		sehr müde		Sekundenschlaf	
	1	2		3		4		
	wach	müde		sehr müde		Sekundenschlaf		
Schritt 2								
	1	2	3	4	5	6	7	8
	wach	schläfrig, Tendenz zu wach	schläfrig	schläfrig, Tendenz zu sehr müde	sehr müde, Tendenz zu schläfrig	sehr müde	sehr müde, Tendenz zu Schlaf	Schlaf

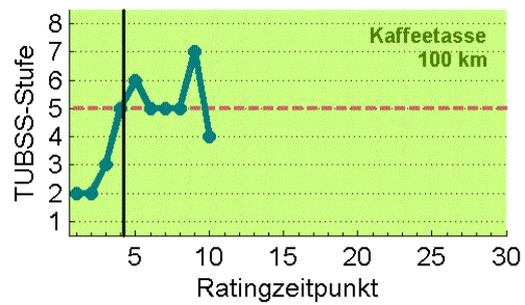
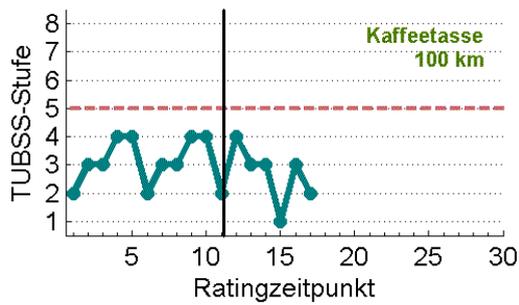
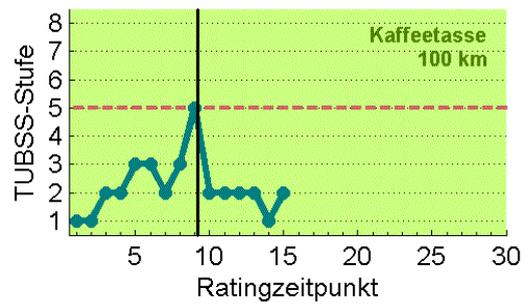
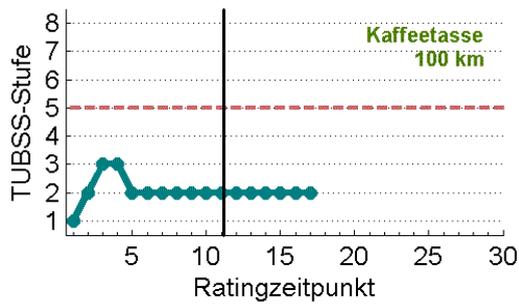
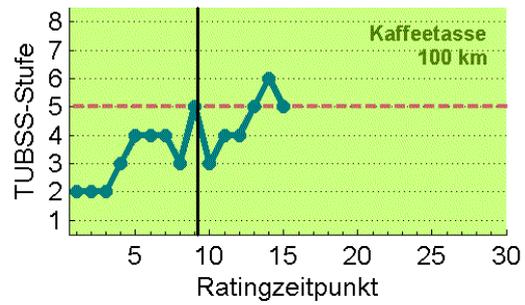
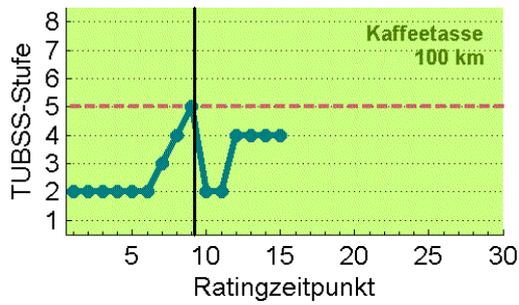
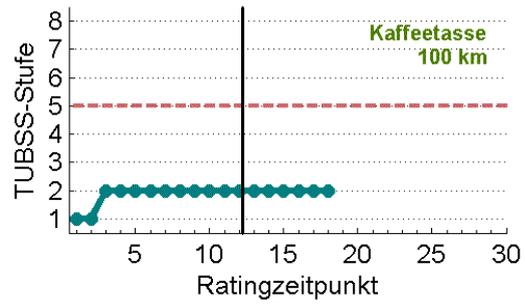
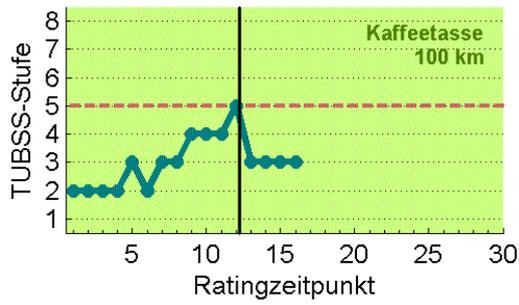
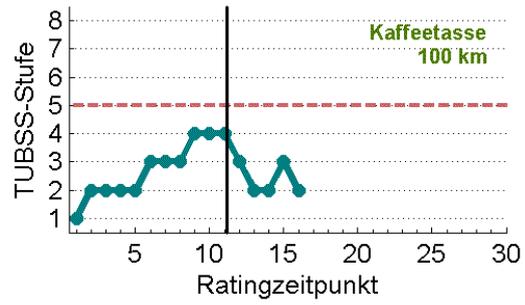
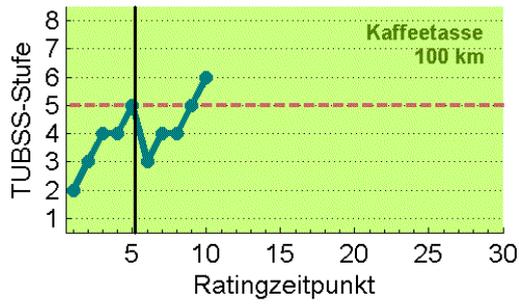
Schematische Darstellung der Gewinnung der TUBSS-Werte, grau markiert der Kriteriumswert, der für die Anzeige einer Müdigkeitswarnung mindestens erreicht sein musste

B Ergebnisse

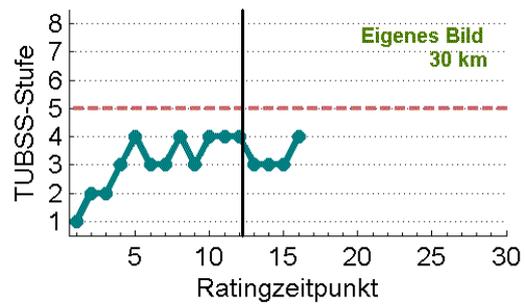
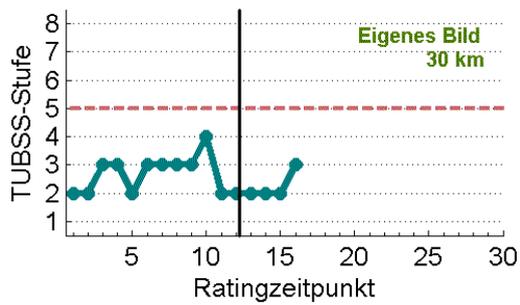
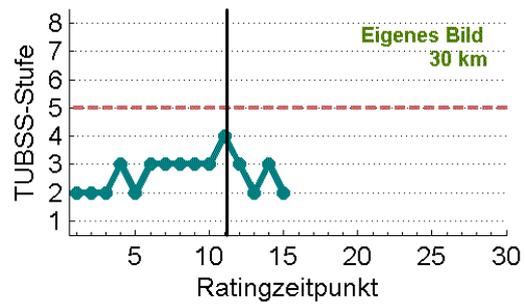
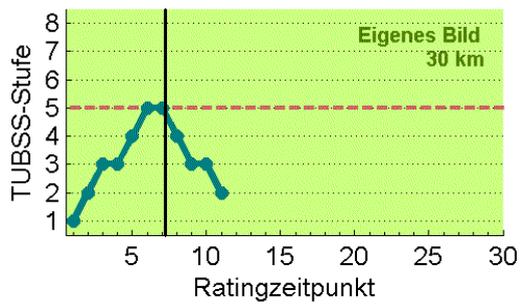
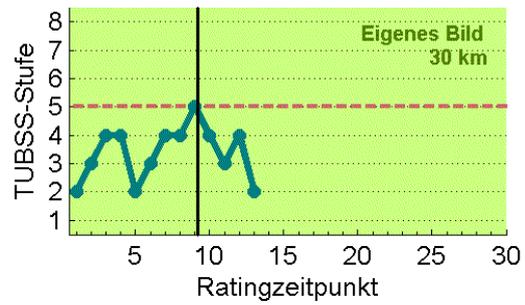
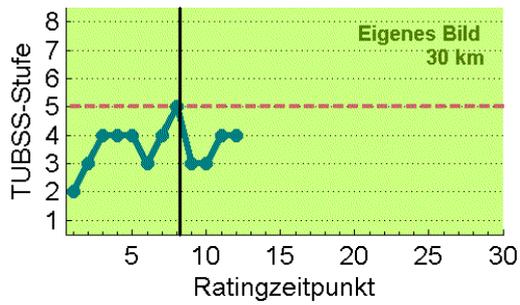
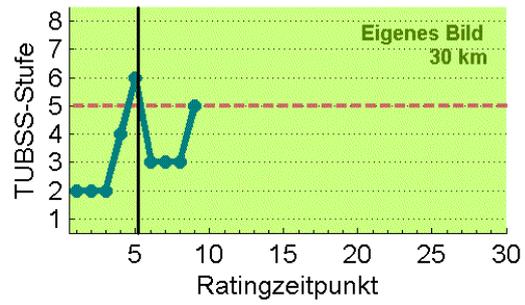
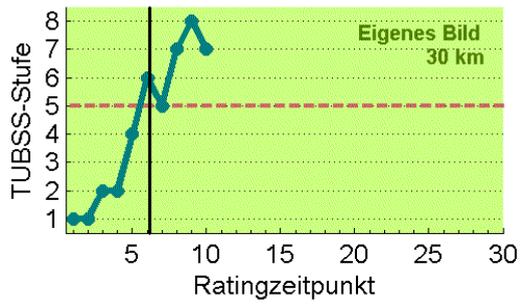
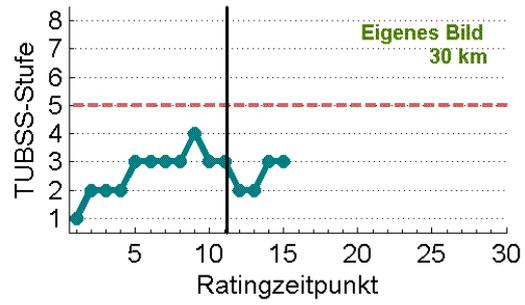
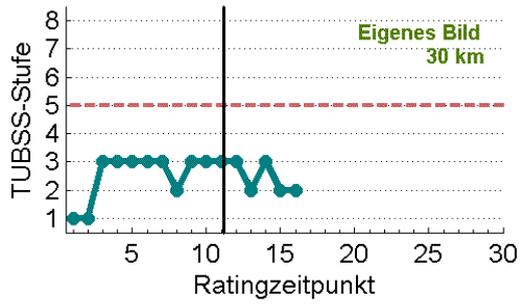
B.1 Ergebnisse Experiment 1

B.1.1 Exp. 1 - TUBSS-Müdigkeitsverläufe aller Teilnehmer

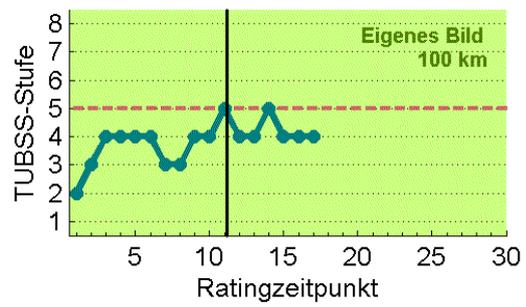
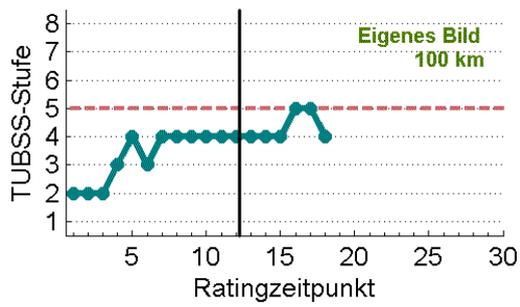
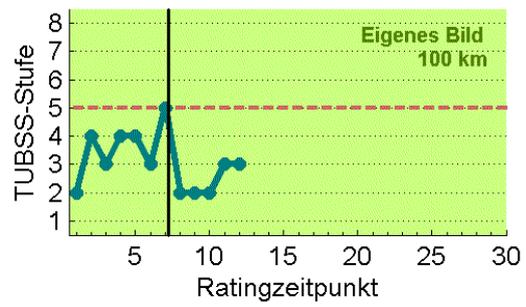
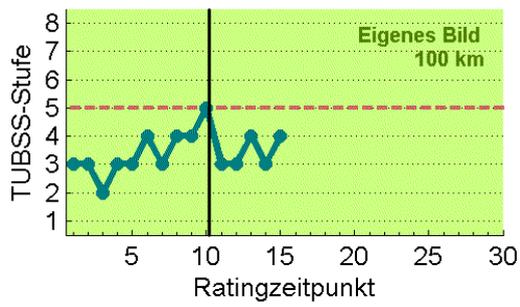
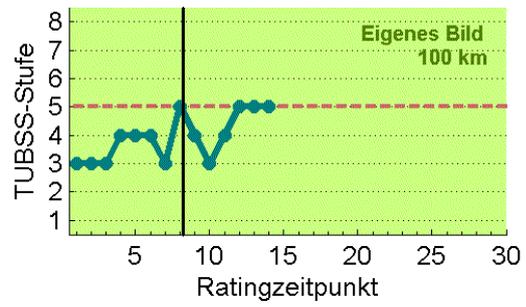
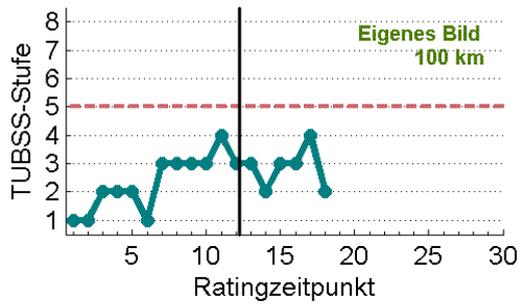
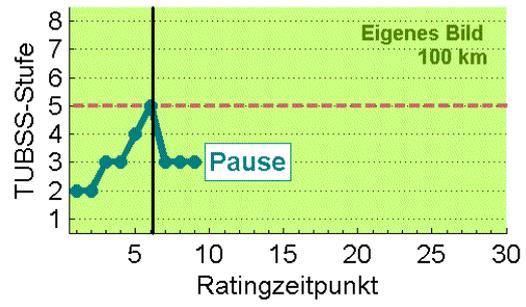
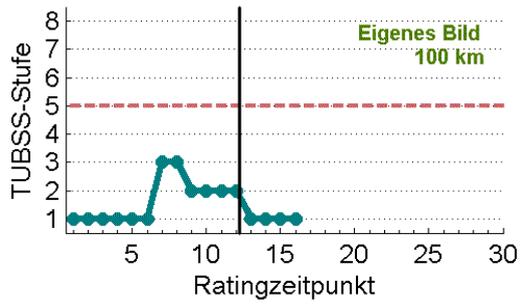
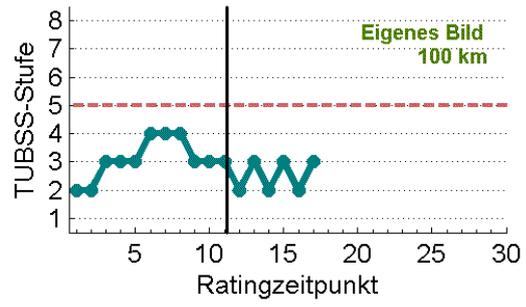
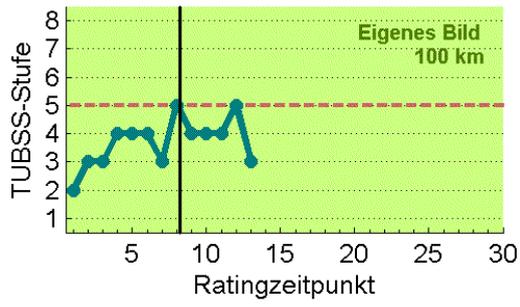




Legende: x-Achse = Nr. des TUBSS-Ratings (im Abstand von 5 Minuten). Senkrechte Linie = Warnzeitpunkt. Rote Linie = Müdigkeitskriterium für Anzeige der Warnung. Grün hinterlegt = Fälle, in denen die Anzeige der Warnung durch Erreichen des Müdigkeitskriteriums (nicht der maximalen Fahrzeit von 1 Stunde) veranlasst wurde.



Anmerkung: Ein Teilnehmer in der Bedingung Eigenes Bild – 30 km (Zeile 4, Spalte 1 in der Abbildung) hatte vor Anzeige der Warnung bereits zu zwei TUBSS-Ratingzeitpunkten das Müdigkeitskriterium erreicht. Da zum ersten Zeitpunkt das Warnungsporträt noch nicht fertig editiert war, erfolgte die Warnanzeige nach dem zweiten Zeitpunkt.



B.1.2 Exp. 1 - Angaben der Teilnehmer zu Wachhaltestrategien

VP Nr.	"Was haben Sie getan, um sich wach zu halten?" - Wortlaut der Antwort
1	Mit Gedanken, was alles noch getan werden muss
2	gesungen und gesummt
3	ans ziel gedacht
4	sitzpositionen gewechselt, augen zwangsgeöffnet
5	Lüftung betätigt, Simulationslandschaft betrachtet
6	Ich summt Lieder in mich hinein, lautes Singen, was ich sonst tue, fand ich im Test nicht angebracht.
7	Muskeln angespannt, tief durch geatmet
8	Bestimmte Lieder "im Ohr gehabt"; Betrachtung von wiederkehrenden Landschaftselementen
9	Daran gedacht nicht einzuschlafen.
10	Sitzposition verändert und Lenkrad anders gehalten.
11	singen, massieren, vibrationen spüren, rechts links schauen, "Mond "suchen
12	umhergeschaut, nachgedacht - über schlechte Lenkung
13	abwechselnd eine Hand auf den Schoß gelegt, mit dem linken Fuß gewippt
14	versucht nicht mit den Gedanken abzuschweifen und sich wieder stärker auf das Fahren zu konzentrieren
15	über schöne / interessante Dinge nachgedacht, Sitzposition gewechselt
16	gesungen, sich bewegt
17	über Dinge nachgedacht, Gesichtsgymnastik
18	Sitzposition etwas ändern, kneifen
19	Bewegung der Beine und des Rückens, Zählen der Baken
20	nur die fahrspur im auge
21	auf den Lenkrad klopfen, augen hochziehen, im realen: fenster runter, und radio laut aufdrehen
22	abwechselnd auf Straße, Fahrbahnrand, Umgebung und Armatur geschaut, häufiges Aufgenzwinkern (auch abhängig von den Kontaktlinsen)
23	konzentrieren
24	die Konzentration 100 zu fahren war genügend Ablenkung
25	kleine Bewegungen, mit dem Fuß wippen, etc.
26	Bewegungen der Arme und Beine, bewußtes Gähnen, Vor- und Zurücklehnen des Oberkörpers
27	schlucken, sitzpositionswechsel
28	stärkere Konzentration Auf die Strasse
29	mit dem Lenkrad und dem Gaspedal gespielt
30	ich hatte viel Fantasie
31	Sitzposition geändert, nachgedacht
32	auto langsam werden lassen um dann wieder beschleunigen zu können (abwechslung), trommeln auf dem lenkrad
33	wahrscheinlich vor mich hin gesummt
34	öfters die Position gewechselt
35	an was positives gedacht, was ich nach dem experiment machen werde
36	habe meine Arme gestreckt und versucht meine Gelenke zu bewegen
37	Rechenaufgaben lösen, Einkaufsliste machen, Schlängellinie fahren, Lieder summen
38	ich habe in Gedanken gesungen oder über komplizierte Dinge gegrübelt
39	Konzentration auf die Straße
40	habe versucht zu singen

B.1.3 Exp. 1 - Übersicht über alle abhängigen Variablen - Mittelwerte und Standardabweichungen für alle Faktorstufen, Signifikanztests

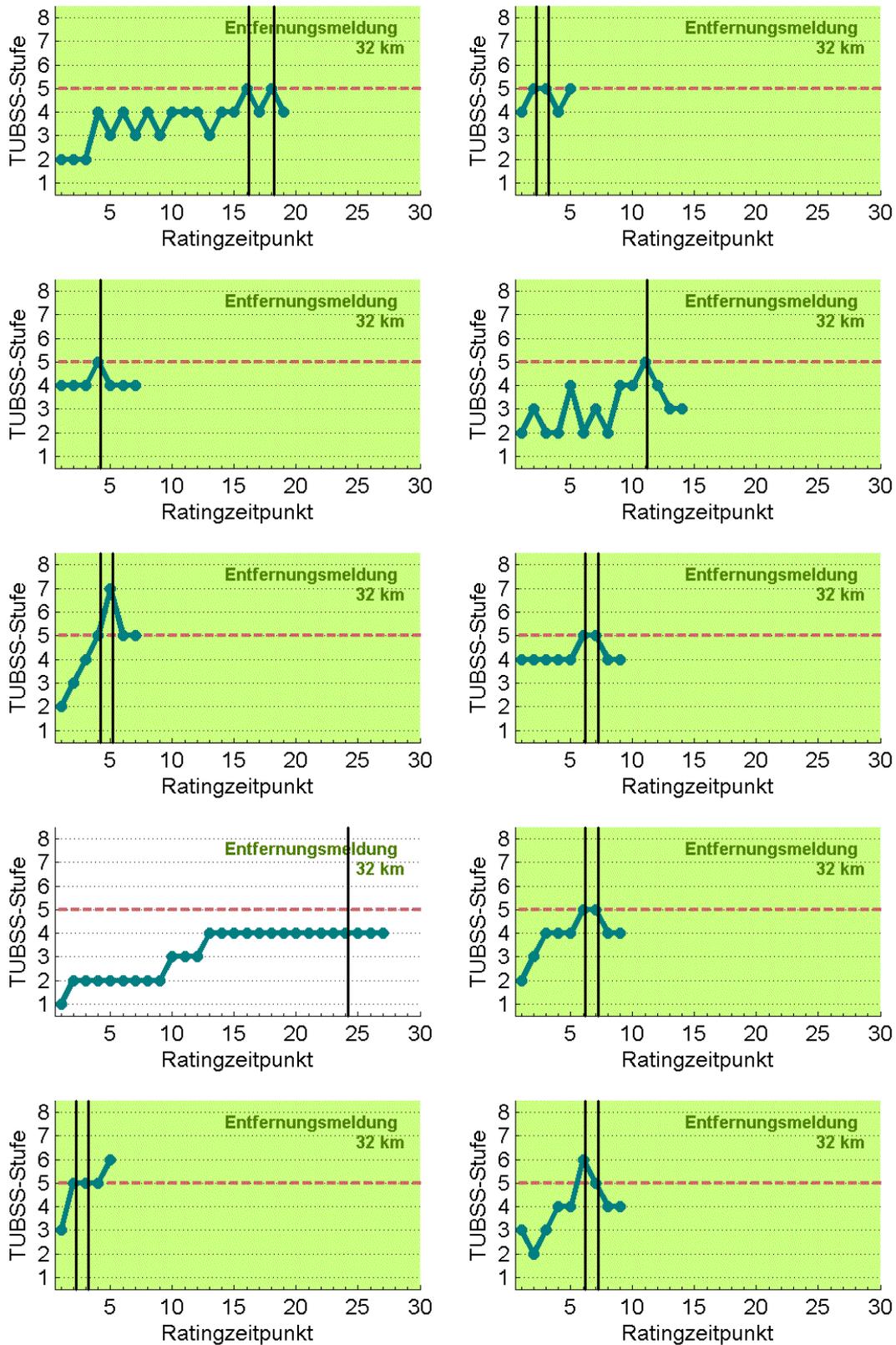
UV			AV (1)			
			Subjektive Vulnerabilität (Fahrfehler)	Subjektive Vulnerabilität (Einschlafen)	Subjektiver Schweregrad der Schädigung (Fahrfehler)	Subjektiver Schweregrad der Schädigung (Einschlafen)
Gesamt	M		3,88	4,00	3,63	4,15
	SD		2,441	2,987	2,498	2,983
	n		40	27	40	27
nach Warnungstyp	Kaffeetasse	M	3,40	4,29	3,35	3,93
		SD	2,624	3,148	2,641	2,868
		n	20	14	20	14
	Eigenes Bild	M	4,35	3,69	3,90	4,38
		SD	2,207	2,898	2,382	3,203
		n	20	13	20	13
Signifikanztest			$F(1,36) = 1.569$ $p = .218$	$F(1,23) = 0.220$ $p = .643$	$F(1,36) = 0.521$ $p = .475$	$F(1,23) = .302$ $p = .588$
nach Zielentfernung	30 km	M	3,40	3,43	2,80	2,79
		SD	2,326	2,441	2,042	2,517
		n	20	14	20	14
	100 km	M	4,35	4,62	4,45	5,62
		SD	2,519	3,477	2,685	2,815
		n	20	13	20	13
Signifikanztest			$F(1,36) = 1.569$ $p = .218$	$F(1,23) = .937$ $p = .343$	$F(1,36) = 4.692$ $p = .037$	$F(1,23) = 7.313$ $p = .013$
nach Warnungstyp x Zielentfernung	KT-30km	M	2,50	3,57	2,20	2,71
		SD	2,321	3,101	1,989	2,563
		n	10	7	10	7
	KT-100km	M	4,30	5,00	4,50	5,14
		SD	2,710	3,266	2,799	2,795
		n	10	7	10	7
	EB-30km	M	4,30	3,29	3,40	2,86
		SD	2,058	1,799	2,011	2,673
		n	10	7	10	7
	EB-100km	M	4,40	4,17	4,40	6,17
SD		2,459	3,971	2,716	2,994	
n		10	6	10	6	
Signifikanztest			$F(1,36) = 1.256$ $p = .270$	$F(1,23) = 0.053$ $p = .820$	$F(1,36) = .728$ $p = .399$	$F(1,23) = 0.172$ $p = .682$

UV			Subjektive Handlungs- wirksamkeit Pause gegen <i>Fahrfehler</i>	Subjektive Handlungs- wirksamkeit Pause gegen <i>Einnicken</i>	Situative Selbstwirksamkeit	Subjektive Pausen- wahrscheinlichkeit
Gesamt	M		40,75	41,75	6,13	2,45
	SD		25,858	29,167	2,710	2,501
	n		40	40	40	40
nach Warnungstyp	Kaffeetasse	M	35,00	38,50	6,15	2,35
		SD	27,815	28,149	2,834	2,540
		n	20	20	20	20
	Eigenes Bild	M	46,50	45,00	6,10	2,55
		SD	23,005	30,522	2,654	2,523
		n	20	20	20	20
Signifikanztest			F(1,36) = 1.925 p = .174	F(1,36) = .470 p = .497	F(1,36) = .003 p = .956	F(1,36) = 0.066 p = .798
nach Zielentfernung	30 km	M	40,00	45,00	6,05	1,85
		SD	24,495	27,815	2,743	1,694
		n	20	20	20	20
	100 km	M	41,50	38,50	6,20	3,05
		SD	27,773	30,826	2,745	3,034
		n	20	20	20	20
Signifikanztest			F(1,36) = 0.033 p = .857	F(1,36) = .470 p = .497	F(1,36) = .028 p = .867	F(1,36) = 2.389 p = .131
nach Warnungstyp x Zielentfernung	KT-30km	M	34,00	42,00	6,20	2,30
		SD	25,473	22,509	3,084	2,058
		n	10	10	10	10
	KT-100km	M	36,00	35,00	6,10	2,40
		SD	31,340	33,747	2,726	3,062
		n	10	10	10	10
	EB-30km	M	46,00	48,00	5,90	1,40
		SD	23,190	33,267	2,514	1,174
		n	10	10	10	10
	EB-100km	M	47,00	42,00	6,30	3,70
		SD	24,060	28,983	2,908	3,020
n		10	10	10	10	
Signifikanztest			F(1,36) = 0.004 p = .952	F(1,36) = .003 p = .958	F(1,36) = .079 p = .781	F(1,36) = 2.007 p = .165

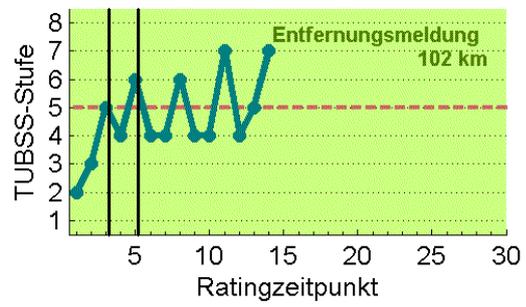
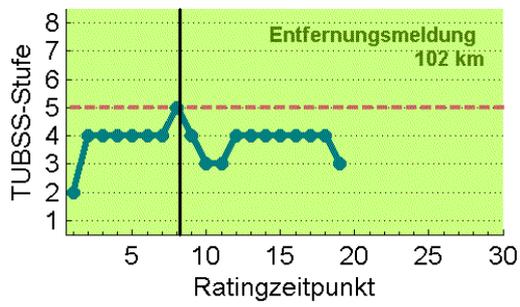
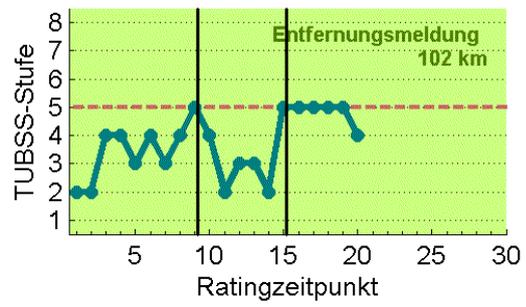
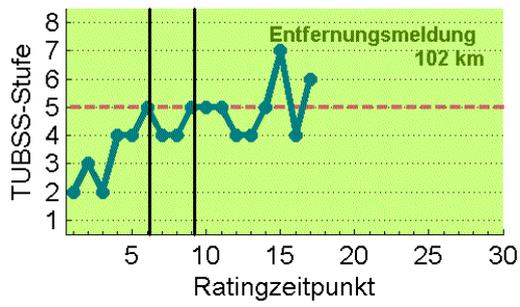
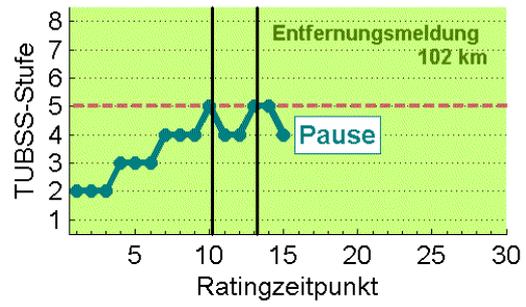
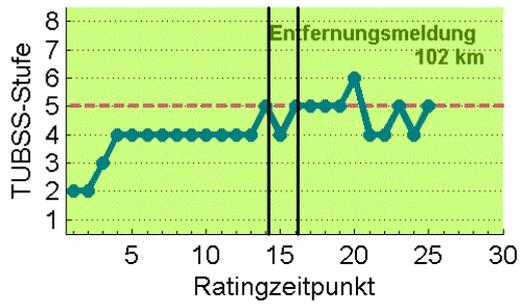
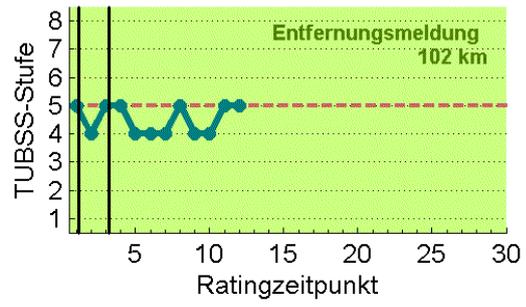
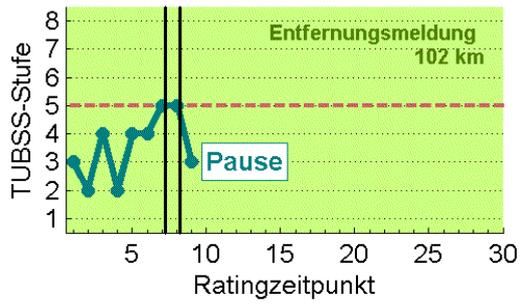
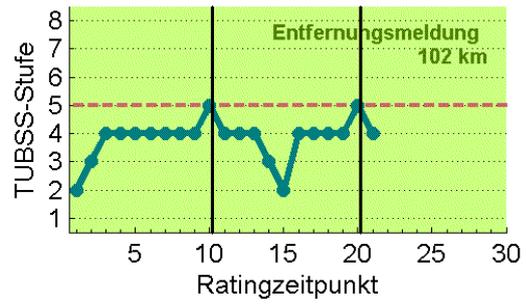
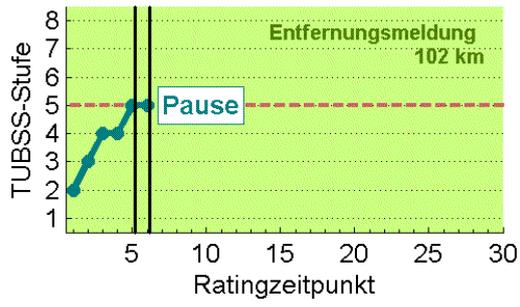
UV			Allgemeine subjektive Pausenwahr- scheinlichkeit	maximal tolerierete Pausenkosten	maximal tolerierete Pausenkosten ohne VP 11	Aktivierung durch die Warnung	Ablenkung durch die Warnung
Gesamt	M		4,80	4,77	4,37	6,42	1,68
	SD		2,544	3,711	2,777	2,623	2,200
	n		40	39	38	36	40
nach Warnungstyp	Kaffeetasse	M	4,70	3,58	3,58	5,89	1,30
		SD	2,577	1,953	1,953	3,104	2,080
		n	20	19	19	18	20
	Eigenes Bild	M	4,90	5,90	5,16	6,94	2,05
		SD	2,573	4,601	3,275	1,984	2,305
		n	20	20	19	18	20
Signifikanztest			F(1,36) = 0.057 p = .812	F(1,35) = 4.045 p = .052	F(1,34) = 3.125 p = .086	F(1,32) = 1.626 p = .211	F(1,36) = 1.149 p = .291
nach Zielentfernung	30 km	M	4,90	5,23	4,45	7,22	1,85
		SD	2,594	4,432	2,823	2,130	1,843
		n	20	20	19	18	20
	100 km	M	4,70	4,29	4,29	5,61	1,50
		SD	2,557	2,805	2,805	2,873	2,544
		n	20	19	19	18	20
Signifikanztest			F(1,36) = 0.057 p = .812	F(1,35) = 0.714 p = .404	F(1,34) = 0.072 p = .790	F(1,32) = 3.788 p = .060	F(1,36) = 0.250 p = .620
nach Warnungstyp x Zielentfernung	KT-30km	M	4,70	3,70	3,70	7,22	1,10
		SD	2,710	2,058	2,058	2,279	1,287
		n	10	10	10	9	10
	KT-100km	M	4,70	3,44	3,44	4,56	1,50
		SD	2,584	1,944	1,944	3,358	2,718
		n	10	9	9	9	10
	EB-30km	M	5,10	6,75	5,28	7,22	2,60
		SD	2,601	5,663	3,420	2,108	2,066
		n	10	10	9	9	10
	EB-100km	M	4,70	5,05	5,05	6,67	1,50
		SD	2,669	3,320	3,320	1,936	2,506
		n	10	10	10	9	10
Signifikanztest			F(1,36) = 0.057 p = .812	F(1,35) = 0.389 p = .537	F(1,34) = 0.000 p = .988	F(1,32) = 1.626 p = .211	F(1,36) = 1.149 p = .291

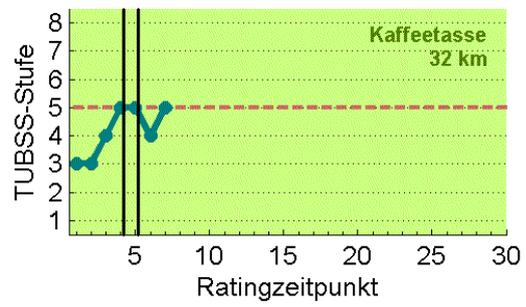
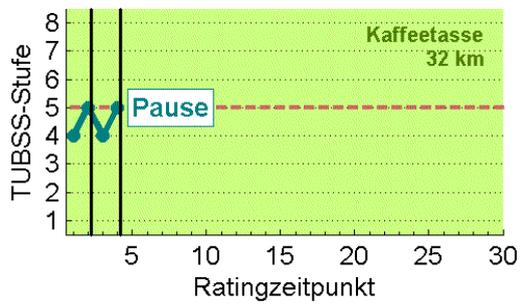
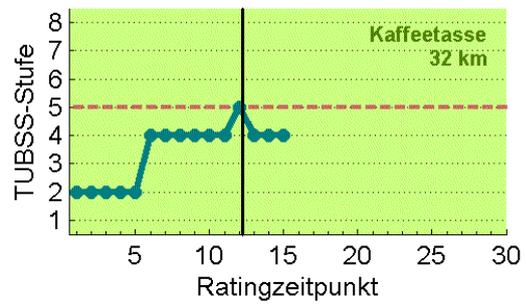
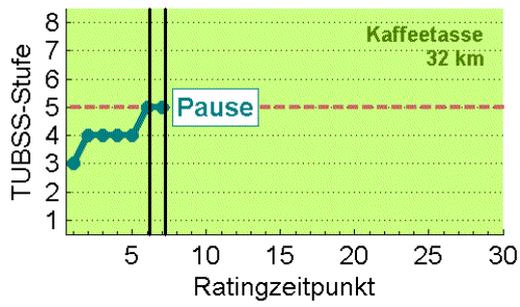
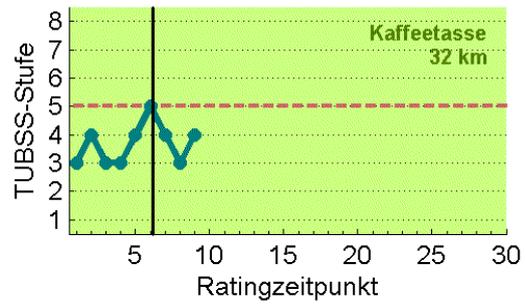
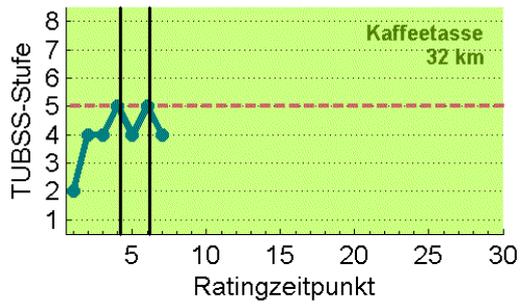
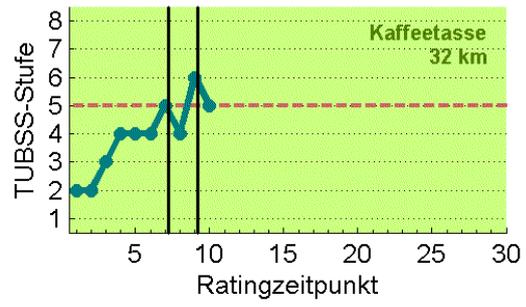
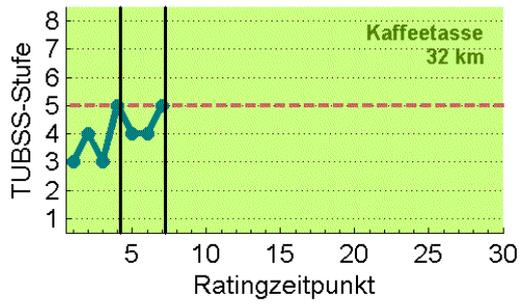
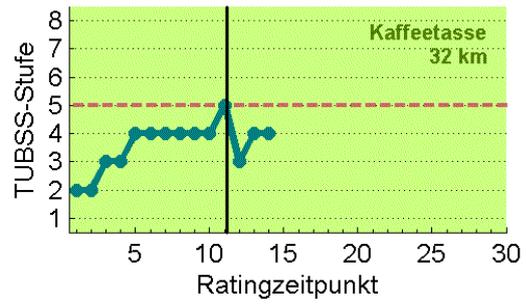
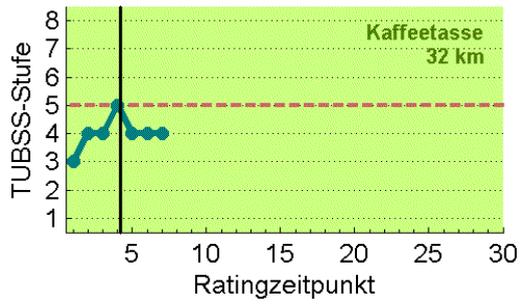
B.2 Ergebnisse Experiment 2

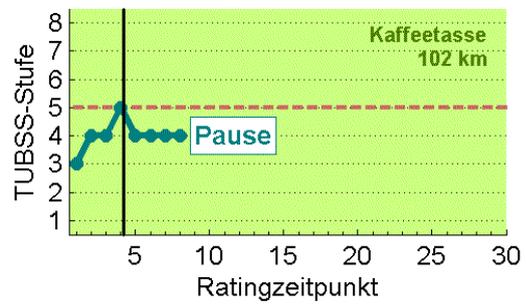
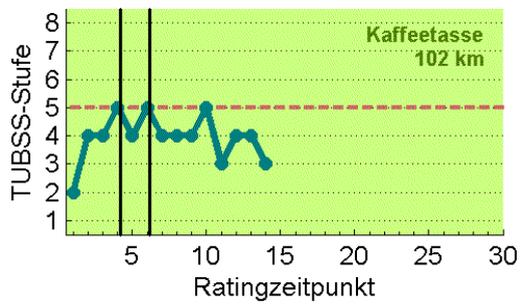
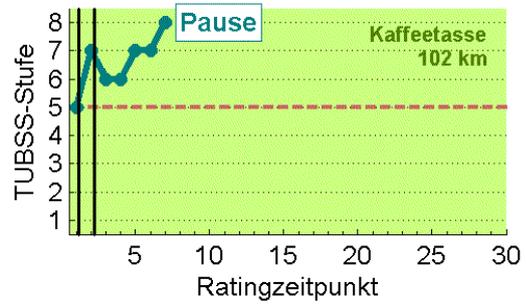
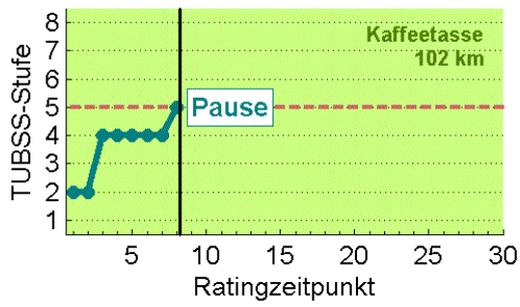
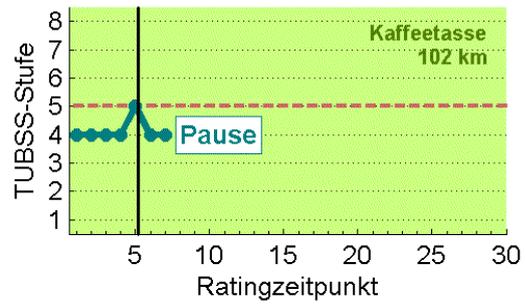
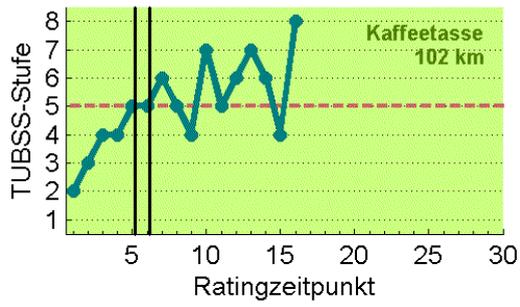
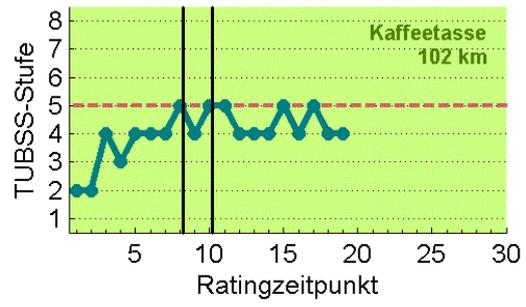
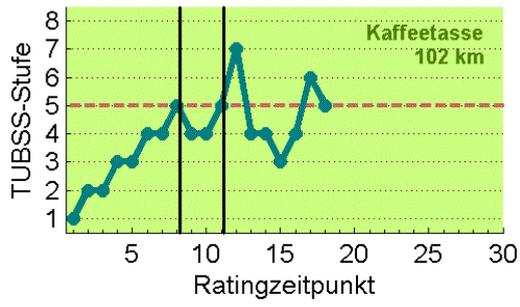
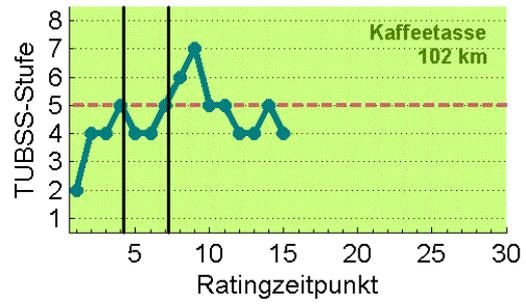
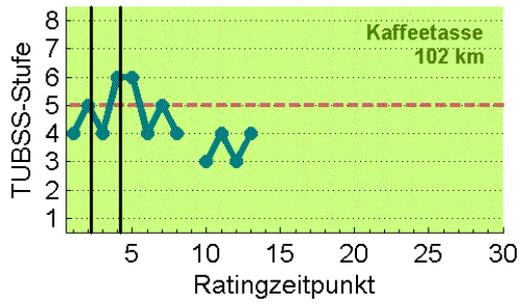
B.2.1 Exp. 2 - TUBSS-Müdigkeitsverläufe aller Teilnehmer

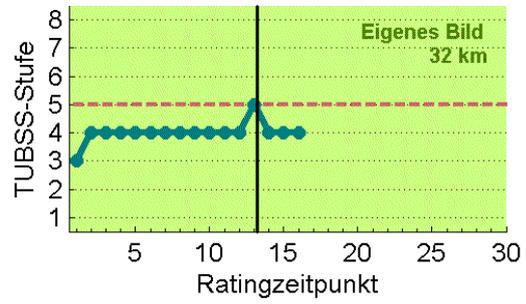
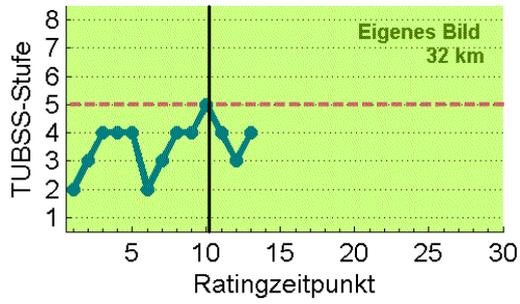
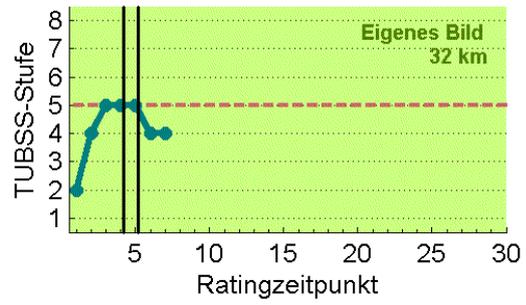
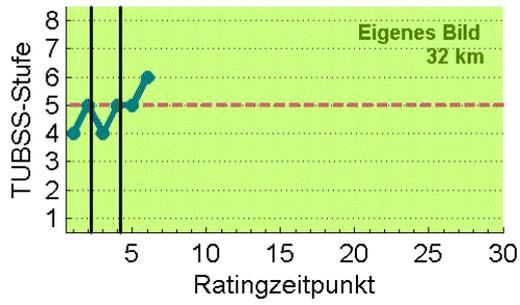
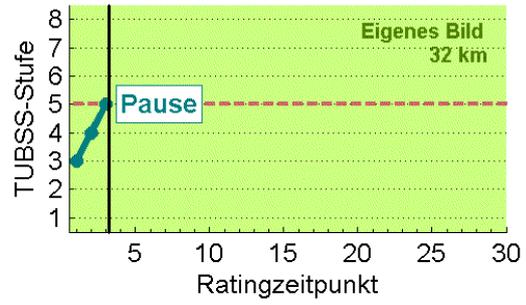
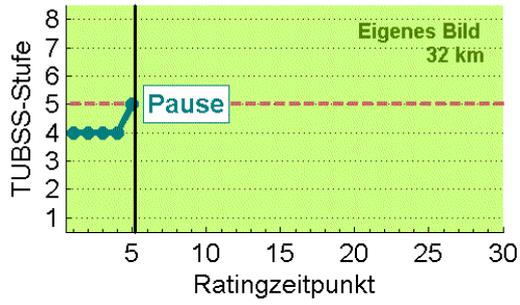
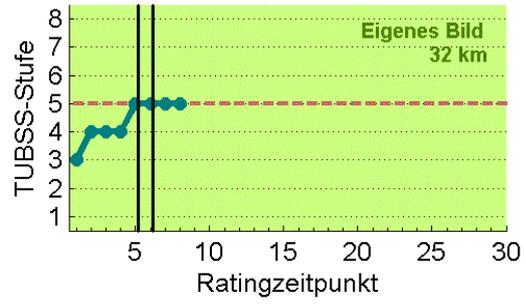
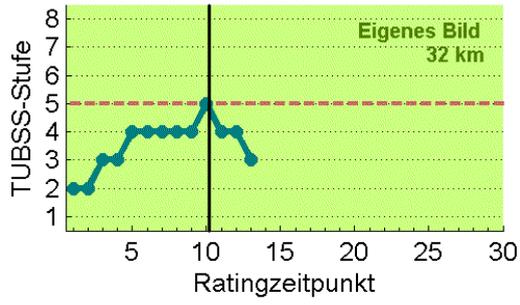
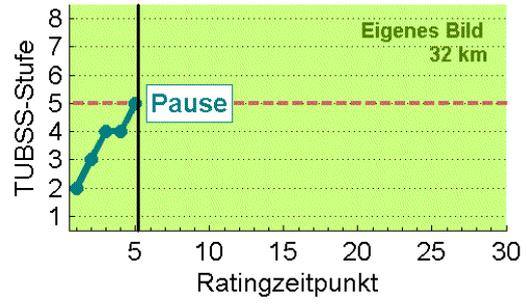
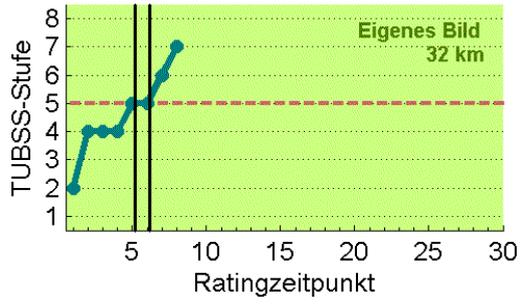


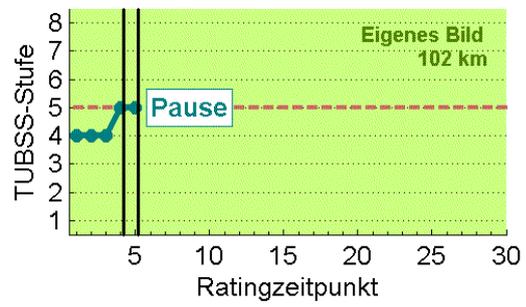
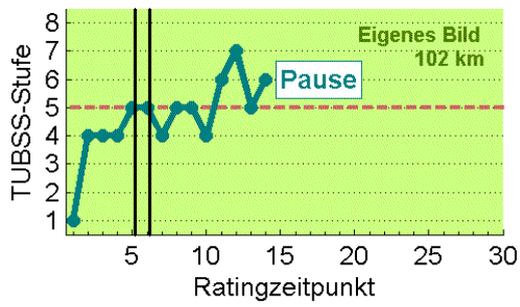
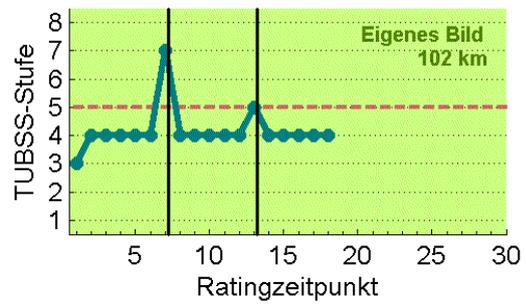
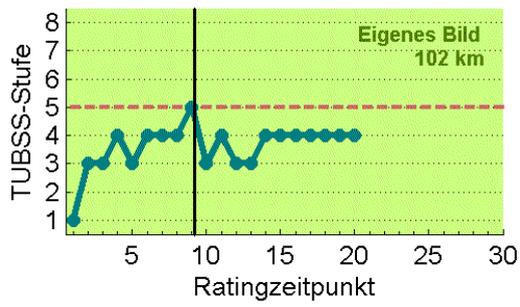
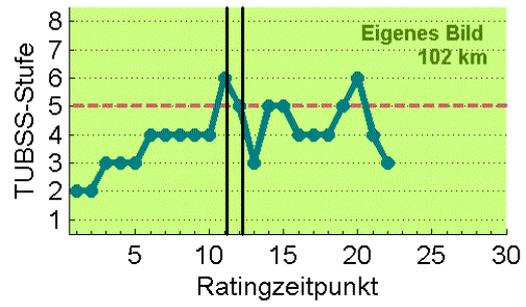
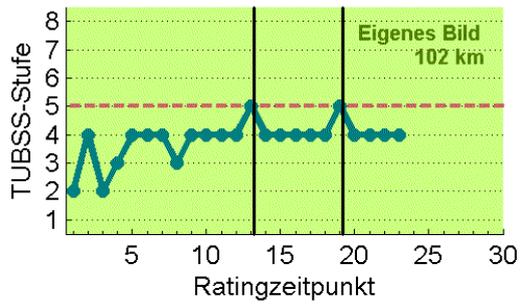
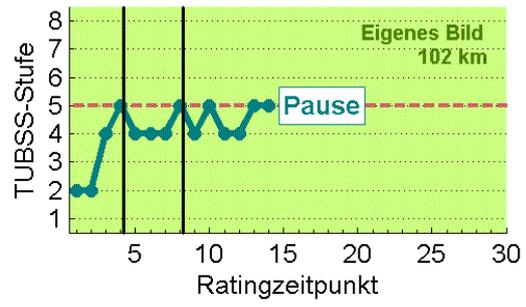
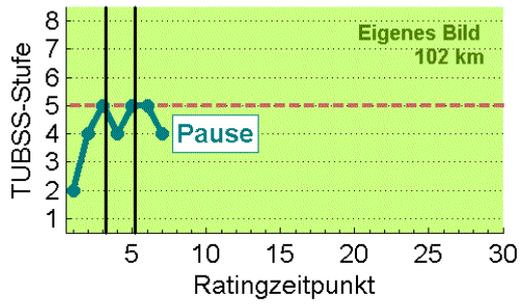
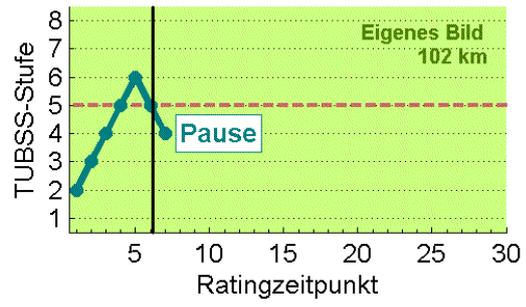
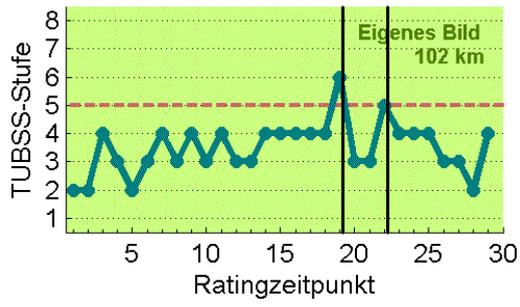
Legende: x-Achse = Nr. des TUBSS-Ratings (im Abstand von 5 Minuten). Senkrechte Linien = Warnzeitpunkte. Rote Linie = Müdigkeitskriterium für Anzeige der Warnung. Grün hinterlegt = Fälle, in denen die Anzeige der Warnung durch Erreichen des Müdigkeitskriteriums (nicht der maximalen Fahrzeit von 2 Stunden) veranlasst wurde.











B.2.2 Exp. 2 -Angaben der Teilnehmer zu Wachhaltestrategien und deren Paraphrasierung / Generalisierung

VP Nr.	"Was haben Sie getan, um sich wach zu halten?" - Wortlaut der Antwort	Paraphrasierung/Generalisierung
1	Blickbewegung auf Bäume, häufige Änderung der Sitzposition, Kopf nach vorne neigen	Blickbewegung auf Bäume Änderung der Sitzposition Neigen des Kopfes
2	ans Ziel gedacht, Melodien gesummt, Geld, 10-15 mal aus dem Auto geschaut	Gedanke ans Ziel Summen Gedanke ans Geld Schauen aus dem Auto
3	Ans Geld denken; nach Müdigkeitswarnung: nur noch 105 km zu fahren ist nicht mehr viel! Konzentration auf die Strecke	Gedanke ans Geld nach Müdigkeitswarnung: nur noch 105 km zu fahren ist nicht mehr viel! Konzentration auf die Strecke
4	Konzentration auf Strecke und Tacho, häufiger Blickwechsel zwischen beiden genannten.	Konzentration auf Strecke und Tacho Blickwechsel zwischen Strecke und Tacho
5	Augen kneifen, Oberschenkel kratzen (taktile Reizungen)	Augenzwinkern Kratzen des Oberschenkels
6	Bewegung vor und zurück, versuchen abzuschätzen wie lange schon gefahren	Bewegen vor und zurück Abzuschätzen der vergangenen Fahrdauer
7	Stellungswechsel der Arme, Strecken und Anwinkeln des linken Beines, Kneifen in den rechten Oberschenkel, einen Takt mit den Fingern "trommeln", Zahlenspiele im Kopf, leichte (nicht ablenkende)Gedanken fassen	Stellungswechsel der Arme Strecken und Anwinkeln des Beines Kneifen in den Oberschenkel Takttrommeln mit den Fingern Zahlenspiele im Kopf Nachdenken
8	Bewusst über best. Dinge nachdenken und nicht versuchen Gedankenstränge zu "verlieren", Fahrspur halten, Arme entspannen	Nachdenken Behalten von Gedankensträngen Halten der Fahrspur Entspannen der Arme
9		
10	immer mal wieder hochgeschaut, den kopf geneigt und die augen gerieben	Hochschauen Neigen des Kopfes Reiben der Augen
11	knie bewegen, sitzposition leicht variieren, tunnelblick vermeiden, vermeidung über wachheit nachzudenken	Bewegen des Knies Änderung der Sitzposition Vermeiden eines Tunnelblickes Vermeidung des Gedanken an Wachheit
12	unterschiedlich das Lenkrad gehalten, Position auf Sitz verändert, Beinstellung geändert, leichtes strecken, Blicke schweifen lassen, regelmäßig Geschwindigkeit kontrolliert	Änderung der Handposition am Lenkrad Änderung der Sitzposition Änderung der Beinstellung Strecken Schweifenlassen des Blicks Kontrollieren der Geschwindigkeit
13	Lied gesungen, über diese Studie nachgedacht,	Singen Nachdenken über Studie
14	Ich habe an den letzten tag gedacht; ich habe im Kopf gezählt; ich habe die Streckenpfähle gezählt	Gedanke an letzten Tag Zählen (im Kopf) Zählen der Streckenporsten
15	Sitzposition geändert, Stellung der Beine geändert, Ärmel hoch/runter krepmpeln	Änderung der Sitzposition Änderung der Beinstellung hoch/runter krepmpeln der Arme

16	grummeln, Konzentration auf die Fahrt, Augenzwinkern, Sitzposition ändern, Handposition am Lenkrad ändern	Grummeln Konzentration auf die Fahrt Augenzwinkern Änderung der Sitzposition Änderung der Handposition am Lenkrad
17	Ehrgeiz und Gedankenübungen.	Ehrgeiz Nachdenken
18		
19	ich habe an Musik gedacht bzw. vor mich hin gesungen	Gedanke an Musik Singen
20	Landschaft beobachten, wechsel zwischen Weit- und Nahsehen, Kopf bewegen	Beobachten der Landschaft Wechsel zwischen Weit- und Nahsehen Bewegen des Kopfes
21	Ich habe die Begrenzungspfeileranzahl der Leitblankenfarbe zugeordnet und mir so versucht die verbleibende Zeit zu "errechnen" (ausgehend von 50m Abständen zw. den Pfeilern) / ich habe mir an den Nackenhaaren gezogen / Ich habe mir gesagt: "ich bin ein Duracell-Häschen mit vollen Batterien!!"	Abschätzen der verbleibenden Fahrdauer Ziehen an Nackenhaaren Ich habe mir gesagt: "ich bin ein Duracell-Häschen mit vollen Batterien!!"
22	hohe Konzentration auf die Fahraufgabe und nicht ablenkend an etwas anderes denken	Konzentration auf die Fahraufgabe und nicht ablenkend an twas anderes denken
23	versucht probleme im kopf zu lösen, mich auf die gefühle in meinem körper konzentriert	Problemlösung im Kopf Konzentration auf Gefühle im Körper
24	Mit den Händen auf Lenkrad / Oberschenkel / Beifahrersitz trommeln, gedankliche Beschäftigung, Konzentration auf Wechsel zwischen Blick nach vorn und auf die Geschwindigkeitsanzeige	Trommeln mit den Händen auf Lenkrad / Oberschenkel / Beifahrersitz Nachdenken Konzentration auf Wechsel zwischen Blick nach vorn und auf die Geschwindigkeitsanzeige
25	Ziel vor Augen haben, Zeit abschätzen wann Ziel erreicht wird	Gedanke ans Ziel Abschätzen der verbleibenden Zeit
26	Musik summen	Summen
27	Lieder summen, Gedichte im Kopf aufsagen, Pfeiler/Bäume/Felsen zählen, darüber grübeln, wie die Müdigkeitsanzeige arbeitet, an das Fahrtziel denken	Summen Aufsagen von Gedichten im Kopf Zählen von Pfeiler/Bäume/Felsen Nachdenken über Funktionsweise der Müdigkeitsanzeige Gedanke ans Ziel
28	ich habe mein Kopf bewegt	Bewegen des Kopfes
29	Kopf schütteln, an etwas Schönes denken	Kopfschütteln Nachdenken über Schönes
30	nachdenken	Nachdenken
31	gähnen	Gähnen
32		
33	Statt den Kopf anzulehnen, mehr in Richtung Frontscheibe positionieren	nicht Anlehnen des Kopfes
34	Oberkörpermuskulatur anspannen; tiefe Atmung <- Sauerstoff!	Anspannen der Oberkörpermuskulatur tiefes Atmen
35	musik summen, mit dem fuß wippen	Summen Bewegen des Fußes
36	Augen aufreißen, strecken, lieder im kopf gesummt und bin dabei einen weg mit etwas gleicher kilometer anzahl in gedanken abgefahren. habe außerdem 20 seitenpfosten für einen kilometer angenommen und dann die kilometer heruntergezählt	Aufreißen der Augen Strecken Summen gedankliches Abfahren einer gleich langen, realen Strecke Abschätzen der verbleibenden Strecke

		Runterzahlen der Kilometer
37	Sitzposition aendern/ still vor sich hin summen	Änderung der Sitzposition Summen
38		
39	Bewegung d. Oberkörpers, stärkere Lenkbewegungen, Umrechnen der Restkilometer in Streckepfosten	Bewegen d. Oberkörpers stärkere Lenkbewegungen Umrechnen der Restkilometer in Streckepfosten
40	gähnen, in Gedanken singen / nachdenken	Gähnen Singen Nachdenken
41	Konzentration	Konzentration
42	Fenster runter, tiefes atmen, den Körper in minimaler Bewegung halten, minimale Sitzpositionswechsel, insofern dies möglich war und eine sichere Fahrweise nicht beeinträchtigte	tiefes Atmen Bewegen Änderung der Sitzposition
43	über den vergangen Tag nachgedacht und darüber wie der kommende wird, was ich alles vorhabe	Nachdenken über vergangenen und kommenden Tag
44	Oft zwinkern, Hände bewegen, Kopf bewegen	Zwinkern Bewegen der Hände Bewegen des Kopfes
45	Druck unter den Augen, summen, Kopfrechnen	Druck unter den Augen Summen Kopfrechnen
46	Lockerungsübungen	Lockerungsübungen
47	verschiedene Sitzpositionen; Sitz verstellt; Kopf/Nackbereich angespannt und bewegt; Trommeln mit den Fingern am Dach (offenes Fenster....); mit dem "Gas" spielen	Änderung der Sitzposition Verstellen des Sitzes Anspannen und Bewegen des Kopfes/Nackbereichs Trommeln mit den Fingern am Dach Spielen mit dem Gas
48	Sitzposition verändert, Griff am Lenkrad geändert	Änderung der Sitzposition Änderung der Handposition am Lenkrad
49	Im Kopf habe ich gerechnet, wie lange ich bei welchem Tempo für die 32/17 Kilometer brauchen würde. Ich habe unter anderem gesungen und gepfiffen und mit mir selbst geredet.	Berechnen der Fahrdauer bei unterschiedlichen Geschwindigkeiten Singen Pfeifen Selbstgespräche
50		
51	gepfiffen und mir die strecke innerlich real vorgestellt (die strecke, die ich sonst fahre mit ähnlicher distanz)	Pfeifen gedankliches Abfahren einer gleich langen, realen Strecke
52	vor mich her gesummt, beine bewegt, mit geschwindigkeit variiert, landschaft beobachtet und sich figuren daraus vorgestellt	Summen Bewegen der Beine Variieren der Geschwindigkeit Beobachten der Landschaft und sich figuren daraus vorgestellt
53	tiefes Einatmen, an den Haaren ziehen	tiefes Atmen Ziehen an den Haaren
54	umgreifen am Lenkrad, Augen wischen, Arme strecken, Kopf gegen die Stütze drücken	Änderung der Handposition am Lenkrad Reiben der Augen Strecken der Arme Drücken des Kopfes gegen die Stütze
55	Positionswechsel der Hände am Lenkrad, Beinstrecken, Konzentration auf die Strecke	Änderung der Handposition am Lenkrad Strecken der Beine

		Konzentration auf Strecke
56	gestreckt, Augen aufgerissen	Strecken Aufreißen der Augen
57	Gähnen / Lenkrad anders halten / Tempo vermindern & erhöhen / Konzentrieren soweit möglich auf das Ziel	Gähnen Änderung der Handposition am Lenkrad Variieren der Geschwindigkeit Konzentration aufs Ziel
58	pfeifen, mit mir selber sprechen	Pfeifen Selbstgespräche
59	Sitzposition gewechselt	Änderung der Sitzposition
60		

B.2.3 Exp. 2: Induktive Kategorisierung der Wachhaltestrategien

Paraphrasierungen, thematisch sortiert, und Durchführung der ersten Reduktion	Resultierende Kategorien nach 1. Reduktion	Resultierende Kategorien nach 2. Reduktion
Änderung der Beinstellung (= Bewegung der Beine)	Bewegen des Oberkörpers	Bewegung
Änderung der Handposition am Lenkrad (= Bewegung der Hände)	Bewegen der Beine	
Änderung der Sitzposition (= Bewegung des Oberkörpers)	Bewegen der Hände	
Anspannen der Oberkörpermuskulatur (= Bewegung des Oberkörpers)	Bewegen der Füße	
Anspannen und Bewegen des Kopfes/Nackensbereichs (= Bewegung des Kopfes)	Bewegen des Kopfes	
Bewegen	Bewegen der Arme	
Bewegen d. Oberkörpers	Bewegen, nicht näher spezifiziert	
Bewegen der Beine		
Bewegen der Hände		
Bewegen des Fußes		
Bewegen des Knies (=Bewegen der Beine; zu genau, nicht inhaltstragend)		
Bewegen des Kopfes		
Bewegen vor und zurück (= Bewegung des Oberkörpers)		
Drücken des Kopfes gegen die Stütze (= Bewegung des Kopfes)		
Entspannen der Arme (= Bewegen der Arme)		
hoch/runter krempeln der Arme (= Bewegen der Arme)		
Kopfschütteln (= Bewegung des Kopfes)		
Lockerungsübungen (=Bewegen)		
Neigen des Kopfes (= Bewegung des Kopfes)		
nicht Anlehnen des Kopfes (= Bewegung des Kopfes)		
stärkere Lenkbewegungen (= Bewegen der Arme)		
Stellungswechsel der Arme (= Bewegen der Arme)		
Strecken (=Bewegen)		
Strecken der Arme (= Bewegen der Arme)		
Strecken der Beine (= Bewegen der Beine)		
Strecken und Anwinkeln des Beines (= Bewegen der Beine)		
Takttrommeln mit den Fingern (= Bewegen der Arme)		
Verstellen des Sitzes (=Bewegen)		
Trommeln mit den Fingern am Dach (= Bewegen der		

Arme/Hände)

~~Trommeln mit den Händen auf Lenkrad / Oberschenkel /
Beifahrersitz (= Bewegen der Arme/Hände)~~

~~Variieren der Geschwindigkeit (= Bewegen der Beine)~~

~~Spiele mit dem Gas (= Bewegen der Beine)~~

Aufreißen der Augen	Aufreißen der Augen	sensorische
Augenzwinkern (= Zwinkern)	Blickbewegung	Stimulation
Gähnen (=tiefes Atmen)	Kneifen in den Oberschenkel	
Hochschauen (=Blickbewegung)	Kratzen des Oberschenkels	
Kneifen in den Oberschenkel	Reiben der Augen	
Kratzen des Oberschenkels	tiefes Atmen	
Reiben der Augen	Ziehen an den Haaren	
tiefes Atmen	Zwinkern	
Ziehen an den Haaren	Wahrnehmung körperlicher	
Ziehen an Nackenhaaren (=Ziehen an den Haaren)	Reize	
Zwinkern	Druck unter den Augen	
Vermeiden eines Tunnelblickes (=Blickbewegung)		
Wechsel zwischen Weit- und Nahsehen (=Blickbewegung)		
Blickbewegung auf Bäume (=Blickbewegung)		
Konzentration auf Gefühle im Körper (=Wahrnehmung		
körperlicher Reize)		
Druck unter den Augen		

Abschätzen der verbleibenden Fahrtdauer	Abschätzen der verbleibenden	geistige
Abschätzen der verbleibenden Strecke (=Abschätzen der	Fahrtdauer	Problemlösung/
verbleibenden Fahrtdauer)	Abschätzen der vergangenen	Beschäftigung
Abschätzen der verbleibenden Zeit (=Abschätzen der	Fahrtdauer	
verbleibenden Fahrtdauer)	Kopfrechnen	
Abzuschätzen der vergangenen Fahrtdauer	Problemlösung im Kopf	
Berechnen der Fahrdauer bei unterschiedlichen	Zählen (im Kopf)	
Geschwindigkeiten (=Kopfrechnen)	Zählen der Streckenposten	
Kopfrechnen	Zählen von	
Problemlösung im Kopf	Pfeilern/Bäumen/Felsen	
Runterzahlen der Kilometer (=Abschätzen der verbleibenden	Nachdenken	
Fahrtdauer)	Konzentration	
Umrechnen der Restkilometer in Streckenposten (=Abschätzen		
der verbleibenden Fahrtdauer/Kopfrechnen)		
Zählen (im Kopf)		
Zählen der Streckenposten		
Zählen von Pfeilern/Bäumen/Felsen		
Zahlenspiele im Kopf (=Kopfrechnen)		
gedankliches Abfahren einer gleich langen, realen Strecke		
(=Abschätzen der verbleibenden Fahrtdauer)		
Nachdenken		
Nachdenken über Funktionsweise der Müdigkeitsanzeige		
(=Nachdenken)		
Nachdenken über Studie (=Nachdenken)		
Behalten von Gedankensträngen (=Konzentration)		
Konzentration		

Gedanke an letzten Tag (=Nachdenken über vergangenen und kommenden Tag)	Gedanke an Musik	hedonistische
Gedanke an Musik	Nachdenken über Schönes	geistige
Nachdenken über Schönes	Nachdenken über vergangenen und kommenden Tag	Beschäftigung
Nachdenken über vergangenen und kommenden Tag	Aufsagen von Gedichten im Kopf	
Aufsagen von Gedichten im Kopf	Grummeln	
Beobachten der Landschaft (=Schauen aus dem Auto)	Pfeifen	
Grummeln	Schauen aus dem Auto	
Pfeifen	Selbstgespräche	
Schauen aus dem Auto	Singen	
Schweifenlassen des Blicks (=Schauen aus dem Auto)	Summen	
Selbstgespräche	Sich Figuren aus der Landschaft vorstellen	
Singen		
Summen		
und sich figuren daraus (Landschaft) vorgestellt		
Gedanke ans Geld	Gedanke ans Geld	Selbst-
Gedanke ans Ziel	Gedanke ans Ziel	motivierung
und nicht ablenkend an was anderes denken (=Konzentration auf die Fahrt)	Konzentration auf die Fahrt	
Konzentration auf die Fahraufgabe (=Konzentration auf die Fahrt)	Ehrgeiz	
Konzentration auf die Fahrt	Selbstinstruktion	
Konzentration auf die Strecke (=Konzentration auf die Fahrt)	Vermeidung des Gedankens an Wachheit	
Konzentration auf Strecke (=Konzentration auf die Fahrt)		
Konzentration auf Strecke und Tacho (=Konzentration auf die Fahrt)		
Konzentration auf Wechsel zwischen Blick nach vorn und auf die Geschwindigkeitsanzeige (=Konzentration auf die Fahrt)		
Konzentration aufs Ziel (=Gedanke ans Ziel)		
Blickwechsel zwischen Strecke und Tacho (=Konzentration auf die Fahrt)		
Halten der Fahrspur (=Konzentration auf die Fahrt)		
Kontrollieren der Geschwindigkeit (=Konzentration auf die Fahrt)		
Ehrgeiz		
Ich habe mir gesagt: "ich bin ein Duracell-Häschen mit vollen Batterien!!" (=Selbstinstruktion)		
nach Müdigkeitswarnung: nur noch 105 km zu fahren ist nicht mehr viel! (=Selbstinstruktion)		
Vermeidung des Gedanken an Wachheit		

B.2.4 Exp. 2 - Übersicht über alle abhängigen Variablen - Mittelwerte und Standardabweichungen für alle Faktorstufen, Signifikanztests

			AV (1)				
UV			Subj. Vulnerabilität	Subj. Schweregrad der Schädigung	Subj. Vulnerabilität NACH Pause	Subj. Handlungs-wirksamkeit Pause	Situative Selbst-wirksamkeit
Gesamt	M		46,75	5,20	27,63	18,90	5,14
	SD		28,650	2,654	22,688	22,844	2,719
	n		60	60	59	59	59
nach Warnungstyp	Entfernungsmeldung	M	39,63	5,90	27,00	12,63	5,05
		SD	29,528	2,827	27,775	15,738	2,800
		n	20	20	20	20	20
	Kaffeetasse	M	45,00	3,95	29,47	14,74	4,58
		SD	29,234	2,395	22,339	26,600	3,006
		n	20	20	19	19	19
	Eigenes Bild	M	55,63	5,75	26,50	29,13	5,75
SD		26,131	2,381	17,944	22,497	2,337	
n		20	20	20	20	20	
Signifikanztest			F(2,54) = 1.644 $p = .203$	F(2,54) = 3.509 $p = .037$	F(2,53) = 0.100 $p = .905$	F(2,53) = 3.427 $p = .040$	F(2,53) = 0.926 $p = .403$
nach Zielentfernung	32 km	M	41,67	5,50	25,52	15,52	4,79
		SD	29,202	2,825	21,860	27,193	3,110
		n	30	30	29	29	29
	102 km	M	51,83	4,90	29,67	22,17	5,47
		SD	27,636	2,482	23,651	17,527	2,285
n		30	30	30	30	30	
Signifikanztest			F(1,54) = 1.923 $p = .171$	F(1,54) = 0.805 $p = .374$	F(1,53) = 0.420 $p = .520$	F(1,53) = 1.502 $p = .226$	F(1,53) = 0.934 $p = .338$
nach Warnungstyp x Zielentfernung	ERM-32km	M	30,50	6,30	20,25	10,25	4,00
		SD	25,895	2,830	24,108	18,045	3,055
		n	10	10	10	10	10
	ERM-102km	M	48,75	5,50	33,75	15,00	6,10
		SD	31,386	2,915	30,760	13,591	2,183
		n	10	10	10	10	10
	KT-32km	M	39,75	4,10	32,22	5,28	4,44
		SD	30,424	2,685	25,631	31,136	3,575
		n	10	10	9	9	9
	KT-102km	M	50,25	3,80	27,00	23,25	4,70
		SD	28,588	2,201	19,993	19,581	2,584
		n	10	10	10	10	10
	EB-32km	M	54,75	6,10	24,75	30,00	5,90
SD		28,613	2,685	15,655	27,285	2,685	
n		10	10	10	10	10	
EB-102km	M	56,50	5,40	28,25	28,25	5,60	
	SD	24,922	2,119	20,684	17,952	2,066	
	n	10	10	10	10	10	
Signifikanztest			F(2,54) = 0.423 $p = .658$	F(2,54) = 0.052 $p = .949$	F(2,53) = 0.791 $p = .459$	F(2,53) = 1.020 $p = .368$	F(2,53) = 1.026 $p = .353$

			AV (2)				
UV			Subj. Pausen- wahrschein- keit	maximal tolerierte Pausenkosten	maximal tolerierte Pausenkosten ohne VP 13 & 35	Aktivierung durch die Warnung	Ablenkung durch die Warnung
Gesamt		M	3,92	4,53	4,25	6,73	3,23
		SD	3,158	3,541	3,233	2,007	2,752
		n	60	60	58	60	60
nach Warnungstyp	Entfernungs- meldung	M	3,75	3,75	2,78	6,95	4,10
		SD	3,275	3,474	1,656	2,012	3,144
		n	20	20	18	20	20
	Kaffeetasse	M	3,55	4,45	4,45	6,45	3,10
		SD	3,379	3,336	3,336	2,212	2,404
		n	20	20	20	20	20
	Eigenes Bild	M	4,45	5,38	5,38	6,80	2,50
SD		2,892	3,787	3,787	1,852	2,544	
n		20	20	20	20	20	
Signifikanztest			F(2,54) = 0.508 p = .604	F(2,54) = 1.023 p = .367	F(2,52) = 3.232 p = .048	F(2,54) = 0.402 p = .671	F(2,54) = 1.702 p = .192
nach Zielentfernung	32 km	M	2,83	4,83	4,48	7,60	2,97
		SD	3,217	4,109	3,697	1,453	2,710
		n	30	30	29	30	30
	102 km	M	5,00	4,22	4,02	5,87	3,50
		SD	2,742	2,903	2,737	2,129	2,813
n		30	30	29	30	30	
Signifikanztest			F(1,54) = 8.010 p = .007	F(1,54) = 0.439 p = .510	F(1,52) = 0.330 p = .568	F(1,54) = 13.77 p = .000	F(1,54) = 0.556 p = .459
nach Warnungstyp x Zielentfernung	ERM-32km	M	1,90	4,40	3,22	7,80	4,00
		SD	2,807	4,222	2,108	1,229	3,300
		n	10	10	9	10	10
	ERM-102km	M	5,60	3,10	2,33	6,10	4,20
		SD	2,675	2,591	0,968	2,331	3,155
		n	10	10	9	10	10
	KT-32km	M	2,20	4,35	4,35	7,90	2,90
		SD	3,259	3,481	3,481	1,197	2,331
		n	10	10	10	10	10
	KT-102km	M	4,90	4,55	4,55	5,00	3,30
		SD	3,071	3,370	3,370	2,055	2,584
		n	10	10	10	10	10
	EB-32km	M	4,40	5,75	5,75	7,10	2,00
SD		3,273	4,803	4,803	1,853	2,261	
n		10	10	10	10	10	
EB-102km	M	4,50	5,00	5,00	6,50	3,00	
	SD	2,635	2,625	2,625	1,900	2,828	
	N	10	10	10	10	10	
Signifikanztest			F(2,54) = 1.964 p = .150	F(2,54) = 0.222 p = .802	F(2,52) = 0.170 p = .844	F(2,54) = 2.021 p = .142	F(2,54) = 0.113 p = .893

B.3 Ergebnisse Exp. 1 und Exp. 2

B.3.1 Exp. 1 und 2 - Übersicht über erwartete und empirische Ergebnisse (qualitativ)

Abhängige Variable	Effekt in ANOVA	Vergleich (Differenz)	Mittelwertemuster in beobachteter Interaktionstendenz			
			erwartet	Exp. 1	Exp. 2	Exp. 1 / Exp. 2
Beobachtete Pausen	Haupteffekt Warnung		ja		n.s.	
		Bild - Kaffee	+		(+)	
		Bild - Baseline	+		(+)	
		Kaffee - Baseline	+		(+)	
	Haupteffekt Entfernung		ja		n.s.	
		hoch - gering	+		+	Warnungseffekt im Vergleich zur Baseline tendenziell bei geringer Zielentfernung stärker als bei hoher
Interaktion		nein		n.s.		
		0		(ja)		
Subj. Pausenwahrscheinlichkeit	Haupteffekt Warnung		ja	n.s.	n.s.	
		Bild - Kaffee	+	0	0	
		Bild - Baseline	+		0	
		Kaffee - Baseline	+		0	tendenziell durch personalisierte Warnung Effekt der kurzen Zielentfernung ausgehebelt. Tendenziell bei hoher ZE reine Rückmeldung leicht wirksamer als Warnung.
	Haupteffekt Entfernung		ja	n.s.	**	tendenziell durch personalisierte Warnung Effekt der kurzen Zielentfernung ausgehebelt.
		hoch - gering	+	(+)	+	
Interaktion		nein	n.s.	n.s.		
		0	(ja)	(ja)		
Vulnerabilität	Haupteffekt Warnung		ja	n.s.	n.s.	
		Bild - Kaffee	+	(+)	(+)	
		Bild - Baseline	+		(+)	
		Kaffee - Baseline	+		(+)	
	Haupteffekt Entfernung		ja	n.s.	n.s.	tendenziell durch personalisierte Warnung (und weniger auch durch allg. Warnung) der Effekt kurzen Zielentfernung ausgehebelt.
		hoch - gering	+	(+)	(+)	
Interaktion		nein	n.s.	n.s.		
		0	(ja)	(ja)		

Schweregrad	Haupteffekt Warnung	nein	n.s.	*	
	Bild - Kaffee	o	o	(+)	
	Bild - Baseline	o		o	
	Kaffee - Baseline	o		(-)	
	Haupteffekt Entfernung	nein	*	n.s.	Unerwarteter Effekt der Zielentfernung fällt bei personalisierter Warnung tendenziell geringer aus
	hoch - gering	o	+	o	
	Interaktion	nein	n.s.	n.s.	
		o	(ja)	o	
Handlungswirksamkeit	Haupteffekt Warnung	nein	n.s.	*	
	Bild - Kaffee	o	(+)	(+)	
	Bild - Baseline	o		+	
	Kaffee - Baseline	o		o	
	Haupteffekt Entfernung	nein	n.s.	n.s.	Allg. Warnung erhöht die subj. Pausenwirksamkeit tendenziell nur bei hoher, nicht bei geringer Zielentfernung
	hoch - gering	o	o	(+)	
	Interaktion	nein	n.s.	n.s.	
		o	o	(ja)	
Selbstwirksamkeit	Haupteffekt Warnung	nein	n.s.	n.s.	
	Bild - Kaffee	o	o	o	
	Bild - Baseline	o		o	
	Kaffee - Baseline	o		o	
	Haupteffekt Entfernung	nein	n.s.	n.s.	ohne Warnsystem höhere Selbstwirksamkeitswahrnehmung bei hoher im Vgl. zu geringer Zielentfernung
	hoch - gering	o	o	o	
	Interaktion	nein	n.s.	n.s.	
		o	o	(ja)	

tolerierte Pausenkosten	Haupteffekt Warnung	ja	n.s.	n.s.	
	Bild - Kaffee	+	(+)	(+)	
	Bild - Baseline	+		+	
	Kaffee - Baseline	+		o	
Haupteffekt Entfernung		ja	n.s.	n.s.	
hoch - gering		+	o	o	
Interaktion		nein	n.s.	n.s.	
		o	o	o	
subjektive Aktivierung	Haupteffekt Warnung		n.s.	n.s.	
	Bild - Kaffee		(+)	o	
	Bild - Baseline			o	Abschwächung der subjektiven Aktivierung bei langer Restdistanz tritt tendenziell nur bei allgemeiner, nicht bei personalisierter Warnung auf
Haupteffekt Entfernung			(*)	**	
hoch - gering			(-)	(-)	Abschwächung der subjektiven Aktivierung bei langer Restdistanz fällt tendenziell bei personalisierter Warnung geringer aus
Interaktion			n.s.	n.s.	
			(ja)	(ja)	
subjektive Ablenkung	Haupteffekt Warnung		n.s.	n.s.	
	Bild - Kaffee		o	o	
	Bild - Baseline			(-)	
Haupteffekt Entfernung			n.s.	n.s.	
hoch - gering			o	o	
Interaktion			n.s.	n.s.	
			o	o	

Legende:	**	$p < .01$
	*	$p < .05$
	(*)	$p \approx .05$
	o	kein Unterschied ersichtlich
	(+) bzw. (-)	positive bzw. negative Mittelwertsdifferenz bei n.s. Effekt
	+ bzw. -	positive bzw. negative Mittelwertsdifferenz bei signifikantem Effekt
	Ø	explorativ
	o (+) (-) + -	erwartetes Mittelwertemuster
	o (+) (-) + -	unerwartetes Mittelwertemuster