

**Experimentelle Untersuchung von Maßnahmen gegen Schläfrigkeit
beim Führen von Kraftfahrzeugen**

**Von der Fakultät Konstruktions-, Produktions- und Fahrzeugtechnik
der Universität Stuttgart
zur Erlangung der Würde eines Doktor-Ingenieurs (Dr.-Ing.)
genehmigte Abhandlung**

Vorgelegt von

Uwe Markus Greschner

aus Reutlingen

Hauptberichter: Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Dieter Spath

Mitberichter: Prof. Dr.-Ing. Prof. e.h. Dr.-Ing. e.h. Dr. h.c. mult. Engelbert Westkämper

Tag der mündlichen Prüfung: 26. Juli 2011

Institut für Arbeitswissenschaft und Technologiemanagement der Universität Stuttgart

2011

IPA-IAO Forschung und Praxis

Berichte aus dem
Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und
Automatisierung (IPA), Stuttgart,
Fraunhofer-Institut für Arbeitswirtschaft und
Organisation (IAO), Stuttgart,
Institut für Industrielle Fertigung und
Fabrikbetrieb (IFF), Universität Stuttgart
und Institut für Arbeitswissenschaft und
Technologiemanagement (IAT), Universität Stuttgart

Herausgeber:

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Prof. e.h. Dr.-Ing. e.h. Dr. h.c. mult. Engelbert Westkämper
und

Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. Prof. E.h. mult. Dr. h.c. mult. Hans-Jörg Bullinger
und

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Dieter Spath



Universität Stuttgart


Institut für Arbeitswissenschaft und
Technologiemanagement IAT



Fraunhofer

IAO

Uwe Greschner



Experimentelle Untersuchung von Maßnahmen gegen Schläfrigkeit beim Führen von Kraftfahrzeugen

Nr. 511

JOST-JETTER VERLAG

Fachverlag · 71296 Heimsheim

Dr.-Ing. Uwe Greschner

Fraunhofer-Institut für Arbeitswirtschaft und Organisation (IAO), Stuttgart

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Prof. e.h. Dr.-Ing. e.h. Dr. h.c. mult. Engelbert Westkämper

ord. Professor an der Universität Stuttgart

Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung (IPA), Stuttgart

Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. Prof. E.h. mult. Dr. h.c. mult. Hans-Jörg Bullinger

ord. Professor an der Universität Stuttgart

Präsident der Fraunhofer-Gesellschaft, München

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Dieter Spath

ord. Professor an der Universität Stuttgart

Fraunhofer-Institut für Arbeitswirtschaft und Organisation (IAO), Stuttgart

D 93

ISBN 978-3-939890-82-9

Jost Jetter Verlag, Heimsheim

Dieses Werk ist urheberrechtlich geschützt. Die dadurch begründeten Rechte, insbesondere die der Übersetzung, des Nachdrucks, des Vortrags, der Entnahme von Abbildungen und Tabellen, der Funksendung, der Mikroverfilmung oder der Vervielfältigung auf anderen Wegen und der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen, bleiben, auch bei nur auszugsweiser Verwertung, vorbehalten. Eine Vervielfältigung dieses Werkes oder von Teilen dieses Werkes ist auch im Einzelfall nur in den Grenzen der gesetzlichen Bestimmungen des Urheberrechtsgesetzes der Bundesrepublik Deutschland vom 9. September 1965 in der jeweils gültigen Fassung zulässig. Sie ist grundsätzlich vergütungspflichtig. Zuwiderhandlungen unterliegen den Strafbestimmungen des Urheberrechtsgesetzes.

© Jost-Jetter Verlag, Heimsheim 2011.

Printed in Germany.

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Werk berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, dass solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürften.

Sollte in diesem Werk direkt oder indirekt auf Gesetze, Vorschriften oder Richtlinien (z. B. DIN, VDI, VDE) Bezug genommen oder aus ihnen zitiert worden sein, so kann der Verlag keine Gewähr für die Richtigkeit, Vollständigkeit oder Aktualität übernehmen. Es empfiehlt sich, gegebenenfalls für die eigenen Arbeiten die vollständigen Vorschriften oder Richtlinien in der jeweils gültigen Fassung hinzuzuziehen.

Druck: printsystem GmbH, Heimsheim

Geleitwort der Herausgeber

Über den Erfolg und das Bestehen von Unternehmen in einer marktwirtschaftlichen Ordnung entscheidet letztendlich der Absatzmarkt. Das bedeutet, möglichst frühzeitig absatzmarktorientierte Anforderungen sowie deren Veränderungen zu erkennen und darauf zu reagieren.

Neue Technologien und Werkstoffe ermöglichen neue Produkte und eröffnen neue Märkte. Die neuen Produktions- und Informationstechnologien verwandeln signifikant und nachhaltig unsere industrielle Arbeitswelt. Politische und gesellschaftliche Veränderungen signalisieren und begleiten dabei einen Wertewandel, der auch in unseren Industriebetrieben deutlichen Niederschlag findet.

Die Aufgaben des Produktionsmanagements sind vielfältiger und anspruchsvoller geworden. Die Integration des europäischen Marktes, die Globalisierung vieler Industrien, die zunehmende Innovationsgeschwindigkeit, die Entwicklung zur Freizeitgesellschaft und die übergreifenden ökologischen und sozialen Probleme, zu deren Lösung die Wirtschaft ihren Beitrag leisten muss, erfordern von den Führungskräften erweiterte Perspektiven und Antworten, die über den Fokus traditionellen Produktionsmanagements deutlich hinausgehen.

Neue Formen der Arbeitsorganisation im indirekten und direkten Bereich sind heute schon feste Bestandteile innovativer Unternehmen. Die Entkopplung der Arbeitszeit von der Betriebszeit, integrierte Planungsansätze sowie der Aufbau dezentraler Strukturen sind nur einige der Konzepte, welche die aktuellen Entwicklungsrichtungen kennzeichnen. Erfreulich ist der Trend, immer mehr den Menschen in den Mittelpunkt der Arbeitsgestaltung zu stellen - die traditionell eher technokratisch akzentuierten Ansätze weichen einer stärkeren Human- und Organisationsorientierung. Qualifizierungsprogramme, Training und andere Formen der Mitarbeiterentwicklung gewinnen als Differenzierungsmerkmal und als Zukunftsinvestition in *Human Resources* an strategischer Bedeutung.

Von wissenschaftlicher Seite muss dieses Bemühen durch die Entwicklung von Methoden und Vorgehensweisen zur systematischen Analyse und Verbesserung des Systems Produktionsbetrieb einschließlich der erforderlichen Dienstleistungsfunktionen unterstützt werden. Die Ingenieure sind hier gefordert, in enger Zusammenarbeit mit anderen Disziplinen, z. B. der Informatik, der Wirtschaftswissenschaften und der Arbeitswissenschaft, Lösungen zu erarbeiten, die den veränderten Randbedingungen Rechnung tragen.

Die von den Herausgebern langjährig geleiteten Institute, das

- Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung (IPA),
- Fraunhofer-Institut für Arbeitswirtschaft und Organisation (IAO),
- Institut für Industrielle Fertigung und Fabrikbetrieb (IFF), Universität Stuttgart,
- Institut für Arbeitswissenschaft und Technologiemanagement (IAT), Universität Stuttgart

arbeiten in grundlegender und angewandter Forschung intensiv an den oben aufgezeigten Entwicklungen mit. Die Ausstattung der Labors und die Qualifikation der Mitarbeiter haben bereits in der Vergangenheit zu Forschungsergebnissen geführt, die für die Praxis von großem Wert waren. Zur Umsetzung gewonnener Erkenntnisse wird die Schriftenreihe „IPA-IAO - Forschung und Praxis“ herausgegeben. Der vorliegende Band setzt diese Reihe fort. Eine Übersicht über bisher erschienene Titel wird am Schluss dieses Buches gegeben.

Dem Verfasser sei für die geleistete Arbeit gedankt, dem Jost Jetter Verlag für die Aufnahme dieser Schriftenreihe in seine Angebotspalette und der Druckerei für saubere und zügige Ausführung. Möge das Buch von der Fachwelt gut aufgenommen werden.

Engelbert Westkämper Hans-Jörg Bullinger Dieter Spath

Vorwort

Die vorliegende Arbeit entstand auf der Grundlage meiner Forschungen als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Arbeitswissenschaft und Technologiemanagement der Universität Stuttgart (IAT).

Herrn Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Dieter Spath, Leiter des Instituts für Arbeitswissenschaft und Technologiemanagement der Universität Stuttgart (IAT) und Leiter des Fraunhofer-Instituts für Arbeitswirtschaft und Organisation (IAO), danke ich für die wissenschaftliche Betreuung und die wohlwollende Förderung dieser Arbeit.

Herrn Prof. Dr.-Ing. Prof. e.h. Dr.-Ing. e.h. Dr. h.c. mult. Engelbert Westkämper, früherer Leiter des Instituts für Industrielle Fertigung und Fabrikbetrieb der Universität Stuttgart (IFF) sowie des Fraunhofer-Instituts für Produktionstechnik und Automatisierung (IPA), danke ich für die Übernahme des Mitberichts.

Mein besonderer Dank gilt Herrn Dr.-Ing. Manfred Dangelmaier, Institutsdirektor am Fraunhofer IAO, für die wissenschaftliche Begleitung, die vielen guten Anregungen, seinen Zuspruch und die Durchsicht der Arbeit.

Herrn Dr.-Ing. Rolf Ilg, Leiter des Dienstleistungszentrums Wissenstransfer am IAT, danke ich für seine Unterstützung in vielfältiger Weise, besonders für die Möglichkeit zur Durchführung der aufwändigen Versuche.

Mein Dank gilt auch meinen früheren Kollegen am IAT und IAO, die durch wertvolle Diskussionen zum Gelingen dieser Arbeit beitrugen und mich bei der praktischen Durchführung der Versuche unterstützten.

Herrn Thomas Neubert und meinen Kolleginnen und Kollegen von der t.neubert GmbH danke ich, dass sie es mir immer wieder ermöglichten, mich meiner Promotion zu widmen. Sie halfen mir dadurch während der letzten Phasen der Promotion sehr und machten den Abschluss dieser Arbeit möglich.

Mein besonderes Dankeschön gilt meinen Eltern Klaus und Renate, die meinen Werdegang und mein Studium erst ermöglichten.

Neckartenzlingen, im September 2011

Uwe Greschner

Inhaltsverzeichnis

Abkürzungen und Formelzeichen	11
1 Einleitung	13
2 Aufgabenstellung	16
3 Grundlagen	17
3.1 Begriffe	17
3.2 Zirkadianer Rhythmus und Schlaf	18
3.3 Monotonie	22
3.4 Problembewusstsein	23
4 Fahrerverhalten	24
5 Stand der Technik	27
6 Wirkungsmodell	29
7 Regelungstechnische Modellbildung	31
8 Ansatz	36
9 Maßnahmen gegen Schläfrigkeit	38
9.1 Empirische Studien	38
9.1.1 Studie der NYS Task Force on Drowsy Driving	38
9.1.2 Studie von Nguyen et al.	39
9.1.3 Studie von Oron-Gilad & Shinar	40
9.1.4 Studie des DLR & Polizei Köln	44
9.2 Erläuterung von Maßnahmen gegen Schläfrigkeit	45
9.3 Auswahl	57
10 Versuchsdesign	58
10.1 Fahrsimulator	58
10.2 Unabhängige Variable	60
10.3 Versuchsplan	62
10.4 Messung von Schläfrigkeit	65
10.4.1 Messverfahren	65
10.4.2 Abhängige Variablen	66
10.4.3 Fragebogen	69
11 Vorversuche	70
11.1 Versuchsbeschreibung	70
11.2 Ergebnisse	70
11.3 Auswahl von Indikatoren	76
12 Statistische Hypothesenprüfung	77
12.1 Grundlagen	77
12.2 Hypothesen	78
12.3 Gültigkeit der Hypothesen	79
12.4 Auswahl des Signifikanztests	81

13	Hauptversuche	82
13.1	Probanden	82
13.2	Versuchsdurchführung	83
13.3	Ergebnisse	83
13.4	Hypothesenprüfung	87
13.5	Diskussion der Versuchsergebnisse	93
13.5.1	Telefongespräch	93
13.5.2	Radio hören	97
13.5.3	Taste drücken	99
13.5.4	Vibration des Sicherheitsgurts	100
13.5.5	Kontrollgruppe	103
13.6	Steigerung des Signifikanzniveaus	104
13.7	Simulierte Verkehrsunfälle	111
14	Diskussion der Forschungsergebnisse	112
15	Realisierbarkeit	115
16	Zusammenfassung	118
17	Abstract	121
	Literaturverzeichnis	123
	Anhang	131

Abkürzungen und Formelzeichen

α	Signifikanzniveau
α^*	Bonferoni-korrigiertes Signifikanzniveau
C	Celsius
CD	Compact Disk
DGAUM	Deutsche Gesellschaft für Arbeitsmedizin und Umweltmedizin e.V.
DLR	Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt
δ	Lenkradwinkel
e	Regelfehler
EEG	Elektroenzephalografie
EKG	Elektrokardiografie
EOG	Elektrookulografie
h	Stunde
H_0	Nullhypothese
H_1	Alternativhypothese
HF	High Frequency
Hz	Hertz
IAO	Institut für Arbeitswirtschaft und Organisation
K	Proportionalitätsfaktor
Ka	Karolinska
km	Kilometer
La	Standardabweichung der Lateralposition
LF	Low Frequency
LKW	Lastkraftwagen
m	Anzahl Zielgrößen
mg	Milligramm
Min.	Minuten
mm	Millimeter
mVolt	Millivolt
μ	Populationsmittelwert
$\mu_{Ka. \text{ vor Int.}}$	Populationsmittelwert der Selbstbewertung (Ka) vor der Intervention
$\mu_{Ka. \text{ mit Int.}}$	Populationsmittelwert der Selbstbewertung (Ka) mit Intervention
$\mu_{La. \text{ vor Int.}}$	Populationsmittelwert der Standardabweichung Lateralposition (La) vor Interv.
$\mu_{La. \text{ mit Int.}}$	Populationsmittelwert der Standardabweichung Lateralposition (La) mit Interv.
$\mu_{Wi. \text{ vor Int.}}$	Populationsmittelwert der Beobachterbewertung (Wi) vor der Intervention
$\mu_{Wi. \text{ mit Int.}}$	Populationsmittelwert der Beobachterbewertung (Wi) mit Intervention

n	Anzahl Messwerte
N	Stichprobengröße
NYS	New York State
p	Wahrscheinlichkeit
P	einseitige Überschreitungswahrscheinlichkeit
P'	zweiseitige Überschreitungswahrscheinlichkeit
PC	Personal Computer
PKW	Personenkraftwagen
pot.	potenziell
REM	Rapid-Eye-Movement
Sek.	Sekunde
StVO	Straßenverkehrsordnung
SWR	Südwestrundfunk
σ	Standardabweichung
u	Stellgröße
V	Versuch
VP	Versuchsperson
w	Sollgröße
Wi	Beobachterbewertung der Schläfrigkeit nach Wierwille
x	Lateralposition
\bar{x}	arithmetischer Mittelwert der Lateralposition
y	Abstand des Fahrzeugschwerpunkts zur Fahrbahnmittellinie
\ddot{y}	zweimalige zeitliche Ableitung von y = Querbeschleunigung des Fahrzeugs
€	Euro
°	Grad
§	Paragraf
%	Prozent

1 Einleitung

Der Schlaf ist ein lebenswichtiges Grundbedürfnis des Menschen und dient der Regeneration von Körper und Seele. Schlafen bedeutet für Menschen Ruhe und Erholung. Doch es gibt Zeiten, zu denen Schlaf oder Schläfrigkeit unerwünscht sind, z.B. bei der Arbeit und im Verkehr. Bedient der Mensch eine Maschine oder fährt er ein Fahrzeug, so kann eine enorme Gefahr entstehen, wenn er schläfrig wird oder gar einschläft. Die Medien berichten immer wieder über schwere Straßenverkehrsunfälle, bei denen ein „Sekundenschlaf“ des Fahrers die Ursache war (vgl. Kanal 8, 2009; Mainpost, 2009; Polizei, 2009). Bei solchen Unfällen kommen manchmal der Fahrer oder auch andere, unbeteiligte Verkehrsteilnehmer zu Tode.

Auch bei anderen Verkehrsmitteln entstehen durch Schläfrigkeit gefährliche Situationen. Flugzeugpiloten auf Langstreckenflügen und Lokführer bei der Eisenbahn nicken öfter ein, als die Passagiere dies vermuten. Nächtliche Arbeitszeiten und zu kurze Erholungspausen leisten immer wieder über schwere Straßenverkehrsunfälle, bei denen ein „Sekundenschlaf“ des Fahrers die Ursache war (vgl. Kanal 8, 2009; Mainpost, 2009; Polizei, 2009). Bei solchen Unfällen kommen manchmal der Fahrer oder auch andere, unbeteiligte Verkehrsteilnehmer zu Tode. Auch in der Industrie und der Energieversorgung sind Arbeitszeiten bei Nacht üblich, gerade auch bei sicherheitsrelevanten Überwachungstätigkeiten. Schläfrigkeit führte in der Vergangenheit auch dort zu schweren Unfällen. In Krankenhäusern können Patienten falsch versorgt werden, wenn Mitarbeiter nachts oder in schläfrigem Zustand tätig sind (vgl. Wilhelm et al., 2009).

Und doch scheint es an vielen Stellen kaum vermeidbar zu sein, dass Menschen ihren biologischen Rhythmus ignorieren und nachts arbeiten. Die Gefahr, die von Schläfrigkeit bei der Arbeit und im Verkehr ausgeht, wird in Zukunft eher noch zunehmen (vgl. Caldwell et al., 2008). Unsere Gesellschaft wird ständig mobiler. Die täglichen Fahrten zur Arbeit werden länger. Eine optimale Auslastung von Industrieanlagen verlangt Schicht- und Nachtarbeit. Dienstleistungsunternehmen bieten Service und Hotlines bis spät in die Nacht oder rund um die Uhr.

Schläfrigkeit als Ursache von schweren Verkehrsunfällen wurde lange Zeit unterschätzt. Eine Untersuchung tödlicher Verkehrsunfälle auf Autobahnen in Bayern ergab, dass mindestens 24 % dieser Unfälle durch Einschlafen des Fahrers verursacht wurden (vgl. Hell, 2001; Langwieder et. al., 1994). Weitere 11 % der Unfälle wurden durch Unaufmerksamkeit verursacht. Bei 46 % der Unfälle war die Ursache eine Fehleinschätzung, z.B. des Fahrbahnzustands oder der Verkehrssituation. Bei diesen 46 % kann als eigentliche Ursache der Fehleinschätzung ebenfalls Schläfrigkeit verantwortlich gewesen sein. Schläfrigkeit am Steuer stellt somit eine wesentlich häufigere Unfallursache dar, als früher angenommen wurde.

Bei den Schläfrigkeitsunfällen war auffällig, dass sie oft vom Auftreten bestimmter Parameter begleitet wurden. So begünstigten eine gerade Straßenführung, Dunkelheit und eine geringe Verkehrsdichte das Eintreten von Schläfrigkeitsunfällen (vgl. Abb. 1). Die Wirkung von Monotonie der Umgebung wird in Kapitel 3.3 beschrieben.

Die Schläfrigkeitsunfälle zeigten eine auffallende zeitliche Häufung. Von ca. 5 bis 6 Uhr ist ein deutlicher Anstieg der Unfallzahlen zu erkennen (vgl. Abb. 2). Dies ist bemerkenswert, da die Hauptverkehrszeit erst nach 7 Uhr beginnt.

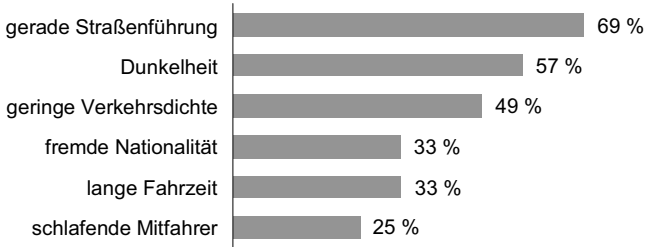


Abbildung 1: Begleitparameter von Einschlafunfällen (nach Hell, 2001)

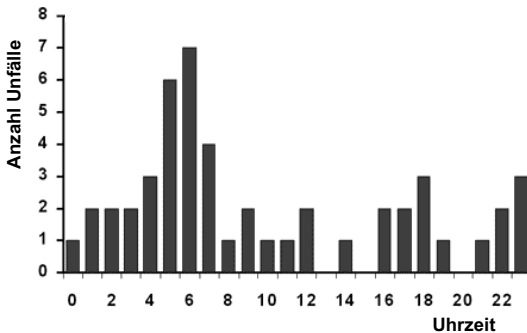


Abbildung 2: Einschlafunfälle mit Todesfolge auf Autobahnen in Bayern 1991, tageszeitliche Verteilung (Hell, 2001)

In einer anderen Studie wurde an einer deutschen Autobahn bei ca. 160 Fahrern deren Schläfrigkeit gemessen (vgl. Wilhelm et al., 2004). Die Testergebnisse waren bei 75 % der Fahrer unauffällig, bei 15 % grenzwertig und bei 10 % pathologisch. Bei insgesamt 25 % der überprüften Autofahrer war also eine erhöhte Schläfrigkeit festzustellen. Dies ist ein erschreckend hoher Anteil. Die Fahrer waren sich meist selbst ihrer Schläfrigkeit bewusst, sie schätzten aber ihre Fahrfähigkeit als zu hoch ein (vgl. Kap. 4).

Viele Autofahrer haben bereits irgendwann die Erfahrung gemacht, während der Fahrt schläfrig zu werden und sind trotzdem weitergefahren. Viele geben auch zu, deshalb fast Unfälle verursacht zu haben. Einige Personengruppen sind von dieser Problematik besonders stark betroffen, z.B. Berufsfernfahrer, Schichtarbeiter oder Wochenendpendler. Auch auf Urlaubsfahrten ereignen sich immer wieder Schläfrigkeitsunfälle. Personen, die sonst selten weite Strecken zurücklegen, sitzen dann viele Stunden am Steuer und unterschätzen dabei das Risiko, das von Schläfrigkeit ausgeht.

Es gibt auch Krankheiten, die dazu beitragen, dass Personen in schläfrigen Zustand Auto fahren. Erhebungen an Personen mit chronischen Schlafstörungen ergaben, dass bei diesen ein deutlich erhöhtes Unfallrisiko besteht und dass viele von ihnen bereits schläfrigkeitbedingte Unfälle hatten (vgl. Cassel & Mayer, 1995; Mulgrew et al., 2008; Wilhelm et al., 2004). Ein gesunder Schlaf ist Grundlage für das Wohlbefinden und die Leistungsfähigkeit des Menschen. Die Zahl der Menschen mit Schlafstörungen ist hoch. In Deutschland leiden ca. 25 % der Bevölkerung unter Ein- und Durchschlafstörungen, die nicht durch äußere Einflüsse bedingt sind (vgl. Peter et al., 1995). Bei Schläfrigkeitunfällen ist auch manchmal das „obstruktive Schlaf-Apnoe-Syndrom“ die Ursache der Schläfrigkeit. Personen, die an dieser Krankheit leiden, haben während des Nachtschlafs immer wieder kurzzeitige Atemstillstände und finden deshalb keinen erholsamen Schlaf (vgl. Weeß, 1996).

Die häufigste Unfallart, wenn Fahrer während der Fahrt einschlafen, ist das seitliche Abkommen des Fahrzeugs von der Fahrbahn (vgl. Düsseldorf, 2006; Pack et al., 1995). Das Fahrzeug verlässt dann oft mit hoher Geschwindigkeit die Straße und prallt manchmal ungebremst gegen ein Hindernis, z.B. einen Baum. Schläfrigkeitunfälle haben deshalb oft schwere Folgen, manchmal tödliche. Sie ereignen sich häufig auf Autobahnen, da die monotone Fahrsituation Schläfrigkeit begünstigt (vgl. Kap. 3.3).

Einige Kraftfahrzeughersteller und die Zulieferindustrie bieten seit kurzem Systeme an, die Autofahrern helfen sollen, mit dem Problem der Schläfrigkeit besser umzugehen (vgl. Kap. 5). Diese Systeme erfüllen meist folgende Funktionen:

1. Maschinelles Erkennen von Fahrerschläfrigkeit
2. Warnen des Fahrers bei Schläfrigkeit
3. Handlungsempfehlung: Fahrtpause

Ein Themengebiet, auf das von der Industrie bislang nicht eingegangen worden ist, ist das Wachhalten des Fahrers über einen definierten Zeitraum.

Bei Vielfahrern sind einige Methoden gebräuchlich, die der Schläfrigkeit entgegenwirken sollen, wie z.B. das Trinken von Kaffee oder Cola. Diese Maßnahme wirkt aber nicht sofort, sondern verzögert (vgl. Kap. 9.2). Es stellt sich die Frage, ob es auch Maßnahmen gegen Schläfrigkeit gibt, die während der Fahrt angewendet werden können und schnell wirken. Diesem Thema ist die vorliegende Arbeit gewidmet.

2 Aufgabenstellung

In der vorliegenden Arbeit werden Maßnahmen gegen Schläfrigkeit beim Führen von Kraftfahrzeugen analysiert und experimentell untersucht. Diese Maßnahmen sollen die Fahrtüchtigkeit von schläfrigen Fahrern befristet aufrechterhalten (vgl. Kap. 8). Die Maßnahmen werden während der Fahrt angewendet und müssen schnell wirken, d.h. sofort oder spätestens nach wenigen Minuten.

Wird ein Kraftfahrzeugführer während der Fahrt schläfrig, so sollte er sein Fahrzeug anhalten und eine Pause einlegen oder, falls möglich, seine Fahrt beenden (vgl. Kap. 4). Es gibt jedoch Verkehrssituationen, in denen dies nicht sofort möglich ist, z.B. auf Autobahnen. Dort kann die Fahrt nur an Parkplätzen oder Ausfahrten unterbrochen werden, um auszu-ruhen. Diese sind oft viele Kilometer voneinander entfernt. Dann muss sich der Fahrer bis zur nächsten Rastmöglichkeit wach halten. Hierzu sollen Maßnahmen gegen Schläfrigkeit eingesetzt werden. Sie sollen keinesfalls dazu dienen, eine notwendige Pause zu ersetzen und die Fahrt noch lange Zeit fortzusetzen. Es wäre nicht zu verantworten, einen schläfrigen Fahrer dauerhaft wach halten zu wollen. Maßnahmen gegen Schläfrigkeit sollen die Fahrtüchtigkeit bis zum nächsten Parkplatz aufrechterhalten.

Einige Fahrzeughersteller bieten Systeme an, die Fahrerschläfrigkeit erkennen und den Fahrer bei eintretender Schläfrigkeit warnen (vgl. Kap. 5). Maßnahmen gegen Schläfrigkeit sollen aber den Fahrer nicht nur informieren und warnen, sondern ihn bis zum nächsten Parkplatz wach halten. Dieser Ansatz unterscheidet sich von dem der heute verfügbaren Systeme (vgl. Kap. 8).

In der vorliegenden Arbeit wird die Wirksamkeit von Maßnahmen gegen Fahrerschläfrigkeit experimentell überprüft. Dabei werden sowohl technische wie auch nichttechnische Maßnahmen in Betracht gezogen. Nicht untersucht werden Maßnahmen vor Fahrtbeginn, wie beispielsweise die Einnahme von Koffein. Die Wirksamkeit solcher Substanzen wurde bereits nachgewiesen (vgl. Kap. 9).

Es sind Studien bekannt, die sich mit Maßnahmen gegen Schläfrigkeit beim Autofahren befassen. Dies sind oft empirische Erhebungen, bei denen Fahrer oder Experten zu ihren Erfahrungen mit Maßnahmen gegen Schläfrigkeit befragt wurden (vgl. Kap. 9.1). Es wurden zwar auch experimentelle Untersuchungen zur Wirksamkeit von Maßnahmen gegen Schläfrigkeit durchgeführt, bei diesen wurden aber immer nur ein oder zwei Maßnahmen erprobt (vgl. Kap. 9.2). In der vorliegenden Arbeit dagegen werden die bekannten und neue Maßnahmen gegen Schläfrigkeit systematisch analysiert und die am meisten Erfolg versprechenden experimentell untersucht. Dadurch soll herausgefunden werden, welche Maßnahmen gegen Schläfrigkeit in Kraftfahrzeugen sinnvoll zum Einsatz gebracht werden können.

3 Grundlagen

3.1 Begriffe

Bei der Thematik dieser Arbeit sind einige schläfrigkeits- und aufmerksamkeitsbezogene Symptome von Bedeutung. Mit diesen befasst sich auch die Schlafmedizin. Die Begriffe haben folgende Bedeutung (nach Weeß et al., 2001):

Die **Schläfrigkeit** beschreibt den Grad der Wachheit eines Menschen. In Situationen mit erhöhter körperlicher oder psychischer Belastung wird die Schläfrigkeit häufig kompensiert. In Situationen, in denen Schlaf möglich ist, tritt dieser auch ein.

Der Begriff **Müdigkeit** dagegen beschreibt in erster Linie einen Zustand der psychischen Erschöpfung. Müdigkeit geht häufig mit erhöhter Reizbarkeit, Erschöpfung und Konzentrationsdefiziten einher. Sie kann durch gestörten oder nicht erholsamen Schlaf verstärkt werden, tritt aber auch ohne Schlafstörungen auf. Müdigkeit ist eher an intrapsychische Prozesse, wie z.B. vermehrtes Stresserleben, und weniger an zirkadiane Zyklen gebunden. In Situationen, in denen Schlaf möglich ist, tritt dieser oft nur schwer ein. Bei Müdigkeit stellen monotone Situationen alleine noch keinen Schlafstimulus dar.

Die **Einschlafneigung** beschreibt die Fähigkeit eines Menschen einzuschlafen. Sie wird durch vielerlei Faktoren bedingt, wie z.B. Schläfrigkeit, Müdigkeit, intrapsychische Anspannung und nicht zuletzt durch die Umgebungsbedingungen, wie z.B. Geräusche und Klima.

Die **tonische zentralnervöse Aktivierung** beschreibt, wie wach ein Mensch im Vergleich zu einem anderen Tag ist. Sie unterliegt vor allem zirkadianen Schwankungen und nicht der bewussten Kontrolle. Die **phasische zentralnervöse Aktivierung** dagegen bezieht sich auf intermittierende, in der Regel durch Warnreize ausgelöste, Signale, die vom Organismus eine Reaktion erfordern und zu einem vorübergehenden Anstieg der zentralnervösen Aktivierung führen.

Im Gegensatz zur zentralnervösen Aktivierung unterliegen die selektive Aufmerksamkeit, die geteilte Aufmerksamkeit und die Vigilanz der bewussten Kontrolle des Organismus. **Selektive Aufmerksamkeit** beschreibt die Fähigkeit, aus der Summe der einströmenden Reize eine Auswahl relevanter Reize zu treffen. Die **Vigilanz** beschreibt eine unspezifische Reaktionsbereitschaft, bei der die Aufmerksamkeit über einen längeren Zeitraum auf einem höheren Niveau gehalten wird (vgl. Kiegeland, 1997). Unter **geteilter Aufmerksamkeit** wird die Fähigkeit zur schnellen, automatisierten, kontrollierten, seriellen und parallelen Informationsverarbeitung verstanden.

Für die Fähigkeit, ein Kraftfahrzeug sicher zu führen, sind alle diese Größen mehr oder weniger von Bedeutung. In der vorliegenden Arbeit soll aber in erster Linie die Schläfrigkeit diskutiert werden, denn Schläfrigkeit nach obiger Definition ist eine häufige Ursache von Straßenverkehrsunfällen. Bei Führern von Kraftfahrzeugen, die mit zu wenig oder mit nicht erholsamem Schlaf fahren, tritt Schläfrigkeit ein und führt zu den beschriebenen Sicherheitsrisiken. Die Einschlafneigung ist in diesem Zusammenhang zwar auch von Bedeutung, sie bezieht sich jedoch auf den Zeitpunkt, zu dem ein Mensch wirklich einschläft. Das Sicherheitsrisiko entsteht aber schon vorher, denn die Wahrnehmungs- und Reaktionsfähigkeit eines Fahrers nehmen schon vor dem Einschlafen deutlich ab.

In der Literatur ist gelegentlich auch von „Maßnahmen gegen Müdigkeit“ die Rede (vgl. Brown, 1997; Hargutt, 2003; Karnahl et al., 2004). Wie oben beschrieben ist aber die Schläfrigkeit hier von größerer Bedeutung. In der vorliegenden Arbeit wird deshalb der Begriff „Maßnahmen gegen Schläfrigkeit“ verwendet, genau wie in zahlreichen anderen relevanten Veröffentlichungen (vgl. Balk et al., 2002; Bekiaris et al., 2004; Chervin et al., 1997; Hagenmeyer, 2007; Horne & Reyner, 1996; Muttray et al., 2007; Popp, 2005; Wierwille & Ellsworth, 1994).

In der Arbeitswissenschaft und der Schlafmedizin wird auch der Begriff der menschlichen Leistung gebraucht. Damit ist nicht die physikalisch definierte Leistung gemeint. Unter **menschlicher Leistung** wird die anforderungsgerechte Erfüllung vorgegebener körperlicher und geistiger Aufgaben verstanden (vgl. Peter et al., 1995; Spath, 2004 a; Spath et al., 2004).

3.2 Zirkadianer Rhythmus und Schlaf

Die meisten Funktionen des menschlichen Organismus verändern sich im Laufe eines Tages periodisch. Sie unterliegen der Steuerung durch eine „innere Uhr“. Die Periodizität dieser tageszeitlichen Schwankungen nennt man zirkadianen Rhythmus (lat.: circa dies = etwa ein Tag). Die Periodendauer schwankt zwischen 23 und 27 Stunden bei einem Mittelwert von ca. 25 Stunden. Diese Periodendauer wird durch externe Zeitgeber (Synchronisierer) an den 24 Stunden-Rhythmus des geo-physikalischen Tages angeglichen (vgl. Griefahn, 2003; Luczak, 1998; Peter et al., 1995). Der wichtigste externe Zeitgeber ist das Tageslicht. Weitere externe Synchronisierer sind die Information über die Uhrzeit (auch Sommerzeit - Winterzeit) und tageszeitlich typisches Verhalten der Menschen, wie z.B. das morgendliche Aufstehen und der Beginn der Arbeit. Die externen Zeitgeber beeinflussen die Phasenlage der Minima und Maxima der Körperfunktionen während des Tagesverlaufs, sie sind aber nicht die Ursache dieser Periodik. Bei Fehlen der Zeitgeber kommt es zu einer kontinuierlich steigenden Phasenverschiebung. Wird die tageszeitliche Rhythmik des Körpers gestört, z.B. durch Nacharbeit, so kann es zu umfassenden Beeinträchtigungen vieler Funktionen kommen.

Der Einfluss des Tageslichts auf den zirkadianen Rhythmus des Menschen wird durch das Hormon **Melatonin** verursacht. Melatonin wird in der Zirbeldrüse, einem Teil des menschlichen Zwischenhirns, aus Serotonin produziert und steuert den zirkadianen Rhythmus (vgl. Burgess et al., 2002; Cajochen, 2007; Griefahn, 2003).

Spezielle Zellen auf der Netzhaut im Auge (Retina) reagieren auf Licht und senden in Abhängigkeit von der Lichtstärke elektrische Impulse über Nervenstränge ans Gehirn. Fällt Licht auf die Augen, so gelangt diese Information zur Zirbeldrüse und infolge dessen wird die Bildung und Freisetzung von Melatonin gehemmt bzw. unterdrückt. Fällt weniger oder kein Licht mehr auf die Augen, so wird in der Zirbeldrüse verstärkt Melatonin gebildet und in den Blutkreislauf freigesetzt. Der Melatoningehalt im Blut steigt dann an. Das Melatonin im Blut bewirkt, dass der Mensch schläfrig wird.

Bei hellem Tageslicht oder hellem künstlichem Licht wird die Melatoninsynthese also weitgehend unterdrückt. Wird es abends dunkel, so wird verstärkt Melatonin freigesetzt und der Gehalt im Blut steigt an. Der Mensch wird deshalb abends und nachts schläfrig. Der Melatoningehalt im Blut erreicht sein Maximum während der Nachtstunden.

Der Melatoninpegel im Blut des Menschen und damit seine Schläfrigkeit können durch „künstliche“ Maßnahmen verändert werden. Melatonin kann als Medikament eingenommen werden, z.B. in Form von Tabletten. Der Mensch wird dadurch schläfriger. Dies kann zur Behandlung von Schlafstörungen eingesetzt werden. Diese Behandlungsmethode ist jedoch medizinisch nicht unbedenklich (vgl. Griefahn, 2003).

Der gegenteilige Effekt wird durch starkes künstliches Licht erreicht. Schläfrigkeit kann dadurch reduziert werden (vgl. Cajochen, 2007; Popp, 2005; Spath et al., 2008). Ob dies auch bei Kraftfahrzeugführern sinnvoll angewandt werden kann, wird in Kapitel 9.2 diskutiert.

Der Wach-Schlaf-Zyklus ist der wichtigste zirkadiane Zyklus des Menschen. Der Wachphase mit erhöhter Leistungsbereitschaft folgt die Schlafphase, für die der biologische Rhythmus Zeiträume vorgibt. In der Schlafphase befinden sich die meisten körperlichen Funktionen auf einem Tiefpunkt. Abbildung 3 zeigt den Verlauf der Schlaftendenz über einen Zeitraum von 32 Stunden. Er wurde ermittelt mit Versuchspersonen, die 32 Stunden unter Isolation lebten und keine Kenntnis der Uhrzeit hatten (vgl. Zulley, 1995). Die Abbildung zeigt, dass die Schlafbereitschaft um ca. 3 Uhr nachts maximal ist. Zu diesem Zeitpunkt befinden sich die Leistungsfähigkeit, die Konzentrationsfähigkeit und die Stimmung auf einem Tiefpunkt. Ebenfalls erhöht ist die Schlafbereitschaft im zweiten Leistungstief am Nachmittag.

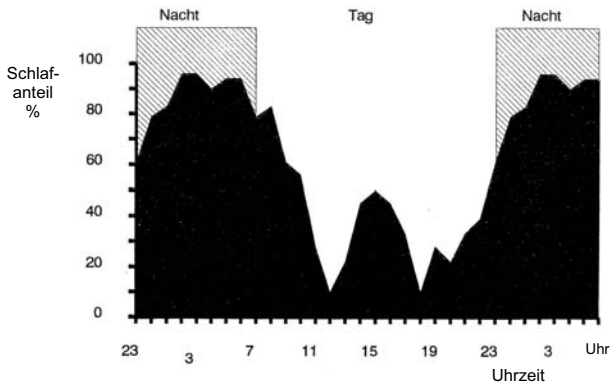


Abbildung 3: Schlaftendenz über einen Zeitraum von 32 Stunden (Nacht - Tag - Nacht) (Zulley, 1995)

Zusätzlich zu dieser Tagesrhythmik ist an der Schlafregulation noch ein weiterer Prozess beteiligt, der den „Schlafdruck“ mit zunehmender Wachdauer steigert. Durch den Schlaf wird dieser wieder abgebaut.

Nicht nur die Schlaftendenz, sondern auch die Leistungsfähigkeit des Menschen zeigt über den Tagesverlauf hinweg ausgeprägte Schwankungen. Abbildung 4 zeigt den Verlauf der Leistungsfähigkeit des Menschen ab 6 Uhr morgens über einen Zeitraum von 24 Stunden (nach Graf, 1954, zit. nach Luczak, 1998; vgl. Bullinger, 1994; Grimm & Vollmer, 2002). Sie steigt morgens an und erreicht zwischen 9 und 11 Uhr ein Maximum. Um die Mittagszeit fällt die Leistungsfähigkeit meist ab und hat am Nachmittag ein Tief. Am Spätnachmittag steigt sie dann nochmals an und erreicht um ca. 18-19 Uhr ein Maximum, dessen Niveau allerdings nicht ganz so hoch ist wie am Vormittag. Am späteren Abend fällt die

Leistungsfähigkeit dann wieder ab und erreicht in der Nacht gegen 3 Uhr einen absoluten Tiefpunkt. Es ist deutlich zu erkennen, dass der Tagesverlauf der Leistungsfähigkeit mit der Schlafendenz in Abbildung 3 korreliert. Zu Tageszeiten mit hoher Schlafendenz ist die Leistungsfähigkeit besonders niedrig (z.B. um 3 Uhr) und umgekehrt.

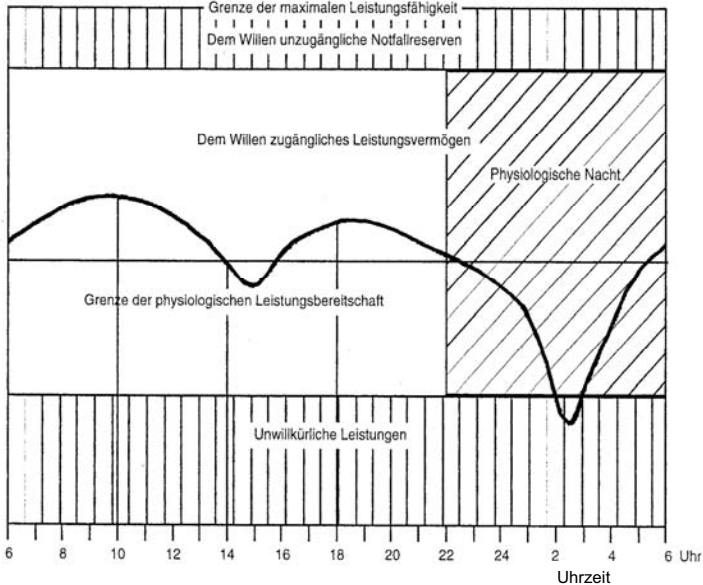


Abbildung 4: Menschliche Leistungsfähigkeit über 24 Stunden
(nach Graf, 1954, zit. nach Luczak, 1998)

Der Tagesverlauf der Leistungsfähigkeit wird auch physiologische Arbeitskurve genannt. Das Arbeiten nach diesem Rhythmus wird subjektiv als angenehm empfunden. Neben der physiologischen Arbeitskurve gibt es weitere Faktoren, welche die menschliche Leistungsfähigkeit beeinflussen, wie z.B. der Zeitpunkt der Nahrungsaufnahme.

Die Abbildungen 3 und 4 zeigen, dass es Tageszeiten gibt, die eher für leistungsfordernde Aktivitäten und Arbeit geeignet sind, und andere Zeiten, für die der zirkadiane Rhythmus Ruhe und Schlaf vorsieht. Wo dies möglich ist, sollte diese Erkenntnis bei der Gestaltung des Tagesablaufs und der Arbeit berücksichtigt werden.

Während des Schlafs weisen viele Körperfunktionen nur relativ geringe Veränderungen auf, wie z.B. Atmung und Herzfrequenz. Die meisten Änderungen lassen sich im Gehirn feststellen. Die verschiedenen Schlafstadien lassen sich deshalb über die Gehirnströme definieren. Gehirnströme werden mithilfe der Elektroenzephalographie (EEG) gemessen. Dabei werden Elektroden auf der Kopfhaut angebracht, mit deren Hilfe die Gehirnströme gemessen werden (vgl. Kap. 10.4.1). Die Gehirnströme lassen sich nach Frequenzspektren analysieren. Man unterscheidet dabei üblicherweise folgende Frequenzbänder (nach Hargutt, 2003):

< 4 Hz	Delta-Band
4 – 7,5 Hz	Theta-Band
8 – 12,5 Hz	Alpha-Band
13,0 – 18,0 Hz	Beta 1-Band
18,5 – 24,0 Hz	Beta 2-Band
24,5 – 31,5 Hz	Beta 3-Band

Der Nachtschlaf lässt sich in fünf Stadien unterteilen, die im Wesentlichen den unterschiedlichen Grad der zentralnervösen Aktivierung widerspiegeln (vgl. Kap. 3.1). Sie werden definiert über das Auftreten bestimmter Frequenzbänder bei den Gehirnströmen:

Stadium 0: Wachphase innerhalb des Schlafs; mehr als die Hälfte der Zeit Alpha-Aktivität

Stadium 1: Mehr als die Hälfte der Zeit unregelmäßige Theta- und Delta-Aktivität

Stadium 2: Mindestens eine Schlafspindel

Stadium 3: Delta-Aktivität (≤ 2 Hz) mit Amplituden ≥ 75 mVolt während 20-50 % der Zeit

Stadium 4: Mehr als 50 % der Zeit Delta-Aktivität

Das Gehirn ist im Schlaf also nicht ruhig, sondern höchst aktiv. Gesunder Schlaf ist gekennzeichnet durch Tiefschlaf in der ersten Nachthälfte und durch eine Struktur mit einer 90 Minuten-Periodik. Für den Erholungswert des Schlafs scheint vor allem die Dauer des Tiefschlafs ausschlaggebend zu sein (vgl. Peter et al., 1995).

Der Schlaf beinhaltet ein sogenanntes REM-Stadium, in dem schnelle Augenbewegungen charakteristisch sind (**R**apid-**E**ye-**M**ovement). Während der REM-Phase ist das Gehirn in einer dem Wachzustand vergleichbaren Weise aktiv.

Die Schlafdauer des Menschen ist vom Lebensalter abhängig. Ein Neugeborenes schläft ca. 16 Stunden am Tag und ein 20-jähriger ca. 8 Stunden. Mit zunehmendem Alter geht die Schlafdauer noch weiter zurück. Die tägliche Schlafdauer variiert auch individuell.

Die beiden wichtigsten Aufgaben der Schlaf-Wach-Regulation sind:

1. Der Schlaf hindert den Menschen, zu einer Zeit aktiv zu sein, in der der Organismus nicht darauf eingerichtet ist.
2. Während des Schlafs kann der Körper aktiv Regenerationsvorgänge durchführen, die Voraussetzung für Gesundheit und Leistungsfähigkeit sind.

Unsere heutige Arbeitswelt erfordert manchmal, dass Menschen ihren natürlichen Wach-Schlaf-Rhythmus ignorieren und nachts arbeiten. Als Folge dieses unnatürlichen Tagesablaufs stellen sich oft chronische Schlafstörungen, verringerte Leistungsfähigkeit oder auch Krankheiten ein (vgl. Burgess et al., 2002; Griefahn, 2003; Wilhelm et al., 2009). Auch die Fähigkeit, ein Kraftfahrzeug sicher zu führen, wird durch einen verschobenen Wach-Schlaf-Rhythmus negativ beeinflusst.

3.3 Monotonie

Für das Auftreten von Schläfrigkeit ist der chronobiologische Rhythmus des Menschen verantwortlich. Es gibt aber auch noch weitere, äußere, Einflussfaktoren, die Schläfrigkeit begünstigen. Thiffault und Bergeron (2003a, 2003b) haben in einer Fahrsimulator-Studie nachgewiesen, dass das Auftreten von Schläfrigkeit durch monotone Situationen und Monotonie der Umgebung gefördert wird (vgl. Liu & Wu, 2009). Monotonie ist ein Zustand, in dem ein Mangel an äußeren Reizen herrscht. Beim Autofahren wird Monotonie hervorgerufen durch Faktoren wie geringe Verkehrsdichte, gerade Straße, eintönige Umgebung, Dunkelheit, langes Fahren, konstanter Geräuschpegel und keine oder schlafende Beifahrer (vgl. Abb. 1). Monotone Fahrsituationen erhöhen deshalb das Risiko von Fehlhandlungen und Unfällen.

Neurophysiologisch betrachtet bewirkt Monotonie beim Menschen einen Zustand herabgesetzter psychischer Aktivität. Der Mangel an Reizen, die auf das menschliche Nervensystem einwirken, hat eine verringerte Anregung der Großhirnrinde zur Folge. Dies bewirkt eine abnehmende Reaktionsbereitschaft des gesamten Organismus (vgl. Kiegeland, 1997). Monotonie kann verursacht werden durch

- lang andauernde, repetitive oder eintönige Tätigkeiten
- kurze Zyklusdauer von sich wiederholenden Operationen
- kurze Anlernzeiten
- soziale Isolierung
- geringe Möglichkeiten der körperlichen Bewegung
- dunkle Umgebung

In der Arbeitswelt nimmt situationsbedingte Monotonie heute an vielen Stellen eher zu als ab (vgl. Caldwell et al., 2008). Flugzeugpiloten und Zugführer müssen heute oft nicht mehr aktiv steuern und bedienen, sondern lediglich überwachen. Ein aktives Eingreifen ist dann über längere Zeiträume nicht mehr notwendig oder sogar technisch ausgeschlossen. Führer von Hochgeschwindigkeitszügen können bei höheren Geschwindigkeiten nicht mehr aktiv steuern, also „selbst fahren“. Dem Menschen wird nicht zugetraut, dass er bei hohen Geschwindigkeiten die Signale richtig und rechtzeitig erkennen und angemessen reagieren kann. Die Tätigkeit des Fahrzeugführers beschränkt sich darauf, die Instrumente zu überwachen. Lediglich in Notfällen kann er selbst eingreifen. Diese Fahrsituation bringt starke Monotonie mit sich. Ähnliche Situationen finden sich auch bei Flugzeugpiloten oder bei Personen, die technische Anlagen überwachen, z.B. Kraftwerke.

Auch Führer von Kraftfahrzeugen sind heute von zunehmender Monotonie ihrer Fahrsituation betroffen. LKW besaßen früher keine synchronisierten Schaltgetriebe, wodurch beim Schalten Zwischenkuppeln und Zwischengas erforderlich waren. Dadurch wurde die Monotonie etwas reduziert. Heute sind auch LKW mit synchronisierten Schaltgetrieben oder teil- oder vollautomatischen Getrieben ausgerüstet. Früher haben bei LKW auch die hohen Lenkkräfte zusätzliche Reize dargestellt. Seit der Einführung von Servolenkungen bei LKW sind die Lenkkräfte deutlich geringer geworden.

Aber auch moderne PKW werden zunehmend mit Systemen ausgerüstet, die Monotonie beim Fahren steigern. Mit automatischen Getrieben sind keine Schaltvorgänge mehr erforderlich. PKW der gehobenen Klasse sind heute oft mit einem Geschwindigkeitsregler (Tempomat) ausgerüstet, der die Betätigung von Gas- und Bremspedal überflüssig macht. Die Fahraufgaben „Geschwindigkeit überwachen und halten“ entfallen damit. Auf Überland- und Autobahnfahrten reduziert sich die Fahrtätigkeit dadurch auf die Spurhaltung des Fahrzeugs.

Die Reaktionen von Menschen auf monotone Situationen unterscheiden sich individuell. Bei manchen Personen führen monotone Situationen eher zu Schläfrigkeit, bei anderen weniger stark. Nach Kiegeland (1997) wirken monotone Situationen stärker schlafstimulierend, wenn bei Personen folgende Eigenschaften vorliegen:

- umfangreiche Kenntnisse und Fertigkeiten
- hohes Bildungsniveau
- hohe Leistungsbereitschaft
- ermüdeten Zustand
- niedrige Motivation
- extrovertierte Persönlichkeit

Monotone Situationen bei der Arbeit und im Verkehr sollten durch entsprechende Gestaltung von Arbeitsabläufen und Arbeitsplätzen möglichst vermieden werden. In der industriellen Produktion kann dies realisiert werden, indem die Komplexität der Arbeitsaufgabe erhöht wird und Mitarbeiter nicht immer nur denselben Arbeitsschritt zu erledigen haben (vgl. Spath, 2004 b; Westkämper, 2006; Westkämper & Zahn, 2009). Bei Fahrer- und Pilotenarbeitsplätzen sowie bei Überwachungsaufgaben (z.B. Kraftwerke) ist es schwieriger, Monotonie zu reduzieren.

3.4 Problembewusstsein

Schläfrigkeit in der Arbeitswelt und im Verkehr ist ein ernstes Problem. Es ist sowohl ein Problem des Einzelnen, der in schläfrigen Zustand Tätigkeiten ausübt, wie auch ein gesellschaftliches Problem. Oft entstehen Gefahren nicht nur für den Handelnden selbst, sondern auch für viele andere Menschen. Auf die schweren Unfälle in Industrie und Verkehr wurde in Kapitel 1 hingewiesen.

Viele Experten fordern deshalb heute öffentliche Aufklärungskampagnen, die auf die negativen Folgen von Schläfrigkeit im Verkehr und bei der Arbeit hinweisen. Die Bevölkerung sollte auf diese Weise dazu gebracht werden, die Gefahr ernster zu nehmen und selbst aktiv vorzubeugen (vgl. Nordbakke & Sagberg, 2007; Van Wees et al., 2004). In anderen Ländern ist man hier bereits weiter als in Deutschland. So gibt es z.B. in Australien Öffentlichkeitskampagnen, die auf die Gefahr von Schläfrigkeit am Steuer hinweisen (vgl. Abb. 5, 6; Hell, 2001).



Abbildungen 5, 6: Australische Öffentlichkeitskampagne gegen Schläfrigkeit am Steuer (vgl. Hell, 2001)

Des Weiteren wird gefordert, das Problem bei Richtlinien für Arbeitszeiten und Ruhepausen stärker zu berücksichtigen. Eine weitere Forderung ist das Entwickeln und Einführen von präventiven Gegenmaßnahmen, um Schläfrigkeitunfälle im Straßenverkehr zu verhindern. Dieses Thema wird in der vorliegenden Arbeit behandelt.

4 Fahrerverhalten

Fahrer von Kraftfahrzeugen müssen selbst dafür Sorge tragen, nicht in schläfrigem Zustand zu fahren. Sie müssen dies durch entsprechendes Verhalten **vor** und **während** der Fahrt sicherstellen. Vor der Fahrt ist in erster Linie auf ausreichend Schlaf zu achten. In der Regel sollte nachts geschlafen werden, da dies dem natürlichen Rhythmus des Körpers entspricht und hier der Schlaf am erholsamsten ist (vgl. Kap. 3.2).

Nach Möglichkeit sollte die Fahrt zu einer Tageszeit stattfinden, in der der Mensch leistungsfähig und nicht schläfrig ist (vgl. Abb. 3 und 4). Fahrten bei Nacht sollten deshalb möglichst vermieden werden.

Direkt vor der Fahrt sollten keine stressintensiven Tätigkeiten verrichtet werden. Eine längere Autofahrt direkt im Anschluss an einen anstrengenden Arbeitstag ist zu vermeiden.

Vor längeren Autofahrten sollten auch keine üppigen oder fetten Mahlzeiten eingenommen werden. Der Körper benötigt sonst zu viel Energie für den Verdauungsprozess und die Konzentrations- und Reaktionsfähigkeit lassen nach. Besonders ungünstig sind große Mahlzeiten am Mittag. Die Verdauungsphase fällt dann mit dem biologischen Leistungstief am Nachmittag zusammen, starke Schläfrigkeit wäre zu erwarten. Ideal vor Autofahrten sind leichte Mahlzeiten.

Vor und während langer Fahrten muss auch auf ausreichende Flüssigkeitszufuhr geachtet werden, besonders im Sommer bei warmen Temperaturen. Dehydration (Austrocknung) des Körpers mindert die Leistungsfähigkeit.

Der Konsum von koffeinhaltigen Getränken wie Kaffee, schwarzer oder grüner Tee, Cola oder von Energy-Drinks können die Schläfrigkeit vorübergehend reduzieren (vgl. Kap. 9.2). Es ist dabei aber zu beachten, dass die Wirkung nicht sofort einsetzt und nach einer gewissen Zeit auch wieder nachlässt. Die Wirkung von Koffein darf nicht überschätzt werden. Bei starker Schläfrigkeit ist es auch trotz Koffeinkonsums möglich, am Steuer einzuschlafen.

Vor Autofahrten sollte kein Alkohol getrunken werden, am besten auch nicht am Abend vorher. Der Restalkohol im Blut kann die Konzentrations- und Leistungsfähigkeit auch am nächsten Tag noch herabsetzen, insbesondere in Verbindung mit Schläfrigkeit (vgl. Rakauskas et al., 2008). Auch die Einnahme von Medikamenten kann Schläfrigkeit deutlich verstärken.

Die klimatischen Bedingungen im Fahrzeug sollten dazu geeignet sein, die Leistungsfähigkeit des Fahrers zu erhalten. An warmen Tagen ist die Nutzung einer Klimaanlage sinnvoll, an kühleren Tagen sollte der Innenraum nicht überheizt werden, da Wärme schlafördernd wirken kann. Ideal ist eine Raumtemperatur im unteren Behaglichkeitsbereich (vgl. Grandjean, 1979; Spath, 2005).

Mehrere Literaturstellen gehen davon aus, dass ein Gespräch mit dem Beifahrer gegen Schläfrigkeit hilft (vgl. Grandjean, 1979; Kiegeland, 1997). Dies erscheint evident und wird im weiteren Verlauf der vorliegenden Arbeit überprüft. Nach Stoohs (1997) merken Beifahrer schneller als der Fahrer selbst, wenn dieser schläfrig wird. Sie können ihn dann ansprechen.

Während der Fahrt ist auf ausreichend Pausen zu achten. Dabei sollte der Wagen möglichst verlassen werden und der Fahrer sollte sich an der frischen Luft bewegen.

Tritt trotz aller Vorkehrungen der Fall ein, dass der Fahrer schläfrig wird, so kann er dies am Auftreten der folgenden Warnsignale feststellen (vgl. Rogé et al., 2003). Sie treten entweder einzeln oder kombiniert auf.

- verschwommenes Sehen
- schwere oder herabsinkende Augenlider
- unwillkürliches Kopfnicken
- dauerndes Gähnen
- wandernde Gedanken
- man erinnert sich nicht an die letzten 5 Kilometer
- schlenkerndes Fahren
- ruckartige Lenkbewegungen
- Abkommen von der Fahrspur

Führer von Kraftfahrzeugen, die in schläfrigen Zustand fahren, sind sich hierüber meist selbst bewusst. Sie schätzen aber ihre Fahrtüchtigkeit falsch ein. Sie glauben, dass sie noch in der Lage sind, das Fahrzeug sicher zu führen, obwohl dies bei weitem nicht mehr der Fall ist (vgl. Lucidi et al., 2006; Nordbakke & Sagberg, 2007). Die Fahrer denken, sie bemerken es, bevor sie einschlafen. Untersuchungen haben aber gezeigt, dass dies nicht so ist. Die Fahrer sind „zu schläfrig“, um zu bemerken, wenn sie einschlafen. Das Einschlafen und der Schlaf sind keine bewussten Handlungen. Obige Warnsignale sollten deshalb von Fahrern ernst genommen werden.

Schläfrigkeit während der Fahrt führt oft zu weiteren Symptomen (vgl. Rogé et al., 2003). Die Fahrer selbst bemerken diese aber meistens nicht:

- Erhöhung der Reaktionszeit
- Fehleinschätzung der Geschwindigkeit
- Fehleinschätzung der Entfernung zu Hindernissen
- Fehleinschätzung der zurückgelegten Strecke
- zu spätes Erkennen und Einschätzen gefährlicher Situationen
- zögerliche Fahrweise
- langsam fahren
- ständige Geschwindigkeitsänderungen
- plötzliches Bremsen
- Tendenz, mehr links zu fahren
- Bedienfehler am Fahrzeug

Bemerkt ein Fahrer Warnsignale für Schläfrigkeit, so ist es höchste Zeit, den Wagen an der nächsten Parkmöglichkeit anzuhalten und eine Pause einzulegen. Experten aus dem Verkehrswesen und der Schlafmedizin sind heute allgemein der Auffassung, dass ein kurzer Schlaf das beste Mittel gegen Schläfrigkeit beim Autofahren ist. Die Wirksamkeit dieser Maßnahme wurde experimentell nachgewiesen (vgl. De Valck et al., 2003; Horne & Reyner, 1996, 2001 b; ITI, 2000; Mednick et al., 2008; Philip et al., 2006). Der schläfrige Fahrer sollte also möglichst im Wagen etwas schlafen (vgl. Abb. 7). Der Schlaf sollte aber nur 15-20 Minuten dauern, da der Fahrer sonst in Tiefschlaf gerät und die Leistungsfähigkeit anschließend sogar reduziert ist (vgl. Rosekind et al., 1995). Auf langen Fahrten, z.B. in den Urlaub, kann es notwendig werden, unterwegs zu übernachten. Der Fahrer sollte vermeiden, in schläfrigen Zustand in die Nacht hinein oder gar die Nacht hindurch zu fahren.



Abbildung 7: Kurzschlaf im PKW während einer Fahrtpause

In Kapitel 3.3 wurde beschrieben, dass automatische Getriebe und Geschwindigkeitsregler Monotonie und Schläfrigkeit begünstigen. Führt ein Fahrer ein Fahrzeug mit Geschwindigkeitsregler, so sollte er bei einsetzender Schläfrigkeit auf seine Verwendung verzichten, um die Monotonie nicht noch zusätzlich zu steigern. Bei manchen Automatikgetrieben sind auch manuelle Schaltvorgänge möglich.

Kraftfahrer, die öfters beim Fahren schläfrig werden, nutzen oft einige Tricks, mit denen sie sich wach halten wollen. Gebräuchliche Methoden sind z.B. Radio hören oder das Öffnen des Fensters. Die Wirksamkeit dieser Maßnahmen wird in Kapitel 9 diskutiert.

5 Stand der Technik

Einige Kraftfahrzeughersteller und -zulieferer bieten seit kurzem Systeme an, die Autofahrer bei auftretender Schläfrigkeit warnen. Mercedes-Benz und Volvo haben solche Systeme in einigen ihrer Modelle installiert (vgl. Daimler, 2008 a; Mobileye, 2007; Volvo, 2009). Die Systeme dieser beiden Hersteller ähneln sich. Sie erfüllen prinzipiell die folgenden Funktionen:

1. Maschinelles Erkennen von Fahrerschläfrigkeit
2. Warnen des Fahrers bei Schläfrigkeit
3. Anzeige der Handlungsempfehlung Fahrtpause

Um Schläfrigkeit des Fahrers festzustellen, erfassen und verarbeiten diese Geräte eine Vielzahl von Parametern in und um das Fahrzeug, wie z.B. Längs- und Querbewegung, Fahrbahnunebenheiten, Seitenwind sowie bestimmte Bedienhandlungen. Ein besonders wichtiger Parameter sind die Lenkbewegungen. Das System von Volvo erkennt und verarbeitet auch die Position des Fahrzeugs auf der Fahrbahn, die mithilfe einer Kamera festgestellt wird. Erkennen die Systeme durch Auswertung der Parameter beim Fahrer Schläfrigkeit, so wird er darüber akustisch durch ein Tonsignal und visuell durch eine Anzeige in der Instrumententafel informiert (vgl. Abb. 8). Dem Fahrer wird empfohlen, eine Fahrtpause einzulegen.

Die Systeme beinhalten keine Maßnahmen, um den Fahrer wacher zu machen und seine Fahrtüchtigkeit wieder zu verbessern. Es ist nicht bekannt, dass ein Fahrzeughersteller solche Maßnahmen gegen Schläfrigkeit integriert hat.



Abbildung 8: Instrumentenanzeige beim System Attention Assist von Mercedes-Benz (Daimler, 2008 b)

Siemens VDO bietet ein System an, das mit einer Infrarot-empfindlichen Kamera im Fahrzeug das Gesicht des Fahrers erfasst. Durch Auswertung der Blickrichtung, der Anzahl und Dauer der Lidschläge sowie weiterer Indikatoren wird Schläfrigkeit des Fahrers erkannt. Er wird dann mittels eines akustischen Signals und durch Vibrationen im Sitz gewarnt (vgl. Continental, 2006).

Viele Kraftfahrzeughersteller bieten inzwischen Systeme an, die den Fahrer bei seitlichem Überschreiten der Fahrbahnbegrenzungslinien warnen, meist akustisch. Dabei wird der Abstand zur Begrenzungslinie mithilfe einer Kamera oder mit Infrarotsensoren am Fahrzeug festgestellt (vgl. Abb. 9; BMW, 2009 a; Citroën, 2009). Diese Systeme können zwar keine Schläfrigkeit erkennen, sie können aber trotzdem helfen, Unfälle durch Schläfrigkeit zu vermeiden, denn das seitliche Abkommen von der Fahrbahn ist die häufigste Unfallart, die durch Schläfrigkeit verursacht wird (vgl. Pack et al., 1995).



Abbildung 9: Abstandserkennung mit Infrarotsensoren bei Citroën (2009)

Durch Licht kann die Synthese von Melatonin reduziert werden (vgl. Kap. 3.2 , 9.2). Es gibt Ansätze, dies auch bei Kraftfahrzeugführern während der Fahrt zu nutzen, um Schläfrigkeit entgegenzuwirken. Volkswagen hat 2006 den Prototyp einer sogenannten Vigilanzleuchte vorgestellt. Dabei wurde eine Leuchte ins Dach des Fahrzeugs integriert, die blaues Licht abstrahlte, und so der Schläfrigkeit von Fahrern entgegenwirken sollte (vgl. Abb. 10; Wiemers, 2007). Diese Entwicklung wurde nach Angabe von Volkswagen jedoch nicht weiter verfolgt, da das Licht für Nachtfahrten zu hell war (vgl. Sueddeutsche, 2008; Vox, 2009).



Abbildung 10: Prototyp einer Vigilanzleuchte von Volkswagen (Licht, 2007)

Ein Kraftfahrzeugausrüster bietet ein Gerät auf dem Markt an, welches die Melatoninsynthese hemmen soll. Das Gerät wird „AntiBlendLicht“ genannt (vgl. Braun, 2008). Das Gerät beinhaltet eine Leuchte und wird an der Sonnenblende des Fahrers montiert. Das Licht soll die Blendwirkung, die nachts durch entgegenkommende Fahrzeuge entsteht, reduzieren. Außerdem soll durch die Hemmung der Melatoninsynthese Fahrerschläfrigkeit entgegen gewirkt werden. Über die Wirksamkeit des Geräts gegen Schläfrigkeit liegen keine gesicherten Erkenntnisse vor.

Bei eigenen Recherchen konnten keine Informationen darüber gefunden werden, dass weitere Fahrzeughersteller den Einsatz von Licht zur Melatoninsuppression planen. Die Möglichkeit der Anwendung bei der vorliegenden Arbeit wird in Kapitel 9.2 diskutiert.

6 Wirkungsmodell

Auf den Fahrer wirken beim Führen eines Kraftfahrzeugs eine Vielzahl von Einflussgrößen (vgl. Abb. 11). Auf ihn wirken das Fahrzeug und die Umwelt. Hierzu gehören z.B. die momentane Verkehrssituation, das Verhalten des eigenen Fahrzeugs sowie Verkehrszeichen. Weitere Einflussfaktoren können z.B. ein Gespräch mit einem Mitfahrer oder ein Telefongespräch sein. All diese Einflüsse muss der Fahrer wahrnehmen, verarbeiten und richtig darauf reagieren. In komplexen Situationen, wie z.B. im Stadtverkehr, kann dies eine schwierige Aufgabe sein.

Vonseiten des Fahrzeugs wirkt auf den Fahrer auch die Sitzhaltung und der Sitzkomfort. Diese wirken sich auf seine Leistungsfähigkeit aus. Falsches Sitzen kann Schmerzen bereiten und die Konzentrationsfähigkeit reduzieren. Das Bedienkonzept des Fahrzeugs kann den Fahrer entweder sinnvoll unterstützen oder ihn eher irritieren. Auf die Bedeutung der klimatischen Verhältnisse im Fahrzeug wurde bereits in Kapitel 4 hingewiesen.

Der Fahrer kann von vielem von seiner eigentlichen Fahraufgabe abgelenkt werden. Dies kann ein Gespräch oder ein Telefonat sein. Aber auch die Bedienung von Geräten, wie z.B. Radio oder Navigationsgerät, kann eine erhebliche Ablenkung mit sich bringen.

Aber auch zu wenig äußere Reize können sich negativ auswirken. Die schlafstimulierende Wirkung von Monotonie wurde bereits erläutert.

Die Ernährung vor der Fahrt hat ebenfalls ihren Einfluss auf den Zustand des Fahrers. Hunger kann den Fahrer ebenso belasten und seine Konzentrations- und Reaktionsfähigkeit herabsetzen wie zu schwere Mahlzeiten. Die Einnahme von Arzneimitteln oder Drogen kann ebenfalls eine starke Wirkung haben.

All diese Einflüsse wirken sich auf die Fahrtüchtigkeit des Fahrers aus. Der Fahrer lässt sich beschreiben durch seine Fahreignung, seine Fahrfähigkeit und seine Fahrtüchtigkeit (vgl. Hargutt, 2001; Abb. 11).

Die **Fahreignung** ergibt sich durch Merkmale des Fahrers, die zeitlich weitgehend invariabel sind. Hierzu zählen z.B. Persönlichkeit, Intelligenz, Gedächtnis, Informationsaufnahme und -verarbeitung sowie die körperliche Konstitution.

Unter **Fahrfähigkeit** sind Verhaltensmuster des Fahrers zu verstehen, die er durch Lernprozesse erworben hat. Hierzu gehören das Wissen über Verkehrsregeln, technisches Wissen über das Fahrzeug sowie motorische Fähigkeiten zum Bedienen des Fahrzeugs, wie z.B. Schalten, Lenken, Bremsen. Die Fähigkeit zur adäquaten Informationsaufnahme und -verarbeitung muss ebenfalls erlernt werden. Hierzu gehören das Blickverhalten beim Fahren, richtiges Einschätzen von Geschwindigkeiten und Distanzen sowie richtiges Erkennen von Umweltsituationen (z.B. Verkehrssituation, Witterung, Gefahren).

Unter **Fahrtüchtigkeit** versteht man die momentane Fähigkeit eines Fahrers, bei gegebener Fahreignung und Fahrfähigkeit verkehrsangepasst und sicher zu fahren. Sie hängt ab vom momentanen körperlichen und geistigen Zustand sowie von den äußeren Einflussfaktoren.

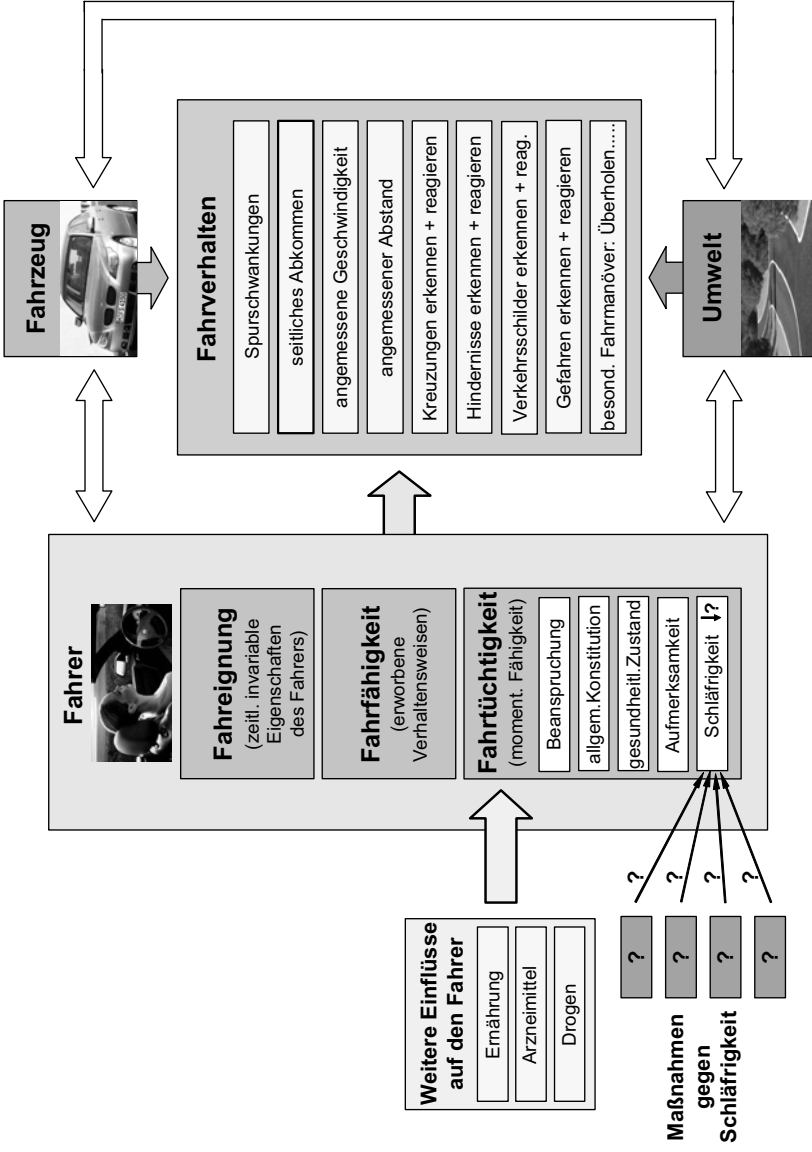


Abbildung 11: Wirkungsmechanismen beim Führen von Kraftfahrzeugen (vgl. Hargutt, 2001; BMW, 2009 a)

Schläfrigkeit gehört zu den momentanen Eigenschaften des Fahrers und beeinflusst somit direkt die Fahrtüchtigkeit. Die gesuchten Maßnahmen gegen Schläfrigkeit müssen somit die Fahrtüchtigkeit des Fahrers verbessern (vgl. Abb. 11).

Das **Fahrverhalten** wird beeinflusst vom Fahrer, vom Fahrzeug und von der Umwelt. Unter Umwelt sollen hier die natürliche Umwelt, die gestaltete Umwelt sowie die soziale Umwelt verstanden werden. Zur natürlichen Umwelt gehören die umgebende Geografie und die Landschaft, das Wetter, die Temperatur und die tageszeitlich bedingten Lichtverhältnisse. Mit gestalteter Umwelt sind Straßen, Gebäude, Brücken, künstliche Hindernisse und Verkehrszeichen gemeint. Die soziale Umwelt beinhaltet im Wesentlichen die anderen Verkehrsteilnehmer mit ihren Fahrzeugen sowie die Mitfahrenden im eigenen Fahrzeug.

Das Fahrverhalten umfasst verschiedene Aspekte, wie z.B. Spurschwankungen, Geschwindigkeit, Abstand zu anderen Fahrzeugen sowie richtiges Erkennen und Reagieren auf Umweltparameter (vgl. Abb. 11).

Maßnahmen gegen Schläfrigkeit sollen die Fahrtüchtigkeit verbessern. Sie sollen sich somit über den Fahrer auf das Fahrverhalten auswirken. Bei Schläfrigkeit ist die häufigste Unfallart das seitliche Abkommen von der Straße (vgl. Pack et al., 1995). Maßnahmen gegen Schläfrigkeit sollten deshalb besonders das seitliche Abkommen verhindern.

7 Regelungstechnische Modellbildung

Der Mensch als Fahrer eines Kraftfahrzeugs bildet zusammen mit dem Fahrzeug und der Umwelt einen regelungstechnischen Wirkkreis. Die Handlungen des Menschen wirken auf das Fahrzeug und die Umwelt. Die Reaktionen von Fahrzeug und Umwelt haben wiederum eine Rückwirkung auf den Menschen (vgl. Fiala, 2006; Hauß & Timpe, 2002; Jürgensohn, 2002).

Der regelungstechnische Vorgang soll am Beispiel eines Spurwechsels verdeutlicht werden (vgl. Kramer, 2008). Der Mensch als Fahrer will von der rechten Fahrspur auf die linke wechseln. Er wirkt dazu auf das Fahrzeug ein, indem er das Lenkrad etwas nach links dreht. Das Fahrzeug reagiert und bewegt sich auf der Straße nach links. Als Rückwirkung nimmt der Fahrer die Positionsänderung des Fahrzeugs in seiner Umwelt wahr und muss entsprechend nach rechts gegensteuern, um schließlich eine stabile Position auf der linken Fahrspur zu erreichen. Ein regelungstechnischer Prozess lief ab.

Solange das Handlungsziel, in diesem Beispiel die neue Position auf der linken Fahrspur, noch nicht erreicht ist oder sich die Umwelt oder das Fahrzeug in Bezug auf das Ziel verändern, befindet sich der gesamte Wirkkreis in einer zeitlichen Veränderung. Der Mensch, das Fahrzeug und die Umwelt bilden ein dynamisches System.

Im Hinblick auf die Aufgabenstellung dieser Arbeit stellt sich die Frage, ob sich der Einfluss von Schläfrigkeit des Fahrers in diesem Wirkkreis regelungstechnisch modellieren lässt. Wäre dies zufriedenstellend möglich, so könnte der Einfluss von Schläfrigkeit auf den Fahrer und damit auf das Gesamtsystem berechnet werden. Aufwändige Versuche würden sich damit vermeiden lassen.

Um dies zu überprüfen, ist eine regelungstechnische Modellierung des Gesamtsystems und seiner Komponenten erforderlich.

Die Veränderlichkeit, hier die zeitliche Veränderlichkeit dynamischer Systeme, wird mathematisch durch Differentialgleichungen beschrieben. Die mathematische Modellierung eines Wirkkreises besteht also darin, dass das dynamische System durch Differentialgleichungen beschrieben wird und diese gelöst werden.

Dies soll wieder am Beispiel des Spurwechsels eines Fahrzeugs verdeutlicht werden. Betrachtet wird der Fall, dass das Fahrzeug auf gerader Straße mit konstanter Geschwindigkeit fährt und von der rechten Fahrspur auf die Mittellinie wechselt (vgl. Abb. 12). Der Abstand des Fahrzeugschwerpunkts zur Mittellinie sei y . Der Lenkradwinkel wird mit δ bezeichnet.

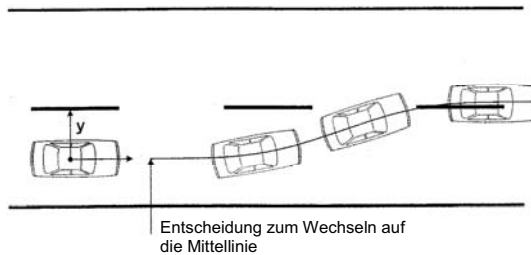


Abbildung 12: Spurwechsel eines Fahrzeugs auf die Mittellinie (Jürgensohn, 2002)

Für kleine und langsame Lenkbewegungen lässt sich dieses System durch eine einfache Differentialgleichung beschreiben:

$$\ddot{y} = K \cdot \delta$$

\ddot{y} ist die zweimalige zeitliche Ableitung von y und stellt die Querschleunigung des Fahrzeugs dar. Die Gleichung sagt aus, dass die Querschleunigung in Richtung zur Mittellinie proportional zum Lenkradwinkel δ ist. Der Proportionalitätsfaktor K ist fahrzeug-spezifisch und hängt unter anderem von der Fahrzeugmasse ab.

Zur vollständigen Modellierung des Wirkkreises Mensch – Fahrzeug – Umwelt reicht es aber nicht aus, das Fahrzeug und die Umwelt mathematisch zu modellieren. Auch für das Verhalten des Menschen muss ein Modell gefunden werden. Dies ist insbesondere im Hinblick auf die Aufgabenstellung der vorliegenden Arbeit notwendig, da der Einfluss von Schläfrigkeit auf den Menschen und damit auf den gesamten Wirkkreis im Mittelpunkt steht. Die Regler-Mensch-Forschung geht dabei so vor, dass sie versucht, auch das Verhalten des Menschen durch eine Differentialgleichung zu beschreiben. Wenn es also gelingt, die beschreibende Differentialgleichung des Menschen zu finden, dann ist es auch möglich, sein Verhalten zu berechnen.

Der Wirkkreis wird nun in Abbildung 13 durch einen technischen Regelkreis modelliert (vgl. Donges, 1977; Johannsen, 1993; Jürgensohn, 2002; Kiegeland, 1997). Dieses Modell geht davon aus, dass die Aufgabe des Fahrers der Aufgabe eines technischen Reglers gleicht und dass der Fahrer durch einen technischen Regler modelliert werden kann. Die Regelstrecke wird durch das Fahrzeug und die Umwelt gebildet.

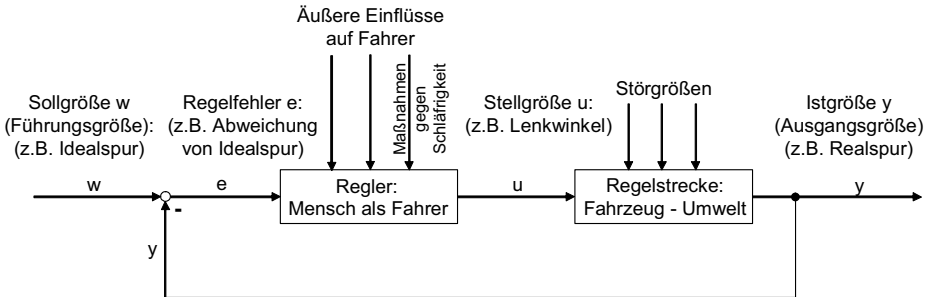


Abbildung 13: Technischer Regelkreis beim Führen eines Kraftfahrzeugs (vgl. Johannsen, 1993)

Es gibt mehrere Parameter, die durch diesen Kreis geregelt werden, wie z.B. die Querposition auf der Fahrbahn (Spur) und die Fahrgeschwindigkeit. Als Beispiel soll die Regelung des Spurverlaufs veranschaulicht werden.

Die Sollgröße (oder Führungsgröße) w bei der Spurregelung ist der ideale Spurverlauf, wobei dieser in gewissen Grenzen im Ermessen des Fahrers liegt. Die Istgröße (oder Ausgangsgröße) y ist der reale Spurverlauf. Der Regelfehler e ist die Differenz der Idealspur w und der Realspur y . Er wird als Information dem Regler Mensch zugeführt. Auf den Regler Mensch wirken noch weitere äußere Einflüsse ein (vgl. Abb. 11). Auf ihn wirken auch potenzielle Maßnahmen gegen Schläfrigkeit. Der Regler Mensch generiert als Stellgröße u den Lenkwinkel. Er wird der Regelstrecke Fahrzeug – Umwelt zugeführt. Der Einfluss von Gas- und Bremspedal sowie Fahrstufe auf die Querposition soll in dieser Betrachtung vernachlässigt werden. Auf die Regelstrecke können auch Störgrößen einwirken. Die Ausgangsgröße y der Regelstrecke ist der reale Spurverlauf. y wird als Information rückgekoppelt und mit der Sollgröße verglichen.

Der Regelungsprozess des Menschen hat in diesem Fall das Ziel, die Differenz von Realspur und Idealspur möglichst gering zu halten.

Bei der beschriebenen Vorgehensweise der Modellierung werden drei Hypothesen zugrunde gelegt, von denen in der Regler-Mensch-Forschung ausgegangen wird (vgl. Jürgensohn, 2002):

1. Der kybernetische Wirkkreis kann durch einen technischen Regelkreis modelliert werden.
2. Das Wesentliche im Verhalten des Menschen kann ausreichend durch Differentialgleichungen beschrieben werden.
3. Das Verhalten des Menschen in einfachen Umgebungen kann auf andere Umgebungen übertragen werden. Menschliches Regelverhalten ist in einem gewissen Aufgabenrahmen invariant.

Von der Regler-Mensch-Forschung wurden unterschiedliche Regler-Mensch-Modelle entwickelt, die für die verschiedenen Anwendungsfälle unterschiedlich gut geeignet sind. Sie haben insgesamt aber die Sinnhaftigkeit der Modellierung des dynamischen Verhaltens des Menschen mit Differentialgleichungen bestätigt.

Mit den obigen Annahmen und Einschränkungen lässt sich das Übertragungsverhalten des Menschen mit den Methoden der Systemtheorie ermitteln. Dabei wird folgendermaßen vorgegangen:

1. **Versuche** werden durchgeführt, in denen der Mensch mit unterschiedlichen Regelstrecken und Sollgrößen konfrontiert wird.
2. Das Reglerverhalten des Menschen (Stellgröße) wird **gemessen**.
3. Die beste beschreibende **Differentialgleichung** wird ermittelt.

Die Ermittlung des regelungstechnischen Verhaltens des Menschen setzt also voraus, dass Versuche durchgeführt werden und das Regelverhalten gemessen wird. Erst auf Basis der Versuchsergebnisse lässt sich das Verhalten des Menschen dann rückblickend mathematisch beschreiben. Das angedachte Vorgehen, das regelungstechnische Verhalten des Menschen bei neuen Parametern vorauszuberechnen, ohne dass Versuche durchgeführt werden, ist also nicht möglich. Das Verhalten des Menschen unter der Einwirkung von Maßnahmen gegen Schläfrigkeit kann mit den Methoden der Regelungstechnik nicht vorherbestimmt werden, sondern muss immer experimentell ermittelt werden. Eine regelungstechnische Beschreibung des Verhaltens von Menschen ist immer nur rückblickend, nach Versuchen, möglich.

Aber auch die retrospektive Beschreibung des menschlichen Reglerverhaltens stößt an Grenzen. Bei komplexen Regelungsprozessen ist eine **exakte** Abbildung des menschlichen Reglerverhaltens mit mathematisch-systemtheoretischen Methoden **nicht möglich**. Hierfür sind folgende Gründe verantwortlich:

- Der Mensch verhält sich bei unterschiedlichen Regelstrecken grundsätzlich verschieden.
- Das Verhalten hängt wesentlich von der Art der Eingangsfunktion ab.
- Verschiedene Menschen zeigen große Verhaltensunterschiede.
- Menschen zeigen starke Verhaltensschwankungen (keine Reproduzierbarkeit).
- Der Mensch kann sich Verhaltensmuster merken und aus der Erinnerung reproduzieren.

Bei einfachen Regelungsprozessen und unter einfachen Bedingungen lässt sich das menschliche Regelverhalten jedoch erstaunlich gut durch eine Differentialgleichung beschreiben. Eigenschaften des Menschen und der Aufgabenumgebung gehen dabei als Parameter in die Gleichung ein. Aber auch hier gilt, dass die mathematische Beschreibung nur rückblickend möglich ist, es handelt sich also um eine mathematische **Nachbildung** des gemessenen Regelverhaltens. Es gibt zwar Verfahren, bei denen eine gewisse Vorhersage möglich ist, die mathematische Beschreibung wird dadurch allerdings ungenau. Bei neuartigen Einflussfaktoren, d.h. neuen Parametern, ist jedoch keine Vorausberechnung möglich (vgl. Kramer, 2008). Somit ist also auch bei neuen Maßnahmen gegen Schläfrigkeit keine Vorausberechnung der Wirkung möglich ist. Sie gehen als unbekannte Parameter in die Differentialgleichung ein.

Neben den beschriebenen Methoden zur Modellierung menschlichen Verhaltens werden auch moderne Verfahren eingesetzt, wie z.B. Fuzzy-Mathematik, künstliche neuronale Netze oder Methoden der kognitiven Psychologie (vgl. Irmscher, 2001; Jürgensohn et. al., 2002; Salvucci, 2007). Mit diesen Verfahren sind komplexere Verhaltensformen nachbildbar als dies mit den konventionellen regelungstechnischen Modellen möglich ist. Im Nachhinein, bei Kenntnis aller Randbedingungen und äußerer Einflüsse, beschreiben diese Modelle das Regelungsverhalten des Menschen meist sehr gut. Aber auch hier gilt, dass unbekannte Parameter nicht oder nur unzureichend bestimmt werden können. Die Nachbildung des gemessenen Verhaltens wird durch die modernen Verfahren zwar immer präziser, aber ihre Vorhersagekraft ist dadurch keinesfalls höher, in vielen Fällen sogar geringer.

Im Hinblick auf die Aufgabenstellung der vorliegenden Arbeit bleibt zur regelungstechnischen Modellierung von menschlichem Verhalten festzuhalten:

Das Verhalten des Menschen kann für einfache Aufgaben und unter einfachen Randbedingungen erstaunlich gut durch einen technischen Regler modelliert werden. Das dynamische Verhalten des Reglers Mensch wird dazu mit einer linearen oder nichtlinearen Differentialgleichungen beschrieben. Durch den Einsatz moderner Verfahren, wie z.B. Fuzzy-Mathematik oder künstlicher neuronaler Netze, können komplexere Verhaltensformen nachgebildet werden. Bei allen Verfahren müssen aber zunächst experimentell Messwerte ermittelt werden, mit denen das menschliche Verhalten retrospektiv modelliert wird. Es ist nicht möglich, menschliches Reglerverhalten bei unbekanntem Parametern für experimentell nicht untersuchte Situationen vorherzubestimmen.

Die beschriebene Idee, die Wirkung von Maßnahmen gegen Schläfrigkeit vorherzuberechnen, ist nicht realisierbar. Neuartige Maßnahmen gegen Schläfrigkeit stellen unbekannte Parameter in den Differentialgleichungen dar. Um sie zu bestimmen, müssen Versuche durchgeführt werden und das gemessene Regelungsverhalten muss nachgebildet werden.

Die Modellierung menschlichen Verhaltens durch mathematische Methoden ist ein interessanter Ansatz. Zur Lösung der Aufgabenstellung dieser Arbeit kann der regelungstechnische Ansatz jedoch keinen Beitrag leisten.

8 Ansatz

Einige Fahrzeughersteller bieten heute Systeme an, die Fahrerschläfrigkeit erkennen und den Fahrer bei eintretender Schläfrigkeit warnen (vgl. Kap. 5). Der Fahrer wird dann aufgefordert, die Fahrt zu unterbrechen und eine Pause einzulegen. Eine Pause mit einem Kurzschlaf ist in dieser Situation die beste Maßnahme, um die Schläfrigkeit vorübergehend zu reduzieren und die Fahrtüchtigkeit wieder zu verbessern (vgl. Kap. 4). Die regenerative Wirkung eines Kurzschlafs darf jedoch auch nicht überschätzt werden.

Es gibt Verkehrssituationen, in denen es bei eintretender Schläfrigkeit nicht gleich möglich ist, das Fahrzeug anzuhalten und sich auszuruhen, z.B. bei Fahrten auf Autobahnen oder Bundesstraßen. Der Fahrer muss dann bis zum nächsten Parkplatz oder zur nächsten Ausfahrt weiterfahren. Dies kann auf manchen Straßen 10-15 Minuten lang dauern (vgl. Kap. 4). Dann muss sich der Fahrer solange wach halten. In solchen Fällen ist es hilfreich, ein Werkzeug gegen Schläfrigkeit zur Verfügung zu haben, um sich während dieser 10-15 Minuten wach zu halten. Maßnahmen gegen Schläfrigkeit sollen keinesfalls eine notwendige Erholungspause ersetzen. Sie werden eingesetzt, um die Fahrtüchtigkeit bis zum nächsten Parkplatz aufrechtzuerhalten. Bei heutigen Straßen kann davon ausgegangen werden, dass ein Parkplatz nach maximal 15 Minuten erreichbar ist.

Maßnahmen gegen Schläfrigkeit sollen den Fahrer nicht nur informieren und warnen, so wie dies die heutigen Systeme machen. Maßnahmen gegen Schläfrigkeit müssen diese vorübergehend reduzieren und so die Fahrtüchtigkeit befristet aufrechterhalten. Dieser Ansatz unterscheidet sich von dem heutiger Systeme.

In dieser Arbeit werden Maßnahmen gegen Schläfrigkeit beim Führen von Kraftfahrzeugen analysiert und experimentell untersucht. Die reale Anwendungsdauer der Maßnahmen beträgt maximal 15 Minuten. In der vorliegenden Arbeit wird die Wirksamkeit deshalb während einer Anwendungsdauer von 15 Minuten überprüft.

Bei der Auswahl der Maßnahmen werden sowohl technische wie auch nichttechnische Lösungen in Betracht gezogen. Die Maßnahmen werden während der Fahrt angewendet und müssen schnell wirken, d.h. sofort oder nach wenigen Minuten. Nicht untersucht werden Maßnahmen, die vor Fahrtbeginn anzuwendend sind, wie beispielsweise die Einnahme von wachmachenden Wirkstoffen (vgl. Kap. 9).

Zunächst werden potenzielle Maßnahmen gegen Schläfrigkeit gesammelt und analysiert. Da nicht alle Lösungsansätze Erfolg versprechend sind, wird vor der experimentellen Untersuchung eine Vorauswahl getroffen (vgl. Abb. 14).

Die Messung von Schläfrigkeit ist eine komplexe Aufgabe. Potenzielle Zielgrößen werden analysiert und geeignete ausgewählt.

Die Hypothesen der Signifikanzprüfung müssen bereits vor den Versuchen formuliert werden, da das Versuchsdesign von ihnen abhängt (vgl. Abb. 14; Kap. 10.3 und 12; Bortz & Döring, 2002). Auch der Signifikanztest und das Signifikanzkriterium der Hypothesenprüfung müssen vor den Versuchen feststehen. Von ihnen hängt die Anzahl der Probanden ab.

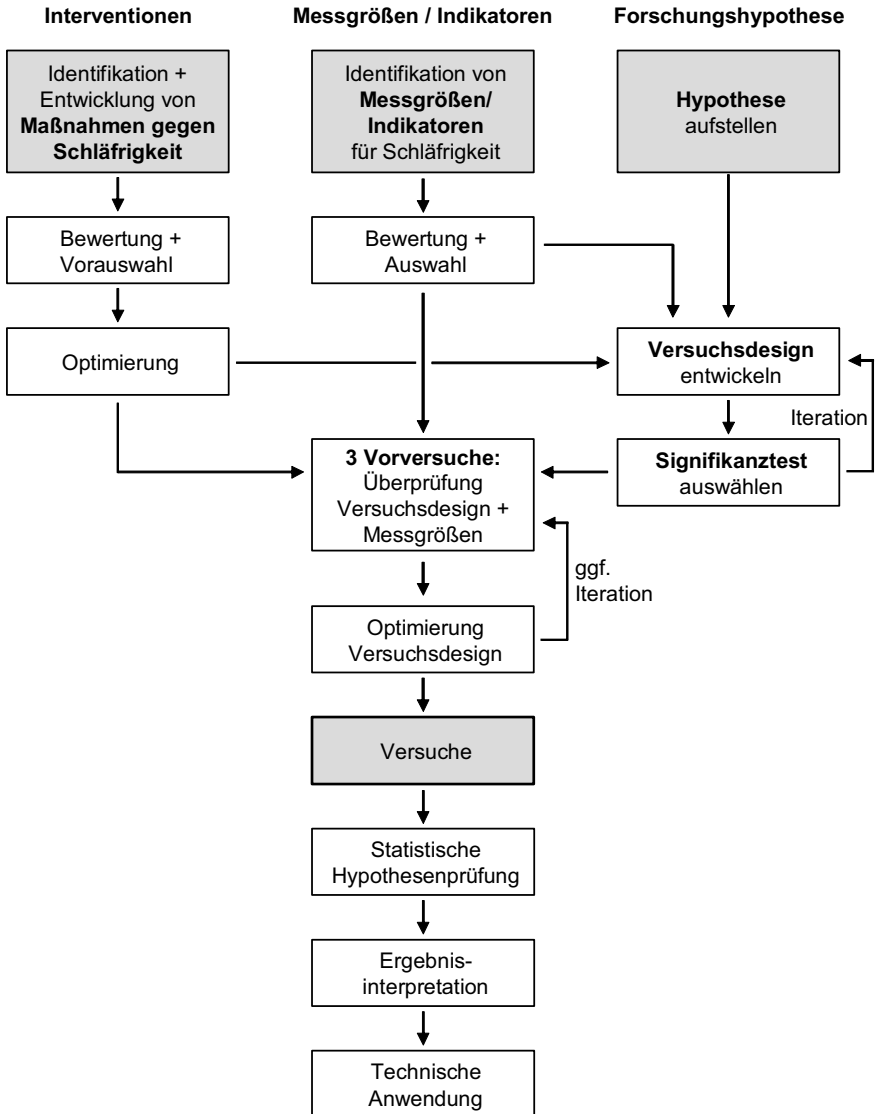


Abbildung 14: Vorgehensweise

9 Maßnahmen gegen Schläfrigkeit

Neben dem zirkadianen Rhythmus des Menschen gibt es auch äußere Einflussgrößen, die das Auftreten von Schläfrigkeit fördern und damit die Fahrtüchtigkeit von Menschen herabsetzen (vgl. Abb. 11). In Kapitel 3.3 wurde festgestellt, dass Schläfrigkeit durch Monotonie gefördert wird. Einige der Maßnahmen verfolgen deshalb den Ansatz, die Monotonie zu reduzieren, indem äußere Reize erzeugt werden.

9.1 Empirische Studien

Nachfolgend werden vier empirische Studien vorgestellt, in denen Kraftfahrer nach ihren Erfahrungen mit Maßnahmen gegen Schläfrigkeit befragt wurden. Zu diesem Thema gibt es in der Literatur und im Internet viele Berichte und Empfehlungen (vgl. Gimeno et al., 2006; May & Baldwin, 2009). Die Automobilclubs geben Veröffentlichungen zu diesem Thema heraus. Wissenschaftliche Studien, in denen die Erfahrungen einer ausreichend großen Anzahl von Kraftfahrern systematisch erhoben und ausgewertet wurden, gibt es allerdings nur wenige.

9.1.1 Studie der NYS Task Force on Drowsy Driving

Im Bundesstaat New York, USA, wurden 1000 zufällig ausgewählte Führerscheininhaber nach ihren persönlichen Strategien gegen Schläfrigkeit beim Autofahren befragt. Die Studie wurde von der "New York State Task Force on the Impact of Fatigue on Driving" durchgeführt (vgl. EDC, 1997). Die Befragten nannten folgende Maßnahmen gegen Schläfrigkeit beim Autofahren (nach Nguyen et al., 1998):

- anhalten und aus dem Auto aussteigen
- kurz schlafen
- Fahrer wechseln
- Radio hören
- sich unterhalten
- Getränk oder einen Imbiss einnehmen (einschließlich koffeinhaltige)
- aufs Gesicht schlagen
- Fenster öffnen

Von den 1000 Befragten waren 59 % schon mindestens einmal über die in den USA teilweise installierten „Rumble Strips“ (erhöhte seitliche Fahrbahnstreifen) gefahren. Von diesen Personen hatten alle den Eindruck, dass diese Rumble Strips die Fahrer wieder wacher gemacht hätten. 45 % der Befragten hielten innerhalb des letzten Jahres mindestens einmal an einem Parkplatz an, weil sie beim Fahren schläfrig wurden.

Die genannten Maßnahmen gegen Schläfrigkeit werden zunächst gesammelt und später in Kapitel 9.2 diskutiert.

9.1.2 Studie von Nguyen et al.

Nguyen et al. (1998) haben zunächst 25 Studenten nach Maßnahmen befragt, die sie gegen Schläfrigkeit beim Fahren einsetzen. Dabei wurden die folgenden Maßnahmen genannt. Bei den am häufigsten genannten Maßnahmen ist in Klammern angegeben, wie viel Prozent der Befragten die Maßnahme nannten.

- Radio lauter stellen (76 %)
- Nachtfahrten vermeiden
- Fenster öffnen (48 %)
- nicht auf die Mittellinie starren
- über Rumble Strips fahren
- Rap-Musik hören
- Kaugummi kauen
- anhalten und kurz schlafen
- rauchen
- sich unterhalten
- Gang wechseln
- sich selbst hauen oder kneifen (24 %)
- schreien
- Fahrer wechseln
- Kaffee/ koffeinhaltige Getränke trinken (52 %)
- am nächsten Parkplatz anhalten (wenn es nicht dunkel ist)
- im Auto Spiele spielen

Von den 25 Befragten nannte nur eine Person die Fahrtpause. Die Fahrtpause und ein Kurzschlaf werden von Experten als die am wirkungsvollsten Maßnahmen betrachtet (vgl. Kap. 4).

Anschließend haben Nguyen et al. (1998) eine wesentlich umfangreichere Erhebung durchgeführt. Experten aus den Gebieten Schlaf- und Verkehrsforschung wurden mittels eines Fragebogens nach Schläfrigkeit beim Autofahren befragt, unter anderem auch nach wirkungsvollen Maßnahmen gegen Schläfrigkeit. 283 Experten haben sich an der Studie beteiligt und einen Fragebogen ausgefüllt.

Die Teilnehmer wurden zunächst gefragt, ob 26 vorgegebene Fahrsituationen die Müdigkeit beim Fahren steigern oder reduzieren. Das Ergebnis führte im Hinblick auf konkrete Maßnahmen gegen Schläfrigkeit nicht weiter, da die ausgewählten Situationen nicht als Maßnahmen gegen Schläfrigkeit verwendet werden können (vgl. Anhang, Tab. 18). Das Ergebnis bestätigt aber die bereits gewonnene Erkenntnis, dass Monotonie Schläfrigkeit beim Autofahren steigert.

Als nächstes wurden die Experten gebeten, 70 vorgegebene potenzielle Maßnahmen gegen Schläfrigkeit nach ihrer Wirkung zu bewerten. Dazu wurde eine Skala mit vier Stufen vorgegeben:

- 1 = **Definitely will not** increase driver alertness
(wird die Wachheit des Fahrers bestimmt nicht steigern)
- 2 = **Probably will not** increase driver alertness
(wird die Wachheit des Fahrers wahrscheinlich nicht steigern)
- 3 = **Probably will** increase driver alertness
(wird die Wachheit des Fahrers wahrscheinlich steigern)
- 4 = **Definitely will** increase driver alertness
(wird die Wachheit des Fahrers bestimmt steigern)

Tabelle 1 zeigt die vorgegebenen Maßnahmen und den Durchschnittswert der Expertenbeurteilung (Mean). Die Maßnahmen sind nach ihrer Rangordnung aufgelistet. Die in der Tabelle oben stehenden Maßnahmen wurden als die am wirkungsvollsten beurteilt.

Im Gegensatz zu den Antworten der befragten Studenten wurde von den Experten ein kurzer Schlaf als sehr wirkungsvoll eingeschätzt. Die Bewertung der einzelnen Maßnahmen wird in Kapitel 9.2 gemeinsam mit den Ergebnissen der anderen Studien diskutiert.

9.1.3 Studie von Oron-Gilad & Shinar

Oron-Gilad und Shinar (2000) von der Ben-Gurion University of the Negev, Israel, führten ebenfalls eine empirische Studie über Schläfrigkeit beim Autofahren durch. Sie befragten 292 männliche LKW-Fahrer der israelischen Streitkräfte über ihre Schlafgewohnheiten und über Maßnahmen gegen Schläfrigkeit beim Fahren. Sie wählten für ihre Studie das Militär aus, da es in Israel die Organisation mit den weitaus meisten Kraftfahrern darstellt. Die LKW-Fahrer setzten sich zusammen aus Wehrpflichtigen, Berufssoldaten und zivilen Mitarbeitern. Trotz des militärischen Umfelds gingen Oron-Gilad und Shinar davon aus, dass die Fahrer ähnliche Eigenschaften und Verhaltensweisen aufweisen würden wie nichtmilitärische Fahrer. Die Befragten besaßen teilweise wenig Fahrerfahrung (Wehrpflichtige) und teilweise viel (Berufssoldaten, Zivilisten).

Oron-Gilad und Shinar unterschieden in der Studie zwischen „Maßnahmen gegen Müdigkeit“ („fatigue countermeasures“) und „Müdigkeit bewältigenden Verhaltensweisen“ („fatigue coping-behaviors“). Maßnahmen gegen Müdigkeit (fatigue countermeasures) wurden definiert als **Stoffe** bzw. **Substanzen**, die Fahrer zu sich nehmen können, um Müdigkeit zu reduzieren (z.B. Kaffee, Alkohol, Kaugummi). Unter „Müdigkeit bewältigenden Verhaltensweisen“ (fatigue coping-behaviors) wurden dagegen **Verhaltensweisen** verstanden, die Müdigkeit bekämpfen. Diese Definitionen sind ungewöhnlich. In der Literatur zu diesem Themengebiet wird „Maßnahme gegen Müdigkeit bzw. Schläfrigkeit“ als übergeordneter Begriff gebraucht, der sowohl gegenständliche Stoffe und Substanzen wie auch Verhaltensweisen einschließt (vgl. Brown, 1997; Reyner und Horne, 1998; Nguyen et al., 1998). Der Gebrauch als übergeordneter Begriff findet auch in der vorliegenden Arbeit Anwendung.

In diesem Teilkapitel 9.1.3 wurde allerdings der Begriffsgebrauch von Oron-Gilad und Shinar angewendet, um die von ihnen eingeführte Differenzierung wiedergeben zu können.

Tabelle 1: Bewertung von potenziellen Maßnahmen gegen Schläfrigkeit (Nguyen et al., 1998)

Rank	Behavior	Mean
1	Letting someone else drive for 1-2 hours while you sleep in the passenger seat before driving again	3.68
2	Pulling off road to take a 30-45 minute nap	3.57
3	Pulling off road to take a nap for >1 hour	3.52
4	Pulling off road to take a 10-20 minute nap	3.41
5	Pulling off road to exercise for 10 minutes	3.37
6	Pulling off road to consume caffeinated beverage	3.32
7	Pulling of road to walk for 10 minutes	3.29
8	Conversing with someone in vehicle	3.24
9	Consuming caffeinated beverage while driving	3.19
10	Stopping by rest area to wash face with cold water	3.16
11	Taking legal stimulants while driving	3.03
12	Rolling down window of vehicle	3.00
13	Singing while driving	2.91
14	Listening to stimulating music while driving	2.91
15	Listening to loud music in vehicle	2.89
16	Talking on the car phone or CB radio	2.87
17	Letting someone else drive for 1-2 hours while you rest but do not sleep before driving again	2.87
18	Changing the temperature in the vehicle	2.86
19	Pulling off road to eat a snack	2.82
20	Chewing on ice while driving	2.80
21	Driving on an unfamiliar route	2.78
22	Listening to talk radio or sports talk show	2.77
23	Pulling off road to rest for 10-20 minutes without sleeping	2.72
24	Pulling off road to consume non-caffeinated beverage	2.72
25	Pulling off road to rest for 30-45 minutes without sleeping	2.71
26	Talking on cellular phone while driving	2.70
27	Performing hand, arm, or leg exercises while driving	2.69
28	Slapping/pinching oneself	2.69
29	Listening to a radio/tape story	2.68
30	Chewing gum while driving	2.57
31	Smelling something unpleasant while driving	2.56
32	Pulling off road to eat a meal	2.55
33	Consuming non-caffeinated beverage while driving	2.54
34	Chewing tobacco while driving	2.53
35	Rolling head and/or shoulders while driving	2.54
36	Smoking while driving	2.51
37	Eating something nutritious while driving	2.50
38	Eating a low calorie snack while driving	2.45
39	Sitting up straight while driving	2.43
40	Changing driver's seat position	2.42
41	Moving driver's seat upright	2.42
42	Playing mind games while driving	2.39
43	Eating something non-nutritious while driving	2.37
44	Tapping fingers to music while driving	2.36
45	Talking to yourself while driving	2.35
46	Having a peppermint scent release in vehicle	2.31
47	Eating a high calorie snack while driving	2.29

Rank	Behavior	Mean
48	Looking at scenery while driving	2.28
49	Focusing intently on driving task itself	2.26
50	Having a menthol scent released in vehicle	2.25
51	Thinking while driving	2.24
52	Squeezing the steering wheel while driving	2.21
53	Smelling something pleasant while driving	2.18
54	Changing lanes on the highway	2.14
55	Turning light on in vehicle while driving	2.12
56	Increasing speed	2.10
57	Keeping a good attitude about yourself	2.03
58	Tightening seat belt	2.00
59	Loosening clothing	1.99
60	Taking shoes off	1.96
61	Loosening seat belt	1.82
62	Propping foot up on dashboard	1.82
63	Removing seat belt	1.75
64	Removing driver's head rest	1.70
65	Meditating while driving	1.52
66	Putting car in cruise control	1.46
67	Taking pain medication	1.45
68	Driving alone	1.43
69	Taking allergy medication	1.42
70	Continuing to drive (Doing nothing)	1.26

Tabelle 2 zeigt eine Bewertung der Wirksamkeit verschiedener „Maßnahmen gegen Müdigkeit“ durch die LKW-Fahrer. Es waren 4 Bewertungsmöglichkeiten vorgegeben, von denen eine auszuwählen war. Die Zahlenwerte geben die Prozentsätze der Fahrer an, die die jeweiligen Antworten gewählt haben.

Tabelle 2: Bewertung von „Maßnahmen gegen Müdigkeit“ durch LKW-Fahrer, Prozente der Antworten (Oron-Gilad & Shinar, 2000)

	Makes you sleepy	Does not have any effect	Helps a bit in keeping awake	Helps a lot
Coffee	2	11	25	62
Water	0	14	30	56
Coke	1	23	34	42
Alcohol	63	23	5	9
Cigarette	7	30	25	38
Chewing gum	1	36	32	31
Stimulants	37	33	8	22

Tabelle 3 zeigt eine Bewertung von 15 verschiedenen „Müdigkeit bewältigenden Verhaltensweisen“. Sie wurden von den Fahrern bewertet nach der Häufigkeit, mit der sie als Verhaltensweise gegen Müdigkeit angewendet wurden. Dazu wurde eine 5 Punkte-Skala verwendet. Kleine Werte bedeuten seltenen Gebrauch und große Werte häufigen Gebrauch. Des Weiteren wurden die Verhaltensweisen bewertet nach deren wahrgenommener Wirkung, ebenfalls anhand einer 5 Punkte-Skala. Kleine Werte bedeuten geringe Wirksamkeit und große Werte große Wirksamkeit. In der Tabelle wurde differenziert zwischen Zivilisten (Civilian), Berufssoldaten (Career) und Wehrpflichtigen (Mandatory).

Tabelle 3: Bewertung von „Verhaltensweisen gegen Müdigkeit“ nach der Häufigkeit der Anwendung und der wahrgenommenen Wirksamkeit (Oron-Gilad & Shinar, 2000)

Coping-behavior	Civilian		Career		Mandatory		Total	
	Usage	Effect	Usage	Effect	Usage	Effect	Usage	Effect
Listen to the radio	4.7*	4.3	4.4	4.4	4.4	4.3	4.4	4.3
Open window	4.3	4.1	4.2	4.5	3.8	3.8	4.0	4.0
Talk to passenger	3.9*	4.3	3.9	4.4	3.6***	4.0	3.7*	4.1
Wash face	4.0**	4.5	4.0***	4.7	3.5***	4.2	3.6**	4.4
Drink coffee	3.9*	4.3	4.3	4.6	3.1***	3.8	3.5*	4.0
Think of home	3.3	2.9	2.7	2.4	3.2*	2.9	3.1*	2.8
Smoke	2.7	2.6	3.0	2.9	3.1	3.0	3.0	2.9
Watch view	3.1	3.2	2.7	2.7	2.7	2.5	2.8	2.6
Adjust seat position	2.7	2.9	2.6*	3.2	2.8	2.9	2.7*	2.9
Take a short nap	3.3***	4.7	3.1***	4.2	2.5***	3.2	2.7***	3.6
Eat a snack	2.5	2.7	2.5	2.8	2.6*	3.2	2.6*	3.0
Exercise	2.7***	4.0	2.3***	3.8	2.0***	3.0	2.2***	3.3
Eat sunflower seeds	1.5**	2.3	2.4*	2.9	2.0**	2.4	2.0**	2.5
Speak on Cell phone	1.7	2.0	1.8	1.9	1.7***	2.2	1.7**	2.1
Drive barefoot	1.1	1.2	1.0	1.3	1.8	1.9	1.5	1.7

* *t*-Test significance 0.05.

** *t*-Test significance 0.01.

*** *t*-Test significance 0.001.

Die unterschiedlichen Werte bei den drei Berufsgruppen ergaben sich durch Unterschiede beim Lebensalter, bei der Fahrerfahrung und auch bei den Fahraufgaben. Das Ergebnis dieser Befragung wird ebenfalls im Kapitel 9.2 im Zusammenhang diskutiert.

9.1.4 Studie des DLR & Polizei Köln

In einer weiteren Studie wurden unfallbeteiligte Kraftfahrer nach Schläfrigkeit am Steuer und ihren persönlichen Strategien dagegen befragt. Die Untersuchung wurde vom Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) in Zusammenarbeit mit der Polizei Köln durchgeführt (vgl. DLR, 2002). Befragt wurden Fahrer, die im Stadtgebiet Köln an einem Unfall beteiligt waren. An dieser Erhebung war ungewöhnlich, dass Unfälle im Stadtgebiet untersucht wurden. Studien, die sich mit Schläfrigkeit beim Autofahren befassen, beschäftigen sich fast immer mit Fahrten oder Unfällen auf Überlandstraßen oder Autobahnen.

37 % der in dieser Studie befragten Autofahrer gaben an, dass der Unfall überwiegend selbst verschuldet gewesen sei. Von diesen Fahrern gaben wiederum 18,5 % an, dass Schläfrigkeit bei dem Unfall eine wesentliche Rolle gespielt habe. Bei der Befragung war die Anonymität sichergestellt. Die Autofahrer mussten nicht befürchten, dass die Daten personenbezogen an die Polizei gelangten. Deshalb kann davon ausgegangen werden, dass die Angaben der Autofahrer der Wahrheit entsprachen.

Die Fahrer wurden auch nach ihren persönlichen Strategien gegen Schläfrigkeit während der Fahrt befragt. Als Gegenmaßnahmen nannten die Fahrer (in Klammern die prozentualen Anteile der Fahrer, die die jeweilige Gegenmaßnahme nannten):

- Temperatur im Auto ändern (90 %)
- Musik hören (90 %)
- etwas trinken (59 %)
- mit dem Beifahrer reden (57 %)
- Fahrtpause (30 %)

Bei den vier vorgestellten empirischen Studien wurden Fahrer und Experten nach wirkungsvollen Maßnahmen gegen Schläfrigkeit beim Autofahren befragt. Die Antworten gaben die subjektiven Erfahrungen der Befragten wieder. Obwohl die Befragungen teilweise auf großen Stichproben basierten (N=283 bei Nguyen et al. (1998) und N=292 bei Oron-Gilad & Shinar (2000)), lieferten sie keinen wissenschaftlichen Nachweis, dass die subjektiven Einschätzungen die tatsächlichen Wirkungen von Maßnahmen gegen Schläfrigkeit wiedergaben. Die Befragungen können deshalb eine experimentelle Überprüfung der Wirksamkeit von Maßnahmen gegen Schläfrigkeit nicht ersetzen.

9.2 Erläuterung von Maßnahmen gegen Schläfrigkeit

Durch die vorgestellten Studien, durch Literatur- und Internetrecherchen sowie durch eigene Überlegungen wurden die potenziellen Maßnahmen gegen Schläfrigkeit in Tabelle 4 gefunden. Sie sind aufgelistet in der Reihenfolge aus der Expertenbefragung von Nguyen et al. (1998; vgl. Tab. 1). Die zuerst genannten Maßnahmen werden von Nguyen et al. als die am wirkungsvollsten beurteilt. Die in Tabelle 1 diversifiziert aufgelisteten Maßnahmen werden teilweise durch eine übergeordnete Beschreibung zusammengefasst.

Die Merkmale in den grau hinterlegten Spalten von Tabelle 4 stellen Ausschlusskriterien dar. Erfüllt eine Maßnahme ein solches Ausschlusskriterium, so wird sie nicht für eine experimentelle Untersuchung in Betracht gezogen. Gemäß Aufgabenstellung werden nur Maßnahmen untersucht, die während der Fahrt angewendet werden und schnell wirken.

Kurzschlaf

Ein kurzer Schlaf ist eine gute Maßnahme gegen Schläfrigkeit beim Autofahren und wird auch von den Automobilverbänden empfohlen (vgl. Kap. 4). Ein kurzer Schlaf wird auch in der Studie der NYS Task Force on Drowsy Driving und bei der Expertenbefragung von Nguyen et al. als sehr wirkungsvoll beurteilt. Der Schlaf sollte aber nicht länger als 15-20 Minuten dauern, da der Fahrer sonst in Tiefschlaf gerät und die Leistungsfähigkeit anschließend sogar reduziert ist (vgl. Kap. 4).

Die Maßnahme Kurzschlaf wird in dieser Arbeit nicht erprobt, da sie nicht während der Fahrt angewendet werden kann (vgl. Kap. 2, Tab. 4).

Als Beifahrer schlafen

Besitzt ein Beifahrer eine Fahrerlaubnis, so ist ein Fahrerwechsel möglich. Der erste Fahrer kann dann schlafen oder ausruhen, während der andere weiterfährt (vgl. Tab. 1, 4). Dies wird manchmal von Berufskraftfahrern praktiziert, z.B. bei Fernreisebussen.

Diese Maßnahme wird nicht untersucht, da sie nicht schnell wirkt (vgl. Kap. 2, Tab. 4). Außerdem kann sie nur realisiert werden, wenn ein anderer Fahrer mitfährt.

Koffein

Koffeinhaltige Getränke gehören zu den verbreiteten Maßnahmen gegen Schläfrigkeit am Steuer, besonders Kaffee. Manche Berufskraftfahrer trinken viel Kaffee, um wach zu bleiben. Bei allen Studien in Kapitel 9.1 (außer bei DLR & Polizei Köln) wurde Koffein als wirkungsvolle Maßnahme identifiziert. Nach Horne & Reyner (2001 b) ist Koffein neben einem Kurzschlaf die nächstbeste Maßnahme gegen Schläfrigkeit am Steuer.

Koffein ist in Kaffee, schwarzem und grünem Tee, Cola-Getränken und auch in einigen Energy-Getränken, z.B. „Red Bull“, enthalten. Die wirkungsvolle Dosis liegt bei 150-200 mg Koffein (nach Horne & Reyner, 2001 b, vgl. 2000). Diese Menge ist in 2-3 durchschnittlichen Tassen Kaffee oder in 2 Dosen Red Bull enthalten. Koffein, das in dieser Menge eingenommen wird, benötigt etwa 30 Minuten bis es wirkt. Die Dauer der zufriedenstellenden Wirkung beträgt dann etwa eine Stunde, abhängig von der Stärke der Schläfrigkeit. Reyner & Horne (2000) haben in Versuchen festgestellt, dass Koffein bei Personen mit starkem Schlafdefizit eine deutlich kürzere Wirksamkeit aufweist als bei Personen mit geringerem Schlafdefizit (vgl. Beaumont et al., 2001; Brice & Smith, 2001; Horne & Reyner, 2001 a; Lorist et al., 1994).

Tabelle 4: Potenzielle Maßnahmen gegen Schläfrigkeit

Maßnahmen	Merkmale											experimentelle Untersuchung					
	Anwendung vor Fahrt	Anwendung während Fahrt	Anwendung in Fahrtpause	Fahrer aktiv	Fahrer passiv	körperlicher Reiz	geistiger Reiz	ohne Beifahrer möglich	nur mit Beifahrer möglich	wirkt zeitverzögert	starke Ablenkung vom Fahren		Akzeptanz vsl. hoch	Akzeptanz vsl. gering	Akzeptanz fraglich	schädigungsfrei für Probanden	Schädigung der Proban. möglich
Kurzschlaf in Pause			•					•						•	•		
Als Beifahrer schlafen		•							•	•		•			•		
Koffein	•	•	•	•				•		•		•			•		
Gespräch mit Beifahrer		•		•			•		•			•			•		
Telefongespräch		•		•			•	•				•			•		•
Bewegung in Fahrtpause			•	•		•		•						•	•		
Gesicht waschen			•	•		•		•						•	•		
Stimulantien	•	•	•	•				•		•				•	?		
Seitenfenster öffnen		•			•	•		•						•		•	
Lüftung stark aktivieren		•			•	•		•						•		•	
Innenraumtemperat. absenken		•			•	•		•						•		•	
Singen, Selbstgespr., Schreien		•		•			•	•					•		•		
Radio/Musik hören		•			•		•	•				•			•		•
Essen, Trinken		•	•	•		•		•			?			•	•		
Kauen auf Eis/Kaugummi		•		•		•		•						•		?	
Gymnastik beim Fahren		•		•		•		•			•		•		•		
Sich selbst kneifen/schlagen		•		•		•		•			•		•		•		
Düfte		•			•	•		•					•		•		
Rauchen, Tabak kauen		•		•		•		•						•		•	
Rumble Strips befahren		•		•		•		•						•	•		
Spiele mit Beifahrern		•		•			•		•		•			•	•		
Melatoninsuppression du. Licht		•			•			•		•				•	•		
Regelmäßig Taste drücken		•		•		•		•						•	•		•
Töne		•			•	•		•						•	•		
Sprachausgabe		•			•		•	•						•	•		
Vibrationen		•		•	•			•				•			•		•
Schreckreize		•			•		•	•			•		•			?	

Horne und Reyner (2001 b) empfehlen bei Schläfrigkeit am Steuer die Kombination von einem Kurzschlaf und Koffein (vgl. Reyner & Horne, 1997). Sie empfehlen die Einnahme von 150 mg Koffein direkt **vor** einem Kurzschlaf von 15 Minuten Dauer. Wegen der verzögert einsetzenden Wirkung des Koffeins sei dies sinnvoll. Diese Kombination sei wirkungsvoller als eine der beiden Maßnahmen alleine.

Auch Koffein wird gemäß der Aufgabenstellung der vorliegenden Arbeit nicht untersucht, da es mit zeitlicher Verzögerung wirkt (vgl. Tab. 4). Nach dem verzögerten Einsetzen der Wirkung ist diese jedoch gut.

Gespräch mit Beifahrer, Telefongespräch

Während der Fahrt können Gespräche mit Beifahrern geführt werden, sofern welche im Fahrzeug sind. Gespräche sind sonst über Mobiltelefon oder Funk möglich. Inzwischen besitzen die meisten Kraftfahrer ein Mobiltelefon. In Deutschland dürfen diese jedoch nur mit Freisprecheinrichtung benutzt werden (nach StVO § 23 Abs. 1a, BMVBS, 2009). Funk-sprechgeräte sind vorwiegend in LKWs installiert.

Bei allen Studien in Kapitel 9.1 wurde ein Gespräch als eine der wirkungsvollsten Maßnahmen gegen Schläfrigkeit eingeschätzt. Insbesondere Gespräche mit einem Beifahrer wurden als sehr wirkungsvoll beurteilt. Bei der Expertenbefragung von Nguyen et al. (1998) wurden aber auch Telefon- und Funkgespräche als „vermutlich wirksam“ eingestuft.

Gespräche während der Fahrt stellen soziale Kontakte dar. Sie reduzieren Monotonie und zwingen den Fahrer, aufmerksam zu sein (vgl. Kiegeland, 1997). Sowohl die empirischen Studien wie auch theoretische Überlegungen deuten darauf hin, dass Gespräche (persönliche oder fernmündliche) die Schläfrigkeit beim Autofahren reduzieren. Experimentelle Untersuchungen hierzu sind keine bekannt. Gespräche als Maßnahme gegen Schläfrigkeit werden deshalb experimentell untersucht. Ob in den Versuchen persönliche Gespräche oder Telefongespräche durchgeführt werden, wird in Kapitel 10.2 entschieden.

Gespräche während der Fahrt können nicht nur Monotonie reduzieren, sondern auch die Aufmerksamkeit des Fahrers von seiner Fahraufgabe ablenken. Hierdurch wurden bereits Verkehrsunfälle verursacht. Gespräche während der Fahrt können sich also vermutlich sowohl positiv wie auch negativ auf die Verkehrssicherheit auswirken. Dies hängt von der Fahrsituation ab. Die Versuchsergebnisse sind unter diesem Aspekt kontrovers zu diskutieren (vgl. Kap. 14).

Bewegung in Fahrtpause

Bei der Expertenbefragung von Nguyen et al. wurde Bewegung in der Fahrtpause als wirkungsvoll eingeschätzt, z.B. Gymnastik oder ein Spaziergang. Nach Horne und Reyner (2001 b) dauert die wachmachende Wirkung aber nur ca. 10 Minuten lang an (vgl. Horne & Foster, 1995).

Diese Maßnahme wird nicht experimentell erprobt, da eine Unterbrechung der Fahrt notwendig ist (vgl. Tab. 4).

Gesicht waschen

Nguyen et al. (1998) schlagen vor, anzuhalten und das Gesicht mit kaltem Wasser zu waschen. Der Vorschlag wurde mit dem Wert 3,16 beurteilt, also mit „wahrscheinlich wirksam“. Auch diese Maßnahme wird nicht experimentell erprobt, da eine Unterbrechung der Fahrt notwendig ist. Außerdem ist die Akzeptanz fraglich.

Stimulantien

Unter Stimulantien (vgl. Tab. 1) sind wachmachende Wirkstoffe zu verstehen. Diese können während der Fahrt eingenommen werden, wirken aber erst nach einigen Minuten. Dies gilt sowohl für Arzneimittel wie auch für Stimulantien in Nahrungsmitteln. Da nur schnellwirkende Maßnahmen untersucht werden, werden Stimulantien nicht erprobt.

Seitenfenster öffnen, Lüftung stark aktivieren

Das Öffnen des Fensters ist eine der am häufigsten genannten und praktizierten Maßnahmen gegen Schläfrigkeit beim Autofahren. Bei Nguyen et al. (1998) wurde diese Maßnahme von 48 % der befragten Studenten praktiziert. Bei Oron-Gilad und Shinar (2000) war es nach „Radio hören“ die am zweithäufigsten angewandte Maßnahme gegen Schläfrigkeit. Sowohl die Häufigkeit der Anwendung wie auch der Nutzen wurden dort auf der 5-stufigen Skala mit 4,0 bewertet. Die Expertenbefragung in Tabelle 1 ergab einen Wert von 3,0, also „wahrscheinlich wirksam“.

Das Öffnen des Seitenfensters, insbesondere das des Fahrers, bewirkt, dass der Fahrer mit Luft hoher Geschwindigkeit angeströmt wird und dass die Luft im Fahrzeuginnenraum schnell ausgetauscht wird. Luft mit hoher Geschwindigkeit stellt einen körperlichen Reiz dar. Der beschriebene Effekt ist noch stärker, wenn es außen kalt ist. Aber auch wenn es außen warm ist, wirkt die Luft durch ihre hohe relative Anströmgeschwindigkeit auf der Haut kühl.

Wird die Lüftung im Fahrzeug stark eingeschaltet, so wirkt der beschriebene Effekt in abgeschwächter Form. Das Anblasen mit schneller Luft aus dem Lüftungssystem bewirkt ebenfalls eine Kühlung und damit einen physischen Reiz auf der Haut. Noch stärker wirkt der Effekt, wenn die schnelle Luft aus dem Lüftungssystem kalt ist, d. h. gegebenenfalls durch eine Klimaanlage gekühlt wird.

Das Anblasen mit kalter Luft ist eine der wenigen Maßnahmen gegen Schläfrigkeit beim Autofahren, die bereits experimentell untersucht wurden. Reyner & Horne (1998) haben die Wirkung dieser Maßnahme in einem Fahrsimulator überprüft. Bei den Versuchen wurden zwei verschiedene Maßnahmen gegen Schläfrigkeit beim Fahren erprobt:

- Anblasen des Gesichts mit kalter, klimatisierter Luft aus den Belüftungsdüsen des Fahrzeugs (Temperatur = 10° C, Luftgeschwindigkeit = 1,4 Meter/Sek.)
- Radio/Kassette hören mit einem Programm bzw. einer Kassette nach Wahl der Probanden

16 Versuchspersonen in schläfrigem Zustand mussten 2,5 Stunden im Fahrsimulator fahren, unter möglichst realistischen und monotonen Fahrbedingungen. Nach 30 Minuten Versuchsdauer wurde eine der beiden Maßnahmen aktiviert und der Versuch wurde weitere 2 Stunden mit der aktivierten Maßnahme fortgeführt. Die beiden Maßnahmen wurden getrennt untersucht, also nie gleichzeitig angewendet.

Zur Messung der Schläfrigkeit der Versuchspersonen wurden 3 verschiedene Messgrößen erfasst: Fahrfehler (Überfahren der Fahrbahnbegrenzungen), eine subjektive Selbstbewertung der Versuchspersonen nach der Karolinska-Skala und die Gehirnströme mittels EEG (vgl. Kap 10.4).

Bei der Auswertung wurden die 2,5 Stunden Versuchszeit in Zeitblöcke von je 30 Minuten unterteilt. Abbildung 15 zeigt die Anzahl der Fahrfehler in jeweils 30 Minuten. Im ersten 30 Minuten-Block erfolgte noch keine Intervention, in den Zeitblöcken 2 bis 5 erfolgte eine Intervention mit Radio/Kassette oder Kaltluft.

Abbildung 15 zeigt, dass sich die Anzahl der Fahrfehler durch die Intervention Kaltluft in den ersten 30 Minuten reduzierten. Später sind keine Auswirkungen der Kaltluft mehr erkennbar.

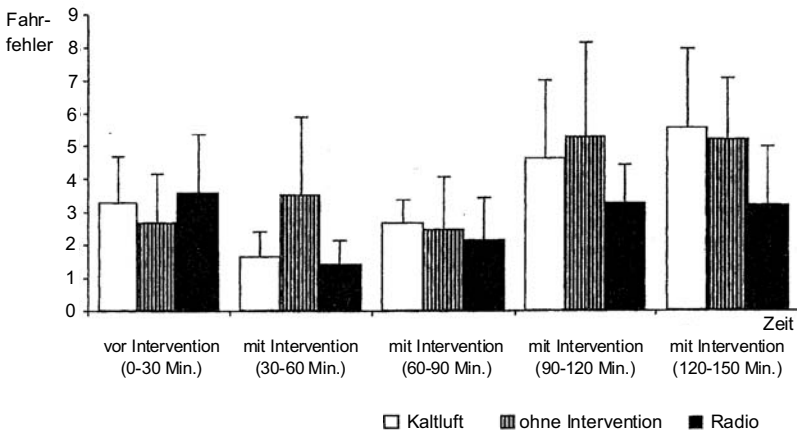


Abbildung 15: Fahrfehler mit den Interventionen Kaltluft oder Radio/Kassette, Durchschnittswerte und Standardabweichung (Reyner & Horne, 1998)

In Abbildung 16 ist der Verlauf der Selbstbewertung der Schläfrigkeit (Karolinska-Skala) über 2,5 Stunden Versuchszeit dargestellt (Durchschnittswerte der Versuchspersonen). Darin ist zu sehen, dass die Interventionen die Schläfrigkeit zunächst reduzierten. Bei Kaltluft stieg die Schläfrigkeit dann aber schnell wieder an und erreichte fast wieder das Niveau der Kontrollgruppe.

Bei der Analyse der Gehirnströme mittels EEG konnten keine wachmachenden Auswirkungen der Interventionen festgestellt werden. Offensichtlich war das EEG im betrachteten Frequenzbereich zu „unempfindlich“, um die Wirkung der Interventionen anzuzeigen (nach Reyner & Horne, 1998).

Die Abbildungen 15 und 16 zeigen, dass das Anblasen mit kalter Luft die Schläfrigkeit vorübergehend reduzierte. Nach dem Verlauf der Karolinska-Werte lag die Wirkungsdauer bei etwa 15 Minuten. In Kapitel 8 wurde festgestellt, dass genau diese Wirkungsdauer von Bedeutung ist.

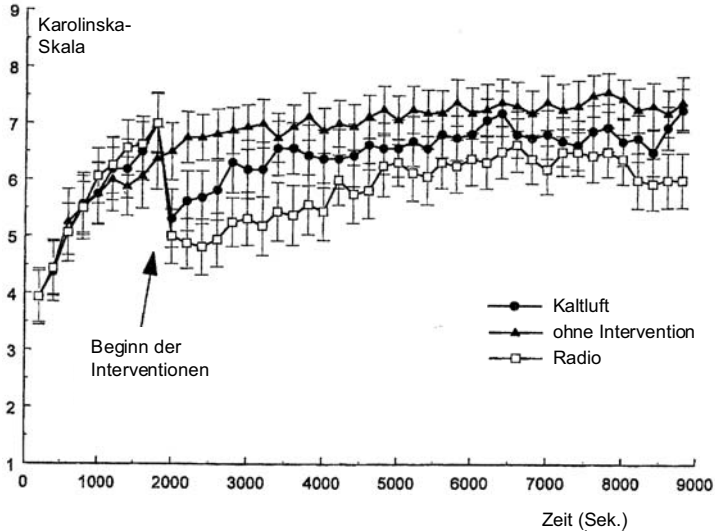


Abbildung 16: Selbstbewertung der Schläfrigkeit (Karolinska-Skala) mit den Interventionen Kaltluft oder Radio/Kassette (Reyner & Horne, 1998)

Auf eine eigene experimentelle Überprüfung dieses Ergebnisses wird verzichtet. Es ist nach eigener Auffassung nicht zu verantworten, Versuchspersonen 15-30 Minuten lang mit Kaltluft oder Luft aus einem Gebläse stark anzublasen. Die Gefahr einer gesundheitlichen Schädigung wäre zu groß.

Reyner und Horne haben das Anblasen mit Kaltluft aus einer Klimaanlage untersucht. Über die Wirkung von geöffneten Seitenscheiben liegen keine experimentellen Untersuchungen vor. Es ist zu vermuten, dass die Wirkung von geöffneten Seitenscheiben eher stärker ist als die Wirkung des Anblasens aus Düsen, da die Luftströmung bei geöffneten Seitenscheiben stärker ist. Die Wirkung wird auch stark von der Außentemperatur abhängen. Auch für das Anblasen mit Luft durch die Seitenfenster gilt, dass auf eine experimentelle Untersuchung aus Gründen des Gesundheitsschutzes der Versuchspersonen verzichtet wird.

Singen, Selbstgespräche, Schreien

Singen während der Fahrt als Maßnahme gegen Schläfrigkeit wird nur von Nguyen et al. (1998) vorgeschlagen (vgl. Tab. 1). Es wurde von den Experten als „wahrscheinlich wirkungsvoll“ eingeschätzt (Wert 2,91). Da die Akzeptanz dieser Maßnahme als gering eingeschätzt wird, wird sie hier nicht weiter verfolgt und nicht experimentell untersucht.

Auch das Selbstgespräch wird nur von Nguyen et al. vorgeschlagen. Die Expertenbewertung hierfür liegt bei 2,35. Es wird davon ausgegangen, dass es den Fahrer vermutlich nicht wacher macht. Da auch die Akzeptanz als gering eingeschätzt wird, wird diese potenzielle Maßnahme nicht weiter verfolgt.

Schreien als Maßnahme gegen Schläfrigkeit wurde nur bei der Befragung der Studenten bei Nguyen et al. genannt. Es gehörte dort aber nicht zu den häufig genannten Maßnahmen. Da auch hier die Akzeptanz als gering eingeschätzt wird und die Maßnahme in keiner der anderen Studien genannt wird, wird auch diese Maßnahme nicht weiter verfolgt.

Radio/Musik hören

Das Hören von Radio oder Musik von Tonträgern ist eine der am häufigsten praktizierten Maßnahmen gegen Schläfrigkeit beim Autofahren. Bei Nguyen et al. (1998) wurde von 76 % der befragten Studenten „Radio lauter stellen“ als praktizierte Maßnahme genannt. Die Expertenbefragung ergab einen Wert von 2,91, also „wahrscheinlich wirksam“. Bei Oron-Gilad und Shinar (2000) war es die am häufigsten angewandte Maßnahme gegen Schläfrigkeit. Auf der 5-stufigen Skala wurde die Häufigkeit der Anwendung mit 4,4 bewertet und der Nutzen mit 4,3. In der Studie des DLR & Polizei Köln wurde von 90 % der Befragten „Musik hören“ als Strategie gegen Schläfrigkeit genannt.

Das Hören von Radio oder Musik reduziert die Monotonie beim Fahren und wirkt somit Schläfrigkeit entgegen. Aus der Musikmedizin ist bekannt, dass unterschiedliche Arten von Musik den Menschen in unterschiedlicher Weise beeinflussen können (vgl. Spintge, 2000). Anregende Musik oder interessante Berichte im Radio, z.B. Nachrichten, tragen eher dazu bei, den Fahrer wach zu halten, als ruhige Musik.

Radio hören als Maßnahme gegen Schläfrigkeit beim Autofahren wurde von Reyner und Horne (1998) experimentell untersucht. Die Versuche wurden oben beschrieben. Die Versuchspersonen konnten einen Radiosender oder eine Musikkassette ihrer Wahl hören. Es wurde eine angenehme Lautstärke eingestellt. In den Versuchen wurde zunächst 30 Minuten ohne Musik gefahren und danach 120 Minuten mit Radio oder Kassette. Die Fahrfehler haben sich nach dem Einschalten von Radio/Kassette in den ersten 30 Minuten deutlich reduziert (vgl. Abb. 15). Im dritten 30 Minuten-Zeitblock ist keine wachmachende Wirkung von Radio/Kassette mehr zu erkennen. Im vierten und fünften 30 Minuten-Block waren die Fahrfehler wieder geringer als in der Kontrollgruppe. Der Verlauf der Selbstbewertung in Abbildung 16 zeigt eine deutliche Reduzierung der Schläfrigkeit bei Einsetzen der Intervention. Nach etwa 30 Minuten wurde die Wirkung im Vergleich zur Kontrollgruppe wieder geringer. Die Karolinska-Werte blieben aber während der gesamten Versuchszeit etwa eine Einheit unterhalb der Kontrollgruppe. Im EEG waren keine Effekte zu erkennen (zu unempfindlich).

Die Versuche zeigten eine wachmachende Wirkung von Radio/Kassette, insbesondere während der ersten 30 Minuten der Intervention. Später wurde der Effekt zwar geringer, war aber noch erkennbar. Gemäß der Aufgabenstellung der vorliegenden Arbeit sind die ersten 15 Minuten mit Intervention besonderes bedeutsam. Die wachmachende Wirkung von Radio/Kassette in diesem Zeitraum konnte durch die Versuche von Reyner und Horne nachgewiesen werden.

Radio bzw. Musik hören als Maßnahme gegen Schläfrigkeit ist wegen seiner häufigen Verwendung und der nachgewiesenen Wirksamkeit von hoher Bedeutung. Um einen Vergleich mit den anderen selbst untersuchten Maßnahmen zu ermöglichen, wird Radio bzw. Musik hören in dieser Arbeit experimentell untersucht.

Innenraumtemperatur absenken

Das Ändern der Lufttemperatur im Fahrzeuginnenraum wurde bei der Expertenbefragung von Nguyen et al. (1998) mit 2,86 bewertet, also mit „vermutlich wirkungsvoll“. Diese Maßnahme wurde auch in der Studie des DLR & Polizei Köln (2002) von 90 % der Befragten genannt.

Das Anblasen mit kalter Luft wurde von Reyner und Horne (1998) experimentell untersucht. Hierbei wirkte aber nicht nur die Temperatur der kalten Luft, sondern der Fahrer wurde mit einer Luftgeschwindigkeit von 1,4 Meter/Sek. angeblasen. Die temporäre Wirksamkeit dieser Maßnahme wurde nachgewiesen. Eine ausschließliche Reduzierung der Temperatur wurde experimentell nicht untersucht. Es ist zu vermuten, dass diese auch wachmachend wirkt, jedoch nicht so stark wie bei gleichzeitigem Anblasen. Auf eine experimentelle Untersuchung dieser Maßnahme im Rahmen der vorliegenden Arbeit wurde ebenfalls verzichtet, da eine gesundheitliche Gefährdung der Versuchspersonen zu befürchten war.

Essen, Trinken

Während der Fahrt etwas zu essen oder zu trinken unterbricht die Monotonie und kann deshalb möglicherweise Schläfrigkeit reduzieren. In der Expertenbefragung von Nguyen et al. (1998) wurden Essen und Trinken während der Fahrt mit ca. 2,5 bewertet. Falls diese Maßnahme hilft, dann vermutlich nur unmittelbar während des Essens bzw. Trinkens.

Kauen auf Eis/Kaugummi

Von Nguyen et al. (1998) wurden das Kauen auf Eis oder auch Kaugummi kauen als Maßnahmen vorgeschlagen. Das Kauen auf Eis ist nach eigener Auffassung aus gesundheitlichen Gründen nicht zumutbar. Diese Maßnahmen wurden nicht experimentell untersucht.

Gymnastik beim Fahren

Nguyen et al. schlagen gymnastische Übungen während der Fahrt als Maßnahme gegen Schläfrigkeit vor (z.B. mit Händen, Armen, Beinen, Kopf). Die Experten haben die Wirkung mit 2,69 bewertet. Die Akzeptanz dieser Maßnahme wird als gering eingeschätzt. Außerdem kann diese Maßnahme zu einer Ablenkung von der Fahraufgabe führen. Sie wurde deshalb nicht experimentell untersucht.

Sich selbst kneifen/schlagen

Nguyen et al. schlagen als Maßnahme gegen Schläfrigkeit vor, sich selbst zu kneifen oder zu schlagen (Expertenbewertung 2,69). Auch hier wird die Akzeptanz als gering eingeschätzt. Außerdem ist eine Ablenkung vom Fahren und eventuell eine Schädigung der Probanden zu erwarten.

Düfte

Das Einatmen von Düften kann Auswirkungen auf das Befinden von Menschen haben. In der Medizin wird in Aromatherapien die heilende Wirkung bestimmter Düfte ausgenutzt. Düfte können durch Verdampfen von ätherischen Ölen erzeugt werden. So wirkt z.B. Pfefferminze erfrischend und krampflösend und wird gegen Kopfschmerzen eingesetzt. Der Duft von Hopfen wirkt beruhigend und schlaffördernd.

Prinzipiell müsste es also auch möglich sein, der Schläfrigkeit von Autofahrern durch bestimmte Düfte entgegenzuwirken. Kaneda et al. (1994) haben die wachmachende Wirkung verschiedener Düfte experimentell untersucht (vgl. Popp, 2005; Torii, 1987). Sie haben die Wirkung von Pfefferminze, Jasmin, Lavendel und Zitrone verglichen. Von diesen vier Düften hatte Pfefferminze die am stärksten wachmachende Wirkung. Diese hielt aber nur wenige Minuten an. Kaneda et al. kombinierten den Pfefferminzduft mit dem gleichzeitigen Ertönen eines akustischen Summers, wobei zuerst der Summer einsetzte und der Pfefferminzduft erst verzögert ausströmt wurde. Diese kombinierten Maßnahmen hatten eine wachmachende Wirkung, die 11-16 Minuten andauerte.

Trotz der nachgewiesenen kurzzeitigen Wirksamkeit ausgewählter Düfte wurde diese Maßnahme im Rahmen der vorliegenden Arbeit nicht weiter verfolgt, da die Akzeptanz als gering eingeschätzt wurde. Düfte im Fahrzeug würden vom Fahrer und von den Beifahrern vermutlich als unangenehm empfunden werden. Außerdem würde durch ein automatisches Ausströmen eines Duftes bei Schläfrigkeit des Fahrers allen Mitfahrenden bewusst, dass der Fahrer schläfrig ist. Der Duft würde zudem auch vorübergehend im Auto verbleiben, auch bei abgestelltem Auto.

Rauchen, Tabak kauen

Rauchen oder Tabak kauen während der Fahrt wurden von Nguyen et al. (1998) vorgeschlagen. Die Expertenbeurteilung ergab 2,51 bzw. 2,53 (vgl. Tab. 1). Auch bei Oron-Gilad und Shinar (2000) wurde Rauchen nur mit 3,0 bzw. 2,9 bewertet (vgl. Tab. 3). Von diesen Befragungen lässt sich somit nicht ableiten, dass Rauchen oder Tabak kauen während des Autofahrens wachmachend wirken. Da Rauchen nur von einem Teil der Fahrer und Tabak kauen fast von niemandem praktiziert wird, werden diese potenziellen Maßnahmen nicht weiter verfolgt.

Die bislang noch nicht diskutierten Maßnahmen aus der Expertenbefragung von Nguyen et al. (vgl. Tab. 1) ab Rang 39 wurden in ihrer Wirkung schlechter als 2,5 bewertet. Sie wurden also nicht als wachmachend eingeschätzt und werden nicht experimentell untersucht.

Rumble Strips befahren

Bei der Studentenbefragung von Nguyen et al. (1998) wurde vorgeschlagen, absichtlich über Rumble Strips zu fahren. Da es diese Fahrbahnerhöhungen nicht überall gibt und in Deutschland noch selten, wurde diese Maßnahme nicht weiter verfolgt. Das absichtliche Überfahren von Rumble Strips ist zudem nicht legal.

Spiele mit Beifahrern

Spiele mit Beifahrern während der Fahrt erzeugen soziale Kontakte und Kommunikation. Da jedoch eine Ablenkung von der Fahraufgabe zu erwarten ist, wird die Maßnahme nicht experimentell untersucht (vgl. Tab. 4). Außerdem befinden sich nicht immer Mitfahrer im Fahrzeug.

Melatonin-suppression durch Licht

Durch künstliches Licht kann die Synthese von Melatonin reduziert oder unterdrückt werden (vgl. Kap. 3.2 und 5). Dadurch kann der Schläfrigkeit von Menschen entgegengewirkt werden. Dies ist seit längerem bekannt und wurde experimentell mehrfach nachgewiesen (vgl. Cajochen, 2007; Griefahn, 2003; Popp, 2005). Besonders geeignet zur Melatonin-suppression (Unterdrückung) ist kurzwelliges, blaues Licht mit einer Wellenlänge von ca. 460 Nanometern. Dieses kann auch bei der Gestaltung von Arbeitsplätzen gezielt eingesetzt werden (vgl. Spath et al., 2008).

In Kapitel 5 wurden die Ansätze der Industrie beschrieben, um dies auch bei Kraftfahrzeugführern während der Fahrt zu nutzen. Volkswagen hat diese Entwicklung jedoch nicht weiter verfolgt, da das Licht für Nachtfahrten zu hell war und die Fahrer blendete (vgl. Süddeutsche, 2008; Vox, 2009). Der Einsatz von künstlichem Licht im Auto am Tag bewirkt keine nennenswerte Melatonin-suppression, da der Melatoninspiegel im Blut tagsüber sowieso gering ist.

Bei eigenen Recherchen konnten keine Informationen darüber gefunden werden, dass weitere Fahrzeughersteller den Einsatz von Licht zur Melatonin-suppression planen. Dies ist bemerkenswert, zumal die Anwendung in Fahrzeugen spätestens seit der Veröffentlichung von Volkswagen im Jahr 2006 bekannt ist.

Ein Kraftfahrzeugausrüster bietet ein „AntiBlendLicht“ an, welches unter anderem die Melatoninsynthese hemmen soll (vgl. Kap. 5; Braun, 2008). Über die Wirksamkeit dieses Geräts gegen Schläfrigkeit liegen keine gesicherten Erkenntnisse vor. Eine eigene experimentelle Überprüfung der Wirksamkeit im Fahrsimulator wäre problematisch gewesen, da das Gerät seine Leuchstärke ändert in Abhängigkeit vom einfallenden Blendlicht von entgegenkommenden Fahrzeugen.

Der Einsatz von Licht zur Melatonin-suppression in Kraftfahrzeugen wurde im Rahmen der vorliegenden Arbeit nicht experimentell untersucht. Es wird davon ausgegangen, dass die für eine Wirksamkeit erforderliche Beleuchtungsstärke bei Nachtfahrten eine zu starke Blendwirkung hervorrufen würde. Durch den Einsatz von Licht lässt sich auch keine wachmachende Wirkung innerhalb weniger Minuten gemäß der Aufgabenstellung erreichen (vgl. Popp, 2005; Tab. 4).

Regelmäßig eine Taste drücken

Eine weitere potenzielle Maßnahme ist das regelmäßige Drücken einer Taste durch den Fahrer. Als Kontrollmechanismus wird dies bei Führern von Eisenbahnzügen bereits seit langem eingesetzt. Die Fahrzeugführer müssen dort nach spätestens 20-30 Sekunden eine Taste oder ein Pedal drücken, um zu bestätigen, dass sie wach und aufmerksam sind. Unterlassen sie dies, so ertönt eine Hupe oder eine Sprachausgabe. Reagieren sie auch darauf nicht, so wird der Zug per „Zwangsbremmung“ bis zum Stillstand abgebremst.

Bei Kraftfahrzeugen wäre als Maßnahme gegen Schläfrigkeit denkbar, dass der Fahrer regelmäßig eine Taste drücken muss, z.B. spätestens nach 4 Sekunden. Unterlässt er dies, so müsste ebenfalls eine Warnung erfolgen, z.B. akustisch. Der Fahrer würde dadurch gegebenenfalls auch wieder aufgeweckt. Da diese Maßnahme Erfolg versprechend ist und sich bei der Eisenbahn in ähnlicher Form bereits bewährt hat, wird sie experimentell untersucht.

Töne

Als Maßnahme gegen Schläfrigkeit wäre eine Ausgabe von Tönen denkbar. Diese würden einen akustischen Reiz darstellen und die Monotonie der Situation unterbrechen (vgl. Marberger, 2003). Diese Maßnahme wurde von Landström (1997) experimentell untersucht. Seine Studien beinhalteten sowohl Laborversuche wie auch eine Erprobung bei LKW-Fahrern bei Fahrten auf öffentlichen Straßen.

Bei den Laborversuchen wurde im Labor ein LKW-Fahrerplatz aufgebaut. Eine Fahrtätigkeit war jedoch nicht gefordert. Es wurde lediglich über Lautsprecher das Fahrgeräusch aus einem LKW eingespielt. Die Personen wurden aufgefordert, während des Versuchs die Augen geöffnet zu halten. Von ihnen wurden keinerlei Aktivitäten gefordert. Der Grad der Schläfrigkeit wurde mittels EEG und durch Selbstbeurteilung festgestellt. Da die Versuchsbedingungen unrealistisch waren, sind die Ergebnisse dieser Laborversuche kritisch zu betrachten.

In den Laborversuchen wurde versucht, die schläfrigen Testpersonen durch nichtharmonische Töne wieder wacher zu machen. Die Töne wurden eingespielt, sobald die EEG-Signale ein definiertes Schläfrigkeitsniveau erreichten. Die Versuche zeigten, dass die Personen durch die Töne wieder wacher wurden. Der Effekt hielt aber nur 2-5 Minuten an.

Bei den Feldversuchen mit realen LKW-Fahrten mussten die Fahrer den Grad ihrer Wachheit subjektiv bewerten, unter Verwendung einer grafischen 100 mm-Skala. Die Versuche ergaben, dass die Fahrer durch die Töne signifikant wacher wurden. Die Versuche zeigten weiter, dass die Töne besonders wirkungsvoll waren bei Frequenzen oberhalb 1000 Hz, bei disharmonischen Tönen und bei Tönen unterschiedlicher Frequenz und Dauer.

Bei den eigenen Versuchen werden Töne in Verbindung mit der oben beschriebenen Maßnahme „Regelmäßig Taste drücken“ eingesetzt. Die Fahrer werden aufgefordert, nach spätestens 4 Sekunden eine Taste zu drücken. Unterlassen sie dies, so werden Töne ausgegeben, um die Fahrer wieder wacher zu machen. Bei dieser Variante ist ein aktives Handeln des Fahrers gefordert. Die Konkretisierung der Versuchsbedingungen wird in Kapitel 10.2 beschrieben.

Sprachausgabe

Eine weitere mögliche Maßnahme wäre die Ausgabe von gesprochenen Informationen, z.B. die Fahrgeschwindigkeit, die Tankfüllung oder die Uhrzeit. Solche Informationen könnten unaufgefordert in unregelmäßigen Zeitabständen erfolgen.

Diese Maßnahme hätte Ähnlichkeit mit der Intervention „Radio hören“, bei der auch unaufgefordert Informationen vom Moderator erfolgen. Da „Radio hören“ in dieser Arbeit experimentell untersucht wird und ein Radio fast in jedem Auto installiert ist, wird auf die experimentelle Untersuchung von Sprachausgaben verzichtet.

Vibrationen

Eine weitere potenzielle Maßnahme gegen Schläfrigkeit wären Vibrationen von Sitz, Sicherheitsgurt oder von Stellteilen, wie z.B. dem Lenkrad (vgl. Bekiaris et al., 2004; Continental, 2006; Hagenmeyer, 2007; Marberger, 2003). Vibrationen des Sitzes als Maßnahme gegen Schläfrigkeit wurden von Heitmann et al. (2001) experimentell untersucht. In dieser Studie wurde aber nur der Einfluss der Vibrationen auf Kopfnicken dargestellt. Das Nicken des Kopfes tritt aber erst bei starker Schläfrigkeit auf. Deshalb ist die dort durchgeführte elektrische kapazitive Messung des Kopfnickens nach eigener Auffassung nicht geeignet, um beginnende Schläfrigkeit festzustellen.

Es wurde berichtet, dass durch Vibrationen des Sitzes deutlich seltener Kopfnicken auftrat. Bemerkenswert daran ist, dass Sitzvibration sogar Auswirkungen auf die Anzeichen starker Schläfrigkeit hatte (Kopfnicken).

Da die Vibration von Fahrzeugteilen eine Erfolg versprechende Maßnahme ist, wird sie in eigenen Versuchen erprobt. Dabei werden sensiblere Messverfahren als die Messung des Kopfnickens eingesetzt (vgl. Kap. 10.4).

Schreckreize

Schreckreize könnten z.B. durch unerwartete Geräusche oder durch Lichteffekte erzeugt werden. Durch die Schreckreaktion wäre jedoch eine erhebliche Ablenkung von der Fahraufgabe zu erwarten (vgl. Tab. 4). Die Akzeptanz wäre deshalb gering. Schreckreize werden hier nicht experimentell untersucht.

9.3 Auswahl

Zur experimentellen Untersuchung werden Maßnahmen mit verschiedenen Merkmalen ausgewählt (vgl. Tab. 4, 5). Es werden Maßnahmen untersucht, bei denen der Fahrer aktiv ist, und solche, bei denen er passiv bleibt. Außerdem werden Maßnahmen mit körperlichen und geistigen Reizen getestet. Tabelle 5 zeigt die vier ausgewählten Maßnahmen. Diese erwiesen sich in Kapitel 9.2 als Erfolg versprechend.

Von den vorgeschlagenen Maßnahmen in Tabelle 4 erfüllen einige die Ausschlusskriterien. Diese Maßnahmen werden nicht experimentell untersucht.

Tabelle 5: Zur Erprobung ausgewählte Maßnahmen gegen Schläfrigkeit

		Fahrer	
		aktiv	passiv
Reiz	geistig	Telefongespräch	Radio hören
	körperlich / akustisch	regelmäßig Taste drücken (ggf. mit Ton)	Vibrationen

Die technische Realisierung der Maßnahmen wird in Kapitel 10.2 beschrieben. Zum Vergleich werden auch Versuche ohne Intervention durchgeführt (Kontrollgruppe).

10 Versuchsdesign

10.1 Fahrsimulator

In den Versuchen werden die in Kapitel 9 ausgewählten Maßnahmen gegen Schläfrigkeit experimentell untersucht. Voraussetzung für eine realitätsnahe Durchführung der Versuche ist, dass sich die Versuchspersonen in schläfrigem Zustand befinden. Deshalb ist es nicht zu verantworten, die Versuche im realen Straßenverkehr durchzuführen. Die Gefahr von Schläfrigkeitsunfällen wäre zu groß. Bei den Versuchen wird deshalb ein Fahrsimulator verwendet.

Die Versuche werden mit dem Fahrsimulator des Fraunhofer Instituts für Arbeitswirtschaft und Organisation (IAO) in Stuttgart durchgeführt (vgl. Abb. 17). Der Simulator besteht aus einem PKW ohne Antriebseinheit. Auf den Projektionswänden können verschiedene Fahr-szenarien dargestellt werden, wie z.B. Autobahnfahrten, Überlandfahrten oder Stadtfahrten. Richtet der Fahrer seinen Blick nach vorne, so ist in seinem gesamten Blickfeld die Verkehrssituation dargestellt.

Der Fahrsimulator ist wie ein normaler PKW zu bedienen. Es kann alternativ ein Schaltgetriebe oder ein automatisches Getriebe gewählt werden. In den Versuchen wird das Schaltgetriebe verwendet. Das simulierte Motorgeräusch sowie Umgebungsgeräusche werden mit den Lautsprechern im Fahrzeug wiedergegeben. Der Aufbau des PKWs ist an beweglichen Aktuatoren gelagert. Dadurch kann er entsprechend der Fahrsituation in Vertikalrichtung bewegt werden.

Bei den Fahrversuchen wird eine monotone Verkehrssituation dargestellt, um die Schläfrigkeit der Versuchspersonen zu steigern (vgl. Kap. 3.3). Als Fahrtstrecke wird ein monotoner Autobahnrundkurs mit 2 Fahrspuren pro Fahrtrichtung gewählt (vgl. Abb. 17, unteres Bild). Es werden keine anderen Fahrzeuge dargestellt, weder in der eigenen Fahrtrichtung noch auf der Gegenfahrbahn. Die Probanden fahren mit einer konstanten Geschwindigkeit von ca. 130 km/h. Bei dieser Geschwindigkeit sind keine Schaltvorgänge erforderlich, da im 5. Gang gefahren wird.

Um die Monotonie noch weiter zu steigern, werden während der gesamten Fahrt Dämme-rung und leichter Nebel dargestellt.

Die Fahrdaten des Simulators werden an die Steuer- und Kontrollrechner übertragen und auf den Bildschirmen des Leitstandes dargestellt, z.B. die Geschwindigkeit und die Position auf der Fahrbahn. Die relevanten Fahrdaten werden bei allen Versuchen gespeichert.

Die Versuche werden vom Versuchsleiter und einem Versuchsingenieur vom Leitstand aus gesteuert und überwacht. Die Gesichter der Probanden werden auf einem Bildschirm dargestellt und aufgezeichnet.



Abbildung 17: Fahrsimulator des Fraunhofer IAO, Stuttgart

10.2 Unabhängige Variable

In den Versuchen wurden die vier ausgewählten Interventionen als Maßnahmen gegen Schläfrigkeit erprobt (unabhängige Variable). Außerdem wurden Versuche ganz ohne Intervention durchgeführt (Kontrollgruppe).

Gespräche

Gespräche können entweder persönlich mit den Beifahrern oder fernmündlich über Mobiltelefon oder Funk mit Personen außerhalb des Fahrzeugs geführt werden. Über die wachmachende Wirkung dieser beiden Varianten lagen keine Untersuchungen vor. Sie wird vermutlich stark vom Gesprächspartner und vom Gesprächsthema abhängen.

Bei einsetzender Schläfrigkeit ist nicht immer ein Beifahrer als Gesprächspartner verfügbar. Wenn ein Mobiltelefon im Fahrzeug mitgeführt wird, kann aber meistens ein Telefonanruf getätigt werden, so dass kurzfristig ein Gesprächspartner verfügbar wird. Wegen der besseren Verfügbarkeit wurden deshalb Telefongespräche als Maßnahme gegen Schläfrigkeit untersucht. Heute besitzen die meisten Autofahrer ein Mobiltelefon, so dass diese Maßnahme leicht realisierbar ist.

Die Telefongespräche wurden mit dem Versuchsleiter oder dem Versuchsingenieur geführt. Die Gesprächsthemen waren meist aus Studium oder Beruf oder auch Freizeitaktivitäten. Es wurde versucht, ein für die Versuchspersonen möglichst interessantes Gespräch zu führen, bei dem sie auch selbst gefordert waren und etwas erzählen mussten. Auf diese Weise wurde versucht, bei allen Telefongesprächen möglichst ähnliche Bedingungen zu schaffen. Nach den Versuchen mussten die Versuchspersonen in einem Fragebogen angeben, wie interessant sie das Gespräch empfunden hatten.

Bei den Telefongesprächen wurde eine Freisprecheinrichtung verwendet. In den meisten Ländern sind Telefongespräche während des Autofahrens nur mit Freisprecheinrichtung erlaubt. Die Versuchspersonen hörten ihre Gesprächspartner aus den Fahrzeuglautsprechern. Die Lautstärke wurde so eingestellt, dass sie für die Versuchspersonen angenehm war. Die Versuchspersonen trugen während der Telefonate ein Head-Set mit Mikrofon.

Radio oder Musik hören

Hier gab es als Alternativen das Hören von Radio oder das Hören von Musik von Tonträgern, z.B. CD. Für die Versuche wurde Radio hören gewählt. Durch die Sprachinformationen im Radio, wie z.B. Nachrichten oder Berichte, wurde eine stärkere Unterbrechung der Monotonie und damit eine stärker wachmachende Wirkung erwartet.

Die Versuchspersonen wählten vor Beginn der Versuche einen Radiosender aus. In allen Fällen wurden Popsender gewählt, wie z.B. Antenne 1 oder SWR 3. Im Verlauf der Versuche äußerten einige Versuchspersonen den Wunsch, den Sender während des Versuchs ändern zu können. Daraufhin wurden 5 Popsender voreingestellt, zwischen denen die Versuchspersonen jederzeit variieren konnten. Der Sender konnte über eine Taste am Lenkrad geändert werden (vgl. Abb. 18), so dass der Blick nicht von der Straße abgewendet werden musste. Die Lautstärke wurde so eingestellt, dass sie für die Versuchspersonen angenehm war.



Abbildung 18: Lenkrad des Fahrsimulators mit Bedientasten (vgl. Marberger, 2003)

Regelmäßig eine Taste drücken

Bei dieser Intervention mussten die Versuchspersonen spätestens alle 4 Sekunden eine Taste am Lenkrad drücken. Unterließen sie dies, so ertönte ein pulsierender, unangenehm wirkender Warnton, der erst wieder aufhörte, wenn die Taste gedrückt wurde. Die Personen konnten entweder vorbeugend die Taste drücken, so dass der Ton gar nicht einsetzte, oder sie konnten den Ton abwarten und diesen dann „wegdrücken“. So wurde eine größere Akzeptanz erwartet, als wenn der Ton jedes Mal eingesetzt hätte und dann hätte weggedrückt werden müssen.

Die Taste befand sich rechts am Lenkrad (vgl. Abb. 18). Sie konnte z.B. mit dem rechten Daumen gedrückt werden, ohne dass der Blick vom Verkehrsgeschehen abgewendet werden musste. Zur Betätigung war nur eine geringe Bedienkraft erforderlich.

Vibrationen

Vibrationen von Fahrzeugteilen mit Körperkontakt zum Fahrer sollten Schläfrigkeit entgegenwirken. In Frage kamen Vibrationen von Sitz, Sicherheitsgurt oder von Stellteilen, wie z.B. dem Lenkrad (vgl. Bekiaris et al., 2004; Continental, 2006; Marberger, 2003). In den durchgeführten Versuchen wurden Vibrationen in den Sicherheitsgurt eingeleitet. Dazu wurde das Gurtschloss des Fahrersitzes mittels eines Elektromotors in Schwingungen versetzt, die sich als Vibrationen auf den Sicherheitsgurt übertrugen. Bei früheren Versuchen wurde festgestellt, dass Vibrationen mit einer Frequenz von 125 Hz wirkungsvoll und akzeptabel waren (vgl. Dangelmaier, 2004; Marberger, 2003). Deshalb wurde diese Frequenz auch für die eigenen Versuche gewählt. Die Fahrer spürten die Gurtvibrationen deutlich, sie waren jedoch nicht unangenehm.

Um Gewöhnungseffekte zu vermeiden, wurden die Vibrationen unregelmäßig unterbrochen. Die Vibrationen erfolgten randomisiert 3 - 6 Mal kurz hintereinander mit kurzen Pausen dazwischen. Sowohl die Vibrationsdauer wie auch die Pausendauer betragen 0,2 - 1 Sekunden (randomisiert). Nach einem solchen Zyklus erfolgte eine längere Pause von 1 - 5 Sekunden Dauer (randomisiert). Danach startete erneut ein Zyklus mit 3 - 6 Vibrationsintervallen.

Die Versuche wurden auch ganz ohne Interventionen durchgeführt (Kontrollgruppe).

10.3 Versuchsplan

Bei den Versuchsfahrten im Simulator wurde angestrebt, die Schläfrigkeit bei verschiedenen Interventionen vergleichen zu können mit dem Verlauf der Schläfrigkeit ohne Intervention.

Variante 0 in Abbildung 19 zeigt einen möglichen Verlauf der Schläfrigkeit einer Person über der Zeit. Dabei wird davon ausgegangen, dass sich die Person in schläfrigerem Zustand befindet und dass die Schläfrigkeit mit der Zeit zunimmt. Die Messgröße für Schläfrigkeit ist hier noch nicht konkretisiert. Variante 0 zeigt einen Verlauf ohne Maßnahme gegen Schläfrigkeit (obere Kurve) und einen möglichen Verlauf mit Maßnahme gegen Schläfrigkeit (untere Kurve). Hier wird davon ausgegangen, dass die Schläfrigkeit mit Intervention nicht so stark zunimmt wie ohne Intervention. Die beiden Kurven können allerdings bei einer bestimmten Person zu einem bestimmten Zeitpunkt nicht gleichzeitig gemessen werden. Es stellt sich somit die Frage, wie man die beiden Verläufe messen und vergleichen kann.

Eine Möglichkeit hierzu wäre, zu einem bestimmten Zeitpunkt die Schläfrigkeit einer **Versuchsperson A ohne Intervention** und gleichzeitig die Schläfrigkeit einer **Versuchsperson B mit Intervention** zu messen (**Variante 1**). Dies hätte die Nachteile, dass die beiden Personen zu Beginn der Messung unterschiedlich schläfrig sein könnten und dass die Zunahme der Schläfrigkeit bei den beiden Personen unterschiedliche „Charakteristika“ aufweisen könnte. Ein Vergleich der beiden Kurven hätte somit wenig Sinn. Variante 1 wurde deshalb verworfen.

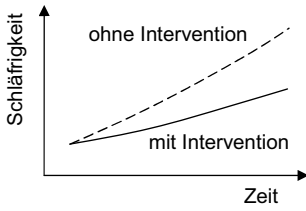
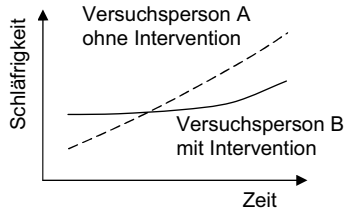
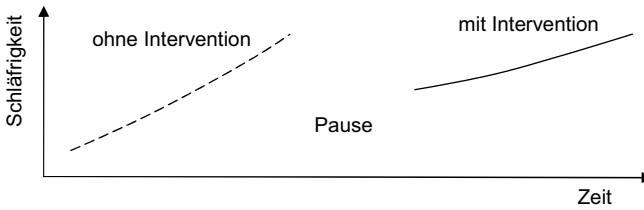
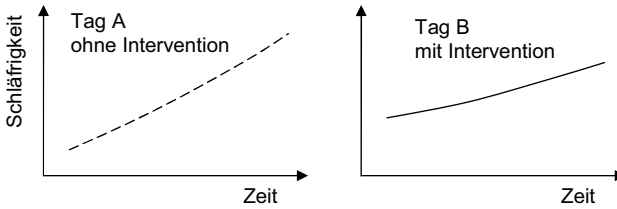
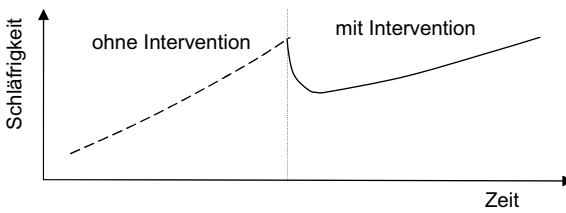
Bei **Variante 2** würde zunächst die Schläfrigkeit **ohne** Intervention gemessen und nach einer Pause die Schläfrigkeit **mit** Intervention. Diese Variante hätte den Nachteil, dass die Messung mit Intervention vermutlich auf einem anderen Niveau beginnen würde als die Messung ohne Intervention, da durch die erste Messung bereits ein Anstieg des Schläfrigkeitsniveaus erfolgt wäre. Möglicherweise würde die Schläfrigkeit bei der zweiten Messung auch schneller zunehmen als bei der ersten, wegen der vorher bereits angestiegenen Schläfrigkeit. Ein Vergleich der beiden Kurvenverläufe hätte also auch hier wenig Sinn. Variante 2 wurde deshalb ebenfalls verworfen.

Variante 3 zeigt die beiden Versuche an zwei verschiedenen Tagen. Für die beiden Versuche sollte dabei dieselbe Uhrzeit gewählt werden, um sie in derselben zirkadianen Phase durchzuführen und so möglichst ähnliche Versuchsbedingungen zu schaffen. Ein Vergleich der beiden Kurven wäre aber trotzdem nur bedingt sinnvoll, da die Schläfrigkeit von Tag zu Tag stark schwanken kann, z.B. durch unterschiedliche Schlafdauer und -qualität in der vorhergehenden Nacht. Deshalb wurde auch Variante 3 nicht realisiert.

Bei **Variante 4** würde der Versuch zunächst ohne Intervention durchgeführt, bis ein bestimmtes Niveau der Schläfrigkeit erreicht wäre. Dann würde die Intervention einsetzen. Diese Variante entspricht der realen Anwendung von Maßnahmen gegen Schläfrigkeit beim Autofahren. Der Fahrer fährt, bis er selbst oder ein Messgerät erkennt, dass ein bestimmtes Schläfrigkeitsniveau erreicht ist. Dann setzt die Intervention ein.

Da Variante 4 die reale Anwendung abbildet, wurde diese ausgewählt und in allen Versuchen der vorliegenden Arbeit realisiert.

Maßnahmen gegen Schläfrigkeit können entweder automatisch einsetzen oder der Fahrer wird zur Aktivierung aufgefordert. In den Versuchen wurde der Fahrer zunächst durch den Versuchsleiter sprachlich darüber informiert, dass die Intervention einsetze. Direkt danach begann die Intervention. Durch diesen Ablauf wurde vermieden, dass die Versuchsperson durch die Intervention erschrak.

Variante 0**Variante 1****Variante 2****Variante 3****Variante 4****Abbildung 19:** Mögliche Varianten des Versuchsablaufs

Maßnahmen gegen Schläfrigkeit sollen im Straßenverkehr nur bis zur nächsten Parkmöglichkeit genutzt werden, maximal aber 15 Minuten lang (vgl. Kap. 8). Bei der Erprobung von Maßnahmen gegen Schläfrigkeit ist deshalb eine Interventionsdauer von 15 Minuten von großer Bedeutung. Bei der statistischen Hypothesenprüfung wurde deshalb die Wirksamkeit während 15 Minuten geprüft.

Um jedoch die Wirkungsdauer der Maßnahmen zu erforschen, wurde bei den durchgeführten Fahrversuchen eine Interventionsdauer von 30 Minuten gewählt. Versuche mit einer Interventionsdauer von mehr als 30 Minuten waren für die Probanden nicht zumutbar.

Die Versuchspersonen sollten sich während der Fahrversuche in einem schläfrigen Zustand befinden, da nur so die Wirksamkeit von Maßnahmen gegen Schläfrigkeit realistisch erprobt werden konnte. Die Versuche sollten deshalb in einem Zeitraum durchgeführt werden, in dem die Schlafendenz des Menschen hoch ist (vgl. Abb. 3). Für die Durchführung der Versuche wurde deshalb der Zeitraum von 6 - 8 Uhr morgens gewählt. Die Versuchspersonen durften in der vorausgehenden Nacht und auch während des vorausgehenden Tages nicht schlafen. Die Versuche wurden somit in einem Zustand starken Schlafdefizits durchgeführt, was den realen Gefahrensituationen entsprach. Die Versuchspersonen durften während der vorausgehenden Nacht und morgens vor den Versuchen keine koffeinhaltigen oder sonstige belebende Getränke zu sich nehmen.

Die gewählte Uhrzeit und die Versuchsbedingungen waren für die Versuchspersonen nach deren eigener Auffassung zumutbar, da sie nach den Versuchen um ca. 9 Uhr schlafen gehen konnten. Die Versuchspersonen mussten schriftlich bestätigen, dass sie in der Nacht vor den Versuchen nicht geschlafen hatten (vgl. Abb. 35, 36). Sie bestätigten ebenfalls, dass sie keiner der Risikogruppen angehörten, für die eine Benutzung des Fahrsimulators nicht erlaubt war.

Die Versuchspersonen machten sich vor allen Versuchen mit dem Fahrsimulator und der dargestellten Verkehrssituation vertraut, indem sie ca. 10 Minuten lang eine Probefahrt durchführten. Deshalb war die Schläfrigkeit oft schon zu Beginn der eigentlichen Versuchsfahrt relativ hoch.

10.4 Messung von Schläfrigkeit

10.4.1 Messverfahren

Da Schläfrigkeit ein komplexer Zustand ist, ist ihre Messung schwierig. Beim Übergang vom wachen Zustand in den Schlaf weisen viele Körperfunktionen nur relativ geringe Veränderungen auf, wie z.B. Atmung und Herzfrequenz (vgl. Kap. 3.2; Jürgensohn et al., 2004 b; Nitsch, 1971).

In der Medizin werden zur Bewertung von Schlaf und den verschiedenen Schlafphasen meistens die Gehirnströme mithilfe der Elektroenzephalographie (EEG) gemessen. Zur Bewertung von Maßnahmen gegen Schläfrigkeit sind jedoch nicht der Schlaf und seine verschiedenen Phasen von Bedeutung, sondern vielmehr der Übergang vom wachen Zustand in den Schlaf. Die Fahrtüchtigkeit von Menschen nimmt mit zunehmender Schläfrigkeit ab (vgl. Kap. 6). Ist erst einmal die Phase des Schlafs erreicht, so ist es viel zu spät, um mit Maßnahmen gegen Schläfrigkeit zu beginnen. Diese müssen früher einsetzen.

Reyner und Horne (1998) haben bei Versuchen zur Messung von Schläfrigkeit beim Führen von Kraftfahrzeugen festgestellt, dass die Elektroenzephalographie (EEG) im analysierten Frequenzbereich (4-11 Hz) zu unempfindlich ist, um die Vorstufe von Schlaf, also die Schläfrigkeit, zu beurteilen (vgl. Kap. 9.2). Zwei andere Messgrößen, nämlich Fahrfehler und eine Selbstbewertung durch die Fahrer, waren deutlich überlegen.

Kaneda et al. (1994) haben zwar zur Bewertung von Schläfrigkeit auch die Gehirnströme herangezogen, in die Bewertung sind aber auch das Lidschlussverhalten sowie eine Bewertung des Gesichtsausdrucks durch einen Beobachter eingeflossen. Mithilfe dieser drei Messgrößen wurden 3 Stufen von Schläfrigkeit definiert. Für eine aussagekräftige Bewertung von Schläfrigkeit ist nach eigener Auffassung jedoch eine feinere Abstufung erforderlich.

Hargutt (2003) verwendete als Indikator für Schläfrigkeit beim Autofahren zwar auch die Gehirnströme, aber auch er ist der Ansicht, dass die Gehirnströme als alleinige Messgröße zur Bewertung der Schläfrigkeit nicht ausreichen, sondern dass mehrere Indikatoren analysiert werden müssen.

Das EEG ist als alleinige Messgröße zur Beurteilung von Schläfrigkeit nicht geeignet, sondern allenfalls zusammen mit weiteren Messgrößen. Da bei der Elektroenzephalographie (EEG) eine umfangreiche technische Ausrüstung sowie die ständige Anwesenheit von medizinischem Fachpersonal erforderlich sind, wurde EEG bei den durchgeführten Versuchen nicht verwendet.

Nach heutigem Stand ist es nicht möglich, Schläfrigkeit beim Autofahren mit nur einer einzelnen Messgröße zufriedenstellend zu beurteilen. Für eine sinnvolle Bewertung von Schläfrigkeit müssen immer mehrere Zielgrößen bzw. Indikatoren analysiert werden (vgl. Bekiaris et al., 2004; Haargut, 2003; Jürgensohn et al., 2004 a; Karnahl et al., 2004).

Tabelle 19 (Anhang) zeigt mögliche Messgrößen zur Bewertung von Schläfrigkeit. Aus diesen wurden für die Vorversuche 7 Messgrößen ausgewählt, die Erfolg versprechend und praktikabel erschienen. Diese 7 Messgrößen wurden bei den 3 Vorversuchen erfasst und ausgewertet (vgl. Abb. 14). Durch die Vorversuche sollte herausgefunden werden, welche der Messgrößen praktikabel erfasst und ausgewertet werden könnten und welche aussagekräftige Messergebnisse liefern würden.

10.4.2 Abhängige Variablen

Die sieben bei den Vorversuchen erfassten Messgrößen (abhängige Variablen) waren:

Physiologische Daten der Fahrer:

- Herzfrequenz
- LF/HF-Wert (Herzparameter)
- Augenlidschlussdauer (Maximalwerte in Zeitabschnitten)

Bediendaten:

- Lenkwinkelgeschwindigkeit (Maximalwerte, abschnittsweise)

Schläfrigkeit:

- Selbstbewertung der Schläfrigkeit durch die Versuchspersonen
- Bewertung der Schläfrigkeit durch den Versuchsleiter anhand Gesichtsausdruck/Mimik

Fahrzeugdaten:

- Standardabweichung der Lateralposition des Fahrzeugs

Herzfrequenz

Bei früher durchgeführten Fahrversuchen wurde festgestellt, dass die Herzfrequenz mit zunehmender Versuchsdauer abnahm und dass die Versuchspersonen nach den Versuchen schläfriger waren (vgl. Li et al., 2004). In den Vorversuchen wurde deshalb überprüft, ob sich die Herzfrequenz als Indikator für Schläfrigkeit eignete (vgl. DGAUM, 2000; Jürgensohn et al., 2004 a).

Die Herzfrequenz wurde bei den Versuchen mit einem professionellen Herzfrequenzmessgerät gemessen (Fa. Polar, Modell S810i, Abb. 20). Die Messapparatur bestand aus einem Brustgurt, der die Herzschläge per Funk an eine Messuhr weiterleitete. Die Messuhr speicherte jeden einzelnen Herzschlag während der gesamten Versuchsdauer. Nach dem Versuch wurden die Messdaten per Infrarot-Schnittstelle an einen PC übertragen.



Abbildung 20: Herzfrequenzmessgerät mit Messuhr und Brustgurt (Polar, 2003)

LF/HF-Wert

Der LF/HF-Wert ist ein in der Medizin gebräuchlicher Kennwert zur Beurteilung der Herzfunktion. Der LF-Wert (**Low Frequency**) ist die spektrale Leistung der Herztätigkeit im Frequenzbereich 0,04-0,15 Hz. Der HF-Wert (**High Frequency**) ist die Leistung im Bereich 0,15-0,4 Hz (nach Jürgensohn et al., 2004 a).

Jürgensohn et al. haben bei Fahrversuchen auf Straßen festgestellt, dass der LF/HF-Wert mit zunehmender Fahrzeit und zunehmender Schläfrigkeit abnahm. In den Vorversuchen wurde deshalb überprüft, ob sich dieses Verhalten bestätigen würde und ob der LF/HF-Wert als Indikator für Schläfrigkeit geeignet ist.

Die Software des verwendeten Herzfrequenzmessgeräts errechnete den LF/HF-Wert automatisch für festzulegende Zeitabschnitte.

Augenlidschlussdauer

Das Lidschlussverhalten (Blinzeln) des Menschen ändert sich mit zunehmender Schläfrigkeit. Bei zunehmender Schläfrigkeit blinzelt der Mensch häufiger und die Lidschlussdauer wird deutlich länger. Die Lidschlusshäufigkeit und die Lidschlussdauer wurden deshalb bei Fahrversuchen schon oft als Indikatoren für Schläfrigkeit verwendet (vgl. Bekiaris et al., 2004; Hargutt, 2006; Jürgensohn et al., 2004 a; Kaneda, 1994; Muttray et al., 2007; Nibel, 1995; Peters & Anund, 2003).

Zur Messung des Lidschlussverhaltens gibt es verschiedene Möglichkeiten:

- Elektrookulogramm (EOG; vgl. Galley, 1993; Joos et al., 2007; Marmor & Zrenner, 1993)
- Erfassung des Auges mit einer Kamera und automatische Bildverarbeitung (vgl. Continental, 2006)
- Beobachtung des Auges


Bei den Vorversuchen der vorliegenden Arbeit wurde das Gesicht der Versuchspersonen auf Video aufgezeichnet und vom Versuchsleiter nach den Versuchen ausgewertet. Durch Beobachtung der Augen wurde dabei die maximale Lidschlussdauer in Zeitabschnitten von jeweils 2 Minuten festgestellt. In den Vorversuchen sollte überprüft werden, ob die maximale Lidschlussdauer mit steigender Schläfrigkeit zunehmen würde. Tabelle 20 (Anhang) zeigt den verwendeten Auswertebogen.

Lenkwinkelgeschwindigkeit

Die Lenkwinkelgeschwindigkeit wurde in den Vorversuchen ermittelt als die 1. Ableitung des Lenkwinkels nach der Zeit. Es bestand die Vermutung, dass schläfrige Fahrer ruckartige Lenkkorrekturen durchführen, wenn sie von einem Sekundenschlaf erwachen und von der Fahrbahnmitte abgekommen sind. Bei schläfrigen Fahrern müssten dann höhere Spitzenwerte der Lenkwinkelgeschwindigkeit auftreten als bei wachen Fahrern (vgl. Daimler, 2008 a; Kiegeland, 1997). Zur Auswertung wurden die Spitzenwerte der Lenkwinkelgeschwindigkeit in Zeitabschnitten von jeweils 2,5 Minuten ermittelt.

Selbstbewertung der Schläfrigkeit

Eine Selbstbewertung der Schläfrigkeit durch die Versuchspersonen wurde bei Fahrversuchen bereits häufig verwendet und hat sich als Indikator für Schläfrigkeit bewährt (vgl. Jürgensohn et al., 2004 a; Landström, 1997; Peters & Anund, 2003; Reyner & Horne, 1998). In den Vorversuchen wurde deshalb die Selbstbewertung der Schläfrigkeit erfasst. Als Messskala wurde die von Reyner und Horne (1998) modifizierte 9-stufige Karolinska-Skala für Schläfrigkeit verwendet (vgl. Åkerstedt & Gillberg, 1990; Baulk et al., 2002; Neri et al., 2002):

- 
1. extrem wach
 2. sehr wach
 3. wach
 4. eher wach
 5. weder wach noch schläfrig
 6. Anzeichen von Schläfrigkeit
 7. schläfrig, keine Anstrengung, wach zu bleichen
 8. schläfrig, etwas Anstrengung, wach zu bleichen
 9. sehr schläfrig, große Anstrengung, wach zu bleichen

Die Versuchspersonen mussten sich vor den Versuchen mit dieser Skala vertraut machen. Die Skala war während der Versuche beleuchtet an der Mittelkonsole im Fahrsimulator angebracht. Der Versuchsleiter fragte die Versuchspersonen während der Versuche im Abstand von einigen Minuten über die Fahrzeuglautsprecher „wie schläfrig?“. Die Versuchspersonen nannten daraufhin kurz die entsprechende Zahl, die dann vom Versuchsingenieur in den Messcomputer eingegeben und zusammen mit den anderen Messdaten abgespeichert wurde.

Das Abfragen der Schläfrigkeit stellt prinzipiell eine Störung dar, die wachmachend wirkt. Bei den Versuchen zeigte sich jedoch, dass dieser Effekt gering war, da die Probanden auf eine regelmäßige Abfrage vorbereitet waren und nur kurz eine Zahl nannten.

Bewertung der Schläfrigkeit durch einen Beobachter

Ein weiterer Indikator für Schläfrigkeit ist die Bewertung durch einen Beobachter. Bei allen durchgeführten Versuchen wurde die Schläfrigkeit der Versuchspersonen vom Versuchsleiter anhand des Gesichtsausdrucks und der Mimik bewertet. Dazu wurde der Kopf der Versuchspersonen von vorne mit einer Infrarot-empfindlichen Kamera auf Video aufgezeichnet. Zur Bewertung wurde eine von Wierwille und Ellsworth (1994) entwickelte Skala verwendet. Die Skala reicht von „nicht schläfrig“ bis „extrem schläfrig“ (vgl. Kaneda, 1994). Die Zuordnung zu den verschiedenen Stufen von Schläfrigkeit ist durch eine exakte Beschreibung von Aussehen und Verhalten stark objektiviert (vgl. Abb. 37). Zudem wurde die Bewertung immer vom selben Versuchsleiter durchgeführt. Bewertet wurde in Zeitabständen von 3 - 5 Minuten.

Zur einfacheren Bezeichnung des Schläfrigkeitsgrades wurde von Wierwille und Ellsworth eine lineare Zahlenskala von 0-100 eingeführt (vgl. Abb. 37). Der Wert 0 bedeutet „extrem schläfrig“ und der Wert 100 „nicht schläfrig“.

Standardabweichung der Lateralposition des Fahrzeugs

Bei früheren Fahrversuchen konnte gezeigt werden, dass mit zunehmender Schläfrigkeit der Fahrer die Standardabweichung der Lateralposition des Fahrzeugs (quer zur Fahrbahn) zunimmt (vgl. Hargutt, 2003, 2006). Dies bedeutet, dass schläfrige Fahrer stärkere bzw. häufigere seitliche Abweichungen von der „Ideallinie“ durchführen als wache Fahrer. Die Standardabweichung der Lateralposition ist demzufolge ein Indikator für Schläfrigkeit.

Die Lateralposition ist bei Schläfrigkeitsunfällen von besonderer Bedeutung, da aus einer Studie von Pack et al. (1995) hervorging, dass bei 78 % der untersuchten Schläfrigkeitsunfälle das seitliche Verlassen der Fahrbahn die Unfallursache war.

Zur Berechnung der Standardabweichung der Lateralposition wurde bei allen durchgeführten Versuchen die seitliche Position des Fahrzeugs bezüglich der Fahrbahn aufgezeichnet. Die Messwerte wurden in Zeitabständen von 78 Millisekunden aufgezeichnet. Die Standardabweichung der Lateralposition wurde wie folgt berechnet (vgl. Bortz & Lienert, 2003):

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (x - \bar{x})^2}{(n - 1)}}$$

σStandardabweichung

xLateralposition

\bar{x}arithmetischer Mittelwert der Lateralposition der betrachteten Messwerte

nAnzahl der Messwerte

Die Standardabweichung wurde errechnet auf Basis der Messwerte innerhalb von Zeitabschnitten. Als Zeitintervall wurden bei den Vorversuchen 5 Minuten gewählt. Der Wert einer Standardabweichung bezieht sich also immer auf einen Zeitabschnitt von 5 Minuten. Das Zeitraster wurde bei den Vorversuchen nicht feiner gewählt, um zufällige Schwankungen zu vermeiden.

10.4.3 Fragebogen

Zusätzlich zur Messung der Indikatoren für Schläfrigkeit wurden die Versuchspersonen direkt nach den Versuchen danach befragt, wie die erprobten Maßnahmen auf sie gewirkt hatten. Außerdem wurden sie nach ihrer Akzeptanz der Maßnahme befragt. Die Versuchspersonen füllten dazu nach jedem Versuch einen Fragebogen aus (vgl. Abb. 38). Nach den Telefongesprächen wurde auch danach gefragt, wie sie das Telefongespräch empfunden hatten (vgl. Abb. 39).

11 Vorversuche

11.1 Versuchsbeschreibung

Ziel der Vorversuche war in erster Linie herauszufinden, welche der sieben ausgewählten Messgrößen geeignete Indikatoren für Schläfrigkeit darstellten und welche praktikabel zu messen waren (vgl. Abb. 14). Des Weiteren sollten der Versuchsaufbau und der geplante Versuchsablauf überprüft werden, bevor mit den Hauptversuchen begonnen wurde.

Als Vorversuche wurden 3 Fahrversuche mit verschiedenen Versuchspersonen durchgeführt. Die 3 Versuchspersonen waren männliche Studierende im Alter von 23 bis 25 Jahren. Die Vorversuche sollten denselben Ablauf wie die geplanten Hauptversuche haben. Als Maßnahme gegen Schläfrigkeit wurde für alle 3 Versuche ein Telefongespräch ausgewählt, da erwartet wurde, dass diese Maßnahme wirksam sei (vgl. Kap. 9). In den Vorversuchen sollte eine möglichst wirksame Intervention eingesetzt werden, um messbare Effekte zu erhalten.

Der Ablauf der Vorversuche sollte der gewählten Variante 4 aus Kapitel 10.3 entsprechen (vgl. Abb. 19). Die Versuche begannen zunächst ohne Maßnahme gegen Schläfrigkeit. Erreichten die Versuchspersonen einen schläfrigen Zustand, so wurde mit einer Intervention begonnen.

Die 3 Fahrversuche wurden morgens um 6.42 Uhr, 7.11 Uhr und 8.20 Uhr begonnen. Vor Beginn der Versuche konnten sich die Versuchspersonen ca. 10 Minuten mit dem Fahrsimulator vertraut machen. Die Versuchspersonen hatten in der Nacht zuvor und während des vorausgehenden Tages nicht geschlafen.

11.2 Ergebnisse

Die 3 Vorversuche liefen wie geplant ab, wobei der 2. Versuch etwas früher beendet werden musste, da bei der Versuchsperson nach einiger Zeit Übelkeit auftrat. Die Abbildungen 21-23 zeigen den Verlauf der sieben erfassten Messgrößen über der Zeit.

Versuch 1

Versuch 1 wurde um 6.42 Uhr zunächst ohne Intervention begonnen. Sowohl die Beobachterbewertung (Wierwille) wie auch die Selbstbewertung (Karolinska) zeigten an, dass sich die Versuchsperson zu Anfang des Versuchs in einem wachen Zustand befand (vgl. Abb. 21). Die Versuchsperson hatte zwar während der Nacht nicht geschlafen, war aber durch die Anfahrt mit öffentlichen Verkehrsmitteln wieder wacher geworden. Während des Versuchs nahm die Schläfrigkeit dann aber wieder deutlich zu und 59 Minuten nach Versuchsbeginn wurde auf der Wierwille-Skala der Wert 0 (extrem schläfrig) erreicht. Zu diesem Zeitpunkt wurde die Versuchsperson angewiesen, das Head-Set aufzusetzen und mit dem Telefongespräch zu beginnen. Das Telefonat mit dem Versuchsleiter dauerte 30 Minuten. Während des Telefongesprächs zeigten sowohl die Beobachterbewertung wie auch die Selbstbewertung an, dass die Schläfrigkeit wieder deutlich abnahm. Auf der Wierwille-Skala wurde mit dem Wert 90 ein fast so wacher Zustand wie zu Beginn des Versuchs erreicht.

Sowohl die Beobachterbewertung (Wierwille) wie auch die Selbstbewertung (Karolinska) zeigten also in diesem Versuch an, dass das Telefongespräch eine hoch wirksame Maßnahme gegen Schläfrigkeit darstellte.

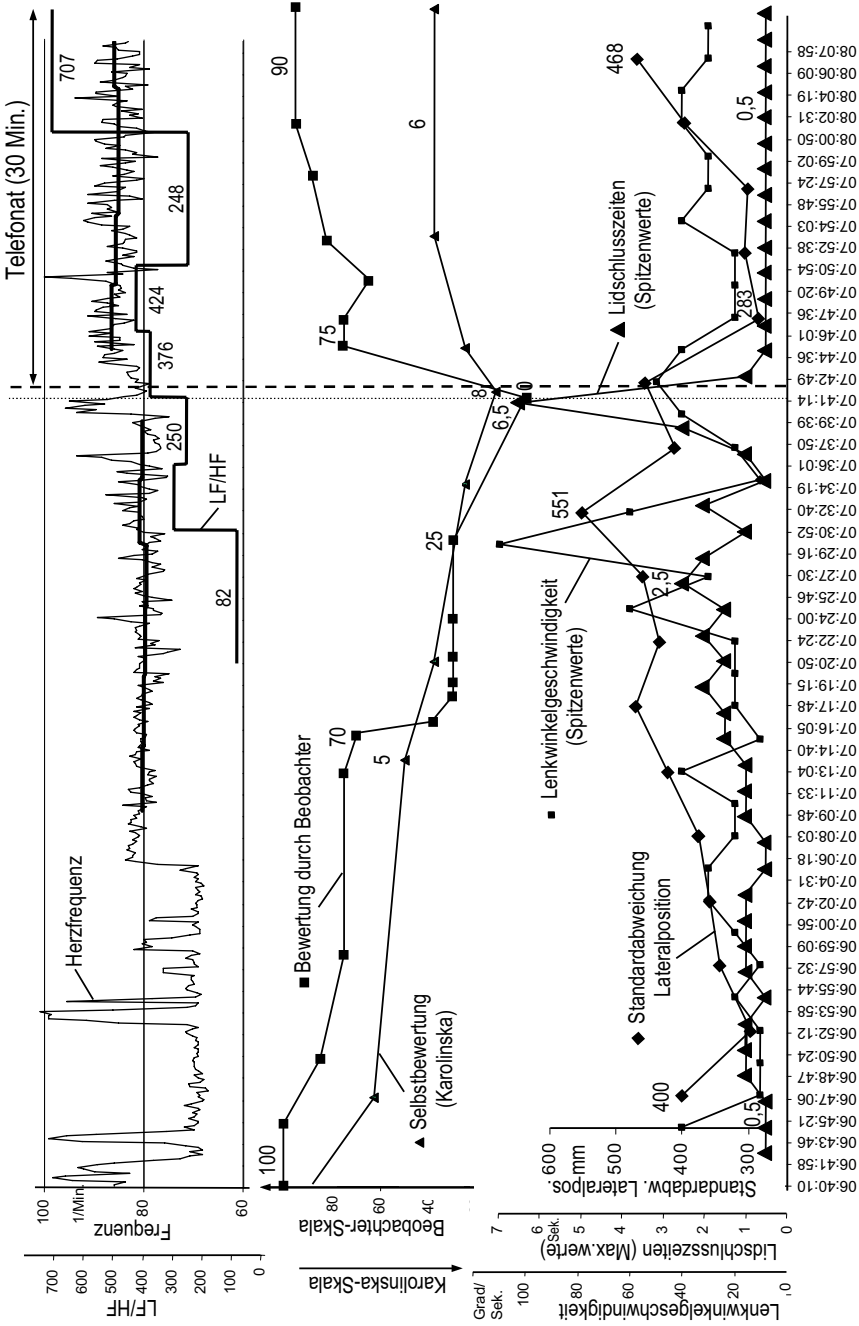


Abbildung 21: Versuch 1: zeitlicher Verlauf der erfassten Messgrößen

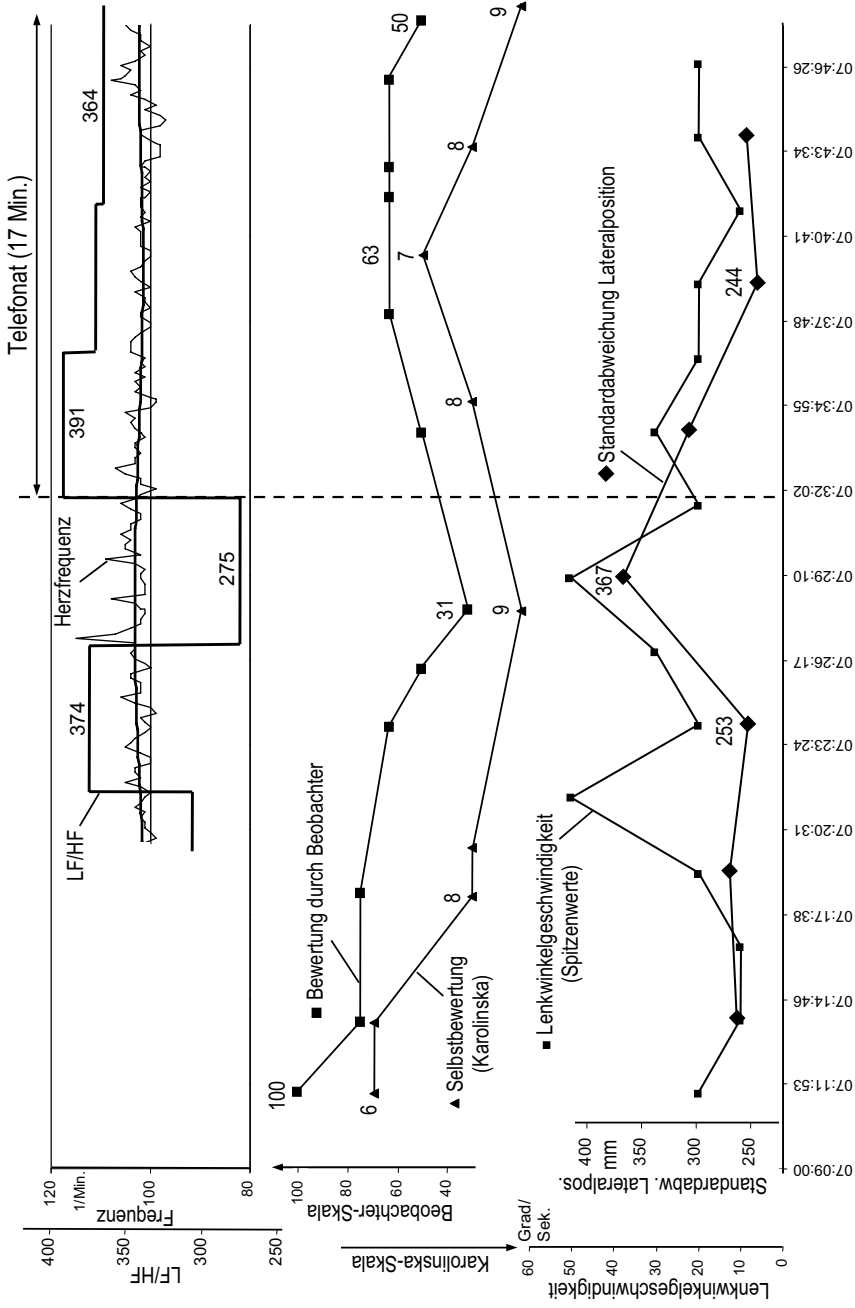


Abbildung 22: Versuch 2: zeitlicher Verlauf der erfassten Messgrößen

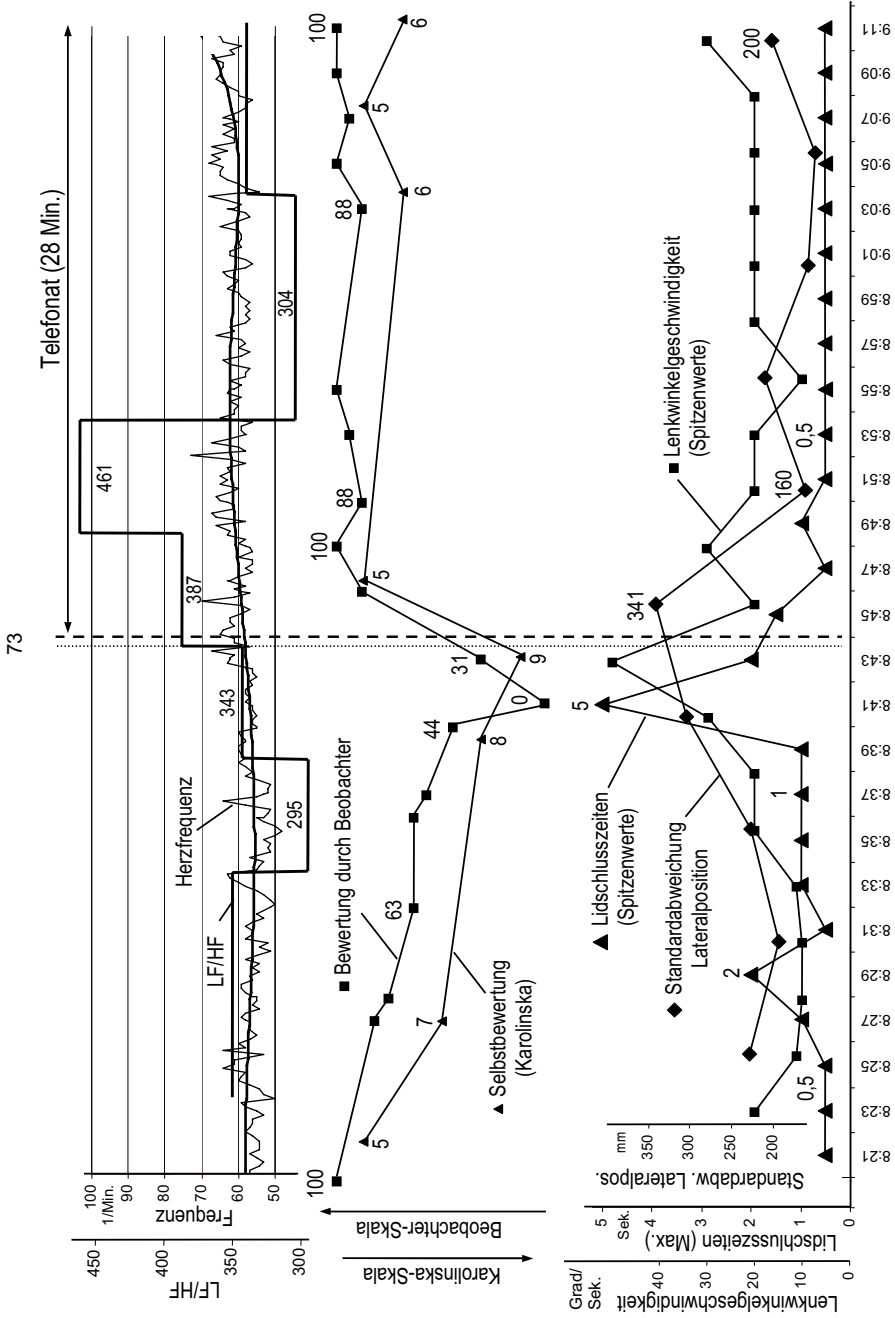


Abbildung 23: Versuch 3: zeitlicher Verlauf der erfassten Messgrößen

Die Herzfrequenz pendelte nach der anfänglichen Beschleunigungsphase zunächst um ein Niveau von ca. 70 Schlägen/Minute (vgl. Abb. 21). Nach 23 Minuten Versuchszeit stieg der Wert jedoch ohne äußeren Anlass plötzlich an auf ca. 80 Schläge/Minute. Nach späterer Aussage der Versuchsperson hatte sie während des Versuchs nachgedacht und ihr war zu diesem Zeitpunkt vermutlich etwas Aufregendes eingefallen.

Nach Beginn des Telefonats stieg die Herzfrequenz von ca. 80 1/Min auf ca. 85 1/Min an. Dies ist vermutlich auf die Wirkung des Telefonats zurückzuführen. Diese Interpretation ist jedoch nicht eindeutig, da zuvor ein noch stärkerer Anstieg ohne äußeren Anlass erfolgt war. Die Änderungen der Herzfrequenz in diesem Versuch sollten also nicht überinterpretiert werden.

Der LF/HF-Wert stieg nach Beginn des Telefonats von einem Wert von 250 auf 376 an. Nach weiteren ca. 8 Minuten fiel dieser Wert jedoch ohne äußeren Anlass wieder um etwa denselben Betrag ab. Aus dem Verlauf des LF/HF-Wertes ließen sich keine eindeutigen Rückschlüsse auf die Schläfrigkeit ziehen.

Die Standardabweichung der Lateralposition stieg zunächst kontinuierlich an, wobei sie dann schon vor Beginn des Telefonats wieder etwas abnahm. Während des Telefonats erreichte sie wieder geringe Werte. Zum Schluss des Versuchs stieg der Wert wieder deutlich an. Die Verwendbarkeit der Lateralposition als Indikator für Schläfrigkeit war nach diesem ersten Versuch fraglich.

Beim Verlauf der Lenkwinkelgeschwindigkeit zeigte sich, dass mit zunehmender Schläfrigkeit einzelne hohe Spitzenwerte auftraten, das heißt einzelne ruckartige Lenkbewegungen. Es gab aber auch im schläfrigen Zustand Phasen ohne hohe Spitzenwerte. Nach Beginn des Telefonats traten keine hohen Spitzenwerte mehr auf.

Das Ergebnis des ersten Versuch sprach also dafür, dass hohe Lenkwinkelgeschwindigkeiten nur in schläfrigem Zustand auftreten. Es ist aber nicht so, dass in schläfrigem Zustand immer hohe Lenkwinkelgeschwindigkeiten auftreten.

Die Spitzenwerte der Lidschlusszeiten nahmen mit zunehmender Schläfrigkeit ebenfalls zu und erreichten kurz vor Beginn der Intervention einen Maximalwert von 6,5 Sekunden. Das heißt, die Versuchsperson hatte die Augenlider 6,5 Sekunden lang geschlossen. Sie war zu diesem Zeitpunkt eingeschlafen. Nach dem Beginn des Telefongesprächs traten keine außergewöhnlich langen Lidschlusszeiten mehr auf. Die Lidschlusszeiten erwiesen sich bei diesem Versuch als ein guter Indikator für Schläfrigkeit. Nachteilig an diesem Verfahren war, dass die Versuchsauswertung sehr aufwendig war, weil das Versuchsvideo mehrfach angeschaut werden musste.

Die nachträgliche Beurteilung des Telefonats durch die Versuchsperson mittels des Fragebogens deckte sich mit den gemessenen Ergebnissen. Die Versuchsperson war direkt nach dem Versuch der Ansicht, dass sie durch das Telefongespräch wieder wesentlich wacher geworden sei und dass diese Wirkung dauerhaft anhielt (vgl. Abb. 40).

Versuch 2

Versuch 2 begann um 7.11 Uhr. Die Versuchsperson war schon nach ca. 21 Minuten in einem so schläfrigen Zustand, dass mit dem Telefonat begonnen wurde (vgl. Abb. 22). 17 Minuten nach Beginn des Telefongesprächs klagte die Versuchsperson über Übelkeit, sodass der Versuch beendet wurde.

Auch bei diesem Versuch zeigten sowohl die Beobachterbewertung (Wierwille) wie auch die Selbstbewertung (Karolinska) an, dass die Schläfrigkeit kontinuierlich zunahm, bis mit dem Telefongespräch begonnen wurde. Nach Beginn des Telefonats ging die Schläfrigkeit zunächst zurück, wurde gegen Ende des Versuchs aber wieder stärker.

Die Herzfrequenz zeigte während des Versuchs keine nennenswerten Änderungen, obwohl die Schläfrigkeit wie oben beschrieben variierte.

Der LF/HF-Wert zeigte bei Beginn des Telefonats zwar einen deutlichen Sprung nach oben, einen nahezu genauso großen Sprung hatte er aber auch schon vor Beginn des Telefonats gezeigt. Die Herzparameter ließen bei diesem zweiten Versuch keine Rückschlüsse auf die Schläfrigkeit zu.

Die Standardabweichung der Lateralposition zeigte auch in diesem Versuch hohe Werte bei zunehmender Schläfrigkeit. Nach Beginn des Telefonats gingen die Werte wieder zurück. Die Standardabweichung der Lateralposition zeigte hier denselben Verlauf der Schläfrigkeit an wie auch die Beobachterbewertung und die Selbstbewertung.

Wie bei Versuch 1 zeigte die Lenkwinkelgeschwindigkeit hohe Spitzenwerte im Bereich starker Schläfrigkeit. Die Spitzenwerte waren in diesem Bereich aber nicht immer hoch.

Die Lidschlusszeiten konnten bei diesem Versuch nicht ermittelt werden, da die Versuchsperson eine nicht entspiegelte Brille trug und die Lichtverhältnisse auf dem Versuchsvideo so schlecht waren, dass die Augenlieder nicht deutlich zu erkennen waren.

Die Bewertung mittels des Fragebogens deckte sich hier nicht mit den Messergebnissen (vgl. Abb. 41). Die Versuchsperson war der Ansicht, dass sie durch die Intervention nicht wacher geworden sei, obwohl die Messgrößen dies überwiegend anzeigten. Nach der späteren Durchführung weiterer Versuche zeigte sich, dass Versuch 2 der einzige war, bei dem eine so starke Diskrepanz zwischen den Messungen und den Antworten des Fragebogens auftrat.

Versuch 3

Versuch 3 begann um 8.20 Uhr und mit dem Telefongespräch wurde nach 24 Minuten begonnen. Das Telefonat dauerte 28 Minuten lang (vgl. Abb. 23).

Auch hier zeigten die Beobachterbewertung und die Selbstbewertung an, dass die Schläfrigkeit kontinuierlich zunahm, bis mit dem Telefongespräch begonnen wurde. Die Beobachterbewertung hatte kurz vorher einen starken Abfall und einen Wiederanstieg gezeigt. Hier war die Versuchsperson kurz eingeschlafen und war dann wieder aufgewacht. Nach Beginn des Telefonats ging die Schläfrigkeit deutlich zurück und erreichte sogar wieder die Werte vom Beginn des Versuchs.

Die Herzfrequenz zeigte nach Beginn des Telefonats einen geringfügigen Anstieg, der allerdings zu klein war, um hiervon eine Aussage bezüglich der Schläfrigkeit ableiten zu können.

Der LF/HF-Wert zeigte nach Beginn des Telefonats einen Anstieg, fiel dann aber nach etwa 10 Minuten wieder ab. Es ist hier nicht möglich, vom Verlauf des LF/HF-Wertes eine Aussage über die Schläfrigkeit abzuleiten.

Die Standardabweichung der Lateralposition bestätigte bei diesem Versuch deutlich den Verlauf von Beobachterbewertung und Selbstbewertung. Zu Beginn des Telefonats nahm die Standardabweichung allerdings nochmals etwas zu. Offensichtlich benötigte die Versuchsperson einige Minuten, bis sie wieder wacher wurde und sich die Fahrweise wieder verbesserte.

Die Lenkwinkelgeschwindigkeit erreichte kurz vor dem Telefonat hohe Spitzenwerte. Sie bestätigte damit ebenfalls die Aussage, die aus dem Verlauf von Beobachterbewertung, Selbstbewertung und Standardabweichung der Lateralposition abgeleitet wurde.

Die Lidschlusszeiten erreichten direkt vor dem Telefonat einen Maximalwert von 5 Sekunden. Nach Beginn des Telefonats fielen sie schnell wieder ab auf Werte unter 0,5 Sekunden. Die Lidschlusszeiten bestätigten die Aussagen der anderen vier Messgrößen.

Auch die Antworten des Fragebogens ergaben, dass die Versuchsperson durch das Telefongespräch sofort deutlich wacher geworden war (vgl. Abb. 42).

11.3 Auswahl von Indikatoren

Die Auswertung der Vorversuche in Kapitel 11.2 ergab drei geeignete Messgrößen als Indikatoren für Schläfrigkeit:

- Bewertung der Schläfrigkeit durch einen Beobachter (Wierwille-Skala)
- Selbstbewertung der Schläfrigkeit (Karolinska-Skala)
- Standardabweichung der Lateralposition des Fahrzeugs

Die Herzparameter Herzfrequenz und LF/HF-Wert ließen keinen eindeutigen Zusammenhang mit der Schläfrigkeit der Versuchspersonen erkennen.

Die Lidschlusszeiten waren zwar ein guter Indikator für Schläfrigkeit, die Erfassung dieser Messgröße bei allen Versuchen wäre aber zu aufwendig gewesen. Jedes einzelne Versuchsvideo hätte dazu mehrfach angesehen werden müssen.

Die drei ausgewählten Indikatoren sowie die Lidschlusszeiten (Spitzenwerte) validierten sich in den Vorversuchen und auch in den nachfolgenden Hauptversuchen gegenseitig (vgl. Jürgensohn et al., 2004 a).

Bei den Hauptversuchen wurden die drei ausgewählten Messgrößen erfasst und ausgewertet. Die Herzparameter wurden zwar auch erfasst und gespeichert, aber nicht ausgewertet.

12 Statistische Hypothesenprüfung

12.1 Grundlagen

Durch eine statistische Hypothesenprüfung soll ermittelt werden, ob das experimentell gefundene Untersuchungsergebnis als allgemein gültig anzusehen ist oder ob es sich nur um ein zufälliges Ergebnis handelt. Zur statistischen Hypothesenprüfung werden Signifikanztests eingesetzt. Diese Tests ermitteln letztlich die Wahrscheinlichkeit, mit der es sich beim Untersuchungsergebnis um ein reines Zufallsergebnis handelt. Ist diese Wahrscheinlichkeit sehr klein, so lässt sich daraus ableiten, dass das Untersuchungsergebnis nicht zufallsbedingt ist, sondern dass es einen systematischen Effekt anzeigt.

Das Verfahren zur statistischen Hypothesenprüfung musste vor Durchführung der Versuche festgelegt werden, da das Versuchsdesign von ihm abhing. So mussten z.B. die Anzahl und die Auswahl der Versuchspersonen in Abhängigkeit vom gewählten Signifikanztest bestimmt werden. Auch die Forschungshypothese musste vor Durchführung der Versuche formuliert werden (vgl. Bortz & Döring, 2002).

Das Verfahren zur statistischen Hypothesenprüfung konnte im vorliegenden Fall aber erst nach den Vorversuchen festgelegt werden, da die Art und die Anzahl der verwendeten Messgrößen bekannt sein mussten. Diese wurden durch die Vorversuche bestimmt.

Die nachfolgend wichtige **Überschreitungswahrscheinlichkeit P** ist definiert als die Wahrscheinlichkeit des Auftretens eines bestimmten Ereignisses **oder** eines "extremere" Ereignisses. Die Überschreitungswahrscheinlichkeit ist z.B. die Wahrscheinlichkeit, dass ein bestimmter Wert erreicht **oder** überschritten wird. Sie kann aber auch definiert werden als die Wahrscheinlichkeit, dass ein bestimmter Wert erreicht **oder unterschritten** wird. Die Überschreitungswahrscheinlichkeit wird auch als **einseitige Überschreitungswahrscheinlichkeit** bezeichnet. Die Richtung der Überschreitung ist zu definieren.

Daneben gibt es die **zweiseitige Überschreitungswahrscheinlichkeit P'** . Dabei handelt es sich um die Wahrscheinlichkeit, dass ein bestimmter Wert entweder unterschritten **oder** überschritten wird. Sie beinhaltet jedoch **nicht** den Fall, dass der Wert genau erreicht wird.

Mit einem Signifikanztest kann man entweder die einseitige oder die zweiseitige Überschreitungswahrscheinlichkeit ermitteln. Ein **einseitiger Signifikanztest** prüft z.B. die Wahrscheinlichkeit, mit der eine Stichprobe A in ihrer Lokation (Lage) eine Stichprobe B mindestens erreicht, das heißt entweder **erreicht oder überschreitet**. Der **zweiseitige Signifikanztest** dagegen prüft die Wahrscheinlichkeit, mit der z.B. die Stichprobe A in ihrer Lokation die Stichprobe B entweder **unterschreitet** oder **überschreitet**. Man kann auch sagen, sie prüft die Wahrscheinlichkeit, mit der sich die Stichproben A und B bezüglich ihrer Lokation voneinander **unterscheiden**.

12.2 Hypothesen

Bei der statistischen Hypothesenprüfung wird eine inhaltliche **Forschungshypothese** in eine statistische Hypothese überführt, die **Alternativhypothese H_1** (vgl. Bortz & Döring, 2002).

Im vorliegenden Fall besagt die gerichtete **Forschungshypothese**, dass bei schläfrigen Führern von Kraftfahrzeugen durch eine der ausgewählten technischen Maßnahmen die Schläfrigkeit reduziert wird (bezogen auf den Zeitpunkt direkt vor der Intervention). Zur Formulierung der Alternativhypothese wurden die drei in Kapitel 11 ausgewählten Zielgrößen (= Messgrößen) verwendet: Selbstbewertung der Schläfrigkeit nach Karolinska (Symbol: Ka), Beobachterbewertung der Schläfrigkeit nach Wierwille (Wi) und Standardabweichung der Lateralposition (La). Da drei verschiedene Zielgrößen (auch Merkmale genannt) analysiert werden sollten, wurde die Alternativhypothese H_1 auf drei Arten formuliert. Man erhielt so drei Gleichungen. Man spricht aber üblicherweise trotzdem von **einer** Alternativhypothese H_1 , auch wenn diese auf drei Arten ausgedrückt wurde. Die drei Gleichungen gingen aus **einer** Forschungshypothese hervor und beinhalten sinngemäß dieselbe Behauptung.

Die Alternativhypothese wurde genau wie die Forschungshypothese als gerichtete Hypothese formuliert, da geprüft werden sollte, ob sich durch die Interventionen "Verbesserungen" ergaben. Durch eine ungerichtete Hypothese hätte lediglich festgestellt werden können, ob sich Änderungen ergaben, wobei die Richtung der Abweichungen offen geblieben wäre.

Stichprobe A waren die gemessenen Werte direkt vor Einsetzen der Interventionen. Stichprobe B waren die gemittelten Werte während der ersten 15 Minuten der Intervention. Der Signifikanztest verglich die Stichproben A und B miteinander.

Die Alternativhypothese H_1 wurde so formuliert, dass sie sich nicht nur auf die Stichproben bezog, sondern auf die Population (vgl. Bortz & Lienert, 2003). Kennwerte, die Aussagen über eine Population machen, werden als Populationsparameter bezeichnet. Mit der Alternativhypothese wurden die Populationsmittelwerte μ miteinander verglichen.

Für die drei Zielgrößen ergab sich somit die **Alternativhypothese H_1** in drei Formulierungen:

$$\mu_{Ka. \text{ vor Int.}} > \mu_{Ka. \text{ mit Int.}}$$

$$\mu_{Wi. \text{ vor Int.}} < \mu_{Wi. \text{ mit Int.}}$$

$$\mu_{La. \text{ vor Int.}} > \mu_{La. \text{ mit Int.}}$$

$\mu_{Ka. \text{ vor Int.}}$Populationsmittelwert der Selbstbewertung (Ka) vor der Intervention
 $\mu_{Ka. \text{ mit Int.}}$Populationsmittelwert der Selbstbewertung (Ka) mit Intervention
 $\mu_{Wi. \text{ vor Int.}}$Populationsmittelwert der Beobachterbewertung (Wi) vor der Intervention
 $\mu_{Wi. \text{ mit Int.}}$Populationsmittelwert der Beobachterbewertung (Wi) mit Intervention
 $\mu_{La. \text{ vor Int.}}$Populationsmittelwert der Standardabw. Lateralpos. (La) vor Intervention
 $\mu_{La. \text{ mit Int.}}$Populationsmittelwert der Standardabw. Lateralpos. (La) mit Intervention

Die unterschiedlichen Richtungen der Beziehungen (größer als – kleiner als) ergaben sich dadurch, dass eine Verbesserung im oben beschriebenen Sinne bei der Selbstbewertung und bei der Standardabweichung der Lateralposition ein Absinken der Zahlenwerte bewirkte und bei der Beobachterbewertung einen Anstieg.

Die **Nullhypothese H_0** geht davon aus, dass die Behauptung der Alternativhypothese nicht zutrifft. Ausgehend von der auf drei Arten ausgedrückten Alternativhypothese ergab sich auch die Nullhypothese in drei Formulierungen:

$$\mu_{Ka. \text{ vor Int.}} \leq \mu_{Ka. \text{ mit Int.}}$$

$$\mu_{Wi. \text{ vor Int.}} \geq \mu_{Wi. \text{ mit Int.}}$$

$$\mu_{La. \text{ vor Int.}} \leq \mu_{La. \text{ mit Int.}}$$

Die Nullhypothese behauptet also inhaltlich genau das Gegenteil der Alternativhypothese. Sie behauptet, dass sich durch die Interventionen keine Verbesserungen ergaben.

12.3 Gültigkeit der Hypothesen

Bei der statistischen Hypothesenprüfung geht man von der Nullhypothese aus. Die Fragestellung dabei lautet, wie gut das gefundene Untersuchungsergebnis mit der Nullhypothese zu vereinbaren ist. Eine Entscheidung zugunsten der Alternativhypothese ist erst dann zulässig, wenn festgestellt wird, dass es sehr unwahrscheinlich ist, dass das gefundene Versuchsergebnis bei Gültigkeit der Nullhypothese zustande gekommen ist. Um die Alternativhypothese als gültig betrachten zu können, muss also gezeigt werden, dass das Versuchsergebnis nur sehr schwer mit der Nullhypothese zu vereinbaren ist.

Konkret lautet die Frage: Wie groß ist die Wahrscheinlichkeit, dass das festgestellte Versuchsergebnis bei Gültigkeit der Nullhypothese eingetreten ist?

H_0 wurde als gerichtete Hypothese formuliert. Zu deren Überprüfung war die einseitige Überschreitungswahrscheinlichkeit P zu ermitteln. Diese wurde mit einem statistischen Signifikanztest (hier einseitig) festgestellt. Ergibt dieser Signifikanztest z.B. $P = 0,02$ (2 %), so bedeutet dies: wenn man die Nullhypothese verwirft, also als ungültig betrachtet, so macht man mit einer Wahrscheinlichkeit von 2 % einen Fehler. Ein Verwerfen der Nullhypothese bedeutet, dass die Alternativhypothese als gültig betrachtet wird. $P = 2$ % bedeutet somit auch, dass man mit einer Wahrscheinlichkeit von 2 % einen Fehler macht, wenn man die Alternativhypothese als gültig betrachtet.

In diesem Beispiel stellt sich die Frage, ob eine Überschreitungswahrscheinlichkeit $P = 2$ % klein genug ist, um die Nullhypothese zugunsten der Alternativhypothese verwerfen zu können. Oder allgemein ausgedrückt: Wie groß darf die Überschreitungswahrscheinlichkeit P maximal sein, um die Nullhypothese verwerfen zu können? In der angewandten Statistik sind hierfür zwei Grenzwerte üblich, nämlich 1 % und 5 %. Diese Grenzwerte werden als **Signifikanzniveau α** bezeichnet. Erhält man als Ergebnis eines Signifikanztests $P \leq \alpha = 5\%$, so sagt man, das Ergebnis sei auf dem 5%-Niveau **signifikant** oder gesichert. Das Risiko einer falschen Entscheidung zugunsten H_1 , das man dabei akzeptiert, nennt man **α -Fehlerrisiko**. Das Signifikanzniveau α kennzeichnet somit das maximal tolerierbare α -Fehlerrisiko (vgl. Bortz & Lienert, 2003).

Die Wahl eines angemessenen Signifikanzniveaus orientiert sich am Forschungsgegenstand. Für die hier durchgeführte Hypothesenprüfung wurde ein Signifikanzniveau $\alpha = 5$ % gewählt. Wäre das Signifikanzniveau niedriger angesetzt worden, z.B. $\alpha = 1$ %, so wäre es unwahrscheinlicher, dass eine wirkungsvolle Maßnahme als solche erkannt worden wäre.

In der vorliegenden Untersuchung wurden drei verschiedene Zielgrößen analysiert. Die Auswertung mehrerer Zielgrößen hat jedoch Konsequenzen bei der Signifikanzprüfung. Durch die Überprüfung mehrerer Zielgrößen (hier 3) gab es auch mehr Gelegenheiten, die Nullhypothese zu verwerfen. Das Untersuchungsergebnis wurde dadurch eher signifikant. Dies machte eine Korrektur des Signifikanzniveaus erforderlich, die sogenannte **Bonferoni-Korrektur** (vgl. Bortz und Lienert, 2003). Bei m verschiedenen Zielgrößen (hier $m = 3$) musste jede Zielgröße auf einem angepassten **α^* -Niveau** getestet werden. α^* errechnete sich folgendermaßen:

$$\alpha^* = \frac{\alpha}{m} \quad (\text{Bonferoni-Korrektur})$$

Im vorliegenden Fall ergab dies:

$$\alpha^* = \frac{5\%}{3} = 1,67\%$$

Um nachzuweisen, dass das Untersuchungsergebnis auf dem α -Niveau signifikant ist, musste mindestens eine Zielgröße auf dem α^* -Niveau signifikant werden. Im vorliegenden Fall bedeutete dies: Um nachzuweisen, dass das Ergebnis einer Interventionsmethode auf dem 5%-Niveau signifikant ist, musste mindestens eine Zielgröße auf dem Niveau 1,67 % signifikant sein. Das heißt, bei mindestens einer Zielgröße musste gelten:

$$P \leq \alpha^* = 1,67\%$$

Zur weiteren Ergebnisdifferenzierung wurde die Signifikanzstufe "**sehr signifikant**" eingeführt (vgl. Bühl & Zöfel, 2000). Ein Untersuchungsergebnis sollte als "sehr signifikant" bezeichnet werden, wenn folgende Bedingung mit $\alpha = 1\%$ erfüllt war:

$$P \leq \alpha^* = \alpha/3 = 1\%/3 = 0,33\%$$

Ein Untersuchungsergebnis wurde als "sehr signifikant" bezeichnet, wenn mindestens eine Zielgröße auf dem Niveau 0,33 % signifikant war.

Bei der Signifikanzprüfung wurden also die folgenden Signifikanzstufen verwendet:

Falls bei mindestens einer Zielgröße gilt: **$P \leq 1,67\%$** Das Ergebnis ist **signifikant**.

Falls bei mindestens einer Zielgröße gilt: **$P \leq 0,33\%$** Das Ergebnis ist **sehr signifikant**.

Falls bei allen Zielgrößen gilt: **$P > 1,67\%$** Das Ergebnis ist **nicht signifikant**.

Gilt bei allen Zielgrößen $P > 1,67\%$, so kann die Nullhypothese nicht verworfen werden. Dies bedeutet allerdings keinesfalls, dass sie damit bestätigt ist. Ein nicht signifikantes Ergebnis bedeutet lediglich, dass die Nullhypothese nicht verworfen werden kann. Über ihre Gültigkeit kann keine Aussage gemacht werden. Ein nicht signifikantes Ergebnis (hier: $P > 1,67\%$) bedeutet, dass über die Gültigkeit der rivalisierenden Hypothesen H_0 und H_1 keine Aussage möglich ist.

In diesem Abschnitt wurde die Prüfung von gerichteten Hypothesen beschrieben. Ungerichtete Hypothesen werden mit zweiseitigen Signifikanztests überprüft. Da ungerichtete Hypothesen in dieser Arbeit nicht vorkommen, wird nicht weiter darauf eingegangen.

12.4 Auswahl des Signifikanztests

Signifikanztests dienen zur statistischen Hypothesenprüfung. Mit ihnen wird festgestellt, ob Versuchsergebnisse signifikant, d. h. gesichert sind. Grundsätzlich gibt es zwei Arten von Signifikanztests: parametrische und nichtparametrische (d.h. verteilungsfreie) Tests (vgl. Bortz & Lienert, 2003; Bühl & Zöfel, 2000).

Parametrische Signifikanztests sind an das Vorliegen und Bekanntsein bestimmter Verteilungsformen gebunden, oft ist dies die Normalverteilung. Diese Verfahren heißen deshalb verteilungsgebundene oder parametrische Tests, weil innerhalb einer bestimmten Verteilungsform die Parameter der Verteilung von Interesse sind. Die verteilungsfreien oder **nichtparametrischen** Tests machen in der Regel keine Annahmen über die genaue Form der Verteilung der geprüften Merkmale. Die parametrischen Tests sind Methoden, die nur unter speziellen Voraussetzungen gültig und aussagekräftig sind. Dass diese Voraussetzungen erfüllt sind, muss in jedem Einzelfall belegt werden.

Zur Auswahl eines geeigneten Signifikanztests ist zunächst zu entscheiden, ob ein parametrischer oder ein nichtparametrischer Test gewählt wird. Nichtparametrische Tests kommen vorzugsweise zum Einsatz, wenn kleine Stichproben untersucht werden und die Voraussetzungen für die Anwendung eines parametrischen Verfahrens nicht erfüllt oder fraglich sind. Zunächst ist also zu prüfen, ob die Voraussetzungen für einen parametrischen Test gegeben sind. Diese sind:

1. Die vorliegenden Daten weisen kardinales Messniveau auf.
2. Die Daten weisen eine bestimmte Verteilungsform auf (oft Normalverteilung).

Zunächst zur erstgenannten Bedingung „kardinales Messniveau“. Messwerte beinhalten eine Maßeinheit, welche durch eine Skala definiert ist. Werden gleich große Eigenschaftsunterschiede auf dieser Skala mit äquidistanten Zahlenabständen abgebildet, so liegt eine metrische Skala oder sogenannte Intervallskala vor. Eine solche Skala ist z.B. die Celsius-Skala oder die Meter-Skala. Wenn eine solche Skala zudem einen natürlichen Nullpunkt aufweist, so spricht man von einer Verhältnisskala. Der Oberbegriff für diese genannten Skalen ist **Kardinalskalen**. Werden Daten unter Verwendung einer Kardinalskala gemessen, so sagt man, die Daten besitzen kardinales Messniveau. Das Messniveau beschreibt die Qualität der genutzten Skala.

Bei den durchgeführten Messungen wurden die Karolinka-Skala, die Wierwille-Skala und die Meter-Skala verwendet. Bei der Karolinka-Skala und der Wierwille-Skala ist fraglich, ob es sich um Kardinalskalen handelt. Da nicht sicher war, ob die erhobenen Daten kardinales Messniveau aufwiesen, war die Erfüllung der ersten Voraussetzung für die Anwendung parametrischer Signifikanztests nicht sichergestellt. Bei fraglicher Erfüllung der Voraussetzungen ist ein nichtparametrischer Signifikanztest auszuwählen (vgl. Bortz & Lienert, 2003). Für die durchzuführende Hypothesenprüfung war also ein nichtparametrischer Signifikanztest zu verwenden.

Die zweite Voraussetzung für parametrische Signifikanztests verlangt das Vorliegen einer bestimmten Verteilungsform. Bei den für die vorliegende Arbeit erhobenen Daten war fraglich, ob sie eine solche definierte Verteilungsform aufwiesen. Es gibt Testverfahren, um festzustellen, ob eine bestimmte Verteilungsform vorliegt. Bei sehr kleinen Stichproben ist deren Verwendung allerdings fragwürdig. Da die Verwendung eines parametrischen Signifikanztests aber sowieso nicht in Frage kam, da die Erfüllung der ersten Voraussetzung nicht nachgewiesen werden konnte, war es überflüssig, die Erfüllung der zweiten Voraussetzung zu überprüfen.

Nachdem nun festgestellt wurde, dass ein nichtparametrischer Signifikanztest einzusetzen war, war ein solcher auszuwählen. Bortz & Lienert (2003) sowie Bühl & Zöfel (2000) empfehlen zur Signifikanzprüfung an Messwerten von zwei abhängigen Stichproben den **Vorzeichenrangtest von Wilcoxon** (vgl. Bronstein & Semendjajew, 1985). Im vorliegenden Fall handelte es sich um abhängige Stichproben, da dieselbe Personengruppe vor der Intervention und mit Intervention verglichen wurde.

Tests zum Vergleich von mehr als 2 Stichproben, wie z.B. der Friedman-Test, waren für die vorliegende Signifikanzprüfung nicht geeignet, da mit ihnen keine Überprüfung von gerichteten Hypothesen möglich ist und diese Tests im Vergleich zum Vorzeichenrangtest von Wilcoxon keine zusätzlichen relevanten Informationen liefern.

Grundlage des Vorzeichenrangtests von Wilcoxon ist die Bildung von Rängen. Mit diesem Test können Lageunterschiede von abhängigen Stichproben überprüft werden. Dabei wird sowohl die Richtung wie auch die Größe des Unterschieds geprüft. Der Vorzeichenrangtest von Wilcoxon gehört zu den anspruchsvolleren Signifikanztests, da die Differenz zwischen den beiden Stichproben relativ genau geprüft wird und nicht etwa nur die Richtung der Abweichungen, wie dies z.B. beim weniger anspruchsvollen Vorzeichentest der Fall ist.

Der Vorzeichenrangtest von Wilcoxon war somit für die durchgeführte Hypothesenprüfung gut geeignet und wurde deshalb eingesetzt.

13 Hauptversuche

13.1 Probanden

In den Versuchen sollten Probanden Versuchsfahrten im Fahrsimulator durchführen. Dabei sollten die vier ausgewählten Maßnahmen gegen Schläfrigkeit erprobt werden. Die vor Einsetzen der Maßnahmen gewonnenen Messwerte sollten dann mit den Werten verglichen werden, die mit Interventionen gemessen wurden (vgl. Kap. 12). Außerdem sollte festgestellt werden, wie die Versuchspersonen ganz ohne Intervention reagierten (Kontrollgruppe). Insgesamt wurden also 5 Varianten untersucht. Da zu erwarten war, dass verschiedene Personen bei den Interventionen unterschiedlich reagieren, wurden alle 5 Varianten von derselben Personengruppe erprobt. Jede Versuchsperson testete somit alle 5 Varianten.

Dies bedeutete, dass Versuchspersonen gefunden werden mussten, die bereit waren, 5 Mal nachts vor den Versuchen nicht zu schlafen. Zwischen den einzelnen Versuchen wurden jedoch bei allen Personen mehrere versuchsfreie Tage eingelegt, damit die Belastung durch den Schlafmangel nicht zu groß wurde.

Die Anzahl der Versuchspersonen hängt vom gewählten Signifikanztest ab. Die 5 Varianten wurden jeweils von 7 Versuchspersonen erprobt. Mit diesen konnten mit dem Vorzeichenrangtest von Wilcoxon Überschreitungswahrscheinlichkeiten von minimal 0,8 % erreicht werden (vgl. Bortz & Lienert, 2003). Dies war ausreichend, um signifikante Ergebnisse erhalten zu können ($P \leq 1,67\%$; vgl. Kap. 12.3). Wegen des hohen Aufwands der Versuche wurde die Probandenzahl nicht noch größer gewählt.

Die Versuchspersonen waren Studierende im Alter von 24 - 27 Jahren. Es waren 5 Männer und 2 Frauen. Sie waren im Besitz einer gültigen Fahrerlaubnis für PKW und hatten Fahrerfahrung. Sie hatten keine für die Versuchsdurchführung relevanten Erkrankungen und gehörten keiner der Risikogruppen an, für die eine Nutzung des Fahrsimulators nicht gestattet war.

Zwei weitere Versuchspersonen begannen mit der Versuchsreihe, konnten sie aber aus persönlichen Gründen nicht beenden (VP8 und VP9 in Tab. 21). Die Ergebnisse dieser Versuche wurden nicht gewertet.

13.2 Versuchsdurchführung

Um Reihenfolgeeffekte zu vermeiden, wurden die verschiedenen Interventionen von den Versuchspersonen in unterschiedlicher Reihenfolge erprobt. Die Zahl hinter der Versuchsnummer in Tabelle 21 gibt die Reihenfolge an.

Nach den Erfahrungen der Vorversuche wurde festgelegt, dass bei den nachfolgenden Versuchen mit den Interventionen begonnen wurde, wenn

- die Bewertung durch einen Beobachter den **Wert 25** oder niedriger (Wierwille-Skala) erreichte

oder

- die Selbstbewertung den **Wert 8** oder höher (Karolinska-Skala) erreichte.

Wurde in den Versuchen bei diesen Werten mit den Interventionen begonnen, so waren die Effekte deutlich erkennbar und messbar. Nach Beginn der Interventionen wurden die Versuche weitere 30 Minuten fortgeführt (vgl. Kap. 10.3).

13.3 Ergebnisse

Der zeitliche Verlauf der drei Zielgrößen bei den durchgeführten Versuchen ist in den Abbildungen 24-26 dargestellt. Darin ist für jede erprobte Maßnahme und für die Kontrollgruppe der gemittelte Verlauf aus jeweils 7 Versuchen dargestellt. So ergab sich beispielsweise der Verlauf der Kennlinie „Telefonat“ dadurch, dass im Abstand von jeweils einer Minute der arithmetische Mittelwert der Telefonat-Versuche gebildet wurde.

Für den Zeitraum mit Interventionen sind auch die Standardabweichungen eingetragen. Im Zeitraum vor Beginn der Interventionen ist die Standardabweichung wegen der besseren Übersichtlichkeit nur bei der Kontrollgruppe eingetragen.

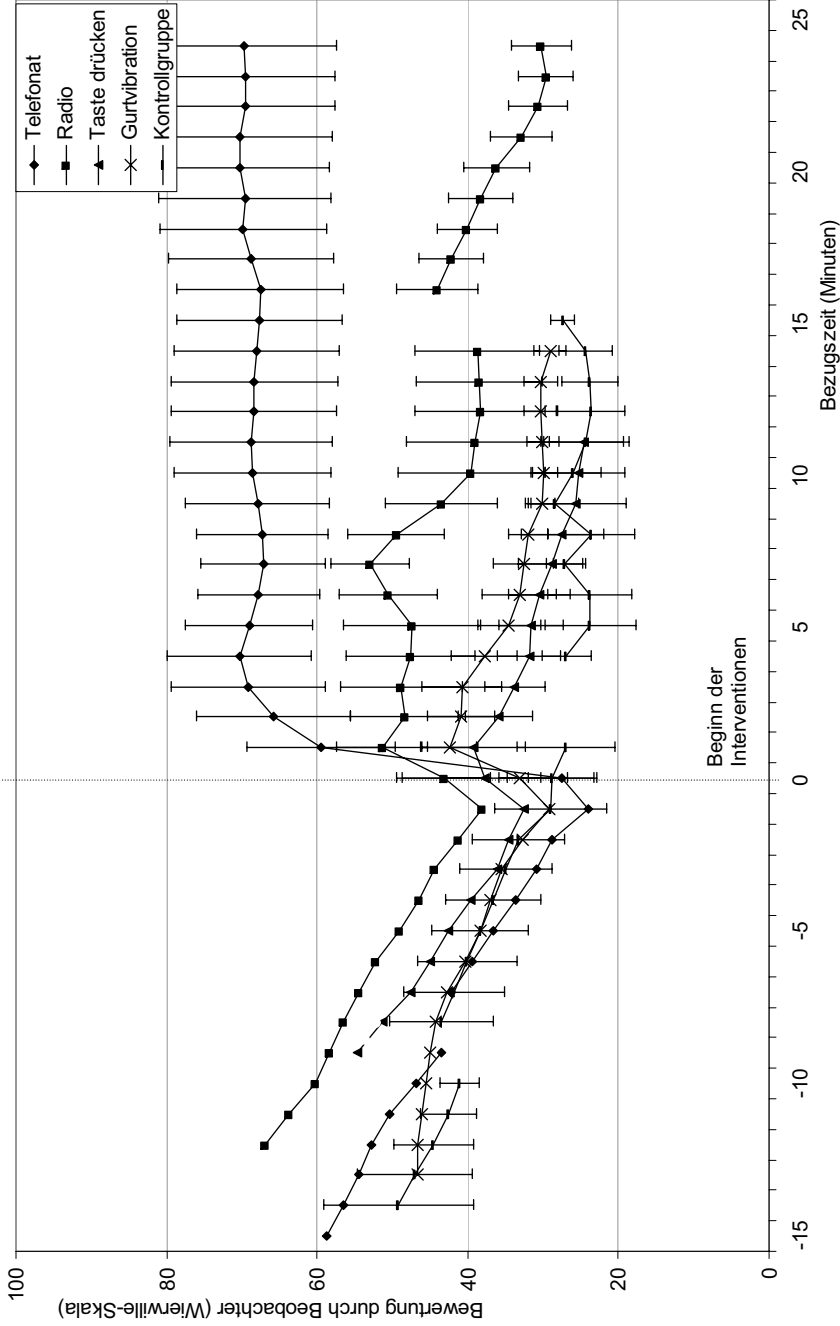


Abbildung 24: Schläfrigkeit durch Beobachterbewertung (5 Varianten)

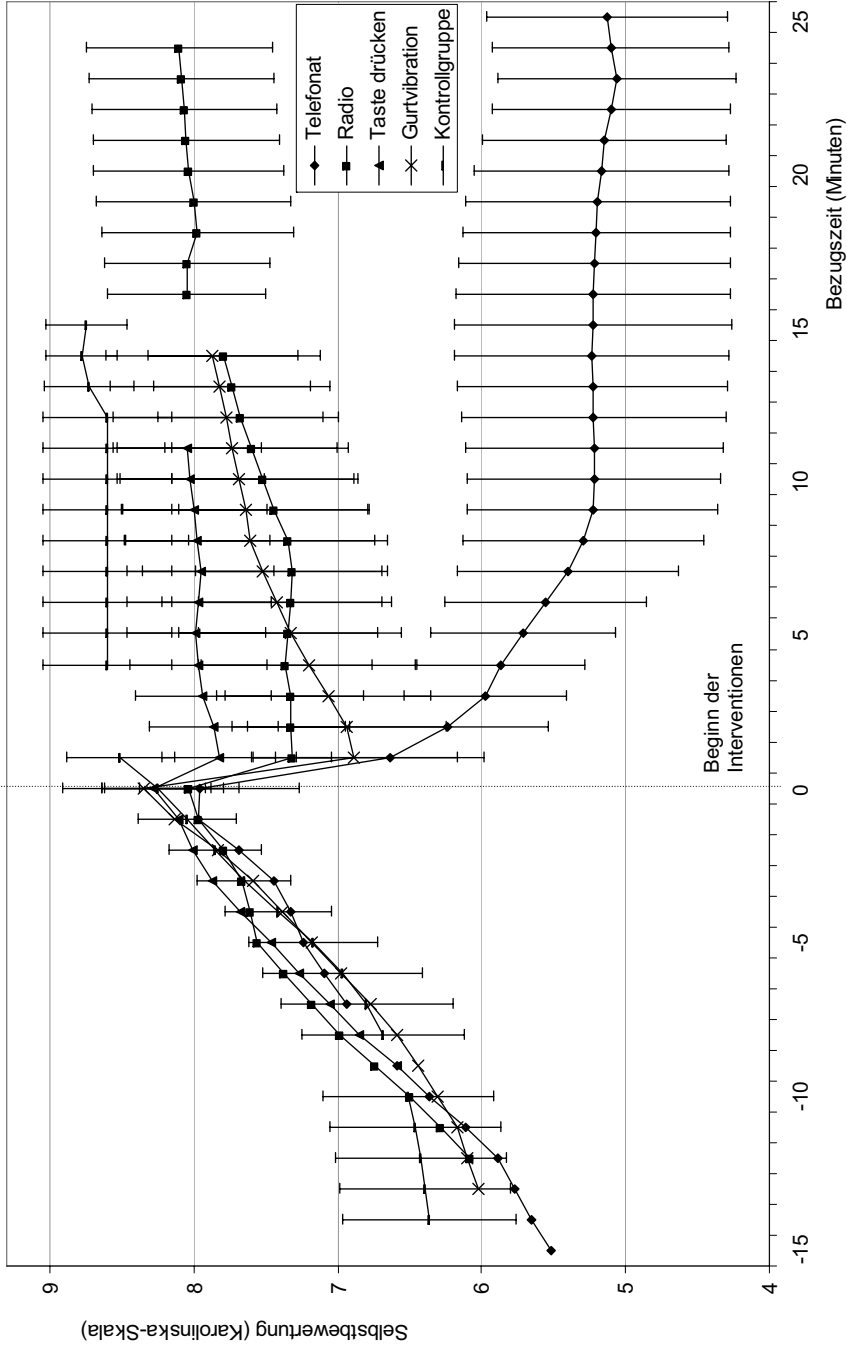


Abbildung 25: Schläfrigkeit durch Selbstbewertung (5 Varianten)

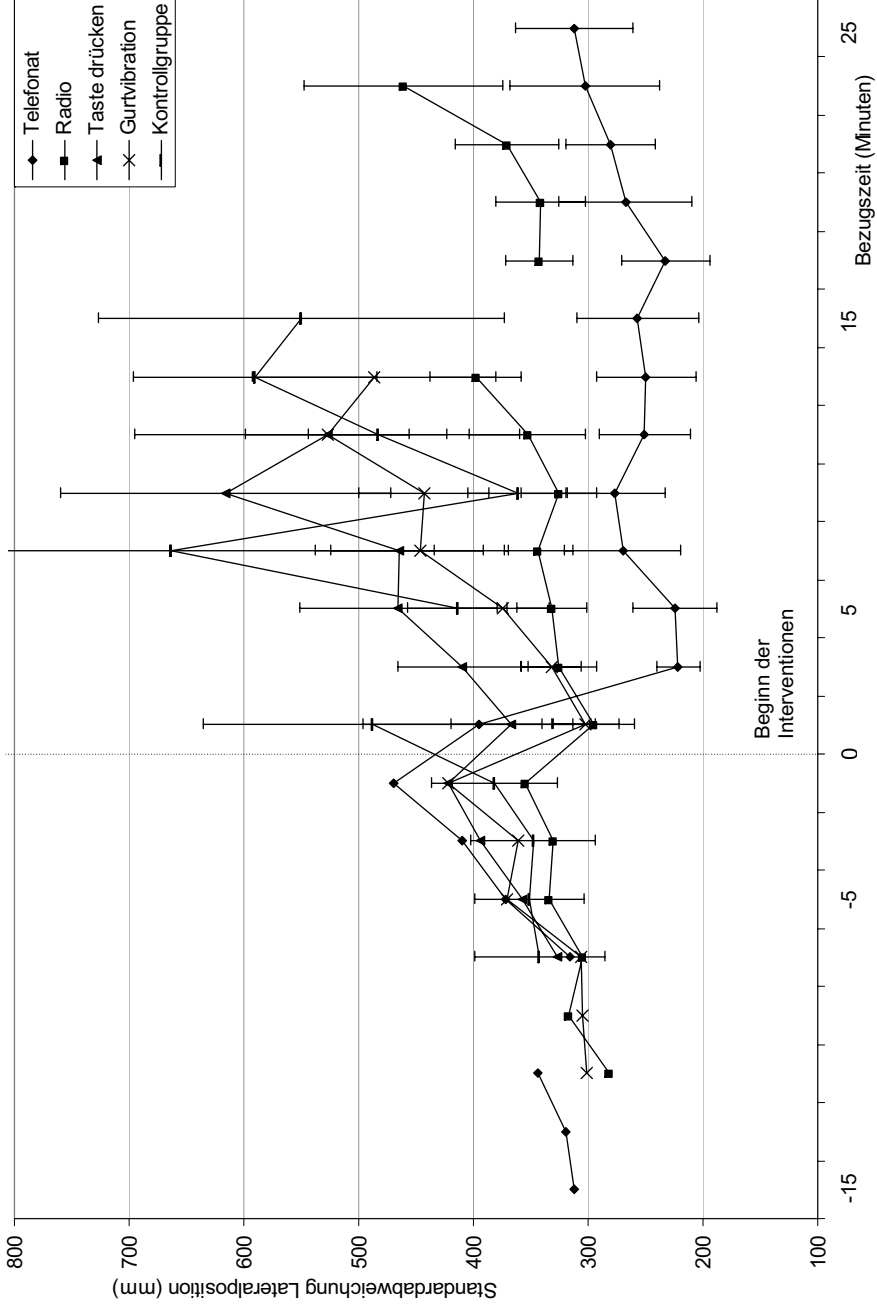


Abbildung 26: Standardabweichung der Lateralposition (5 Varianten)

In den Abbildungen 24-26 wurden die Versuche zeitlich durch den Beginn der Interventionen synchronisiert. Dies war sinnvoll, da bei den Versuchen unterschiedliche Zeiten erforderlich waren, bis die Versuchspersonen die Schläfrigkeitswerte 25 (Wierwille-Skala) oder 8 (Karolinska-Skala) erreichten, bei denen die Interventionen einsetzten (vgl. Kap. 13.2). Ein zeitlicher Abgleich durch den Versuchsbeginn wäre nicht sinnvoll gewesen.

In den Abbildungen ist auf den Abszissen die Bezugszeit relativ zum Beginn der Interventionen dargestellt. Die Schaubilder zeigen den Zeitraum von 15 Minuten vor den Interventionen bis 25 Minuten nach Beginn der Interventionen. Die Darstellung von Messwerten vor dem Zeitpunkt -15 Minuten wäre nicht sinnvoll gewesen, da bei vielen Versuchen weniger als 15 Minuten benötigt wurden, bis mit der Intervention begonnen wurde.

Die dargestellten Kennlinien weisen an einigen Stellen Lücken auf. Dort hat sich die Anzahl der zugrundeliegenden Messungen geändert, da einzelne Versuche vorzeitig beendet werden mussten. Diese Fälle werden im Kapitel 13.5 im Einzelnen beschrieben.

13.4 Hypothesenprüfung

Zur Signifikanzprüfung der Ergebnisse wurde der Vorzeichenrangtest von Wilcoxon für einseitige Signifikanzprüfung durchgeführt. Zahlenbasis für die Berechnungen waren die in den Tabellen 6-10 dargestellten Zahlenwerte. Mit dem Signifikanztest wurden die Messwerte direkt vor den Interventionen mit den gemittelten Werten der ersten 15 Minuten mit Interventionen verglichen (vgl. Kap. 12.2). Dabei wurde für jede Maßnahme und jede Zielgröße die Überschreitungswahrscheinlichkeit P berechnet. Die Ergebnisse der Signifikanzprüfung sind in den Tabellen 6-10 eingetragen.

Die Berechnungen wurden unter Windows Excel programmiert. Die Testergebnisse wurden anhand errechneter Zwischenwerte aus einer Tabelle entnommen (nach Bortz & Lienert, 2003).

Tabelle 6: Signifikanzprüfung bei der Intervention Telefongespräch

Versuchs- person	Lfd. Nummer Versuch	Selbstbewertung (Karolinska)		Bewertung durch Beobachter (Wienwille)		Standardabweichung der Lateralposition (mm)	
		Wert vor Intervention	Durchschnittswert mit Intervention (15 Min.)	Wert vor Intervention	Durchschnittswert mit Intervention (15 Min.)	Wert vor Intervention	Durchschnittswert mit Intervention (15 Min.)
VP 1	V3	9	5,6	31	89,6	378,7	167,4
VP 2	V16	9	4,3	25	53,0	274,1	320,1
VP 3	V17	8	6,3	25	65,2	489,1	371,3
VP 4	V1	8	6,6	0	69,0	470,1	294,9
VP 5	V33	9	5,2	31	51,0	539,9	237,7
VP 6	V30	9	8,2	25	85,8	506,1	331,9
VP 7	V25	5	4,2	25	44,3	461,0	264,0
Durchschnitt		8,1	5,8	23,1	65,4	445,6	283,9
Überschreitungswahrscheinlichkeit P (Vorzeichenrangtest von Wilcoxon, einseitig, Vergleich: Werte vor Interv. - mit Interv.)		0,8%		0,8%		1,6%	
Signifikanzniveau α^* (Bonferroni-korrigiert)				1,67%			
Ergebnissignifikanz (5 %-Niveau)				signifikant			

Tabelle 7: Signifikanzprüfung bei der Intervention Radio hören

Versuchs- person	Lfd. Nummer Versuch	Selbstbewertung (Karolinska)		Bewertung durch Beobachter (Wienwille)		Standardabweichung der Lateralposition (mm)	
		Wert vor Intervention	Durchschnittswert mit Intervention (15 Min.)	Wert vor Intervention	Durchschnittswert mit Intervention (15 Min.)	Wert vor Intervention	Durchschnittswert mit Intervention (15 Min.)
VP 1	V7	8	7,5	44	22,2	253,0	420,9
VP 2	V5	8	8,0	50	47,2	286,9	367,7
VP 3	V6	7	8,4	56	48,4	289,8	321,6
VP 4	V4	8	6,5	25	52,1	440,9	393,6
VP 5	V29	9	8,6	50	43,3	329,7	331,4
VP 6	V34	9	7,4	31	67,5	481,7	413,2
VP 7	V27	8	5,8	25	41,7	438,2	258,5
Durchschnitt		8,1	7,5	40,1	46,0	360,0	358,1
Überschreitungswahrscheinlichkeit P (Vorzeichenrangtest von Wilcoxon, einseitig, Vergleich: Werte vor Interv. - mit Interv.)		6,7%		34,4%		53,1%	
Signifikanzniveau α^* (Bonferroni-korrigiert)		1,67%					
Ergebnissignifikanz (5 %-Niveau)		nicht signifikant					

Tabelle 8: Signifikanzprüfung bei der Intervention Taste drücken

Versuchs- person	Lfd. Nummer Versuch	Selbstbewertung (Karolinska)		Bewertung durch Beobachter (Wienwille)		Standardabweichung der Lateralposition (mm)	
		Wert vor Intervention	Durchschnittswert mit Intervention (15 Min.)	Wert vor Intervention	Durchschnittswert mit Intervention (15 Min.)	Wert vor Intervention	Durchschnittswert mit Intervention (15 Min.)
VP 1	V8	8	8,7	25	17,04	481,3	613,8
VP 2	V10	9	8,7	38	24,1	406,0	594,5
VP 3	V9	8	7,8	25	27,4	469,2	648,9
VP 4	V13	7	6,3	25	31,2	412,3	550,7
VP 5	V18	9	8,9	56	50,1	270,1	313,8
VP 6	V32	9	8,3	25	32,5	533,7	460,4
VP 7	V26	8	7,4	25	30,9	315,3	417,1
Durchschnitt		8,3	8,0	31,3	30,5	412,6	514,2
Überschreitungswahrscheinlichkeit P		10,9%		62,5%		98,4%	
(Vorzeichenrangtest von Wilcoxon, einseitig, Vergleich: Werte vor Interv. - mit Interv.)							
Signifikanzniveau α^* (Bonferroni-korrigiert)				1,67%			
Ergebnissignifikanz (5 %-Niveau)				nicht signifikant			

Tabelle 9: Signifikanzprüfung bei der Intervention Gurtvibration

Versuchs- person	Lfd. Nummer Versuch	Selbstbewertung (Karolinska)		Bewertung durch Beobachter (Wienwille)		Standardabweichung der Lateralposition (mm)	
		Wert vor Intervention	Durchschnittswert mit Intervention (15 Min.)	Wert vor Intervention	Durchschnittswert mit Intervention (15 Min.)	Wert vor Intervention	Durchschnittswert mit Intervention (15 Min.)
VP 1	V46	9	7,9	25	30,5	265,1	356,4
VP 2	V15	9	7,9	25	34,8	328,9	471,6
VP 3	V14	8	7,8	25	27,7	522,3	498,6
VP 4	V35	6	4,3	25	38,4	352,2	322,50
VP 5	V40	9	8,7	38	41,7	450,4	692,8
VP 6	V22	9	8,6	31	32,1	372,7	393,9
VP 7	V24	9	7,1	25	38,8	556	310,4
Durchschnitt		8,4	7,5	27,7	34,8	406,8	435,2
Überschreitungswahrscheinlichkeit P (Vorzeichenrangtest von Wilcoxon, einseitig, Vergleich: Werte vor Interv. - mit Interv.)		0,8%		0,8%		65,6%	
Signifikanzniveau α^* (Bonferroni-korrigiert)				1,67%			
Ergebnissignifikanz (5 %-Niveau)				signifikant			

Tabelle 10: Signifikanzprüfung bei der **Kontrollgruppe** (ohne Intervention)

Versuchs- person	Lfd. Nummer Versuch	Selbstbewertung (Karolinska)		Bewertung durch Beobachter (Wienwille)		Standardabweichung der Lateralposition (mm)	
		Wert vor potenziellem Interv.zeitpunkt	Durchschnittswert im potenziellen Interv.zeitraum	Wert vor potenziellem Interv.zeitpunkt	Durchschnittswert im potenziellen Interv.zeitraum	Wert vor potenziellem Interv.zeitpunkt	Durchschnittswert im potenziellen Interv.zeitraum
VP 1	V43	8	8,5	25	18,5		
VP 2	V11	8	8,9	25	21,1	259,9	784,2
VP 3	V12	8	8	25	9,3		
VP 4	V31	6	7,10	25	32,2	313,3	373,3
VP 5	V21	9	9	56	35,4	271,3	349,6
VP 6	V28	9	9	31	29,2	386,7	392,6
VP 7	V23	7	9	25	25	465	551,9
Durchschnitt		7,9	8,5	30,3	24,4	339,2	490,3
Überschreitungswahrscheinlichkeit P		97,7%		93,4%		100,0%	
(Vorzeichenrangtest von Wilcoxon, einseitig, Vergleich: Werte vor pot. Inter. - pot. Inter.)							
Signifikanzniveau α^* (Bonferroni-korrigiert)				1,67%			
Ergebnissignifikanz (5 %-Niveau)				nicht signifikant			

13.5 Diskussion der Versuchsergebnisse

13.5.1 Telefongespräch

Der Verlauf der 3 erfassten und ausgewerteten Messgrößen ist in den Abbildungen 24-26 eingezeichnet. Die Kennlinien dieser Maßnahme weisen 8 Minuten vor Beginn der Telefonate eine Lücke auf. Zu diesem Zeitpunkt war eine Versuchsperson weit von der Straße abgekommen, was bei einer realen Straßenfahrt einem Unfall entsprochen hätte. Dieser Versuch wurde deshalb im Zeitraum vor -8 Minuten nicht in die Wertung einbezogen. Den Kennlinien der Telefonate wurden deshalb im Zeitraum vor -8 Minuten nur 6 Versuche zugrundegelegt.

Sowohl die Schläfrigkeit nach der Beobachterbewertung (vgl. Abb. 24) wie auch die Schläfrigkeit aus der Selbstbewertung (vgl. Abb. 25) zeigen an, dass die Schläfrigkeit der Versuchspersonen kontinuierlich zunahm, bis mit den Telefonaten begonnen wurde. Auch die Standardabweichung der Lateralposition nahm vor den Telefonaten kontinuierlich zu (vgl. Abb. 26). Die 3 Indikatoren bestätigen sich hier in ihrer Aussage gegenseitig, so dass davon ausgegangen werden kann, dass die Schläfrigkeit vor Beginn der Telefonate kontinuierlich zunahm.

Die in den Abbildungen 24-26 bei den Telefonaten eingezeichnete Standardabweichung ist so zu interpretieren, dass die Schläfrigkeit der Versuchspersonen von unterschiedlichen Anfangsniveaus ausging und dass die Schläfrigkeit unterschiedlich schnell zunahm.

Nach Beginn der Telefongespräche nahm die Schläfrigkeit sowohl nach der Beobachterbewertung wie auch nach der Selbstbewertung schnell ab und erreichte nach einigen Minuten ein konstantes, niedriges Niveau, das bis zum Ende der Versuche gehalten werden konnte. Auch die Standardabweichung der Lateralposition nahm nach Beginn der Telefonate schnell ab und blieb ebenfalls bis zum Ende der Versuche auf einem niedrigen Niveau unterhalb von 320 mm. Auch nach Beginn der Telefonate bestätigten sich die 3 Zielgrößen in ihrer Aussage gegenseitig. Die 3 Indikatoren zeigten übereinstimmend an, dass die Schläfrigkeit durch die Telefongespräche deutlich reduziert wurde und dass diese Wirkung mindestens 25 Minuten lang anhielt.

In Abbildung 24 wird das Minimum der Schläfrigkeit etwa eine Minute vor Beginn der Telefongespräche erreicht. Dieser Verlauf ergab sich dadurch, dass die Schläfrigkeit durch den Versuchsleiter etwa eine Minute vor Beginn der Intervention bewertet wurde und das nächste Mal erst wieder kurz danach. Wäre eine Bewertung direkt vor Beginn der Intervention erfolgt, so läge der Minimalwert der Schläfrigkeit direkt vor dem Interventionsbeginn.

Die nachträgliche Beurteilung der Telefonate durch die Versuchspersonen mit dem Fragebogen ergab dieselbe Aussage, die auch die 3 Indikatoren anzeigten (vgl. Tab. 11). Alle Versuchspersonen waren direkt nach den Versuchen der Auffassung, dass sie durch das Telefongespräch wieder wesentlich wacher geworden seien. Sechs von ihnen gaben an, dass sie sofort einen Erfolg festgestellt hätten. Fünf Personen waren der Ansicht, dass die Wirkung dauerhaft gewesen sei, eine Person gab eine Wirkungsdauer von mehr als 30 Minuten an und eine Person gab 15 Minuten an. Alle Versuchspersonen würden in ihrem eigenen Auto ein Telefonat als Maßnahme gegen Schläfrigkeit einsetzen.

Tabelle 11: Auswertung der Fragebögen zur Intervention Telefongespräch

Glauben Sie, dass Sie durch die erprobte Maßnahme wieder wacher geworden sind?

ja, wesentlich	ja, etwas	weiß nicht	nein	ich bin dadurch müder geworden
7	—	—	—	—

Falls ja, wie schnell hat die Wirkung eingesetzt?

sofort	nach wenigen Minuten	nur langsam
6	1	—

Falls die Maßnahme gewirkt hat, wie dauerhaft war die Wirkung?

nur einen Augenblick	nur wenige Minuten	15 Min.	mehr als 30 Min.	dauerhaft
—	—	1	1	5

Wie hat das Telefongespräch auf Sie gewirkt?

aufregend	interessant	unterhaltsam	langweilig	einschläfernd
1	3	3	—	—

Sind Sie durch die Maßnahme vom Fahren abgelenkt worden?

ja, sehr	ja, etwas	weiß nicht	nein
—	1	4	2

Würden Sie die Maßnahme nutzen, wenn sie in ihrem eigenen Auto eingebaut wäre?

ja	vielleicht	nein
7	—	—

Angenommen, Sie würden sich ein neues Auto für 25.000 € kaufen.

Wieviel würden Sie für ein solches Gerät ausgeben?

gar nichts	100 €	250 €	500 €	800 €
1	2	2	2	—

Bemerkungen:

- Phone calls are really efficient to keep the driver awake
- Möglichst den Fahrer befragen, so dass er spricht und weniger zuhört

Ergänzend zum Fragebogen gaben mehrere Versuchspersonen an, dass sie sich während der Telefonate wacher fühlten, als sie selbst sprachen und nicht nur zuhörten. Dies deutet darauf hin, dass Menschen wacher werden, wenn sie selbst aktiv sein müssen und gefordert werden.

Die Infrarot-Fotografien in Abbildung 27 zeigen die Versuchsperson bei Versuch 33 zu verschiedenen Zeitpunkten. Der Versuch begann um 6.14 Uhr zunächst ohne Telefonat. Die Versuchsperson machte anfangs einen wachen Eindruck und ihre Augenlider waren weit geöffnet.

19:30 Minuten nach Versuchsbeginn wirkte die Versuchsperson schläfrig. Es waren Lidschlusszeiten von bis zu 2 Sekunden Dauer zu beobachten.

19:55 Minuten nach Versuchsbeginn wurde ein Telefongespräch begonnen. Die Versuchsperson sprach mittels Freisprecheinrichtung mit dem Versuchsleiter. Das Telefongespräch dauerte 32 Minuten lang und wurde von der Versuchsperson anschließend als interessant beurteilt.

Direkt nach Beginn des Telefongesprächs traten keine ungewöhnlich langen Lidschlusszeiten mehr auf und die Augenlider waren wieder weiter geöffnet. In den darauf folgenden Minuten hielt dieser Zustand an und die Augenlider waren wieder normal weit geöffnet. Am Ende des Versuchs zur Versuchszeit 51:45 Minuten wirkte die Versuchsperson immer noch wach und die Augenlider waren weit geöffnet. Die Beobachterbewertung und auch die Selbstbewertung ergaben bei diesem Versuch, dass das Telefongespräch die Schläfrigkeit deutlich und lang anhaltend reduzierte.

Mit den Messwerten, die in den Telefonat-Versuchen gewonnen wurden, wurde eine statistische Hypothesenprüfung mit dem Signifikanztest von Wilcoxon durchgeführt. Der Test ergab für die drei überprüften Zielgrößen Überschreitungswahrscheinlichkeiten P von 0,8 %, 0,8 % und 1,6 % (vgl. Tab. 6). Alle drei Werte liegen unterhalb des Signifikanzniveaus $\alpha^* = 1,67$ %. Falls P mindestens einmal unterhalb von α^* liegt, kann die Nullhypothese H_0 verworfen werden. Hier liegen sogar alle 3 Werten unterhalb von α^* . Bei der Maßnahme Telefongespräch konnte somit H_0 verworfen werden und die Alternativhypothese H_1 kann als gültig betrachtet werden. Das Ergebnis ist signifikant auf dem 5 %-Niveau. Die Alternativhypothese H_1 lautet in Bezug auf die 3 Zielgrößen:

$$\mu_{Ka. \text{ vor Int.}} > \mu_{Ka. \text{ mit Int.}}$$

$$\mu_{Wi. \text{ vor Int.}} < \mu_{Wi. \text{ mit Int.}}$$

$$\mu_{La. \text{ vor Int.}} > \mu_{La. \text{ mit Int.}}$$

Da die Alternativhypothese H_1 als gültig zu betrachten ist, ist auch die **Forschungshypothese** für die Maßnahme **Telefongespräch bestätigt**. Durch Telefongespräche, die in der beschriebenen Weise durchgeführt werden, wird bei schläfrigen Führern von Kraftfahrzeugen die Schläfrigkeit reduziert (Nachweis auf 5 %-Niveau).

Die durchgeführten Telefongespräche mit dem Versuchsleiter wurden von den Versuchspersonen als unterhaltsam, interessant oder aufregend beurteilt (vgl. Tab. 11). Eine solche Beurteilung der Telefongespräche ist Voraussetzung für die Gültigkeit der Forschungshypothese. Bei langweiligen Telefonaten könnte ein anderes Versuchsergebnis entstehen.



1:00 Minute nach Versuchsbeginn
Versuchszeit: 1:00 Minute



25 Sekunden vor Beginn des Telefonats
Versuchszeit: 19:30 Minuten



15 Sekunden nach Beginn des Telefonats
Versuchszeit: 20:10 Minuten



31 Minuten nach Beginn des Telefonats
Versuchszeit: 50:50 Minuten

Abbildung 27: Versuchsperson bei Versuch 33, Telefongespräch mit Head-Set
(Infrarot-Fotografien)

In den Versuchen haben alle drei Zielgrößen eine hohe, schnelle und lang anhaltende Wirksamkeit von unterhaltsamen, interessanten oder aufregenden Telefongesprächen angezeigt. Die Wirksamkeit wurde durch die statistische Hypothesenprüfung nachgewiesen (5 %-Niveau). Auch die subjektive Beurteilung der Maßnahme durch die Versuchspersonen ergab eine hohe, schnelle und lang anhaltende Wirksamkeit.

13.5.2 Radio hören

Radio als Maßnahme gegen Schläfrigkeit wurde ebenfalls in 7 Versuchen erprobt (vgl. Abb. 24-26). Der Verlauf der Kennlinien weist 15 Minuten nach Interventionsbeginn eine Lücke auf. Zu diesem Zeitpunkt war eine Versuchsperson eingeschlafen und durchbrach die Mittelleitplanke der Autobahn, was einem schweren Unfall entsprach. Dieser Versuch wurde ab diesem Zeitpunkt nicht weiter gewertet, da die Versuchsperson durch diesen "Unfall" wieder deutlich wacher wurde. Die Wirkung von solchen Verkehrsunfällen auf die Schläfrigkeit wird in Kap. 13.7 diskutiert.

Eine andere Versuchsperson ist ebenfalls 15 Minuten nach Beginn der Intervention so schläfrig geworden, dass es nicht zumutbar erschien, den Versuch fortzusetzen. Er wurde deshalb zu diesem Zeitpunkt beendet. Die Kennlinien der Maßnahme "Radio hören" basieren deshalb ab dem Bezugszeitpunkt 16 Minuten nur noch auf 5 Versuchen. Die Kennlinien weisen deshalb nach dieser Lücke einen Sprung auf.

Auch hier nahm die Schläfrigkeit nach der Beobachterbewertung und nach der Selbstbewertung bis zum Interventionsbeginn kontinuierlich zu. Die Standardabweichung der Lateralposition nahm vor der Intervention zwar auch zu, aber nicht so stark wie dies bei den Telefonat-Versuchen der Fall war.

Nach Beginn der Intervention nahm die Schläfrigkeit ab, jedoch nicht so stark wie bei den Telefonaten. Im weiteren Verlauf der Versuche nahm sie dann wieder zu.

Auch bei der Standardabweichung der Lateralposition ist zu erkennen, dass sie beim Einsetzen der Intervention abnahm, jedoch auch nicht so stark wie bei den Telefonaten. Schon etwa 3 Minuten nach Interventionsbeginn nahm sie wieder zu.

Die drei Indikatoren bestätigten sich auch hier in ihrer Aussage gegenseitig. Durch Radio hören nahm die Schläfrigkeit der Versuchspersonen ab, jedoch nicht so stark wie bei den Telefonat-Versuchen. Die Wirksamkeit der Maßnahme war auch nicht so dauerhaft wie bei Telefonaten, sie ließ nach wenigen Minuten wieder nach.

Dieses Ergebnis war auch in den Antworten der Fragebögen zu erkennen (vgl. Tab. 12). 4 Personen gaben an, dass sie durch die Intervention nur etwas wacher wurden und eine Person war der Auffassung, dass sie gar nicht wacher wurde. Nur 2 Personen gaben an, dass sie wesentlich wacher wurden. Die Dauer der Wirksamkeit wurde auch nicht so hoch beurteilt wie dies bei den Telefonaten der Fall war. Aber auch Radio zu hören wurde insgesamt positiv bewertet: 6 von 7 Personen würden ein Radio in ihrem eigenen Auto als Maßnahme gegen Schläfrigkeit einsetzen.

Tabelle 12: Auswertung der Fragebögen zur Intervention Radio hören

Glauben Sie, dass Sie durch die erprobte Maßnahme wieder wacher geworden sind?

ja, wesentlich	ja, etwas	weiß nicht	nein	ich bin dadurch müder geworden
2	4	—	1	—

Falls ja, wie schnell hat die Wirkung eingesetzt?

sofort	nach wenigen Minuten	nur langsam
5	1	—

Falls die Maßnahme gewirkt hat, wie dauerhaft war die Wirkung?

nur einen Augenblick	nur wenige Minuten	15 Min.	mehr als 30 Min.	dauerhaft
1	1	2	2	—

Sind Sie durch die Maßnahme vom Fahren abgelenkt worden?

ja, sehr	ja, etwas	weiß nicht	nein
—	—	—	7

Würden Sie die Maßnahme nutzen, wenn sie in ihrem eigenen Auto eingebaut wäre?

ja	vielleicht	nein
6	1	—

Angenommen, Sie würden sich ein neues Auto für 25.000 € kaufen.

Wieviel würden Sie für ein solches Gerät ausgeben?

gar nichts	100 €	250 €	500 €	800 €
—	4	1	2	—

Bemerkungen:

- Wechseln zwischen den Sendern sollte möglich sein.
- weniger Musik, stattdessen mehr Dialoge und gesprochene Beiträge
- Durch die Kombination von Radio und einer weiteren Maßnahme würde der Fahrer wacher.
- Die Wirkung hängt vom Senderprogramm ab.

Bei den Versuchen mit der Intervention Radio wurde zunächst ein Sender nach Wahl der Versuchsperson voreingestellt und sie hatte während des Versuchs nicht die Möglichkeit, den Sender zu wechseln. Die gewählten Sender waren Pop-Sender, z.B. "Antenne 1". Die Versuchspersonen äußerten nach den ersten Radio-Versuchen die Auffassung, dass die wachmachende Wirkung des Radios stark vom Programm abhängt und dass es besser sei, wenn der Sender gewechselt werden könne. Deshalb wurde ab dem vierten Versuch die Möglichkeit geschaffen, den Sender zu wechseln. Die Versuchspersonen konnten mit einer Bedientaste am Lenkrad (vgl. Abb. 18) zwischen 5 verschiedenen Pop-Sendern wählen und die Sender beliebig oft wechseln. Mit dieser Änderung wurde innerhalb der Versuchsreihe ein Parameter geändert, was eigentlich vermieden werden sollte. Da die Versuche aber aufwendig waren und für die Versuchspersonen eine hohe Belastung darstellten, wurde auf eine Wiederholung der ersten drei Radio-Versuche verzichtet.

Die Versuchspersonen waren nach den Versuchen der Meinung, dass interessante gesprochene Radiobeiträge, wie z.B. interessante Tagesnachrichten, eher wachmachend wirkten als Musik, insbesondere als ruhige Musik.

Auch mit den Messwerten der Radio-Versuche wurde eine statistische Hypothesenprüfung mit dem Signifikanztest von Wilcoxon durchgeführt. Der Test ergab für die drei Zielgrößen die Überschreitungswahrscheinlichkeiten 6,7 %, 34,4 % und 53,1 % (vgl. Tab. 7). Diese Werte liegen alle oberhalb von $\alpha^* = 1,67$ %. Die Nullhypothese konnte deshalb nicht verworfen werden. Das Ergebnis ist nicht signifikant. Über die Gültigkeit von H_0 und H_1 kann somit keine Aussage gemacht werden (vgl. Kap. 12.3).

Die Forschungshypothese konnte für die Intervention „Radio hören“ nicht bestätigt werden.

Bei dieser Maßnahme zeigten die Kennlinien der 3 Indikatoren, dass die Schläfrigkeit abnahm. Die Effekte waren jedoch nicht so stark wie bei den Telefonaten und hielten auch nicht so lange an. Die subjektiven Bewertungen mittels des Fragebogens bestätigten diese Ergebnisse. Die Effekte der Maßnahme Radio waren zu kurz und zu schwach, um im Interventionszeitraum von 15 Minuten signifikante Verbesserungen nachzuweisen.

13.5.3 Taste drücken

Die Kennlinien dieser Versuche beginnen erst zur Bezugszeit -9 Minuten, da bei mehreren Versuchen nur eine Versuchszeit von 9 Minuten erforderlich war, bis die Schläfrigkeit das Niveau erreichte, bei dem mit der Intervention begonnen wurde (vgl. Abb. 24-26). Die Kennlinien enden 11 Minuten nach Interventionsbeginn, da mehrere Personen so schläfrig wurden, dass eine Fortführung der Versuche nicht zumutbar war.

Auch bei diesen Versuchen nahmen die Schläfrigkeit nach der Beobachterbewertung, die Schläfrigkeit aus der Selbstbewertung und die Standardabweichung der Lateralposition bis zum Interventionsbeginn kontinuierlich zu. Nach dem Beginn der Intervention gingen die Schläfrigkeit nach Beobachterbewertung und Selbstbewertung sowie die Standardabweichung zurück, jedoch nicht so ausgeprägt wie bei Telefonaten. Schon 2-3 Minuten nach Interventionsbeginn zeigten die 3 Indikatoren deutlich an, dass die Wirkung wieder nachließ. Die Schläfrigkeit nahm wieder zu und die Schwankungen der Lateralposition wurden wieder größer.

Etwa 5 Minuten nach Interventionsbeginn war kaum mehr eine Wirkung erkennbar und die Indikatoren erreichten teilweise ähnliche Werte wie bei der Kontrollgruppe.

Auch bei "Taste drücken" bestätigten sich die 3 Indikatoren in ihren Aussagen gegenseitig. Es war schnell eine Wirkung sichtbar, die aber nicht so ausgeprägt war wie bei den Telefonaten. Diese Wirkung ging schon nach wenigen Minuten wieder zurück. Nach etwa 8 Minuten war bei zwei Indikatoren keine Wirkung der Intervention mehr erkennbar und bei einem Indikator nur noch eine sehr geringe.

Die subjektive Bewertung mittels der Fragebögen ergab dieselben Aussagen, die auch die Indikatoren anzeigten: Die Versuchspersonen waren überwiegend der Meinung, dass diese Intervention nur etwas wacher mache und dass diese Wirkung sofort einsetze (vgl. Tab. 13). Zur Wirkungsdauer gaben sie an, dass die Maßnahme nur einen Augenblick oder nur wenige Minuten wirke. Die meisten Personen waren sich nicht sicher, ob sie diese Maßnahme im eigenen Auto nutzen würden.

Die statistische Hypothesenprüfung ergab die Überschreitungswahrscheinlichkeiten 10,9 %, 62,5 % und 98,4 % (vgl. Tab. 8). Diese Werte liegen alle deutlich oberhalb von $\alpha^* = 1,67$ %. Die Nullhypothese konnte somit nicht verworfen werden. Das Ergebnis ist nicht signifikant. Über die Gültigkeit von H_0 und H_1 ist keine Aussage möglich. Die Forschungshypothese konnte für die Maßnahme „Taste drücken“ nicht bestätigt werden.

13.5.4 Vibration des Sicherheitsgurts

Die Kennlinien der Versuche mit Gurtvibration zeigen in den Abbildungen 24-26 einen durchgehenden Verlauf und enden 14 Minuten nach Interventionsbeginn. Zu diesem Zeitpunkt waren mehreren Versuchspersonen so schläfrig, dass die Versuche beendet werden mussten.

Auch bei diesen Versuchen nahmen die Schläfrigkeit nach der Beobachterbewertung, die Schläfrigkeit aus der Selbstbewertung und die Standardabweichung der Lateralposition bis zum Interventionsbeginn hin kontinuierlich zu. Nach dem Einsetzen der Intervention gingen die Schläfrigkeit nach Beobachterbewertung und Selbstbewertung sowie die Standardabweichung zurück. Jedoch schon 2 Minuten nach Interventionsbeginn zeigten die 3 Indikatoren, dass die Wirkung wieder nachließ. Etwa 8 Minuten nach dem Beginn der Intervention erreichten die Schläfrigkeit nach der Beobachterbewertung und die Standardabweichung ähnliche Werte wie bei der Kontrollgruppe.

Auch bei dieser Maßnahme bestätigten sich die 3 Indikatoren gegenseitig. Es war schnell eine Wirkung sichtbar, die aber schon nach wenigen Minuten wieder zurückging.

Die Antworten der Fragebögen deckten sich mit den Aussagen der Indikatoren. Die Versuchspersonen waren überwiegend der Auffassung, dass die Maßnahme nur etwas wacher mache und dass die Wirkung sofort einsetze (vgl. Tab. 14). Bezüglich der Wirkungsdauer gaben 4 Personen an, dass die Maßnahme nur wenige Minuten wirke.

Der Signifikanztest ergab die Überschreitungswahrscheinlichkeiten 0,8 %, 0,8 % und 65,6 % (vgl. Tab. 9). Zwei dieser Werte liegen unterhalb von α^* . H_0 kann deshalb verworfen werden und H_1 bekommt Gültigkeit. Das Ergebnis ist signifikant. Die **Forschungshypothese wurde bestätigt**. Durch Vibrationen des Sicherheitsgurts wird unter Verwendung der beschriebenen Parameter die Schläfrigkeit reduziert (Nachweis auf 5 %-Niveau).

Tabelle 13: Auswertung der Fragebögen zur Intervention Taste drücken

Glauben Sie, dass Sie durch die erprobte Maßnahme wieder wacher geworden sind?

ja, wesentlich	ja, etwas	weiß nicht	nein	ich bin dadurch müder geworden
1	5	—	1	—

Falls ja, wie schnell hat die Wirkung eingesetzt?

sofort	nach wenigen Minuten	nur langsam
6	—	—

Falls die Maßnahme gewirkt hat, wie dauerhaft war die Wirkung?

nur einen Augenblick	nur wenige Minuten	15 Min.	mehr als 30 Min.	dauerhaft
2	4	—	—	—

Sind Sie durch die Maßnahme vom Fahren abgelenkt worden?

ja, sehr	ja, etwas	weiß nicht	nein
—	2	—	5

Würden Sie die Maßnahme nutzen, wenn sie in ihrem eigenen Auto eingebaut wäre?

ja	vielleicht	nein
1	5	1

Angenommen, Sie würden sich ein neues Auto für 25.000 € kaufen.

Wieviel würden Sie für ein solches Gerät ausgeben?

gar nichts	100 €	250 €	500 €	800 €
2	4	1	—	—

Bemerkungen:

- Ton in unregelmäßigen Abständen evtl. effektiver?
- andere Position des Knopfes?
- Position des Knopfes ändern, dass das Umgreifen der Hand bestehen bleibt.
Die Maßnahme hält den Fahrer wacher als beim Fahren ohne.
Wenn allerdings das Drücken nicht erfolgt, und man durch den Signalton "wach" wird, könnte es schon zu spät, das Fahrzeug könnte von der Fahrbahn abgekommen, sein.

Tabelle 14: Auswertung der Fragebögen zur Intervention Gurtvibration

Glauben Sie, dass Sie durch die erprobte Maßnahme wieder wacher geworden sind?

ja, wesentlich	ja, etwas	weiß nicht	nein	ich bin dadurch müder geworden
1	6	—	—	—

Falls ja, wie schnell hat die Wirkung eingesetzt?

sofort	nach wenigen Minuten	nur langsam
7	—	—

Falls die Maßnahme gewirkt hat, wie dauerhaft war die Wirkung?

nur einen Augenblick	nur wenige Minuten	15 Min.	mehr als 30 Min.	dauerhaft
1	4	1	—	1

Sind Sie durch die Maßnahme vom Fahren abgelenkt worden?

ja, sehr	ja, etwas	weiß nicht	nein
—	—	—	7

Würden Sie die Maßnahme nutzen, wenn sie in ihrem eigenen Auto eingebaut wäre?

ja	vielleicht	nein
4	3	—

Angenommen, Sie würden sich ein neues Auto für 25.000 € kaufen.

Wieviel würden Sie für ein solches Gerät ausgeben?

gar nichts	100 €	250 €	500 €	800 €
2	2	2	1	—

Bemerkungen:

- Rhythmus sollte sich ändern, ansonsten gewöhnt man sich daran.
- Maßnahme ist zumutbar. Kann auch länger verwendet werden.
- Frequenz des Gurtvibrierens unregelmäßig gestalten
- Keine dauerhafte Wirkung wegen Gewöhnung. Lieber stoßweise
- längere Pausen zwischen den Vibrationen
- Vibration in der Stärke variieren

Vergleicht man die Kennlinien der Maßnahme Gurtvibration mit denen von Radio hören und Taste drücken, so stellt sich die Frage, weshalb bei der Maßnahme Gurtvibration die Signifikanz des Ergebnisses nachgewiesen werden konnte und bei den anderen beiden Maßnahmen nicht. Dies erklärt sich so, dass der Signifikanztest von Wilcoxon bei jedem einzelnen Versuch den Erfolg der Intervention überprüft (vgl. Bortz & Lienert, 2003). In Tabelle 9 ist ersichtlich, dass bei der Maßnahme Gurtvibration sowohl bei der Selbstbewertung wie auch bei der Bewertung durch einen Beobachter bei jedem einzelnen Versuch eine Verringerung der Schläfrigkeit erreicht wurde. Eine Verringerung der Schläfrigkeit bedeutet bei der Selbstbewertung eine Verringerung des Zahlenwertes (Karolinska-Skala) und bei der Beobachterbewertung einen Anstieg des Zahlenwertes (Wierwille-Skala). Bei jedem einzelnen Versuch wurde also eine Verbesserung festgestellt. Dies war bei Radio hören und Taste drücken nicht der Fall.

13.5.5 Kontrollgruppe

Als Kontrollgruppe wurden 7 Versuche ohne Maßnahme gegen Schläfrigkeit durchgeführt (vgl. Abb. 24-26). In den Schaubildern wurden diese mit den anderen Versuchen zeitlich abgeglichen, indem der Zeitpunkt, an dem die Versuchspersonen eine Schläfrigkeit erreicht hatten, die zum Beginn einer Intervention geführt hätte, auf den Bezugszeitpunkt 0 gelegt wurde.

Die Kennlinien weisen zu den Bezugszeitpunkten -9 Minuten und +2 Minuten Lücken auf. Eine Person benötigte nur 9 Minuten, bis eine Schläfrigkeit erreicht wurde, die zum Beginn einer Intervention geführt hätte. Die Kennlinien basieren deshalb im Bereich von -14 bis -10 Minuten nur auf 6 Versuchen.

Zu den Bezugszeiten +2 Minuten und +3 Minuten kamen 2 Versuchspersonen stark von der Fahrbahn ab. Die Versuche wurden deshalb ab diesen Zeitpunkten nicht mehr gewertet. Die Kennlinien basieren ab dem Bezugszeitpunkt +4 Minuten nur noch auf 5 Versuchen.

Während der ersten 15 Minuten der Versuche nahmen die Schläfrigkeit nach der Beobachterbewertung und die Schläfrigkeit aus der Selbstbewertung kontinuierlich zu. Die Standardabweichung der Lateralposition blieb zunächst auf einem konstanten Niveau von ca. 350 mm, nahm dann zu und zeigte in ihrem weiteren Verlauf starke Schwankungen. Die Schläfrigkeitswerte erreichten etwa ab der Bezugszeit +4 Minuten ein Niveau, das dann bis zum Ende der Versuche konstant blieb.

Die Versuche der Kontrollgruppe zeigten, dass die Schläfrigkeit ohne Intervention kontinuierlich zunahm und dann ein konstantes, relativ hohes Niveau beibehielt. Die Standardabweichung der Lateralposition nahm ebenfalls zu und schwankte dann auf einem hohen Niveau. Die Messungen ergaben keinen Hinweis darauf, dass die Schläfrigkeit von selbst wieder abnahm.

Obwohl der Verlauf der Indikatoren nicht darauf hindeutete, dass die Schläfrigkeit nach Erreichen eines Maximalwertes wieder nennenswert zurückging, wurde trotzdem die Signifikanz einer Verbesserung der Werte ab dem Bezugszeitpunkt 0 geprüft. Der Signifikanztest von Wilcoxon ergab die Überschreitungswahrscheinlichkeiten 97,7 %, 93,4 % und 100,0 % (vgl. Tab. 10). Der Wert 100,0 % wurde bei der 2. Nachkommastelle aufgerundet. Ein Wert von exakt 100 % ist theoretisch nicht möglich.

Alle 3 Überschreitungswahrscheinlichkeiten lagen deutlich oberhalb von $\alpha^* = 1,67\%$. Die Nullhypothese konnte nicht verworfen werden. Das Ergebnis war, wie erwartet, nicht signifikant.

13.6 Steigerung des Signifikanzniveaus

Die Indikatoren und die Antworten der Fragebögen zeigten deutlich, dass Telefongespräche eine hoch wirksame Maßnahme gegen Schläfrigkeit beim Autofahren darstellen. Deren Signifikanz konnte nachgewiesen werden. Die Indikatoren und die Antworten der Fragebögen zeigten auch, dass Telefongespräche den drei anderen erprobten Maßnahmen überlegen waren. Mit diesen Ergebnissen war zu vermuten, dass sich das Signifikanzniveau bei der Maßnahme Telefongespräch steigern ließe, wenn Versuche mit einer größeren Anzahl von Versuchspersonen durchgeführt würden (vgl. Kap. 12.3; Bortz & Lienert, 2003). Das Ziel müsste sein, dass das Ergebnis nicht nur signifikant ist, sondern dass die Signifikanzstufe „sehr signifikant“ ($\alpha = 1\%$) erreicht wird. Als Bedingung hierfür gilt:

$$P \leq \alpha^* = \alpha/3 = 1\%/3 = 0,33\% \text{ (Bonferoni-korrigiert)}$$

Es wurden 4 weitere Versuche mit der Maßnahme Telefongespräch durchgeführt, so dass mit dieser Intervention insgesamt 11 Versuche durchgeführt wurden (vgl. Tab. 21; VP8 und VP9 wurden nicht berücksichtigt). Ohne Intervention (Kontrollgruppe) wurden ebenfalls 4 weitere Versuche durchgeführt.

Der Verlauf der Messgrößen bei den 11 Versuchen mit Telefongesprächen und bei der Kontrollgruppe ist in den Abbildungen 28-30 dargestellt. Darin sind auch die Standardabweichungen eingezeichnet. Die Unterbrechungen in den Kennlinien ergaben sich, weil einige Probanden nur kurze Zeit benötigten, bis mit der Intervention begonnen wurde. Bei der Kontrollgruppe kamen einige Versuchspersonen weit von der Fahrbahn ab. Diese Versuche wurden nur bis zu diesem Zeitpunkt gewertet.

Auch in diesen Schaubildern ist die hohe Wirksamkeit von Telefongesprächen deutlich zu erkennen. Die Schläfrigkeit wurde durch die Telefonate deutlich reduziert und die Standardabweichung der Lateralposition wurde deutlich geringer. Die Antworten der Fragebögen zeigten dieselben Ergebnisse (vgl. Tab. 15). 8 der befragten Personen gaben an, dass sie durch die Intervention wesentlich wacher wurden und 2 Personen waren der Auffassung, dass sie etwas wacher wurden. 9 Probanden gaben an, dass die Maßnahme sofort wirkte.

Die statistische Hypothesenprüfung ergab die Überschreitungswahrscheinlichkeiten 0,1 %, 0,0 % (gerundet) und 0,1 % (vgl. Tab. 16). Alle drei Werte liegen unterhalb des Grenzwertes $\alpha^* = 0,33\%$. Um die Signifikanzstufe „sehr signifikant“ zu erreichen, musste mindestens einer dieser drei Werte unterhalb von α^* liegen.

Die Forschungshypothese wurde bestätigt. Durch Telefongespräche, die in der beschriebenen Weise durchgeführt werden, wird bei schläfrigen Führern von Kraftfahrzeugen die Schläfrigkeit reduziert (Nachweis auf 1 %-Niveau). Voraussetzung ist, dass es sich bei den Telefonaten um aufregende, interessante oder unterhaltsame Gespräche handelt (vgl. Tab. 15).

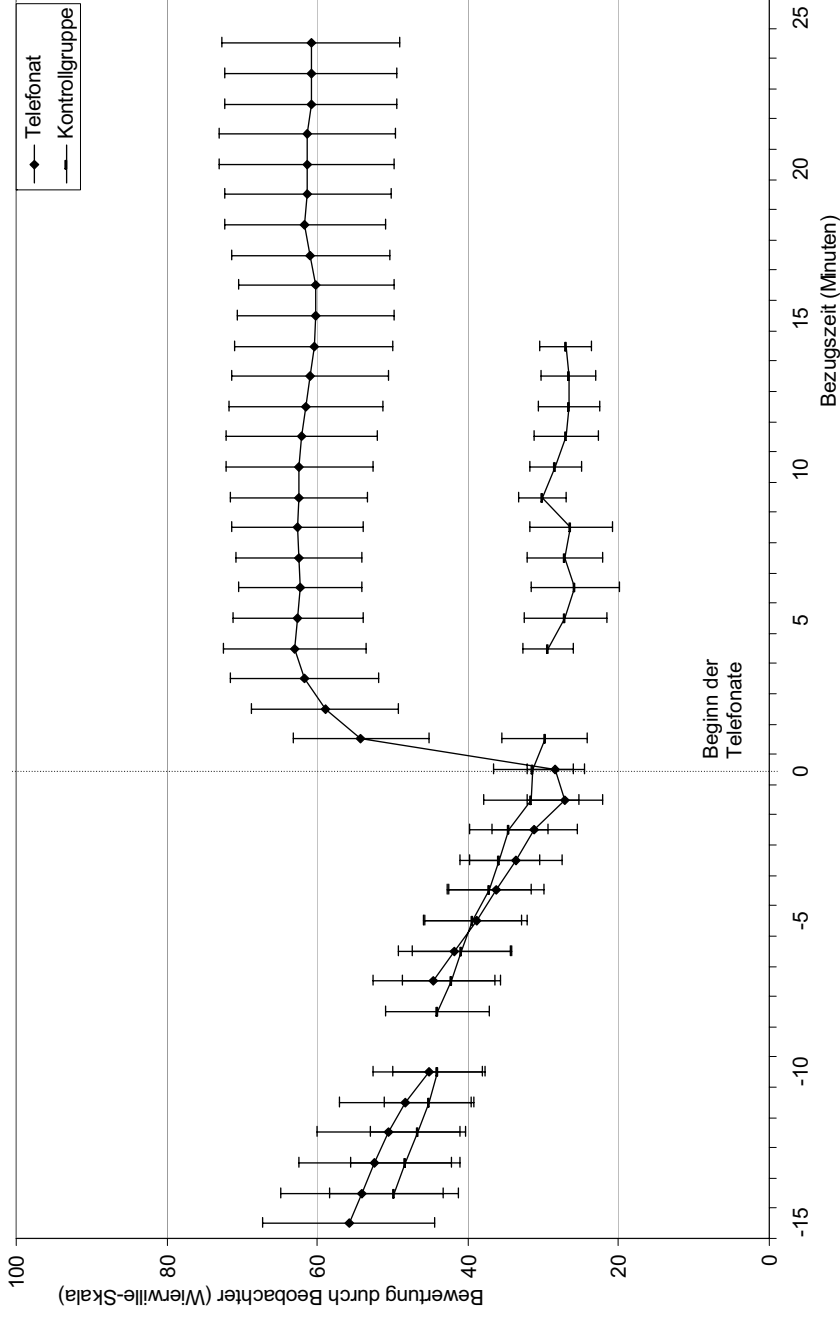


Abbildung 28: Schläfrigkeit durch Beobachterbewertung bei Telefongesprächen (11 Probanden)

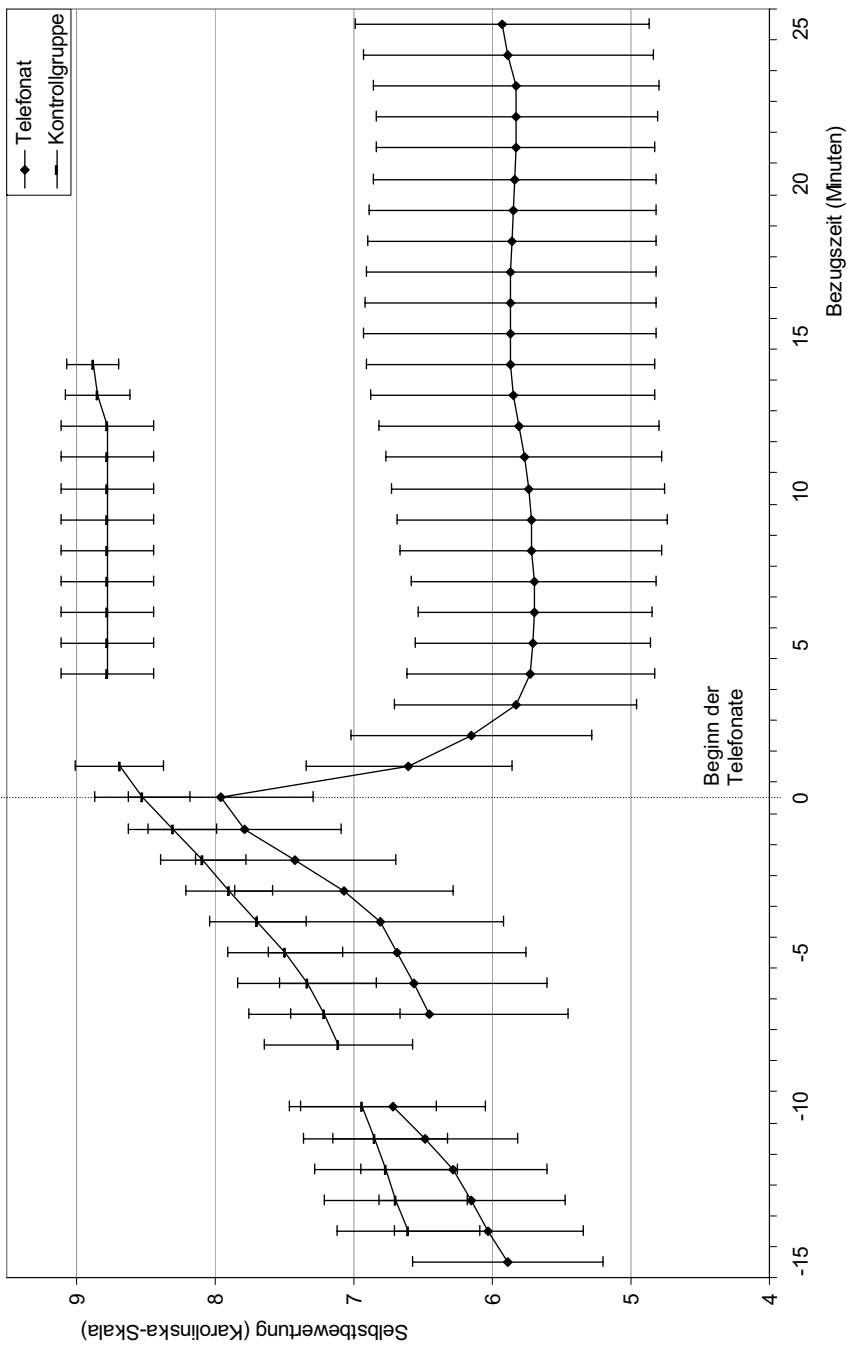


Abbildung 29: Schläfrigkeit durch Selbstbewertung bei Telefongesprächen (11 Probanden)

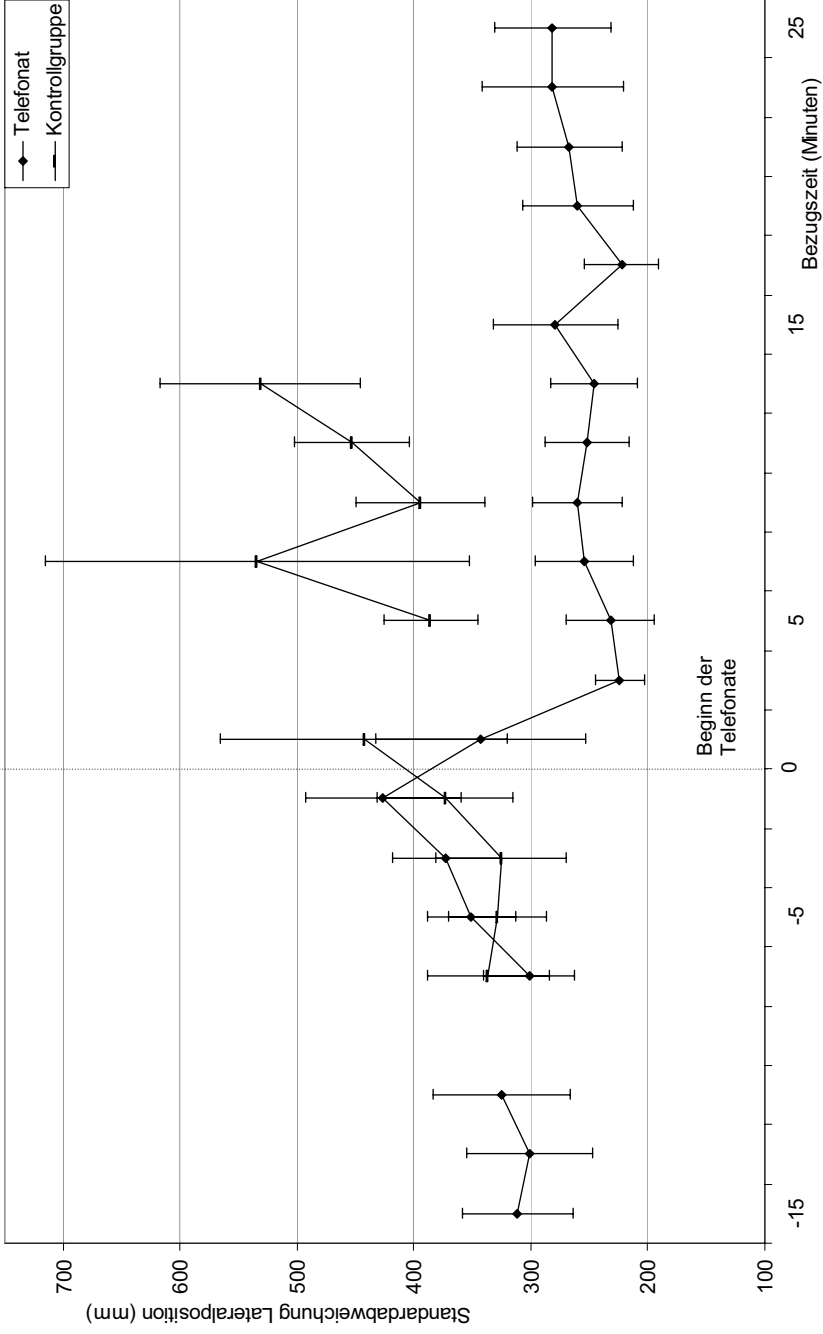


Abbildung 30: Standardabweichung der Lateralposition bei Telefongesprächen (11 Probanden)

Tabelle 15: Auswertung der Fragebögen zur Intervention Telefongespräch (11 Befragte)

Glauben Sie, dass Sie durch die erprobte Maßnahme wieder wacher geworden sind?

ja, wesentlich	ja, etwas	weiß nicht	nein	ich bin dadurch müder geworden
8	2	—	1	—

Falls ja, wie schnell hat die Wirkung eingesetzt?

sofort	nach wenigen Minuten	nur langsam
9	1	—

Falls die Maßnahme gewirkt hat, wie dauerhaft war die Wirkung?

nur einen Augenblick	nur wenige Minuten	15 Min.	mehr als 30 Min.	dauerhaft
—	—	3	1	6

Wie hat das Telefongespräch auf Sie gewirkt?

aufregend	interessant	unterhaltsam	langweilig	einschläfernd
1	3	6	—	—

Sind Sie durch die Maßnahme vom Fahren abgelenkt worden?

ja, sehr	ja, etwas	weiß nicht	nein
1	3	4	3

Würden Sie die Maßnahme nutzen, wenn sie in ihrem eigenen Auto eingebaut wäre?

ja	vielleicht	nein
9	2	—

Angenommen, Sie würden sich ein neues Auto für 25.000 € kaufen.

Wieviel würden Sie für ein solches Gerät ausgeben?

gar nichts	100 €	250 €	500 €	800 €
1	3	4	3	—

Bemerkungen:

- Phone calls are really efficient to keep the driver awake
- Möglichst den Fahrer befragen, so dass er spricht und weniger zuhört

Tabelle 16: Signifikanzprüfung bei der Intervention **Telefongespräch** (11 Versuchspersonen)

Versuchs- person	Lfd. Nummer Versuch	Selbstbewertung (Karolinska)		Bewertung durch Beobachter (Wienwille)		Standardabweichung der Lateralposition (mm)	
		Wert vor Intervention	Durchschnittswert mit Intervention (15 Min.)	Wert vor Intervention	Durchschnittswert mit Intervention (15 Min.)	Wert vor Intervention	Durchschnittswert mit Intervention (15 Min.)
VP 1	V3	9	5,6	31	89,6	378,7	167,4
VP 2	V16	9	4,3	25	53,0	274,1	320,1
VP 3	V17	8	6,3	25	65,2	489,1	371,3
VP 4	V1	8	6,6	0	69,0	470,1	294,9
VP 5	V33	9	5,2	31	51,0	539,9	237,7
VP 6	V30	9	8,2	25	85,8	506,1	331,9
VP 7	V25	5	4,2	25	44,3	461,0	264,0
VP 8	V38	9	9,0	31	37,0	296,7	245,4
VP 9	V41	9	6,7	38	43,6	315,6	215,5
VP 10	V44	4	3,8	25	60,3	303,4	208,1
VP 11	V47	8	6,2	25	54,2	434,6	330,7
Durchschnitt		7,9	6,0	25,5	59,4	406,3	271,6
Überschreitungswahrscheinlichkeit P (Vorzeichenrangtest von Wilcoxon, einseitig, Vergleich: Werte vor Interv. - mit Interv.)		0,1%		0,0%		0,1%	
Signifikanzniveau α^* (Bonferroni-korrigiert)				0,33%			
Ergebnissignifikanz (1 %-Niveau)				sehr signifikant			

Tabelle 17: Signifikanzprüfung bei der **Kontrollgruppe** (11 Versuchspersonen)

Versuchs- person	Lfd. Nummer Versuch	Selbstbewertung (Karolinska)		Bewertung durch Beobachter (Wienwille)		Standardabweichung der Lateralposition (mm)	
		Wert vor potenziellem Interv.zeitpunkt	Durchschnittswert im potenziellen Interv.zeitraum	Wert vor potenziellem Interv.zeitpunkt	Durchschnittswert im potenziellen Interv.zeitraum	Wert vor potenziellem Interv.zeitpunkt	Durchschnittswert im potenziellen Interv.zeitraum
VP 1	V43	8	8,5	25	18,5		
VP 2	V11	8	8,9	25	21,1	259,9	784,2
VP 3	V12	8	8,0	25	9,3		
VP 4	V31	6	7,1	25	32,2	313,3	373,3
VP 5	V21	9	9,0	56	35,4	271,3	349,6
VP 6	V28	9	9,0	31	29,2	386,7	392,6
VP 7	V23	7	9,0	25	25,0	465	551,9
VP 8	V36	9	9,0	31	31,0	293,5	329,2
VP 9	V37	9	9,0	37	37,0	227,8	376,2
VP 10	V42	9	9,0	31	22,8	290,9	437,9
VP 11	V45	9	9,0	50	37,2	503,6	466,8
Durc hschnitt		8,3	8,7	32,8	27,2	334,7	451,3
Überschreitungs wa hrsc heinlichkeit P		97,0%		98,0%		99,4%	
(Vorzeichenrangtest von Wilcoxon, einseitig, Vergleich: Werte vor pot. Inter. - pot. Inter.)							
Signifikanzniveau α^* (Bonferroni-korrigiert)				0,33%			
Ergebnissignifikanz (1 %-Niveau)				nicht signifikant			

Als Kontrollgruppe wurden insgesamt 11 Versuche ohne Intervention durchgeführt. Sie ergaben, dass die Schläfrigkeit kontinuierlich zunahm und dann ein konstantes, hohes Niveau beibehielt. Die Standardabweichung der Lateralposition nahm ebenfalls zu und schwankte dann auf einem hohen Niveau.

Obwohl bei der Kontrollgruppe die Indikatoren nicht darauf hindeuteten, dass die Schläfrigkeit nach Erreichen eines Maximalwertes wieder zurückging, wurde trotzdem die Signifikanz einer Verbesserung der Werte ab dem Bezugszeitpunkt 0 geprüft. Der Signifikanztest ergab die Überschreitungswahrscheinlichkeiten 97,0 %, 98,0 % und 99,4 % (vgl. Tab. 17). Alle 3 Werte liegen deutlich oberhalb von $\alpha^* = 1,67$ %. Das Ergebnis war also, wie erwartet, nicht signifikant.

13.7 Simulierte Verkehrsunfälle

Bei den insgesamt 47 Versuchsfahrten, die für die vorliegende Arbeit durchgeführt wurden, kam es 8 Mal zu Fahrsituationen, die bei realen Straßenfahrten zu Verkehrsunfällen geführt hätten. Die Unfallart war dabei immer das seitliche Abkommen von der Straße (vgl. Pack et al., 1995). Dabei wurde insgesamt 3 Mal die Mittelleitplanke der Autobahn durchbrochen und auf der Gegenfahrbahn weitergefahren. 5 Mal kam das Fahrzeug rechts von der Straße ab (bis zu 8 Meter) und fuhr auf der dargestellten Wiese.

Diese Zwischenfälle bestätigten die Wahl eines Fahrsimulators zur Durchführung der Versuche. Bei realen Versuchsfahrten auf Autobahnen hätten die beschriebenen Fahrsituationen zu schweren Unfällen geführt.

Des Weiteren bestätigte sich die Wahl der Versuchsparameter. Die Uhrzeit und der Ablauf der Versuche sowie das Schlafdefizit der Versuchspersonen waren dazu geeignet, Fahrsituationen herbeizuführen, in denen eine Gefährdung durch Schläfrigkeit bestand.

Bei den beschriebenen Zwischenfällen ("Unfällen") wurden die Versuchspersonen wieder deutlich wacher. Vor den Unfällen waren sie so schläfrig, dass sie teilweise für mehrere Sekunden einschliefen und das Verlassen der Fahrbahn nicht bemerkten. Als sie wieder aufwachten, erschreckten sie über die eingetretene Fahrsituation so sehr, dass sie wieder deutlich wacher wurden. Eine Versuchsperson, die während eines Sekundenschlafs die Mittelleitplanke durchbrach und auf der Gegenfahrbahn wieder aufwachte, berichtete, dass das Herz heftig geschlagen habe, als sie die eingetretene Situation realisierte. Möglicherweise war sich die Versuchsperson im Augenblick des Erwachens nicht mehr im Klaren darüber, dass sie in einem Fahrsimulator fuhr und nicht auf einer realen Straße.

Die Verkehrsunfälle wirkten als Maßnahme gegen Schläfrigkeit. Dies ist allerdings nur von theoretischer Bedeutung, da ein Verkehrsunfall der Fall ist, der durch eine Maßnahme gegen Schläfrigkeit vermieden werden soll.

Bei den Versuchen, bei denen ein Verkehrsunfall stattfand, wurden die Messwerte nach den Unfällen nicht mehr in die Auswertung einbezogen, da die Unfälle die Schläfrigkeit der Fahrer deutlich veränderten.

14 Diskussion der Forschungsergebnisse

Im Rahmen dieser Arbeit wurden vier potenzielle Maßnahmen gegen Schläfrigkeit beim Autofahren experimentell untersucht. Diese waren

- Telefongespräche
- Radio hören
- Taste am Lenkrad drücken
- Vibration des Sicherheitsgurts

Telefongespräche

Die Messungen ergaben eine hohe Wirksamkeit von Telefongesprächen als Maßnahme gegen Schläfrigkeit (vgl. Abb. 28-30). Die Signifikanzprüfung ergab eine sehr signifikante Reduzierung der Schläfrigkeit (1 %-Niveau). Eine Befragung der Versuchspersonen bestätigte die hohe Wirksamkeit der Maßnahme.

Neben den positiven Effekten von Telefongesprächen auf die Schläfrigkeit von Fahrern sind auch negative Auswirkungen von Telefongesprächen während des Fahrens bekannt. Telefonate können Autofahrer von ihren Aufgaben des Steuerns eines Kraftfahrzeugs und der Beobachtung des Verkehrs ablenken. Die Fahrer richten ihre Aufmerksamkeit auf das Telefongespräch und weniger auf die Fahraufgaben. Die Reaktionszeit und die Fähigkeit, Gefahren rechtzeitig zu erkennen, verschlechtern sich. Dies war schon häufig Ursache von Straßenverkehrsunfällen (vgl. Dietrich, 2001; Lehmann & Gall, 2002; Lissy et al., 2000; Piechulla et al., 2003; Violanti & Marshall, 1996).

Redelmeier und Tibshirani (1997, 2001) haben in einer empirischen Studie herausgefunden, dass die Wahrscheinlichkeit, dass telefonierende Autofahrer in einen Verkehrsunfall verwickelt sind, viermal so hoch ist wie bei Fahrern, die nicht telefonieren. Die Wahrscheinlichkeit eines Unfalls ist auch noch einige Minuten nach Telefongesprächen erhöht. Das Risiko eines Verkehrsunfalls ist durch Telefonieren ähnlich erhöht wie bei einem Blutalkoholspiegel von 0,5 bis 0,8 Promille. Die Studie ergab außerdem, dass bei Benutzung einer Freisprecheinrichtung die Wahrscheinlichkeit eines Unfalls nicht geringer ist als ohne Freisprecheinrichtung.

Telefongespräche als Maßnahme gegen Schläfrigkeit müssen deshalb differenziert betrachtet werden. In den eigenen Versuchen wurde nachgewiesen, dass unter den gewählten Versuchsbedingungen die Schläfrigkeit von Fahrern reduziert wurde. Dieses Ergebnis gilt für schläfrige Fahrer und monotone Fahrsituationen. Eine schnelle Reaktionsfähigkeit und die Fähigkeit, Gefahren richtig zu erkennen, waren bei den Versuchen nicht gefordert. Bei den simulierten Versuchsfahrten wurden keine anderen Verkehrsteilnehmer und keine außergewöhnlichen Gefahren dargestellt.

Die Auswirkungen der Nutzung von Mobiltelefonen beim Autofahren hängen stark von der Fahrsituation und vom Zustand des Fahrers ab. Bei monotonen Fahrsituationen und schläfrigen Fahrern können Telefonate die Fahrtüchtigkeit erhöhen. Telefonate wirken unter diesen Bedingungen wachmachend. Unter anderen Bedingungen, wie z.B. bei starkem Verkehr oder unerwarteten Gefahren, kann die ablenkende Wirkung von Telefonaten überwiegen und das Unfallrisiko insgesamt erhöhen. Bei starkem Verkehrsaufkommen kann nicht zur Benutzung von Mobiltelefonen geraten werden. Dann wirkt schon der starke Straßenverkehr wachmachend.

Radio hören

Die durchgeführten Versuche mit der Maßnahme "Radio hören" zeigten, dass mit dieser Intervention die Schläfrigkeit der Fahrer und die Standardabweichungen der Lateralposition zunächst etwas abnahmen und dann nach einigen Minuten wieder zunahm (vgl. Abb. 24-26). Während der ersten 14 Minuten mit Intervention ist bei den Kurvenverläufen der drei Zielgrößen ein deutlicher Unterschied zur Kontrollgruppe zu erkennen. Alle drei Indikatoren zeigten für diesen Zeitraum eine Wirksamkeit der Intervention an. Dies deckt sich auch mit den Antworten der Fragebögen: Die Versuchspersonen waren überwiegend der Auffassung, dass sie durch Radio hören wieder wacher geworden seien.

Die Forschungshypothese konnte für "Radio hören" nicht bestätigt werden. Die Forschungshypothese behauptete, dass sich durch diese Intervention eine Reduktion der Schläfrigkeit erreichen lässt, bezogen auf den Zeitpunkt direkt vor Beginn der Intervention. Hierfür konnte keine Signifikanz nachgewiesen werden.

Reyner und Horne (1998) hatten in deren Versuchen festgestellt, dass sich durch Radio hören in den ersten 30 Minuten eine Reduzierung der Schläfrigkeit gegenüber der Kontrollgruppe ergab (vgl. Kap. 9.2). Die drei in den eigenen Versuchen ausgewerteten Zielgrößen bestätigten dies für eine Zeitdauer von 15 Minuten.

Bei dieser Maßnahme sind keine so schwerwiegenden unerwünschten Nebenerscheinungen bekannt wie dies bei Telefongesprächen der Fall ist. Radio zu hören kann prinzipiell zwar auch von der Fahraufgabe ablenken und die Aufmerksamkeit des Fahrers auf sich ziehen. In der Literatur und in den Medien wird jedoch nicht davon berichtet, dass diese ablenkende Wirkung so stark wäre, dass sie die Fahrtüchtigkeit merklich reduziert und so zu Unfällen geführt hätte. Beim Radiohören muss der Fahrer nicht aktiv werden und auf die erhaltene Information reagieren. Er kann jederzeit seine Aufmerksamkeit vom Radioprogramm abwenden, z.B. in gefährlichen Fahrsituationen. In den Fragebögen gaben alle Versuchspersonen an, dass sie durch Radio hören nicht vom Fahren abgelenkt worden seien.

Bei den durchgeführten Versuchen zeigte sich, dass das Radioprogramm einen wesentlichen Einfluss darauf hatte, wie stark das Radiohören wachmachend wirkte. Musik, die die Versuchspersonen emotional ansprach, hatte eine stärkere wachmachende Wirkung als Musik, bei der dies nicht der Fall war. Die stärkste wachmachende Wirkung hatten interessante gesprochene Beiträge, wie z.B. Nachrichten oder Späße des Moderators.

Wenn Radio hören wachmachend wirken soll, sollte der Fahrer die Möglichkeit haben, einen Sender seiner Wahl einzustellen und diesen auch wechseln zu können.

Taste drücken

Durch das regelmäßige Drücken einer Taste am Lenkrad wurde die Schläfrigkeit der Fahrer kurzzeitig reduziert und stieg dann aber schnell wieder an (vgl. Abb. 24-26). Bei der Beobachterbewertung und bei der Standardabweichung der Lateralposition waren wenige Minuten nach Interventionsbeginn keine Unterschiede zur Kontrollgruppe mehr erkennbar. Bei der Selbstbewertung blieb der Wert bis zum Schluss der Versuche geringfügig unterhalb der Kontrollgruppe.

Die statistische Hypothesenprüfung ergab, dass sich nach Beginn der Intervention keine signifikante Reduzierung der Schläfrigkeit einstellte.

In den Fragebögen gaben die meisten Versuchspersonen an, dass die Maßnahme für kurze Zeit etwas wachmachend gewirkt habe. Einige Versuchspersonen sagten, dass sie die Taste nach einigen Minuten unbewusst betätigt hätten.

Mit diesen Ergebnissen war die Weiterverfolgung der Maßnahme „Taste drücken“ nicht sinnvoll. Die Wirkung war zu schwach und hielt nur kurze Zeit an.

Vibration des Sicherheitsgurts

Durch das Vibrieren des Sicherheitsgurts wurde die Schläfrigkeit kurzzeitig reduziert und stieg dann schnell wieder an (vgl. Abb. 24-26). Bei der Beobachterbewertung nach Wierwille und bei der Standardabweichung der Lateralposition sind einige Minuten nach Interventionsbeginn keine Unterschiede zur Kontrollgruppe mehr erkennbar. Bei der Selbstbewertung blieb der Wert der Schläfrigkeit jedoch bis zum Schluss der Versuche unterhalb der Kontrollgruppe.

Die statistische Hypothesenprüfung ergab, dass sich nach Beginn der Intervention eine **signifikante Reduzierung der Schläfrigkeit** einstellte. Die Forschungshypothese wurde bestätigt (5 %-Niveau). Das Ergebnis der Signifikanzprüfung überrascht etwas, wenn man die dargestellten Kurvenverläufe vergleicht. Das Ergebnis kam deshalb zustande, weil der Vorzeichenrangtest von Wilcoxon bei jedem einzelnen Versuch die Werte unmittelbar vor Interventionsbeginn mit den gemittelten Messwerten von 15 Minuten nach Interventionsbeginn verglich. Hierbei wurden signifikante Verbesserungen festgestellt.

In den Fragebögen gaben die Versuchspersonen an, dass die Vibration des Sicherheitsgurts einige Minuten lang etwas wachmachend gewirkt habe.

Bei der statistischen Hypothesenprüfung wurden bei den Zielgrößen signifikante Verbesserungen festgestellt. Dieses Ergebnis darf aber nicht überbewertet werden. Der dargestellte Verlauf der Zielgrößen zeigt nur in den ersten 5-8 Minuten der Intervention eine deutliche Wirksamkeit der Maßnahme.

Eine Umsetzung dieser Maßnahme in Fahrzeugen kann durchaus sinnvoll sein. Man muss sich dabei aber bewusst sein, dass die Maßnahme nur wenige Minuten wirkt.

15 Realisierbarkeit

Telefongespräche

Der Gebrauch von Mobiltelefonen in Kraftfahrzeugen ist in Deutschland und vielen anderen Ländern gesetzlich nur mit Nutzung einer Freisprecheinrichtung erlaubt (nach StVO § 23 Abs. 1a, BMVBS, 2009). Autotelefone mit Freisprecheinrichtung sind heute bereits in vielen Fahrzeugen im Multimedia-System integriert (vgl. Abb. 31). Sie nutzen ein im Fahrzeug installiertes Mikrofon und die Lautsprecher der Audioanlage.



Abbildung 31: Multimedia-System mit integriertem Autotelefon (Mercedes-Benz, 2009)

Die kostengünstigere Alternative ist die Verwendung eines Mobiltelefons, das mit einer Halterung im Fahrzeug befestigt wird (vgl. Abb. 32). Zum Freisprechen können ein befestigtes Mikrofon und die Fahrzeuglautsprecher verwendet werden oder auch ein kabelloses Head-Set, welches an einem Ohr angesteckt wird. Die Verwendung von Ohrhörern oder Kopfhörern, die beide Ohren beschallen, ist in Deutschland nicht erlaubt. Fahrer könnten damit die Verkehrsgeräusche kaum mehr wahrnehmen.



Abbildung 32: Mobiltelefon in Halterung und kabelloses Head-Set (BMW, 2009 b; Logitech, 2006)

Mobiltelefone oder Hörer von Autotelefonen dürfen während des Fahrens auch für Bedienungsvorgänge nicht in die Hand genommen werden, also auch nicht zur Annahme von Telefonanrufen oder zum Wählen. Die Bedienung muss über eine im Fahrzeug befestigte Tastatur oder über Sprachsteuerung erfolgen (vgl. Abb. 31, 32).

Fahrer von Fahrzeugen, in denen ein Mobiltelefon oder Autotelefon installiert ist, können Telefongespräche als Maßnahme gegen Schläfrigkeit bereits heute nutzen. Wie in Kapitel 14 erläutert, sollte jedoch in herausfordernden oder riskanten Verkehrssituationen nicht telefoniert werden. In monotonen Verkehrssituationen dagegen sind Telefongespräche als Maßnahme gegen Schläfrigkeit sinnvoll. Der Fahrer ist immer selbst dafür verantwortlich, nicht zu stark von seiner Fahraufgabe abgelenkt zu werden.

Radio hören

Die meisten PKWs, Omnibusse und auch LKWs sind heute mit einer Radioanlage ausgerüstet (vgl. Abb. 31). So besteht bereits heute die Möglichkeit, Radio zu hören als Maßnahme gegen Schläfrigkeit einzusetzen. Viele Autofahrer praktizieren dies auch (vgl. Kap. 9). Die Fahrer wählen dabei einen Sender, der sie interessiert und somit stärker wachmachend wirkt als ein nicht interessantes Programm. Von dieser Maßnahme darf jedoch kein zu großer Effekt erwartet werden (vgl. Kap. 14).

Taste drücken

In Kapitel 14 wurde bereits erläutert, dass die Wirksamkeit dieser Intervention so gering war, dass sie nicht weiterverfolgt wurde.

Vibration des Sicherheitsgurts

Heute sind nahezu alle PKWs und LKWs am Fahrersitz mit einem Dreipunkt-Sicherheitsgurt ausgerüstet, der an 3 Punkten am Fahrzeug befestigt ist (vgl. Abb. 33). Die Benutzung des Sicherheitsgurts ist in Deutschland und den meisten Ländern gesetzlich vorgeschrieben (vgl. StVO § 21a Abs.1, BMVBS, 2009).



Abbildung 33: Dreipunkt-Sicherheitsgurt

Vibrationen des Sicherheitsgurts können erzeugt werden, indem das Gurtschloss mit einem Elektromotor in Schwingungen versetzt wird. Dabei hat sich eine Schwingungsfrequenz des Gurtschlusses von 125 Hertz bewährt (vgl. Dangelmaier, 2004; Marberger, 2003).

Schwingungen des Gurtschlusses übertragen sich sowohl auf den unteren Teil des Sicherheitsgurts, der unterhalb der Gürtellinie verläuft, wie auch auf den oberen Teil, der diagonal über den Oberkörper läuft. Um die Vibrationen deutlich zu spüren, muss der Sicherheitsgurt eng am Körper anliegen. Dies sollte im Sinne der Unfallsicherheit sowieso gewährleistet sein.

Bei den durchgeführten Versuchen hat sich ein Vibrationsrhythmus nach Abbildung 34 bewährt. Die Vibrationszeiten und -pausen waren randomisiert, damit sich keine Gewöhnung einstellte. Die Vibrationen erfolgten randomisiert 3 - 6 Mal kurz hintereinander mit kurzen Pausen dazwischen. Sowohl die Vibrationsdauer wie auch die Pausendauer betragen 0,2 - 1 Sekunden. Nach einem solchen Zyklus erfolgte eine längere Pause von 1 - 5 Sekunden Dauer. Danach startete erneut ein Zyklus mit 3 - 6 Vibrationsblöcken.

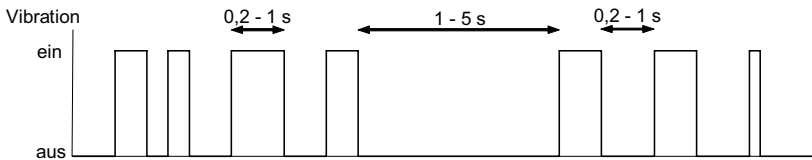


Abbildung 34: Vibrationsrhythmus des Gurtschlusses

Die Vibration des Sicherheitsgurts kann entweder vom Fahrer selbst aktiviert werden, wenn er feststellt, dass er schläfrig wird. Die Vibration kann aber auch automatisch bei Erkennung von Fahrerschläfrigkeit aktiviert werden. In diesem Fall sollte aber der Fahrer vorher über die Aktivierung informiert werden, damit er nicht erschrickt.

Durch Vibrationen des Sicherheitsgurts ist keine nennenswerte Ablenkung von der Fahraufgabe zu erwarten, wenn der Fahrer vorher über die Aktivierung informiert wird (vgl. Tab. 14).

16 Zusammenfassung

Die Schläfrigkeit von Kraftfahrzeugführern stellt im Straßenverkehr ein ernstes Problem dar. Schon häufig verursachten Fahrer von PKWs, LKWs und Omnibussen schwere Verkehrsunfälle, weil sie trotz Schlafdefizits ihr Fahrzeug führten.

Kraftfahrer dürfen niemals in schläfrigem Zustand eine Fahrt antreten. Stellt sich die Schläfrigkeit während der Fahrt ein, so muss eine Fahrtpause eingelegt werden, in der der Fahrer möglichst kurz schläft. In manchen Fällen ist es jedoch durch die Verkehrssituation nicht möglich, die Fahrt sofort zu unterbrechen und auszuruhen. In diesen Fällen stellt sich die Frage, ob es schnellwirkende Maßnahmen gegen Schläfrigkeit gibt, die einen Fahrer noch einige Minuten lang wach halten können, bis er seine Fahrt am nächsten Parkplatz unterbrechen kann. Diesem Thema ist die vorliegende Arbeit gewidmet.

Die Aufgabe war die Analyse und experimentelle Untersuchung von Maßnahmen gegen Schläfrigkeit beim Autofahren. Die Maßnahmen müssen möglichst schnell und lang anhaltend wirken. Dabei war aber nicht das Ziel, die Fahrtüchtigkeit dauerhaft wiederherzustellen. Es wäre nicht zu verantworten, einen schläfrigen Fahrer dauerhaft wach halten zu wollen.

In der vorliegenden Arbeit wurden Maßnahmen gegen Schläfrigkeit beim Autofahren gesammelt und analysiert. Vier Erfolg versprechende Maßnahmen wurden ausgewählt und experimentell untersucht. Diese waren

- ein Telefongespräch während der Fahrt
- Radio hören
- regelmäßiges Drücken einer Taste am Lenkrad
- Vibrationen des Sicherheitsgurts

Die Versuche wurden morgens zwischen 6 und 8 Uhr im Fahrsimulator des Fraunhofer IAO in Stuttgart durchgeführt. Die Versuchspersonen hatten in der vorhergehenden Nacht überhaupt nicht geschlafen und waren deshalb in einem schläfrigen Zustand. Die Fahraufgabe bestand darin, im Fahrsimulator mit einem PKW auf einer monotonen Autobahnstrecke zu fahren.

Die Versuchsfahrten begannen zunächst ohne Maßnahmen gegen Schläfrigkeit. Erreichten die Versuchspersonen einen bestimmten Grad der Schläfrigkeit, so setzte eine Maßnahme gegen Schläfrigkeit ein.

Jede der vier untersuchten Maßnahmen wurde durch dieselben Versuchspersonen erprobt. Außerdem absolvierte jede Versuchsperson einen Versuch ganz ohne Maßnahme gegen Schläfrigkeit (Kontrollgruppe).

Als Indikatoren für Schläfrigkeit wurden drei Zielgrößen erfasst und ausgewertet:

- Schläfrigkeit aus der Bewertung durch einen Beobachter (Wierwille-Skala)
- Schläfrigkeit aus der Selbstbewertung durch die Versuchspersonen (Karolinska-Skala)
- Standardabweichung der Lateralposition des Fahrzeugs

In den **Telefongesprächen** unterhielten sich die Probanden unter Nutzung einer Freisprecheinrichtung mit dem Versuchsleiter. Die Versuchsfahrten begannen zunächst ohne Telefonat. Wurde ein bestimmter Grad an Schläfrigkeit erreicht, so wurde mit einem Telefongespräch begonnen, das mindestens 15 Minuten lang dauerte.

Durch die Telefongespräche ergab sich eine deutliche Reduzierung der Schläfrigkeit gegenüber den Werten direkt vor Einsetzen der Maßnahme (signifikant auf 5 %-Niveau). Zur Signifikanzprüfung wurden die Zielgrößen während 15 Minuten nach Interventionsbeginn mit den Werten direkt vor den Telefonaten verglichen. Dazu wurde der Vorzeichenrangtest von Wilcoxon eingesetzt. Die Telefongespräche wirkten schnell und die Wirksamkeit hielt lange an.

Da die Wirksamkeit dieser Maßnahme hoch war, wurden Versuche mit weiteren Probanden durchgeführt, mit dem Ziel, das Signifikanzniveau zu steigern. Es wurde nachgewiesen, dass die Telefonate **sehr signifikante** Verbesserungen erbrachten (1 %-Niveau).

Die Telefongespräche bewirkten in den durchgeführten Versuchen eine Reduzierung der Schläfrigkeit. Aus der Literatur und den Medien ist bekannt, dass Telefongespräche die Fahrer auch von ihren Fahraufgaben ablenken können und dass dadurch schon häufig Verkehrsunfälle entstanden. Die Wirkung von Telefonaten beim Autofahren ist deshalb differenziert zu betrachten. In komplexen und gefährlichen Fahrsituationen sollten Telefonate unterbleiben, da sie ablenken. In monotonen Fahrsituationen mit schläfrigen Fahrern können Telefongespräche dagegen die Fahrtüchtigkeit erhöhen.

Radio zu hören bewirkte eine vorübergehende Verbesserung der Zielgrößen, die aber geringer war als bei Telefonaten und auch nicht so lange anhielt. Für den Vergleichszeitraum von 15 Minuten nach Beginn der Intervention konnten keine signifikanten Verbesserungen nachgewiesen werden. Auch frühere Versuche ergaben bei dieser Maßnahme nur eine kurze und schwache Wirksamkeit.

Das regelmäßige **Drücken einer Taste** am Lenkrad im Abstand von 4 Sekunden bewirkte ebenfalls keine signifikanten Verbesserungen.

Bei **Vibration des Sicherheitsgurts** war eine befristete Wirksamkeit festzustellen, die auf dem 5 %-Niveau **signifikant** war.

Von den vier experimentell untersuchten Maßnahmen gegen Schläfrigkeit waren **zwei** im Betrachtungszeitraum von 15 Minuten nach Interventionsbeginn **signifikant wirksam**.

Mobiltelefone mit Freisprecheinrichtung sind für viele Autofahrer verfügbar und können als Maßnahme gegen Schläfrigkeit genutzt werden. Dabei liegt es in der Verantwortung des Fahrers, das Telefon bei starkem Verkehr und in gefährlichen Situationen nicht zu nutzen, um Ablenkung zu vermeiden.

Die Möglichkeit der Vibration des Sicherheitsgurts ist heute für Autofahrer noch nicht verfügbar. Da diese Maßnahme wirksam ist und nahezu keine Ablenkung von den Fahraufgaben mit sich bringt, sind Fahrzeughersteller und die Zubehörindustrie aufgefordert, entsprechende Geräte anzubieten. Es ist noch zu überprüfen, ob Vibrationen anderer Fahrzeugteile, z.B. der Sitzfläche, noch wirkungsvoller oder angenehmer sind.

In der vorliegenden Arbeit wurde nachgewiesen, dass die Schläfrigkeit von Autofahrern durch technische Maßnahmen vorübergehend reduziert werden kann. Bei zwei der untersuchten Maßnahmen konnte nachgewiesen werden, dass sie signifikante bzw. sehr signifikante Verbesserungen erbrachten.

Trotz der Wirksamkeit dieser Maßnahmen muss klar bleiben, dass sie für „Notfälle“ bestimmt sind, in denen Autofahrer unerwartet schläfrig werden. Die Maßnahmen sollen keinesfalls dazu verführen, in schläfrigem Zustand Auto zu fahren. Es liegt nach wie vor in der Verantwortung der Fahrer, nur in fahrtüchtigem Zustand am Straßenverkehr teilzunehmen.

17 Abstract

Motorists' sleepiness is a serious problem in road traffic. Drivers of cars, trucks and buses sometimes cause grave traffic accidents because of a lack of sleep.

Of course, it is recommended not to drive in a sleepy state and instead to take a break. A short nap e.g. is advisable. But in certain situations it is not possible to interrupt the drive immediately. In such a case immediate countermeasures against sleepiness are crucial. They should help the driver to sustain his ability to control the car for a short extra time until it is possible to stop and to take a rest. In this study countermeasures during the drive will be focused.

The aim was to find and also to verify with experiments appropriate countermeasures against sleepiness whilst driving a car. These countermeasures must have an immediate, significant and lasting effect. To reconstitute a driver's fitness permanently was not the aim of this work. Continuous driving for a very long period is impossible and also irresponsible.

A preliminary literature study about measures against sleepiness was performed. The four most promising countermeasures during the drive were selected.

- telephone conversation,
- listening to the radio,
- pushing periodically a button,
- vibrating seat belt.

The efficiency of those four countermeasures was verified in experiments. To make sure that the test persons were in a sleepy state they were not allowed to sleep the night before and the testing was performed between 6 and 8 a.m. They had to drive a car in the driving simulator at Fraunhofer IAO in Stuttgart. A monotonous highway was simulated. Each drive began without countermeasures. When a defined level of sleepiness was reached countermeasures were initiated. Each of the four countermeasures was tested on the same probands as well as a test without any intervention (control group).

Three measurements were collected and analyzed as indicators of sleepiness:

- sleepiness as appraised by an observer (Wierwille scale),
- sleepiness as appraised by the proband himself (Karolinska scale),
- standard deviation of the vehicle's position to the lane.

Telephone conversation: The probands spoke with the investigator by using a handsfree set. The test drives started without telephoning. In case the probands had reached a defined level of sleepiness a telephone call with a minimum duration of 15 minutes was made.

The conversation reduced the sleepiness level significantly. To verify the impact of the intervention the measurements obtained directly before starting the countermeasure were compared to the values measured until 15 minutes into the telephone call. Wilcoxon's significance test was used and showed that the telephone calls had a quick and long lasting effect on the test persons (significant at 5 % level).

Since the efficiency was high, tests with further probands were conducted to increase the level of significance. It could be shown that telephone conversations effected **highly significant** improvements (1 % level).

In the experiments the telephone conversations effected a reduction of sleepiness. On the other side telephone calls may distract drivers and as a result may cause accidents. Therefore the effects of telephone calls while driving have to be considered in both ways. On one hand in a complex and dangerous driving situation a telephone call is not advisable since it may distract the driver. On the other hand it was clearly shown that a telephone call can increase a sleepy driver's fitness in a monotonous driving situation.

Listening to the radio effected temporary improvements of the test persons. The improvements were distinctly smaller compared to the telephone conversation and didn't last as long. For the reference period of 15 minutes after the intervention had started no significant improvement was verified. Previous tests also showed only a low and short effect of this method.

Pushing of a button periodically every 4 seconds also effected no significant improvements.

Vibrating seat belts were temporary efficient being **significantly** at the 5 % level.

Thus **two** of the four experimentally analysed countermeasures against sleepiness were **significantly effective** in the considered period of 15 minutes after interventions had started.

As mobile phones with handsfree set are commercially available, they can be used as a countermeasure easily. In hazardous situations and in case of heavy traffic the driver may not use the mobile phone. He has to focus on the traffic and has to avoid any distraction and even a telephone call on a handsfree set might be dangerous.

Vibrating seat belts are not yet commercially available. Since this measure is efficient and causes almost no distraction manufacturers may consider to provide the market with such devices. Vibrations of other parts, e.g. the seat surfaces might be also efficient or agreeable. This should be the aim of future studies.

In this work it was verified that the sleepiness of a driver can be temporarily reduced by technical measures. For two of the tested measures it could be shown that they effect at least significant but also very significant improvements.

In spite of these measures' efficiency it is obvious that they are intended for "emergencies" only, i.e. when a motorist is suddenly getting sleepy. The measures should in no case encourage driving in a sleepy state. It is the responsibility of every individual driver to use a car only being in a fit condition.

Literaturverzeichnis

- Åkerstedt, T.; Gillberg, M.: Subjective and objective sleepiness in the active individual. *International Journal of Neuroscience*, 52, 1990. S. 29-37.
- Baulk, S. D.; Reyner, L. A.; Horne, J. A.: Driver sleepiness: can devices based on reaction time help? In: *Behavioural Research in Road Safety: Twelfth Seminar*. Department for Transport, London, December 2002. S. 149-156.
- Beaumont, M.; Batejat, D.; Pierard, C.; Coste, O.; Doireau, P.; Van Beers, P.; Chauffard, F.; Chassard, D.; Enslin, M.; Denis, J. B.; Lagarde, D.: Slow release caffeine and prolonged (64-h) continuous wakefulness: effects on vigilance and cognitive performance. *Journal of Sleep Research*, 2001, 10. S. 265-276.
- Bekiaris, E.; Nikolaou, S.; Mousadakou, A.: Design guidelines for driver drowsiness detection and avoidance. *AWAKE Deliverable 9.1*. 30.08.2004. http://www.awake-eu.org/pdf/d9_1.pdf , aufgerufen 01.05.2009.
- BMVBS: Straßenverkehrs-Ordnung (StVO). Bundesministeriums für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS), Berlin. 16.11.1970, zuletzt geändert mit Verordnung vom 26.03.2009. http://www.bmvbs.de/Anlage/original_1071635/Strassenverkehrs-Ordnung.pdf , aufgerufen 30.04.2009.
- BMW: Spurverlassenswarnung. BMW 5er Limousine. BMW AG, München. <http://www.bmw.de/de/de/newvehicles/5series/sedan/2007/allfacts/ergonomics/ldw.html> aufgerufen 29.04.2009 a.
- BMW: Handylvorbereitung mit Bluetooth-Schnittstelle. BMW 1er Cabrio. BMW AG, München. <http://www.bmw.de/de/de/newvehicles/1series/convertible/2007/allfacts/equipment/communication.html> , aufgerufen 29.04.2009 b.
- Bortz, J.; Döring, N.: *Forschungsmethoden und Evaluation*, 3. Auflage. Berlin, Heidelberg: Springer, 2002.
- Bortz, J.; Lienert, G.A.: *Kurzgefasste Statistik für die klinische Forschung, Leitfaden für die verteilungsfreie Analyse kleiner Stichproben*, 2. Auflage. Berlin, Heidelberg: Springer, 2003.
- Braun, U.: *AntiBlendLicht*. uwe braun GmbH, 2008. http://www.antiblendlicht.com/wie_funktioniert_abl.html , aufgerufen 15.04.2009.
- Brice, C.; Smith, A.: The effects of caffeine on simulated driving, subjective alertness and sustained attention. *Human Psychopharmacology* 16 (7), 2001. S. 523-531.
- Bronstein, I. N.; Semendjajew, K. A.: *Taschenbuch der Mathematik*. 22. Auflage. Thun, Frankfurt/Main: Verlag Harri Deutsch, 1985.
- Brown, I. D.: Prospects for technological countermeasures against driver fatigue. *Accident Analysis and Prevention*, Vol. 29, No. 4, 1997. S. 525-531.
- Bullinger, H.-J.: *Ergonomie, Produkt- und Arbeitsplatzgestaltung*. Stuttgart: Teubner, 1994.
- Burgess, H.; Sharkey, K.; Eastman, C.: Bright light, dark and Melatonin can promote circadian adaptation in night shift workers. *Sleep Medicine Reviews*, Vol. 6, Iss. 5, 2002. S. 407-420.
- Bühl, A.; Zöfel, P.: *SPSS. Einführung in die moderne Datenanalyse unter Windows*. München: Addison Wesley Verlag, 2000.
- Cajochen, C.: Alerting effects of light. *Sleep Medicine Reviews*, Vol. 11, 2007. S. 453-464.
- Caldwell, J. A.; Caldwell, J. L.; Schmidt, R. M.: Alertness management strategies for operational contexts. *Sleep Medicine Reviews*, Vol. 12, Iss. 4, August 2008, S. 257-273.

- Cassel, W.; Mayer, G.: Unfallrisiko. In: Peter J. H.; Köhler, D.; Knab, B.; Mayer, G.; Penzel, T.; Raschke, F.; Zully, J. (Hrsg.); Deutsche Gesellschaft für Schlafforschung und Schlafmedizin (DGSM): Weißbuch Schlafmedizin. Regensburg: Roderer-Verlag, 1995. S. 71-73.
- Chervin, R. D.; Aldrich, M. S.; Pickett, R.; Guilleminault, C.: Comparison of the results of the Epworth sleepiness scale and the multiple sleep latency test. *Journal of Psychosomatic Research*, Vol. 42, No. 2, 1997. S. 145-155.
- Citroën: Citroën C6. Technik & Sicherheit. Citroën Deutschland AG, 2009.
http://www.citroen.de/CWG/Neuwagen/PKW/C6/CITROEN_C6/Technik_Sicherheit/,
 aufgerufen 03.04.2009.
- Continental: Elektronischer Einschlafwarner gegen den Sekundenschlaf. Hannover, 19.09.2006. <http://www.vdo.de/press/archive/commercialvehicles/2006/sv-200609-005-d.htm>, aufgerufen 01.04.2009.
- Daimler: Attention Assist: Müdigkeitserkennung warnt rechtzeitig vor dem gefährlichen Sekundenschlaf. Daimler AG. TecDay Real Life Safety, Leipzig, 12.11.2008 a.
<http://media.daimler.com/dcmmedia/0-921-614216-49-1147698-1-0-0-0-1-11702-0-0-1-0-0-0-0-0.html?TS=1238742948860>, aufgerufen 01.04.2009.
- Daimler: Attention Assist: Müdigkeitserkennung warnt rechtzeitig vor dem gefährlichen Sekundenschlaf. Daimler AG. 12.11.2008 b.
<http://media.daimler.com/dcmmedia/0-921-614216-49-1148059-1-0-0-0-1-12637-0-0-3842-0-0-0-0-0.html?TS=1238742948860>, aufgerufen 01.04.2009.
- Dangelmaier, M.: Human-Machine Interaction – How to Safely and Effectively Handle Driver Warnings. AWAKE Road Safety Workshop 2004, 29.09.2004, Balocco, Italy.
http://www.awake-eu.org/pdf/des%20_driver_warnings.pdf, aufgerufen 01.05.2009.
- De Valck, E.; De Groot, E.; Cluydts, R.: Effects of slow-release caffeine and a nap on driving simulator performance after partial sleep deprivation. *Percept Mot Skills*, 96 (1), 2003. S. 67-78.
- DGAUM: Nutzung der Herzschlagfrequenz bei arbeitswissenschaftlichen Untersuchungen. Deutsche Gesellschaft für Arbeitsmedizin und Umweltmedizin e.V. (DGAUM), Mai 2000.
<http://www-dgaum.med.uni-rostock.de/leitlinien/herzfrequenz.htm>,
 aufgerufen 08.05.2009.
- Dietrich, U.: Telefonieren beim Autofahren. In: Hecht, K.; König, O.: Emotionaler Stress durch Überforderung und Unterforderung. Berlin, 2001. S. 117-127.
- DLR: DLR-Studie zeigt: Müdigkeit bei innerstädtischen Unfällen wird unterschätzt. Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR). Presse-Information Nr. 38/2002 vom 20.11.2002. http://www.dlr.de/dlr/presse/presseinfo/jahr_2002/pm38_2002.html
- Donges, E.: Experimentelle Untersuchung und regelungstechnische Modellierung des Lenkverhaltens von Kraftfahrern bei simulierter Straßenfahrt (Dissertation). Universität Darmstadt, Fachbereich 19, 1977.
- Düsseldorf: Autobahn A 40, Baustelle bei Neukirchen-Vluyn, Pkw-Fahrer geriet nach Sekundenschlaf in den Gegenverkehr. Bezirksregierung Düsseldorf, Pressemitteilung 124 2006 vom 04.04.2006. http://www.bezreg-duesseldorf.nrw.de/BezRegDdorf/hierarchie/pressemitteilungen/newsarchiv/2006/04April/124_2006.php,
 aufgerufen 18.03.2009.
- EDC: Building Bridges, Between Traffic Safety and Public Health. Education Development Center, Inc. Volume III, Number 3, 1997. http://www2.edc.org/buildingsafecommunities/buildbridges/bb3.3/BB3_3.pdf, aufgerufen 01.05.2009.

- Fiala, E.: Mensch und Fahrzeug. Fahrzeugführung und sanfte Technik. Wiesbaden: Vieweg & Sohn, 2006.
- Galley, N.: Traffic relevant behaviour monitored by the elektrooculogram (EOG) as a psychophysical measuring instrument. In: Gale, A. G. (Hrsg.): Vision in vehicles – IV. Amsterdam, London, New York, Tokyo: North-Holland, 1993. S. 189-196.
- Gimeno, P. T.; Cerezuela, G. P.; Montanes, M. C.: On the concept and measurement of driver drowsiness, fatigue and inattention: implications for countermeasures. International Journal of Vehicle Design, Vol. 42, Nos. 1/2, 2006. S. 67-86.
- Graf, O.: Begriff der Leistungsbereitschaft. Zbl. Arbeitswissenschaft 8, 1954. S. 141-144.
- Grandjean, E.: Physiologische Arbeitsgestaltung, Leitfaden der Ergonomie. Thun: Ott Verlag, 1979.
- Griefahn, B.: Perspektiven zur Gestaltung von Nachtarbeit durch Licht und Melatonin. Arbeitsmed. Sozialmed. Umweltmed. 38, 12, 2003. S. 617-621.
- Grimm, H. G.; Vollmer, G. R.: Personalführung. In: Förtschler; Hümer; Rössle; Stark (Hrsg.): Führungswissen für kleine und mittlere Unternehmen. Bad Wörishofen: Hans Holzmann Verlag, 2002.
- Hagenmeyer, L.: Development of a Multimodal, Universal Human-Machine-Interface for Hypovigilance-Management-Systems. Heimsheim: Jost Jetter Verlag, 2007.
- Hargutt, V.: Grundlagen des Verkehrsverhalten. Manuskript zur Vorlesung Einführung in die Verkehrspsychologie. Lehrstuhl für Psychologie III an der Universität Würzburg, 23.10.2001.
- Hargutt, V.: Psychologische Aspekte der Fahrtüchtigkeit, „Ermüdung“. Manuskript zum Seminar Verkehrspsychologie. Lehrstuhl für Psychologie III an der Universität Würzburg, 10.07.2003.
- Hargutt, V.: Vigilanzmessung in der Anwendung – Möglichkeiten und Grenzen. www.zmms.tu-berlin.de/de/veranstaltungen/docs/eyes-tea/hargutt.ppt , aufgerufen 28.01.2006.
- Hauß, Y.; Timpe, K.-P.: Automatisierung und Unterstützung im Mensch-Maschine-System. In: Timpe, K.-P.; Jürgensohn, T.; Kolrep, H. (Hrsg.): Mensch-Maschine-Systemtechnik. S. 41-62. Düsseldorf: Symposion Publishing, 2002.
- Heitmann, A.; Guttkuhn, R.; Aguirre, A.; Trutschel, U.; Moore-Ede, M.: Technologies for the monitoring and prevention of driver fatigue. Circadian Technologies, Inc., Lexington, USA, 2001. http://ppc.uiowa.edu/driving-assessment/2001/Summaries/TechSession3/14_AnneHeitmann.pdf , aufgerufen 06.05.2009.
- Hell, W.: Verkannte Unfallursache. Kolloquium des DVR, Koblenz, 25.10.2001. Deutscher Verkehrssicherheitsrat e.V. http://www.dvr.de/site.aspx?url=html/presse/seminare/179_30.htm&qu=Kolloquium+des+DVR , aufgerufen 06.05.2009.
- Hoffmann, H.; Meyer; Grundei; Meier: Experimentelle Nachprüfung der mit einem Fragebogen gewonnenen Ergebnisse von O. und L. Prokop über Ermüdung bei Kraftfahrzeugführern. Zentralblatt für Verkehrsmedizin, Verkehrspsychologie, Luft- und Raumfahrtmedizin, 18. 1972, Heft 2.
- Horne, J. A.; Foster, S. C.: Can exercise overcome sleepiness?. Sleep Research, 24 A, 1995. S. 437.
- Horne J. A.; Reyner L. A.: Driver sleepiness: comparisons of practical countermeasures - caffeine and nap. Psychophysiology, 1996, 33. S. 306-309.
- Horne, J. A.; Reyner, L.A.: Beneficial effects of an „energy drink“ given to sleepy drivers. Amino Acids, Volume 20, Number 1, February 2001 a. S. 83-89.

- Horne, J. A.; Reyner, L.A.: Sleep-related vehicle accidents: some guides for road safety policies. Elsevier, Transportation Research Part F 4, 2001 b. S. 63-74.
- ITI: Fatigue Countermeasures in the Railroad Industry: Past and Current Developments. University of Denver, Intermodal Transportation Institute, 2000.
http://www.du.edu/transportation/TransportationResearchProjects/Fatigue_CH2.html ,
 aufgerufen 06.05.2009.
- Irmischer, M.: Modellierung von Individualität und Motivation im Fahrerverhalten. In: Jürgensohn, T.; Timpe, K.-P. (Hrsg.): Krafffahrzeugführung. S. 119-133. Berlin, Heidelberg, New York: Springer, 2001.
- Johannsen, G.: Mensch-Maschine-Systeme. Berlin: Springer, 1993.
- Joos, M.; Rötting, M.; Velichkovsky, B. M.: Bewegungen des menschlichen Auges: Fakten, Methoden und innovative Anwendungen. <http://rcswww.urz.tu-dresden.de/~cogsci/pdf/joos02.pdf> , erstellt 03.01.2007, aufgerufen 06.05.2009.
- Jürgensohn, T.: Bedienermodellierung. In: Timpe, K.-P.; Jürgensohn, T.; Kolrep, H. (Hrsg.): Mensch-Maschine-Systemtechnik. S. 107-147. Düsseldorf: Symposion Publishing, 2002.
- Jürgensohn, T.; Niessen, C.; Leuchter, S.: Bedienermodellierung: Beispiele. In: Timpe, K.-P.; Jürgensohn, T.; Kolrep, H. (Hrsg.): Mensch-Maschine-Systemtechnik. S. 149-177. Düsseldorf: Symposion Publishing, 2002.
- Jürgensohn, T.; Rose, A.; Kolrep, H.: Veränderung von Kennwerten des EKGs und EOGs durch Müdigkeit beim Autofahren. In: Steffens, C.; Thüring, M.; Urbas, L.: Entwerfen und Gestalten. 5. Berliner Werkstatt Mensch-Maschine-Systeme, 08. - 10.10.2003. Fortschr.-Ber. VDI Reihe 22 Nr.16. Düsseldorf: VDI Verlag, 2004a. S. 273-287.
- Jürgensohn, T.; Seifert, K.; Hohlfeld, A.; Oertel, K.; Rößger, P.: Arbeitskreis 1: Methoden und Systeme der Fahrerzustandserkennung. In: Steffens, C.; Thüring, M.; Urbas, L.: Entwerfen und Gestalten. 5. Berliner Werkstatt Mensch-Maschine-Systeme, 08. - 10.10.2003. Fortschr.-Ber. VDI Reihe 22 Nr.16. Düsseldorf: VDI Verlag, 2004b. S. 400-405.
- Kanal 8: Sekundenschlaf endet mit Unfall. 22.01.2009. <http://www.kanal8.de/default.aspx?ID=4408&showNews=337368> , aufgerufen 17.03.2009.
- Kaneda, M.; Iizuka, H.; Ueno, H.; Hiramatsu, M.; Taguchi, M.; Tsukino, M.: Development of a Drowsiness Warning System. Paper No. 94-S3-O-08. Nissan Motor Co., Ltd., Japan. 1994.
- Karnahl, T.; Karrer, K.; Hilgenstock, J.; Seifert, K.: Auf dem Weg zu einer Müdigkeitswarnung im Auto. In: Steffens, C.; Thüring, M.; Urbas, L.: Entwerfen und Gestalten. 5. Berliner Werkstatt Mensch-Maschine-Systeme, 08. - 10.10.2003. Fortschr.-Ber. VDI Reihe 22, Nr.16. Düsseldorf: VDI Verlag, 2004. S. 288-306.
- Kiegeland, P.: Arbeitsplatz LKW, Ermüdung und Lenkverhalten, ökologische Aspekte, Perspektiven (Habil.). Bonn: Deutscher Psychologen-Verlag, 1997.
- Kramer, U.: Krafffahrzeugführung. Modelle - Simulation - Regelung. München: Carl Hanser, 2008.
- Landström, U.: Alertness-enhancing sound as a measure to prevent driver drowsiness. Vortragsmanuskript. Internationale Motormesse, 18.-26.01.1997, Brüssel.
- Langwieder, K.; Spörner, A.; Hell, W.: Struktur der Unfälle mit Getöteten auf Autobahnen im Freistaat Bayern im Jahr 1991. München: HUK-Verband, 1994.
- Lehmann, W.; Gall, M.: Telefonieren am Steuer bindet Aufmerksamkeit. Zeitschrift für Verkehrssicherheit, 48 (4), 2002. S. 158-161.

- Li, Z.; Jiao, K.; Chen, M.; Wang, C.: Reducing the effects of driving fatigue with magneto-puncture stimulation. *Accident Analysis & Prevention*, Vol. 36, Iss. 4, July 2004. S. 501-505.
- Licht: Munter durch die Nacht. Eine Vigilanzleuchte im Kraftfahrzeug soll für Melatonin-suppression sorgen. http://www.lichtnet.de/licht/archiv/2007/licht07-08/a_tit03.html . 2007, aufgerufen 04.04.2009.
- Lissy, K. S.; Cohen, J. T.; Park, M. Y.; Graham, J. D.: Cellular phone use while driving: risks and benefits. July 2000. <http://www.cellphonefreedriving.ca/media/harvard.pdf> , aufgerufen 06.05.2009.
- Liu, Y.-C.; Wu, T.-J.: Fatigued driver's driving behavior and cognitive task performance: Effects of road environments and road environment changes. *Safety Science*, In Press, Corrected Proof, Available online 14 January 2009.
- Logitech: Logitech Mobile Express Bluetooth Headset. Logitech, 2006. <http://www.logitech.com/index.cfm/home/&cl=de,de> , aufgerufen 23.11.2006.
- Lorist, M. M.; Snel, J.; Kok, A. ; Mulder, G.: Influence of caffeine on selective attention in well-rested and fatigued subjects. *Psychophysiology*, Nov. 1994, 31 (6). S. 525-534.
- Lucidi, F.; Russo, P. M.; Mallia, L.; Devoto, A.; Lauriola, M.; Violani, C.: Sleep-related car crashes: Risk perception and decision-making processes in young drivers. *Accident Analysis & Prevention*, Vol. 38, Iss. 2, March 2006. S. 302-309.
- Luczak, H.: *Arbeitswissenschaft*, 2., vollständig neubearbeitete Auflage. Berlin, Heidelberg: Springer, 1998.
- Mainpost: Unfall auf der A 70: Im Sekundenschlaf auf die Leitplanke. 28.01.2009. <http://www.mainpost.de/lokales/schweinfurt/Unfall-auf-der-A-70-Im-Sekundenschlaf-auf-die-Leitplanke;art763,4952369> , aufgerufen 17.03.2009.
- Marberger, C.: Driver Warning Concept. AWAKE Deliverable 5.1.7. 24.11.2003. http://www.awake-eu.org/pdf/d5_1.pdf , aufgerufen 06.05.2009.
- Marmor, M. F.; Zrenner, E.: Standard for Clinical Electro-oculography. 1993. <http://www.iscev.org/standards/eog.html> , aufgerufen 08.05.2009.
- May, J. F.; Baldwin, C. L.: Driver fatigue: The importance of identifying causal factors of fatigue when considering detection and countermeasure technologies. *Transportation Research Part F* (2009), doi:10.1016/j.trf.2008.11.005 (Article in Press).
- Mednick, S. C.; Cai, D. J.; Kanady, J.; Drummond S. P. A.: Comparing the benefits of caffeine, naps and placebo on verbal, motor and perceptual memory. *Behavioural Brain Research*, Vol. 193, Iss. 1, 3 November 2008. S. 79-86.
- Mercedes-Benz: Comand APS. Daimler AG, Stuttgart. Mercedes-Benz, A-Klasse. 2009. http://www.mercedes-benz.de/content/germany/mpc/mpc_germany_website/de/home_mpc/passengercars/home/new_cars/models/a-class/_169/overview/comfort.0005.html , aufgerufen 29.04.2009.
- Mobileye: Volvo Cars Introduces New systems for Alerting Tired and Unconcentrated Drivers. Mobileye N.V., Niederlande. September 2007. <http://www.mobileye.com/default.asp?PageID=10&ItemID=805> , aufgerufen 08.05.2009.
- Mulgrew, A.T.; Nasvadi, G.; Butt, A.; Cheema, R.; Fox, N.; Fleetham, J. A.; Ryan, C. F.; Cooper, P.; Ayas, N. T.: Risk and severity of motor vehicle crashes in patients with obstructive sleep apnoea/hypopnoea. *Thorax* 63(6), June 2008. S. 536-541.
- Muttray, A.; Hagenmeyer, L.; Unold, B.; du Prel, J.-B.; Geißler, B.: Videoanalyse der Schläfrigkeit von Fahrern. *Zeitschrift für Arbeitswissenschaft*, Ausg. 4, 2007.

- Neri, D. F.; Oyung, R. L.; Colletti, L. M.; Mallis, M. M.; Tam, P. T.; Dinges, D. F.: Controlled breaks as a fatigue countermeasure on the flight deck. *Aviation, space and environmental medicine*, Vol. 73, No. 7, Juli 2002. S. 654-664.
- Nibel, H.: *Augenermüdung und Beanspruchung, Untersuchungen mit Augensymptomtagebüchern, Messung der Augenbewegungen und der Lidschlaghäufigkeit bei visuell belastenden Arbeiten*. Bern, Berlin, Frankfurt a.M., New York, Paris, Wien: Lang, 1995.
- Nitsch, J.: *Theorie und Skalierung der Ermüdung. Eine Studie zum Beanspruchungsproblem (Dissertation)*. Philosophische Fakultät der Technischen Universität Berlin, 1971.
- Nguyen, L. T.; Jauregui, B.; Dinges, D. F.: Changing Behaviours to Prevent Drowsy Driving and Promote Traffic Safety: Review of Proven, Promising, and Unproven Techniques. 20.08.1998. <http://www.aaafoundation.org/projects/index.cfm?button=drowsyfinalreport>
- Nordbakke, S.; Sagberg, F.: Sleepy at the wheel: Knowledge, symptoms and behaviour among car drivers. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*. Vol. 10, Iss. 1, January 2007. S. 1-10.
- Oron-Gilad, T.; Shinar, D.: Driver fatigue among military truck drivers. *Elsevier, Transportation Research Part F 3*, 2000. S. 195-209.
- Pack, A. I.; Pack, A. M.; Rodgman, E.; Cucchiara, A.; Dinges, D. F.; Schwab, C. W.: Characteristics of crashes attributed to the driver having fallen asleep. *Accident Analysis and Prevention*, Vol. 27, Iss. 6, December 1995. S. 769-775.
- Peter J. H.; Köhler, D.; Knab, B.; Mayer, G.; Penzel, T.; Raschke, F.; Zulley, J. (Hrsg.): *Weißbuch Schlafmedizin*. Regensburg: Roderer-Verlag, 1995.
- Peters, B.; Anund, A.: Preliminary Pilot Plans. AWAKE Deliverable 7.1. 28.01.2003. http://www.awake-eu.org/pdf/d7_1.pdf , aufgerufen 08.05.2009.
- Philip, P.; Taillard, J.; Moore, N.; Delord, S.; Valtat, C.; Sagaspe, P. et al.: The effects of coffee and napping on nighttime highway driving. *Annals of Internal Medicine*, 144, 2006. S. 785–791.
- Polar: *Produktkatalog*. Polar Electro GmbH Deutschland, Büttelborn. 2003.
- Polizei: 15.000 Euro Sachschaden nach Sekundenschlaf. *Polizei Brandenburg*, 27.02.2009. <http://www.internetwache.brandenburg.de/sixcms/detail.php?id=845199> , aufgerufen 08.05.2009.
- Popp, R. F. J.: *Gegenmaßnahmen bei Schläfrigkeit: Der Effekt von kurzweiligem Licht und olfaktorischer Stimulation*. Dissertation. Regensburg, Juni 2005.
- Rakauskas, M. E.; Ward, N. J.; Boer, E. R.; Bernat, E. M.; Cadwallader, M.; Patrick C. J.: Combined effects of alcohol and distraction on driving performance. *Accident Analysis & Prevention*, Vol. 40, Iss. 5, September 2008. S. 1742-1749.
- Redelmeier, D. A.; Tibshirani, R. J.: Association between Cellular-Telephone Calls and Motor Vehicle Collisions. *The New England Journal of Medicine*, February 13, 1997, 336 (7). S. 453-458.
- Redelmeier, D. A.; Tibshirani, R. J.: Car phones and car crashes: some popular misconceptions. *Can Med Assoc J* 164, 2001. S. 1581-1582.
- Reyner, L. A.; Horne, J.A.: Caffeine (200 mg) as a countermeasure to early morning driver sleepiness after nil or restricted sleep. *Psychophysiology*, 37, 2000. S. 1-6.
- Reyner, L. A.; Horne, J.A.: Evaluation of "In-Car" Countermeasures to Sleepiness: Cold Air and Radio. *Sleep*. Vol. 21, No. 1, 1998. S. 46-51.
- Reyner, L. A.; Horne, J.A.: Suppression of sleepiness in drivers: Combination of caffeine with a short nap. *Psychophysiology*, 34, 1997. S. 721-725.

- Rogé, J.; Pébayle, T.; El Hannachi, S.; Muzet, A.: Effect of sleep deprivation and driving duration on the useful visual field in younger and older subjects during simulator driving. *Elsevier, Vision Research* 43, 2003. S. 1465-1472.
- Rosekind, M. R.; Smith, R. M.; Miller, D. L.; Co, E. L.; Gregory, K. B.; Webbon, L. L.; Gander, P. H.; Lebacqz, J. V.: Alertness management: strategic naps in operational settings. *Journal of Sleep Research*, Dez. 1995, 4 (S. 2). S. 62-66.
- Salvucci, D. D.: Integrated Models of Driver Behavior. In: Gray, W. D. (Hrsg.): *Integrated Models of Cognitive Systems*. New York: Oxford University Press, 2007.
- Spath, D.: Der Mensch im Arbeitssystem. Umdruck zur Vorlesung Arbeitswissenschaft I, 08.11.2004a. IAT, Universität Stuttgart.
- Spath, D.: Der Mensch im Arbeitssystem. Umdruck zur Vorlesung Arbeitswissenschaft I, 15.11.2004b. IAT, Universität Stuttgart.
- Spath, D.: Arbeitsumgebungsgestaltung. Umdruck zur Vorlesung Arbeitswissenschaft I, 14.02.2005. IAT, Universität Stuttgart.
- Spath, D.; Braun, M.; Grunewald, P.: Gesundheits- und leistungsförderliche Gestaltung geistiger Arbeit. Bielefeld: Schmidt, 2004.
- Spath, D.; Bues, M.; Braun, M.; Stefani, O.: LightFusion – Neue Ansätze für Licht und Display am Arbeitsplatz. In: Scholz-Reiter, B. (Hrsg.): *Technologiegetriebene Veränderungen der Arbeitswelt*. Berlin: GITO-Verlag, 2008. S. 79-95.
- Spintge, R.: Musik in Anaesthesie und Schmerztherapie. *Anästhesiol., Intensivmed., Notfallmed., Schmerzther.* 2000, 35. S. 254-261. <http://www.sportkrankenhaus.de/Artikel/schmerz.htm> , aufgerufen 08.05.2009.
- Stoohs, R. A.: Ein Beitrag zu mehr Sicherheit im Straßenverkehr. Zentrum für Schlafmedizin und Schlafstörungen Dortmund, 1997. <http://www.somnolab.de/pdfs/aufwach.pdf>
- Süddeutsche: Innenbeleuchtung als Wachmacher. Mit Blaulicht durch die Dunkelheit. *sueddeutsche.de*. 20.05.2008. <http://www.sueddeutsche.de/automobil/930/442670/text/3/> , aufgerufen 03.04.2009.
- Thiffault, P.; Bergeron, J.: Fatigue and individual differences in monotonous simulated driving. *Personality and Individual Differences*, Vol. 34, No. 1, January 2003. S. 159-176. (2003a).
- Thiffault, P.; Bergeron, J.: Monotony of road environment and driver fatigue: a simulator study. *Accident Analysis and Prevention*, Vol. 35, Iss. 3, 2003. S. 381-391. (2003b).
- Torii, S.: The Soporific and Awakening Effects of Scents. *Fragrance Journal*, No. 86, 1987. S. 21-24.
- Van Wees, K.; Brookhuis, K.; De Waard, D.: Recommendations to Authorities & the Industry. *AWAKE Deliverable 9.3*. 15.09.2004. http://www.awake-eu.org/pdf/d9_3.pdf , aufgerufen 08.05.2009.
- Violanti, J. M.; Marshall, J. R.: Cellular phones and traffic accidents: an epidemiological approach. *Accident Analysis and Prevention*, 28 (2), March 1996. S. 265-270.
- Volvo: Driver Alert Control (DAC). Volvo XC 60. <http://www.volvocars.com/intl/All-Cars/Volvo-XC60/Pages/FeaturesEquipment.aspx> , aufgerufen 08.05.2009.
- Vox: Beleuchtung als Wachmacher: Blau wirkt am besten. *Vox.de*. http://www.vox.de/artikel/27462/27462_30360_1198905.php , aufgerufen 08.04.2009.
- Weeß, H.-G.: Leistungserfassung beim obstruktiven Schlaf-Apnoe-Syndrom. Aufmerksamkeitsbezogene Einschränkungen und deren Reversibilität. Regensburg: Roderer-Verlag, 1996.

- Weeß, H.-G.; Lund, R.; Gresele, Ch.; Böhning, W.; Sauter, C.; Steinberg, R. und Arbeitsgruppe Vigilanz der DGSM: Die Messung müdigkeitsbezogener Prozesse bei Hypersomnien. Theoretische Grundlagen. http://www.charite.de/dgsm/dgsm_alt/ger/vigil1.pdf , erstellt 10.08.2001, aufgerufen 08.05.2009.
- Westkämper, E.: Einführung in die Organisation der Produktion. Berlin, Heidelberg: Springer, 2006.
- Westkämper, E.; Zahn, E. (Hrsg): Wandlungsfähige Produktionsunternehmen. Berlin, Heidelberg: Springer, 2009.
- Wiemers, S.: Munter durch die Nacht. Eine Vigilanzleuchte im Kraftfahrzeug soll für Melatonin-suppression sorgen. Licht, 07-08/2007.
- Wierwille, W. W.; Ellsworth, L. A.: Evaluation of driver drowsiness by trained raters. Accident Analysis and Prevention, Vol. 26, No. 5, 1994. S. 571-581.
- Wilhelm, B.; Weeß, H.-G.; Lütke, H.: Todmüde am Steuer – Pupillo-graphie entlarvt Schläfrigkeit. 2004. <http://www.stz-biomed.de/download/deggendorf.pdf> , aufgerufen 08.05.2009.
- Wilhelm, B. J.; Widmann, A.; Durst, W.; Heine, C.; Otto, G.: Objective and quantitative analysis of daytime sleepiness in physicians after night duties. International Journal of Psychophysiology, In Press, Accepted Manuscript, Available online 6 February 2009.
- Zulley, J.: Chronobiologie, Bedeutung der biologischen Rhythmen. In: Peter J. H.; Köhler, D.; Knab, B.; Mayer, G.; Penzel, T.; Raschke, F.; Zulley, J. (Hrsg.): Weißbuch Schlafmedizin. Regensburg: Roderer-Verlag, 1995. S. 41-43.

Anhang

Tabelle 18: Bewertung ausgewählter Fahrsituationen hinsichtlich ihrer Wirkungen auf Schläfrigkeit (283 befragte Experten; Nguyen et al., 1998)

Für die Bewertung wurde die folgende Skala benutzt:

- 1 = **Definitely** would **increase** drowsiness
- 2 = **Probably** would **increase** drowsiness
- 3 = **No Effect**
- 4 = **Probably** would **decrease** drowsiness
- 5 = **Definitely** would **decrease** drowsiness

Rank	Driving context	Mean
1	Driving while being in a hurry to get to an appointment	4.17
2	Driving while having to go to the bathroom	4.16
3	Driving in high winds (30-40 m.p.h.)	3.92
4	Driving on a bumpy road	3.92
5	Driving with heavy traffic	3.92
6	Driving on an unfamiliar route	3.92
7	Driving on a highway with road construction underway	3.86
8	Driving on a winding road	3.84
9	Driving in a snow storm	3.77
10	Driving a vehicle that needs brake repair	3.75
11	Driving while emotionally upset	3.74
12	Driving in a heavy rain storm	3.69
13	Driving with moderate traffic	3.32
14	Driving on a non-divided highway	3.28
15	Driving on a 2-lane rural highway	3.11
16	Driving on an overcast day	2.66
17	Driving on a divided highway	2.58
18	Driving with a broken radio	2.56
19	Driving on a humid day	2.47
20	Driving at night, before midnight	2.28
21	Driving in darkness	2.18
22	Driving on a straight road	2.15
23	Driving with little or no other traffic	2.15
24	Driving after having 1-2 beers or glasses of wine	1.67
25	Driving at night, after midnight	1.38
26	Driving after having 3-4 beers or glasses of wine	1.20

Informationen für Versuchspersonen zur Vorbereitung auf die Versuche im Fahrsimulator

Die Versuche dienen zur Bewertung von Maßnahmen gegen Müdigkeit.

Aufgabe

Sie sollen während des Fahrversuchs im Fahrsimulator so fahren wie im Straßenverkehr sonst auch und dabei versuchen nicht einzuschlafen. Die Aufgabe besteht darin, mit steigender Müdigkeit weiterzufahren und dabei ca. alle 10 Min. eine Einschätzung der eigenen Müdigkeit anhand einer Skala abzugeben. Die Skala ist umseitig abgebildet. Bitte machen Sie sich mit dieser schon vor dem Versuch vertraut.

Es geht bei den Versuchen **nicht** um Ihre Fahrfähigkeit, sondern um die Bewertung von Maßnahmen gegen Müdigkeit.

Am Tag vor den Versuchen:

- spätestens um 9 Uhr aufstehen
- tagsüber nicht schlafen
- nach 18 Uhr **kein** Kaffee, schwarzer/grüner Tee, Kola-Getränke, Energy-Getränke trinken
- bei Verhinderung (z.B. durch Krankheit) bitte möglichst frühzeitig absagen

In der Nacht vor den Versuchen:

- **nicht schlafen**
- **kein** Kaffee, schwarzer/grüner Tee, Kola-Getränke, Energy-Getränke trinken
- kein Alkohol

Am Versuchstag:

- Frühstück, falls man möchte. Aber: **kein** Kaffee, schwarzer/grüner Tee, Kola-Getränke, Energy-Getränke (Alternativen: z.B. Früchtetee, Milch, Saft)
- Fahrt zum IAT: **nicht selbst fahren** (Gefahr des Einschlafens). Also ÖPNV oder Fahren lassen.
- Falls man nachts einschläft oder nachts/morgens Kaffee etc. getrunken wird, bitte ehrlich sagen. Dann wird der Versuch eben verschoben.
- Versuchszeit: ca. 7 - 8 Uhr
- Während der Versuchsfahrt sollte man nichts essen. Also ggf. frühstücken oder etwas zum Essen mitbringen und dieses direkt vor der Versuchsfahrt essen.
- Der Versuch kann jederzeit abgebrochen werden, falls Krankheit / Unwohlsein eintritt.
- Heimfahrt wiederum **nicht selbst fahren**. Dann ist man erst recht müde.

Risiken

Bei Fahrversuch im Fahrsimulator kann es in seltenen Fällen zu Unwohlsein oder Schwindel kommen. In diesen Fällen kann der Versuch abgebrochen werden.

Personen, die einer der folgenden Gruppen angehören, sollten nicht am Versuch teilnehmen:

- Personen mit Erkrankungen des Gleichgewichtsorgans
- Personen mit Herzrhythmusstörungen / schweren Herzerkrankungen
- Epileptiker
- Personen mit Psychosen
- Personen mit Migräne
- Schwangere
- Personen, die stark blutdrucksenkende Medikamente einnehmen

Abbildung 35: Informationsblatt für Versuchspersonen, Seite 1

Subjektive Skala von Müdigkeit



1. extrem wach
2. sehr wach
3. wach
4. eher wach
5. weder wach noch müde
6. Anzeichen von Müdigkeit
7. müde, **keine** Anstrengung, wach zu bleichen
8. müde, **etwas** Anstrengung, wach zu bleichen
9. sehr müde, **große** Anstrengung, wach zu bleichen

Telefonische Erreichbarkeit:

Uwe Greschner

Büro: 0711/970-22 47

Fahrsimulator: 0711/970-20 57

Erklärung am Versuchstag:

Ich nehme freiwillig am Versuch teil und habe umseitige Anweisungen befolgt. Insbesondere bin ich nicht selbst als Fahrzeugführer zum IAO gefahren und fahre auch nicht selbst zurück.
Ich gehöre keiner der umseitig genannten Risikogruppen an.

Name

Datum

Unterschrift

Abbildung 36: Informationsblatt für Versuchspersonen, Seite 2

Tabelle 19: Potenzielle Indikatoren für Schläfrigkeit beim Autofahren

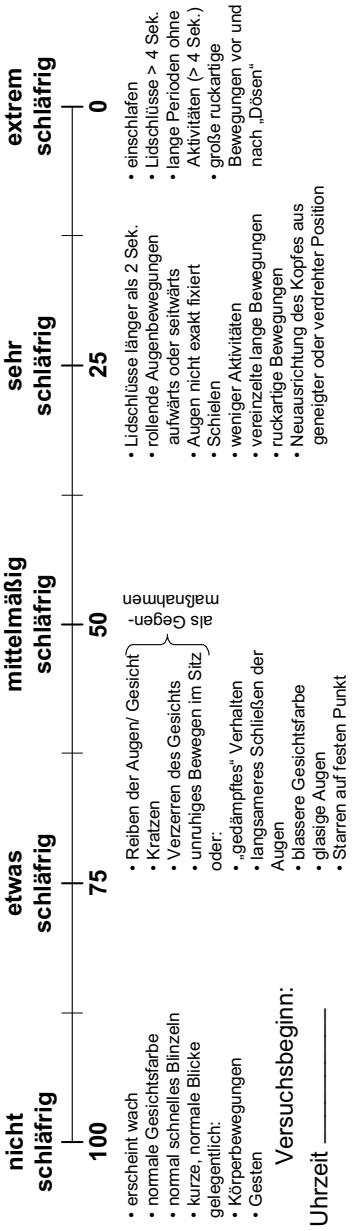
Messgröße	Erläuterung
Physiologische Daten des Fahrers:	
Blickrichtung	
Gehirnströme	Messung mit EEG
Hautwiderstand	
Herzfrequenz	Messung mit EKG oder Herzfrequenzmessgerät (vgl. DGAUM, 2000; Jürgensohn et al., 2004a; Li et al., 2004)
Herzfrequenzvariabilität	Messung mit EKG oder Herzfrequenzmessgerät (vgl. Jürgensohn et al., 2004a; Li et al., 2004)
LF/HF-Wert	Herzparameter, Messung mit EKG oder Herzfrequenzmessgerät (vgl. Jürgensohn et al., 2004a)
Kopfhaltung	
Körperhaltung	
Augenlidschlag	Messung durch Beobachtung oder mit EOG (vgl. Jürgensohn et al., 2004a)
Pulsfrequenz	
Bediendaten:	
Bremspedalstellung	
Gaspedalstellung	
Lenkradstellung	Lenkwinkel und dessen 1. Ableitung (vgl. Kiegeland, 1997)
Greifkraft am Lenkrad	
Nebenaufgaben	vgl. Hargutt, 2006
Subjektive Bewertungen:	
Subjektive Schläfrigkeit	Selbstbewertung der Schläfrigkeit durch den Fahrer (vgl. Chervin et al., 1997; Hargutt, 2003)
Schläfrigkeit	Bewertung der Schläfrigkeit durch einen Beobachter anhand Gesichtsausdruck/Mimik (vgl. Wierwille & Ellsworth, 1994)
Fahrzeugdaten:	
Fahrgeschwindigkeit	
Abstand zu vorausfahrendem Fahrzeug	
Lateralposition des Fahrz.	Querposition auf der Fahrbahn (vgl. Hargutt, 2003)
Fahrfehler	z.B. Verlassen der Fahrbahn (vgl. Hargutt, 2003; Pack et al., 1995)

Tabelle 20: Auswertebogen für die maximale Lidschlussdauer in Zeitabschnitten

Uhrzeit								Bemerkung
6:30	bis 0,5	0,5 - 1,0	1,0 - 1,5	1,5 - 2,0	2,0 - 2,5	2,5 - 3,0		
6:31	bis 0,5	0,5 - 1,0	1,0 - 1,5	1,5 - 2,0	2,0 - 2,5	2,5 - 3,0		
6:32	bis 0,5	0,5 - 1,0	1,0 - 1,5	1,5 - 2,0	2,0 - 2,5	2,5 - 3,0		
6:33	bis 0,5	0,5 - 1,0	1,0 - 1,5	1,5 - 2,0	2,0 - 2,5	2,5 - 3,0		
6:34	bis 0,5	0,5 - 1,0	1,0 - 1,5	1,5 - 2,0	2,0 - 2,5	2,5 - 3,0		
6:35	bis 0,5	0,5 - 1,0	1,0 - 1,5	1,5 - 2,0	2,0 - 2,5	2,5 - 3,0		
6:36	bis 0,5	0,5 - 1,0	1,0 - 1,5	1,5 - 2,0	2,0 - 2,5	2,5 - 3,0		
6:37	bis 0,5	0,5 - 1,0	1,0 - 1,5	1,5 - 2,0	2,0 - 2,5	2,5 - 3,0		
6:38	bis 0,5	0,5 - 1,0	1,0 - 1,5	1,5 - 2,0	2,0 - 2,5	2,5 - 3,0		
6:39	bis 0,5	0,5 - 1,0	1,0 - 1,5	1,5 - 2,0	2,0 - 2,5	2,5 - 3,0		
6:40	bis 0,5	0,5 - 1,0	1,0 - 1,5	1,5 - 2,0	2,0 - 2,5	2,5 - 3,0		
6:41	bis 0,5	0,5 - 1,0	1,0 - 1,5	1,5 - 2,0	2,0 - 2,5	2,5 - 3,0		
6:42	bis 0,5	0,5 - 1,0	1,0 - 1,5	1,5 - 2,0	2,0 - 2,5	2,5 - 3,0		
6:43	bis 0,5	0,5 - 1,0	1,0 - 1,5	1,5 - 2,0	2,0 - 2,5	2,5 - 3,0		
6:44	bis 0,5	0,5 - 1,0	1,0 - 1,5	1,5 - 2,0	2,0 - 2,5	2,5 - 3,0		
6:45	bis 0,5	0,5 - 1,0	1,0 - 1,5	1,5 - 2,0	2,0 - 2,5	2,5 - 3,0		
6:46	bis 0,5	0,5 - 1,0	1,0 - 1,5	1,5 - 2,0	2,0 - 2,5	2,5 - 3,0		
6:47	bis 0,5	0,5 - 1,0	1,0 - 1,5	1,5 - 2,0	2,0 - 2,5	2,5 - 3,0		
6:48	bis 0,5	0,5 - 1,0	1,0 - 1,5	1,5 - 2,0	2,0 - 2,5	2,5 - 3,0		
6:49	bis 0,5	0,5 - 1,0	1,0 - 1,5	1,5 - 2,0	2,0 - 2,5	2,5 - 3,0		
6:50	bis 0,5	0,5 - 1,0	1,0 - 1,5	1,5 - 2,0	2,0 - 2,5	2,5 - 3,0		
6:51	bis 0,5	0,5 - 1,0	1,0 - 1,5	1,5 - 2,0	2,0 - 2,5	2,5 - 3,0		
6:52	bis 0,5	0,5 - 1,0	1,0 - 1,5	1,5 - 2,0	2,0 - 2,5	2,5 - 3,0		
6:53	bis 0,5	0,5 - 1,0	1,0 - 1,5	1,5 - 2,0	2,0 - 2,5	2,5 - 3,0		
6:54	bis 0,5	0,5 - 1,0	1,0 - 1,5	1,5 - 2,0	2,0 - 2,5	2,5 - 3,0		
6:55	bis 0,5	0,5 - 1,0	1,0 - 1,5	1,5 - 2,0	2,0 - 2,5	2,5 - 3,0		
6:56	bis 0,5	0,5 - 1,0	1,0 - 1,5	1,5 - 2,0	2,0 - 2,5	2,5 - 3,0		
6:57	bis 0,5	0,5 - 1,0	1,0 - 1,5	1,5 - 2,0	2,0 - 2,5	2,5 - 3,0		
6:58	bis 0,5	0,5 - 1,0	1,0 - 1,5	1,5 - 2,0	2,0 - 2,5	2,5 - 3,0		
6:59	bis 0,5	0,5 - 1,0	1,0 - 1,5	1,5 - 2,0	2,0 - 2,5	2,5 - 3,0		
7:00	bis 0,5	0,5 - 1,0	1,0 - 1,5	1,5 - 2,0	2,0 - 2,5	2,5 - 3,0		
7:01	bis 0,5	0,5 - 1,0	1,0 - 1,5	1,5 - 2,0	2,0 - 2,5	2,5 - 3,0		
7:02	bis 0,5	0,5 - 1,0	1,0 - 1,5	1,5 - 2,0	2,0 - 2,5	2,5 - 3,0		
7:03	bis 0,5	0,5 - 1,0	1,0 - 1,5	1,5 - 2,0	2,0 - 2,5	2,5 - 3,0		
7:04	bis 0,5	0,5 - 1,0	1,0 - 1,5	1,5 - 2,0	2,0 - 2,5	2,5 - 3,0		
7:05	bis 0,5	0,5 - 1,0	1,0 - 1,5	1,5 - 2,0	2,0 - 2,5	2,5 - 3,0		

Bewertungsbogen für Schläfrigkeit

Maßnahme: _____ Datum: _____ Versuchsperson: _____



Versuchsbeginn: _____

Uhrzeit _____

Abbildung 37: Bewertungsbogen für Schläfrigkeit (vgl. Wierwille & Ellsworth, 1994)

Fragebogen zur Erprobung von Maßnahmen gegen Schläfrigkeit

Name (freiwillige Angabe): _____

Alter: _____ Beruf: _____ männlich weiblich

Erprobte Maßnahme gegen Müdigkeit: _____

Datum: _____ Uhrzeit der Versuche: _____

Fragen:

Glauben Sie, dass Sie durch die erprobte Maßnahme wieder wacher geworden sind?

ja, wesentlich ja, etwas weiß nicht nein ich bin dadurch müder geworden

Falls ja, wie schnell hat die Wirkung eingesetzt?

sofort nach wenigen Minuten nur langsam

Falls die Maßnahme gewirkt hat, wie dauerhaft war die Wirkung?

nur einen Augenblick nur wenige Minuten 15 Min. mehr als 30 Min. dauerhaft

Sind Sie durch die Maßnahme vom Fahren abgelenkt worden?

ja, sehr ja, etwas weiß nicht nein

Würden Sie diese Maßnahme nutzen, wenn sie in Ihrem eigenen Auto eingebaut wäre?

ja vielleicht nein

Angenommen, Sie würden sich ein neues Auto für 25.000 € kaufen.
Wie viel würden Sie für ein solches Gerät ausgeben?

gar nichts 100 € 250 € 500 € 800 €

Haben Sie Vorschläge zur Verbesserung der erprobten Maßnahme?

Bemerkung:

Abbildung 38: Fragebogen zur Erprobung von Maßnahmen gegen Schläfrigkeit

Fragebogen zur Erprobung von Maßnahmen gegen Schläfrigkeit - Telefongespräch -

Name (freiwillige Angabe): _____

Alter: _____ Beruf: _____ männlich weiblich

Erprobte Maßnahme gegen Müdigkeit: Telefongespräch

Datum: _____ Uhrzeit der Versuche: _____

Fragen:

Glauben Sie, dass Sie durch die erprobte Maßnahme wieder wacher geworden sind?

ja, wesentlich ja, etwas weiß nicht nein ich bin dadurch müder geworden

Falls ja, wie schnell hat die Wirkung eingesetzt?

sofort nach wenigen Minuten nur langsam

Falls die Maßnahme gewirkt hat, wie dauerhaft war die Wirkung?

nur einen Augenblick nur wenige Minuten 15 Min. mehr als 30 Min. dauerhaft

Wie hat das Telefongespräch auf Sie gewirkt?

aufregend interessant unterhaltsam langweilig einschläfernd

Sind Sie durch die Maßnahme vom Fahren abgelenkt worden?

ja, sehr ja, etwas weiß nicht nein

Würden Sie diese Maßnahme nutzen, wenn sie in Ihrem eigenen Auto eingebaut wäre?

ja vielleicht nein

Angenommen, Sie würden sich ein neues Auto für 25.000 € kaufen.
Wie viel würden Sie für ein solches Gerät ausgeben?

gar nichts 100 € 250 € 500 € 800 €

Haben Sie Vorschläge zur Verbesserung der erprobten Maßnahme?

Bemerkung:

Abbildung 39: Fragebogen zur Erprobung von Telefongesprächen als Maßnahme gegen Schläfrigkeit

Fragebogen zur Erprobung von Maßnahmen gegen Schläfrigkeit - Telefongespräch -

Name (freiwillige Angabe): _____

Alter: 24 Beruf: Student männlich weiblich

Erprobte Maßnahme gegen Müdigkeit: Telefongespräch

Datum: _ _ _ _ Uhrzeit der Versuche: 6.45 – 8.11 Uhr

Fragen:

Glauben Sie, dass Sie durch die erprobte Maßnahme wieder wacher geworden sind?

ja, wesentlich ja, etwas weiß nicht nein ich bin dadurch müder geworden

Falls ja, wie schnell hat die Wirkung eingesetzt?

sofort nach wenigen Minuten nur langsam

Falls die Maßnahme gewirkt hat, wie dauerhaft war die Wirkung?

nur einen Augenblick nur wenige Minuten 15 Min. mehr als 30 Min. dauerhaft

Wie hat das Telefongespräch auf Sie gewirkt?

aufregend interessant unterhaltsam langweilig einschläfernd

Sind Sie durch die Maßnahme vom Fahren abgelenkt worden?

ja, sehr ja, etwas weiß nicht nein

Würden Sie diese Maßnahme nutzen, wenn sie in Ihrem eigenen Auto eingebaut wäre?

ja vielleicht nein

Angenommen, Sie würden sich ein neues Auto für 25.000 € kaufen.
Wie viel würden Sie für ein solches Gerät ausgeben?

gar nichts 100 € 250 € 500 € 800 €

Haben Sie Vorschläge zur Verbesserung der erprobten Maßnahme?

Bemerkung:

Abbildung 40: ausgefüllter Fragebogen zu Versuch 1

Fragebogen zur Erprobung von Maßnahmen gegen Schläfrigkeit - Telefongespräch -

Name (freiwillige Angabe): _____

Alter: 23 Beruf: Student männlich weiblich

Erprobte Maßnahme gegen Müdigkeit: Telefongespräch

Datum: __ Uhrzeit der Versuche: 6.15 – 7.00 Uhr

Fragen:

Glauben Sie, dass Sie durch die erprobte Maßnahme wieder wacher geworden sind?

ja, wesentlich ja, etwas weiß nicht nein ich bin dadurch müder geworden

Falls ja, wie schnell hat die Wirkung eingesetzt?

sofort nach wenigen Minuten nur langsam

Falls die Maßnahme gewirkt hat, wie dauerhaft war die Wirkung?

nur einen Augenblick nur wenige Minuten 15 Min. mehr als 30 Min. dauerhaft

Wie hat das Telefongespräch auf Sie gewirkt?

aufregend interessant unterhaltsam langweilig einschläfernd

Sind Sie durch die Maßnahme vom Fahren abgelenkt worden?

ja, sehr ja, etwas weiß nicht nein

Würden Sie diese Maßnahme nutzen, wenn sie in Ihrem eigenen Auto eingebaut wäre?

ja vielleicht nein

Angenommen, Sie würden sich ein neues Auto für 25.000 € kaufen.

Wie viel würden Sie für ein solches Gerät ausgeben?

gar nichts 100 € 250 € 500 € 800 €

Haben Sie Vorschläge zur Verbesserung der erprobten Maßnahme?

Verständlichkeit

Bemerkung:

Abbildung 41: ausgefüllter Fragebogen zu Versuch 2

Fragebogen zur Erprobung von Maßnahmen gegen Schläfrigkeit - Telefongespräch -

Name (freiwillige Angabe): _____

Alter: 25 Beruf: Student männlich weiblich

Erprobte Maßnahme gegen Müdigkeit: Telefongespräch

Datum: . Uhrzeit der Versuche: 8.00 – 9.00 Uhr

Fragen:

Glauben Sie, dass Sie durch die erprobte Maßnahme wieder wacher geworden sind?

ja, wesentlich ja, etwas weiß nicht nein ich bin dadurch müder geworden

Falls ja, wie schnell hat die Wirkung eingesetzt?

sofort nach wenigen Minuten nur langsam

Falls die Maßnahme gewirkt hat, wie dauerhaft war die Wirkung?

nur einen Augenblick nur wenige Minuten 15 Min. mehr als 30 Min. dauerhaft

Wie hat das Telefongespräch auf Sie gewirkt?

aufregend interessant unterhaltsam langweilig einschläfernd

Sind Sie durch die Maßnahme vom Fahren abgelenkt worden?

ja, sehr ja, etwas weiß nicht nein

Würden Sie diese Maßnahme nutzen, wenn sie in Ihrem eigenen Auto eingebaut wäre?

ja vielleicht nein

Angenommen, Sie würden sich ein neues Auto für 25.000 € kaufen.
Wie viel würden Sie für ein solches Gerät ausgeben?

gar nichts 100 € 250 € 500 € 800 €

Haben Sie Vorschläge zur Verbesserung der erprobten Maßnahme?

Lidschlagsensor aussagekräftiger als Herzfrequenz?

Bemerkung:

Abbildung 42: ausgefüllter Fragebogen zu Versuch 3

Tabelle 21: Durchgeführte Versuche

Versuchsperson	Intervention					
	Telefonat	Radio	Taste	Vibration Gurt	ohne Intervention	
VP 1	V3 - 1	V7 - 2	V8 - 3	V46 - 5	V43 - 4	
VP 2	V16 - 5	V5 - 1	V10 - 2	V15 - 4	V11 - 3	
VP 3	V17 - 5	V6 - 1	V9 - 2	V14 - 4	V12 - 3	
VP 4	V1 - 1	V4 - 2	V13 - 3	V35 - 5	V31 - 4	
VP 5	V33 - 4	V29 - 3	V18 - 1	V40 - 5	V21 - 2	
VP 6	V30 - 3	V34 - 5	V32 - 4	V22 - 1	V28 - 2	
VP 7	V25 - 3	V27 - 5	V26 - 4	V24 - 2	V23 - 1	
VP 8	V2 - 1	----	----	V20 - 2	----	
VP 9	----	----	V19 - 1	----	----	
VP 10	V38 - 2	----	----	----	V36 - 1	
VP 11	V41 - 2	----	----	----	V37 - 1	
VP 12	V44 - 2	----	----	----	V42 - 1	
VP 13	V47 - 2	----	----	----	V45 - 1	