

Eignung der Fahrsimulation zur Beurteilung der Fahrsicherheit bei Tagesschläfrigkeit

**Berichte der
Bundesanstalt für Straßenwesen**

Mensch und Sicherheit Heft M 325

bast

Eignung der Fahrsimulation zur Beurteilung der Fahrsicherheit bei Tagesschläfrigkeit

von

Ramona Kenntner-Mabiala
Stefanie Ebert
Johanna Wörle
Kirsten Pearson
Barbara Metz
Yvonne Kaussner
Volker Hargutt

Würzburger Institut für Verkehrswissenschaften (WIVW) GmbH
Veitshöchheim

**Berichte der
Bundesanstalt für Straßenwesen**

Mensch und Sicherheit Heft M 325

bast

Die Bundesanstalt für Straßenwesen veröffentlicht ihre Arbeits- und Forschungsergebnisse in der Schriftenreihe **Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen**. Die Reihe besteht aus folgenden Unterreihen:

- A - Allgemeines
- B - Brücken- und Ingenieurbau
- F - Fahrzeugtechnik
- M - Mensch und Sicherheit
- S - Straßenbau
- V - Verkehrstechnik

Es wird darauf hingewiesen, dass die unter dem Namen der Verfasser veröffentlichten Berichte nicht in jedem Fall die Ansicht des Herausgebers wiedergeben.

Nachdruck und photomechanische Wiedergabe, auch auszugsweise, nur mit Genehmigung der Bundesanstalt für Straßenwesen, Stabsstelle Presse und Kommunikation.

Die Hefte der Schriftenreihe **Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen** können direkt bei der Carl Ed. Schünemann KG, Zweite Schlachtpforte 7, D-28195 Bremen, Telefon: (04 21) 3 69 03 - 53, bezogen werden.

Über die Forschungsergebnisse und ihre Veröffentlichungen wird in der Regel in Kurzform im Informationsdienst **Forschung kompakt** berichtet. Dieser Dienst wird kostenlos angeboten; Interessenten wenden sich bitte an die Bundesanstalt für Straßenwesen, Stabsstelle Presse und Kommunikation.

Die **Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt)** stehen zum Teil als kostenfreier Download im elektronischen BASt-Archiv ELBA zur Verfügung.
<https://bast.opus.hbz-nrw.de>

Impressum

Bericht zum Forschungsprojekt 82.0667
Eignung der Fahrsimulation zur Beurteilung der Fahrsicherheit bei Tagesschläfrigkeit

Fachbetreuung
Fabian Surges

Referat
Grundlagen des Verkehrs- und Mobilitätsverhaltens

Herausgeber
Bundesanstalt für Straßenwesen
Brüderstraße 53, D-51427 Bergisch Gladbach
Telefon: (0 22 04) 43 - 0

Redaktion
Stabsstelle Presse und Kommunikation

Druck und Verlag
Fachverlag NW in der
Carl Ed. Schünemann KG
Zweite Schlachtpforte 7, D-28195 Bremen
Telefon: (04 21) 3 69 03 - 53
Telefax: (04 21) 3 69 03 - 48

www.schuenemann-verlag.de

ISSN 0943-9315
ISBN 978-3-95606-656-6

Bergisch Gladbach, Januar 2022

Kurzfassung – Abstract

Eignung der Fahrsimulation zur Beurteilung der Fahrsicherheit bei Tagesschläfrigkeit

Ziel des vorliegenden Projekts ist die Entwicklung und Validierung einer Prüfumgebung für die Fahrsimulation, die dazu geeignet ist, Patienten, deren Fahrkompetenz aufgrund von Tagesschläfrigkeit so weit eingeschränkt ist, dass die Fahrsicherheit nicht mehr gegeben ist, zu identifizieren. Hierzu wurde ein monotoner Simulatorfahrparcours gestaltet, der für Patienten mit diagnostizierter Tageschläfrigkeit besonders schwer zu fahren ist. Zur Validierung durchfuhren 30 tagesschläfrige Schlaf-Apnoe-Patienten und 10 Kontrollprobanden den simulierten Fahrparcours und eine Prüfstrecke im Realverkehr, welche analog zum Vorgehen in der Simulation gestaltet war. Patienten waren vor, während und nach der Testung in der Simulation nach eigener Einschätzung signifikant müder als die Kontrollprobanden. Deskriptiv zeigte sich ein Unterschied zwischen Kontrollprobanden und Patienten bei verschiedenen Fahrverhaltensparametern. Während Fahrfehler von Kontrollprobanden eher auf Drängeln und zu dichtes Auffahren zurückzuführen sind, konnten Fahrfehler von Patienten eher müdigkeitsassoziierten Spurverlassensereignissen zugeordnet werden. Dagegen zeigten sich für die Fahrt im Realverkehr auch deskriptiv keinerlei Unterschiede zwischen Kontrollprobanden und Patienten. Eine Erklärung hierfür ist, dass die Patienten wahrscheinlich durch das als Prüfungssituation wahrgenommene Untersuchungssetting bei der Realfahrt aufgeregt waren und diese Aufgeregtheit die Müdigkeit überdeckte. Für diese Annahme spricht, dass die Patienten vor und nach der Realfahrt nicht müder waren als die Kontrollprobanden. Die Simulation scheint besser geeignet als das Realfahrsetting, Unterschiede zwischen Kontrollprobanden und Tagesschläfrigkeitpatienten zu detektieren. Die Relevanz dieser Unterschiede für die Fahrsicherheit kann mit den vorliegenden Daten nicht belegt werden. Zu hinterfragen bleibt, ob eine Prüffahrt im Realverkehr ein geeignetes Validierungskriterium für die Fahrkompetenz tagesschläfriger Patienten sein kann, wenn die eigentliche Problematik dieser Patienten, die Müdigkeit, durch die spezifischen Charakteristika des Untersuchungssettings überlagert werden.

Suitability of driving simulation for the assessment of driving safety in patients suffering from daytime sleepiness

The aim of the present project is the development and validation of a test environment in a driving simulator for the assessment of driving ability in patients suffering from daytime sleepiness. A monotonous driving test course was developed that is hard to complete especially for people diagnosed with daytime sleepiness. In order to validate the course, a total of 30 patients suffering from daytime sleepiness caused by sleep apnea and a control group consisting of 10 control subjects drove through this course. Additionally they drove through a test course in real traffic which was designed to match the same criteria as the course in the driving simulation. Before, during and after the trial in the driving simulator, the patients reported significantly more sleepiness than the control group. Descriptive data showed a difference between patients and controls with respect to various driving ability parameters. Thereby, speeding and tailgating were typical driving errors of control subjects while patients tended to driving errors which are associated with sleepiness like bad lane keeping and lane departures. In contrast to this, even descriptively, no difference between patients and control subjects was found in real traffic. An explanation could be that the driving course in real traffic was perceived as an exam situation. Therefore, patients were excited and this excitement masked their sleepiness. Accordingly, patients were not sleepier than the control subjects neither before the drive nor after it. It can be concluded that the driving simulator seems to be better suited to distinguish between patients and control subjects in terms of daytime sleepiness. However, the relevance and implications for driving safety cannot be proven with the available data. It seems that driving in real traffic is very similar to a driving test so that sleepiness is masked by agitation. So it should be scrutinised if driving tests in real traffic are capable of providing the necessary ground truth regarding driving ability of patients suffering from daytime sleepiness.

Summary

Suitability of driving simulation for the assessment of driving safety in patients suffering from daytime sleepiness

1 Introduction

Chronic daytime sleepiness can lead to considerable impairment of driving safety. It is important to reliably identify road users that suffer from daytime sleepiness due to illness and/or use of medication. Driving tests in real traffic are considered as golden standard for the valid assessment of fitness to drive. However, the conduction of driving tests in real traffic is costly and labor intensive. Furthermore, driving situations and tasks can only be standardised in a very limited way. An endangerment of the drivers themselves and of other road users cannot be excluded. Driving tests on motorways with patients suffering from daytime sleepiness in particular can be very risky. Moreover the presence of a driving instructor can resemble a driving test and therefore moderate or mitigate the monotonous characteristics of a driving course through emotional activation. Modern driving simulators could be a valuable addition or alternative: Everyday traffic can be replicated in a realistic way and all clients can be tested under comparable circumstances. Beyond that driving simulations allow for a safe, specific and replicable preparation of critical situations or those situations that are relevant for a special research question. Various variables can be measured exactly. At the moment there are no valid concepts for the conduction of diagnostic driving tests in driving simulators and therefore the advantages of driving simulators cannot be used for this area of application yet. The aim of this project is the development of a valid testing environment for diagnosing driving ability in people with daytime sleepiness in a driving simulator.

2 Methods

Development of the test course: Based on the findings from a literature analysis a testing course was developed with the simulation software SILAB®. The driving course has a length of 24km

and consists of an avenue with interrogation, four parts with a length of 6km (segments) and an exit with interrogation. The driving course is very easy to drive through and monotonous. The width of the lane is 3.50m. The segments consist of straight parts with a length of 500m and mild right-hand and left-hand bends with a curvature of 1/800m or 1/200m. A car driving in front varies in speed between 80 and 90km/h and is modelled after a realistic driving profile (figure 1). During the whole course restriction of overtaking applies. The driver has to process an acoustic secondary task. During the test every 1,700ms a sound is played while 15% of those sounds will be randomly left out. If a sound is left out the driver has to press a button on the steering wheel which is easy to access with the thumb. This scenario was repeated four times (4x4 segments = 4 blocks). The course was conceptualized not as a night scenario but as a day scenario because the topic of the research is daytime sleepiness. Therefore a drive at day seemed more suitable.

Parameters: Driving errors are registered and categorized using the application S.A.F.E. (Standardized Application for Fitness to Drive Evaluations, figure 2) which is operated by SILAB®.



Fig. 1: Screenshot of the driving course. The yellow car in front has a realistic driving profile with varying speed between 80 and 90km/h and must not be overtaken.



Fig. 2: SILAB® application S.A.F.E. for the standardised observation of driving behaviour during psychological driving ability observations.

Furthermore the experimenter used the application to register an evaluation of the driving behaviour after every segment. The scale used for this assessment is the 11-point Fitness to Drive Scale (FtD-Rating. 0-3: normal driving behaviour; 4-6: conspicuous driving behaviour; 7-9: critical driving behaviour; 10: unable to drive). To evaluate the drivers' ability to tack the lane the SDLP is recorded by S.A.F.E. The SDLP describes the mean standard deviation of the lateral position from the centerline of the lane in meters. A departure from the lane is recorded separately. This way the departures are considered as outliers and are not used to calculate the SDLP. To evaluate sleepiness, the German version of the Stanford Sleepiness Scale (SSS) is presented to the participants after every block (length: 24km; = 4x6km). The participants rated their wakefulness on a 7-point Likert-Scale ranging from 1 = "feeling active, vital, alert, or wide awake" to 7 = "no longer fighting sleep, sleep onset soon; having dream-like thoughts".

Driving simulator: In order to offer an affordable driving simulation that can later be used by public surveyors, medical offices and clinics that still is able to produce valid results, a pilot study was conducted. In this pilot study the testing course was implemented in three driving simulators with different hardware and tested with healthy, sleep-deprived participants. Based on those results, a driving simulator was selected that consists of input devices used in the field of video gaming, a generic mockup and a single frontal display (figure 3).

Study Design: 30 patients diagnosed with sleep apnea and 10 healthy control subjects were included in the study. Every participant completed three appointments. During the first appointment the participants completed the reaction test (RTS3, figure 4) and the vigilance test (VIGIL) of the Vienna Test System and a short simulator familiarisation. The second appointment consisted of the diagnostic driving test in the simulator and the third appointment entailed the driving test in real traffic with a driving instructor and a trained psychologist. A rural, monotonous road was selected in consultation with an experienced driving instructor. The assessment of driving ability in real traffic was carried out analogous to the assessment in the driving simulation with the use of S.A.F.E. A total of six participants repeated the second appointment after completion of the trial which allowed to gain an impression of the reliability. Because of the involvement of patients in the study there are special



Fig. 3: Hardware of the driving simulator

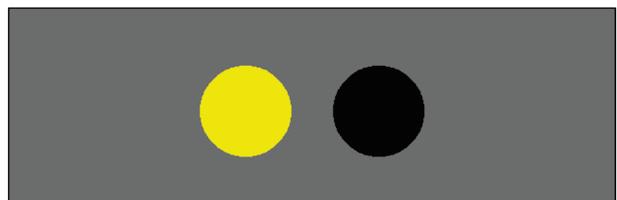


Fig. 4: Visual presentation of a yellow or red light and acoustic presentation of sounds. When a yellow light and a sound appear at the same time, the participant has to press a button.

requirements to ensure their welfare. The study was submitted to the German Clinical Trials Register (DRKS) with the number DRKS00011633 and the study protocol as well as the informed consent for the participants were submitted to the ethics committee of the Bavarian State Medical Association. The recruitment and trials started only after a positive vote was acquired.

3 Results

3.1 Participants

A total of 40 participants were included in the study. All participants were screened for disease and signed an informed consent. 10 of those participants were healthy controls and had no history or symptoms of daytime sleepiness while the other 30 participants were diagnosed with sleep apnea and daytime sleepiness. 8 controls were male (80%) and 25 of the patients group were male (83%). The mean age of the control subjects was 48.7 years (min = 24; max = 62; sd = 13.45) and the mean age of the patients was 48.8 years (min = 25; max = 65; sd = 10.47). The mean value of the Epworth Sleepiness Scale (ESS) was 12.2 (min = 6, max = 20; sd = 3.69) for patients and 3.8 (min = 1;

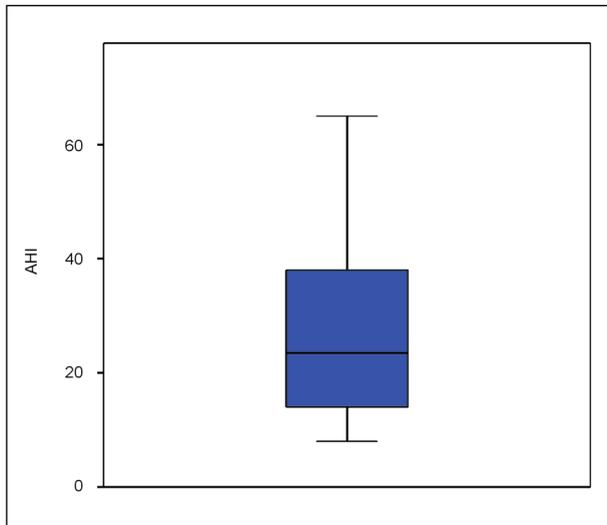


Fig. 5: Apnoe Hypopnoea Index (AHI) of the patients. There is no AHI value for control subjects as they had no sleep laboratory examination.

max = 3.8; sd = 1.69) for control subjects. The mean Apnoe Hypopnoea Index (AHI) which is used to quantify the degree of sleep apnea was 27.03 (min = 8; max = 65; sd = 16.58; figure 5) for patients. There was no significant correlation of AHI value and subjective rating on the ESS ($r = .199$, n.s.).

3.2 Findings of the Vienna Test System

The mean motor reaction time of the RTS3 achieved by the patients is significantly higher than the reaction time of the control subjects (Mann-Whitney-U-Test $U = 83$, $p = .046$; $R^2 = 0.1$ → slight effect). The distribution is higher for patients than for control subjects despite of the patient group being three times as big. There is no difference between the groups regarding the VIGIL.

3.3 Findings of the driving test in the simulator

As can be seen in figure 6 the subjective ratings of sleepiness on the Stanford Sleepiness Scale (SSS) show a distinct effect over time ($F(20.35) = 2.36$; $p < .001$, partial eta squared = .703 → strong effect) which shows that patients and controls grew more tired during the test.

Especially before the drive the patients (middle rank = 24.03) are distinctly more tired than the

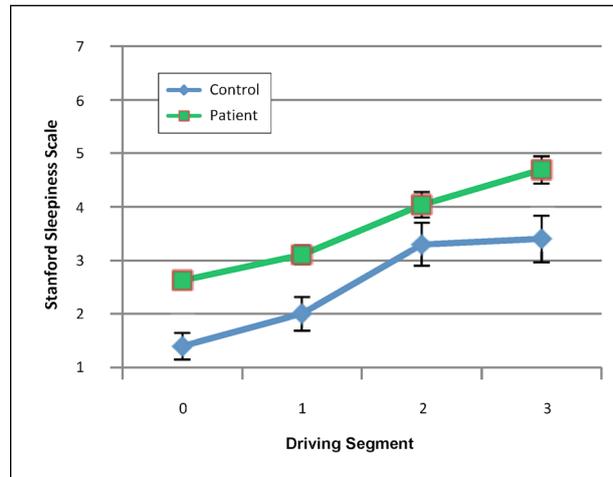


Fig. 6: Subjective Ratings of the subjects on the Stanford Sleepiness Scale before the drive (0) and after each block (1-4).

control subjects (middle rank = 9.90; Mann-Whitney U test $U = 44$, $p < .001$; $R^2 = 0.3$ → strong effect). While it is less distinct at the end, the difference between patients (middle rank = 22.2) and control subjects (middle rank = 13.7) lasts (Mann-Whitney U test $U = 82$, $p = .039$; $R^2 = 0.05$ → low effect). The results reflect that the monotonous driving course was also tiring for the control patients.

The Fitness to Drive Rating shows no significant difference between patients and controls. However 47% of the patients got a rating of 5 and worse while this was the case for only 10% of the healthy control subjects. There is no significant difference regarding the total amount of driving errors though 4 out of 5 drivers with an exceptionally high amount of driving errors are patients. There is a clear difference between the driving errors between the 4 patients and the single healthy control subject regarding the nature of the driving errors: patients have an increased amount of sleepiness related lateral driving errors (min = 30; max = 60) while the control subject only committed 4 lateral driving errors. The high amount of driving errors of the healthy control subject can be ascribed to a higher amount of longitudinal errors, in particular tailgating.

The blinking behaviour shows a significant increase of the time spent with eyes closed over time ($F(15.570) = 6,256$, $p < .001$, partial eta squared = .141 → strong effect). The PERCLOS values of the patients are higher than those of the control subjects which can be seen in descriptive data. In the first segments there is no significant difference between groups but over the course of time differences grow more distinct. In the last segment

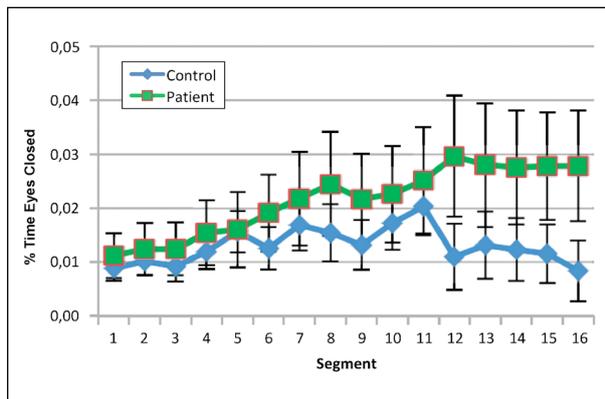


Fig. 7: Amount of time with eyes closed (PERCLOS) separated into groups

the patients (middle rank = 22.53) and control subjects (middle rank = 11.56) reach their maximum (Mann-Whitney-U-Test $U = 59$, $p = .010$; $R^2 = 0.16$ → moderate effect; figure 7).

In terms of retest reliability of the driving test in the simulator significantly high correlations can be seen for the subjective rating of sleepiness on the Stanford Sleepiness Scale ($r = .895$, $p = .016$), the overall rating of driving behaviour ($r = .972$, $p < .05$), the total amount of driving errors ($r = .923$, $p < .05$), the amount of lateral errors ($r = .914$, $p < .05$), the amount of longitudinal errors ($r = 1.0$) and the SDLP ($r = .889$, $p < .05$). The blinking behaviour showed no significant correlation ($r = .619$, $p = .190$) but descriptive data indicates a very similar trend for both driving tests.

3.4 Findings of the driving test in real traffic

In contrast to driving in the simulator the patients are not more tired than the control subjects in terms of their ratings on the Stanford Sleepiness Scale. This is true for the measurement before and after the drive in real traffic. It may be due to this fact that no difference can be found between groups regarding driving parameters (FtD rating, total amount of driving errors, lateral or longitudinal driving errors). No difference is found in descriptive data either. There is one patient that can be seen as an outlier with a total of 60 driving errors. Those errors however cannot be attributed to sleepiness related errors but instead to speeding and a lack of traffic observation.

4 Discussion

It seems driving simulation is better suited to detect differences between healthy drivers and patients suffering from daytime sleepiness. However it is not possible to conclude if those differences are relevant to driving safety with the available data. It is possible that no patient included in our sample was limited in driving safety because of daytime sleepiness. This does not mean that patients with daytime sleepiness or an untreated sleep apnea will always drive safely in general. AHI values and subjective ratings on the Epworth Sleepiness Scale indicate that the patients included in our study were lightly or moderately impaired by their sleep apnea. The validity of the testing environment we developed to assess the impact of daytime sleepiness on driver ability in this project cannot be proven. One reason might be the fact that the drive in real traffic in the presence of a driving instructor is not an appropriate criterion of validity. Our available data bring up the question if a driving test in real traffic can be an appropriate ground truth for measurement of driving safety of patients with daytime sleepiness. This is due to the fact that the problem of sleepiness can be masked of this special situation that is similar to an exam. In future studies this problem should be addressed. Patients should be granted more time to adapt to this special situation which might induce excitement. Another reason for the lack of prove for the validity could be the light or moderate impairment of the patients in the majority of cases.

Inhalt

Abkürzungen	10	4.3.2 Wiener Testsystem	37
1 Einleitung	11	4.3.3 Simulatorfahrt	37
2 Literaturanalyse	12	4.3.4 Restest-Reliabilität	40
2.1 Terminologie	12	4.3.5 Realfahrt	41
2.2 Epidemiologische Befunde	13	4.3.6 Zusammenhang zwischen den verschiedenen Maßen	41
2.3 Auswirkungen von Müdigkeit und Tagesschläfrigkeit auf das Fahren	16	4.3.7 Vergleich der Befunde aus Simulation und Realfahrt auf individueller Ebene	43
2.4 Methoden zur Messung von Tages- schläfrigkeit	18	5 Diskussion	43
2.4.1 Stufe 1: Subjektive Verfahren	19	6 Zusammenfassung und Ausblick	47
2.4.2 Stufe 2: Schlafmedizinische Ver- fahren und psychometrische Leistungstests	19	Literatur	48
2.4.3 Stufe 3: Fahrverhalten	21	Bilder	52
2.5 Der Einsatz der Fahrsimulation zur Messung der Fahrkompetenz	22	Tabellen	53
2.6 Zusammenfassung und Ableitungen für die Projektarbeit	24		
3 Entwicklung einer Simulator- prüfumgebung zur Messung der Fahrkompetenz bei Tages- schläfrigkeit	25		
3.1 Prüfstrecke	25		
3.2 Messparameter	26		
3.3 Vorstudie	28		
4 Validierungsstudie	30		
4.1 Fragestellung und Hypothesen	30		
4.2 Methodik	30		
4.2.1 Versuchsdesign und Ablauf	30		
4.2.2 Begründung und Rekrutierung der Stichprobe	30		
4.2.3 Erfasste Parameter	33		
4.2.4 Auswertestrategie	35		
4.3 Ergebnisse	36		
4.3.1 Stichprobenbeschreibung	36		

Abkürzungen

AAA	American Automobile Association	SDLP	Standardabweichung der lateralen Position
AAM	Alliance of Automobile Manufacturers	SSS	Stanford Sleepiness Scale
AASM	American Academy of Sleep Medicine	TAP	Testbatterie zur Aufmerksamkeitsprüfung
AHI	Apnoe-Hypopnoe-Index	WT	Wiener Testsystem
BASt	Bundesanstalt für Straßenwesen		
BGL	Begutachtungsleitlinien		
CPAP	Continuous Positive Airway Pressure		
DGN	Deutsche Gesellschaft für Neurologie		
DGSM	Deutsche Gesellschaft für Schlafmedizin		
DRKS	Deutsches Register Klinischer Studien		
EEG	Elektroenzephalographie		
ESS	Epworth Sleepiness Scale		
ETSC	European Transport Safety Council		
FtD	Fitness to Drive		
GPS	Global Positioning System		
ICSD	International Classification of Sleep Disorders		
KSS	Karolinska Sleepiness Scale		
m	Mittelwert		
max	Maximum		
min	Minimum		
MSLT	Multipler Schlaflatenztest		
MWT	Multipler Wachbleibetest		
NHTSA	National Highway Traffic Safety Administration		
OSAS	Obstruktives Schlaf-Apnoe-Syndrom		
RT	Reaktionstest des Wiener Testsystems		
S.A.F.E.	Standardized Application for Fitness to Drive Evaluations		
sd	Standardabweichung		

1 Einleitung

Müdigkeit bei Kraftfahrern ist ein bedeutsamer Risikofaktor im Straßenverkehr. Etwa ein Viertel aller tödlichen Unfälle ist auf schläfrige Verkehrsteilnehmer zurückzuführen. Damit ist Müdigkeit im Straßenverkehr mindestens genauso gefährlich wie Alkohol (HESS, 2015). Ursache für Müdigkeit im Straßenverkehr kann neben Schlafmangel auch eine durch internistische, neurologische oder psychiatrische Erkrankung, Nebenwirkung von Medikamenten/Drogen sowie primäre Schlafstörungen wie z. B. atmungsbezogenen Schlafstörungen verursachte Tagesschläfrigkeit sein. Unter Tagesschläfrigkeit versteht man eine erhöhte Einschlafneigung, die durch monotone Situationen begünstigt wird. Tagesschläfrigkeit und Tagesmüdigkeit betreffen mindestens 10-25 % der Normalbevölkerung (DIETMANN et al., 2019).

Eine zuverlässige Identifizierung von Verkehrsteilnehmern, bei denen aufgrund einer Tagesschläfrigkeit die Fahrkompetenz eingeschränkt ist, ist aus Gründen der Verkehrssicherheit sehr wichtig. Ebenso sollten aber auch Methoden zur Verfügung stehen, eine Verbesserung der Tagesschläfrigkeitssymptomatik und damit eine Wiederherstellung der Fahrkompetenz durch eine erfolgreiche Behandlung der zugrundeliegenden Störung zu evaluieren. Aktuell fehlt eine zuverlässige Diagnostik der Tagesschläfrigkeit, die eine valide Vorhersage der habituellen Einschränkung der Fahrkompetenz erlaubt.

Die Begutachtung von Patienten mit Tagesschläfrigkeit beinhaltet laut Begutachtungsleitlinien (BGL) zur Kraftfahreignung ein gestuftes Vorgehen (GRÄCMANN & ALBRECHT, 2019). Nach einer auffälligen Anamnese (Stufe 1) kommen verschiedene Messverfahren zur Tagesschläfrigkeit und Aufmerksamkeit zur Anwendung (Stufe 2). Bestehen nach Stufe 2 erhebliche Zweifel an der Fahrkompetenz und kann aber keine endgültige Entscheidung getroffen werden, ist die Durchführung einer Fahrprobe angezeigt (Stufe 3). Dabei sollten Limitierungen der Fahrprobe, welche eine etwaige Schläfrigkeit verdecken, möglichst streng berücksichtigt werden. Wenn möglich, sollte eine Fahrt mit Monotoniebelastung (z. B. Fahrt auf einer wenig befahrenen Autobahn von mindestens 30-minütiger Dauer) durchgeführt werden.

Bisher gilt die Fahrprobe im Realverkehr als Goldstandard, um die Fahrkompetenz im Einzelfall vali-

de zu untersuchen. Zu kritisieren sind hier jedoch neben dem hohen Aufwand bei der Durchführung vor allem die fehlende Standardisierbarkeit von Situationen und Fahraufgaben sowie eine mögliche Gefährdung der Fahrer selbst und anderer Verkehrsteilnehmer. Insbesondere Fahrproben mit tagesschläfrigen Patienten auf der Autobahn sind nur unter großen Zugeständnissen an die Sicherheit durchführbar. Grundsätzlich sollten derartige Fahrproben nur in Begleitung eines Fahrlehrers mit einem Fahrschulfahrzeug mit zweiter Pedalerie durchgeführt werden. Zudem sind bei einer 30-minütigen Fahrt unter Monotoniebelastung nur wenige Verhaltensindikatoren verfügbar, anhand derer sich der Fahrlehrer ein Urteil bilden kann. Auch ist die für eine sensitive Prüfung der Tagesschläfrigkeit so entscheidende Bedingung der Monotonie auf deutschen Autobahnen kaum herstellbar. Schließlich kann das emotional eher aktivierende Setting einer Fahrt in Begleitung eines Fahrlehrers die monotone Wirkung einer Strecke moderieren bzw. stark abschwächen.

Moderne Fahrsimulatoren könnten hier eine vielversprechende Ergänzung bzw. Alternative bieten: Der moderne Straßenverkehr kann wirklichkeitsnah abgebildet werden und alle Klienten können unter identischen Bedingungen untersucht werden. Darüber hinaus erlaubt die Simulation eine gefahrlose, gezielte und replizierbare Herstellung von kritischen oder für die jeweilige Fragestellung spezifischen Situationen sowie eine exakte Messung von zahlreichen Fahrparametern. Ein weiterer essenzieller Vorteil ist, dass kompensatorische Strategien nahezu genauso praktiziert und erfasst werden können wie im Realverkehr (KAUSSNER, 2007). Da aber bislang noch keine validierten Konzepte für die Durchführung von Fahrverhaltensbeobachtungen von tagesschläfrigen Personen in Fahrsimulatoren vorliegen, können die Vorteile der Fahrsimulation für diesen Anwendungsbereich bisher noch nicht genutzt werden.

Ziel des vorliegenden Projekts ist die Entwicklung und Validierung einer Prüfumgebung für die Fahrsimulation, die dazu geeignet ist, Patienten, deren Fahrkompetenz aufgrund von Tagesschläfrigkeit so weit eingeschränkt ist, dass die Fahrsicherheit nicht mehr gegeben ist, zu identifizieren.

Der vorliegende Bericht startet mit einer Literaturanalyse, in der zunächst die Relevanz der Tagesschläfrigkeit für die Verkehrssicherheit anhand von epidemiologischen Studien und Unfallstatistiken

verdeutlicht wird. Anschließend werden wissenschaftliche Befunde zum Einfluss von Tagesschläfrigkeit auf die Fahrkompetenz berichtet und schließlich wird dargestellt, wie derzeit im klinischen Alltag die Messung der Fahrkompetenz bei Tagesschläfrigkeit erfolgt. Basierend auf dieser Literaturanalyse werden Mindestanforderungen an die Simulation hinsichtlich Hardware- und Softwareausstattung (Sichtsystem, Bewegungssystem, Datenaufzeichnung) herausgearbeitet und es wird eine geeignete Prüfstrecke zur Untersuchung der Fahrkompetenz bei Tagesschläfrigkeit in die Fahrsimulation entwickelt.

Zur Validierung soll die in der Simulation gemessene Fahrkompetenz mit der im Realverkehr gemessenen Fahrkompetenz mit einer Gruppe von Schlaf-Apnoe-Patienten und einer Kontrollgruppe verglichen werden. Prüfstrecke und Messparameter im Realverkehr sollen analog zum Vorgehen in der Simulation gestaltet werden. Zudem werden die Befunde der Fahrproben mit Befunden einer psychometrischen Leistungstestbatterie sowie schlafmedizinischen Daten in Beziehung gesetzt. Insbesondere stellt sich hier die Frage, ob die Laborbefunde mit den Daten der Simulation oder dem Realverkehr in einem Zusammenhang stehen.

Der Bericht schließt mit Empfehlungen für das weitere Vorgehen und einem Ausblick für weitere Einsatzmöglichkeiten der im Rahmen dieses Projekts entwickelten Simulatorprüfanordnung.

2 Literaturanalyse

In folgender Literaturanalyse werden nach einem Überblick zu epidemiologischen Befunden zu Tagesschläfrigkeit im allgemeinen und daraus resultierenden fahrrelevanten Einschränkungen im Besonderen sowie einer Zusammenfassung aktueller Unfallstatistiken Verkehrssituationen abgeleitet, die sensitiv für müdigkeitsassoziierte Einschränkungen tagesschläfriger Fahrer sind. Die Gruppe der Schlaf-Apnoe-Patienten wird genauer betrachtet, da es sich bei der Schlaf-Apnoe um eine sehr weit verbreitete Störung handelt, von der bekannt ist, dass sie mit deutlichen Einschränkungen in der Fahrkompetenz einhergehen kann. Die Messung der Fahrkompetenz der Tagesschläfrigkeit erfolgt in einem 3-Stufen-Modell. Anhand dieses Modells werden verschiedene Ansätze zur Messung der Fahrkompetenz vorgestellt und erläutert, dann erfolgt

eine Ableitung der Anforderungen an die Fahrsimulation im Hinblick auf die Messung der Fahrkompetenz tagesschläfriger Patienten.

2.1 Terminologie

Begriffe wie Fahrtüchtigkeit, Müdigkeit, Schläfrigkeit, reduzierte Aktivierung etc. sind vielerorts nur semantisch definiert, was jedoch selten eine konkrete Ableitung von Messvorschriften erlaubt. Die Fahrtüchtigkeit – also der kurzfristige Zustand des Fahrers – ist vornehmlich ein verkehrspsychologischer Begriff. Sie ist neben der Fahreignung und der Fahrfähigkeit ein maßgeblicher Faktor für das sichere Führen eines Fahrzeugs. Die Fahrtüchtigkeit beschreibt Aspekte des Fahrers, die situativ und kurzfristig beeinflussbar sind und deren Einflüsse prinzipiell reversibel sind, so z. B. psychoaktive Substanzen, vorübergehende Erkrankung oder vorübergehende, zentralnervöse Beeinträchtigungen wie eine reduzierte Wachheit bzw. Müdigkeit. Abgrenzend hierzu ist der Begriff der Fahrtauglichkeit zu definieren, der immer dann zu bevorzugen ist, „wenn es darum geht, ob sich krankheitsbedingte psychophysische Mängel einer Person dauerhaft auf die Fahrleistung auswirken“ (KAUSSNER & KRÜGER, 2012). In Anlehnung an Holte (2018) wird in dieser Arbeit der Begriff der Fahrkompetenz, als übergeordnete Bezeichnung für eine situationsabhängige und eine situationsübergreifende Fähigkeit zum Führen eines Fahrzeugs verwendet.

Unter Müdigkeit (oder Schläfrigkeit) wiederum versteht man zunächst eine subjektive Befindlichkeit, die mit mannigfaltigen Symptomen assoziiert ist. Häufig genannte Symptome bei Autofahrern sind „schwere Augen“ und „unwillkürliches Zufallen der Augen“ (35 %), gefolgt von „Unaufmerksamkeit“ (24 %), „Gähnen“ (16 %) und „Probleme bei der Spurhaltung“ (15 %) (NGUYEN et al., 1998). Neben der subjektiven Befindlichkeit leidet zusätzlich die Leistungsfähigkeit, was gerade auch im Fahrkontext relevant ist. Leistungseinschränkungen durch Müdigkeit sind in den verschiedensten kognitiven Bereichen nachzuweisen und werden in der Regel stärker je massiver die Müdigkeit ist. Die Endstrecke massiver Müdigkeit ist stets das starke Bedürfnis des Körpers nach Schlaf. Kann oder will man diesem Bedürfnis aufgrund welcher Umstände auch immer nicht nachgeben, kämpft man gegen den Schlaf. Diese Phase ist bereits häufig durch Sekundenschlafereignisse gekennzeichnet, in denen per

Müdigkeit	Schläfrigkeit
Subjektives Gefühl und Erleben von verminderter Leistungsfähigkeit bei körperlichen, psychischen und kognitiven Anforderungssituationen	Reduktion der zentralnervösen Aktivierung, der Wachheit
Intrapsychische Gebundenheit der Müdigkeit: Mattigkeit, Gefühl der Überforderung, unter Stresserleben verstärkt auftretend	Einschlafdrang; kein intrapsychisches Korrelat; unter Stresserleben Reduktion der Schläfrigkeit
In Situationen, in denen Schlaf möglich oder erwünscht ist, tritt Schlaf nicht auf; keine Tagschlafepisoden	In Situationen, in denen Schlaf möglich oder erwünscht ist, tritt Schlaf auf; Tagschlafepisoden
Keine Monotonie-Intoleranz	Monotonie-Intoleranz
Keine ausgeprägte circadiane Rhythmik	Circadiane Rhythmik
Monotone Situationen sind kein Schlafstimulus	Monotone Situationen als Schlafstimulus
Schlafmenge in der Nacht normal bis reduziert	Schlafmenge in der Nacht normal bis erhöht, ggf. Schlaffragmentierung
Einschlaflatenz am Tage und in der Nacht unauffällig bis verlängert	Einschlaflatenz am Tage und in der Nacht unauffällig bis verkürzt
Schlafmenge am Wochenende oder im Urlaub eher unverändert	Schlafmenge am Wochenende oder im Urlaub eher verlängert

Tab. 2-1: Charakteristika von Müdigkeit und Schläfrigkeit (WEEß, 2010, S. 27)

definitionem die Leistungsfähigkeit in allen Aspekten der Kognition nahe Null ist. WEEß (2010) nennt einige Merkmale, in denen sich Müdigkeit und Schläfrigkeit unterscheiden (vgl. Tabelle 2-1). WEEß weist aber zu Recht auf Folgendes hin:

„Eine einheitliche wissenschaftliche Definition und Begriffsbestimmung der Tagesschläfrigkeit ist derzeit noch nicht gegeben. Auch eine Abgrenzung gegenüber dem im Englischen als fatigue bezeichneten verwandten Phänomen der Müdigkeit ist bislang nicht eindeutig erfolgt.“ (S. 27)

Letztendlich bezeichnet Müdigkeit eine alltägliche, nicht pathologische Befindlichkeit, die im Fahrkontext zu einer verminderten Fahrkompetenz führen kann. Tagesschläfrigkeit umfasst phänomenologisch keine wesentlich anderen Merkmale als Müdigkeit, die Symptome sind lediglich auf verschiedenen Ebenen extremer ausgeprägt. D. h. je nach Fragestellung (z. B. Unfallcharakteristik) können für die Untersuchung der Tagesschläfrigkeit auch Studien in Betracht gezogen werden, die alltägliche Müdigkeit untersuchen.

2.2 Epidemiologische Befunde

Tagesschläfrigkeit bzw. Müdigkeit führt einen erheblichen Gefährdungsfaktor in den Verkehr ein. Der Anteil von Müdigkeitsunfällen ist aus methodischen Gründen schwer zu bestimmen (EVERS, 2010). Nach einem Unfall ist nur schwerlich festzu-

stellen, in welchem Zustand der Fahrer zum Zeitpunkt des Unfalls war, da der Unfall selbst zu einer massiven Aktivierung der Beteiligten führt, die eine rückwirkende Bestimmung des Zustands weitgehend unmöglich macht. Deshalb wird Müdigkeit üblicherweise post-hoc als Unfallursache angenommen, wenn entweder der Fahrer zugibt, dass er eingeschlafen ist, oder wenn die Rekonstruktion des Unfalls keine andere Ursache plausibel erscheinen lässt.

Prinzipiell liegen die Schätzungen für Müdigkeitsunfälle im gesamten Verkehr eher niedrig, steigen jedoch für den gewerblichen Verkehr ebenso an wie für Unfälle mit höherer Unfallschwere. In den USA waren in den Jahren 2008 bis 2012 pro 100 Mio. gefahrener Meilen ca. 2,5 Unfälle auf Müdigkeit zurückzuführen (Datenbankabfrage des General Estimates System GES; U.S. National Highway Traffic Safety Administration, NHTSA). Eine Studie der American Automobile Association (AAA, 1985) kommt nach einer Analyse von 231 schweren Truck-Unfällen von 1983-84 in den Staaten Arizona, California, Idaho, Nevada, Oregon und Utah zu einer Rate von rund 40 % Unfällen, in denen Müdigkeit die Hauptursache war. In weiteren 17 % leistete Müdigkeit zumindest einen Beitrag zum Unfallgeschehen, war aber nicht Hauptursache. Anfang der 90er Jahre wurde eine sehr aufwändige Studie durchgeführt, in der die Unfallhergänge von tödlichen Autobahnunfällen aus dem Jahr 1991 analysiert wurden. Experten stellten aufgrund dieser Analysen die Unfallursache fest, unter anderem auch Übermüdung (LANGWIEDER et al., 1994).

Der Anteil müdigkeitsbedingter Unfälle an allen tödlichen Autobahnunfällen im Jahr 1991 wurde in dieser Studie auf 24 % geschätzt. EVERS & AUERBACH (2005) erfassten von Juli bis September 2003 alle Unfälle auf Bundesautobahnen in Deutschland, bei denen mindestens ein Güterkraftfahrzeug über 7,5 t zulässigem Gesamtgewicht beteiligt war und mindestens eine Person schwer verletzt oder getötet wurde. Von diesen 219 schweren Lkw-Unfällen wurden 19 % auf die Unfallursache „Übermüdung“ zurückgeführt. Zu einer ähnlichen Einschätzung kommt auch das European Transport Safety Council. Danach leistet in mindestens 20 % der gewerblichen Unfälle Müdigkeit einen bedeutsamen Beitrag (ETSC, 2001), bei tödlichen Unfällen im gewerblichen Bereich beträgt der Anteil von Müdigkeitsunfällen sogar bis zu 52 %.

Insgesamt kann vermutet werden, dass der Anteil von Müdigkeitsunfällen an allen Unfällen je nach Tageszeit und Unfallschwere zwischen 1 % und 10 % liegt; an tödlichen Unfällen bei bis zu 25 %. Müdigkeitsunfälle ereignen sich meist nachts in Situationen mit geringen Fahr Anforderungen (z. B. Autobahn). Ebenso ereignen sich die meisten Müdigkeitsunfälle bei hohen Geschwindigkeiten, was jedoch eine Konsequenz der beiden erst genannten Faktoren ist, da die Situationskombination nächtliche Fahr Situationen mit geringer Anforderung eben meist auf nächtliche Autobahnfahrten oder leere Landstraßen zutrifft, die wiederum mit hohen Geschwindigkeiten einhergehen. Unter den von LANGWIEDER et al. (1994) untersuchten 204 Autobahn-Unfällen mit Todesfolge waren immerhin 34 % der Ereignisse „Alleinunfälle“, also Unfälle ohne einen Unfallgegner. Daraus könnte man schließen, dass die Fahrer ohne Fremdeinwirkung z. B. von der Fahrbahn abkommen, was die regelhaft schweren Unfallfolgen erklärt. Des Weiteren ereigneten sich 114 (56 %) dieser Unfälle bei Dunkelheit oder Dämmerlicht.

Prävalenzen von Tagesschläfrigkeit (Hypersomnie) sind in der Literatur kaum zu finden. Eine habituell erhöhte Tagesschläfrigkeit kann diverse Ursachen haben. Neben den verschiedenen Formen von Schlafstörungen können auch internistische (z. B. Schilddrüsenerkrankungen, Anämie, COPD), neurologische (Fibromyalgie, Restless-Leg Syndrom, M. Parkinson) und psychiatrische Erkrankungen (z. B. Depression) sowie deren Medikation zu einer dauerhaft erhöhten Tagesschläfrigkeit führen. Auch andere Medikamente aus den verschiedensten medizinischen Fachbereichen können Tagesschläf-

rigkeit hervorrufen (Antihypertensiva, Appetitzügler, Atemwegstherapeutika, Kortikoide, Diuretika, Zytostatika, Antihistaminika, Phasenprophylaktika, Neuroleptika, Tranquillantien, Sedativa, zentrale Analgetika, zentrale Anästhetika/Narkotika).

Da gestörter Schlaf mit dem Auftreten von Tagesschläfrigkeit assoziiert ist, erhält man bei der Betrachtung der Prävalenzen von Schlafstörungen auch eine grobe Annäherung an Prävalenzen der Tagesschläfrigkeit. In einer repräsentativen Stichprobe von 8.152 Personen zwischen 18 und 79 Jahren gaben 11,1 % der Befragten an, dreimal oder häufiger pro Woche Probleme mit dem Einschlafen zu haben, weitere 16,5 % ein- bis zweimal. 23 % gaben an, mindestens dreimal pro Woche unter Durchschlafstörungen zu leiden, weitere 18,8 % zumindest ein- bis zweimal. 23,1 % attestieren sich selbst eine schlechte oder sehr schlechte Schlafqualität (SCHLACK et al., 2013).

Die International Classification of Sleep Disorders (ICSD 3, AASM, 2014) klassifiziert Schlafstörungen in acht Gruppen, die auf die Ursache der Schlafstörung abzielen:

1. Insomnien (z. B. durch psychische Traumata, schlechte Schlafhygiene, Krankheiten oder Substanzmittelmissbrauch)
2. Schlafbezogene Atmungsstörungen
3. Hypersomnien zentralen Ursprungs (v. a. Narcolepsie und Hypersomnien durch Krankheit oder Medikamente)
4. Zirkadiane Rhythmusstörungen
5. Parasomnien
6. Schlafbezogene Bewegungsstörungen (v. a. Restless-Legs-Syndrom)

sowie zwei Sammelkategorien (7) isolierte Symptome und (8) andere Schlafstörungen.

Eine mit Tagesschläfrigkeit einhergehende Schlafstörung, von der laut aktuellen Berichten weltweit 936 Millionen und allein in Deutschland 26 Millionen Menschen betroffen sind (BENJAFIELD et al., 2019), ist das laut ICSD-3 Klassifikation (AASM, 2014) unter atmungsbedingte Schlafstörungen fallende obstruktive Schlaf-Apnoe-Syndrom (OSAS, SATEIA, 2014). Beim obstruktiven Schlaf-Apnoe-Syndrom kommt es während des Schlafs wiederholt zu einer Verringerung oder zu einem kompletten Aussetzen der Atmung durch eine Verengung des

Rachenraums, wobei die oberen Atemwege teilweise oder komplett kollabieren. Dem Kollaps liegt ein schlafinduzierter Tonusverlust zugrunde, der bei OSAS-Patienten deutlicher ausgeprägt ist als bei gesunden Individuen. Je enger die oberen Atemwege im Kollapssegment sind, umso mehr steigt der Atemwegswiderstand an und umso mehr wird die Atemströmung behindert (TESCHLER et al., 1998). Auf diese Weise können Atempausen wenige Male bis einige hundert Mal pro Nacht auftreten und unterschiedlich lange dauern. Hierdurch kommt es zu einem Abfall der Sauerstoffkonzentration im Blut und in schwereren Fällen zu einer Minderversorgung der Organe. Das Gehirn ist als erstes von der Verknappung der Sauerstoffkonzentration betroffen und schlägt Alarm. Dies äußert sich in immer wiederkehrenden Weckreaktionen, die dem Betroffenen oft nicht bewusst sind und dennoch dazu geeignet sind, den Schlaf zu fragmentieren mit einer pathologischen Abnahme des Traumschlafs (Rapid Eye Movement, REM-Schlaf) und des Tiefschlafs. Dadurch kann es dazu kommen, dass Betroffene keinen erholsamen Schlaf mehr erhalten und dadurch zunehmend unter Tagesschläfrigkeit leiden.

Zur Diagnose und Einteilung des Schweregrads der OSAS dient der Apnoe-Hypopnoe-Index (AHI), der angibt, wie viele Atemaussetzer pro Stunde in einer Nacht registriert wurden (Tabelle 2-2). Tagsüber sind die oben beschriebenen Atemstörungen nicht nachweisbar. Starkes Schnarchen kann aber ein möglicher Hinweis auf das Vorliegen einer Schlaf-Apnoe-Störung sein. Im Laufe der Erkrankung kommt es zu einer progredienten Müdigkeit und Einschlafneigung auch am Tag. Je schwerer die Erkrankung ist, umso häufiger wird die Störung von Bluthochdruck, Herzrhythmusstörungen und gar einer Herzinsuffizienz begleitet. Diese Begleiterscheinungen können die verkürzte Lebenserwartung bei einer unbehandelten Schlaf-Apnoe erklären (SCHUNKERT & WEIL, 2005).

Als gesicherte Risikofaktoren für das Auftreten von OSAS gelten Übergewicht und hohes Alter (FRANKLIN & LINDBERG, 2015). Die Befunde bezüglich

AHI	Schweregrad
5-15	Mild
16-30	Moderat
> 30	Schwer

Tab. 2-2: Einteilung des Schweregrads des Schlaf-Apnoe-Syndroms unter Verwendung des AHI (AASM, 2014)

Rauchen und Alkoholkonsum als Risikofaktoren für das Auftreten von OSAS sind nicht eindeutig. FRANKLIN & LINDBERG (2015) berichten in ihrem Review Artikel zur Epidemiologie des Schlaf-Apnoe-Syndroms weiter, dass in elf publizierten epidemiologischen Studien, die zwischen 1993 und 2013 publiziert wurden, die mittlere Prävalenz bei 22 % (Range 9-37 %) für Männer und 17 % (Range 4-50 %) für Frauen lag. Die Prävalenzraten nehmen im Laufe der Zeit zu: Die höchsten Prävalenzen wurden in Studien zwischen 2008 und 2013 berichtet. Als Gründe für diese zunehmenden Prävalenzen nennen die Autoren Weiterentwicklungen bei den diagnostischen Geräten, sich wandelnde Definitionen, unterschiedliche Studiendesigns und zunehmende Verbreitung von Übergewicht in der Bevölkerung.

Das Schlaf-Apnoe-Syndrom ist relevant für die Verkehrssicherheit. ELLEN et al. (2006) führten ein systematisches Review zum Unfallrisiko von Patienten mit Schlaf-Apnoe durch. Sie werteten neben einigen Studien mit gewerblichen Fahrern 27 Studien mit privaten Fahrern aus. 19 dieser Studien waren Fall-Kontroll-Studien, die übrigen waren Kohortenstudien. Auch HOWARD et al. (2009) geben einen zusammenfassenden Überblick zu insgesamt neun Publikationen zum Unfallrisiko von Schlaf-Apnoe-Patienten. Die betrachteten Studien ergaben fast durchgängig erhöhte Unfallrisiken mit Odds ratios zwischen 1,3 und 13.

In der 11. Änderungsverordnung der Fahrerlaubnisverordnung vom 28.12.2016 wurde das Kapitel 3.11 Tagesschläfrigkeit um das Unterkapitel „Obstruktives Schlaf-Apnoe-Syndrom“ ergänzt. Dort wird Folgendes festgelegt:

„Wer unter einem mittelschweren oder schweren obstruktiven Schlaf-Apnoe-Syndrom in Verbindung mit einer übermäßigen Tagesschläfrigkeit leidet, ist nicht in der Lage, den gestellten Anforderungen zum Führen von Kraftfahrzeugen beider Gruppen gerecht zu werden.“

D. h. bei Patienten, die diese Bedingung erfüllen, wird quasi ex ante die Fahreignung angezweifelt, bis sie durch ein Gutachten den Nachweis erbringen, dass sie dennoch in der Lage sind „ihren Zustand angemessen kontrollieren zu können“. Entscheidend ist die Kombination von Schlaf-Apnoe-Syndrom und übermäßiger Tagesschläfrigkeit, da beide Aspekte auch unabhängig voneinander auftreten können. Demnach können auch leichte Apnoen zu Tagesschläfrigkeit führen und auch Patienten

ten mit schwerem Schlaf-Apnoe-Syndrom müssen nicht notwendigerweise unter Tagesschläfrigkeit leiden. Oder anders formuliert: Der zur Einteilung des Schweregrades der Schlaf-Apnoe verwendete AHI prädiziert nur sehr eingeschränkt eine Tagesschläfrigkeit (LIPFORD et al., 2019) und nur manchmal das Unfallrisiko (siehe Review ELLEN et al., 2006).

Zur Therapie der OSAS-Symptomatik werden bei mittlerer oder schwerer Schlaf-Apnoe CPAP-Atemmasken eingesetzt. CPAP bedeutet „continuous positive airway pressure“, übersetzt also „kontinuierlich positiver Atemwegsdruck“. Die Atemmaske sorgt während des gesamten Schlafs für einen Überdruck auf die Atemwege. Die Atemmaske wird in der Regel über Mund und Nase angelegt, bei einigen Varianten besteht auch die Möglichkeit, die Maske nur über die Nase zu ziehen. Ziel ist dabei die Verhinderung der Verengung der Atemwege. Diese pneumatische Schienung der oberen Atemwege führt zu einer Reduktion der Atemstörung, des Schnarchens, der Tagesschläfrigkeit und des kardiovaskulären Risikos (DGSS, 2017). Studien ergaben ein reduziertes Unfallrisiko nach einer CPAP-Behandlung um 31 bis 100 % (vgl. HOWARD et al., 2009).

Da OSAS zum einen ein sehr weit verbreitetes Syndrom in der Gesamtbevölkerung ist und die Behandlung dieser Patientengruppe physikalisch und nicht medikamentös erfolgt, handelt es sich bei Schlaf-Apnoe-Patienten um eine verhältnismäßig homogene und große Patientengruppe, die sich für Untersuchungen zur Tagesschläfrigkeit eignet.

2.3 Auswirkungen von Müdigkeit und Tagesschläfrigkeit auf das Fahren

Insgesamt ist die Beeinträchtigung fahrrelevanter Leistungsfunktionen bei Müdigkeit und Schläfrigkeit gut belegt. ALHOLA und POLO-KANTOLA (2007) geben einen Überblick über die Auswirkungen von chronischem und akutem Schlafentzug. Vor allem die Vigilanz, also die Fähigkeit zu aufmerksamem Beobachten währenddessen nur selten eine Reaktion erforderlich ist, nimmt durch Schlafentzug stark ab. Auch die akustische und die visuell-räumliche Aufmerksamkeit, die Leistung in Additions- und Subtraktionsaufgaben sowie in Reaktionszeitaufgaben sind beeinträchtigt. In quasi allen kognitiven Leistungsbereichen, wie Aufmerksamkeit, Arbeitsgedächtnis, Langzeitgedächtnis, visuell-motorische Leistungsfähigkeit, Entscheidungsfindung, verbale

Funktionen und Response Inhibition (die Fähigkeit, ungewollte Reaktionen zu unterdrücken) wurden schlechtere Leistungen unter Schlafentzug gefunden.

Konsistent hierzu wurden auch für OSAS-Patienten Beeinträchtigungen bzgl. verschiedenster neuropsychologischer Funktionen (Gedächtnis, Lernen, exekutive Funktionen, Aufmerksamkeit und Vigilanz, Reaktionszeiten) nachgewiesen (HOWARD et al., 2009). Anders als beim Unfallrisiko scheint der Schweregrad der Apnoe konsistent mit der in psychometrischen Tests nachgewiesenen Leistungsbeeinträchtigung zu korrelieren (ADAMS et al., 2001; BÉDARD et al., 1991; GREENBERG et al., 1987).

Zu den Aufmerksamkeitsprozessen, die mit Schläfrigkeit assoziiert sind, zählen

- die tonische Aktivierung (allgemeine physiologische Aktivierung und Reaktionsbereitschaft)
- die phasische Aktivierung (die Fähigkeit, auf einen Warnreiz hin die Aufmerksamkeit kurzfristig zu steigern),
- die selektive Aufmerksamkeit (die Fähigkeit, die Aufmerksamkeit selektiv auf bestimmte Stimuli zu fokussieren und irrelevante Stimuli zu unterdrücken)
- die geteilte Aufmerksamkeit (die Fähigkeit, mehrere Stimuli gleichzeitig zu verarbeiten)
- die Vigilanz (längerfristige Aufmerksamkeit bei niedriger Reizfrequenz und monotoner Reizsituation. Abgrenzend hierzu ist der Begriff der Daueraufmerksamkeit bei hoher Reizfrequenz zu verwenden).

Zur Fahrkompetenz bei Müdigkeit, Schläfrigkeit sowie unter substanzbedingter Sedierung liegen sowohl (quasi-)experimentelle Studien aus dem Realverkehr, aber auch aus Fahr simulatoren vor. Acht der 19 Fall-Kontroll-Studien, die im Review von ELLEN et al. (2006) betrachtet wurden, waren Fahr simulationsstudien, die durchgängig eine signifikant schlechtere Fahrkompetenz von OSAS-Patienten im Vergleich zu gesunden Kontrollpersonen ergaben. Eine CPAP-Behandlung reduziert die Beeinträchtigungen zwar, vollständig reversibel scheinen sie aber nicht zu sein. Auch für andere Patientengruppen (Narkolepsie, M. Parkinson, Insomnie), sedierende Medikamente und akuten Schlafentzug konnten Beeinträchtigungen der Fahrkompetenz

nachgewiesen werden (BRUNNAUER & LAUX, 2009; JONGEN et al., 2015; KAUSSNER, 2007; PERRIER et al., 2014).

Insgesamt sind empirische Befunde in Fahrsimulatoren und im Realverkehr stark abhängig von der Auswahl der zur Beurteilung der Fahrkompetenz herangezogenen Parameter (globale Ratings, Fahrfehlerzählung, aufgezeichnete Fahrdaten zur Längs- oder Querverführung, Reaktionszeiten, physiologische Parameter).

Die Befundlage zu den Auswirkungen von Schläfrigkeit auf das Geschwindigkeitsverhalten ist nicht eindeutig: So fanden zwar RISSER und WARE (1999) eine höhere Geschwindigkeitsvariabilität von OSAS-Patienten gegenüber Gesunden (0,92 vs. 4,07 km/h, $p = .0011$). DESAI et al. (2007) konnten hingegen keinerlei Effekte von Schläfrigkeit auf die Geschwindigkeitsvariation nachweisen. Während Sekundenschlafepisodes führen OSAS-Patienten langsamer als in wachern Zuständen (BOYLE, TIPPIN, PAUL & RIZZO, 2008). ORTH et al. (2002) fanden hingegen keinen Unterschied der mittleren Fahrtgeschwindigkeit zwischen OSAS-Patienten und einer gesunden Kontrollgruppe. Untersuchungen zum Einfluss von Müdigkeit auf das Abstandsverhalten zu vorausfahrenden Fahrzeugen sind selten und Befunde aus der Fachliteratur widersprüchlich (WILLE, 2009). HULST et al. (2001) untersuchten in einem Fahrsimulator den Einfluss von Müdigkeit auf das Folgefahren und fanden, dass eine Zunahme der subjektiven Müdigkeit mit einer Vergrößerung des Sicherheitsabstands zum Vorderfahrzeug einhergeht. Dagegen fanden ZHANG, WU, YAN und QIU (2016) in einer Realfahrtstudie, dass die die zum Führungsfahrzeug eingehaltenen Abstände umso geringer waren, je müder die Probanden waren. Im Vergleich hierzu sind Effekte von Schläfrigkeit auf Parameter der Querverführung beim Autofahrer weitaus besser belegt. Hier sind vor allem die Variabilität der Spurposition, in Form der Standardabweichung der Querabweichung (SDLP), und Spurübertretungen zu nennen. Die SDLP hat sich in verschiedenen Studien als sensitiv erwiesen gegenüber Schlafentzug, substanzbedingte Sedierung aber auch Erkrankungen, die mit Tagesschläfrigkeit assoziiert sind (JONGEN et al., 2015; KAUSSNER, 2007; KAUSSNER et al., 2010; KENNTNER-MABIALA et al., 2015; VERTER & RAMAEKERS, 2009). Eine höhere SDLP von OSAS-Patienten im Vergleich zu gesunden Personen fanden unter anderem RISSER und

WARE (1999). Im Verlauf der Fahrt nahm dieser Unterschied sogar noch zu.

TOULIOU et al. (2013) zeigten in der Fahrsimulation für unbehandelte OSAS-Patienten eine schlechtere Spurhalteleistung (SDLP) als für eine gesunde Vergleichsgruppe mit 0,5 ‰ Alkohol im Blut. Die SDLP in einer Simulatorfahrt zeigte bei OSAS-Patienten außerdem einen hochsignifikanten Zusammenhang ($r = -.677$, $p < .005$) mit der im Schlaflabor gemessenen Einschlaf latenz. Je geringer die Einschlaf latenz ist, also je schläfriger eine Person ist, desto schlechter ist demnach ihre Lenkleistung und desto mehr schwankt sie in der Spur (PIZZA et al., 2009). DESAI et al. (2007) verwendeten in einem Vergleich des Fahrverhaltens von OSAS-Patienten und gesunden Personen im Fahrsimulator ein sehr ähnliches Maß, die Lenkabweichung von der Spurmitte (steering deviation from the median lane position, STDVM). Auch sie fanden einen signifikanten Unterschied.

Durch verminderte Aufmerksamkeit und eine schlechtere Lenkleistung kommen schläfrige Personen häufiger von der Fahrbahn ab. Es ist anzunehmen, dass derartige Spurverlassensereignisse vor allem dann auftreten, wenn die Fahrer schon in einem fortgeschrittenen Schläfrigkeitsstadium sind. RISSER und WARE (1999) zählten die Spurübertretungen von OSAS-Patienten und einer Kontrollgruppe während einer 60-minütigen Simulatorfahrt. In der Gruppe der Gesunden traten im Mittel nur 0,04 Ereignisse auf, bei den OSAS-Patienten hingegen kam dies durchschnittlich 3,1 Mal vor ($p < .001$).

Die Anzahl an Beinahe-Unfällen und Handlungseingriffen des Fahrlehrers (Realverkehr) bzw. Kollisionen (Fahrsimulation) können ebenfalls als Maß zur Erfassung von Tagesschläfrigkeit am Steuer herangezogen werden. Insbesondere bei Kollisionen in der Fahrsimulation ist aber zu bedenken, dass diese sehr stark von der jeweiligen Szenariengestaltung abhängig sind.

Bei ORTH et al. (2002) und SEIFERT (2011) absolvierte jeweils eine Stichprobe von OSAS-Patienten eine 60-minütige Strecke im Fahrsimulator. Die Probanden fuhren mit ca. 100 km/h auf einer Landstraße. Als ein Indikator für Schläfrigkeit wurde die Unfallrate herangezogen, also die Gesamtzahl an Kollisionen mit anderen Fahrzeugen, Fußgängern oder sonstigen Hindernissen, aber auch das Abkommen von der Fahrbahn. Die Unfallrate bei OSAS-Patienten

ten war deutlich höher als die der gesunden Vergleichsstichprobe (OSAS: 2,7; Kontrollgruppe: 1,3; $p < .05$).

PIZZA et al. (2009) betrachteten in einer Simulatorstudie mit Schlaf-Apnoe-Patienten zum einen die absolute Häufigkeit der Unfälle während einer 30minütigen Fahrt und zum anderen die Zeit von Beginn der Simulation bis zum ersten Unfall. Als Kriterium für das Ausmaß der habituellen Schläfrigkeit der Patienten wurde außerdem die Einschlaf latenz erfasst. Die Zeit bis zum ersten Unfall und die Gesamtzahl der Unfälle korrelierten signifikant mit der Einschlaf latenz ($r = .732$, $p < .005$ bzw. $r = -.455$, $p < .05$).

Eine hohe Unfallrate bedingt durch eine verlangsamte Reaktionsgeschwindigkeit schläfriger Fahrer fanden DESAI et al. (2007). In einem monotonen Szenario tauchten vor dem Egofahrzeug unvorhergesehen Lkw auf, auf die die Fahrer reagieren mussten. Patienten mit OSAS bremsen später als die gesunde Vergleichsgruppe (1,551 Sek. vs. 1,171 Sek., $p < .001$). Außerdem kollidierten die Patienten häufiger mit den Lkw als die Gesunden.

Auch physiologische Parameter wie Körpertemperatur, die Atemfrequenz, die galvanische Hautreaktion, die Elektroenzephalografie, die Elektrokardiografie, die Elektromyografie, das Lidschlussverhalten und Blickbewegungen (RIZZO, 2004) werden zur Erkennung von Schläfrigkeit bzw. Müdigkeit eingesetzt. Diese können objektive und frühzeitige Hinweise auf die Leistungsfähigkeit des Fahrers geben.

Die Elektroenzephalografie (EEG) ist eine Methode zur Messung der summierten elektrischen Aktivität des Gehirns durch Aufzeichnung der Spannungsschwankungen an der Kopfoberfläche. Sie wird standardmäßig eingesetzt, um verschiedene Schlafphasen und mentale Aktivierungsniveaus zu messen. Im Zusammenhang mit der Messung von Schläfrigkeit bzw. Müdigkeit im Straßenverkehr kann mittels EEG Sekundenschlaf am Steuer detektiert werden. Allgemein zeigen müde bzw. schläfrige Fahrer vermehrt Alpha- und Theta-Aktivität im EEG (KECKLUND & ÅKERSTEDT, 1993). BOYLE et al. (2006) untersuchten die Fahrleistung von 24 Schlaf-Apnoe-Patienten im Simulator. In der Studie wurde Sekundenschlaf durch ein besonders monotonen Fahrszenario provoziert. In den 24 einstündigen Simulatorfahrten konnten mehr als 150 Sekundenschlafepisoden mittels EEG identifiziert werden.

Die Herzratenvariabilität (HRV) wird unter anderem als Maß für mentale Anforderung, Stress und Müdigkeit von Autofahrern verwendet. Ein Anstieg der HRV dient als Indikator für eine zunehmende Müdigkeit. BOYLE et al. (2006) fanden im Verlauf einer einstündigen Simulatorfahrt eine Zunahme der HRV von OSAS-Patienten im Vergleich zu gesunden Vergleichsprobanden. Zu Beginn der Fahrt zeigte sich kein Unterschied zwischen den Gruppen. Im Verlauf nahm die HRV der Patienten dann jedoch linear zu, wohingegen die HRV der Vergleichsgruppe über den Verlauf der Fahrt konstant blieb.

Die im Zusammenhang mit Fahrermüdigkeit wohl am häufigsten verwendeten Maße sind Blickbewegungen und das Lidschlussverhalten. PERCLOS (WIERWILLE et al., 1994) ist eines der bekanntesten und am häufigsten angewandten Verfahren. Es misst den prozentualen Zeitanteil, in dem mindestens 80 % des Auges verdeckt sind. Eine Person gilt dann nicht mehr als wach, wenn sie in 7,5 % der Zeit die Augen mehr als 80 % geschlossen hat, ab einem Zeitanteil von 15 % gilt die Person als schläfrig.

Einen guten Überblick über den Einfluss von Müdigkeit auf verschiedene physiologische Maße geben (CHUA et al., 2012). Sie untersuchten, welche Parameter mit der abnehmenden Leistung von schlafdeprivierten Probanden in einer Vigilanzaufgabe korrelierten. Den stärksten Zusammenhang mit verminderter Vigilanz zeigte das Lidschlussverhalten ($r = .77$) gefolgt von den Herzratenvariabilitätsmaßen PSD (power spectral density, $r = .68$) und SDNN (Standardabweichung der Herzschlagintervalle, $r = .67$) sowie der Delta-Power des EEG ($r = .65$).

2.4 Methoden zur Messung von Tagesschläfrigkeit

In den BGL werden als Kennzeichen erhöhter Tagesschläfrigkeit Aufmerksamkeitsstörungen, ungewolltes Einschlafen, Sekundenschlaf und/oder Einschlafneigung in monotonen Situationen genannt. Für die Messung der Fahrkompetenz bei Tagesschläfrigkeit sehen die BGL ein dreistufiges Vorgehen vor. Treten Auffälligkeiten auf einer Diagnostikstufe auf, sollen nachfolgende Stufen geprüft werden.

Im Folgenden wird in Anlehnung an diese drei Stufen ein Überblick über etablierte Methoden zur Erfassung von Schläfrigkeit gegeben.

2.4.1 Stufe 1: Subjektive Verfahren

Die erste Diagnosestufe zur Begutachtung der Fahrkompetenz beginnt mit einer ausführlichen Anamnese, bei der charakteristische Schläfrigkeitssymptome gezielt erfragt werden. Ergänzend werden in diesem Schritt auch standardisierte subjektive Verfahren eingesetzt. Der wohl am häufigsten verwendete Fragebogen zur Abklärung von Tagesschläfrigkeit ist die Epworth Sleepiness Scale (ESS, JOHNS, 1991).

Die ESS wurde 1991 entwickelt, um habituelle Tagesschläfrigkeit, operationalisiert über die Einschlafneigung in verschiedenen Situationen, zu erfassen. Für acht verschiedene Alltagssituationen mit niedrigem Anforderungsniveau (z. B. beim Fernsehen, als Beifahrer im Auto während einer einstündigen Fahrt ohne Pause) wird die Wahrscheinlichkeit abgefragt, einzuschlafen. Jede Situation kann mit 0 – „würde niemals einnicken“, 1 – „geringe Wahrscheinlichkeit einzunicken“, 2 – „mittlere Wahrscheinlichkeit einzunicken“ oder 3 – „hohe Wahrscheinlichkeit einzunicken“ bewertet werden. Ein Wert von mindestens 11 von 24 Punkten auf der ESS wird in den BGL als Indikator für auffällige Tagesschläfrigkeit angenommen. In einer Untersuchung von GOTTLIEB et al. (1999) korrelierte der ESS-Score von OSAS-Patienten signifikant mit dem Schweregrad ihrer Erkrankung.

Weitere subjektive Verfahren zur Erfassung von Schläfrigkeit sind die Stanford Sleepiness Scale (HODDES, ZARCONI, SMYTHE, PHILLIPS & DEMENT, 1973) und die Karolinska Sleepiness Scale (ÅKERSTEDT & GILLBERG, 1990). Den Verfahren ist gemein, dass sie den jeweilig momentanen Wachheitsgrad erfragen. Die Probanden geben auf einer 7-stufigen (SSS, „aktiv und munter, aufmerksam, hellwach“ bis „fast schon träumend, kurz vor Schlafbeginn, Ringen ums Wachbleiben verloren“) bzw. 9-stufigen (KSS, „sehr wach“ bis „sehr müde, große Probleme wach zu bleiben, mit dem Schlaf kämpfend“) Skala an, wie wach bzw. müde sie sich fühlen. In einigen Untersuchungen wird auch eine visuelle Analogskala verwendet, bei der die Probanden ein Kreuz auf einem Kontinuum von beispielsweise „sehr schläfrig“ bis „sehr wach“ setzen.

Neben der subjektiven Selbstwahrnehmung der Müdigkeit durch den Probanden selbst können auch Rater anhand beobachtbaren Verhaltens Müdigkeit bestimmen. Zum Beispiel ließen WIERWILLE et al. (1994) sechs verschiedene trainierte Rater

den Wachheitszustand von Fahrern bewerten, die auf Video aufgezeichnet worden waren. Die Ratingskala bestand aus fünf Abstufungen: nicht schläfrig (not drowsy), etwas schläfrig (slightly drowsy), mäßig schläfrig (moderately drowsy), sehr schläfrig (very drowsy) und extrem schläfrig (extremely drowsy). Während die Intraraterreliabilität sehr hoch war, die Rater also über Videos hinweg konstant urteilten, war die Interrater-Übereinstimmung, also die Übereinstimmung zwischen den verschiedenen Ratern, nicht zufriedenstellend. Das Ratingverfahren wurde weiterentwickelt, indem detailliertere Definitionen der einzelnen Zustände festgelegt wurden (WIEGAND et al., 2009). Zudem wurden die Rater vorher anhand von Videobeispielen geschult. Durch diese Schulung gelang es, dass auf der einen Seite die Urteile innerhalb eines Raters sehr konstant waren, dass aber auf der anderen Seite auch die Urteile zwischen verschiedenen Ratern eine sehr hohe Übereinstimmung aufwiesen. Es lässt sich abschließend festhalten, dass die Bewertung durch Rater eine valide Methode sein kann, um den Grad der Müdigkeit zu beurteilen. Dies gilt allerdings nur, wenn vorher beobachtbare Verhaltenskriterien definiert werden, anhand derer auf verschiedene Müdigkeitszustände geschlossen werden kann. Alle Rater sollten außerdem eine einheitliche Schulung erhalten.

2.4.2 Stufe 2: Schlafmedizinische Verfahren und psychometrische Leistungstests

Wenn sich in der ersten Diagnosestufe Hinweise auf erhöhte Schläfrigkeit am Tag ergeben, fordern die BGL den Einsatz objektiver Verfahren bzw. psychometrischer Leistungstests.

In der Schlafmedizin häufig verwendete Verfahren sind der Multiple Schlaflatenztest (MSLT) und der Multiple Wachbleibetest (MWT). Bei beiden Verfahren werden die zu testenden Personen in vier bzw. fünf Stunden-Intervallen in einem Schlaflabor getestet. Gemessen wird die Einschlaflatenz, also die Zeit von Ausschalten des Lichts bis zum Einschlafzeitpunkt. Um diesen zu bestimmen, werden Elektroenzephalografie, Elektrokulografie, Elektromyografie und Elektrokardiografie gemessen. Beim MSLT werden die Personen instruiert, möglichst schnell einzuschlafen während beim MWT die Aufgabe ist, möglichst lange wach zu bleiben. Eine kurze Einschlaflatenz in beiden Verfahren wird als Hinweis auf eine erhöhte Tagesschläfrigkeit interpretiert (STUCK et al., 2009).

Zur Erfassung der Aufmerksamkeitsleistung steht eine Vielzahl an nicht-apparativen und apparativen Verfahren zur Verfügung (STUCK et al., 2009). Gängige nicht-apparative Tests sind der Aufmerksamkeits-Belastungstest d2 (BRICKENKAMP et al., 2010) und das Frankfurter Aufmerksamkeitsinventar FAIR-2 (MOOSBRUGGER et al., 1996), die beide Aufmerksamkeit und Konzentrationsfähigkeit durch eine Symboldiskriminanzaufgabe messen. Vordefinierte Symbole sollen aus ähnlichen Symbolen erkannt und markiert werden. Beide Verfahren sind Speed-und-Power Verfahren, müssen also möglichst fehlerfrei und gleichzeitig möglichst schnell bearbeitet werden. Im Gegensatz zu diesen beiden Verfahren, die die Kurzzeitanspannung messen, beansprucht der Konzentrationsleistungs-

test (DÜKER & LIENERT, 1965; LUKESCH & MAYRHOFER, 2001) Langzeitbeanspruchung im Sinne von Belastbarkeit, Ausdauer und Ermüdungsresistenz über einen längeren Zeitraum zu messen. Er besteht aus mehreren Blöcken von Rechenaufgaben und misst den Leistungsverlauf.

In der Praxis werden jedoch eher apparative Verfahren verwendet um Aufmerksamkeitsfunktionen und zentralnervöse Aktivierung zu messen. Tabelle 2-3 gibt einen zusammenfassenden Überblick zu in Deutschland akkreditierten apparativen Verfahren. Aufgrund seiner hohen Verbreitung im deutschsprachigen Raum soll im Folgenden exemplarisch das Wiener Testsystem (WT) VERKEHR der Firma Schuhfried etwas genauer beschrieben werden.

Verfahren	Hersteller	Untertests	Dauer (min)	Valide/Sensitiv für Tagesschläfrigkeit
Testbatterie zur Aufmerksamkeitsprüfung (TAP-M)	PsyTest	<ul style="list-style-type: none"> • Ablenkbarkeit • Aktives Gesichtsfeld • Alertness • Daueraufmerksamkeit • Exekutive Kontrolle • Flexibilität • Geteilte Aufmerksamkeit • Go/NoGo • Visuelles Scanning 	~ 50	Evtl. Auswahl einzelner Untertests, keine Normierung für Schläfrigkeit
VERKEHR	Schuhfried GmbH	<ul style="list-style-type: none"> • Cognitron (COG) • Wahrnehmungs- und Aufmerksamkeitsfunktionen (WAF) • Determinationstest (DT) • Reaktionstest (RT) 	~ 60	Entwickelt für Verkehrspsychologische Fragestellungen, inkonsistente Befunde zu Schläfrigkeit
SLEEP	Schuhfried GmbH	<ul style="list-style-type: none"> • Reaktionstest (RT) • Vigilanz (WAFV-S2) • Geteilte Aufmerksamkeit (WAFG) • Selektive Aufmerksamkeit (WAFS) • Daueraufmerksamkeit (WAFV S6) 	~ 40 Langversion: ~ 90	Orientiert sich an den Vorgaben der BGL, allerdings nicht an Tagesschläfrigen normiert
Vigil	Schuhfried GmbH		28-69 (je nach Testform)	Optimale Konzeption für Schläfrigkeit, wird auch für verkehrspsychologische Fragestellungen empfohlen
Corporal Plus	Vistec AG	<ul style="list-style-type: none"> • Reaktionsfähigkeit visuell • Reaktionsfähigkeit visuell und auditiv • Konzentration • Aufmerksamkeit (verteilt) • Aufmerksamkeitsbelastbarkeit • Orientierung (räumlich) • Arbeitsgedächtnis 	~ 20	Entwickelt für verkehrspsychologische Fragestellungen, für Schläfrigkeit vermutlich zu kurze Testdauern.

Tab. 2-3: Überblick über gängige apparative Verfahren zur Erfassung von fahrrelevanten Leistungsbeeinträchtigungen durch Schläfrigkeit im deutschsprachigen Raum

Für die Messung der Fahrkompetenz von Patienten mit Tagesschläfrigkeit bieten sich verschiedene Tests aus den Bereichen Aufmerksamkeit und Reaktionsverhalten an. Beispielsweise misst der Cognitive (COG) Aufmerksamkeits- und Konzentrationsleistung, indem die Testperson geometrische Figuren vergleicht und identischen Figuren zuordnen müssen. Der Reaktionstest (RT) dagegen erfasst unterschiedliche Aspekte des Reaktionsverhaltens (Einfach- und Mehrfachwahlreaktionen). Die Aufgabe dabei ist, so schnell wie möglich auf bestimmte optische und/oder akustische Signale durch ein möglichst rasches Drücken oder Loslassen einer Taste zu reagieren. Anlässlich der Aufnahme von Tagesschläfrigkeit als ausschließendes Merkmal in die BGL wurde von Schuhfried die Testbatterie SLEEP entwickelt. Sie umfasst tonische sowie phasische zentralnervöse Aktivierung und enthält Tests zum Reaktionsverhalten sowie zu den Aufmerksamkeitsbereichen Vigilanz, geteilte Aufmerksamkeit, selektive Aufmerksamkeit und Dauer- aufmerksamkeit. Die Testvorgabe dauert ca. 90 Minuten (40 Minuten in der Kurzversion). Die Testpersonen müssen auf vorgegebene Reize reagieren. Ausgewertet werden Reaktionszeiten und Aufmerksamkeitsfehler in Form von Verpassern und falschen Alarmen.

Insgesamt können Beeinträchtigungen durch Müdigkeit, Tagesschläfrigkeit und assoziierte Krankheitsbilder durch die beschriebenen Leistungstests nur bedingt abgebildet werden. Außerdem scheinen die in den Tests geprüften Leistungsfunktionen nur wenig mit der tatsächlichen Fahrkompetenz assoziiert zu sein. Beispielsweise untersuchten KOTTERBA et al. (2004) 13 Narkolepsie-Patienten vor und nach Therapie mittels Tests des Wiener Testsystems und der TAP zu Reaktionszeit, geteilter Aufmerksamkeit und Vigilanz. Mit keinem der Tests konnten Unterschiede vor und nach der Therapie gefunden werden, wohingegen dieser Nachweis in einer Fahrprobe im Fahrsimulator gelang. Dort zeigten die Patienten nach der Therapie eine signifikant bessere Leistung. Unfallraten und Konzentrationsfehler (z. B. ungenaue Spurhaltung oder Überschreiten der erlaubten Höchstgeschwindigkeit) nahmen nach der Therapie ab.

2.4.3 Stufe 3: Fahrverhalten

Bleiben nach der schlafmedizinischen und psychometrischen Testung erhebliche Zweifel an der Fahrkompetenz bestehen, ist im dritten Diagnoseschritt

die Durchführung einer Fahrprobe vorgesehen. Diese erlaubt die Beobachtung des Fahrverhaltens bei Vorliegen von Tagesschläfrigkeit unter Bedingungen hoher ökologischer Validität. In der Regel findet eine solche Fahrprobe mit einem speziell geschulten Fahrlehrer statt, der die Fahrkompetenz während einer mindestens 30-minütigen monotonen Fahrt begutachtet. Es gibt keine allgemein anerkannten, objektiven und sensitive Parameter zur Messung der Fahrkompetenz. Vielmehr entscheidet in der Fahrprobe der Gesamteindruck des Fahrlehrers bzw. Prüfers über das Bestehen. Da das zu wählende Fahrscenario möglichst monoton sein soll, besteht die Hauptaufgabe des Fahrers in der Fahrzeugstabilisierung. In Folge dessen achtet der Prüfer in der Realfahrt auch vornehmlich auf das eventuelle Zufallen der Augen sowie auf Fehler in der Quer- (Spurverschwenkungen oder Abkommen von der Fahrbahn) und Längsführung (Geschwindigkeitwahl und -anpassung, Abstandsverhalten zu vorausfahrenden Fahrzeugen). Die Vorgabe monotoner Szenarien bedingt somit einen sehr reduzierten Umfang an Aufgabenstellungen und damit auch an zu extrahierenden Parametern.

Fahrverhaltensproben gelten als der Goldstandard der Fahrkompetenzmessung (BALL & ACKERMAN, 2011). Ein wesentlicher Nachteil von Fahrverhaltensbeobachtungen im Realverkehr ist jedoch, dass sie schwer zu standardisieren, aufwändig durchzuführen und gerade bei Personen, bei denen eventuell die Fahrkompetenz eingeschränkt ist, nicht ohne Risiko sind. Ein weiterer Nachteil besteht darin, dass für bestimmte Beeinträchtigungen kritische Fahraufgaben nicht gezielt hergestellt werden können, sodass vorhandene Defizite, die nur unter bestimmten, ungünstigen Bedingungen evident werden, möglicherweise übersehen werden. Aufgrund wechselnder Tageszeiten, Verkehrs- und Witterungsverhältnisse können darüber hinaus auch bei identischer Strecke die Anforderungen von Fahrt zu Fahrt stark differieren. Auch die Vertrautheit des Fahrers mit der zu fahrenden Strecke und mit dem gefahrenen Fahrzeug beeinflusst die Anforderungen an den Fahrer. Die Fahrsimulation ist eine vielversprechende Alternative zu klassischen Leistungstests und Fahrverhaltensbeobachtungen im Realverkehr. Während psychometrische Leistungstests unter den Bedingungen maximaler experimenteller Kontrolle aber sehr geringer Anwendbarkeit auf das tägliche Fahren die kognitive Leistungsfähigkeit eines Fahrers messbar machen, erheben Fahrverhaltensbeobachtungen im Realverkehr un-

ter eingeschränkterer experimenteller Kontrolle ein realistisches Maß für die Fahrkompetenz. Moderne Fahrsimulatoren erlauben dagegen die Messung der Fahrkompetenz in realistischen Situationen unter den Bedingungen starker experimenteller Kontrolle und Standardisierung. Trotz dieser Vorteile der Fahrsimulation gegenüber Realfahrproben, ist der Einsatz von Fahrsimulatoren zur Messung der Fahrkompetenz bei Tagesschläfrigkeit bisher nicht offiziell anerkannt. Die Neuauflage der Begutachtungsleitlinien (BGL) zur Kraftfahrereignung (GRÄCMANN & ALBRECHT, 2019) empfiehlt aber im Kapitel „Tagesschläfrigkeit“, dass bei erheblichen Zweifeln an der Fahreignung „... die Durchführung einer Fahrprobe bis zur Entwicklung valider Fahrsimulatoren angezeigt sein“ kann (S. 64). Im Folgenden soll daher detaillierter auf den Einsatz von Fahrsimulatoren zur Messung der Fahrkompetenz im Allgemeinen und bei Tagesschläfrigkeit im Speziellen eingegangen werden.

2.5 Der Einsatz der Fahrsimulation zur Messung der Fahrkompetenz

Zum Einsatz der Fahrsimulation zur Messung der Fahrkompetenz im Allgemeinen untersuchten beispielsweise KENNTNER-MABIALA et al. (2019) in einer Validierungsstudie, ob die Fahrkompetenz älterer Autofahrer in der Fahrsimulation vergleichbar gut gemessen werden kann wie im Realverkehr. Die Autoren fanden, dass sich bei einer entsprechend gestalteten Fahrverhaltensprobe die Befunde zur Fahrkompetenz aus dem Simulator auf den realen Straßenverkehr übertragen lassen. Hinsichtlich der Validität von Fahrsimulatoren für die Untersuchung von Müdigkeit verglichen DAVENNE et al. (2012) die Fahrleistung von zwei Gruppen gesunder Männer unter Schlafentzug im Realverkehr ($n = 14$) auf einer Autobahn und in einem ähnlich konstruierten Fahrsimulationsszenario ($n = 20$). Müdigkeit wurde über die Tageszeit und die Dauer der jeweiligen Fahrten hergestellt: Es gab eine zweistündige Bedingung (3:00-5:00), eine vierstündige Bedingung (1:00-5:00) und eine achtstündige Bedingung (21:00-5:00). Die Probanden schätzten ihre Müdigkeit stündlich auf einer visuellen Analogskala („Beschreiben Sie, wie müde Sie jetzt sind“) und auf der KSS ein. Mit zunehmender Länge der Fahrt schätzten sich die Probanden in der jeweils letzten Stunde des Versuchs müder ein. Dieser Effekt wurde gleichermaßen in der Fahrsimulation und in der Realfahrt gefunden. Im Simulator kam es zu deut-

lich mehr Spurübertretungen als in der Realfahrt. Sowohl im Simulator als auch im Realverkehr erhöhte sich die Zahl der Spurübertretungen mit der Länge der Fahrt. Die Zunahme war aber im Simulator deutlich stärker ausgeprägt. Der Befund kann zum einen darauf zurückgeführt werden, dass die Spurhaltung in Simulatoren schwieriger ist als im realen Fahrzeug. Zum anderen kann angenommen werden, dass die Spurhaltung im Simulator sensibler für Müdigkeit ist als im Realverkehr.

Tabelle 2-4 gibt einen Überblick über empirischen Simulatorstudien zum Fahrverhalten müder Fahrer. Bei den verwendeten Auswertungsparametern handelt sich hier vorwiegend um Maße der Querführung. Insgesamt unterscheiden sich empirische Studien in der Fahrsimulation sehr stark in der verwendeten Hard- und Softwareausstattung des Fahrsimulators und damit einhergehend in der Auswahl der Prüfstrecken und Szenarien. Ersichtlich wird, dass meist eher einfache Hardware-Lösungen mit nur einem Monitor zur Visualisierung der Frontsicht verwendet werden.

Inkonsistente Befunde bzgl. der Auswirkung von erkrankungskorrelierter Schläfrigkeit auf die Fahrkompetenz können häufig durch Unterschiede in der Gestaltung der Prüfstrecken oder Szenarien erklärt werden. So zeigte sich bspw. sowohl für eine substanzbedingte Sedierung durch Antiepileptika und Alkohol als auch für Tagesschläfrigkeit bei Patienten mit M. Parkinson, dass die Spurhaltung nur in leichteren, monotonen Streckenabschnitten, nicht aber bei anspruchsvolleren Szenarien mit stärkerer Kurvigkeit beeinträchtigt ist (KAUSSNER, 2007; KAUSSNER et al., 2010; KENNTNER-MABIALA et al., 2015). Monotone Strecken sind in der Regel gekennzeichnet durch eine relativ gerade Straßenführung und ein geringes Verkehrsaufkommen. Dementsprechend werden in den meisten Studien auch Landstraßen oder Autobahnen simuliert, auf denen wenig bzw. kein Verkehrsaufkommen herrscht. Teilweise werden Folgefahrt-Szenarien verwendet, bei denen der Fahrer einem vorausfahrenden Fahrzeug in einem gewissen Abstand folgen soll. Dies dient zum einen dazu, das Geschwindigkeitsverhalten zu kontrollieren, und zum anderen, das Abstandhaltenverhalten der müden Fahrer zu untersuchen. Zudem kann durch abruptes Bremsen des Vorderfahrzeugs die Reaktionsgeschwindigkeit des Fahrers erfasst werden. Hier ist allerdings darauf zu achten, dass ein plötzliches Ereignis, wie das Bremsen des Vorderfahrzeugs den potenziell schläfrigen Fahrer wieder aktivieren

Autoren	Stichprobe	Dauer (min)	Ausstattung	Strecke	Parameter
ORTH et al. (2002)	OSAS-Patienten und Gesunde	60	C.A.R. (Computer Aided Risk Simulator), einzelner Bildschirm	Landstraße bei ca. 100 km/h, unterschiedliche Witterung (Regen, Nebel, Schnee, Schönewetter), Hindernisse	Anzahl Unfälle, Konzentrationsfehler, Durchschnittsgeschwindigkeit
PIZZA et al. (2009)	OSAS-Patienten	30	STISIM 300 Driving Simulator, Sitzkiste, 3 Monitore	Zweispurige Landstraße, wenige Kurven und Kreuzungen, keine Hindernisse	Anzahl Unfälle, Zeit bis zum ersten Unfall, SDLP, Reaktionszeit, Geschwindigkeit
BOYLE et al. (2008)	OSAS-Patienten	60	SIREN, 150° Frontsicht, 50° Rücksicht	Zweispurige Landstraße mit geraden und leicht kurvigen Abschnitten, Fahrt bei ca. 90 km/h, wenig Verkehr	Geschwindigkeit, SDLP
RISSE & WARE (1999)	OSAS-Patienten und gesunde Kontrollen	60	STISIM, ein Monitor mit Gas- und Bremspedal	Zweispurige, leicht kurvige Landstraße bei ca. 90 km/h, wenig Verkehr	SDLP, Geschwindigkeitsvariabilität, Unfallhäufigkeit
DESAI et al. (2007)	OSAS-Patienten und gesunde Kontrollen	30	AusEd Driving Simulator, computerbasiert, ein Monitor	zweispurige Landstraße, Nachtfahrt, manchmal plötzlich auftauchende Lkw, Geschwindigkeit 60-80 km/h	SDLP, Geschwindigkeitsvariabilität, Bremsreaktion, Unfälle
TOULIOU et al. (2013)	OSAS-Patienten	20	k. A. „simulated environment“	konstante Geschwindigkeit von 90 km/h, Folgeszenario (plötzliches Bremsen des Vorderfahrzeugs)	SDLP, TTC
GHOSH et al. (2012)	OSAS-Patienten	k. A.	MiniSim, computerbasiert	dreispurige Autobahn, plötzlich auftauchende Hindernisse	SDLP, Geschwindigkeit, Reaktionszeiten, Abstand
VAKULIN et al. (2014)	OSAS-Patienten und gesunde Kontrollen mit vs. ohne Schlafentzug	90	AusEd Driving Simulator, ein Monitor	Nachtfahrt auf einer Landstraße, plötzlich vor dem Fahrzeug auftauchende Lkw	Lenkabweichung, Unfallzahl
DAVENNE et al. (2012)	Gesunde Fahrer mit vs. ohne Schlafentzug	k. A.	INRETS-MSIS SIM2, computerbasiert, ein Monitor	zweispurige Autobahn, Tagfahrt, kein Verkehr, Geschwindigkeit 130 km/h	Spurübertretungen

Tab. 2-4: Merkmale empirischer Studien zur Untersuchung von Müdigkeit in der Fahrsimulation

kann. Ein solches Szenario sollte, wenn überhaupt, dann eher gegen Ende der Fahrt erscheinen. Auch in Hinblick auf Simulatorverträglichkeit sollten abrupte Bremsmanöver eher vermieden werden.

Die Simulatorkrankheit ist eine negative Begleiterscheinung der Exposition in virtuellen Umwelten. Das Phänomen umfasst Symptome, die denen der Bewegungskrankheit („Motion Sickness“, IRWIN, 1881) sehr ähnlich sind. Zu den berichteten Hauptsymptomen gehören (KENNEDY et al., 1990): Übelkeit, Benommenheit, allgemeines Unwohlsein, Apathie, Kopfschmerzen, Desorientierung, Erschöpfung und Ermüdung.

Zur Erfassung der Simulatorkrankheit werden Fragebögen, physiologische Verfahren und Verhaltens-

messungen (vor allem Tests zur Haltungsstabilität) verwendet. Subjektive Verfahren finden mit Abstand am häufigsten Anwendung. Der Simulator Sickness Questionnaire SSQ (KENNEDY et al., 1993) ist das bekannteste Verfahren zur Erfassung der Simulator Sickness. Die Angabe von Inzidenzen für Simulator-Sickness ist komplex, da diese sehr ausgeprägt mit folgenden Faktoren variieren (LAWSON, GRAEBER & MEAD, 2002):

- Art der Simulation (Fahrsimulation, Flugsimulation),
- Ausbaustufe der Simulation (fixed, moving-based, Weite des Sichtsystems),
- Vorerfahrung bzw. Training der Probanden,

- Expositionsdauer und
- Komplexität der Szenerie.

Als wichtigster Faktor ist hier die Vorerfahrung mit Simulatoren zu nennen, die im Sinne eines Gewöhnungseffektes mit geringeren Beschwerden einhergeht (HOFFMANN & BULD, 2006). Fahrten zur Eingewöhnung erscheinen demnach äußerst wichtig, im Hinblick auf eine Anwendung im klinischen Alltag, sollte der dafür nötige Zeitaufwand allerdings so gering wie möglich gehalten werden.

Jedoch ist gerade für den Themenbereich Tagesschläfrigkeit aufgrund der monotonen, manöverarmen Szenariengestaltung davon auszugehen, dass die Problematik der Simulatorkrankheit sehr gut kontrolliert werden kann und eine sehr untergeordnete Rolle spielen wird.

2.6 Zusammenfassung und Ableitungen für die Projektarbeit

Schlafstörungen unterschiedlichster Ätiologie sind in der Gesamtbevölkerung weit verbreitet. Chronisch zu wenig oder nicht-effektiver Schlaf kann zu einer Tagesschläfrigkeit führen, die sich in einer starken habituellen Müdigkeit und einer Einschlafneigung niederschlägt. Dies kann zu einer Einschränkung der Leistungsfähigkeit und damit auch der Fahrkompetenz führen. Insbesondere monotone Situationen auf der Autobahn oder der Landstraße sind für tagesschläfrige Fahrer schwer zu bewältigen. Berufskraftfahrer sind diesen Situationen in ihrer täglichen Arbeit sehr häufig und sehr lange ausgesetzt. Dementsprechend zeigt die Analyse der Unfallstatistiken, dass Müdigkeit vor allem bei Berufskraftfahrern eine sehr häufige Unfallursache ist. Zur Diagnose der Fahrkompetenz bei Tagesschläfrigkeit stellen die Begutachtungsleitlinien ein 3-stufiges Vorgehen vor: Besteht nach einer schlafmedizinischen Untersuchung aufgrund des klinischen Urteils ein Verdacht auf eine Tagesschläfrigkeit, die mit fahrrelevanten Einschränkungen einhergehen kann (Stufe 1), erfolgt im nächsten Schritt eine Leistungstestung mit etablierten psychologischen Testverfahren (Stufe 2). Bestehen dann immer noch Zweifel an der Fahrkompetenz, kann im dritten Schritt eine Fahrprobe angeordnet werden. Bis zum Nachweis der Validität von Testverfahren in der Simulation, hat die Fahrprobe im Realverkehr zu erfolgen.

Das Ziel des vorliegenden Projekts ist es, ein valides Testverfahren zur Messung der Fahrkompetenz

von tagesschläfrigen Patienten in der Fahrsimulation zu entwickeln. Die Gründe hierfür sind vielfältig. Die Fahrsimulation kann die Vorteile der psychometrischen Testung und die einer Fahrprobe im Realverkehr miteinander vereinen: Sie erlaubt es, das Fahrverhalten unter hochstandardisierten, replizierbaren Bedingungen direkt zu messen, ohne dabei die Testperson oder andere zu gefährden. Die Anforderung, eine möglichst monotone, müdigkeitsensitive Fahrsituation zu realisieren, kann gerade in der Simulation sehr gut umgesetzt werden. Hierzu finden sich auch gute Ansatzpunkte aus der Forschungsliteratur (z. B. KAUSSNER, 2007; KAUSSNER et al., 2010). Bei der Entwicklung des Bewertungskonzepts zur Quantifizierung der Fahrkompetenz soll auf eigene Vorarbeiten zurückgegriffen werden, in denen die Validität der Fahrsimulation älterer Fahrer (KENNTNER-MABIALA et al., 2019) und unter Alkoholeinfluss (KENNTNER-MABIALA et al., 2015) erfolgreich nachgewiesen wurde.

Das vorliegende Projekt hat einen klaren Anwendungsbezug: Es soll ein valider und praktikabler Prototyp zur Messung der Fahrkompetenz bei Tagesschläfrigkeit entwickelt und getestet werden, der sich für den breiten Einsatz in Kliniken oder bei Begutachtungsstellen eignet. Hierfür ist es notwendig, dass der Testaufbau platzsparend, einfach zu transportieren und zu bedienen sowie möglichst kostengünstig ist. Da in Kliniken und Diagnostikzentren keine Zeit ist, um Klienten aufwändig an die Simulation zu gewöhnen, muss der Testaufbau so gestaltet werden, dass er auch ohne Vorerfahrung in der Fahrsimulation bewältigbar ist und valide Ergebnisse liefert. Außerdem muss darauf geachtet werden, dass Einflüsse, die das Auftreten von Simulator Sickness begünstigen, minimiert werden.

Die Validierung der in diesem Projekt entwickelten Testumgebung soll anhand einer möglichst homogenen Patientenstichprobe erfolgen, deren Störungsbild weit verbreitet ist und bei der relativ wenige Begleiterkrankungen zu erwarten sind. Außerdem sollte wissenschaftlich gut belegt sein, dass diese Gruppe tatsächlich aufgrund ihrer Tagesschläfrigkeit mit fahrrelevanten Leistungseinschränkungen zu kämpfen hat. Wie in Kapitel 2.2 dargestellt, wurden aus diesen Gründen Schlaf-Apnoe-Patienten als Zielgruppe für die Validierungsstudie festgelegt.

Nachfolgend wird die Entwicklung der Simulator-testumgebung beschrieben und im Anschluss werden Methoden und Ergebnisse der Validierungs-

studie berichtet. In einer abschließenden Diskussion werden die Ergebnisse der Validierungsstudie interpretiert und Empfehlungen für das weitere Vorgehen abgeleitet.

3 Entwicklung einer Simulatorprüfsumgebung zur Messung der Fahrkompetenz bei Tagesschläfrigkeit

3.1 Prüfstrecke

Der Literaturüberblick (siehe Kapitel 2.4) zeigt, dass für tagesschläfrige Patienten vor allem das Fahren unter Monotonie über einen längeren Zeitraum sehr schwierig ist. Bei der Gestaltung der Prüfstrecke war es daher vorrangig, eine möglichst reizarme Strecke zu gestalten, die eine Messung von Effekten über die Zeit erlaubt. Die Prüfstrecke wurde mit der Simulatorsoftware SILAB® erstellt. Sie ist dem Vigilanz-Szenario aus dem SILAB® SPDE_DFA-Szenarienpaket angelehnt (s. Bild 3-1), das sich bereits in verschiedenen Studien zu sedierenden Substanzen (KAUSSNER et al., 2010), Alkohol (KENNTNER-MABIALA et al., 2015) und Erkrankungen, die mit Tagesschläfrigkeit einhergehen (KAUSSNER, 2007), als sensitiv gegenüber Müdigkeitseffekten erwiesen hat. Es wurde die Variante A der Vigilanzfahrt als Baustein genutzt, welche aus einer 24 km langen Nachtfahrt auf der Landstraße

besteht. Die Fahrt ist in eine Anfahrt mit Befragung, vier Teile à 6 km (Segmente), sowie eine Ausfahrt mit Befragung aufgeteilt. Die Strecke ist sehr einfach und monoton. Die Spurbreite beträgt 3,50 m. In der Strecke wechseln sich gerade Abschnitte von je 500 m Länge mit sanften Links- und Rechtskurven einer Länge von ebenfalls 500 m mit einer Krümmung von 1/800 m oder 1/200 m ab. Ein vorausfahrendes Fahrzeug fährt zwischen 80 und 90 km/h nach einem realistischen Geschwindigkeitsprofil. Auf der gesamten Strecke ist Überholverbot. Falls doch überholt wird, erscheint ein weiteres Führungsfahrzeug mit identischem Geschwindigkeitsverhalten. Es herrscht mäßiger Gegenverkehr. Als Nebenaufgabe sollten die Probanden eine akustische Vigilanzuhr bearbeiten. Dazu ertönte alle 1.700 ms ein Ton. In 15 % der Fälle wurde der Ton zufällig ausgelassen. Die Aufgabe des Fahrers war es, als Reaktion auf den fehlenden Ton eine Lenkradtaste drücken. Ausgewertet wurde der Anteil an übersehenen Auslassungen (Missings). Die Bewertung von Reaktionszeiten macht bei der Reaktion auf einen nicht vorhandenen Ton kaum Sinn, weshalb dieser Parameter nicht ausgewertet wird. Diese akustische Vigilanzaufgabe wurde am ersten Termin nach der Simulatorgewöhnung eingeübt. Dieses Ausgangsszenario wurde viermal wiederholt (4 x 4 Segmente = 4 Blöcke). Die Strecke wurde nicht als Nacht-Szenario sondern als Tages-Szenario realisiert, da explizit eine Prüfung von Tagesschläfrigkeit gefordert ist und somit die Verwendung einer Nacht-Szenerie nicht geboten erscheint.



Bild 3-1: Screenshot aus dem Fahrparcours. Das gelbe Führungsfahrzeug fährt mit einem realistischen Geschwindigkeitsprofil zwischen 80 und 90 km/h und darf nicht überholt werden.

3.2 Messparameter

Fahrfehler werden durch einen trainierten Versuchsleiter mithilfe der SILAB®-betriebenen Applikation S.A.F.E. (Standardized Application for Fitness to Drive Evaluations, siehe Bild 3-2) registriert und kategorisiert. Sie werden in die folgenden sechs Kategorien mit bis zu vier Subkategorien unterteilt und am Ende der Fahrt zu einer Gesamtfehlerzahl ohne Gewichtung aufsummiert:

- (1) Geschwindigkeitsverhalten:
 - Schneller als zulässige Höchstgeschwindigkeit (Gs1)
 - Unangepasste Beschleunigung oder Verlangsamung (Gs2)
 - Unangepasstes Langsamfahren (Gs3)
- (2) Abstandsverhalten:
 - Zu geringer Längsabstand innerorts (Ab1)
 - Zu geringer Längsabstand außerorts (Ab2)
 - Zu geringer Querabstand (Ab3)
- (3) Fahrbahnbenutzung:
 - Fehlende Spurengauigkeit/Abkommen von der Fahrbahn (Fb1)
 - Spurwechselfehler (Fb2)
 - Unangepasste Spurwahl (Fb3)
 - Befahren unzulässiger Fahrbahnen (Fb4)



Bild 3-2: Die am WIVW entwickelte Applikation S.A.F.E. zur standardisierten Beobachtung des Fahrverhaltens während einer psychologischen Fahrverhaltensbeobachtung

- (4) Sicherndes Verhalten:
 - Fehlendes, nicht ausreichendes, verzögertes Sichern (Si1)
 - Verkehrsverstöße gegenüber Vorrangregeln (Si2)
 - Übervorsichtiges Sichern (Si3)
- (5) Gefährdendes Verhalten
 - Gefährdendes Verhalten gegenüber Fußgängern (Gf1)
 - Gefährdendes Verhalten gegenüber anderen motorisierten Verkehrsteilnehmern (Gf2)
- (6) Kommunikationsverhalten
 - Fehlendes, verzögertes, verfrühtes Blinken (Ko1)
 - Keine/unklare Kommunikation mit anderen Verkehrsteilnehmern (Ko2)
 - Umgang mit der Zeichengebung anderer Verkehrsteilnehmer (Ko3)

Außerdem erfolgt ebenfalls über die Applikation S.A.F.E. am Ende jedes Segments eine absolute Beurteilung der Fahrkompetenz durch den Versuchsleiter auf der 11-stufigen Fitness to Drive Scala (0-3: normales Fahrverhalten; 4-6 auffälliges Fahrverhalten; 7-9: kritisches Fahrverhalten; 10: absolut fahruntauglich).

Als Maß für die Güte der Spurhaltung wird über S.A.F.E. die SDLP automatisiert aufgezeichnet. Diese beschreibt die Standardabweichung der lateralen Position von der Mittellinie in Metern. Spurverlassens-Ereignisse werden dabei gesondert erfasst, sodass Zeiträume, in denen das Fahrzeug die Spur verlassen hat, im Sinne von Ausreißern nicht in die Berechnung der SDLP einfließen.

Als Nebenaufgabe während der Fahrt bearbeiten die Probanden eine akustische Vigilanzuhr. Dazu ertönt alle 1.700 ms ein Ton. Bei einer mittleren Fahrgeschwindigkeit von ca. 85 km/h (wegen des vorausfahrenden Fahrzeugs) dauert ein 6-km-Abschnitt damit ca. 250 Sekunden, sodass im Schnitt $250/1,7 = 147$ Reize dargeboten werden. In 15 % der Fälle (≈ 22) wird der Ton zufällig ausgelassen. Die Aufgabe des Fahrers ist es, als Reaktion auf den fehlenden Ton eine Lenkradtaste drücken. Ausgewertet wird der Anteil nicht erfolgter Reaktionen (Missings).

Zur Erfassung der Schläfrigkeit wird den Probanden nach jedem 24 km (= 4 x 6 km) Block die deutsche Version der Stanford Sleepiness Scale (SSS) vorgelegt. Darauf gaben die Probanden auf einer 7-stufigen Likert-Skala den Grad ihrer aktuellen Wachheit von 1 = „fühle mich aktiv und vital; aufmerksam; vollkommen wach“ bis 7 = „fast träumend; schlafe bald ein; kein Bemühen mehr, wach zu bleiben“ (HODDES et al., 1973).

Außerdem werden die Probanden nach jedem Abschnitt gefragt,

- wie häufig sie beim letzten Abschnitt eingeschlafen sind,

- ob sie glauben, dass sie beim nächsten Abschnitt einschlafen,
- ob sie im Realverkehr weiterfahren würden.
- Über Kupferspulen, die an das Ober- und Unterlid der Probanden angebracht werden, wird die Prozent der Zeit mit geschlossenen Augen (PERCLOS) als verhaltensbasiertes Maß für Schläfrigkeit erfasst.

Tabelle 3-1 gibt einen Überblick über die verschiedenen Streckenabschnitte und die jeweils erhobenen Parameter.

Streckenabschnitt	subjektiv				Verhalten						
	Block	Segment	Länge [m]	v [km/h]	FTD (VL)	SSS (F)	SSS (VL)	SDLP	Fehlerzahl SAFE	% Missing	PERCLOS
Stand	0	0	0	0							
Losfahren	0	0	500	70							
Zwischenstück	0	0	1.000	85	x	x	x				
Vigilanzfahrt	1	1	6.000	85				x	x	x	x
Vigilanzfahrt	1	2	6.000	85				x	x	x	x
Vigilanzfahrt	1	3	6.000	85				x	x	x	x
Vigilanzfahrt	1	4	6.000	85				x	x	x	x
Zwischenstück	0	0	1.000	85	x	x	x				
Vigilanzfahrt	2	5	6.000	85				x	x	x	x
Vigilanzfahrt	2	6	6.000	85				x	x	x	x
Vigilanzfahrt	2	7	6.000	85				x	x	x	x
Vigilanzfahrt	2	8	6.000	85				x	x	x	x
Zwischenstück	0	0	1.000	85	x	x	x				
Vigilanzfahrt	3	9	6.000	85				x	x	x	x
Vigilanzfahrt	3	10	6.000	85				x	x	x	x
Vigilanzfahrt	3	11	6.000	85				x	x	x	x
Vigilanzfahrt	3	12	6.000	85				x	x	x	x
Zwischenstück	0	0	1.000	85	x	x	x				
Vigilanzfahrt	4	9	6.000	85				x	x	x	x
Vigilanzfahrt	4	10	6.000	85				x	x	x	x
Vigilanzfahrt	4	11	6.000	85				x	x	x	x
Vigilanzfahrt	4	12	6.000	85				x	x	x	x

Tab. 3-1: Übersicht zu den einzelnen Streckenstücken sowie die jeweils ausgewerteten Parameter

3.3 Vorstudie

Um Aussagen darüber treffen zu können, welche Simulorausstattung mindestens notwendig ist, um valide Ergebnisse in der Simulation hinsichtlich der Untersuchung von Schläfrigkeit beim Fahren zu erhalten, wurde in einem Pilotversuch die Prüfstrecke in drei verschiedene Simulatoren unterschiedlicher Hardware-Ausstattung implementiert (Tabelle 3-2). Ziel war es, zu untersuchen, welche Hardware Features für valide Befunde notwendig sind und welche optional sind. Außerdem sollte die Simulation darauf ausgerichtet sein, dass bei Probanden ohne

Vorerfahrung in der Simulation möglichst keine Symptome der Simulator Sickness ausgelöst werden. Wie oben erläutert, spielt das Sichtfeld eine erhebliche Rolle bei der Entwicklung der Simulator Sickness. Daher wurde für den vorliegenden Versuch sowohl beim Low-Fidelity Simulator als auch beim Kompaktsimulator jeweils nur der mittlere Bildschirm genutzt. Daraus resultierte jeweils ein horizontales Sichtfeld von 60° anstatt von 180°.

Im Rahmen eines Pilotversuchs absolvierten acht gesunde Probanden, die zuvor keine Erfahrung mit Fahrsimulatoren gesammelt haben, je zwei Fahrten

High Fidelity Simulator		<ul style="list-style-type: none"> • 5 Bildkanäle à 1400 x 1050 Pixel ⇒ 300° horizontale Sicht ⇒ 47° vertikale Sicht • Original Mockup • 9 Computer zur Durchführung der Simulation
Low Fidelity Simulator		<ul style="list-style-type: none"> • 3 Bildkanäle à 1920 x 1080 Pixel ⇒ 180° horizontale Sicht (im Versuch zur Reduktion von Simulator Sickness auf einen Bildkanal in der Mitte reduziert ⇒ 60°) ⇒ 42° vertikale Sicht • Generisches Mockup mit originalen Bedienelementen (Pedalerie und Lenkrad) • 4 Computer zur Durchführung der Simulation
Kompaktsimulator		<ul style="list-style-type: none"> • 3 Bildkanäle à 3840 x 2160 Pixel ⇒ 180° horizontale Sicht (im Versuch zur Reduktion von Simulator Sickness auf einen Bildkanal in der Mitte reduziert ⇒ 60°) • 40° vertikale Sicht • Generisches Mockup mit Bedienelementen aus dem Gaming Bereich • 4 Computer zur Durchführung der Simulation

Tab. 3-2: Die drei in der Pilotstudie eingesetzten Simulatoren

– eine davon in ausgeschlafenem Zustand, die andere schlafdepriviert nach maximal vier Stunden Nachtschlaf – in den drei verschiedenen Simulatorausbaustufen. In allen Simulatorausbaustufen waren für alle Probanden allenfalls leicht Symptome von Simulator Sickness zu beobachten. Weiterhin konnte gezeigt werden, dass sich der Effekt der Schlafdeprivation auf Gruppenebene bei Heranziehen von subjektiven Müdigkeitsmaßen, dem Lid-schlussverhalten als auch der Leistung in der Zweitaufgabe (akustische Vigilanz) durchaus feststellen lässt. Bei Betrachtung der wesentlichen Leistungsparameter (SDLP, Gesamtfehlerzahl S.A.F.E., FtD) jedoch ist nur noch der Effekt der Fahrzeit nachzuweisen. Offensichtlich induziert die monotone Szenerie in Kombination mit einer längeren Fahrzeit bezüglich der Querführung einen konsistenten Einfluss auf die Probanden, als die partielle Schlafdeprivation. Dieser Befund ist zunächst überraschend, da sich das verwendete Szenario in anderen Studien gegenüber sedierenden Substanzen und Alkohol insbesondere hinsichtlich Parameter der Querführung sehr wohl als sensitiv erwiesen hat (vgl. KAUSSNER, 2007; KAUSSNER et al., 2010; KENNTNER-MABIALA, 2015). Anders jedoch als in den zitierten Studien wurde im vorliegenden Projekt das Szenario als Tag- und nicht

als Nachtszenario implementiert. Hintergrund dessen war, dass das Szenario für gesunde Probanden ohne Probleme zu bewältigen sein sollte, um einen guten Kompromiss zwischen Spezifität und Sensitivität der Prüfumgebung zu erzielen. Offensichtlich gelang es den zwar müden aber gesunden Probanden, ihre Fahrkompetenz trotz Müdigkeit aufrechtzuerhalten. Bei einem Szenario, das auch für gesunde Probanden schwer zu bewältigen ist, würden die Effekte der Tagesschläfrigkeit überschätzt werden d. h. das Szenario wäre zwar sehr sensitiv aber wenig spezifisch. Insgesamt erwies sich keine der gewählten Versuchsanordnungen den anderen gegenüber überlegen bezüglich der Detektion müder Probanden. Im Hinblick auf eine spätere Verbreitung des Verfahrens wurde entschieden, die Validierungsstudie mit dem einfach ausgestatteten Kompaktsimulator durchzuführen (siehe auch Bild 3-3).



Bild 3-3: Implementation der Prüfstrecke in den Kompaktsimulator. Rückspiegel, Tacho und Drehzahlmesser sind in die Szenerie eingeblenndet.

4 Validierungsstudie

4.1 Fragestellung und Hypothesen

Vorrangiges Ziel der Studie ist die Validierung der im Rahmen dieses Projekts entwickelten und in Kapitel 3 beschriebenen Simulatorprüfungsgebung zur Messung der Fahrkompetenz bei Tagesschläfrigkeit. Als Validitätskriterium soll eine Fahrverhaltensprobe im Realverkehr dienen. Explorativ werden außerdem zwei psychometrische Tests am Wiener Testsystem durchgeführt. Die Daten dieser psychometrischen Testung werden mit den Fahrdaten aus der Simulation und dem Realverkehr verglichen.

Um diagnostische Kriterien für ein Bestehen der Fahrprobe und damit einer positiven Bewertung der Fahrkompetenz auf individueller Ebene zu entwickeln, werden sowohl Schlaf-Apnoe-Patienten als auch gesunde Kontrollprobanden untersucht. Dabei sei an dieser Stelle bereits darauf hingewiesen, dass nicht zu erwarten ist, dass sich alle Patienten als fahrungseignet und alle gesunden Kontrollprobanden als fahrgeeignet erweisen, da einerseits das Vorliegen einer Schlaf-Apnoe nicht zwingend eine mangelnde Fahrkompetenz nach sich zieht und andererseits auch Menschen ohne diagnostizierte Schlaf-Apnoe durchaus eine Anfälligkeit gegenüber monotonen Situationen aufweisen können.

Es wird erwartet, dass die Schlaf-Apnoe-Patienten im Gruppenvergleich im Mittel sowohl in der Simulation als auch im Realverkehr schlechter abschneiden als die Kontrollprobanden. Insbesondere sollten Fahrfehler von Patienten eher auf müdigkeitsassoziierte Einzelfehler zurückzuführen sein (Spurverlassensereignisse, unsaubere Spurhaltung). Bei Kontrollprobanden können ebenfalls müdigkeitsassoziierte Fahrfehler zu beobachten sein, allerdings in geringerem Maße als bei den Patienten.

Mithilfe von korrelativen Verfahren soll untersucht werden, ob das im Simulator beobachtete Verfahren das Fahrverhalten im Realverkehr präzisieren kann. Insbesondere soll auch analysiert werden, ob einzelne Individuen, die im Simulator besonders schlecht abschneiden auch im Realverkehr schlecht abschneiden.

4.2 Methodik

4.2.1 Versuchsdesign und Ablauf

Alle Teilnehmer absolvierten jeweils drei Termine. Der erste Termin beinhaltete die Vorgabe des Reaktionstests (RT) und des Vigilanztests (VIGIL) des Wiener Testsystems. Die Bearbeitung am PC dauerte in etwa 40 Minuten. Nach einer kurzen Pause wurde eine Simulatorgewöhnung (ca. 20-30-minütige Dauer) durchgeführt, um eine ausreichende Simulatorbeherrschung sicherzustellen und Simulatorkrankheit während der Testfahrt vorzubeugen.

Beim zweiten Termin wurde dann die eigentliche diagnostische Prüffahrt am Simulator absolviert. Mithilfe der Applikation S.A.F.E. wurden von einem trainierten Versuchsleiter Fahrfehler registriert und klassifiziert. Außerdem beurteilte der Versuchsleiter am Ende jedes Versuchsblocks die Fahrkompetenz anhand eines globalen Ratings auf der 11-stufigen Fitness-to-Drive-Skala. Die Fahrt hatte eine Dauer von ca. 80 Minuten. Vor, während und nach der Fahrt wurden Fragen zum aktuellen Befinden gestellt.

Der dritten Termin beinhaltete eine Prüffahrt im Realverkehr in Begleitung eines Fahrlehrers und eines geschulten Psychologen, der während der Fahrt analog zum Vorgehen im Simulator mithilfe der Applikation S.A.F.E. Fahrfehler registrierte und klassifizierte sowie die Fahrkompetenz anhand eines globalen Ratings auf der 11-stufigen Fitness-to-Drive-Skala beurteilte.

Insgesamt sechs Patienten wiederholten die Simulatorfahrt (den zweiten Termin) nach der Realfahrt um einen Eindruck zur Reliabilität des Messverfahrens zu erhalten.

4.2.2 Begründung und Rekrutierung der Stichprobe

Für die Validierung der Simulatortestumgebung in Bezug auf Tagesschläfrigkeit sollten frisch diagnostizierte tagesschläfrige Schlaf-Apnoe-Patienten vor ihrer Behandlung mit gesunden Kontrollprobanden verglichen werden. Die Gruppe der Schlaf-Apnoe-Patienten wurde für sinnvoll erachtet, da davon ausgegangen wurde, dass ihre erhöhte Tagesschläfrigkeit mit wenigen Komorbiditäten einhergeht. Die Behandlung der Schlaf-Apnoe erfolgt nicht medikamentös, da die Behandlung der Wahl in der Verwendung von speziellen Atemmasken

beim Schlafen (CPAP-Masken) besteht. Daher wurde die Wahrscheinlichkeit, viele potenzielle Patienten wegen anderer Medikation ausschließen zu müssen, für eher gering erachtet. Die Prävalenz des OSAS ist relativ hoch, sodass kaum Schwierigkeiten bei der Patientenrekrutierung erwartet wurden. Weiterhin kann der Schweregrad der Schlaf-Apnoe über den Apnoe-Hypopnoe-Index (AHI), der im Schlaflabor von einem Schlafmediziner bestimmt wird, in verschiedene Ausprägungen eingeteilt werden. Dies ermöglicht die Untersuchung der Fragen, ob ein aufgrund klinischer Symptome definierter Schweregrad der OSAS mit dem Ausmaß von Leistungseinbußen in adäquaten Leistungstests und/oder der Fahrsimulation korreliert. Zusätzlich bietet sich bei dieser Patientengruppe zumindest theoretisch die Möglichkeit, eine erfolgreiche Therapie mit der CPAP Maske in der Simulation zu validieren.

Da es sich bei dieser Studie um einen Patientenstudie handelt, unterliegt sie besonderen Anforderungen, um das Wohl der Patienten zu sichern. Die Studie wurde beim Deutschen Register Klinischer Studien (DRKS) unter der Nummer DRKS00011633 registriert und der Prüfplan und die Unterlagen zur Aufklärung der Teilnehmer (Informed Consent Form) zu dieser Studie wurden der Ethikkommission der Landesärztekammer Bayern zur Beratung vorgelegt. Die Datenerhebung startete erst, nachdem ein positives Votum der Gutachter vorlag. Alle Patienten und Probanden wurden ausführlich aufgeklärt und unterschrieben das Informed Consent Form zur Studienteilnahme und die Datenschutzerklärung. Für ihre vollständige Teilnahme wurden als Aufwandsentschädigung 160 € ausgezahlt. Patienten, die zusätzlich zu den regulären Terminen den Wiederholungstermin wahrnahmen, erhielten 200 €.

Die Rekrutierung der Schlaf-Apnoe-Patienten fand in enger Zusammenarbeit mit der HNO-Praxis Roth, Stelzer, Köhler und Woldt in Würzburg statt. Die Praxis verfügt über hohe Kompetenz im Bereich der schlafmedizinischen Diagnostik und hat sich auf die Behandlung von OSAS-Patienten spezialisiert.

Im Rahmen der Routineversorgung werden in dieser Praxis alle neuen Patienten beim Anamnesegespräch auf Anhaltspunkte für das Vorliegen einer OSAS untersucht und befragt. Ergänzend werden bei diesem Schritt auch standardisierte subjektive Verfahren eingesetzt. Die Patienten wurden gefragt, ob sie unter Tagesschläfrigkeit leiden und füllten ergänzend die Epworth Sleepiness Scale aus.

Bei einem Verdacht auf OSAS oder andere schlafbezogenen Störungen findet entsprechend dem Vorgehen in der Routineversorgung eine schlafmedizinische Diagnostik mit polysomnografischen Messmethoden statt. Mithilfe der Polysomnografie werden wichtige physiologische Funktionen während des Nachtschlafs kontinuierlich gemessen. Aufgezeichnet werden das Elektroenzephalogramm (EEG), Das Elektrokardiogramm (EKG), das Elektrokulogramm (EOG), das Elektromyogramm, Videodaten, Atemfluss, Atemanstrengung und Sauerstoffsättigung. Darauf basierend erstellt schlafmedizinisch qualifiziertes Fachpersonal ein Schlafprofil, mit dessen Hilfe auf verschiedene Schlafstörungen geschlossen werden kann. Patienten, bei denen aufgrund der Ergebnisse der Polygrafie die Diagnose „Obstruktive Schlaf-Apnoe“ gestellt wurde und die die Einschlusskriterien hinsichtlich Alter, AHI und ESS-Score erfüllten, wurden über die Studie informiert. Einschlusskriterien der Studie für Patienten waren:

- Eine unterschriebene Einverständniserklärung,
- Alter 23-65 Jahre,
- ein gültiger Führerschein,
- Apnoe-Hypopnoe-Index von mind. 10/h und
- ein ESS-Score von mind. 10.

Die Ausschlusskriterien waren:

- Vorliegen von Krankheiten (Demenz, schwerwiegende psychiatrische und vestibuläre Erkrankungen, Alkoholismus und anderer Drogenkonsum, Herzkrankheiten, neurologische Erkrankungen), Erkrankungen, die mit erhöhter Müdigkeit einhergehen (Ausnahme: Schlaf-Apnoe),
- akute oder chronische Einnahme von Stimulanzien, Antihistaminika, Antidepressiva, Betäubungsmittel, Anxiolytika, Antiepileptika und anderen psychoaktiven Substanzen,
- ein unregelmäßiger Schlaf-Wach-Rhythmus (z. B. durch Schichtarbeit),
- der regelmäßige Konsum von mehr als zehn Zigaretten pro Tag,
- der Konsum von mehr als ein Liter Kaffee (oder anderes koffeinhaltiges Getränk) pro Tag
- Gewicht > 150 kg.

Kontrollprobanden wurden aus dem Testfahrerpanel des WIVW rekrutiert. In der HNO-Praxis Dr. Roth erfolgte eine Untersuchung, in der die Ein- und Ausschlusskriterium geprüft wurden. Die Kontrollprobanden hatten ebenso wie die Patienten keine Vorerfahrung in der Fahrsimulation. Es wurde darauf geachtet, dass die Patientengruppe bezüglich Alter, Geschlechtsverteilung und Fahrerfahrung der Kontrollgruppe entspricht.

Die Rekrutierung der Patienten erwies sich im Projektverlauf jedoch aus den nachfolgenden Gründen als weitaus schwieriger als erwartet:

- Obwohl laut Auskunft der kooperierenden Arztpraxis ca. zwanzig potenzielle Apnoe-Patienten pro Woche untersucht werden, mussten wesentlich mehr Patienten als gedacht vor allem wegen Begleiterkrankungen bzw. der damit bedingten Medikation und zum Teil aufgrund der festgelegten Altersgrenze von 65 Lebensjahren ausgeschlossen werden.
- Weiterhin waren viele potenzielle Patienten laut Einschlusskriterien nicht geeignet, da laut Auskunft des Prüfarztes viele Patienten zwar laut klinischer Einschätzung des Arztes tagesschläfrige sind, jedoch die Patienten bei Ausfüllen der Epworth-Sleepiness-Scale (ESS) nicht den Grenzwert von zehn Skaleneinheiten erreichten.
- Patienten, die die Einschlusskriterien erfüllten und keine Ausschlusskriterien aufwiesen, waren oft schwer zur Teilnahme an der Studie zu motivieren, da sie aufgrund ihrer Erkrankung ohnehin schon mit der Bewältigung ihres Alltags sehr gefordert waren und keine weiteren Belastungen auf sich nehmen mochten.

Eine Analyse der Patienten, die aufgrund verschiedener Ein- und Ausschlusskriterien nicht in die Studie aufgenommen werden konnten, ergab, dass die meisten Patienten aufgrund einer dauerhaften Medikation mit Antidepressiva oder eines zu niedrigen ESS-Wert nicht aufgenommen werden konnten. Daher wurden folgende Änderungen der Ein- und Ausschlusskriterien beschlossen:

- Wenn $ESS < 10$ kann der Patient dennoch eingeschlossen werden bei Vorliegen einer relevanten Tagesschläfrigkeit nach klinischem Urteil des Prüfarztes.
- Änderung Ausschlusskriterium: Eine stabile Einstellung von Antidepressiva und Blutdrucksen-

kern seit mehr als vier Wochen stellt kein Ausschlusskriterium dar.

Trotz Anpassung der Ein- und Ausschlusskriterien erwies sich die Rekrutierung der Patienten weiterhin als schwierig. Daher wurde neben der HNO-Praxis Roth, Stelzer, Köhler und Woldt auch die HNO-Klinik des Universitätsklinikums Würzburg mit der Rekrutierung von Patienten betraut, von welcher schließlich vier Patienten zur Studienteilnahme rekrutiert werden konnten.

Der ursprüngliche Versuchsplan sah vor, zu jedem aufgenommenen Patienten einen Kontrollproband nach Geschlecht, Alter und Jahresfahrleistung zu matchen. Geeignete Probanden wurden vom WIVW rekrutiert und an der kooperierenden HNO-Praxis untersucht, ob die Einschlusskriterien erfüllt waren und kein Ausschlusskriterium vorlag.

Nachdem zehn Patienten mit Kontrollen erhoben waren, stellten wir im Rahmen einer Interimsanalyse fest, dass die Patienten allesamt sowohl in der Simulation als auch im Realverkehr sehr gut gefahren sind, die Fahrkompetenz also nicht signifikant eingeschränkt war, sie eher minderschwere Schlaf-Apnoe-Symptomatik aufwiesen, während des Fahrens nur wenig müde waren und sich in ihrem Fahrverhalten kaum von den gesunden Kontrollen unterschieden. Zur Beantwortung der Untersuchungsfragen ist es entscheidend, auch Patienten in der Stichprobe zu haben, bei denen die Fahrkompetenz aufgrund ihrer Tagesschläfrigkeit tatsächlich stark eingeschränkt ist. Für valide korrelative Befunde ist es erforderlich, dass die Daten eine genügend hohe Varianz aufweisen. Wir entschieden uns daher in Absprache mit dem Auftraggeber, der BAST, keine weiteren Kontrollen mehr zu erheben und stattdessen die Zahl der zu untersuchenden Patienten von 20 auf 30 zu erhöhen. Ziel dieser Planänderung war es, mehr Patienten in die Untersuchung einzuschließen, die deutliche Einschränkungen in der Fahrkompetenz aufweisen. Da zum heutigen Forschungsstand kein Marker existiert (z. B. Schlaflaborbefunde, Fragebogendaten), der sich als Prädiktor für die Fahrkompetenz tagesschläfriger Patienten eignet, bestand die Strategie zur Erreichung des Ziels, insbesondere hinsichtlich der Fahrkompetenz eingeschränkte Patienten zu rekrutieren, hauptsächlich in einer Erhöhung der Anzahl der zu rekrutierenden Patienten. Der Einsatz einer verfeinerten Screeningmethoden (spezifischerer Fragebogen) wurde mit Experten der involvierten Schlaflabore diskutiert und verworfen.

Die Strecke wurde mithilfe einer GPS-Ortung in insgesamt siebzehn kleinere Situationseinheiten unterteilt (Tabelle 2-1). Analog zum Vorgehen in der Simulation wurde von einem geschulten Psychologen mithilfe der Applikation S.A.F.E. für jede dieser Situationseinheiten basierend auf den registrierten Fahrfehlern ein globales Fahrsicherheitsrating vergeben.

4.2.3 Erfasste Parameter

Personenbezogene Daten

Alter, Geschlecht, Fahrerfahrung und Führerscheinbesitz wurden im Rahmen der Screening-Untersuchung in der HNO-Praxis erhoben. Dort wurden auch weitere klinische Variablen wie die subjektive Tagesschläfrigkeit (Epworth Sleepiness Scale, ESS) und bei Patienten die Ausprägung des Krankheitsbilds in Form des Apnoe-Hypopnoe-Index (AHI), welcher in der Schlafmedizin die durchschnittliche Anzahl von Apnoe- und Hypopnoe-Episoden pro Stunde Schlaf bezeichnet. Er ist ein Hinweis auf die Schwere einer Schlafbezogenen Atmungsstörung.

Wiener Testsystem

Beim Test RT (Testform S3) des Wiener Testsystems – ein klassischer Wahlreaktionstest wird visuell ein gelbes oder rotes Licht auf einem Bildschirm präsentiert (Bild 4-1). Die Töne von ca. 2.000 Hz werden über ein USB-Headset dargeboten. Der Proband hat die Aufgabe, nur bei gleichzeitiger Darbietung eines gelben Lichtes zusammen mit einem Ton zu reagieren. Der Proband soll solange keine Reaktion erforderlich ist seinen Reaktionsfinger auf einem Ruheknopf legen und auf kritische Reize den Ruheknopf loslassen und einen schwarzen Reaktionsknopf drücken.

Dieses Prozedere ermöglicht die getrennte Berechnung einer Reaktionszeit (Zeit zwischen Darbietung des kritischen Reizes und dem Loslassen des Ruheknopfes) sowie einer motorischen Zeit (Zeit Los-

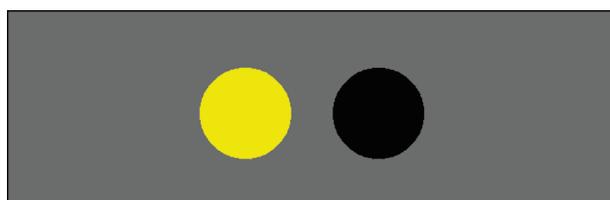


Bild 4-1: Bildschirmdarbietung der Reize des Tests RT (Subtests S3) des Wiener Testsystems

lassen des Ruheknopfes und Drücken des Reaktionsknopfes). Zentrale Parameter sind hiermit (1) die mittlere Reaktionszeit als Maß der Reaktionsgeschwindigkeit bei relevanten Reizen sowie (2) die mittlere motorische Zeit als Maß der Bewegungskgeschwindigkeit von geplanten Handlungsabläufen.

Der Test VIGIL (Testform S2) erfasst die Aufmerksamkeitsleistung bei Dauerbeanspruchung (Vigilanz) in monotonen Reizsituationen. Die Fähigkeit, Aufmerksamkeit bzw. anhaltende Wachsamkeit in reizarmen Situationen aufrecht zu erhalten ist v. a. unter monotonen Arbeitsbedingungen sicherheitsrelevant und wird daher in verkehrspsychologischen Untersuchungen aber auch zur Diagnostik verschiedener neurologischer oder psychischer Erkrankungen geprüft.

Während der Aufgabe bewegt sich vor einem schwarzen Hintergrund ein hell aufleuchtender Punkt entlang einer Kreisbahn (Bild 4-2). Die Aufgabe der Testperson besteht darin, die in unregelmäßigen Abständen auftretenden Doppelsprünge dieses Punktes zu detektieren und mit einem Tastendruck zu reagieren.

Zentrale Parameter sind (1) die Anzahl richtiger Reaktionen als Maß für die Beobachtungsgenauigkeit über den gesamten Test, (2) die Anzahl falscher Reaktionen als Hinweise ob die Testperson die Instruktion verstanden bzw. die Aufgabe ernsthaft bearbeitet hat und (3) der Mittelwert der Reaktionszeiten aller richtigen Reaktionen als Maß für die Informationsverarbeitungsgeschwindigkeit und die motorische Reaktionsfähigkeit. Alle weiteren Variablen dienen detaillierteren Auswertungen, die hier nicht von Belang sind.

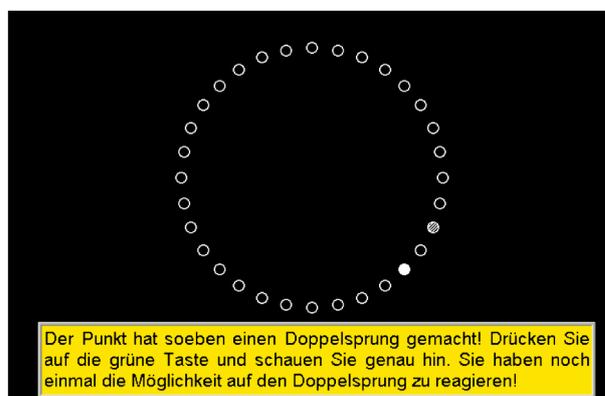


Bild 4-2: Bildschirmdarbietung des VIGIL (Subtest S1) des Wiener Testsystems (Im vorliegenden Projekt wurde die Testform S2 angewandt, bei der nur der ausgefüllte weiße Punkt zu sehen ist, der sich ebenfalls auf einer Kreisbahn bewegt, nicht jedoch die leeren Kreise)

Fahrttests in Simulation und Realverkehr

Sowohl in der Simulation als auch im Realverkehr wurden für die gesamte Fahrt mithilfe von S.A.F.E. die Gesamtzahl der Fahrfehler und ein globales Fitness to Drive (FtD) Rating erfasst. Nur in der Simulation wurden außerdem pro Streckenabschnitt das Schwanken in der Spur (Standardabweichung der lateralen Position, SDLP), der Zeitanteil geschlossener Augen (Percentage of eyelid closure over time, PERCLOS) und die Anzahl der Missings beim Bearbeiten der Vigilanzuhr erfasst.

Als Vergleichsstrecke im Realverkehr wurde in Absprache mit einem erfahrenen Fahrlehrer eine Teststrecke ausgewählt, die eine gewisse Monotoniebelastung aufweist (Landstraße mit wenig Verkehr) und mindestens 30 Minuten andauert. Der Einbezug verschiedener spezieller Fahrmanöver, die bei einem repräsentativen Parcours enthalten sein müssten, wurde bewusst aufgrund der Monotonie-

vorgabe vermieden. Allerdings sind vereinzelte Abbiegemanöver etc. nicht zu vermeiden. Die gewählte Strecke führt von einem großen Parkplatz in Würzburg über Zell am Main nach Zellingen und von dort auf der wenig befahrenen B27 nach Karlstadt (ca. 23 km). Von dort führt die Teststrecke auf demselben Weg zurück (Tabelle 4-1; Bild 4-3). Sie dient damit als Vergleichsmaßstab für die Fahrsimulation als Methode der Fahrkompetenzmessung.

Um zumindest explorativ einen Eindruck über verschiedene Fahrleistungen im Stadtverkehr zu gewinnen, wurde vor und nach der eigentlichen Monotoniestrecke eine kurze Strecke in der Stadt absolviert, in der dem Probanden verschiedene Fahrsituationen (Abbiegen an Kreuzungen, Stopp-Schilder etc.) abverlangt wurden (Bild 4-4). Auf eine entsprechende Stadtstrecke in der Simulation wurde zugunsten einer guten Simulatorverträglichkeit verzichtet.

Nr.	WDH	Ortsbezeichnung	Verkehrssituation	Länge in m
0		Start Talavera	kein Rating	
1		Luitpoldstraße Weißenburgstraße	Ampelgeregelte Kreuzungen, Kinderwarnschild 30er-Zone, Kreisverkehr, Zebrastreifen	850
2		Sedanstraße Scherenbergstraße	Rechts vor links, Vorfahrtachten, Linksabbiegen an Ampel über Straßenbahnschienen	800
3		Bohlleitenweg Frankfurterstraße	viel rechts vor links, Linksabbiegen an Ampel über Straßenbahnschienen; 30er-Zone; Ende der Wieder- holungsfahrt Stadt	1.600
4	X	Zeller Bock	Kreisverkehr, Landstraße, rechts abbiegen an Ampel, Kinderwarnschild 30 km/h	7.500
5	X	Zell ⇔ Margetshöchheim	Landstraße, vereinzelte Ampeln und Geschwindig- keitsbegrenzungen, keine Abbiegemanöver	4.500
6	X	Margetshöchheim ⇔ Zellingen	Landstraße, vereinzelte Ampeln und Geschwindig- keitsbegrenzungen, keine Abbiegemanöver	6.900
7	X	Zellingen	Kreisverkehr	2.500
8	X	B27	Kreisverkehr, rechts abbiegen mit Vorfahrtachten	1.600
9	X	Himmelstadt	Landstraße	4.300
10	X	Karlstadt	rechts abbiegen, links abbiegen, rechts vor links, links abbiegen mit Vorfahrtachten, links abbiegen an Ampel	2.400
11	X	Karlstadt	Landstraße	700
12	X	Himmelstadt	Landstraße	3.800
13	X	B27	Linksabbiegen an Ampel, Kreisverkehr	1.500
14	X	Zellingen	Kreisverkehr	2.300
15	X	Margetshöchheim ⇔ Zellingen	Landstraße, vereinzelte Ampeln und Geschwindig- keitsbegrenzungen, keine Abbiegemanöver	7.000
16	X	Zell ⇔ Margetshöchheim	Landstraße, vereinzelte Ampeln und Geschwindig- keitsbegrenzungen, keine Abbiegemanöver	4.600
17	X	ZellerBock	Kreisverkehr, Landstraße, links abbiegen an Ampel, Kinderwarnschild 30 km/h	1.700

Tab. 4-1: Übersicht und kurze Beschreibung der Streckenabschnitte der Realfahrprobe, für die die einzelnen S.A.F.E. Fehlerkategorien registriert werden.

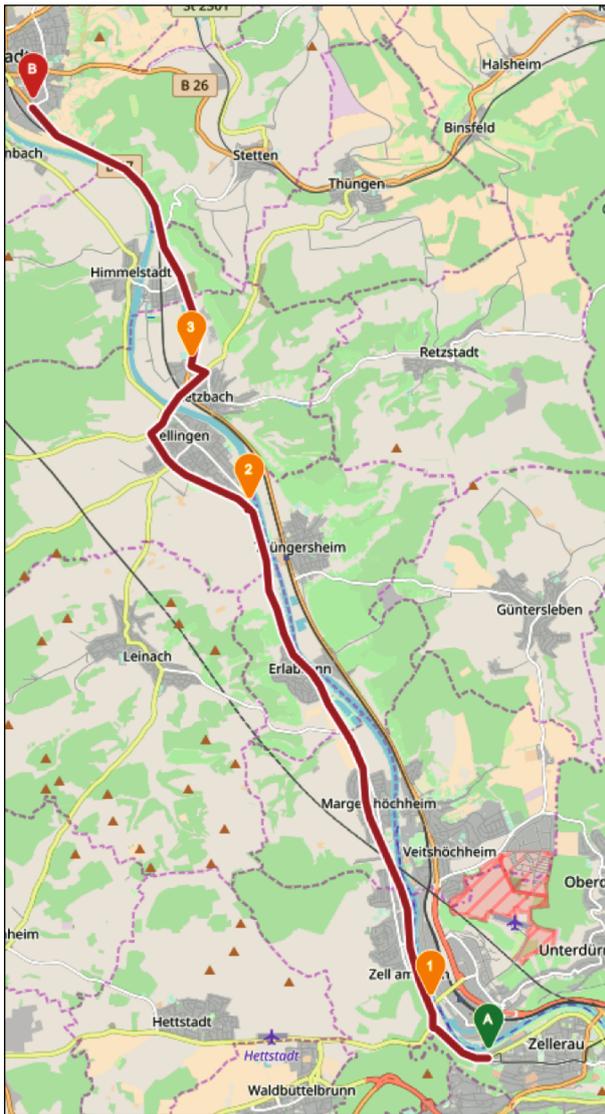


Bild 4-3: Monotone Strecke auf der Landstraße von Würzburg nach Karlstadt (© openrouteservice)

4.2.4 Auswertestrategie

Für alle relevanten Parameter (subjektive Ratings, Fahrfehler, SDLP, FtD-Rating, Leistungsparameter beim Wiener Testsystem) werden getrennt nach Methode (Psychometrische Testung, Simulator, Realfahrt) und Gruppenzugehörigkeit (Patient vs. Kontrolle) Häufigkeiten, Mittelwerte, Minima, Maxima und Standardabweichungen berechnet. Zur statistischen Absicherung von Zeiteffekten wurden ANOVAS mit Messwiederholung und zur Quantifizierung der Effektstärke das partielle Eta-Quadrat berechnet. Da die Patienten- und die Kontrollgruppen varianzinhomogen sind und sich auch bezüglich der Stichprobengröße stark unterscheiden, werden Gruppenunterschiede interferenzstatistisch mit non-parametrischen Rangsummen-Verfahren abgesichert (Mann-Whitney-Test). Die Berechnung der Effektstärke R^2 erfolgte nach folgender Formel von COHEN (1988):

$$R^2 = \frac{z^2}{N}$$

Die Interpretation von R^2 und partiellem Eta erfolgt nach LENHARD & LENHARD (2016, Tabelle 4-2).

Stärke des Effekts	R^2	Partielles Eta-Quadrat
gering/schwach	0,02	< 0,06
mittel/moderat	0,13	0,06-0,14
groß/stark	0,26	> 0,140

Tab. 4-2: Interpretation von R^2 und partiellem Eta-Quadrat

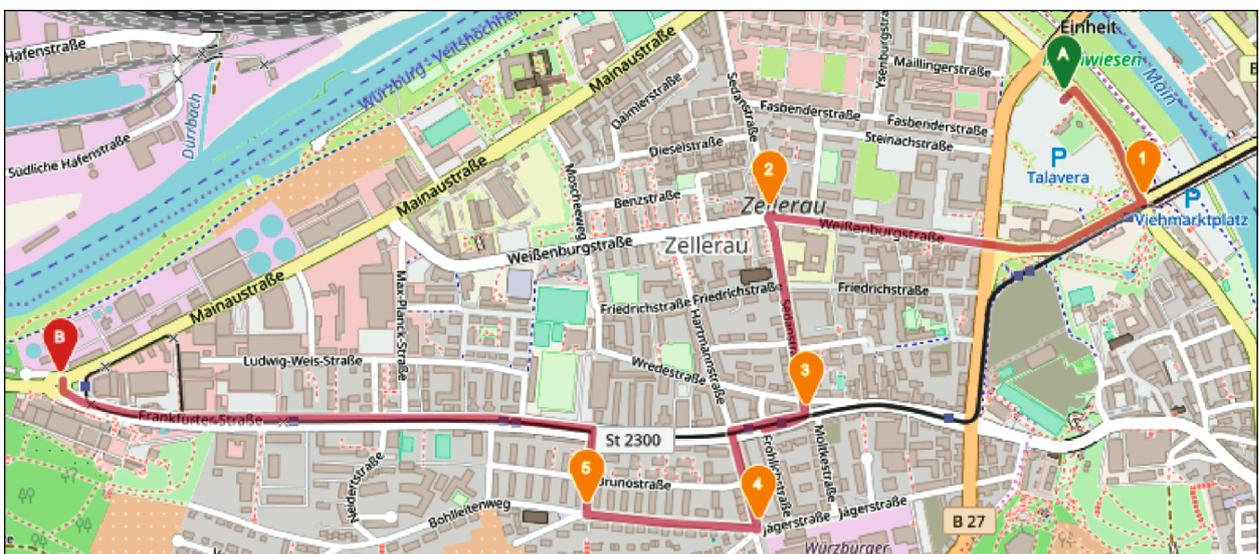


Bild 4-4: Stadtroute im Würzburger Ortsteil Zellerau (© openrouteservice)

Zur Bestimmung des statischen Zusammenhangs zwischen den verschiedenen Messparametern wurden non-parametrische Spearman-Rho-Korrelationen berechnet.

Schließlich erfolgt eine Analyse der Daten auf individueller Ebene, indem überprüft wird, ob Personen mit einer sehr schlechten Leistung in der einen Methode auch eine sehr schlechte Leistung in einer der beiden anderen Methoden aufweisen.

Die Datenauswertung erfolgt mithilfe der Statistiksoftware SPSS Version 20 der Firma IBM.

4.3 Ergebnisse

4.3.1 Stichprobenbeschreibung

Insgesamt wurden 40 Probanden nach einem ärztlichen Screening und Abgabe ihrer schriftlichen Einverständniserklärung in die Studie eingeschlossen. Zehn dieser Probanden dienten als Kontrollen und hatten keine Tagesschläfrigkeitssymptome, bei den anderen 30 Probanden lag eine ärztlich diagnostizierte Schlaf-Apnoe mit Tagesschläfrigkeit vor. Acht der Kontrollprobanden waren männlich (80 %), bei den Schlaf-Apnoe-Patienten waren fünfundzwanzig männlich (83 %). Das mittlere Alter der Kontrollprobanden betrug 48,7 Jahre (min = 24; max = 62; sd = 13,45) und das der Patienten 48,8 Jahre (min = 25; max = 65; sd = 10,47). Der mittlere Wert auf der Epworth Sleepiness Scale betrug für Patienten 12,17 (min = 6, max = 20; sd = 3,69) und für Kontrollprobanden 3,8 (min = 1; max = 3,8; sd = 1,69; Bild 4-5). Die meisten Patienten sind somit von einer leichten bis mittleren Tagesschläfrigkeitssymptomatik betroffen.

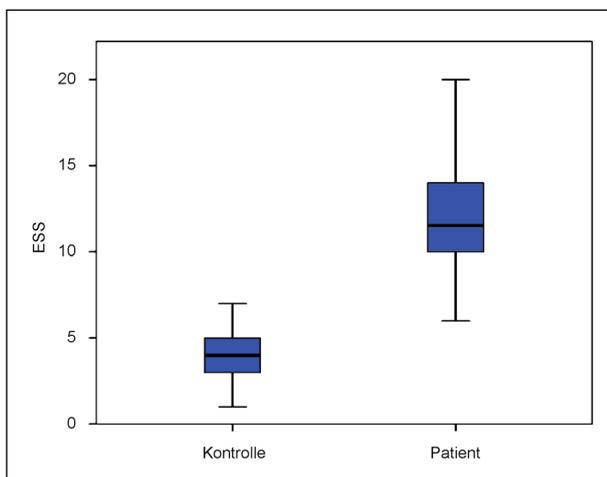


Bild 4-5: ESS in Abhängigkeit von der Gruppenzugehörigkeit

Der mittlere Apnoe-Hypopnoe-Index (AHI), der den Schweregrad einer Schlaf-Apnoe quantifiziert, betrug bei den Patienten 27,03 (min = 8; max = 65; sd = 16,58; Bild 4-6). Unterteilt man die Patienten in Abhängigkeit von ihrem AHI in drei verschiedene Schweregrade (AASM, 2014), befinden sich in der Gruppe der leicht Betroffenen (AHI ≤ 15) vierzehn Patienten, der moderat Betroffenen ($15 < \text{AHI} \leq 30$) acht Patienten und in der Gruppe der schwer Betroffenen (AHI > 30) ebenfalls acht Patienten. Für Kontrollprobanden liegt kein AHI-Wert vor, da sie sich keiner polysomnografischen Untersuchung unterzogen haben. Es ergab sich kein statistisch signifikanter Zusammenhang zwischen AHI- und ESS-Werten ($R_o = .275$, n. s.; Bild 4-7).

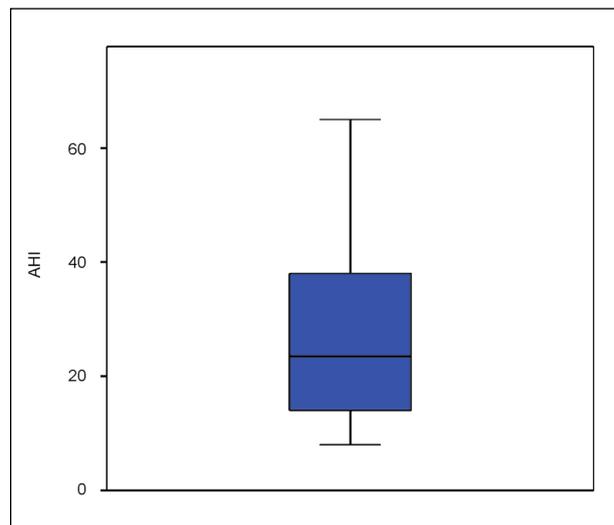


Bild 4-6: Apnoe-Hypopnoe-Index (AHI) der Patienten

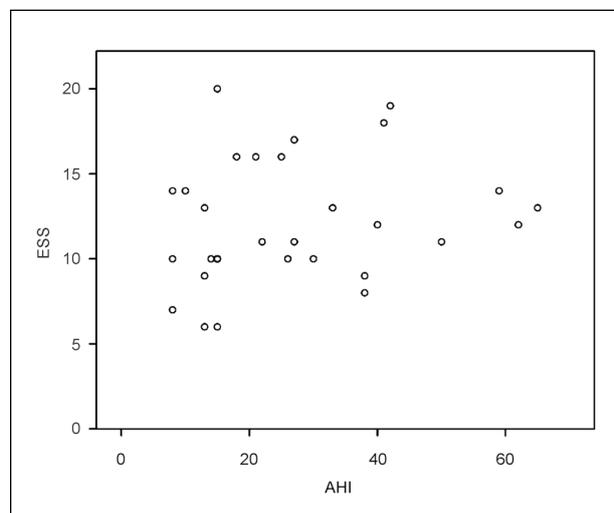


Bild 4-7: Zusammenhang zwischen ESS und AHI der Patienten

4.3.2 Wiener Testsystem

Von einem Patienten gingen die Daten aufgrund technischen Versagens für den RST3 verloren, die folgenden Analysen beziehen sich daher auf die Daten von N = 29 Patienten und N = 10 Kontrollprobanden. Es ergeben sich für die mittlere Reaktionszeit keine signifikanten Unterschiede zwischen Kontrollen und Patienten, während die mittlere motorische Zeit für Patienten signifikant erhöht ist (Mann-Whitney-U-Test $U = 83$, $p = .046$; $R^2 = 0,1$ → schwacher Effekt nach Cohen). Bei beiden Maßen ist die Streuung für die Patientengruppe größer als für die Kontrollgruppe, obwohl die Patientengruppe dreimal so stark besetzt ist wie die Kontrollgruppe (vgl. Bild 4-8 und Bild 4-9).

Für den Vigil gab es weder für die Anzahl der Richtigen noch die Anzahl der Falschen Reaktionen einen signifikanten Unterschied zwischen Patienten

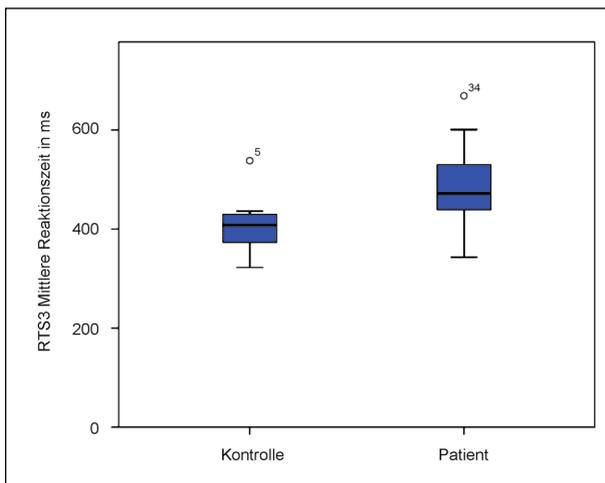


Bild 4-8: Mittlere Reaktionszeit beim RTS3 in Abhängigkeit von der Gruppenzugehörigkeit

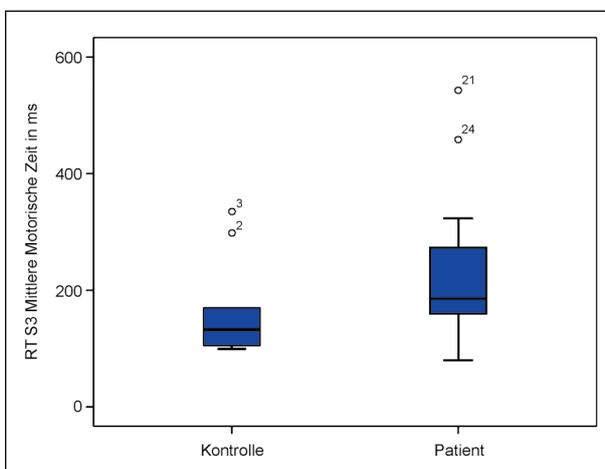


Bild 4-9: Mittlere motorische Zeit beim RTS3 in Abhängigkeit von der Gruppenzugehörigkeit

und Kontrollen. Auch für die mittlere Reaktionszeit gibt es keinen signifikanten Unterschied zwischen Patienten und Kontrollen. Allerdings zeigen sich drei Ausreißer mit sehr langsamen Reaktionszeiten, die alle zur Gruppe der Patienten zählen (vgl. Bild 4-10). Diesen Ausreißern lagen andere Individuen zugrunde als dem Ausreißer des RST3.

4.3.3 Simulatorfahrt

Ein Patient brach die Simulatorfahrt wegen Übelkeit ab und wollte nicht weiter teilnehmen. Die nachfolgenden Analysen beziehen sich daher auf N = 29 Patienten und N = 10 Kontrollprobanden.

Wie Bild 4-11 zu entnehmen ist, zeigte sich hinsichtlich der subjektiven Einschätzung der Müdigkeit auf der Stanford Sleepiness Scale (SSS) durch die Probanden ein deutlicher Zeiteffekt von ($F(20,35) = 2,36$; $p < .001$, partielles Eta-Quadrat = .703 → starker Effekt), der zeigt, dass Patienten und Kontrollen im Laufe der Testung müder wurden.

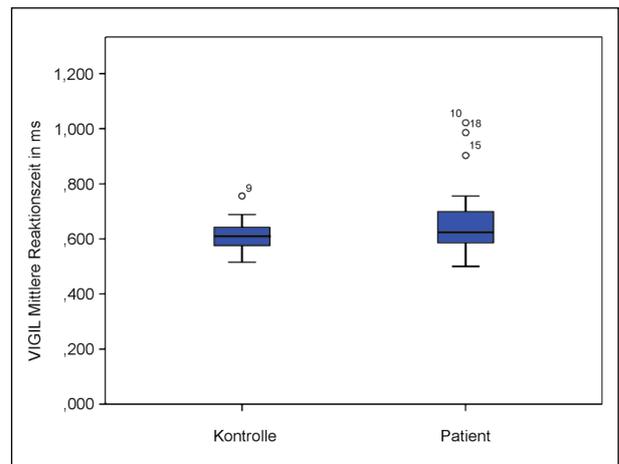


Bild 4-10: Mittlere Reaktionszeit beim Vigil Test in Abhängigkeit von der Gruppenzugehörigkeit

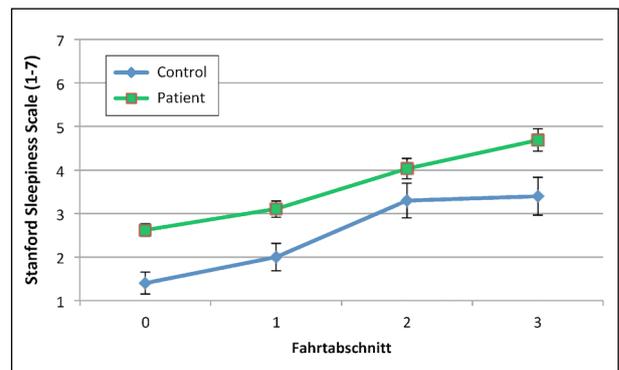


Bild 4-11: Subjektive Einschätzung auf Stanford Sleepiness Scale durch Probanden vor der Fahrt (0) und nach den jeweiligen Fahrtabschnitten (1-4)

Vor allem vor der Fahrt waren Patienten (mittlerer Rang = 24,03) deutlich müder als Kontrollen (mittlerer Rang = 9,90; Mann-Whitney-U-Test $U = 44$, $p < .001$; $R^2 = 0,3 \rightarrow$ starker Effekt). Dieser Gruppenunterschied blieb bis zum Schluss zwischen Patienten (mittlerer Rang = 22,2) und Kontrollen (mittlerer Rang = 13,7) bestehen, wenn auch nicht ganz so ausgeprägt (Mann-Whitney-U-Test $U = 82$, $p < .05$; $R^2 = 0,05 \rightarrow$ schwacher Effekt). Dies spiegelt wider, dass auch für Kontrollen die Monotonie der Strecke herausfordernd war und sie ebenfalls im Laufe der Zeit mit zunehmender Müdigkeit reagierten.

Für das Fitness to Drive Rating gab es keinen signifikanten Gruppenunterschied zwischen Patienten und Kontrollen. Wie Bild 4-12 jedoch zu entnehmen ist, zeigt sich bei den Patienten eine deutlich größere Streuung als bei den Kontrollen. 47 % der Patienten erhielten ein FtD-Rating von 5 und schlechter, aber nur 10 % der Kontrollen.

Auch für die Gesamtzahl der Fehler gibt es keinen signifikanten Unterschied. Die mittlere Anzahl der Fehler liegt für die Patienten sogar leicht unterhalb derjenigen für die Kontrollen (vgl. Bild 4-13). Allerdings sind vier der fünf Fahrer mit einer besonders hohen Fehlergesamtzahl Patienten. Bei den fünf Teilnehmern mit einer sehr hohen Gesamtfehlerzahl unterscheiden sich die Patienten deutlich von dem Kontrollprobanden hinsichtlich der Art der Fehler: Die Patienten hatten alle eine erhöhte Anzahl an (Querregelungsfehlern; min = 30; max = 65), während der Kontrollproband nur vier Querregelungsfehler aufwies. Die hohe Fehlergesamtzahl des Kontrollprobanden ist auf eine erhöhte Anzahl von Längsregelungsfehlern, insbesondere zu dichtes Auffahren und Drängeln, zurückzuführen.

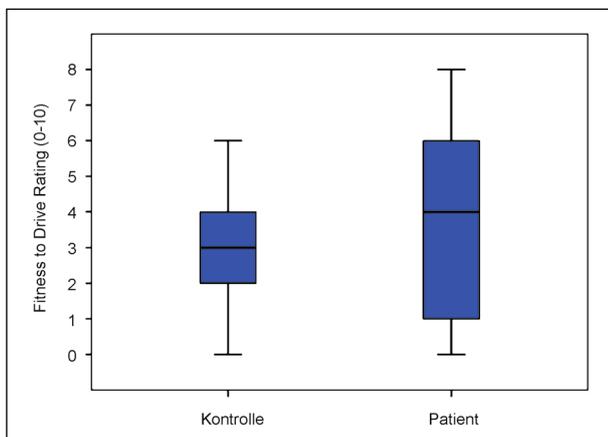


Bild 4-12: Fitness to Drive Rating in Abhängigkeit von der Gruppenzugehörigkeit

Die Unterschiede bezüglich des Fahrprofils zwischen Patienten und Kontrollprobanden werden noch einmal deutlicher beim Vergleich zwischen Bild 4-14 und Bild 4-15: Patienten neigen eher zu müdigkeitsassoziierten Querregulationsfehlern

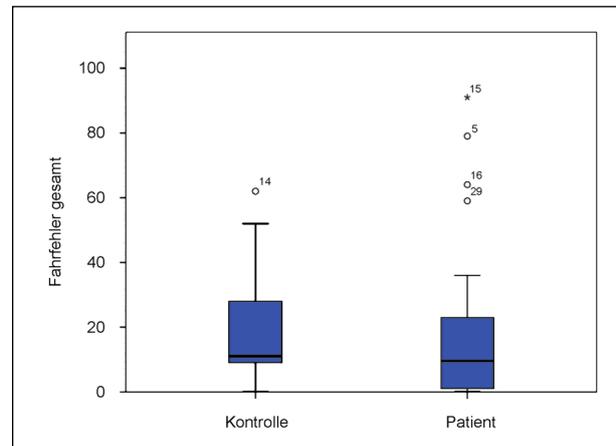


Bild 4-13: Anzahl der Gesamtfahrfehler in Abhängigkeit von der Gruppenzugehörigkeit

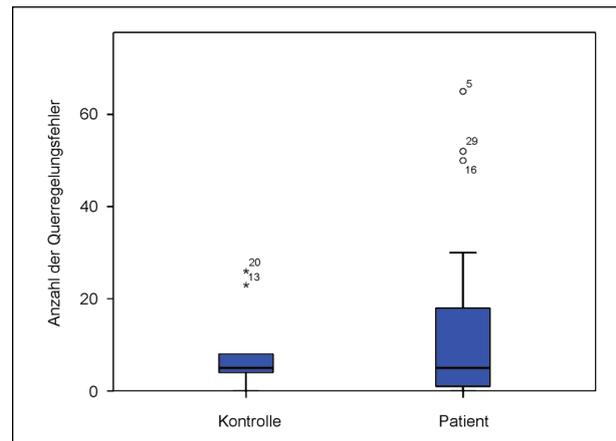


Bild 4-14: Anzahl der Querregelungsfehler in Abhängigkeit von der Gruppenzugehörigkeit

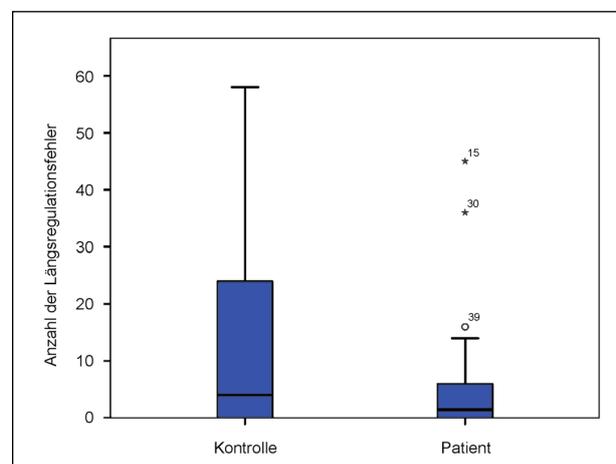


Bild 4-15: Anzahl der Längsregulationsfehler in Abhängigkeit von der Gruppenzugehörigkeit

während bei Kontrollprobanden eher Längsregulationsfehler im Vordergrund stehen. Diese Unterschiede sind jedoch rein deskriptiver Natur und nicht statistisch signifikant.

Für das Schwanken innerhalb der eigenen Spur (SDLP) ergibt sich ein deutlicher Zeiteffekt ($F(21,15) = 19,948$, $p < .001$, partielles Eta Quadrat = .934 → starker Effekt), in dem Sinne, dass die Spurhaltung sich für Kontrollen und Patienten über die Zeit verschlechtert (Bild 4-16) Deskriptiv zeigt sich auch für Patienten eine schlechtere Spurhaltung als für Kontrollen, dieser Effekt wird deskriptiv über die Zeit hinweg zwar größer aber bei keinem der 16 Abschnitte signifikant.

Bezüglich des Lidschlussverhaltens, zeigt sich eine signifikante Zunahme des Anteils der Zeit mit geschlossenen Augen über die Zeit ($F(15,570) = 6,256$, $p < .001$, partielles Eta Quadrat = .141 → starker Effekt). Deskriptiv liegen die PERCLOS-Werte der Patientengruppe durchweg höher als die der Kontrollgruppe. Dieser Unterschied nimmt im Verlauf der Zeit zu, um im letzten Segment mit einem mittleren Rang von 22,53 für Patienten und 11,56

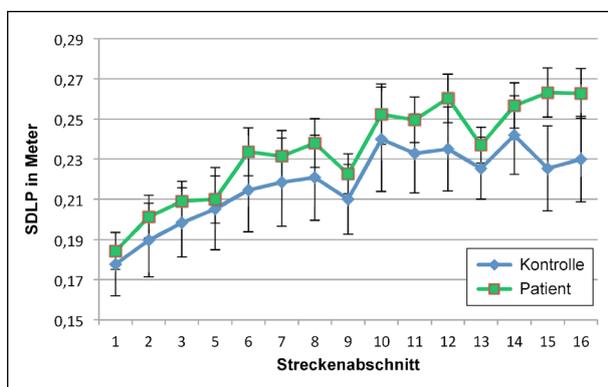


Bild 4-16: Standardabweichung der lateralen Position SDLP als Maß für die Spurhaltung in Abhängigkeit von der Gruppenzugehörigkeit

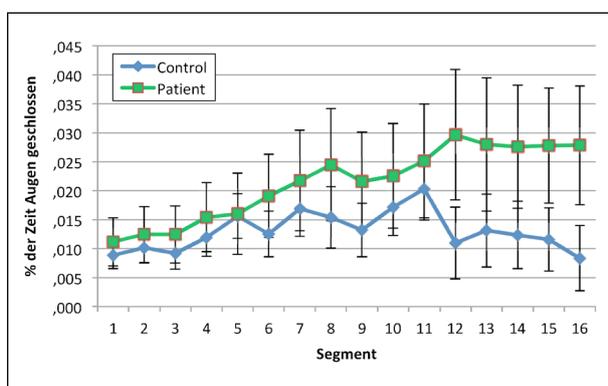


Bild 4-17: Anteil der Zeit mit geschlossenen Augen (PERCLOS) nach Gruppenzugehörigkeit

für Kontrollprobanden ein Maximum zu erreichen (Mann-Whitney-U-Test $U = 59$, $p = .010$; $R^2 = 0,16$ → moderater Effekt).

Nach jedem Fahrtabschnitt wurden Patienten und Kontrollen befragt, ob sie nach ihrem eigenen Empfinden im Realverkehr weiterfahren würden, eine kurze Pause machen würden oder die Fahrt für längere Zeit unterbrechen würden, um zu schlafen. 90 % der Patienten gaben nach dem ersten Fahrtabschnitt an, dass sie ohne Pause weiterfahren können und keiner der Patienten hatte das Bedürfnis, zu schlafen. Nach dem 4. Abschnitt ist der Anteil der Patienten, die angeben, eine Pause zu benötigen, auf 49 % gestiegen und der Anteil der Patienten, die bei einer Fahrt im Realverkehr anhalten und schlafen würden, auf 41 % gestiegen. Bei den Kontrollprobanden ist der Anteil derjenigen, die das Bedürfnis nach Pause oder Schlaf haben geringer als bei den Patienten. Aber auch bei den Kontrollprobanden geben nach dem 4. Abschnitt 30 % der Probanden an, dass sie im Realverkehr anhalten und schlafen würden und 10 % der Kontrollen haben das Bedürfnis nach einer Pause (vgl. Bild 4-18).

Probanden und Patienten gelang es überwiegend sehr gut, die akustische Nebenaufgabe während der Simulatorfahrt zu bearbeiten. Missings, also zu spätes oder fehlendes Reagieren auf eine Tonausschaltung, waren in beiden Gruppen im Mittel seltene Ereignisse, dennoch weisen Patienten mehr Missings auf als Kontrollprobanden auf (Bild 4-19). Ab Fahrtabschnitt 5 beginnen sich die beiden Gruppen deskriptiv zu differenzieren, ohne dass der Unterschied signifikant wird. Im Verlauf der weiteren Tes-

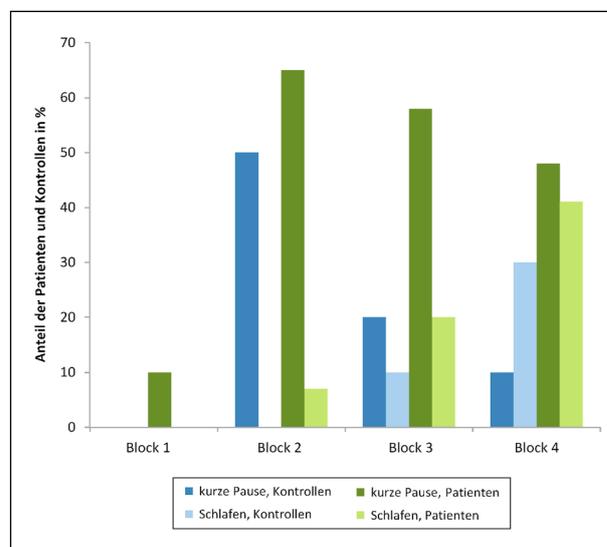


Bild 4-18: Anteil der Patienten (grün) im Vergleich zu Kontrollen (blau), die ein Bedürfnis nach Pause oder Schlaf angeben, getrennt nach Fahrtabschnitt.

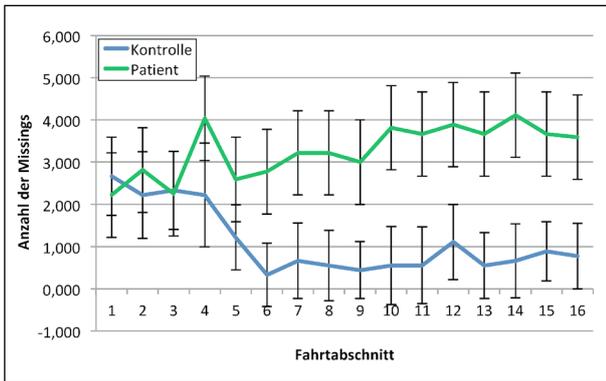


Bild 4-19: Anzahl der Missings bei der Bearbeitung der Nebenaufgabe getrennt für Patienten und Kontrollprobanden

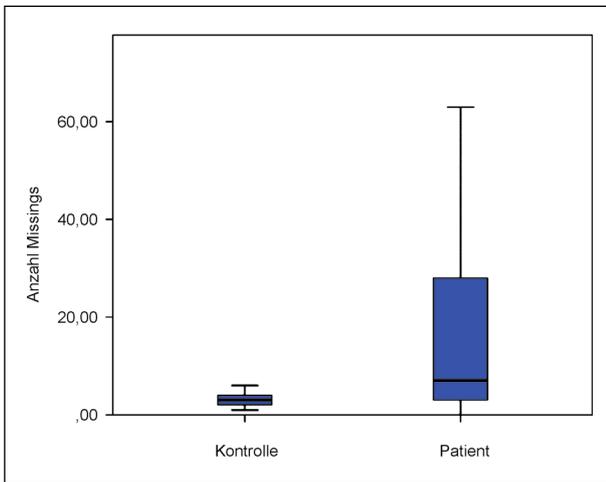


Bild 4-20: Vergleich Anzahl Missings im letzten Block der Fahrt zwischen Kontrollen und Patienten

Die Patientengruppe wird der Unterschied zwischen den Gruppen größer und in Fahrabschnitt 4 auch statistisch signifikant (Mann-Whitney-U-Test $U = 59,5$, $p = .022$; $R^2 = 0,14$ → moderater Effekt).

Die Kontrollprobanden wiesen im vierten Block der Testfahrt maximal 6 Missings auf. Die Leistung der meisten Patienten war mit der Leistung der Kontrollprobanden vergleichbar oder allenfalls nur leicht eingeschränkt. Aber bei acht Patienten war eine deutlich schlechtere Leistung mit 26-63 Missings zu beobachten (vgl. auch Bild 4-20).

4.3.4 Restest-Reliabilität

Zur Überprüfung wie stabil die im Rahmen des Projekts entwickelte Prüfanordnung hinsichtlich der Messung der Fahrkompetenz von tagesschläfrigen Patienten ist, durchfuhren sechs Patienten den Simulatorstest an einem gesonderten Termin ein zweites Mal. Es zeigten sich zwischen erster Fahrt und

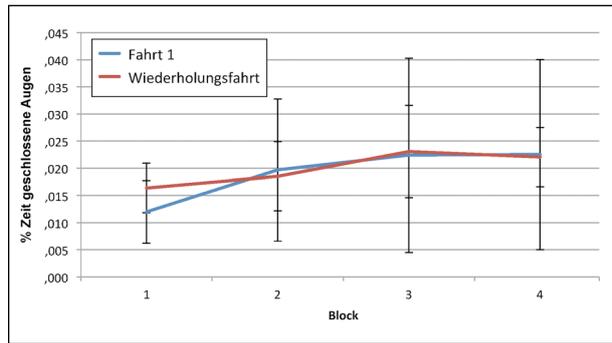


Bild 4-21: PERCLOS über die Zeit erste Fahrt vs. Wiederholungsfahrt

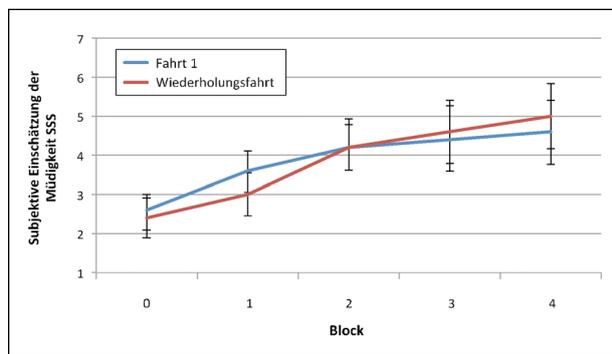


Bild 4-22: Subjektive Selbsteinschätzung der Müdigkeit auf der Stanford Sleepiness Scale für die erste Fahrt vs. die Wiederholungsfahrt

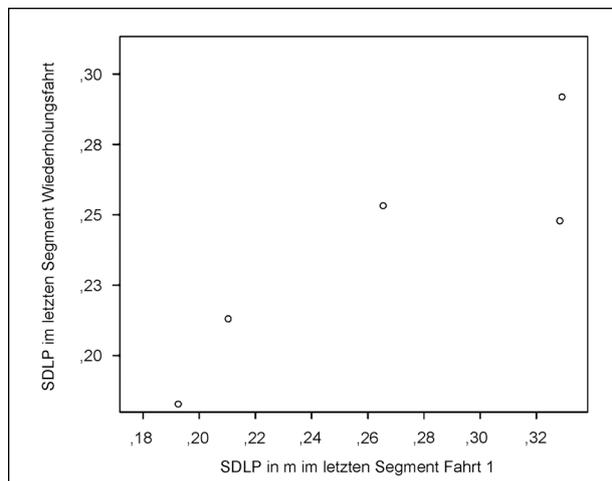


Bild 4-23: Zusammenhang für die SDLP zwischen erster Fahrt und Wiederholungsfahrt

Wiederholungsfahrt signifikante Korrelationen im oberen Bereich für die subjektive Einschätzung der Müdigkeit auf der Stanford Sleepiness Scale ($r = .895$, $p < .05$, Bild 4-24), das Gesamtrating ($r = .972$, $p < .01$), die Gesamtzahl der Fehler ($r = .923$, $p < .05$), die Anzahl der Querfehler ($r = .914$, $p < .05$), die Anzahl der Längsfehler ($r = 1.0$) und die SDLP ($r = .889$, $p < .05$; Bild 4-23). Für das Lidschluss-

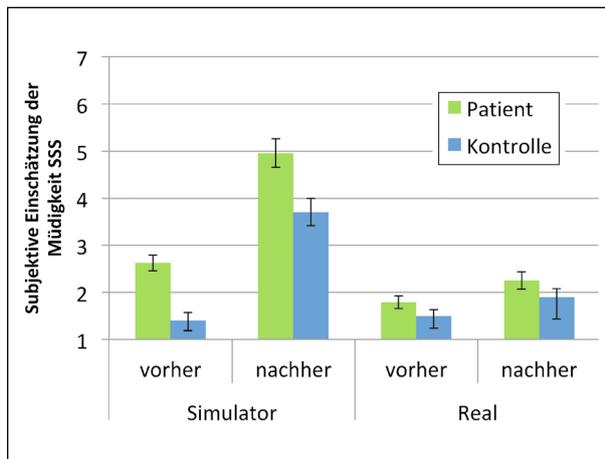


Bild 4-24: Subjektive Einschätzung der eigenen Müdigkeit auf SSS von Patienten und Kontrollen vor und nach den Simulator- und Realfahrten

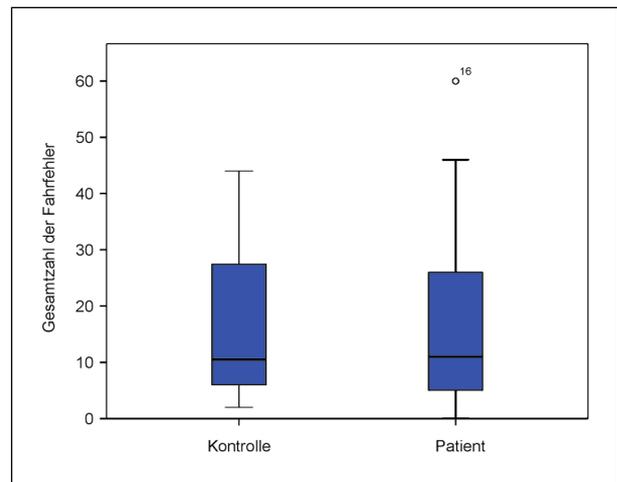


Bild 4-26: Gesamtzahl der Fehler während der Realfahrt in Abhängigkeit von der Gruppenzugehörigkeit

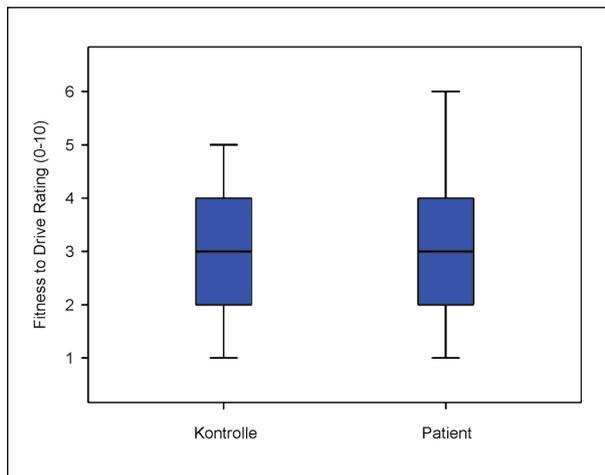


Bild 4-25: Fitness to Drive Rating für die Realfahrt in Abhängigkeit von der Gruppenzugehörigkeit

verhalten wurde die Korrelation nicht signifikant ($r = .619$, $p = .190$). Deskriptiv zeigt sich aber für beide Fahrten ein sehr ähnlicher Verlauf (Bild 4-21).

4.3.5 Realfahrt

Im Gegensatz zur der Testfahrt im Simulator waren die Patienten bei der Realfahrt weder vor noch nach der Fahrt müder als die Kontrollprobanden (Bild 4-24). Außerdem waren im Gegensatz zu der Simulatorfahrt sowohl Probanden als auch Patienten nach der Realfahrt kaum müder als vor der Fahrt.

Dies könnte eine Erklärung dafür sein, dass weder für die monotone Überlandstrecke noch für die explorative Stadtfahrt für die untersuchten Parameter (FtD-Rating, Gesamtzahl der Fehler, Fehler der Quer- und Längsführung, Gefährdungen) irgend-

welche Gruppenunterschiede zwischen Kontrollen und Patienten zu beobachten waren.

Bei der Gesamtzahl der Fehler gibt es in der Patientengruppe einen Ausreißer mit 60 Fahrfehlern (Bild 4-26), die allerdings nicht auf müdigkeitstypische Fehler sondern vielmehr auf zu schnelles Fahren und fehlendes Sichern zurückzuführen sind.

4.3.6 Zusammenhang zwischen den verschiedenen Maßen

Tabelle 4-3 fasst die Rho-Werte zwischen den zentralen Parametern, die in dieser Studie erhoben wurden, zusammen. Werte auf der ESS weisen einen mittleren Zusammenhang auf mit der am WTS gemessenen motorischen Reaktionszeit des RST3 ($Rho = .372$, $p = .020$), der Anzahl der Missings bei der Bearbeitung der akustischen Nebenaufgabe im 4. Block der Simulatorfahrt ($Rho = .341$; $p = .042$) und dem subjektiven SSS-Rating ($Rho = .363$, $p = .023$).

Für das PERCLOS-Maß ergaben sich signifikante mittlere Zusammenhänge mit der SDLP ($Rho = .407$; $P = .017$) und dem FtD-Rating ($Rho = .376$; $p = .028$). Die subjektiven SSS-Ratings nach dem 4. Abschnitt in der Simulatorfahrt wiesen einen signifikanten Zusammenhang mit der Gesamtfehlerzahl in der Simulation ($Rho = .466$, $p = .003$) und dem FtD-Rating in der Simulation ($Rho = .540$, $p < .001$) auf. Zwischen den Befunden aus der Simulation und den Befunden aus der Realfahrt ergaben sich keine signifikanten Zusammenhänge. Ergebnisse aus dem Wiener Testsystem standen in keinem statistischen Zusammenhang zu den Befunden im Simulator oder im Realverkehr.

	ESS	RTS3 Reaktionszeit	RTS3 Motorische Zeit	VIGIL IRichtige	SIM SDLP	Sim Fehler	Sim FID	Sim PERCLOS	Sim NA Missing	Sim SSS vorher	Sim SSS nachher	Real SSS vorher	Real SSS nachher	Real Fehler	Real FID
ESS	Rho	,419**	,372*	-,096	,129	,027	,220	,287	,341*	,487**	,363*	,310	,188	,122	-,039
	p	,008	,020	,556	,428	,869	,173	,100	,042	,001	,023	,059	,272	,458	,816
RTS3 Reaktionszeit	Rho	,419**	,552**	,106	,207	,239	-,106	,169	,346*	,232	,147	,149	-,011	-,170	,148
	p	,008	,000	,520	,207	,143	,520	,347	,042	,155	,380	,380	,951	,307	,375
RTS3 Mot.Zeit	Rho	,372*	,552**	,127	-,031	,165	,114	,102	,315	,288	,111	,072	-,090	,019	,037
	p	,020	,000	,442	,851	,315	,490	,573	,065	,076	,508	,673	,606	,912	,824
VIGIL Richtige	Rho	-,096	,106	,127	-,179	-,190	-,133	,235	,156	,139	,132	-,031	,107	,129	,090
	p	,556	,520	,442	,269	,240	,414	,180	,363	,392	,422	,852	,535	,435	,585
Sim SDLP	Rho	,129	,207	-,179	,433**	,485**	,485**	,407*	,085	,162	,123	,012	,023	,228	,077
	p	,428	,207	,269	,005	,005	,002	,017	,624	,317	,455	,943	,896	,163	,642
Sim Fahrfehler	Rho	,027	,239	-,190	,433**	,845**	,845**	,231	,175	,012	,466**	,024	,254	,233	,057
	p	,869	,143	,240	,005	,000	,000	,189	,308	,943	,003	,887	,134	,154	,728
Sim FID	Rho	,220	-,106	-,133	,485**	,845**	,376*	,376*	,243	,018	,540**	,006	,291	,188	,052
	p	,173	,520	,414	,002	,000	,028	,028	,154	,910	,000	,972	,085	,251	,753
Sim PERCLOS	Rho	,287	,169	,235	,407*	,231	,376*	,376*	,032	,303	,228	,012	,233	,147	,057
	p	,100	,347	,180	,017	,189	,028	,028	,857	,081	,194	,949	,207	,408	,749
Sim NA Miss	Rho	,341*	,346*	,156	,085	,175	,243	,032	,857	,160	,469**	,079	,099	,179	,224
	p	,042	,042	,363	,624	,308	,154	,857		,352	,004	,654	,585	,297	,189
Sim SSS vorher	Rho	,487**	,232	,139	,162	,012	,018	,303	,160	,322*	,322*	,373*	,104	,062	,288
	p	,001	,155	,392	,317	,943	,910	,081	,352	,046	,046	,021	,547	,707	,076
Sim SSS nachher	Rho	,363*	,111	,132	,123	,466**	,540**	,228	,469**	,322*		,085	,379*	,116	,128
	p	,023	,380	,422	,455	,003	,000	,194	,004	,046		,612	,022	,483	,436
Real SSS vorher	Rho	,310	,072	-,031	,012	,024	,006	,012	,079	,373*	,085		,433**	,099	,237
	p	,059	,380	,852	,943	,887	,972	,949	,654	,021	,612		,008	,552	,153
Real SSS nachher	Rho	,188	-,090	,107	,023	,254	,291	,233	,099	,104	,379*	,433**		,158	,046
	p	,272	,951	,535	,896	,134	,085	,207	,585	,547	,022	,008		,358	,788
Real Fahrfehler	Rho	,122	-,170	,129	,228	,233	,188	,147	,179	,062	,116	,099	,158		,779**
	p	,458	,307	,435	,163	,154	,251	,408	,297	,707	,483	,552	,358		,000
Real FID	Rho	-,039	,148	,090	,077	,057	,052	,057	,224	,288	,128	,237	,046	,779**	
	p	,816	,375	,585	,642	,728	,753	,749	,189	,076	,436	,153	,788	,000	

Tab. 4-3: Statistischer Zusammenhang zwischen den verschiedenen in der Studie erhobenen Maßen

4.3.7 Vergleich der Befunde aus Simulation und Realfahrt auf individueller Ebene

Bis auf einen Patienten wurden alle Patienten und Probanden im monotonen Teil der Realfahrt mit einem Gesamtrating auf der FtD-Skala von 4 und besser gewertet, was einem normalen, unauffälligen Fahrverhalten entspricht. Ein Patient dagegen erhielt ein Gesamtrating von 6, was einem deutlich auffälligen Fahrverhalten entspricht. Dieser Patient hatte auch im Simulator das schlechteste Gesamtrating (7). Weiter wies er die schlechteste SDLP und die höchste Gesamtfehlerzahl im Realverkehr auf. In der Simulation war er hinsichtlich der Gesamtfehlerzahl der viertschlechtesten Teilnehmer. Auf der Stanford Sleepiness Scale weist er im Simulator bereits ab dem 2. Fahrabschnitt einen deutlichen Einbruch von 3 („entspannt, wach, nicht vollkommen aufmerksam“) auf 5 („Mattigkeit, das Interesse wachzubleiben geht verloren, verlangsamt“) auf und verbleibt bis zum Ende der Fahrt auf diesem Wert. Dagegen ist er bei der Realfahrt sowohl vor der Fahrt als auch nach der Fahrt nicht müde (SSS = 1). Die schlechte Leistung im Realverkehr kann also nicht auf Müdigkeit zurückgeführt werden. Betrachtet man die Art der Fahrfehler, fällt weiter auf, dass diesem Patienten sowohl in der Simulation als auch im Realverkehr nicht nur müdigkeitsassoziierte Fehler, sondern auch vor allem Fehler der Längsregulation und kognitive Fehler wie z. B. Sicherungs- oder Vorfahrtsfehler unterlaufen.

5 Diskussion

Ziel des vorliegenden Projekts war die Entwicklung und Validierung einer Prüfumgebung für die Fahrsimulation, die dazu geeignet ist, Patienten, deren Fahrkompetenz aufgrund von Tagesschläfrigkeit so weit eingeschränkt ist, dass die Fahrsicherheit nicht mehr gegeben ist, zu identifizieren. Die Analyse von Unfallstatistiken und Forschungsbefunden ergab, dass es tagesschläfrigen Patienten insbesondere schwerfällt, ihre Leistung unter Monotoniebelastung aufrecht zu erhalten. Dies betrifft insbesondere länger andauernde verkehrsarme Fahrsituationen auf der Autobahn oder der Landstraße, bei denen außer der kontinuierlichen Längs- und Querregulation des Fahrzeugs keine weiteren Fahrmanöver erforderlich sind.

Als Grundlage für die Teststrecke in der Simulation wurde auf eine Vigilanzstrecke zurückgegriffen, die

sich bereits in Studien zur Wirkung von Alkohol und sedierenden Substanzen sowie auf die Effekte von Erkrankungen, die mit Tagesschläfrigkeit einhergehen, als sensitiv erwiesen hat (KENNTNER-MABIALA, 2015; KAUSSNER et al., 2010; KAUSSNER, 2007). Es handelt sich hierbei um eine 24 km lange Strecke auf einer zweispurigen Landstraße mit einem vorausfahrenden Fahrzeug, das nicht überholt werden darf und dessen Geschwindigkeit zwischen 80 und 90 km/h variiert. Anders als in den Vorgängerstudien wurde die Strecke aber nicht als Nacht- sondern als Tagesszenario realisiert. Dieses Grund-szenario von 24 km Länge wurde viermal wiederholt, sodass sich eine Testzeit in der Simulation von etwa 80 Minuten ergab.

Im Rahmen eines Pilotversuchs wurde die Strecke in drei verschiedene Simulatoren unterschiedlicher Ausbaustufen implementiert. Da im Rahmen der Pilotstudie die Befunde aller drei Simulatorumgebungen sehr vergleichbar waren, wurde entschieden, die Validierungsstudie im Kompaktsimulator durchzuführen. KENNTNER-MABIALA et al. (2019) haben mit einem sehr ähnlichen Simulatorenbau die Fahrkompetenz älterer Autofahrer untersucht und kommen ebenfalls zu dem Ergebnis, dass auch Simulatoren geringerer Ausbaustufen durchaus geeignet sind, um valide Daten bezüglich der Fahrkompetenz zu erhalten.

Zur Validierung der Prüfstrecke zur Messung der Fahrkompetenz bei Tagesschläfrigkeit sollte die Fahrkompetenz einer tagesschläfrigen Schlaf-Apnoe-Patientengruppe und einer gesunden Kontrollgruppe sowohl in der Fahrsimulation als auch in einer Fahrprobe im Realverkehr untersucht werden. Die Fahrt im Realverkehr sollte als Validitätskriterium dienen, da Fahrproben im Realverkehr nach wie vor als Goldstandard der Fahreignungsdiagnose gelten (BALL & ACKERMANN, 2011). Insbesondere wird von den Begutachtungsleitlinien (2019) empfohlen, Fahrproben im Realverkehr durchzuführen, wenn Unklarheit darüber herrscht, ob ein Patient aufgrund seiner Tagesschläfrigkeit noch dazu in der Lage ist, ein Fahrzeug sicher zu führen. Da der psychometrischen Testung im Diagnosealltag eine große Bedeutung zukommt, wurden außerdem zu Vergleichszwecken mit dem VIGIL und dem RS3 des Wiener Testsystems zwei einschlägige psychometrische Verfahren miterhoben.

Schlaf-Apnoe Patienten wurden für besonders geeignet als Patientenstichprobe für die vorliegende Untersuchung erachtet, da es mit dem AHI ein objektives Außenkriterium gibt, anhand dessen der

Schweregrad der Schlaf-Apnoe quantifiziert werden kann. In der Patientenstichprobe der vorliegenden Validierungsstudie gab es jedoch keinen statistischen Zusammenhang zwischen dem AHI und der subjektiven Einschätzung der Tagesschläfrigkeit auf der Epworth Sleepiness Scale. Dies wirkt auf den ersten Blick überraschend. Damit übereinstimmend fand aber eine aktuelle großangelegte Studie (LIPFORD et al., 2019) mit 6.593 Patienten, die an leichter bis mittelschwerer Schlaf-Apnoe erkrankt waren ($AHI > 5$), dass der mit dem AHI quantifizierte Schweregrad der Schlaf-Apnoe zumindest für Frauen bei leichter bis milder Ausprägung der Schlaf-Apnoe nicht mit dem anhand der Epworth Sleepiness Scale quantifizierten Ausmaß der Tagesschläfrigkeit korreliert. Die Autoren argumentieren, dass die Frauen bei vergleichbarer Anzahl nächtlicher Atemaussetzer eine bessere Schlafeffizienz als Männer aufweisen. Bei schwerer Schlaf-Apnoe zeigte sich auch für Frauen ein leichter Zusammenhang zwischen Höhe des AHI und Ausprägung auf der ESS. In der vorliegenden Studie zeigte der AHI auch zu allen anderen erhobenen Messparameter keinen statistischen Zusammenhang, weder für die Fahrdaten im Simulator und im Realverkehr, noch für die Leistungsdaten des Wiener Testsystems und auch nicht für die subjektive Einschätzung der Müdigkeit auf der Stanford Sleepiness Scale vor, während und nach der Fahrttests.

In der Simulation zeigten sich für das Lidschlussverhalten signifikante Unterschiede zwischen Patienten und Kontrollen in der Form, dass Patienten generell einen höheren Zeitanteil geschlossener Augen aufweisen als Kontrollprobanden. Dieser Unterschied ist zu Beginn der Testung nur deskriptiv vorhanden, steigt im Laufe der Testung aber weiter an, um in den letzten Abschnitten der Testung auch statistisch signifikant zu werden. Außerdem waren die Patienten vor, während und nach der Testung in der Simulation nach eigener Einschätzung signifikant müder als die Kontrollprobanden. Deskriptiv zeigte sich ein Unterschied zwischen Kontrollprobanden und Patienten beim Fahrleistungsrating und der Gesamtzahl der Fahrfehler. Außerdem zeigte sich, dass die Fahrfehler der Kontrollprobanden eher auf Drängeln und zu dichtes Auffahren zurückzuführen sind, während die Fahrfehler der Patienten hauptsächlich Spurverlassensereignissen zuzuordnen sind. Die SDLP, die als kontinuierliches Maß für die Spurhaltegüte sich schon in zahlreichen Studien als sensitiv gegenüber Müdigkeitseffekten erwiesen hat, weist für Patienten und Kontrollpro-

banden einen starken Time-on-Task-Effekt auf in dem Sinne, dass die Güte der Spurhaltung im Laufe der Zeit immer schlechter wird. Das heißt, sowohl Patienten als auch Probanden haben Schwierigkeiten in diesem monotonen Setting ihre Leistung bezüglich der Querführung über längere Zeit aufrechtzuerhalten. Deskriptiv ist die Spurhaltung der Patienten durchweg immer etwas schlechter als die der Probanden, aber erst in den letzten beiden Abschnitten wird der Unterschied bezüglich der SDLP zwischen Kontrollen und Probanden deutlicher ohne jedoch eine statistische Signifikanz zu erreichen. Das bedeutet, dass die Patienten zumindest über einen gewissen Zeitraum in der Lage sind, ihr Leistungsvermögen trotz ihrer erhöhten Müdigkeit aufrechtzuerhalten. Dazu passend waren auch die Anzahl der Missings in der akustischen Nebenaufgabe, die während der Simulatorfahrt bearbeitet werden sollte, im ersten Fahrblock für alle Patienten bis auf eine Ausnahme unauffällig. Erst ab dem 3. Block, also etwa nach 40 Minuten monotoner Fahrt, brach die Leistung von in der Nebenaufgabe von etwa einem Drittel der Patienten ein. Dies alles spricht dafür, dass die Patienten in der Lage waren, über eine Zeit von 20-40 Minuten ihr Leistungsniveau auch unter sehr monotonen Bedingungen aufrecht zu erhalten. Dementsprechend geben auch 90 % der Probanden nach dem ersten Fahrtabschnitt in der Simulation an, ohne Pause sicher weiterfahren zu können. Bereits im folgenden Fahrtabschnitt sinkt der Anteil der Patienten, die keine Pause benötigen auf nur noch 28 % und im letzten Abschnitt berichten sogar über 80 %, dass sie zumindest pausieren (48 %) wenn nicht gar schlafen (41 %) müssen, um weiter sicher fahren zu können. Das bedeutet aber auch, dass sich die Patienten ihrer eingeschränkten Leistungsfähigkeit bewusst sind und somit die Voraussetzungen gegeben sind, dass sie im Realverkehr dementsprechend vernünftig handeln können.

Um abschätzen zu können, wie reliabel das im Rahmen des Projekts entwickelte Verfahren zur Messung der Fahrkompetenz tagesschläfriger Patienten in der Simulation ist, absolvierten sechs Patienten die Simulatorfahrt ein zweites Mal bei einem separaten Termin. Es zeigte sich, dass in allen relevanten Parametern eine große Übereinstimmung besteht zwischen erster Fahrt und Wiederholungsfahrt. Die Befunde dieses Verfahrens sind somit zeitlich sehr stabil und Unterschiede in der Tagesform der Patienten scheinen wenn überhaupt dann nur eine untergeordnete Rolle zu spielen.

Im Gegensatz zu den Befunden aus der Simulatorfahrt zeigten sich für die Realfahrt auch auf deskriptiver Ebene keinerlei Unterschiede zwischen Kontrollprobanden und Patienten. Eine plausible Erklärung hierfür ist, dass die Patienten vor und nach der Realfahrt nicht müder waren als die Kontrollprobanden. Wahrscheinlich waren Kontrollprobanden und Patienten durch das als Prüfungssituation wahrgenommene Untersuchungssetting bei der Realfahrt aufgeregt und diese Aufgeregtheit überdeckte die Müdigkeit.

In der Simulatorfahrt hatten neun Patienten und kein Kontrollproband ein Gesamtfahrkompetenzrating auf der FtD-Skala von sechs und schlechter. Dies entspricht einem sehr auffälligen bis kritischen Fahrverhalten. Im Gegensatz dazu hatte in der Realfahrt hatte ein Patient ein FtD-Rating, das ein auffälliges bis kritisches Fahrverhalten widerspiegelt. Dieser Patient zählte tatsächlich auch in der Simulatorfahrt zu den schlechtesten Teilnehmern. Eine Analyse der Fahrfehler zeigte jedoch, dass diesem Patienten sowohl in der Simulation als auch im Realverkehr nicht nur müdigkeitsassoziierte Fehler, sondern auch vor allem Fehler der Längsregulation und kognitive Fehler unterliefen. Außerdem gibt der Patient vor und nach der Realfahrt auf der Stanford Sleepiness Scale an, dass er nicht müde sei. Sein AHI war mit 30 im Vergleich zur restlichen Stichprobe hoch, sein Wert auf der ESS war mit 10 aber eher gering. Der Patient wies also konsistent in beiden Prüfumgebungen eine sehr schlechte Leistung auf, diese ist aber, zumindest für den Realverkehr, vermutlich aber auch für die Simulation, nicht ausschließlich auf Müdigkeit, sondern auch auf nicht-regelkonformes Verhalten zurückzuführen. Diese Befunde sind nicht ausreichend, um die Validität der Simulation zur Messung der Fahrkompetenz bei Tagesschläfrigkeit zu belegen. Für einen aussagekräftigen Validitätsnachweis hätten insgesamt mehr Patienten schlecht im Realfahrtstest abschneiden müssen. In der vorliegenden Stichprobe findet sich aber bezüglich der Fahrfehler und der FtD-Ratings für die Fahrten im Realverkehr eine stark links schiefe Verteilung. Dies bedeutet, dass die Mehrzahl der Patienten in der Realfahrt eine gute bis sehr gute Fahrkompetenz aufwies. Diese fehlende Varianz bzw. dieses nicht Ausschöpfen des Wertebereichs verhindern einen Validitätsnachweis.

Nichtsdestotrotz scheint die Simulation besser geeignet und sensitiver als das Realfahrsetting, um müdigkeitsassoziierte Unterschiede zwischen Kon-

trollprobanden und Tagesschläfrigkeitpatienten zu detektieren. Inwiefern diese Unterschiede aber tatsächlich relevant für die Fahrsicherheit sind, kann mit den vorliegenden Daten nicht beantwortet werden. Es besteht durchaus die Möglichkeit, dass in der vorliegenden Stichprobe keiner der untersuchten Patienten aufgrund der Tagesschläfrigkeit tatsächlich bezüglich seiner Fahrkompetenz so weit eingeschränkt war, dass dies im Realverkehr auch sicherheitsrelevante Auswirkungen hätte. Dies soll nicht heißen, dass Tagesschläfrigkeit und insbesondere eine unbehandelte Schlaf-Apnoe per se nicht zu einer Einschränkung der Fahrsicherheit führen können. Betrachtet man jedoch die AHI-Werte und die Selbsteinschätzungen der Patienten auf der Epworth Sleepiness Scale, ist davon auszugehen, dass die Patienten dieser Studie mehrheitlich eher von einer leichten bis moderaten Symptomatik der Schlaf-Apnoe betroffen sind. Die Patienten der vorliegenden Studie mit dieser eher milden Symptomatik der Schlaf-Apnoe scheinen also zwar fahrrelevante Leistungseinschränkungen zu haben, die in der Fahrsimulation zumindest bei einigen Individuen auch abgebildet werden, im Realverkehr scheinen sie ihre Defizite aber kompensieren zu können. Eine andere Möglichkeit ist, dass die in der Simulation gefundenen Leistungseinbußen durchaus sicherheitsrelevant sind, die Müdigkeit aber im Realfahrsetting wie oben aufgeführt aufgrund der Aufregung überdeckt wurde. In diesem Falle wäre das Realfahrsetting ungeeignet, um die Fahrkompetenz tagesschläfriger Patienten zu untersuchen. Mit den vorliegenden Daten kann nicht beantwortet werden, welches der beiden Untersuchungssettings valide ist und welches nicht. Die Frage, unter welchen Bedingungen eine Realfahrprobe aber ein valides Untersuchungssetting zur Messung der Fahrkompetenz sein kann, ist sehr relevant und sollte weiter systematisch untersucht werden.

Auch die psychometrischen Tests des Wiener Testsystems waren sensitiver als die Fahrprobe im Realverkehr: Für einen untersuchten Parameter, die motorische Reaktionszeit des RST3, ergaben sich signifikante Unterschiede zwischen Patienten und Kontrollen. Für die anderen Parameter waren zumindest deskriptiv Unterschiede zwischen Kontrollen und Patienten zu beobachten: So war die Streuung der Werte für Patienten deutlich höher als für Kontrollen, obwohl die Stichprobe der Patienten dreimal so groß ist wie die der Kontrollen. Dies reflektiert eine größere Heterogenität der Patientstichprobe im Vergleich zur Kontrollgruppe.

Außerdem stammen Ausreißerwerte mit besonders schlechter Leistung aus der Patienten- und nicht der Kontrollgruppe. Auch für die Simulatorfahrt weisen einige Individuen aus der Patientengruppe Ausreißerwerte auf, die eine sehr schlechte Leistung reflektieren. Es zeigt sich aber, dass die Ausreißer aus den psychometrischen Tests andere Individuen waren als die aus der Simulatorfahrt. Eine mögliche Ursache könnten Unterschiede in der Tagesform der Patienten sein. Betrachtet man jedoch die äußerst stabilen Befunde bei der Wiederholungsfahrt in der Simulation, scheint dies aber eher unwahrscheinlich. Vielmehr scheinen sowohl die psychometrischen Leistungstests als auch die Simulatorfahrt sensitiv für müdigkeitsassoziierte Leistungseinbußen zu sein, dabei aber nicht dasselbe zu messen und unterschiedliche Individuen zu detektieren. Dieser Befund steht im Einklang zur Einschätzung verschiedener Autoren, dass Bewertungen des praktischen Fahrverhaltens und psychometrischen Tests unterschiedliche Leistungsaspekte erfassen (FASTENMEIER, GSTALTER & GEHLERT, 2014; NIEMANN & HARTJE, 2007; 2013; WELLER, SCHLAG & GEHLERT, 2014).

Insgesamt ist es in vorliegendem Projekt gelungen, eine Prüfumgebung für die Fahrsimulation zu entwickeln, die geeignet ist, müdigkeitsassoziierte, fahrrelevante Leistungsdefizite tagesschläfriger Patienten zu detektieren: So wiesen ausschließlich Patienten und keine Kontrollprobanden sehr auffällige Befunde in der Simulatorfahrt auf und darüber hinaus erwiesen sich Befunde aus der Simulatorfahrt auch bei einer Wiederholungsfahrt als stabil. Da aber bis auf eine Ausnahme alle Patienten in der Realfahrprobe unauffällig waren, ist es leider nicht gelungen, die Validität des Verfahrens nachzuweisen. Es bleibt zu diskutieren, ob das (zu) gute Abschneiden der Patienten in der Realfahrprobe auf das Untersuchungssetting im Realverkehr selbst zurückzuführen ist oder ob es in vorliegender Studie nicht gelungen ist, eine Stichprobe zu rekrutieren, die so sehr von Tagesschläfrigkeit beeinflusst ist, dass dies relevante Auswirkungen auf die Fahr-sicherheit hat.

Trotz der auffälligen Symptome, d. h. lautes Schnarchen, Tagesschläfrigkeit und unruhiger, nicht erholsamer Schlaf, erfolgte die systematische Untersuchung des Schlaf-Apnoe-Syndroms erst ab den 70er Jahren des vergangenen Jahrhunderts (TESCHLER & RANDE RATH, 2010). Seit den 90er Jahren des letzten Jahrhunderts gibt es einen enor-

men Zuwachs an Forschungsaktivitäten zum Thema Schlaf-Apnoe (LAVIE, 2007). Inzwischen wurden in Deutschland an zahlreichen Orten sogenannte „Schnarchambulanz“ gegründet, die sich auf Diagnose und Behandlung der Schlaf-Apnoe spezialisiert haben. Anlass, die Ambulanz aufzusuchen, ist dabei oft nicht eine erhöhte Tagesschläfrigkeit der Betroffenen selbst, sondern Klagen der Lebenspartner über das unerträgliche Schnarchen der Betroffenen und der damit verbundenen Störung der Nachtruhe. Dank der größeren Bekanntheit des Schlaf-Apnoe-Syndroms und einer immer weiter verbesserten Diagnostik wird eine Schlaf-Apnoe heutzutage sehr häufig diagnostiziert und gilt als Volkskrankheit. Aufgrund des mit einer unbehandelten Schlaf-Apnoe verbundenen Risikos zahlreicher Folgeerkrankungen ist eine konsequente, frühzeitige Diagnose und Behandlung der Störung sicherlich auch sinnvoll. Das hieraus resultierende Patientenkollektiv ist aber mit großer Wahrscheinlichkeit bezüglich Schweregrad der Erkrankung und damit verbundenem Ausmaß der Tagesschläfrigkeit ein anderes als die Patientengruppen, die in den OSAS-Studien der 90er Jahre und der frühen 2000er Jahre untersucht wurden.

Um methodisch hohe Standards zu erfüllen, sind die Ein- und Ausschlusskriterien in der vorliegenden Validierungsstudie sehr streng gewählt worden: Die Tagesschläfrigkeit sollte allein auf OSAS und nicht auf irgendwelche Vor- und Begleiterkrankungen oder eine sedierende Medikation zurückzuführen sein. Dies machte die Rekrutierung sehr kompliziert und schwierig. Darüber hinaus ist aber zu befürchten, dass gerade Personen, die in besonderem Maße unter Tagesschläfrigkeit leiden, aufgrund der strengen Ausschlusskriterien systematisch von der Teilnahme an der Studie ausgeschlossen wurden. Vermutlich ist eine OSAS allein von Patienten soweit kompensierbar, dass sie ihr Leistungsniveau in vielen Fällen aufrechterhalten können. Kommen aber weitere krankheits- oder substanzbedingte Faktoren hinzu, kann dies zu einem nicht mehr kompensierbaren Zustand führen. Wir schlussfolgern daraus, dass bei der weiteren Untersuchung des Themas Fahrkompetenz bei Tagesschläfrigkeit weniger die Ätiologie der Tagesschläfrigkeit im Vordergrund stehen sollte als das Vorhandensein und die Ausprägung der Tagesschläfrigkeit an sich.

6 Zusammenfassung und Ausblick

Obwohl es in vorliegendem Projekt gelungen ist, eine für tagesschläfrige Probanden sensitive und reliable Simulatorumgebung zur Messung der Fahrkompetenz zu entwickeln, konnte die Validität des Verfahrens nicht nachgewiesen werden. Grund hierfür war, dass die Patienten während der Fahrverhaltensbeobachtung im Realverkehr, die als Validitätskriterium herangezogen wurde, nicht müde waren und somit eine gute bis sehr gute Fahrkompetenz aufwiesen. Die Müdigkeit der Patienten wurde vermutlich durch deren Aufregung überlagert, da die Fahrverhaltensbeobachtung im Realverkehr von den Patienten als Prüfungssituation wahrgenommen wurde. Die Daten der vorliegenden Studie werfen somit die grundsätzliche Frage auf, ob eine Prüffahrt im Realverkehr überhaupt ein geeignetes Validitätskriterium für die Fahrkompetenz tagesschläfriger Patienten sein kann, wenn die eigentliche Problematik dieser Patienten, die Müdigkeit, durch die spezifischen Charakteristika des Untersuchungssettings überlagert wird. Dies sollte in weiteren Studien untersucht werden, in denen tagesschläfrigen Patienten mehr Zeit gegeben wird, sich an das Testsetting zu gewöhnen, sodass die Aufregung aufgrund der unbekanntenen Prüfsituation nicht mehr die Müdigkeit überlagert. Hierbei sind die zehn Minuten Eingewöhnungsfahrt, wie sie in vorliegendem Projekt realisiert wurden, offensichtlich unzureichend. Sehr interessant wäre es, ähnlich wie in vorliegendem Projekt mit der Simulatorfahrt, die Fahrverhaltensbeobachtung im Realverkehr mehrmals zu wiederholen, um auch im Realfahrsetting eine ähnliche Monotonie wie in der Simulationsumgebung herzustellen und um die Reliabilität von Befunden aus Fahrverhaltensbeobachtungen im Realverkehr untersuchen zu können. Hierbei sollten die Aufregung der Patienten direkt im Versuchsdesign adressiert und mögliche Einflussfaktoren darauf wie z. B. Eigenschaften des Versuchsleiters (Alter, Geschlecht), Bekanntheit der Untersuchungsstrecke oder Vertrautheit mit dem Testfahrzeug untersucht werden.

Die Befunde der vorliegenden Studie sind vielsprechend, können aber aufgrund der geringen Anzahl von Patienten nur ein erster Schritt auf dem Weg zu Entwicklung eines reliablen und validen Verfahrens zur Messung der Fahrkompetenz tagesschläfriger Patienten sein. Für eine Weiterentwick-

lung des Verfahrens müssen mehr schwer betroffene Patienten untersucht werden. Hierfür ist es sehr zu empfehlen, die Einschlusskriterien für die Patienten weniger streng zu definieren als im vorliegenden Projekt. Entscheidend für einen Einschluss der Patienten sollte nicht die der Tagesschläfrigkeit zugrundeliegende Grunderkrankung sein, sondern das Vorliegen einer mittelschweren bis schweren Tagesschläfrigkeit an sich. Denkbar wären für eine schnelle und effektive Gewinnung von Daten Kooperationen mit Kliniken, die einen Schwerpunkt setzen auf die Behandlung von Schlafstörungen oder auf Erkrankungen, die mit Tagesschläfrigkeit einhergehen. Im Rahmen einer solchen Kooperation könnte der mobile Simulator zu Testzwecken für eine begrenzte Zeit an die jeweiligen Kliniken verliehen werden. Die im Rahmen dieses Projekts entwickelte Strecke ist vielseitig auch für andere Forschungsthemen einsetzbar. Beispielsweise bietet sich die Strecke zur Untersuchung des Einflusses fahrfremder Nebentätigkeiten auf die Fahrsicherheit als zugrundeliegendes Fahrscenario an. In den AAM-Guidelines wird zur Untersuchung fahrfremder Nebentätigkeiten empfohlen, das Fahrverhalten in einer dynamischen Umgebung in der Fahrsimulation unter Routinebedingungen zu erfassen. Die von den AAM-Guidelines festgelegten Fahrbedingungen

- Straße mit baulich getrennten Fahrbahnen,
- Tageslicht,
- trockene Fahrbahn und
- geringe oder mittlere Verkehrsdichte

lassen sich anhand der im Rahmen des Projekts entwickelten Strecke problemlos umsetzen.

Aber auch zur Untersuchung fahrrelevanter psychomotorischer Effekte durch sedierende Substanzen wie Drogen, Alkohol oder Medikamente bietet sich der Einsatz der Strecke an. Dabei ermöglicht der Einsatz von S.A.F.E. eine vollautomatisierte Messung und Auswertung von Längs- und Querfehlern sowie der SDLP. Dies ist eine wichtige Voraussetzung zum Einsatz der Simulation in multizentrischen Medikamentenstudien.

Literatur

- AAA (1985): A Report on the Determination and Evaluation of the Role of Fatigue in Heavy Truck Accidents (pp. 1-26). Falls Church, Virginia: AAA Foundation For Traffic Safety
- Alliance of Automobile Manufacturers Driverfocus Telematics Working Group (2006). Statement of Principles, Criteria and Verification Procedures on Driver Interactions with Advanced In-Vehicle Information and Communication Systems – including 2006 updated sections. <http://cite.seerx.ist.psu.edu/viewdoc/summary?doi=10.1.1.681.8380>
- AASM (2005): The International Classification of Sleep Disorders 2: American Academy of Sleep Medicine
- AASM (2014): International Classification of Sleep Disorders. 3rd ed. Darien, IL : American Academy of Sleep Medicine
- ADAMS, N.; STRAUSS, M.; SCHLUCHTER, M. & REDLINE, S. (2001): Relation of Measures of Sleep-Disordered Breathing to Neuropsychological Functioning. In: American Journal of Respiratory & Critical Care Medicine, 163, 1626-1631
- ÅKERSTEDT, T. & GILLBERG, M. (1990): Subjective and objective sleepiness in the active individual. In: International Journal of Neuroscience, 52(1-2), 29-37
- ALHOLA, P. & POLO-KANTOLA, P. (2007): Sleep deprivation: Impact on cognitive performance. Neuropsychiatric disease and treatment, 3(5), 553
- BALL, K. K. & ACKERMAN, M. L. (2011): The older driver (Training and assessment: Knowledge, skills and attitudes). In: D. L. FISHER, M. RIZZO, J. K. CAIRD & J. D. LEE (Hrsg.): Handbook of driving simulation for engineering, medicine, and psychology. S. 25-1 – 25-10, Boca Raton: CRC Press
- BÉDARD, M.-A.; MONTPLAISIR, J.; RICHER, F.; ROULEAU, I. & MALO, J. (1991): Obstructive Sleep Apnea Syndrome: Pathogenesis of Neuropsychological Deficits. In: Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology, 13(6), 950-964
- BENJAFIELD, A. V.; AYAS, N. T.; EASTWOOD, P. R.; HEINZER, R.; IP, M. S. M.; MORELL, M. J.; NUNEZ, C. M.; PATEL, S. R.; PENZEL, T.; P'PIN, J.-L.; PEPPAR, P. E.; SIHA, S.; TUFIK, S.; VALENTINE, K. & MALHOTRA, A. (2019): Estimation of the global prevalence and burden of obstructive sleep apnoea: a literature-based analysis. The Lancet. Respiratory Medicine, 7, 687-698
- BOYLE, L.; TIPPIN, J.; PAUL, A. & RIZZO, M. (2008): Driver performance in the moments surrounding a microsleep. Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour, 11(2), 126-136
- BRICKENKAMP, R.; SCHMIDT-ATZERT, L. & LIEPMANN, D. (2010): d2-R: Test d2 – Revision. Göttingen: Hogrefe
- BRUNNAUER, A. & LAUX, G. (2009): Driving simulator performance and psychomotor functions of schiz-ophrenic patients treated with antipsychotics. Eur Arch Psychiatry Clin Neurosci, 259(259), 483-489
- CHUA, E.; TAN, W.; YEO, S.; LAU, P.; LEE, I.; MIEN, I.; PUVANENDRAN, K. & GOOLEY, J. (2012): Heart rate variability can be used to estimate sleepiness-related decrements in psychomotor vigilance during total sleep deprivation. sleep, 35(3), 325-334
- COHEN, J. (1988): Statistical power analysis for the behavioral sciences (2nd ed.). Hillsdale, N. J.: L. Erlbaum Associates
- DAVENNE, D.; LERICOLLAIS, R.; SAGASPE, P.; TAILLARD, J.; GAUTHIER, A.; ESPIÉ, S. & PHILIP, P. (2012): Reliability of simulator driving tool for evaluation of sleepiness, fatigue and driving performance. In: Accident Analysis & Prevention, 45, 677-682
- Deutsche Gesellschaft für Schlafforschung und Schlafmedizin: S3-Leitlinie Nicht erholsamer Schlaf/Schlafstörungen – Kapitel „Schlafbezogene Atmungsstörungen bei Erwachsenen“. Somnologie 2017; 20: 97-180
- DESAI, A. V.; WILSMORE, B.; BARTLETT, D. J.; UNGER, G.; CONSTABLE, B.; JOFFE, D. & GRUNSTEIN, R. R. (2007): The utility of the driving simulator in the clinical assessment of driver fatigue. Behavior research methods, 39(3), 673-681

- DIETMANN, A.; MAIRE, M.; BARGIOTAS, P.; MATHIS, J.; AUER, R. & BASSETTI, C. L. (2019): Tagesschläfrigkeit, Hypersomnie oder Tagesmüdigkeit? Ein Überblick für die Hausarztpraxis. In: *Swiss Medical Forum*, 19, 319-324
- DÜKER, H. & LIENERT, G. A. (1965): Konzentrations-Leistungs-Test. K-L-T. Handanweisung. Göttingen: Hogrefe
- ELLEN, R. L. B.; MARSHALL, S. C.; PALAYEW, M.; MOLNAR, F. J.; WILSON, K. G. & MANSOON-HING, M. (2006): Systematic Review of Motor Vehicle Crash Risk in Persons With Sleep Apnea. In: *Journal of Clinical Sleep Medicine*, 2(2), 193-200
- FRANKLIN, K. A. & LINDBERG, E. (2015): Obstructive sleep apnea is common disorder in the population. A review on the epidemiology of sleep apnea. In: *Journal of Thoracic Disease*, 7, 1311-1322
- ETSC (2001): The role of driver fatigue in commercial road transport crashes. <https://etsc.eu/the-role-of-driver-fatigue-in-commercial-road-transport-crashes/>
- EVERS, C. (2010): Unfallursache Übermüdung. Paper presented at the 6. Gemeinsames Symposium der DGVM und DGVP, Tübingen
- EVERS, C. & AUERBACH, K. (2005): Verhaltensbezogene Ursachen schwerer Lkw-Unfälle. In: *BAST (Ed.): Mensch und Sicherheit (Vol. M 174)*. Bergisch Gladbach: Bundesanstalt für Straßenwesen
- FASTENMEIER, W.; GSTALTER, H. & GEHLERT, T. (2014): Older drivers: possibilities and limits of testing and screening. Paper presented at the Interdisciplinary Conference on Ageing and Safe Mobility, BAST Bergisch-Gladbach, 27-28
- GHOSH, D.; JAMSON, S. L.; BAXTER, P. D. & ELLIOTT, M. W. (2012): Continuous measures of driving performance on an advanced office-based driving simulator can be used to predict simulator task failure in patients with obstructive sleep apnoea syndrome. *Thorax*, 67(9), 815-821
- GOTTLIEB, D. J.; WHITNEY, C. W.; BONEKAT, W. H.; IBER, C.; JAMES, G. D.; LEBOWITZ, M.; NIETO, F. J. & ROSENBERG, C. E. (1999): Relation of Sleepiness to Respiratory Disturbance Index. In: *American Journal of Respiratory & Critical Care Medicine*, 159, 502-507
- GREENBERG, G. D.; WATSON, R. K. & DEPTULA, D. (1987): Neuropsychological dysfunction in sleep apnea. In: *Journal of Sleep Research & Sleep Medicine*, 10(3), 254-262. doi: <http://dx.doi.org/10.1093/sleep/10.3.254>
- GRÄCMANN, N. & ALBRECHT, M. (2019): Begutachtungsleitlinien zur Kraftfahrtaugung, Bundesanstalt für Straßenwesen, Bergisch Gladbach, Stand 31. Dezember 2019
- HESS, W. (2015): Müdigkeit im Straßenverkehr. Mindestens genau so gefährlich wie Alkohol. *MMW Fortschritte der Medizin*, 156, 46-49
- HODDES, E.; ZARCONI, V.; SMYTHE, H.; PHILLIPS, R. & DEMENT, W. (1973): Quantification of sleepiness: a new approach. *Psychophysiology*, 10(4), 431-436
- HOFFMANN, S. & BULD, S. (2006): Darstellung und Evaluation eines Trainings zum Fahren in der Fahrsimulation Integrierte Sicherheit und Fahrerassistenzsysteme (Vol. 1960). Düsseldorf
- HOLTE, H. (2018): Seniorinnen und Senioren im Straßenverkehr. Bedarfsanalysen im Kontext von Lebenslagen, Lebensstilen und verkehrssicherheitsrelevanten Erwartungen. Projekt der Bundesanstalt für Straßenwesen (F1100.4315008). *Mensch und Sicherheit Heft M 285*. Bergisch Gladbach
- HOWARD, M. E.; JACKSON, M. L. & BAULK, S. (2009): Drugs, driving and traffic safety in sleep apnea. In: J. C. VERSTER, S. R. PANDI-PERUMAL, J. G. RAMAEKERS & J. J. D. GIER (Eds.): *Drugs, Driving and Traffic Safety* (pp. 245-269). Basel: Birkhäuser
- HULST, van der, M.; MEIJMAN, T. & ROTHENGATTER, T. (2001): Maintaining task set under fatigue: a study of time-on-task effects in simulated driving. *Transportation Research Part F*, 4 (2), pp. 103-118
- JOHNS, M. W. (1991): A new method for measuring daytime sleepiness: the Epworth sleepiness scale. *sleep*, 14(6), 540-545
- JONGEN, S.; PERRIER, J.; VUURMAN, E. F.; RAMAEKERS, J. G. & VERMEEREN, A.

- (2015): Sensitivity and validity of psychometric tests for assessing driving impairment: effects of sleep deprivation. *PLoS one*, 10(2), e0117045
- KAUSSNER, Y. (2007): *Fahrtauglichkeit bei Morbus Parkinson*. (PhD Dissertation), Bayerische Julius-Maximilians-Universität, Würzburg, Würzburg
- KAUSSNER, Y.; KENNTNER-MABIALA, R.; HOFFMANN, S.; KLATT, J.; TRACIK, F. & KRÜGER, H.-P. (2010): Effects of oxcarbazepine and carbamazepine on driving ability: a double-blind, randomized crossover trial with healthy volunteers. *Psychopharmacology*, 210(1), 53-63
- KAUSSNER, Y. & KRÜGER, H.-P. (2012): Psychopharmaka und Fahrtüchtigkeit. In: G. GRÜNDER & O. BENKERT (Eds.): *Handbuch der Psychopharmakotherapie* (pp. 1217-1225). Berlin: Springer
- KECKLUND, G. & ÅKERSTEDT, T. (1993): Sleepiness in long distance truck driving: an ambulatory EEG study of night driving. In: *Ergonomics*, 36(9), 1007-1017
- KENNEDY, R. S.; HETTINGER, L. J. & LILIENTHAL, M. G. (1990): Simulator sickness. In: G. H. CRAMPTON (Ed.): *Motion and Space Sickness* (pp. chapter 15, 317-341). Boca Raton, Florida: CRC Press
- KENNEDY, R. S.; LANE, N. E.; BERBAUM, K. S. & LILIENTHAL, M. G. (1993): Simulator Sickness Questionnaire: An enhanced method for quantifying simulator sickness. In: *International Journal of Aviation Psychology*, 3, 203-220
- KENNTNER-MABIALA, R., MAAG, C., KAUSSNER, Y., HOFFMANN, S., SCHUMACHER, M. (2019): Eignung von Fahrsimulatoren für die Untersuchung der Fahrkompetenz älterer Autofahrer. *Zeitschrift für Verkehrssicherheit*, 65(2), 91-96
- KENNTNER-MABIALA, R., KAUSSNER, Y., JAGIELLOWICZ-KAUFMANN, M., HOFFMANN, S. & KRÜGER, H.-P. (2015): Driving performance under alcohol in simulated representative driving tasks: an alcohol calibration study for impairments related to medicinal drugs. In: *Journal of clinical psychopharmacology*, 35(2), 134
- KOTTERBA, S.; MUELLER, N.; LEIDAG, M.; WIDDIG, W.; RASCHE, K.; MALIN, J.-P.; SCHULTZE-WERNINGHAUS, G. & ORTH, M. (2004): Comparison of driving simulator performance and neuropsychological testing in narcolepsy. *Clinical neurology and neurosurgery*, 106(4), 275-279
- LANGWIEDER, K.; SPORNER, A. & HELL, W. (1994): *Struktur der Unfälle mit Getöteten auf Autobahnen in Bayern im Jahr 1991 – Ein Beitrag zur Analyse des Unfallgeschehens* (pp. 92). München: HUK-Verband
- LAVIE, P. (2008): Who was the first to use the term Pickwickian in connection with sleepy patients? History of sleep apnoea syndrome. In: *Sleep Medicine Reviews*, 12, 5–17
- LAWSON, B. D.; GRAEBER, D. A. & MEAD, A. M. (2002): Signs and symptoms of human syndromes associated with synthetic experience. In: K. M. STANNEY (Ed.): *Handbook of virtual environments: Design, implementation, and applications* (pp. 589-618). Mahwah: IEA
- LENHARD, W. & LENHARD, A. (2016): Berechnung von Effektstärken. Abgerufen unter: <http://lindaregber.com/effekt-berechnen-interpretieren/>. Berlin: Linda Regber, MPH. DOI: 10.13140/RG.2.1.3478.4245
- LIPFORD, M. C.; WAHNER-ROEDLER, D. L.; WELSH, G. A.; MANDREKAR, J.; THAPA, P.; OLSON, E. J. (2019): Correlation of the Epworth Sleepiness Scale and sleep-disordered breathing in men and women. In: *Journal of Clinical Sleep Medicine*, 15, 33–38
- LUKESCH, H. & MAYRHOFER, S. (2001): *KLT-R. Revidierte Fassung des Konzentrations-Leistungs-Test von H. Düker & G. A. Lienert Göttingen: Hogrefe*
- MOOSBRUGGER, H.; OEHLSCHLÄGEL, J. & STEINWASCHER, M. (1996): *Frankfurter Aufmerksamkeits-Inventar 2* (2., überarbeitete, ergänzte und normenaktualisierte Auflage ed.). Bern: Huber
- NIEMANN, H. & HARTJE, W. (2013): Beurteilung der Fahreignung hirngeschädigter Patienten in der neurologischen Rehabilitation. In: *Zeitschrift für Neuropsychologie*, 24(2), 69-87

- NGUYEN, L. T.; JAUREGUI, B. & DINGES, D. F. (1998): Changing Behaviours to prevent drowsy and promote traffic safety: Review of promising, an unproven techniques (pp. 22): University of Pennsylvania
- ORTH, M.; LEIDAG, M.; KOTTERBA, S.; WIDDIG, W.; de ZEEUW, J.; WALTHER, J.; DUCHNA, H.-W.; SCHÄFER, D.; SCHLÄFKE, M. & MAILIN, J.-P. (2002): Abschätzung des Unfallrisikos bei obstruktivem Schlaf-Apnoe-Syndrom (OSAS) durch Fahrsimulation. *Pneumologie*, 56(01), 13-18
- PERRIER, J.; BERTRAN, F.; MARIE, S.; COUQUE, C.; BULLA, J.; DENISE, P. & BOCCA, M.-L. (2014): Impaired driving performance associated with effect of time duration in patients with primary insomnia. *sleep*, 37(9), 1565-1573
- PIZZA, F.; CONTARDI, S.; MONDINI, S.; TREN-
TIN, L. & CIRIGNOTTA, F. (2009): Daytime sleepiness and driving performance in patients with obstructive sleep apnea: comparison of the MSLT, the MWT, and a simulated driving task. *Sleep*, 32(3), 382
- RISSER, M. R. & WARE, J. C. (1999): Driving Simulation With EEG Monitoring in Normals and Obstructive Sleep Apnea Patients. *Annual Proceedings for the Advancement of Automotive Medicine*, 43, 317-328
- RIZZO, M. (2004): Physiological methods and measurements in driving simulation. *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*, 48(19), 2330-2334
- SATEIA, M. (2014): International Classification of Sleep Disorders – Third Edition. Highlights and Modifications. *Chest*, 146, 1387-1394
- SCHLACK, R.; HAPKE, U.; MASKE, U.; BUSCH, M. A. & COHRS, S. (2013): Häufigkeit und Verteilung von Schlafproblemen und Insomnie in der deutschen Erwachsenenbevölkerung – Ergebnisse der Studie zur Gesundheit Erwachsener in Deutschland (DEGS1). *Bundesgesundheitsblatt*, 56, 740-748
- SCHUNKERT, H. & WEIL, J. (2005): *Rationelle Diagnostik und Therapie bei Herzinsuffizienz*. Springer. Heidelberg
- SEIFERT, I. (2011): Fahrtauglichkeit bei Patienten mit obstruktivem Schlafapnoesyndrom vor und nach 14 Tagen CPAP-Therapie im Vergleich zu Gesunden. (Dissertation), Ruhr-Universität Bochum
- STUCK, B. A.; MAURER, J. T.; SCHREDL, M. & WEEß, H.-G. (2009): *Praxis der Schlafmedizin*. Heidelberg: Springer Medizin Verlag
- TESCHLER, H. & RANDERATH, W. (2010): Schlafassozierte Ventilationsstörungen – historische Entwicklung, Status quo und Ausblick. *Pneumologie*, 64, 583-589
- TESCHLER, H.; WESSENDORF, T. E. & KONIETZKO, N. (1998): Pathophysiologie der obstruktiven Schlafapnoe. In: N. KONIETZKO, H. TESCHLER, & L. FREITAG (Ed.): *Schlafapnoe*. 2. Auflage. Springer. Heidelberg
- TOULIOU, K.; BEKIARIS, E. & PANOU, M. (2013): Comparison of driving performance in treated and untreated Obstructive Sleep Apnoea Syndrome (OSAS) patients and healthy controls. Paper presented at the 20th International Conference on Alcohol, Drugs and Traffic Safety (T2013), Brisbane, Queensland, Australia
- VAKULIN, A.; CATCHESIDE, P. G.; BAULK, S. D.; ANTIC, N. A.; BANKS, S.; DORRIAN, J. & MCEVOY, R. D. (2014): Individual variability and predictors of driving simulator impairment in patients with obstructive sleep apnea. *J Clin Sleep Med*, 10(6), 647-655
- VERSTER, J. C. & RAMAEKERS, J. G. (2009): The on-the-road driving test. In: J. C. VERSTER, S. R. PANDI-PERUMAL, J. G. RAMAEKERS & J. J. D. GIER (Eds.): *Drugs, Driving and Traffic Safety*. Basel: Birkhäuser.
- WEEß, H.-G. (2010): Diagnostische Methoden zur Erfassung der Tagesschläfrigkeit. 6. Gemeinsames Symposium der DGVM und DGVP, Tübingen
- WELLER, G.; SCHLAG, B. & GEHLERT, T. (2014): Does older driver's psychophysical fitness predicts their driving performance? Paper presented at the Interdisciplinary Conference on Ageing and Safe Mobility, BAST Bergisch Gladbach
- WIEGAND, D. M.; MCCLAFFERTY, J.; MCDONALD, S. E. & HANOWSKI, R. J. (2009): Development and evaluation of a naturalistic observer rating of drowsiness protocol: final

report: Virginia Tech. Virginia Tech Transportation Institute

WIERWILLE, W. W.; WREGGIT, S.; KIRN, C.; ELLSWORTH, L. & FAIRBANKS, R. (1994): Research on vehicle-based driver status/performance monitoring; development, validation, and refinement of algorithms for detection of driver drowsiness. Final report (Vol. DOT HS 808 247): NHTSA, US Department of Transportation

WILLE, M. (2009): Selbstinduzierte Geschwindigkeitsoszillation in der Fahrzeugführung. Dissertation der Technischen Hochschule Aachen. <https://d-nb.info/999379704/34>

ZHANG, H.; WU, C.; YAN, X. & QIU, T. Z. (2016): The effect of fatigue driving on car following behavior. Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour, 43, 80-89

Bilder

Bild 3-1: Screenshot aus dem Fahrparcours. Das gelbe Führungsfahrzeug fährt mit einem realistischen Geschwindigkeitsprofil zwischen 80 und 90 km/h und darf nicht überholt werden.

Bild 3-2: Die am WIVW entwickelte Applikation S.A.F.E. zur standardisierten Beobachtung des Fahrverhaltens während einer psychologischen Fahrverhaltensbeobachtung.

Bild 3-3: Implementation der Prüfstrecke in den Kompaktsimulator. Rückspiegel, Tacho und Drehzahlmesser sind in die Szenerie eingeblendet.

Bild 4-1: Bildschirmdarbietung der Reize des Tests RT (Subtests S3) des Wiener Testsystems

Bild 4-2: Bildschirmdarbietung des VIGIL (Subtest S1) des Wiener Testsystems (Im vorliegenden Projekt wurde die Testform S2 angewandt, bei der nur der ausgefüllte weiße Punkt zu sehen ist, der sich ebenfalls auf einer Kreisbahn bewegt, nicht jedoch die leeren Kreise)

Bild 4-3: Monotone Strecke auf der Landstraße von Würzburg nach Karlstadt (© openrouteservice)

Bild 4-4: Stadtroute im Würzburger Ortsteil Zellerau (© openrouteservice)

Bild 4-5: ESS in Abhängigkeit von der Gruppenzugehörigkeit

Bild 4-6: Apnoe-Hypopnoe-Index (AHI) der Patienten

Bild 4-7: Zusammenhang zwischen ESS und AHI der Patienten

Bild 4-8: Mittlere Reaktionszeit beim RTS3 in Abhängigkeit von der Gruppenzugehörigkeit

Bild 4-9: Mittlere motorische Zeit beim RTS3 in Abhängigkeit von der Gruppenzugehörigkeit

Bild 4-10: Mittlere Reaktionszeit beim Vigil Test in Abhängigkeit von der Gruppenzugehörigkeit

Bild 4-11: Subjektive Einschätzung auf Stanford Sleepiness Scale durch Probanden vor der Fahrt (0) und nach den jeweiligen Fahrtabschnitten (1-4)

Bild 4-12: Fitness to Drive Rating in Abhängigkeit von der Gruppenzugehörigkeit

Bild 4-13: Anzahl der Gesamtfahrfehler in Abhängigkeit von der Gruppenzugehörigkeit

Bild 4-14: Anzahl der Querregelungsfehler in Abhängigkeit von der Gruppenzugehörigkeit

Bild 4-15: Anzahl der Längsregulationsfehler in Abhängigkeit von der Gruppenzugehörigkeit

Bild 4-16: Standardabweichung der lateralen Position SDLP als Maß für die Spurhaltung in Abhängigkeit von der Gruppenzugehörigkeit

Bild 4-17: Anteil der Zeit mit geschlossenen Augen (PERCLOS) nach Gruppenzugehörigkeit

Bild 4-18: Anteil der Patienten (grün) im Vergleich zu Kontrollen (blau), die ein Bedürfnis nach Pause oder Schlaf angeben, getrennt nach Fahrtabschnitt.

- Bild 4-19: Anzahl der Missings bei der Bearbeitung der Nebenaufgabe getrennt für Patienten und Kontrollprobanden
- Bild 4-20: Vergleich Anzahl Missings im letzten Block der Fahrt zwischen Kontrollen und Patienten
- Bild 4-21: PERCLOS über die Zeit erste Fahrt vs. Wiederholungsfahrt
- Bild 4-22: Subjektive Selbsteinschätzung der Müdigkeit auf der Stanford Sleepiness Scale für die erste Fahrt vs. die Wiederholungsfahrt
- Bild 4-23: Zusammenhang für die SDLP zwischen erster Fahrt und Wiederholungsfahrt
- Bild 4-24: Subjektive Einschätzung der eigenen Müdigkeit auf SSS von Patienten und Kontrollen vor und nach den Simulator- und Realfahrten
- Bild 4-25: Fitness to Drive Rating für die Realfahrt in Abhängigkeit von der Gruppenzugehörigkeit
- Bild 4-26: Gesamtzahl der Fehler während der Realfahrt in Abhängigkeit von der Gruppenzugehörigkeit
- Tab. 3-2: Die drei in der Pilotstudie eingesetzten Simulatoren
- Tab. 4-1: Übersicht und kurze Beschreibung der Streckenabschnitte der Realfahrprobe, für die die einzelnen S.A.F.E. Fehlerkategorien registriert werden.
- Tab. 4-2: Interpretation von R^2 und partiellem Eta-Quadrat
- Tab. 4-3: Statistischer Zusammenhang zwischen den verschiedenen in der Studie erhobenen Maße.

Tabellen

- Tab. 2-1: Charakteristika von Müdigkeit und Schläfrigkeit (WEEß, 2010, S. 27)
- Tab. 2-2: Einteilung des Schweregrads des Schlaf-Apnoe-Syndroms unter Verwendung des AHI (AASM, 2014)
- Tab. 2-3: Überblick über gängige apparative Verfahren zur Erfassung von fahrrelevanten Leistungsbeeinträchtigungen durch Schläfrigkeit im deutschsprachigen Raum
- Tab. 2-4: Merkmale empirischer Studien zur Untersuchung von Müdigkeit in der Fahrsimulation
- Tab. 3-1: Übersicht zu den einzelnen Streckenstücken sowie die jeweils ausgewerteten Parameter

Schriftenreihe

Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen

Unterreihe „Mensch und Sicherheit“

2018

M 277: **Unfallgeschehen schwerer Güterkraftfahrzeuge**
Panwinkler € 18,50

M 278: **Alternative Antriebstechnologien: Marktdurchdringung und Konsequenzen für die Straßenverkehrssicherheit**
Schleh, Bierbach, Piasecki, Pöppel-Decker, Schönebeck
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

M 279: **Psychologische Aspekte des Einsatzes von Lang-Lkw – Zweite Erhebungsphase**
Glaser, Glaser, Schmid, Waschulewski
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

M 280: **Entwicklung der Fahr- und Verkehrskompetenz mit zunehmender Fahrerfahrung**
Jürgensohn, Böhm, Gardas, Stephani € 19,50

M 281: **Rad-Schulwegpläne in Baden-Württemberg – Begleitevaluation zu deren Erstellung mithilfe des WebGIS-Tools**
Neumann-Opitz € 16,50

M 282: **Fahrverhaltensbeobachtung mit Senioren im Fahrsimulator der BAST Machbarkeitsstudie**
Schumacher, Schubert € 15,50

M 283: **Demografischer Wandel – Kenntnisstand und Maßnahmenempfehlungen zur Sicherung der Mobilität älterer Verkehrsteilnehmer**
Schubert, Gräcmann, Bartmann € 18,50

M 284: **Fahranfängerbefragung 2014: 17-jährige Teilnehmer und 18-jährige Nichtteilnehmer am Begleiteten Fahren – Ansatzpunkte zur Optimierung des Maßnahmenansatzes „Begleitetes Fahren ab 17“**
Funk, Schrauth € 15,50

M 285: **Seniorinnen und Senioren im Straßenverkehr – Bedarfsanalysen im Kontext von Lebenslagen, Lebensstilen und verkehrssicherheitsrelevanten Erwartungen**
Holte € 20,50

M 286: **Evaluation des Modellversuchs AM 15**
Teil 1: **Verkehrsbewährungsstudie**
Kühne, Dombrowski
Teil 2: **Befragungsstudie**
Funk, Schrauth, Roßnagel € 29,00

M 287: **Konzept für eine regelmäßige Erhebung der Nutzungshäufigkeit von Smartphones bei Pkw-Fahrern**
Kathmann, Scotti, Huemer, Mennecke, Vollrath
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

M 288: **Anforderungen an die Evaluation der Kurse zur Wiederherstellung der Kraftfahreignung gemäß § 70 FeV**
Klipp, Brieler, Frenzel, Kühne, Hundertmark, Kollbach, Labitzke, Uhle, Albrecht, Buchardt € 14,50

2019

M 289: **Entwicklung und Überprüfung eines Instruments zur kontinuierlichen Erfassung des Verkehrsklimas**
Schade, Rößger, Schlag, Follmer, Eggs
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

M 290: **Leistungen des Rettungsdienstes 2016/17 – Analyse des Leistungsniveaus im Rettungsdienst für die Jahre 2016 und 2017**
Schmiedel, Behrendt € 18,50

M 291: **Versorgung psychischer Unfallfolgen**
Auerbach, Surges € 15,50

M 292: **Einfluss gleichaltriger Bezugspersonen (Peers) auf das Mobilitäts- und Fahrverhalten junger Fahrerinnen und Fahrer**
Baumann, Geber, Klimmt, Czerwinski € 18,00

M 293: **Fahranfänger – Weiterführende Maßnahmen nach dem Fahrerlaubniswerb – Abschlussbericht**
Projektgruppe „Hochrisikophase Fahranfänger“ € 17,50

2020

M 294: **Förderung eigenständiger Mobilität von Erwachsenen mit geistiger Behinderung**
Markowetz, Wolf, Schwaferts, Luginger, Mayer, Rosin, Buchberger
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

M 295: **Marktdurchdringung von Fahrzeugsicherheitsystemen in Pkw 2017**
Gruschwitz, Hölscher, Raudszus, Schulz € 14,50

M 296: **Leichte Sprache in der theoretischen Fahrerlaubnisprüfung**
Schrauth, Zielinski, Mederer
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

M 297: **Häufigkeit von Ablenkung beim Autofahren**
Kreuzlein, Schleinitz, Krems € 17,50

M 298: **Zahlungsbereitschaft für Verkehrssicherheit**
Obermeyer, Hirte, Korneli, Schade, Friebe € 18,00

M 299: **Systematische Untersuchung sicherheitsrelevanter Fußgängerhaltens**
Schüller, Niestegge, Roßmerkel, Schade, Rößger, Rehberg, Maier € 24,50

M 300: **Nutzungshäufigkeit von Smartphones durch Pkw-Fahrer Erhebung 2019**
Kathmann, Johannsen, von Heel, Hermes, Vollrath, Huemer € 18,00

M 301: **Motorräder – Mobilitätsstrukturen und Expositionsgrößen**
Bäumer, Hautzinger, Pfeiffer € 16,00

M 302: **Zielgruppengerechte Ansprache in der Verkehrssicherheitskommunikation über Influencer in den sozialen Medien**
Duckwitz, Funk, Schliebs, Hermanns € 22,00

M 303: **Kognitive Störungen und Verkehrssicherheit**
Surges
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

M 305: **Re-Evaluation des Alkoholverbots für Fahranfängerinnen und Fahranfänger**
Evers, Straßgüt € 15,50

AKTUALISIERTE NEUAUFLAGE VON:

M 115: **Begutachtungsleitlinien zur Kraftfahreignung – gültig ab 31.12.2019**
Gräcmann, Albrecht € 17,50

2021

M 304: Zum Unfallgeschehen von Motorrädern

Pöppel-Decker

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

M 306: Stand der Wissenschaft: Kinder im Straßenverkehr

Schmidt, Funk, Duderstadt, Schreiter, Sinner, Bahlmann

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

M 307: Evaluation des Zielgruppenprogramms „Aktion junge Fahrer“ (DVW) – Phase II

Funk, Rossnagel, Bender, Barth, Bochert, Detert, Erhardt, Hellwagner, Hummel, Karg, Kondrasch, Schubert, Zens

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

M 308: Evaluation der Zielgruppenprogramme „Kind und Verkehr“ (DVR, DVW) und „Kinder im Straßenverkehr“ (DVW) – Phase II

Funk, Bender, Rossnagel, Barth, Bochert, Detert, Erhardt, Hellwagner, Hummel, Karg, Kondrasch, Schubert, Zensen

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

M 309: Entwicklung und Evaluation effizienter Trainingsmaßnahmen für ältere Verkehrsteilnehmer zur Förderung ihrer Fahrkompetenz

Schoch, Julier, Kenntner-Mabiala, Kaussner

€ 16,00

M 310: Erfassung der subjektiven Wahrnehmung und Bewertung verkehrssicherheitsrelevanter Leistungsmerkmale und Verhaltensweisen älterer Autofahrer – Entwicklung und Prüfung eines Selbsttests

Horn

€ 18,50

M 311: Safety Performance Indicators im Straßenverkehr – Überblick und Erfahrungen aus der internationalen Praxis

Funk, Orłowski, Braun, Rucker

€ 20,50

M 312: Konzept für eine regelmäßige Erhebung der Nutzungshäufigkeit von Smartphones bei Radfahrern und Fußgängern

Funk, Roßnagel, Maier, Crvelin, Kurz, Mohamed, Ott, Stamer, Stößel, Tomaselli

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

M 313: Analyse der Merkmale und des Unfallgeschehens von Pedelec Fahrern

Platho, Horn, Jansch, Johannsen

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

M 314: SENIORWALK

Holte

€ 19,00

M 315: Untersuchungen zur wissenschaftlichen Begleitung des reformierten Fahrlehrerrechts

Bredow, Ewald, Thüs, Malone, Brünken

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

M 316: VERKEHRSKLIMA 2020

Holte

€ 16,50

M 317: Alternative Antriebstechnologien – Marktdurchdringung und Konsequenzen für die Straßenverkehrssicherheit

Pöppel-Decker, Bierbach, Piasecki, Schönebeck

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

M 318: Verkehrssicherheitsberatung älterer Kraftfahrerinnen und -fahrer in der hausärztlichen Praxis – Bestandsaufnahme

Schoch, Kenntner-Mabiala

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

M 319: Protanopie und Protanomalie bei Berufskraftfahrern und Berufskraftfahrerinnen – Prävalenz und Unfallrisiko

Friedrichs, Schmidt, Schmidt

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

M 320: Eignung von Fahrsimulatoren für die Untersuchung der Fahrkompetenz älterer Autofahrer

Maag, Kenntner-Mabiala, Kaussner, Hoffmann, Ebert

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

M 321: Entwicklung einer Methodik zur Untersuchung der Determinanten der Routenwahl von Radfahrern

Lux, Schleinitz

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

M 323: Anwendungsmöglichkeiten von Motorradsimulatoren

Hammer, Pleß, Will, Neukum, Merkel

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

2022

M 322: Influencer in der Verkehrssicherheitskommunikation: Konzeptentwicklung und pilothafte Anwendung

Duckwitz, Funk, Hielscher, Schröder, Schrauth, Seegers, Kraft, Geib, Fischer, Schnabel, Veigl

€ 19,50

M 324: Interdisziplinärer Ansatz zur Analyse und Bewertung von Radverkehrsunfällen

Baier, Cekic, Engelen, Baier, Jürgensohn, Platho, Hamacher

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

M 325: Eignung der Fahrsimulation zur Beurteilung der Fahr-sicherheit bei Tagesschläfrigkeit

Kenntner-Mabiala, Ebert, Wörle, Pearson, Metz, Kaussner, Hargutt

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

Fachverlag NW in der Carl Ed. Schünemann KG
Zweite Schlachtpforte 7 · 28195 Bremen
Tel. +(0)421/3 69 03-53 · Fax +(0)421/3 69 03-48

Alternativ können Sie alle lieferbaren Titel auch auf unserer Webseite finden und bestellen.

www.schuenemann-verlag.de

Alle Berichte, die nur in digitaler Form erscheinen, können wir auf Wunsch als »Book on Demand« für Sie herstellen.