

Diplomarbeit

Müdigkeit und Reaktionszeit

**Auswirkungen von Müdigkeit und Wachheitsdauer auf die
Reaktionszeit**

eingereicht von

Angela Kogler

zur Erlangung des akademischen Grades

Doktorin der gesamten Heilkunde (Dr. med. univ.)

an der

Medizinischen Universität Graz

ausgeführt am

Lehrstuhl für Physiologie, Otto Loewi Research Center

betreut von

Univ.-Prof. Dr.phil. Maximilian Moser

Graz, 19.05.2021

Eidesstattliche Erklärung

Ich erkläre ehrenwörtlich, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig verfasst, andere als die angegebenen Quellen nicht verwendet und wörtlich oder inhaltlich entnommenen Stellen als solche kenntlich gemacht habe.

Graz, 19.05.2021

Angela Kogler eh.

Ort, Datum

Unterschrift Angela Kogler

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis.....	5
Tabellenverzeichnis.....	6
Zusammenfassung	7
Abstract.....	8
1 Einleitung	9
1.1 Grundlagen der Chronobiologie und Schlafforschung	10
1.1.1 Warum schlafen wir?	10
1.1.2 Gehirn.....	12
1.1.3 Biologische Rhythmen des Menschen.....	14
1.2 Grundlagen zu Müdigkeit und Schlafentzug	20
1.2.1 Wie viele Stunden Schlaf braucht der Mensch?.....	20
1.2.2 Müdigkeit macht sich bemerkbar.....	23
1.2.3 Chronischer Schlafentzug	24
1.3 Theoretische Problemaufbereitung der Müdigkeit am Steuer	25
1.3.1 Unfälle	25
1.3.2 Risikofaktoren	27
1.3.3 Reaktionszeit	31
1.3.4 Warnhinweise im Kampf gegen die Müdigkeit	32
2 Material und Methoden.....	34
2.1 „WACHsens“-Studie	34
2.2 Versuchsplanung und -ablauf.....	35
2.3 Beschreibung der Studienteilnehmenden.....	35
2.4 Messmethoden	37
2.5 Psychomotor Vigilance Test-B.....	39
2.6 Statistische Analyse.....	40
3 Ergebnisse	42
3.1 Die Verteilung der Reaktionszeiten (deskriptive Statistik).....	42
3.1.1 Grenze zwischen rechtzeitiger Reaktion und Reaktionsfehler	42
3.1.2 Die schnellsten 10% der Reaktionszeiten.....	45
3.1.3 Die langsamsten 10% der Reaktionszeiten.....	46
3.1.4 Reaktionszeit nach Altersgruppe.....	47
3.1.5 Reaktionszeit nach Geschlecht.....	48
3.1.6 Reaktionszeit nach Altersgruppe und Geschlecht.....	49

3.2	Schlussfolgerungen aus den Reaktionszeiten (Inferenzstatistik)	53
3.2.1	Einfluss des Perioden- und Lerneffekts auf die Reaktionszeiten.....	53
3.2.2	Einfluss der Zeit und des Zustands auf die Reaktionszeiten.....	55
3.2.3	Einfluss des Alters auf die Reaktionszeiten	58
3.2.4	Einfluss des Geschlechts auf die Reaktionszeiten	66
4	Diskussion.....	70
4.1	Beantwortung der Forschungsfrage und Hypothesen	70
4.2	Literaturvergleich	72
4.3	Limitationen und offene Forschungsfragen	74
	Literaturverzeichnis.....	75

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Schlafstadienverlauf (Zulley 2007).....	11
Abbildung 2: Cortisol im Verlauf (Wright et al. 2015)	19
Abbildung 3: Schlafstunden/Nacht (eigene Abbildung mit Daten von Schlack et al. 2013).....	21
Abbildung 4: Empfohlene Schlafmenge (Weeß 2018)	22
Abbildung 5: Risikofaktoren der Übermüdung im Straßenverkehr.....	27
Abbildung 6: Tagesverlauf der subjektiven Wachheit (Zulley 2004).....	29
Abbildung 7: Einschlafbedingte Unfälle (Zulley 2004)	30
Abbildung 8: Ursachen von Übermüdung (eigene Abbildung mit Daten der Schlafforschungsgesellschaft Europa 2015)	30
Abbildung 9: Zustand der Versuchspersonen	34
Abbildung 10: Ein zum Fahrzeugsimulator umgebautes Auto (Foto TU Graz).....	38
Abbildung 11: Querschnitt der Sensorik des Versuchsaufbaus (Grafik Human Research Institut)	38
Abbildung 12: Boxplots je Zustand für rechtzeitige Reaktionszeiten bei einer Grenze von 500 Millisekunden	44
Abbildung 13: Boxplot der Reaktionszeiten je Altersgruppe (1: 18–39, 2: 40–59, 3: 60+) und Zustand	48
Abbildung 14: Boxplot der Reaktionszeiten je Geschlecht (f: weiblich und m: männlich) und Zustand	49
Abbildung 15: Boxplot der Reaktionszeiten gruppiert nach Geschlecht und Zustand für die Altersgruppe 18–39	50
Abbildung 16: Boxplot der Reaktionszeiten gruppiert nach Geschlecht und Zustand für die Altersgruppe 40–59	50
Abbildung 17: Boxplot der Reaktionszeiten gruppiert nach Geschlecht und Zustand für die Altersgruppe 60+	51
Abbildung 18: Geschätzte Mittelwerte je Zeit und Zustand	57
Abbildung 19: Unterschied der Reaktionszeiten je Altersgruppe vor und nach der Simulation dargestellt als geschätzte Mittelwerte des wachen Zustandes ..	59
Abbildung 20: Unterschied der Reaktionszeiten je Altersgruppe vor und nach der Simulation dargestellt als geschätzte Mittelwerte des müden Zustandes ..	60
Abbildung 21: Unterschied der Reaktionszeiten je Altersgruppe wach und müde dargestellt als geschätzte Mittelwerte vor der Simulation.....	61
Abbildung 22: Unterschied der Reaktionszeiten je Altersgruppe wach und müde dargestellt als geschätzte Mittelwerte nach der Simulation	61
Abbildung 23: Unterschied der Reaktionszeiten je Geschlecht dargestellt als geschätzte Mittelwerte im ausgeruhten Zustand.....	67
Abbildung 24: Unterschied der Reaktionszeiten je Geschlecht dargestellt als geschätzte Mittelwerte im müden Zustand.....	67
Abbildung 25: Unterschied der Reaktionszeiten je Geschlecht dargestellt als geschätzte Mittelwerte vor der Simulation	68
Abbildung 26: Unterschied der Reaktionszeiten je Geschlecht dargestellt als geschätzte Mittelwerte nach der Simulation.....	68

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Gliederung nach Altersgruppe und Geschlecht	36
Tabelle 2: Einteilung der Datensätze nach Müdigkeitszustand, Altersgruppe und Geschlecht	36
Tabelle 3: Definition der Innersubjektfaktoren Zustand und Zeit	40
Tabelle 4: Verteilung der rechtzeitigen Reaktionszeiten bei einer Grenze von 355 Millisekunden	43
Tabelle 5: Verteilung der rechtzeitigen Reaktionszeiten bei einer Grenze von 500 Millisekunden	43
Tabelle 6: Verteilung der Reaktionsfehler bei einer Grenze von 355 Millisekunden	45
Tabelle 7: Verteilung der Reaktionsfehler bei einer Grenze von 500 Millisekunden	45
Tabelle 8: Verteilung der schnellsten 10% der Reaktionszeiten	46
Tabelle 9: Verteilung der langsamsten 10% der Reaktionszeiten	46
Tabelle 10: Mittelwerte und Standardabweichungen der Reaktionszeit nach Altersgruppen	47
Tabelle 11: Mittelwerte der Reaktionszeiten je Zustand, Altersgruppe und Geschlecht....	52
Tabelle 12: Reihenfolge des Zustandes je Geschlecht	53
Tabelle 13: Mittelwerte je Zustand und Reihenfolge	54
Tabelle 14: Ausschluss eines signifikanten Periodeneffekts durch Testung der Innersubjektkontraste	54
Tabelle 15: Ausschluss eines signifikanten Lerneffekts durch Testung der Zwischensubjekteffekte	55
Tabelle 16: Tests der Innersubjektkontraste	55
Tabelle 17: Test bei gepaarten Stichproben – Unterschied je Zeit und Zustand	56
Tabelle 18: Geschätzte Mittelwerte je Zeit und Zustand	56
Tabelle 19: Test bei gepaarten Stichproben – Unterschied zwischen „ausgeruht vor der Simulation“ und „müde nach der Simulation“	57
Tabelle 20: Tests der Innersubjektkontraste – Interaktion zwischen Alter, Zeit und Zustand	58
Tabelle 21: Tests der Zwischensubjekteffekte – Unterschied zwischen den Altersgruppen	58
Tabelle 22: Test auf Varianzgleichheit (Levene-Test) der 18–39 und 40–59-Jährigen	62
Tabelle 23: T-Test für die Mittelwertgleichheit der 18–39 und 40–59-Jährigen	63
Tabelle 24: Test auf Varianzgleichheit (Levene-Test) der 18–39 und 60+ Jährigen	64
Tabelle 25: T-Test für die Mittelwertgleichheit der 18–39 und 60+ Jährigen	64
Tabelle 26: Test auf Varianzgleichheit (Levene-Test) der 40–59 und 60+ Jährigen	65
Tabelle 27: T-Test für die Mittelwertgleichheit der 40–59 und 60+ Jährigen	65
Tabelle 28: Tests der Innersubjektkontraste – Interaktion zwischen Geschlecht, Zeit und Zustand	66
Tabelle 29: Tests der Zwischensubjekteffekte – Unterschied zwischen Frauen und Männern	66
Tabelle 30: Test auf Varianzgleichheit (Levene-Test) – Unterschied zwischen Frauen und Männern	69
Tabelle 31: T-Test für die Mittelwertgleichheit – Unterschied zwischen Frauen und Männern	69

Zusammenfassung

Die vorliegende Abschlussarbeit behandelt die Auswirkung von Müdigkeit und Wachheitsdauer auf die Reaktionszeit aus theoretischer und empirischer Sicht. Hierfür werden einleitend aktuelle Ergebnisse der Schlafforschung und der Chronobiologie sowie Studien zu Müdigkeit und Schlafentzug erläutert. Zur theoretischen Problemaufbereitung werden anschließend die Folgen von Übermüdung am Steuer aufgezeigt und Risikofaktoren sowie Warnhinweise zur Erkennung von Müdigkeit beschrieben.

Der empirische Teil basiert auf der „WACHsens“-Studie (FFG-Nr.: 860875 der Österreichischen Forschungsförderungsgesellschaft) und analysiert die Ergebnisse des darin enthaltenen Reaktionstests (Psychomotor-Vigilance-Test-B) statistisch, wobei signifikante Erkenntnisse abgeleitet werden konnten. An der Studie nahmen 2018/19 insgesamt 85 Personen teil. Es wurde auf eine gleichmäßige Altersaufteilung in die Gruppen 18–39, 40–59 und 60+ sowie eine jeweils gleiche Verteilung von männlichen und weiblichen Teilnehmenden geachtet. Diese Personen hatten die Aufgabe an einem Tag müde, an einem anderen Tag ausgeschlafen, in einem Fahrzeugsimulator nächtliche, monotone Landstraßen zu befahren. Vor und nach der Fahrsimulation wurde jeweils ein dreiminütiger Reaktionstest durchgeführt. In Rahmen der Studie wurde somit Müdigkeit, die häufig auch im Alltag auftritt, als Faktor hinzugefügt, was die Ergebnisse der Reaktionszeiten in alarmierendem Maße beeinflusste.

Die Aufmerksamkeit am Steuer wird durch Fahrdauer, Dunkelheit und eintönige Straßenverläufe vermindert. Dieses Ergebnis behielt für alle untersuchten Altersgruppen und beide Geschlechter Gültigkeit. Vor der Simulation waren die Reaktionen signifikant schneller als nach der monotonen, dunklen Fahrsimulation. Wird die Verteilung der Altersgruppen berücksichtigt, war eine Steigerung der Mittelwerte von den jüngeren zu den älteren Gruppen erkennbar. Die jüngste Gruppe (18–39) reagierte unabhängig vom Zustand (wach/müde) oder der Zeit (vor/nach der Simulation) stets schneller als die älteste Gruppe (60+). Die langsamsten Reaktionszeiten in allen Tests erzielten Frauen über 60 Jahre. Außerdem zeigten sich geschlechterspezifische Unterschiede, wobei die Reaktionszeiten der Frauen signifikant langsamer als jene der Männer waren.

Abstract

How does fatigue and duration of wakefulness affect reaction time? The following diploma thesis "Fatigue and reaction time" is dedicated to this question. The paper is divided into a theoretical and an empirical part. At the beginning, the current results of sleep research and chronobiology are analyzed. Afterwards, studies on fatigue and sleep deprivation are discussed. In addition, the consequences of tiredness while driving in Austria, but also worldwide, are revealed and risk factors as well as warnings for recognizing fatigue described. Finally, in the empirical part, the "WACHsens" study (FFG no.: 860875 of the Austrian Research Promotion Agency) and the results of the reaction test (Psychomotor-Vigilance-Tests-B) are presented. In 2018/19, a total of 85 people took part in the study, paying attention to an even age distribution of groups 18–39, 40–59 and 60+, as well as an equal distribution of male and female participants. The participants took part in a car simulation, where they had to drive on long, monotonous country roads at night. The first time they underwent the simulation while being tired, whereas the second time they were well rested. A three-minute reaction test was carried out before and after the driving simulation. In the "WachSens" study, as is often the case, tiredness was added as a restriction to driving and the results of the reaction times were alarming. Attention in the car is reduced by journey-length, darkness and monotonous roads. The results show that this applies to all age groups and both sexes. Furthermore, the reactions before the simulation are significantly faster than after the journey. Taking age into consideration, an increase in the mean values from the younger to the older groups can be detected. The youngest group (18–39) is even faster than the oldest group (60+) regardless of the condition (awake/tired) or the time (before/after the simulation). The slowest reaction times in all tests were achieved by women over 60 years of age. Finally, the test results were analyzed for gender-specific deviations. The difference between the reaction times of women and men can also be declared as significant.

1 Einleitung

Der gesellschaftliche Drang zu Leistung und Optimierung verleitet dazu, in die Nächte hineinzuarbeiten und wertvolle Schlafstunden zu kürzen. Diese Arbeit widmet sich dieser Problematik, indem der Zusammenhang von Reaktionszeit und Müdigkeit analysiert wird. Ein besonderes Augenmerk wird hierbei auf folgende Forschungsfrage gelegt: Wie wirken sich Müdigkeit und Wachheitsdauer auf die Reaktionszeit aus?

Zunächst werden wichtige Grundlagen der Schlafforschung und Chronobiologie sowie im Speziellen die Übermüdung am Steuer durch eine umfassende Literaturrecherche beschrieben. Anschließend folgt eine statische Datenanalyse der „WachSens“-Studie, welche 2018/19 in einer Kooperation des Human Research Instituts für Gesundheitstechnologie und Präventionsforschung GmbH (HRI), der Technischen Universität Graz, AVL Powertrain UK Limited und Factum aptec Ventures GmbH (FFG-Nr.: 860875 der Österreichischen Forschungsförderungsgesellschaft) durchgeführt wurde. Dabei wurde die Reaktionsleistung von 85 Personen vor und nach einer Autofahrtsimulation sowie im wachen und müden Zustand getestet.

Die Verteilung der erhobenen Reaktionszeiten wird mittels deskriptiver Statistik sowohl gesamt als auch aufgeteilt nach Altersgruppen und Geschlechtern betrachtet und grafisch abgebildet. In der schließenden Statistik wird anschließend untersucht, ob sich die Reaktionszeit im müden und ausgeruhten Zustand bzw. vor und nach einer Autofahrtsimulation unterscheidet. Hierfür wird eine Varianzanalyse (ANOVA) mit Messwiederholungen durchgeführt. In weiteren Modellen wird der Einfluss von Altersgruppe (18–39, 40–59 und 60+ Jahre) und Geschlecht untersucht. Als Post-Hoc Analysen werden t-Tests durchgeführt. Bei den Vergleichen „müde zu ausgeruht“ bzw. „vor und nach Simulationen“ werden t-Tests für abhängige Stichproben verwendet, wohingegen bei Vergleichen von Altersgruppen bzw. Geschlechtern t-Tests für unabhängige Stichproben angewendet werden. Abschließend werden die Ergebnisse der „WachSens“-Studie diskutiert und mit relevanter Literatur verglichen.

1.1 Grundlagen der Chronobiologie und Schlafforschung

Der erste Teil der Arbeit beschäftigt sich mit der Physiologie des Schlafens im Allgemeinen und den Tag-Nacht-Rhythmusgebern des Menschen. Außerdem werden essentielle Funktionen und Mechanismen, die in Ruhephasen im vegetativen Nervensystem ablaufen, beschrieben.

1.1.1 Warum schlafen wir?

Für den Großteil der Gesellschaften gilt, unabhängig von Kultur, Erziehung und Wohlstand: Nachts schlafen Menschen gerne und das insgesamt für ein ganzes Drittel ihres Lebens. Meist liegend werden die Augen geschlossen und es startet eine Traumreise ohne Bewusstsein für die Außenwelt. Wenige können sich an die Zeit während des Schlafens erinnern, manche empfinden die nächtlichen Stunden daher auch als Verschwendung. Sie versuchen sich in kreativen Trends und schlucken Wachmacher, wie beispielsweise Koffein-Tabletten oder Energy-Drinks, um den Tag zu verlängern und in der „on demand“ Gesellschaft immer erreichbar zu bleiben. Ebenso verweigern Kinder häufig den Mittagsschlaf und wollen abends noch möglichst lange wach bleiben. Hingegen würden wohl so manche Erwachsene nur allzu gerne mittags schlummern. Schlaf wird oft erst dann wertgeschätzt, wenn die dafür eingeplante Zeit nicht mehr zur vollständigen Erholung ausreicht.

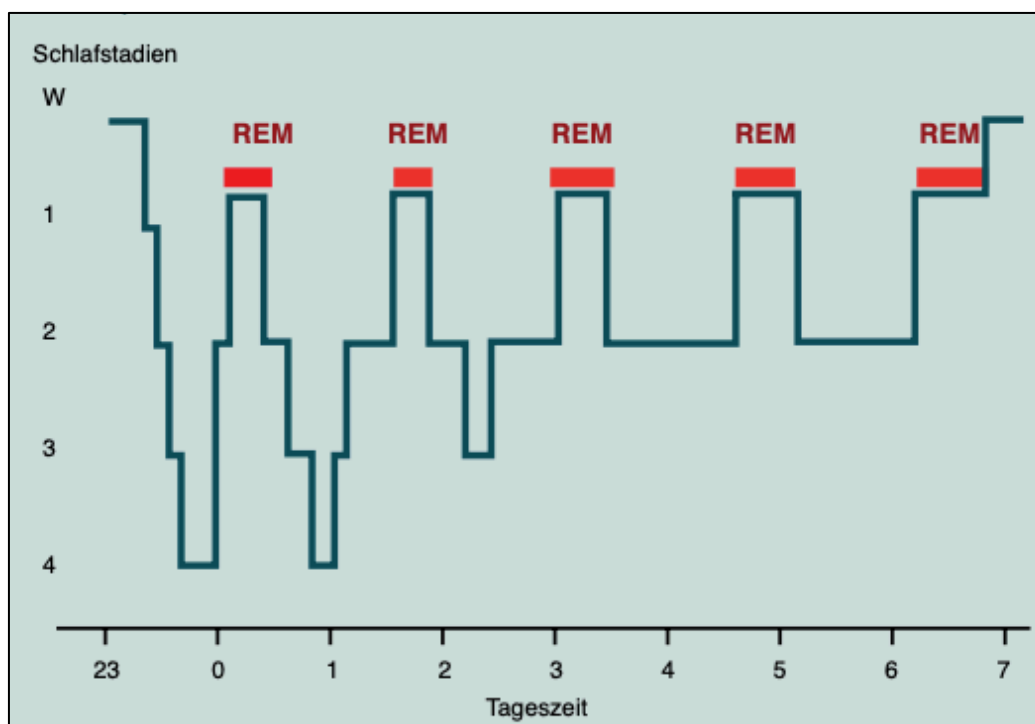
Doch warum schlafen wir? In den modernsten Schlaflaboren und chronobiologischen Studien konnte zwar bisher noch keine endgültige Antwort auf diese Frage gefunden werden, dafür wurden aber zahlreiche Funktionen des Schlafes entdeckt und viele Hypothesen aufgestellt. Die frühere These, dass das Gehirn während der nächtlichen Ruhe inaktiv ist, konnte mit der Entwicklung von EEGs (Elektro-Enzephalogramm) in den 1920er Jahren widerlegt werden, da mit diesen auch während der nächtlichen Ruhezeiten Gehirnströme nachgewiesen werden. Diese unterscheiden sich je nach Schlafphase. Grob kann man den Schlaf in die die Non-REM-Phase und die REM-Phase (Englisch: *rapid eye movement*, rasche Augenbewegung) einteilen, die sich pro Nacht durchschnittlich vier- bis siebenmal rhythmisch abwechseln, wobei eine Zyklusdauer rund 90 Minuten andauert. In der Non-REM-Phase Hingegen bewegen sich die Augen weniger schnell und der Blutdruck sowie die Körpertemperatur sinken. Diese Sequenz wird daher häufig als Tiefschlaf bezeichnet, welche sich im EEG in vier Stadien untergliedern lässt. Das Einschlafen und

folgend der leichtere Schlaf beginnt in den ersten beiden Stufen mit sich langsam beruhigenden EEG-Linien. Das dritte und vierte Stadium zeigt mit deutlich ruhigeren Wellenmustern, aber dafür größer werdenden Tälern, den tiefen Schlaf an. (Zulley 2007)

Neben schnellen Augenbewegungen ist in der REM-Phase auch die Inaktivierung der motorischen Fasern, also eine Erschlaffung der Muskulatur (Atonie) charakteristisch. In Anbetracht der oft sehr intensiven Träume in der REM-Phase erweist sich dies als essentiell, da die ein oder andere Person beim Ausführen von Traumgehalten sich selbst oder andere verletzen könnte. (Brandes et al. 2019)

Wie in Abbildung 1 ersichtlich, ist im ersten Schlafzyklus die Zeit der Non-REM-Phase noch stärker ausgeprägt, wohingegen im Laufe der Nacht die Dauer der REM-Phasen immer mehr zunimmt. Das Gefühl, aufgeweckt zu werden und sofort fit und wach zu sein, wird üblicherweise bei Erwachen aus der intensiven Traumphase empfunden. Personen, welche aus der Non-REM-Phase gerissen werden, berichten häufiger über Gereiztheit, fehlende Orientierung und andauernde Schläfrigkeit. (Zulley und Geisler 2004)

Abbildung 1: Schlafstadienverlauf (Zulley 2007)



Auf der Y-Achse sind die Schlafstadien (W = wach, Schlafstadium 1–4) und auf der X-Achse die Tageszeit (von 23:00 Uhr abends bis 07:00 Uhr morgens) eingezeichnet. Die REM-Phasen (REM = Rapid Eye Movement) werden im Verlauf der Nacht immer häufiger bzw. länger, während die Non-REM-Phasen (Schlafstadium 1–4) im ersten Schlafzyklus noch stärker ausgeprägt sind.

Trotz der Inaktivität des Bewegungsapparats arbeiten die Organe während des Schlafens weiter und dadurch bleibt der Grundumsatz (durchschnittlich 7000 kJ/Tag; wovon 18% das Gehirn, 26% die Leber und 26% die Skelettmuskulatur verbrauchen) annähernd gleich wie untertags, wenn auch der Energieumsatz (Arbeitsintensität, Temperatur, Nahrungsaufnahme) sinkt. (Brandes et al. 2019) Daher wäre beispielsweise auch ein Winterschlaf für den Menschen unmöglich. Der Kreislauf und die Körperfunktionen könnten nicht derart heruntergefahren werden, um ausreichend Energie zu sparen.

1.1.2 Gehirn

Viel diskutiert wird die Frage, wie der Schlaf die Merkfähigkeit und vor allem das Langzeitgedächtnis beeinflusst. Doch im Gehirn wird nicht nur Wissen gespeichert und wieder gelöscht, sondern auch geputzt und aufgeräumt. Dies geschieht unter anderem durch das glymphatische System.

Gedächtnis

Bereits vor fast 100 Jahren bewiesen Jenkins und Dallenbach in einer Studie, dass direkt vor dem Einschlafen gelernte Silben nachhaltiger im Gedächtnis bleiben. Die damalige Vermutung, dass dies auf eine Gehirninaktivität in der Nacht zurückzuführen sei, konnte aber durch die Erfindung des EEGs widerlegt werden. (Jenkins und Dallenbach 1924)

Im Zuge der Entdeckung der unterschiedlichen Schlafphasen (REM und Non-REM) wurden viele neue Fragen aufgeworfen. In den 1970er Jahren wollten Yaroush, Sullivan, Ekstrand und ihr Team beispielsweise herausfinden, ob sich ein Unterschied in der Merkfähigkeit je nach darauffolgender Schlafphase bzw. Wachphase zeigt. Dafür nutzten die Forschenden die Tatsache, dass in der ersten Hälfte einer acht Stunden-Nacht mehr Non-REM-Phasen vorkommen. Hierfür wurden die Teilnehmenden in drei Gruppen geteilt. Tagsüber im Labor erschien Gruppe 1, um eine Wortliste zu lernen und eine Musterzeichnung zu üben. Der gleiche Ablauf erwartete auch Gruppe 2 und 3, welche um 23:00 Uhr erschienen. Die Teilnehmenden der zweiten Kohorte gingen direkt ins Bett, wurden aber vier Stunden später geweckt, um die Merkaufgaben zu üben. Gruppe 3 startete hingegen erst mit der Lernzeit, durfte anschließend vier Stunden schlafen und musste danach den Test absolvieren. Beim Vergleich der drei Gruppen entdeckte das Forschungsteam ein signifikant besseres Ergebnis bei den Gedächtnistests der Gruppe 3, also der Teilnehmenden, welche in den vier Stunden der Merkphase mehr REM-Schlaf erhielten.

Dies könnte ein guter Tipp für effizient Lernende sein. Allerdings gilt es zu beachten, dass damals nur 48 Personen am Test teilgenommen haben, keine Aussage über das Langzeitgedächtnis getätigt wird und der Stress für Gruppe 2, welche aus dem Schlaf gerissen wurde, um zu lernen, die Ergebnisse der Studie beeinflusst haben könnte. (Yaroush et al. 1971)

Auch in den 2000er Jahren begeistert der Schlaf und der für den menschlichen Körper resultierende Nutzen daraus noch zahlreiche Forscherinnen und Forscher. Chiara Cirelli und Giulio Tononi stellten am Wisconsin Center for Sleep and Consciousness folgende Hypothese zur „Homöostase der Synapsen“ auf: Während eines ganzen Tages nimmt das Gehirn unzählige Informationen auf. Einerseits wird bewusst studiert, wie beispielsweise Gitarrengriffe, Vokabeln oder Gedichte, andererseits wird auch unbewusst wahrgenommen, wie die Farbe der entgegenkommenden Autos, Umgebungsgeräusche oder der Weg einer längeren Wanderung. Dieses Wissen wird mithilfe von Synapsen im Gehirn gespeichert, welche mit Energie versorgt werden müssen und ausreichend Platz benötigen. Wird eine Speicherkarte mit immer mehr Fotos und Texten bespielt, ist die Kapazität zu einem bestimmten Zeitpunkt erreicht und es können keine neuen Informationen mehr aufgenommen werden. Damit dies mit dem menschlichen Gehirn nicht passiert, gibt es in dieser Hypothese das nächtliche „down-grading“. Während der Körper nachts still liegt, arbeitet das Gehirn auf Hochtouren weiter und selektiert systematisch und spezifisch Informationen aus. Durch diese Plastizität erhält der Mensch die Fähigkeit, immer wieder Neues aufnehmen und speichern zu können. (Tononi und Cirelli, 2016 und 2020)

Der deutsche Chronobiologe und Schlafforscher Till Roenneberg beschreibt diese „down-grading“-Hypothese mit vereinfachten Worten als Waschmaschine, in welcher unnötiges, über den Tag angehäuften Wissen – beispielsweise ein Gesicht im Bus – einfach wieder hinausgespült und vergessen wird. Dieser Waschvorgang im Gehirn benötigt, wie auch die Waschmaschine, eine gewisse Zeit. Nur selten kommen Personen auf den Gedanken, die Wäsche frühzeitig aus der Maschine herauszuholen. Anders jedoch ist der Umgang mit der Schlafdauer: Der Wecker läutet häufig früher als empfohlen ... (Roenneberg 2019)

Glymphatisches System

Das lymphatische System spielt im Körper eine essentielle Rolle bei der Entsorgung von Abfallprodukten, wie beispielsweise Schadstoffen, Proteinen und löslichen Materialien. Jedoch fehlen diese herkömmlichen Lymphgefäße, welche parallel zu Blutgefäßen zu finden sind, gänzlich in Gehirn und Rückenmark. Lange Zeit war unklar, ob – bzw. wie – diese essentielle Gewebemöostase im Zentralnervensystem stattfindet. Denn potentiell toxische metabolische Nebenprodukte würden sich bei der hohen Stoffwechselaktivität der Neuronen schnell ansammeln. (Nedergaard 2013)

Mit der Entdeckung des glymphatischen Systems wurde ein Durchbruch in der Neurowissenschaft erzielt. Während es tagsüber durch Noradrenalin größtenteils gehemmt wird und sich neurotoxische Substanzen im Gehirn ansammeln, läuft im Schlaf die glymphatische Funktion auf Hochtouren. (Jessen et al. 2015) Dieses gliaabhängige, perivaskuläre Netzwerk spült Cerebrospinalflüssigkeit über periarterielle Wege in das Gehirn. Anschließend werden Interstitialflüssigkeit und darin gelöste Abfallstoffe über perivenöse Wege weitergeleitet und schließlich ins Lymphsystem und den Blutkreislauf abgegeben. (Plog und Nedergaard 2018) Da die Ursache neurodegenerativer Erkrankungen, wie Alzheimer oder Morbus Parkinson, in der Fehlfunktion des glymphatischen Systems vermutet wird, ist dieser Bereich Gegenstand aktueller Forschung. Alzheimer wird durch gehäufte Ablagerung von Tau- und Beta-Amyloid-Proteinen im Gehirn hervorgerufen, wobei im Alter der Abtransport verlangsamt abläuft. (Jessen et al. 2015)

1.1.3 Biologische Rhythmen des Menschen

In Experimenten konnte gezeigt werden, dass sich die Zeitwahrnehmung von Personen verändert, wenn diese von äußeren Einflüssen ferngehalten werden. Doch unabhängig von der Umgebung, Tageslicht oder anderen Rhythmusgebern wird jeder Schlaf mit bestimmten Hormonen gestartet, gestaltet und auch wieder beendet.

Die inneren Uhren und ihre äußeren Einflüsse

Im menschlichen Körper laufen zahlreiche Prozesse gleichzeitig ab und folgen dabei verschiedenen Rhythmen. Jedoch kommt es regelmäßig zu einer Synchronisation der unterschiedlichen Funktionen, wie beispielsweise von Herzschlag, Atmung, Blutdruck und Blutperfusion. Insbesondere im Schlaf kann der Körper durch Rhythmik Energie sparen und

somit höchste Leistung bringen, um Verdauung, Immunsystem oder Regeneration voranzutreiben. Außerdem kann in Ruhephasen ein Ungleichgewicht balanciert werden, welches tagsüber durch beispielsweise Stress, Kampf oder Flucht entsteht. (Moser et al. 2006)

Vom Aufgehen der Sonne bis zum Untergang ist aufgrund umweltbedingt regelmäßiger Temperaturschwankungen und veränderter Lichtverhältnisse eine zirkadiane (circa = ungefähr; dies = Tag) Grundrhythmik erkennbar, an die sich viele Organismen angepasst haben. In der Chronobiologie spricht man von äußeren Einflüssen, exogenen Komponenten oder auch Zeitgebern, welche entweder durch die Umwelt vorgegeben oder etwa durch regelmäßige Mahlzeiten, Sport und Schlafgewohnheiten antrainiert werden. Diese wirken sich auf die inneren Uhren aus, welche unter anderem durch den Nucleus suprachiasmaticus (SCN) koordiniert werden. (Moser et al. 2008)

Nucleus suprachiasmaticus

In den 1970er Jahren wurde ein essentieller Taktgeber für den Tag-Nacht-Rhythmus in Versuchen an Ratten entdeckt. Wenig später wurde dieser winzige Nervenknoten auch im menschlichen Körper gefunden. Der SCN sitzt im Zentralnervensystem, genauer im vorderen Hypothalamus direkt über dem Chiasma opticum („Sehnervkreuzung“). Der retinohypothalamische Trakt gibt Auskunft über die Lichtverhältnisse, wodurch der SCN abhängig von hell oder dunkel die inneren Uhren steuern kann. Belichtung aktiviert photosensitive Ganglienzellen, wodurch in weiterer Folge die neuronale Aktivität im SCN gesteigert wird. (Brandes et al. 2019) Lange Zeit war die Forschung überzeugt, dass im Auge nur Stäbchen und Zapfen für das Sehen vorhanden sind. Erst um die Jahrtausendwende wurden die für die Rhythmik essentiellen lichtempfindlichen Ganglienzellen in der Retina entdeckt. Das Sehorgan unterstützen diese allerdings nicht bei der Bildgebung, denn ihre Hauptaufgabe besteht darin, die Lichtverhältnisse an das Gehirn durch Expression von Melanopsin weiterzuleiten. Beispielsweise werden dadurch der Reflex der Pupillenverengung bei gesteigerten Lichtverhältnissen und auch der zirkadiane Rhythmus reguliert. In Kommunikation mit dem SCN werden Informationen über die Helligkeit oder Dunkelheit in der Umgebung abgegeben, wobei die Ganglienzellen am sensitivsten auf blaues Licht reagieren. (Graham und Wong 2008)

Weitergegeben wird die gesammelte Aktivität an hypothalamische und extrahypothalamische Regionen im Gehirn (zum Beispiel Hypophyse, Epiphyse, Hirnstamm), aber auch an Kapillaren, welche laut derzeitigem Forschungsstand durch Neuromodulation die Rhythmik der Zielzellen im ganzen Körper zentral steuern können. Als wesentlicher Taktgeber für den Ablauf von Körperfunktionen wird der SCN auch als „Master Clock“, die Hauptuhr menschlicher Uhren, bezeichnet. (Brandes et al. 2019)

Die Anpassung des Körpers an Zeitumstellungen nach Fernreisen funktioniert, da der SCN keine starren Rhythmen vorgibt, sondern sich die weitergeleiteten Informationen mit den Lichtverhältnissen regelmäßig verändern. Durchschnittlich wird mit einer möglichen Umstellung des Körpers von einer Stunde pro Tag gerechnet. Zum Beispiel dauert die Umgewöhnung an die neue Zeitzone bei einem Flug von Wien nach London nur etwa einen Tag, von Österreich nach Shanghai jedoch bereits an die sechs Tage. Das deutet darauf hin, dass einzelne Nachtschichten bzw. der Schichtbetrieb insgesamt nicht in diese Rhythmik passen. (Weeß 2018, Moser 2017)

Außerdem führt diese Störung der Tagesrhythmus dazu, dass die systemischen Funktionen im Körper durcheinandergeraten, wodurch nicht nur das Stoffwechselgleichgewicht gestört wird, sondern auch die Risiken für Tumore und Herz-Kreislauf-Erkrankungen ansteigen. Zusammengezählt sind diese zwei Krankheitsgruppen in Industrienationen für circa 70% aller Todesursachen verantwortlich. (Moser et al. 2008)

25 Stunden - Rhythmus

Im Jahr 2017 gewann eine Forschungsgruppe aus dem Bereich der Medizin und Physiologie den Nobelpreis unter anderem für die Entdeckung, dass jede auch noch so kleine Zelle eine eigene innere Uhr besitzt. Diese kann jedoch von äußeren Gegebenheiten beeinflusst werden. Vereinfacht dargestellt kann dies einerseits durch Licht, wie beispielsweise einen Sonnenaufgang oder helle Lampen, und andererseits durch Rhythmen und Gewohnheiten, wie beispielsweise regelmäßige Essens- oder Schlafzeiten, geschehen. Diese zwei Taktgeber müssen jeden Tag aufs Neue synchronisiert werden, um nicht verschiedene Informationen weiterzugeben. (Moser 2017)

Zwischen 1964 und 1989 führten Jürgen Aschoff und Rüdiger Wever am Max-Planck-Institut in München chronobiologische Experimente in einem unterirdischen Labor durch. Das Ziel der Forschung war das bessere Verständnis der inneren Uhr des Menschen.

Insgesamt zogen etwa 400 Personen in eines von zwei in einem Hügel befindlichen Appartements, um sich komplett von der Außenwelt abzuschotten. (Aschoff 1998, Aschoff et al. 1967) Ab dem Start des Experiments hieß es für die Teilnehmenden:

- Verzicht auf alle äußeren Zeitgeber inklusive natürlichem Licht,
- keine Geräusche von außen und
- kein Kontakt zu anderen Menschen über einen Zeitraum von mindestens vier Wochen.

Einzig über eine Schleuse mit zwei Türen konnten Notizen, Lebensmittel oder auch Wunschgegenstände entgegengenommen und abgegeben werden. Um auch hierbei keinerlei Kontakt zuzulassen, öffnete sich die eine Tür nur, wenn die andere geschlossen war und sich keine andere Person im Übergabebereich aufhielt. Außerdem wurden die Gegenstände zu unterschiedlichen Zeiten vor die Tür gelegt, um keine Rückschlüsse auf Rhythmik oder Tageszeiten zu geben. Im Verlauf der Studie wurden physiologische Parameter aber auch Konzentration, Stimmung und Leistung getestet. Dadurch konnte festgestellt werden, dass sich die Körpertemperatur, Herzfrequenz oder auch der Hormonspiegel weiterhin rhythmisch veränderten. Auch die Schlafdauer war vergleichbar mit jener in der Außenwelt. (Roenneberg 2019) Doch die Tageslänge veränderte sich und betrug nicht mehr 24 Stunden, sondern dauerte durchschnittlich 24,7 bis 25,2 Stunden an, wobei manche Personen einen kürzeren Rhythmus von 23 Stunden und andere einen von 27 Stunden hatten. (Aschoff 1998, Aschoff et al. 1967) Dies bedeutet, dass eine Person mit einem Rhythmus von beispielsweise 24,7 Stunden jeden Tag um 42 Minuten später aufwachte und schließlich nach vier Wochen in Summe zusätzlich fast einen kompletten Tag verschlafen hatte. Der „circadiane“ Rhythmus des Menschen beschreibt demnach den „etwa einen Tag“-Rhythmus und wird täglich durch äußere und innere Taktgeber und die Rückmeldung an den SCN auf 24 Stunden synchronisiert. (Roenneberg 2019)

Hormone

Müdigkeit, Schlaf und Wachheit werden auch durch verschiedene Hormone beeinflusst. Mit der Abenddämmerung wird es langsam dunkler und die Augen leiten diese Information an den SCN weiter, welcher darauf mit verminderter neuronaler Aktivität reagiert. Dadurch hebt sich die tagsüber aktive Blockierung der Produktion und Ausschüttung von Melatonin in der Zirbeldrüse auf und dieser Schlafbotenstoff wird mehr und mehr in den Kreislauf und

dadurch an sämtliche Körpergewebe abgegeben. (Moser 2017) Durch die lichtabhängige Regulation ist das nächtliche Maximum des Melatoninspiegels im Blut nicht nur beim Menschen zu finden, sondern auch bei allen Säugetieren, unabhängig ob diese tagaktiv oder nachtaktiv sind. (Goswami et al. 2020)

Bei der Produktion spielt blaues Licht mit einer Wellenlänge von 446–477 Nanometern eine besonders bedeutende Rolle. Heutzutage ist das menschliche Auge diesem verstärkt ausgesetzt, beispielsweise durch die steigende Nutzung von Handys, Tablets, E-Books oder auch Laptops. Wichtig zu beachten ist, dass es für den zirkadianen Rhythmus einen großen Unterschied macht, wann dieser Lichtreiz stattfindet. Während untertags blaues Licht sehr vorteilhaft ist, da die Melatoninsekretion dadurch zurückgehalten wird, kann diese Hemmung der Zirbeldrüse abends die Schlafqualität bedeutend einschränken. (Wahl et al. 2019) In einer Studie von Chang et al. (2015) las Gruppe A über einen Zeitraum von 14 Tagen vier Stunden vor der Schlafenszeit in einem E-Book, während Gruppe B sich die Zeit mit einem herkömmlichen Papierbuch vertrieb. Die Ergebnisse waren eindeutig. Die Gruppe, welche abends durch das elektronische Gerät dem blauen Licht ausgesetzt war, brauchte länger, um einzuschlafen, hatte einen niedrigeren Melatoninspiegel im Blut und auch der REM-Schlaf nahm ab. Am Abend fühlte sich Gruppe A weniger schläfrig, dafür war die Müdigkeit am Morgen größer als bei der Papierbuch-Gruppe. (Chang et al. 2015)

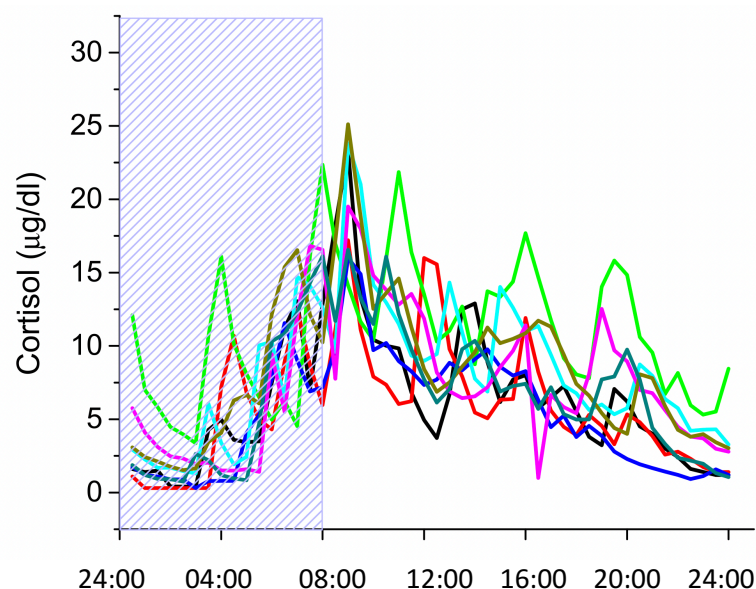
Während der ersten Stunde beginnt der nächtliche und gesunde Schlaf mit einer tiefen Bewusstlosigkeit. Besonders in jungen Jahren werden Menschen in dieser wesentlichen Phase als „schwer weckbar“ bezeichnet, woran selbst Geräusche kaum etwas ändern. Dies geschieht aus gutem Grund, denn in der Hypophyse kommt es zur Ausschüttung des Wachstumshormons Somatotropin. In der Kindheit und Adoleszenz führt dies zu Knochen- und Organwachstum, doch auch bei älteren Generationen wird in dieser Zeit der Körper angeregt, seine Zellen zu erneuern, neu aufzubauen und die Produktion von Immunzellen anzukurbeln. (Brandes et al. 2019)

Nach der Hochphase des Wachstumshormons Somatotropin, welche durchschnittlich ein bis drei Stunden nach Mitternacht eintritt, entfaltet sich die volle Wirkung des Melatonins und die Zirbeldrüse gelangt an ihr Ausschüttungsmaximum (siehe Abbildung 2). Genau im richtigen Moment, um freie Sauerstoffradikale unschädlich zu machen, welche noch durch den Kampf des Immunsystems gegen fremde Zellen vermehrt im Gewebe aufzufinden sind. Da dieses Schlafhormon über eine starke antioxidative Wirkung verfügt, schützt es gesunde

Zellen vor der Umwandlung zu Krebszellen, indem es schädliche Sauerstoffradikale zerstört. (Weeß 2018) Neben diesem zytoprotektiven Effekt fördert Melatonin auch noch die Schlaffeffizienz und hat eine chronobiotische Wirkung. Denn die Schwankungen des Hormonspiegels folgen nicht nur einem Tag-Nacht-Rhythmus, sondern zeigen auch in etwa wöchentliche (circaseptan) und jährliche (circaannual) Veränderungen. In Hinblick auf die Schlaffeffizienz konnte ein Zusammenhang zwischen Schlafqualität, erhöhtem Sturzrisiko und Melatonin hergestellt werden, wodurch dieses Hormon in der Zukunft einen essentiellen Beitrag in der Prävention von älteren Menschen leisten könnte. (Goswami et al. 2020)

Schließlich kommt noch ein drittes Hormon ins Spiel: Cortisol. Dieses Stresshormon wird durchschnittlich etwa ab vier Uhr morgens von der Nebennierenrinde gebildet, um den menschlichen Körper langsam wieder auf die Tagesaktivitäten vorzubereiten. Um fit aus dem Bett aufstehen zu können, steigt der Blutdruck an und auch die Körpertemperatur wird erhöht. Als ein Hormon aus der Gruppe der Glukokortikoide kann Cortisol den Blutzuckerspiegel durch den Abbau von Stoffwechselprodukten erhöhen. Unter anderem wird auch die Arbeit des Immunsystems mit den laufenden Entzündungsreaktionen vermindert. (Weeß 2018)

Abbildung 2: Cortisol im Verlauf (Wright et al. 2015)



In einer Studie von Wright et al. (2015) wurde der Cortisolspiegel (Y-Achse) im Blut in Mikrogramm pro Deziliter ($\mu\text{g}/\text{dl}$) im Tagesverlauf gemessen. Auf der X-Achse ist die Uhrzeit eingetragen. Erkennbar sind die rhythmischen Veränderungen über den Tag verteilt. Außerdem sind die Cortisolwerte in der Nacht niedrig, wohingegen sie zum Aufwachzeitpunkt deutlich ansteigen.

Der durch die Hormonausschüttungen gesteuerte Ablauf während der Nacht ist von großer Bedeutung, denn würden die drei Hormone Somatotropin, Melatonin und Cortisol durcheinandergeraten, würde die Kette „Anhäufung von kaputten Zellen – hohe Aktivität beim Aufräumen – Regeneration – System herunterfahren“ nicht funktionieren. (Hildebrandt et al. 2013, Moser 2017)

1.2 Grundlagen zu Müdigkeit und Schlafentzug

Der Körper nutzt den Schlaf zur Erholung und Regeneration. Ein gutes Beispiel hierfür sind Erkrankungen, während derer die gesteigerte Arbeit des Immunsystems mit einem gesteigerten Schlafbedürfnis einhergeht. Welchen wichtigen Einfluss regelmäßiger Schlaf auf das Wohlbefinden hat, fällt vermehrt erst dann auf, wenn nicht mehr ausreichend geschlafen wird.

1.2.1 Wie viele Stunden Schlaf braucht der Mensch?

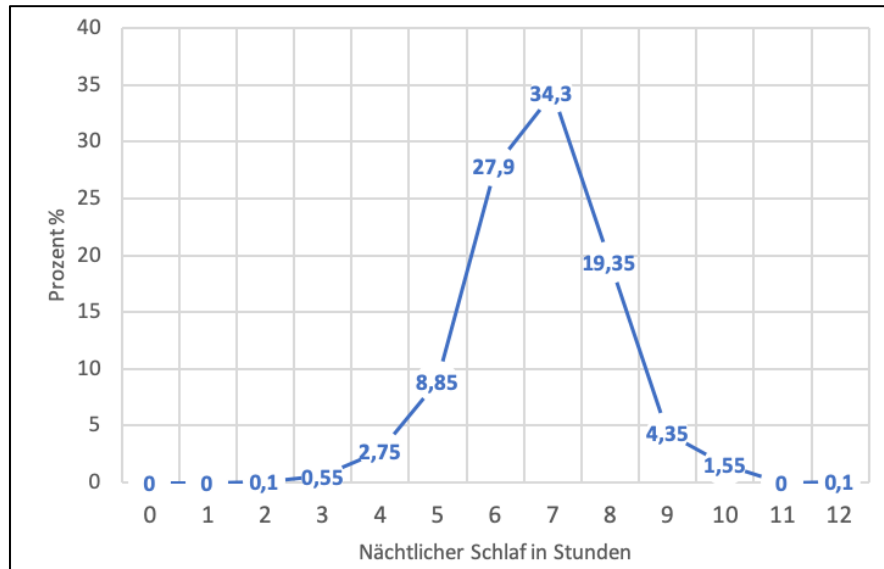
Die ideale Anzahl an nächtlichen Schlafstunden wurde in der Chronobiologie und Schlafforschung von einer Vielzahl an Forschungsinstituten untersucht. Demzufolge gibt es keine allgemeingültige Stundenanzahl, denn viele Faktoren beeinflussen diese und so wie jede Person unterschiedlich aussieht, ist auch das Schlafbedürfnis unterschiedlich.

Es beginnt bereits bei der Tagesgestaltung: Nach einer langen Wanderung, einer anstrengenden Arbeit oder einem aufregenden Erlebnis fallen viele wie ein Stein ins Bett und könnten beim Klingeln des Weckers noch lange weiterschlafen. Auch nach einer stressigeren Lebensphase oder mehreren Tagen mit wenig Schlaf verschafft sich der Körper gern etwas mehr Ruhe und Regenerationszeit. (Roenneberg 2019) Frühere Herrscher waren hingegen dafür bekannt, kaum Schlaf zu brauchen. Um es in Worten auszudrücken, welche Napoleon zugeschrieben werden: „Vier Stunden schläft der Mann, fünf Stunden die Frau und sechs Stunden der Idiot.“ (Weeß 2018) Aber auch die heutige Leistungsgesellschaft adelt jene, die besonders wenig Schlaf brauchen.

In einer Studie des Robert-Koch-Instituts aus dem Jahr 2013 wurden 8152 Personen über einen Zeitraum von vier Wochen zu ihrem Schlafverhalten befragt (Abbildung 3). Die effektive Schlafzeit der befragten deutschen Erwachsenenbevölkerung (18–79 Jahre) betrug bei 27,9% sechs Stunden, bei 34,35% sieben Stunden und bei 19,35% acht Stunden. Dies zeigt, dass 81,6% der Deutschen täglich zwischen sechs und acht Stunden schlafen.

12,3% der Befragten schliefen weniger als sechs Stunden und 6,1% mehr als acht Stunden. Die Unterschiede zwischen den Geschlechtern erwiesen sich als nicht signifikant. (Schlack et al. 2013)

Abbildung 3: Schlafstunden/Nacht (eigene Abbildung mit Daten von Schlack et al. 2013)

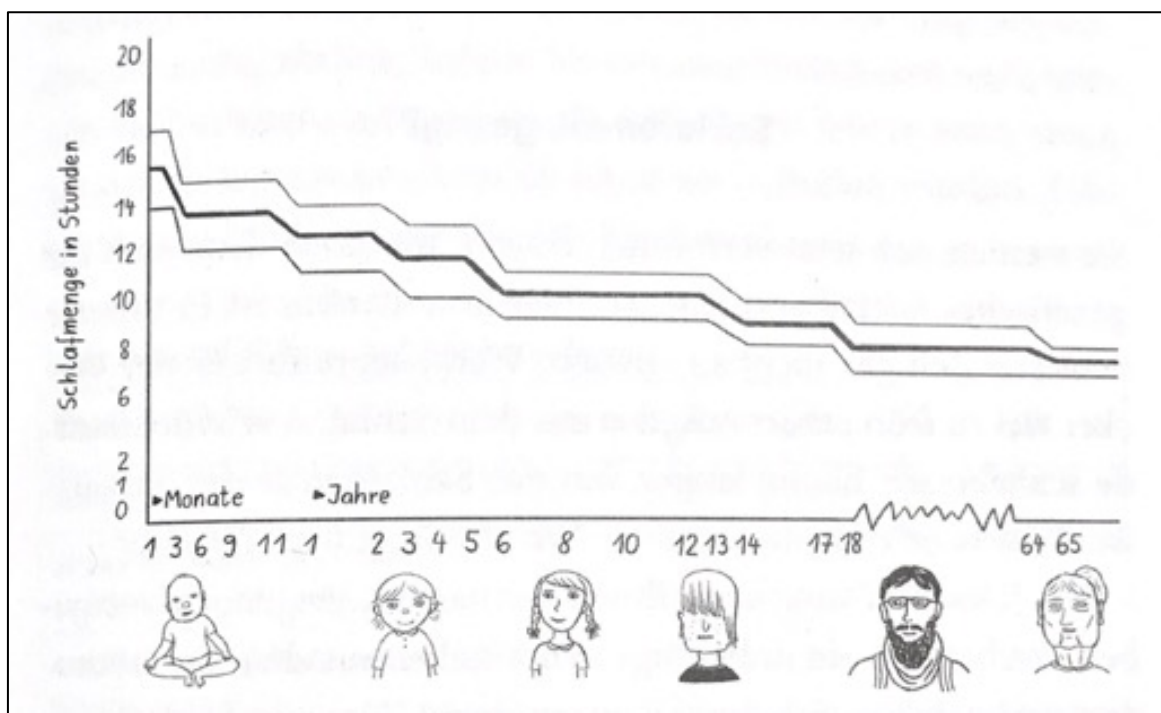


Der Prozentsatz der befragten Deutschen (0–40%) sind in der Y-Achse und die jeweilige Anzahl der nächtlichen Schlafstunden in der X-Achse eingezeichnet. 81,6% der Deutschen (18–79 Jahre) schlafen täglich zwischen sechs und acht Stunden laut dieser Studie des Robert-Koch-Instituts aus dem Jahr 2013 (8152 befragte Personen über einen Zeitraum von vier Wochen).

Die täglichen Schlafstunden verändern sich über die Lebenszeit kontinuierlich. Auch wenn durch äußere, individuelle Einflüsse jede Person andere Ruhezeiten haben kann, hat die National Sleep Foundation in den USA im Jahr 2015 Empfehlungen für einen allgemeinen Rahmen an Schlafstunden pro Tag herausgegeben. Babys sollten mit 14 bis 17 Stunden noch den Großteil ihres Tages schlafend verbringen. Langsam verkürzt sich diese Zeit, sodass Kindergartenkinder zwischen drei und fünf Jahren nur mehr zehn bis dreizehn Stunden Schlaf brauchen. Mit Eintritt in die Volksschule wird das Mittagsschläfchen unbedeutender und in der Nacht sollten die Kinder im Durchschnitt neun bis elf Stunden ruhen. Bei Übertritt in die Pubertät wird die verbrachte Zeit im Bett mit acht bis zehn Stunden noch kürzer und häufig werden die Jugendlichen nachtaktiver, schlafen aber dann auch gerne einmal in den Morgen hinein. Für 18–25-Jährige wird eine Ruhezeit von sieben bis neun Stunden empfohlen, ebenso wie der Gruppe der 26–64-Jährigen. Schließlich sinkt der Bedarf an Schlaf bei den 65+ Jährigen auf sieben bis acht Stunden. (National Sleep Foundation 2015)

Verschiedene Faktoren verhindern es häufig, die empfohlene und gewünschte Schlafenszeit einzuhalten. Beispielsweise geschieht in der Zeit zwischen 40 und 50 Lebensjahren eine der häufigsten Schlafverkürzungen. Auch wenn das Schlafbedürfnis nicht plötzlich weniger wird, überlagern sich in dieser Phase Karriere und Kindererziehung, wodurch weniger Zeit für die Nachtruhe zur Verfügung steht. Eine weitere Veränderung lässt sich bei den Personen mit 65+ Jahren beschreiben, denn die nächtlichen Wachphasen häufen sich. Dafür kommt am Nachmittag – nach dem Mittagessen – vermehrt ein kleines Schläfchen hinzu. (Weeß 2018, Hirshkowitz et al. 2015)

Abbildung 4: Empfohlene Schlafmenge (Weeß 2018)



In dieser Abbildung wird die empfohlene Schlafmenge in Stunden (0–20) auf der Y-Achse und das Alter der Personen in Monaten (1–11) und Jahren (1–65) auf der X-Achse angezeigt. Die empfohlene Schlafmenge sinkt konstant im Laufe des Lebens. Nach einer Empfehlung der National Sleep Foundation in den USA im Jahr 2015 starten Babys mit einem Schlafbedürfnis von 14–17 Stunden, wohingegen Personen über 65 Jahren bei 7–8 Stunden ankommen.

Um die persönliche ideale Schlafdauer herauszufinden, wird häufig der Wecker aus dem Schlafzimmer verbannt. Nachdem zunächst vermehrt Schlaf nachgeholt wird, stellt sich innerhalb der ersten Wochen bereits eine Regelmäßigkeit der Schlafdauer ein. Die Schlafmedizin misst jedoch nicht nur die – von äußeren Einflüssen freie – morgendliche Aufwachzeit, sondern unter anderem auch, wie sich Leistung und Müdigkeit den Tag über verhalten. (Weeß 2018)

1.2.2 Müdigkeit macht sich bemerkbar

Müdigkeit wird durch verschiedenste Symptome signalisiert, welche nicht immer alle gleichzeitig auftreten. Langsam kommt es zu einer verstärkten Aktivierung des Parasympathikus, welcher als Gegenspieler des Sympathikus arbeitet und für Regeneration und Erholung im Körper sorgt. Häufig beginnt es damit, dass sich die Augenlider schwer anfühlen und die Augen schneller austrocknen. Um diesem Gefühl entgegen zu wirken, wird das Blinzeln gesteigert oder es werden die Augen gerieben. (Kirchbichler et al. 2014) Der Wunsch, etwas zu trinken tritt vermehrt auf, da auch der Mund schneller austrocknet. Außerdem ist ein in unserer Gesellschaft weit verbreitetes Zeichen für Schläfrigkeit wiederholtes Gähnen und das Bedürfnis, Arme und Beine von sich zu strecken, denn die Gliedmaßen fühlen sich schwerer an. (American Academy of Sleep Medicine Board of Directors et al. 2015) Bei anhaltender Konzentration trotz gefühltem Schlafbedürfnis ist manchmal auch ein Zittern der Muskulatur und besonders der Hände spürbar. Eine stärkere Reaktion auf Kälte und Temperaturschwankungen sind ebenfalls häufig. Außerdem können Kopfschmerzen auftreten und im ganzen Rücken, im Besonderen aber im Schulterbereich kann ein Ziehen, Verspannungsgefühl oder Schmerz wahrgenommen werden. (Omann 2009)

Die Leistungsfähigkeit und die Konzentration in verschiedenen Situationen vermindern sich, je länger der Schlafentzug anhält und die Müdigkeit ansteigt. Ebenso leiden das Arbeitsgedächtnis und die Wachsamkeit, da Informationen nun langsamer verarbeitet werden. (Nguyen 1998) Dafür werden Geräusche oft intensiver und störender wahrgenommen. (Omann 2009) Generell reißt der Geduldsfaden in einer stressigeren oder unangenehmen Situation schneller und es sind vermehrt emotionalere Reaktionen zu erwarten. (Kirchbichler et al. 2014)

Eine Studie des Schlafexperten Jim Horne in England zeigte, dass die Reaktionszeit nach einer durchgehend wachen Phase von 17 Stunden jener von 0,5 Promille Alkohol im Blut entspricht. Demzufolge ist es beispielsweise nicht ratsam nach einem Arbeitstag, der um 5:00 Uhr in der Früh begonnen hat, nach 22:00 Uhr noch Auto zu fahren. An der Studie teilnehmende Personen, die 22 Stunden lang wach waren, zeigten sogar eine Reaktionszeit, die einem Blutalkoholgehalt von einem Promille gleich. (Deutscher Verkehrssicherheitsrat o.J., Weeß 2018)

1.2.3 Chronischer Schlafentzug

In den 1960er Jahren stellte Randy Gardner mit 264 Stunden Schlafentzug einen Weltrekord auf. Diese elf Tage werden als extrem herausfordernd beschrieben, denn es blieb nicht lange bei leichten Einschränkungen wie Stimmungsschwankungen oder Schwächegefühl. Bereits nach wenigen Tagen verlor Randy Gardner die Fähigkeit, Dinge, wie z.B. ein Buch, korrekt zu ertasten. Weitere Symptome waren Halluzinationen und Wahnvorstellungen, in denen er überzeugt war, selbst eine andere Person zu sein. Die Reaktionszeit nahm immer weiter ab, wie auch die Fähigkeit sich Wissen anzueignen, bis schließlich sogar leichte Rechenaufgaben unlösbar wurden. Dennoch wurde bei diesem Versuch kein Verdacht auf schädliche Langzeitwirkungen auf den Körper festgestellt. Um wieder in den gewohnten Schlafrhythmus von etwa acht Stunden zu kommen, brauchte Randy Gardner jedoch kürzer als erwartet. In der ersten Nacht schlief er noch 14 Stunden, doch innerhalb von vier Tagen normalisierte sich die Zeit wieder auf den ursprünglichen Rhythmus vor dem Weltrekord, wobei vor allem die Schlafqualität und nicht die Dauer entscheidend ist. Nach längerem Schlafentzug wird zunächst der tiefe Schlaf und REM-Schlaf vermehrt nachgeholt, während andere Schlafphasen in den Hintergrund rücken und sich verkürzen. 2007 konnte der Brite Tony Wright den bestehenden Weltrekord um zwei weitere Stunden übertreffen, womit der aktuelle Wert bei 266 Stunden liegt. (Weeß 2018)

Bei Forschungsexperimenten, in denen Ratten über einen längeren Zeitraum der Schlaf verwehrt blieb, kamen alle innerhalb von 21, durchschnittlich aber bereits nach 13 Tagen, um. Die genaue Todesursache konnte nicht herausgefunden werden, weder Stress noch organische Ursachen scheinen der Grund gewesen zu sein. (Weeß 2018)

Nach einer Metastudie von Rachel Leproult und Eve Van Cauter (2010) führt Schlafrestriktion zu einer Verschiebung hormoneller Parameter, wie beispielsweise Insulin, Ghrelin, Leptin und Cortisol. Durch das Zusammenspiel dieser Hormone wird der Hunger gesteigert, die Sättigung vermindert und die Insulinresistenz gefördert. Personen, die weniger schlafen, führen sich daher vermehrt höhere Kalorienmengen zu. Dies geschieht vor allem durch fettreichere Kost, wobei die sportlichen Aktivitäten abnehmen. Daher ist das Risiko bei Schlafmangel ein Übergewicht bzw. einen höheren BMI zu erlangen oder an Typ-2-Diabetes zu erkranken, sowohl bei Kindern als auch Erwachsenen gesteigert. (Owens 2014)

1.3 Theoretische Problemaufbereitung der Müdigkeit am Steuer

Nach einem anstrengenden Arbeitstag wollen viele schnell nach Hause. Diesem Ziel steht häufig nur noch die Heimfahrt mit dem Auto im Weg. Doch Müdigkeit und die daraus resultierenden Auswirkungen auf den Fahrstil werden weltweit unterschätzt und es kommt immer wieder zu Unfällen. Daher ist es umso wichtiger, Warnhinweise ernst zu nehmen und Risikofaktoren zu vermeiden, um eine gefährliche Erhöhung der Reaktionszeit oder gar Sekundenschlaf vorzubeugen.

1.3.1 Unfälle

Übermüdung am Steuer ist nicht nur in Österreich ein großes und gefährliches Verkehrsproblem, sondern auch europa- und weltweit. Oft geraten an sich gesunde Menschen in müdigkeitsbedingte Verkehrsunfälle und erleiden schwerwiegende Verletzungen oder sterben. Laut Alert, einer Forschungsarbeit des Österreichischen Verkehrssicherheitsfonds, kann „davon ausgegangen werden, dass durch Müdigkeit zwischen 15 und 20% aller Verkehrsunfälle verursacht werden.“ (Kirchbichler et al. 2014) Auch LKW-Lenkerinnen und Lenker, deren Fahrzeit streng reglementiert ist, fallen auf langen Transportstrecken der Übermüdung zum Opfer und verursachen oft verheerende Unfälle. Laut Schätzungen des Transportgewerbes werden zwischen 20 und 40% aller Unfälle durch Müdigkeit am Steuer verschuldet, wobei diese Zahl in der Nacht sogar auf 42% ansteigt. (Weeß 2018) Der Fokus dieser Arbeit liegt auf den gesundheitlichen Aspekten, wobei auch der entstehende gesellschaftliche und wirtschaftliche Schaden zu beachten ist, der durch gezielte Aufklärungsarbeit und Schulung vermindert werden könnte.

Im Jahr 2018 verzeichnete die Statistik Austria österreichweit insgesamt 26.846 Verkehrsunfälle, bei denen 46.525 Menschen Verletzungen erlitten und 409 getötet wurden. (Bundesanstalt Statistik Austria 2020) Ähnliche Werte gab es auch im Jahr 2019, wo insgesamt 410 Personen bei Verkehrsunfällen starben. Laut Analysen des Bundesministeriums für Inneres waren in einem Viertel der Fälle Unachtsamkeit oder Ablenkung und in 2,4% Übermüdung die Hauptursache. (Bundesministerium für Inneres 2020)

Da Unfälle in Folge von Müdigkeit am Steuer dazu führen können, dass die Versicherungen von ihren Leistungen zurücktreten, und außerdem eine verschärfte Ahndung mit

empfindlichen Geld- oder sogar Haftstrafen im Raum steht, wird Schläfrigkeit oft verschwiegen. Das österreichische Strafgesetzbuch stellt die durch Müdigkeit fahrlässig herbeigeführte Tötung und Körperverletzung unter Strafe. (Österreichisches Strafgesetzbuch 1974) Vor Antritt einer Fahrt wird von jeder Person erwartet, durch korrekte Selbsteinschätzung die Fahrtauglichkeit zu prüfen. Sowohl die geistige als auch körperliche Verfassung muss es zulassen das jeweilige Verkehrsmittel zu steuern. Daher wird die Dunkelziffer von Todesfolgen aber auch von Sachschäden aufgrund von Übermüdung in Österreich höher vermutet. (Kirchbichler et al. 2014)

Ein weiterer Grund für die hohe Dunkelziffer ist das Fehlen einer adäquaten Testung. Ein Alkomat hilft der Polizei bei der Überprüfung des konsumierten Alkohols, doch Müdigkeit kann derzeit noch nicht nachgewiesen werden. Nach einem Unfall ist meist auch das Adrenalin stark erhöht und dieses verdeckt erfolgreich Schläfrigkeit. (Weeß 2018)

Hans-Günter Weeß, Vorstandsmitglied der deutschen Gesellschaft für Schlafforschung und Schlafmedizin, verdeutlichte im Jahr 2018 in seinem Buch „Schlaf wirkt Wunder“ den dringenden Handlungsbedarf im Bereich der Aufklärungsarbeit und gezielten Schulung: „Auf Deutschlands Straßen sterben doppelt so viele Menschen infolge des Sekundenschlafs als durch Alkohol am Steuer.“ (Weeß 2018)

In einer Umfrage des deutschen Verkehrssicherheitsrates im Oktober 2016 wurden 1000 Personen befragt. Jede vierte Person (26%) gab an, bereits mindestens einmal am Steuer eingeschlafen zu sein. Dennoch gaben 17% an, eine geplante Strecke auch bei Übermüdung zu absolvieren und 45% meinten, dass die persönliche Fahrerfahrung als Ausgleich gegen Schläfrigkeit wirkt. (Deutscher Verkehrssicherheitsrat o.J.)

Auch eine im Jahr 2015 publizierte Studie der europäischen Schlafforschungsgesellschaft, an der 12.434 Personen aus 19 Ländern per Online-Fragebogen teilnahmen, zeichnet ein ähnliches Bild. Die durchschnittliche Prävalenz, während des Autofahrens einzuschlafen betrug 17%. Daraus resultierten 7% schlafbezogene Verkehrsunfälle, wobei 13,2% ein Krankenhaus bzw. eine Notaufnahme benötigten und 3,6% einen tödlichen Ausgang hatten. (Goncalves et al. 2015)

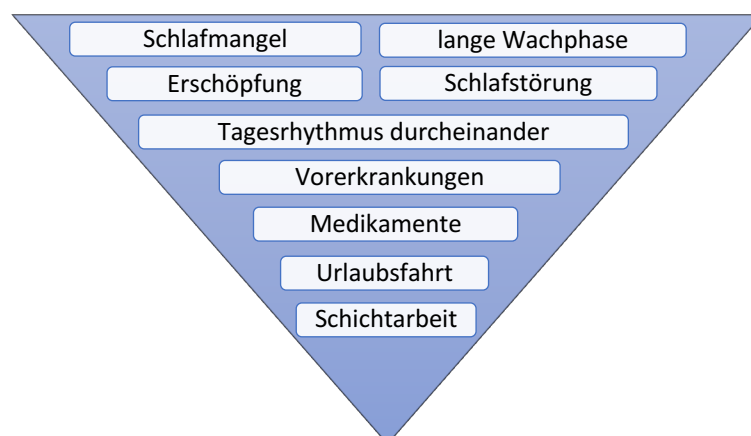
Einer Zählung der National Highway Traffic Safety Administration zufolge, gab es im Jahr 2017 ca. 91.000 schlafbedingte Verkehrsunfälle in den USA. Dabei starben ca. 800 Personen und ca. 50.000 wurden verletzt. (National Highway Traffic Safety Administration o.J.)

Im gleichen Jahr wurde eine Umfrage an rund 2.400 Personen von der American Automobile Association for Traffic Safety durchgeführt. Durchschnittlich waren die befragten Personen 1,3 Tage pro Woche mit weniger als 6 Stunden Schlaf auf den Straßen unterwegs. Knapp ein Drittel aller FahrerInnen gab an, innerhalb der vergangenen 30 Tage ein Verkehrsmittel gesteuert zu haben, während sie so schläfrig waren, dass sie kaum noch die Augen offenhalten konnten. (AAA Foundation for Traffic Safety 2018) Im Rahmen einer von Oktober 2010 bis Dezember 2013 in den USA durchgeführten Studie wurden in knapp 3600 Autos Kameras installiert, um den Lidschluss während des Fahrens zu messen. Die Teilnehmenden der Studie fuhren über den gesamten Zeitraum ausschließlich selbst ihre Autos. Wenn ein Unfall passierte, wurden die Kameraaufnahmen des Auges im Detail analysiert, um dadurch eventuelle Müdigkeit zu entdecken. Wie auch schon in vergleichbaren Studien wurde Schläfrigkeit dabei durch die PERCLOS-Methode klassifiziert. Um dabei in die Kategorie der Übermüdung eingestuft zu werden, mussten die Augenlider mehr als 12% innerhalb der letzten einen bzw. drei Minute(n) geschlossen sein. Insgesamt wurden in 9,5% aller Unfälle die Fahrenden als müde eingestuft. (Owens et al. 2018)

1.3.2 Risikofaktoren

Die Aufmerksamkeit am Steuer wird mit zunehmender Fahrdauer, Dunkelheit und durch eintönige Straßenverläufe vermindert. Zusätzlich können weitere Faktoren (Abbildung 5) das Risiko für Übermüdung erhöhen und dadurch die Leistungsfähigkeit bereits im Vorhinein senken: (Weeß 2018, Kirchbichler et al. 2014, Dolores 2009)

Abbildung 5: Risikofaktoren der Übermüdung im Straßenverkehr



Müdigkeit im Straßenverkehr kann durch verschiedene Faktoren verstärkt auftreten. Besondere Unfallgefahr geht von einem Zusammenspiel bzw. Ansammeln mehrerer Risiken aus.

- Schlafmangel (akut/chronisch) bzw. Probleme beim Ein- oder Durchschlafen und Schlafstörungen (besonders Schlaf-Apnoe): Die letzte Nacht bzw. bereits mehrere Tage oder Wochen wurde kürzer geschlafen.
- Langer Arbeitstag/lange Wachphase: Nach einem anstrengenden, langen Arbeitstag ist die Autofahrt nach Hause besonders riskant, da die Gedanken häufig noch bei zu erledigenden Aufgaben sind oder bereits um die Erholung zu Hause kreisen.
- Tagesrhythmus: Hat sich der Tagesrhythmus auf ein Einschlafen um 22:00 (bzw. Aufwachen um 08:00) Uhr gewöhnt, so ist es schwieriger nach (vor) dieser Zeit beim Lenken eines Autos wach zu bleiben. Durch die verschiedenen Tagesrhythmen begeben sich junge Fahrende am frühen Morgen in erhöhtes Risiko, während ältere Personen kurz nach Mittag gefährdeter sind.
- Vorerkrankungen, Verkühlung und Medikamente: Beipackzettel sollen genau gelesen und eingehalten werden. Nicht nur Schlaftabletten oder Psychopharmaka, sondern auch einige Schmerzmittel und rezeptfreie Substanzen, wie beispielsweise Antihistaminika, vermerken Schläfrigkeit als Nebenwirkung.
- Urlaubsfahrt: Die meisten Unfälle passieren nicht auf vereisten Fahrbahnen in kalten Winterzeiten, sondern im Hochsommermonat August, wo lange Autofahrten zu weiter entfernten Zielen angetreten werden, wobei vermehrt auf längere Fahrpausen verzichtet wird.
- LKW-Lenkung, pendeln und Schichtarbeit: Im Tagesverlauf steigt die Unfallhäufigkeit stärker zu Zeitpunkten, wo die Müdigkeit der Verkehrsteilnehmenden größer ist als zu Zeitpunkten, wo das Verkehrsaufkommen höher ist.

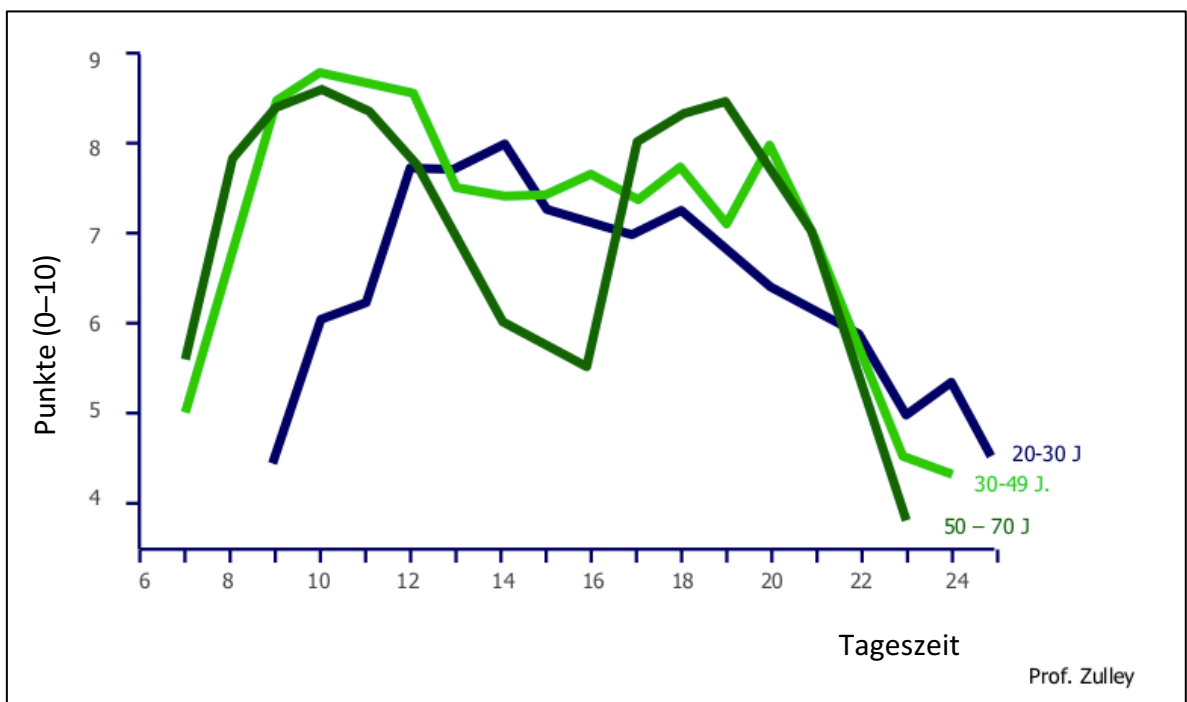
Um die Schläfrigkeit von verschiedenen Altersklassen über 24 Stunden verteilt zu untersuchen, wurde von Jürgen Zulley, einem deutschen Schlafforscher, eine Studie durchgeführt. Hierbei konnten sowohl in den Altersgruppen 20–30, 30–49 und 50–70 Jahre Schwankungen entdeckt werden als auch zu verschiedenen Tageszeiten. Die Teilnehmenden wurden dabei gebeten, ihre Wachheit persönlich von 0 (nicht wach) bis 10 (absolut wach) selbst einzuschätzen. (Kirchbichler et al. 2014)

Wie in Abbildung 6 ersichtlich, verfügen alle drei Gruppen in den späten Abendstunden und frühen Morgenstunden über die niedrigste selbsteingeschätzte Wachheit. Bei den 50–70-Jährigen gibt es zwei Hochphasen, wobei die erste bereits am Vormittag stattfindet, gefolgt

von einem Müdigkeitseinbruch am Nachmittag. Schließlich erfolgt die zweite Hochphase zwischen 17:00 und 20:00 Uhr. Die 30–49-Jährigen schätzen ihren Tagesverlauf besonders wach ein. Von 9:00 bis 12:00 Uhr erleben sie eine sehr aktive Phase, welche nach dem Mittagessen nur leicht zum Abend hin abfällt. Die junge Gruppe benötigt etwas länger, um aktiv und wach in den Tag zu starten, ab Mittag hält sich dafür die Müdigkeit bis ca. 18:00 Uhr in Grenzen. (Zulley 2020, Zulley 2004)

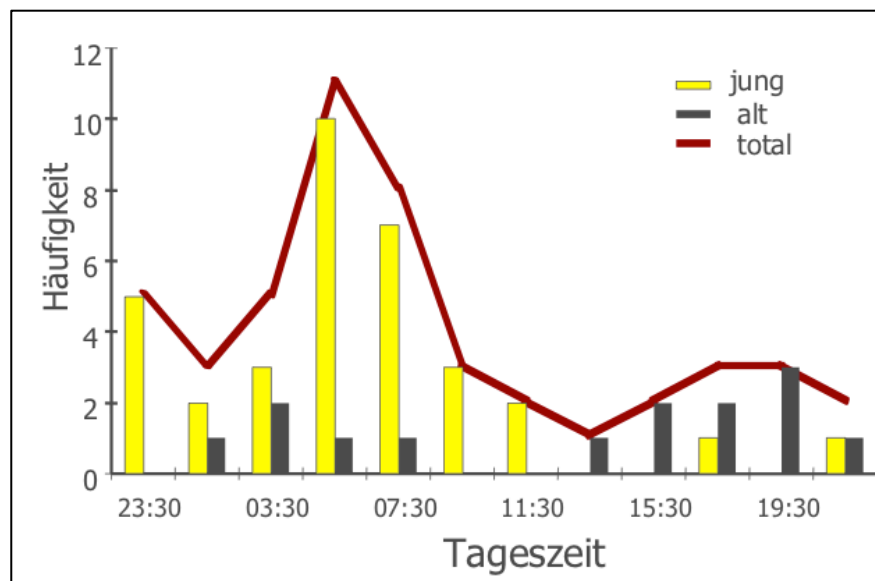
Der Vergleich von Abbildung 6 mit Abbildung 7 lässt vermuten, dass es einen Zusammenhang zwischen einschlafbedingten Unfällen und den Tageszeiten gibt, an welchen die subjektive Wachheit je nach Alter geringer ist. Vom frühen Nachmittag bis hinein in den Abend verursachen ältere Personen häufiger Unfälle, in den Nachtstunden und morgens hingegen schlafen vermehrt junge Verkehrsteilnehmende ein.

Abbildung 6: Tagesverlauf der subjektiven Wachheit (Zulley 2004)



In dieser Abbildung sind die subjektiven Wachheitseinschätzungen von Studienteilnehmenden, gegliedert nach den Altersgruppen 20–30, 30–49 und 50–70 Jahre eingezeichnet. Die Y-Achse zeigt dabei die persönlichen Einschätzungen von 0 (nicht wach) bis 10 (absolut wach), während auf der X-Achse die Tageszeit von 06:00 Uhr morgens bis 24:00 Uhr aufgetragen ist.

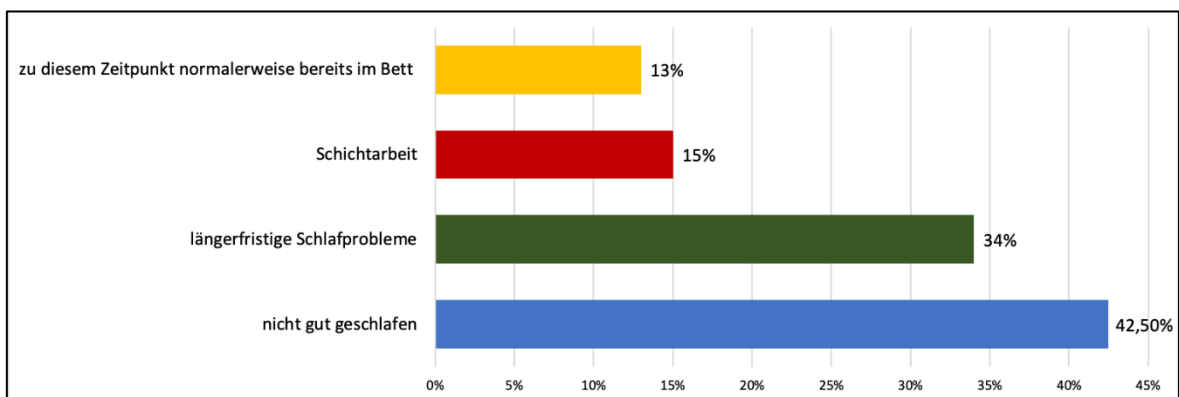
Abbildung 7: Einschlafbedingte Unfälle (Zulley 2004)



Die Y-Achse zeigt die relative Häufigkeit der einschlafbedingten Unfälle (0–12). Dabei ist ersichtlich, dass ältere Personen häufiger ab dem frühen Nachmittag bis hinein in den Abend einschlafbedingte Unfälle verursachen, wohingegen in den Nachtstunden und morgens vermehrt junge Verkehrsteilnehmende am Steuer einschlafen.

In der weiter oben zitierten Studie der europäischen Schlafforschungsgesellschaft mit 12.434 Teilnehmenden wurde auch die Ursache der Übermüdung hinterfragt (Abbildung 8). In der Nacht vor dem Unfall konnten 42,5% nicht gut schlafen und 34% hatten schon länger Schlafprobleme. 15% der Befragten waren in Schichtarbeit und hatten dadurch keinen regelmäßigen Schlafrhythmus. Weitere 13% waren normalerweise zur Uhrzeit des Unglücks bereits schlafend Zuhause. (Weeß 2018, Goncalves et al. 2015)

Abbildung 8: Ursachen von Übermüdung (eigene Abbildung mit Daten der Schlafforschungsgesellschaft Europa 2015)



Die vier häufigsten Ursachen von Übermüdung, die zu einem Unfall führten, werden in dieser Abbildung gezeigt. Insgesamt wurden bei dieser Befragung der europäischen Schlafforschungsgesellschaft 12.434 Teilnehmende interviewt.

1.3.3 Reaktionszeit

Häufig kommt es bei der Reaktionszeit auf die Millisekunden an, da schnell auf ein Tier auf der Fahrbahn, eine engere Kurve oder auch ein entgegenkommendes Fahrzeug reagiert werden muss. Hierbei können die individuelle Aufmerksamkeit und die Reaktion entscheidend dazu beitragen, einen Zusammenprall zu verhindern oder das Abkommen von der Straße zu vermeiden. Müdigkeit vermindert die Reaktionszeit, worauf im Rahmen der Beschreibung der „WACHsens“-Studie (FFG-Nr.: 860875 der Österreichischen Forschungsförderungsgesellschaft), in der die Reaktionszeit sowohl im wachen als auch im müden Zustand gemessen wurde, noch ausführlich eingegangen wird. Neben der Müdigkeit wirken sich natürlich auch die Ablenkung durch ein Smartphone, Alkoholeinfluss, das Alter, die Fahrerfahrung und viele weitere Faktoren auf die Reaktionszeit aus.

Sekundenschlaf

Eine besonders große Gefahr entsteht, wenn die Reaktionszeit gänzlich wegfällt, weil die Person am Steuer einnickt. Laut Kirchbichler et al. (2014) ist dieser Sekundenschlaf für 10% aller Unfälle verantwortlich.

Sekundenschlaf bedeutet, dass eine Person für ein paar Sekunden mit offenen oder geschlossenen Augenlidern einschläft oder starr und regungslos in die Ferne blickt. Dieser kurze Schlaf wird meist erst durch ein nach unten kippendes Kinn, das häufig darauf folgende Hochschrecken oder gar das Verreißen des Lenkrades bemerkt und ist keinesfalls erholsam. (Weeß 2018)

Bei einem Tempo von 130 km/h auf der Autobahn werden in einer Sekunde 36 Meter zurückgelegt, was in fünf Sekunden 180 Meter ausmacht. Der gefährliche Kontrollverlust während dieser Distanz kann ausreichend sein, um einen Unfall zu verursachen.

In der „WACHsens“-Studie wurde von Kaufmann et al. (2020) unter anderem auch der Sekundenschlaf analysiert. Hierfür wurden die StudienteilnehmerInnen im wachen und müden Zustand beim Lenken eines Fahrsimulators gefilmt. Anschließend konnten 197 Videos mit einer jeweils circa 30-minütigen Dauer beobachtet und die Personen durch zwei Wertungssysteme in verschiedene Wachheitsstadien (wach, erste Zeichen von Müdigkeit, gefährliche Müdigkeit) eingestuft werden:

- Observer Rating of Drowsiness (ORD): Position und Bewegung der Hände, des Oberkörpers, des Kopfes und des Gesichts
- Observer Rated Sleepiness (ORS): Kontrolle über das Fahrzeug, Aufmerksamkeit/Reaktionsgeschwindigkeit, Bewegung der Augenlider, Gähnen, Anzahl von Körperbewegungen

Die meisten Bewegungen wurden von Kopf und Gesicht gezählt, gefolgt von wechselnden Armpositionen. Nur etwa halb so oft wurden der Oberkörper und die Hände gerührt. Spannend ist, dass keine signifikanten Bewegungsunterschiede zwischen den Geschlechtern und Altersgruppen gezeigt wurden. Ebenfalls der Zeitpunkt des ersten Anzeigens von Müdigkeit war in allen Gruppen in etwa zur gleichen Zeit: Im Durchschnitt konnte dieses zwischen der neunten und zwölften Minute registriert werden. Genauer betrachtet war bei den ausgeruhten Fahrten Müdigkeit circa ab der 15. Minute ein Problem, wohingegen die müden Teilnehmenden bereits nach zehneinhalb Minuten erste Anzeichen von Schläfrigkeit aufwiesen.

Sekundenschlaf war für fast 70% der FahrerInnen kein Thema. Hingegen kämpften 10% der Testpersonen einmal mit Sekundenschlaf und schließlich schlief circa ein Fünftel der ProbandInnen häufiger ein. Das Maximum an Sekundenschlaf innerhalb der 30 Minuten erreichte ein Proband mit mehr als 50 registrierten Ausfällen. (Kaufmann et al. 2020)

1.3.4 Warnhinweise im Kampf gegen die Müdigkeit

Warnhinweise von aufkommender Müdigkeit am Steuer eines Fahrzeugs schleichen sich langsam ein, so dass diese aufgrund eines Gewöhnungseffektes nur schwer selbst bemerkt werden. Häufig wird ein Tunnelblick, aber auch leichte Benommenheit, beobachtet. Dadurch wird es schwerer, den nötigen Sicherheitsabstand zum vorderen Fahrzeug oder die Spur zu halten, ohne das Lenkrad zu verreißen. Die Aufmerksamkeit für Verkehrszeichen sinkt, so dass diese oft ohne Absicht missachtet werden. Auch die Risikobereitschaft steigt, was u.a. daran zu erkennen ist, dass Kurven mit höherer Geschwindigkeit gefahren werden. Außerdem tun sich Erinnerungslücken auf, wodurch es passieren kann, dass die zuletzt zurückgelegten Kilometer rückblickend nicht mehr beschrieben werden können. (American Academy of Sleep Medicine Board of Directors 2015)

Ein nebenbei geschlürfter Becher Kaffee, ein besonders süßer Saft oder Gespräche mit Personen im Auto bzw. über Lautsprecher am Handy halten kurzfristig wach, bieten aber auch eine erhöhte Ablenkung. (Nguyen 1998) Um Müdigkeit am Steuer nachhaltig zu bekämpfen, ist es daher empfehlenswert, vor einer längeren Fahrt eine große Portion Schlaf zu tanken. Wenn erste Zeichen der Müdigkeit entdeckt werden, gibt es auf jeder Autobahn die Möglichkeit, auf einen Parkplatz zu fahren und eine Pause einzulegen. Während dieser sollte bei offenen Türen frische Luft ins Auto gelassen werden und der Kreislauf mit Ausschütteln der Arme und Beine, Springen, Tanzen oder ein paar Joggingrunden rund um das Auto aktiviert werden. (Weeß 2018) Häufig wird auch zu einem kurzen etwa 15–20-minütigen Powernap geraten. Zusätzlich wird empfohlen, vor dem Schläpfchen eine Tasse Kaffee oder ein anderes koffeinhaltiges Getränk (ca. 150 Milligramm Coffein) zu sich zu nehmen, um nach dem Aufwachen und Einsetzen der aufputschenden Wirkung noch ein besseres Ergebnis zu erzielen. (Horne und Reyner, 1999) Die einsetzende Müdigkeit sollte jedenfalls als entscheidende Warnung wahrgenommen werden, die es aktiv zu behandeln gilt, anstatt passiv durchzubeißen und einfach weiterzufahren.

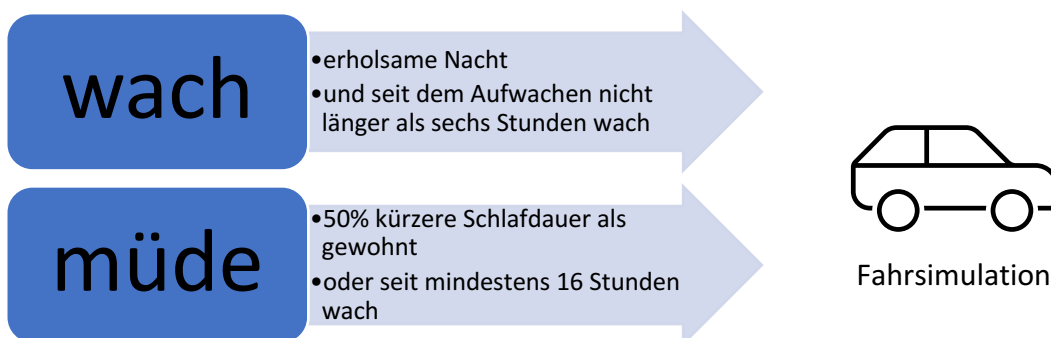
2 Material und Methoden

Im Rahmen dieser Diplomarbeit wird ein Teil der Daten der „WACHsens“-Studie, welche in Kooperation des Human Research Instituts für Gesundheitstechnologie und Präventionsforschung GmbH (HRI), der Technischen Universität Graz, AVL Powertrain UK Limited und Factum apptec Ventures GmbH (FFG-Nr.: 860875 der Österreichischen Forschungsförderungsgesellschaft) durchgeführt wurde, statistisch ausgewertet. Einleitend wird daher näher auf die Versuchsplanung, Studienteilnehmenden, Messmethoden und den Psychomotor Vigilance Test-B eingegangen. Abschließend wird die statistische Methodik beschrieben.

2.1 „WACHsens“-Studie

In der „WACHsens“-Studie wurde genderspezifisch die Reaktionszeit von Teilnehmenden im müden und wachen Zustand gemessen. Die Daten wurden vor, während und nach einer zwei Stunden langen Fahrt in einem Fahrzeugsimulator aufgezeichnet. Eine genaue Beschreibung der Studie ist im Protokoll von Frühwirth (2018) zu finden. Untersucht wurde unter anderem, ob es einen Unterschied in der Reaktionszeit je nach Wachheit bzw. Müdigkeit gibt. Alle Messungen wurden pro Person zweimal durchgeführt (Abbildung 9). Einmal im wachen Zustand, wobei hier die erholsame Nachtruhe nicht länger als sechs Stunden zurücklag und einmal im müden Zustand. Dabei wurde entweder ein partieller Schlafentzug vollzogen, also mindestens eine Reduktion der gewohnten Schlafdauer um 50% in der Nacht vor der Messung (statt acht Stunden maximal vier Stunden) oder eine prolongierte Wachphase mit zumindest 16-stündiger durchgehender Wachheit.

Abbildung 9: Zustand der Versuchspersonen



Die Versuchspersonen erschienen einmal wach und einmal müde zur Autofahrt-Simulation. Hierfür wurden die Zustände „wach“ und „müde“ für alle Studienteilnehmenden einheitlich definiert.

2.2 Versuchsplanung und -ablauf

Die Datenerhebung für die „WACHsens“-Studie wurde im Zeitraum von September 2018 bis Juli 2019 am Institut für Fahrzeugtechnik der Technischen Universität Graz durchgeführt. Dort wurde für eine möglichst reale Fahrsimulation eine Testumgebung in einem umgebauten Mini Countryman errichtet. Um keine Ablenkung durch das Umfeld zuzulassen, wurde die Testumgebung, in der die Simulation stattfand, von einer eigenen Kabine rund um das Auto begrenzt.

Es wurde versucht, eine möglichst eintönige, 60-minütige Fahrt zu simulieren, indem die Bildschirme rund um die Karosserie eine abendliche bzw. nächtliche Autobahnfahrt anzeigten. Die Hälfte der Zeit musste manuell gefahren werden, die restlichen 30 Minuten teilautomatisiert mit Unterstützung bei Spurhaltung, Längsführung und Abstandshaltung. Im Unterschied zur Vollautomatisierung wurde bei Teilautomatisierung erwartet, dass im Bedarfsfall die oder der Fahrende innerhalb von vier Sekunden das Auto wieder selbstständig unter Kontrolle hat.

Vor und nach der Autofahrt wurde die Reaktionszeit anhand eines Psychomotor Vigilance Test-B (PVT-B; oder auch psychomotorische Wachsamkeitsaufgabe) gemessen. Um die Werte zwischen müdem und wachem Zustand und vor und nach der Fahrt vergleichen zu können, wurde insgesamt vier Mal pro Person getestet. Dadurch kann auch eine mögliche Erschöpfung bzw. Verstärkung der Müdigkeit nach der Simulationsfahrt analysiert werden.

2.3 Beschreibung der Studienteilnehmenden

Rekrutiert wurden die Teilnehmenden durch Anzeigen in Zeitungen, Plakate, Präsentationen der Studie und direkte Ansprache. Insgesamt haben 92 Personen an der Studie teilgenommen, wobei auf eine gleichmäßige Altersaufteilung in die Gruppen 18–39, 40–59 und 60+ sowie eine jeweils gleiche Verteilung von männlichen und weiblichen Teilnehmenden geachtet wurde.

Aufgrund von Stromausfällen und technischen Störungen konnten nicht alle Datensätze vollständig erfasst werden. Um eine Verfälschung der Daten auszuschließen, werden in der Auswertung nur die 85 vollständigen Datensätze analysiert.

Die erste (18–39) und zweite Altersgruppe (40–59) besteht aus jeweils 14 Frauen und 15 Männern und in der dritten Altersgruppe (60+) sind 11 weibliche und 16 männliche Studienteilnehmende enthalten. Insgesamt ergibt dies je 29 Personen in den Altersgruppen

von 18–39 bzw. 40–59 Jahren sowie 27 Personen in der Altersgruppe von 60+ Jahren, womit Eingangsdaten von 39 Frauen und 46 Männern in die Analyse eingehen (Tabelle 1).

Altersgruppe	Geschlecht		Gesamt
	weiblich	männlich	
18–39	14	15	29
40–59	14	15	29
60+	11	16	27
Gesamt	39	46	85

Tabelle 1: Gliederung nach Altersgruppe und Geschlecht

Pro Person wurden insgesamt vier Messungen durchgeführt:

- An einem Tag im ausgeruhten Zustand vor der Fahrt im Simulator („rested_before“) sowie danach („rested_after“).
- An einem anderen Tag übermüdet vor der Fahrsimulation („tired_before“) sowie danach („tired_after“).

Dadurch ergeben sich insgesamt 340 Messungen, wovon 156 an Frauen und 184 an Männern durchgeführt wurden. Die genaue Einteilung der Messungen sowohl nach Müdigkeitszustand als auch nach Altersgruppe und Geschlecht ist in Tabelle 2 ersichtlich.

Müdigkeitszustand						
Geschlecht	Altersgruppe	rested_before	rested_after	tired_before	tired_after	Gesamt
männlich	18–39	15	15	15	15	60
	40–59	15	15	15	15	60
	60+	16	16	16	16	64
weiblich	18–39	14	14	14	14	56
	40–59	14	14	14	14	56
	60+	11	11	11	11	44
Gesamt		85	85	85	85	340

Tabelle 2: Einteilung der Datensätze nach Müdigkeitszustand, Altersgruppe und Geschlecht

Einschlusskriterien

Von den teilnehmenden Personen wurde erwartet, dass sie

- über 18 Jahre alt sind,

- einen Führerschein B und generelle Fahrtauglichkeit zum Lenken von Kraftfahrzeugen besitzen,
- eine tatsächliche Fahrerfahrung von mehr als 1000 Kilometern im letzten Jahr vorweisen,
- über ausreichende Deutschkenntnisse zum Verständnis der Einwilligungserklärung und des Fragebogens verfügen und
- nach Selbsteinschätzung bzw. Selbstangabe gesund sind.

Ausschlusskriterien

Ausgeschlossen wurden Personen, wenn sie:

- an Krankheiten litten, die die Herzfrequenzvariabilität beeinflussen (Arrhythmien, Herzschrittmacher, Neuropathien),
- Medikamente einnahmen, die das Reaktionsvermögen beeinflussen,
- eine offensichtliche Fahruntauglichkeit aufwiesen,
- aufputschende Substanzen oder Alkohol konsumiert hatten oder
- freiwillig ausscheiden wollten, bzw. die Einwilligung zur Studienteilnahme und Datenverwendung zurückzogen.

2.4 Messmethoden

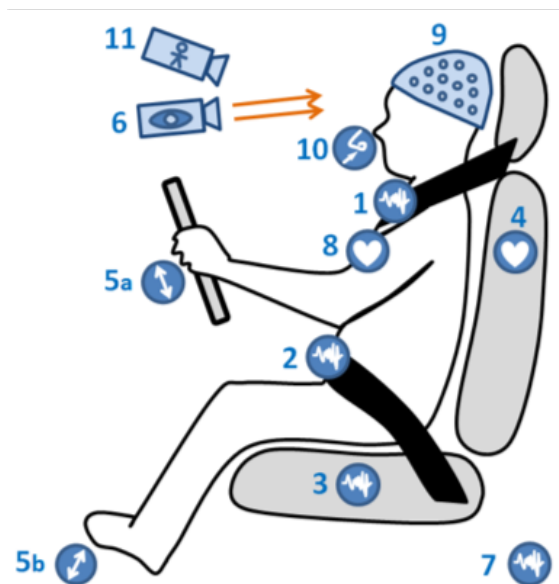
Das Auto für die Fahrsimulation wurde, wie in Abbildung 10 ersichtlich, von einem Container vollständig umschlossen. Bildschirme wurden an allen Fenstern angebracht, um eine Autofahrt realitätsnah zu simulieren. Die Innenausstattung des Fahrzeugs wurde nicht merklich verändert, außer dass an einigen Punkten Sensoren und Kameras angebracht wurden, wie in Abbildung 11 beschrieben wird. Dadurch konnten viele Daten erhoben werden, wobei in dieser Arbeit jene Daten ausgewertet werden, die sich auf die Reaktionstests beziehen, welche jeweils vor und nach der Fahrt durchgeführt wurden.

Abbildung 10: Ein zum Fahrzeugsimulator umgebautes Auto (Foto TU Graz)



Anstatt der Fenster wurden am Auto Bildschirme angebracht, welche einen Blick auf eine dunkle Landstraße abspielen.

Abbildung 11: Querschnitt der Sensorik des Versuchsaufbaus (Grafik Human Research Institut)



Diese Abbildung zeigt die Sensorik des Versuchsaufbaus mit 1: Brustgurt, 2: Bauchgurt, 3: Sitzfläche, 4: Rückenfläche (EKG), 5ab: Bedienungsparameter, 6: Eyetracker-Kamera, 7: Fahrzeugvibration und Bewegung, 8: EKG (mit Klebelektroden), 9: EEG, 10: Atmung (nasal), 11: Szenenkamera.

2.5 Psychomotor Vigilance Test-B

Die teilnehmenden Personen führten sowohl im müden als auch im wachen Zustand einen Psychomotor Vigilance Test-B (PVT-B) zur objektiven Bewertung der ermüdungsbedingten Einschränkungen durch. Hierfür erscheint auf dem Bildschirm eines Tablets in unregelmäßigen Abständen eine laufende Zeit, welche in Millisekunden zählte und höher wurde, bis die Versuchsperson auf einen Knopf drückte. Dadurch stoppte die abgebildete Zeit und je nach schneller oder langsamer Reaktion war diese höher oder niedriger. Die Teilnehmenden wurden aufgefordert, ihren Fokus voll und ganz auf den Bildschirm des Tablets zu lenken und so schnell wie möglich bei Erscheinen der Zahlen zu reagieren. Diese Werte wurden wiederholt gemessen und bilden daher die Datenbasis für die im Rahmen dieser Arbeit durchgeführten Vergleiche, Analysen und Schlussfolgerungen.

Dieser Test wird beispielsweise auch bei Astro- und KosmonautInnen im All verwendet, um Feedback zu deren Reaktionszeiten und Wachheitsgrad zu erhalten. Durch den PVT kann mit einer hohen Sensitivität Müdigkeit entdeckt werden und es können auch spezifisch wache und aufmerksame Teilnehmende aufgezeigt werden. In dieser Studie wurde die verkürzte Version PVT-B nach Basner et al. (2011) durchgeführt.

Ursprüngliche Variante des PVT nach Dinges und Powell (1985)

- Dauer: zehn Minuten
- Inter-Stimulus-Intervalle (ISI): zwei bis zehn Sekunden. Die ISI beschreiben die Pausen zwischen dem erfolgreichen Stoppen der Zeit und dem Erscheinen einer neuen Zahl.

PVT-B nach Basner und Dinges (2011):

- Dauer: drei Minuten (= Reduktion um 70%)
- ISI: eine bis vier Sekunde(n). Da die ISI verkürzt wurden, gab es im Vergleich zum PVT nur 32,4% weniger Ergebnisse der Reaktionszeiten.
- Abnahme der Effektgröße um 22,7%
- Keine statistisch signifikanten Unterschiede zwischen PVT und PVT-B

Die Daten wurden im Zuge dieser Arbeit nach Empfehlungen von Basner et al. (2011) und Basner und Dinges (2011) analysiert. Dort wurde die höchste Effektgröße bei der mittleren reziproken Reaktionszeit ($=1/\text{Reaktionszeit}$) und bei den mittleren langsamsten 10% der

reziproken Reaktionszeit erzielt. Außerdem wurde die Anzahl der Fehler (Lapses) dargestellt. Dieser Fall tritt auf, wenn die Reaktionszeit weniger als 100 Millisekunden (ms) beträgt oder keine Reaktion innerhalb von 500 (bzw. 355) Millisekunden auftritt.

2.6 Statistische Analyse

Die Verteilung der erhobenen Reaktionszeiten wird zunächst mittels deskriptiver Statistik (Mittelwert, Median, Standardabweichung, Minimum und Maximum) betrachtet und grafisch in Boxplots abgebildet. Die Darstellung erfolgt zunächst gesamt und anschließend in Altersgruppe und Geschlecht aufgeteilt.

Bei den Reaktionszeiten werden die Grenzen, ob Werte als zu langsam und dadurch als Fehler gezählt werden bei 355 und 500 Millisekunden gesetzt – ähnlich wie bei Basner und Dingens (2011) beschrieben. Diese beiden mittleren Reaktionszeiten werden deskriptiv miteinander verglichen.

Um zu untersuchen, ob sich die Reaktionszeit in Millisekunden (mit der Grenze 500) zwischen Müden und Ausgeruhten bzw. vor und nach der Simulation unterscheidet, wird eine Varianzanalyse (ANOVA) mit Messwiederholungen durchgeführt.

Als Innersubjekteffekte (Faktor mit Messwiederholungen) wird „Zustand“ mit zwei Ausprägungen für die Zeitmessungen im „müden“ und „ausgeruhten“ Zustand definiert und „Zeit“, ebenfalls mit zwei Ausprägungen für die Messungen vor und nach der Fahrsimulation.

In der folgenden Tabelle 3 werden die Innersubjektfaktoren definiert:

Zeit	Zustand	Abhängige Variable
1 = vor Simulation	1 = ausgeruht	rested_before
	2 = müde	tired_before
2 = nach Simulation	1 = ausgeruht	rested_after
	2 = müde	tired_after

Tabelle 3: Definition der Innersubjektfaktoren Zustand und Zeit

Für alle 85 Testpersonen wurde der Mittelwert der jeweiligen Reaktionszeiten berechnet. Aus diesen Werten wird der Durchschnitt für die jeweilige Gruppe in den folgenden Analysen angegeben, so steht der Mittelwert „rested_before“ für den Mittelwert der ausgeruhten Personengruppe vor der Simulation.

Um einen möglichen Lerneffekt auszuschließen, wird zunächst untersucht, ob die Reihenfolge der Testtermine (zuerst müde, dann wach bzw. zuerst wach und dann müde) einen Einfluss auf die Ergebnisse hat, indem die „Reihenfolge“ in das Modell als Zwischensubjektfaktor inkludiert wird.

In weiteren Modellen wird der Einfluss von Alter (18–39, 40–59 und 60+ Jahre) und Geschlecht untersucht. Als Post-Hoc Analysen werden t-Tests durchgeführt. Bei den Vergleichen „müde zu ausgeruht“ bzw. „vor und nach Simulationen“ werden t-Tests für abhängige Stichproben verwendet, bei Vergleichen von Altersgruppen bzw. Geschlechtern werden t-Tests für unabhängige Stichproben verwendet.

Auf eine Bonferroni-Korrektur wurde nach Rücksprache mit StatistikerInnen, welche mit der Aufgabenstellung vertraut sind, verzichtet, da von einer relevanten Alpha-Fehler-Kumulierung bei den angewendeten Testverfahren nicht auszugehen ist.

Für die gesamte statistische Auswertung wurde SPSS „IBM Statistics Version 26“ verwendet und die Ergebnisse zur besseren Lesbarkeit auf eine bzw. die Signifikanzwerte auf drei Kommastellen gerundet.

3 Ergebnisse

In diesem Abschnitt werden die statischen Ergebnisse für die Reaktionszeiten aus der „WACHsens“-Studie präsentiert. Im Zuge der Analyse der Daten werden Unterschiede und Gemeinsamkeiten zwischen den einzelnen Altersgruppen und Geschlechtern herausgearbeitet und spezifisch erörtert.

3.1 Die Verteilung der Reaktionszeiten (deskriptive Statistik)

Um einen ersten Einblick in die Verteilung der Reaktionszeiten zu erhalten, werden mittels Boxplots und Tabellen die Ergebnisse der Reaktionstests veranschaulicht und anschließend auch in die einzelnen Untergruppen (Alter, Geschlecht) aufgeteilt und genauer beschrieben.

3.1.1 Grenze zwischen rechtzeitiger Reaktion und Reaktionsfehler

Für 85 Personen liegen vollständige Messwerte des PVT-B-Reaktionstests für alle vier Testdurchläufe vor, womit sich die nachfolgenden Analysen auf diese Datengrundlage stützen. Da jeder Test drei Minuten in Anspruch nahm, wurden je Person insgesamt zwölf Minuten aufgewendet. Aus allen aufgezeichneten Reaktionszeiten innerhalb eines Drei-Minuten-PVT-B-Tests wurde ein Mittelwert für jede einzelne Person pro Testdurchlauf berechnet. Die Grenze zwischen rechtzeitiger Reaktion und Reaktionsfehler wurden, wie im Studiendesign von Frühwirth (2018) angegeben, einmal bei 355 und einmal bei 500 Millisekunden gezogen. Die Datengrundlage, die für die Auswertungen im Rahmen dieser Arbeit zur Verfügung gestellt wurde, beinhaltete die jeweiligen Durchschnitte pro Person für Reaktionszeiten kleiner 355 sowie 500 Millisekunden. Diese Grenzen bestimmten somit, welche Reaktionszeiten für die Berechnung der Durchschnittswerte einberechnet wurden. Jene Reaktionszeiten, die über diesen Grenzen lagen, wurden als Fehler gekennzeichnet.

In Tabelle 4 ist die Verteilung betreffend Mittelwert, Median, Standardabweichung, Minimum und Maximum der rechtzeitigen Reaktionen bei einer Grenze von 355 Millisekunden je Zustand ersichtlich.

Zustand	Anzahl	Mittelwert	Median	Standard.- Abweichung	Minimum	Maximum
rested_before	85	228,5	223,3	25,0	178,1	305,1
rested_after	85	232,6	227,2	26,9	176,7	311,0
tired_before	85	234,0	227,8	25,2	187,1	297,4
tired_after	85	240,2	234,7	28,3	188,9	316,7

Tabelle 4: Verteilung der rechtzeitigen Reaktionszeiten bei einer Grenze von 355 Millisekunden

Tabelle 5 zeigt die Verteilung der rechtzeitigen Reaktionen bei der höheren Grenze von 500 Millisekunden je Zustand. Hier ist in der Spalte der Maximalwerte ersichtlich, dass es nur bei „rested_after“ und „tired_after“ zu Reaktionszeiten über 355 Millisekunden kam.

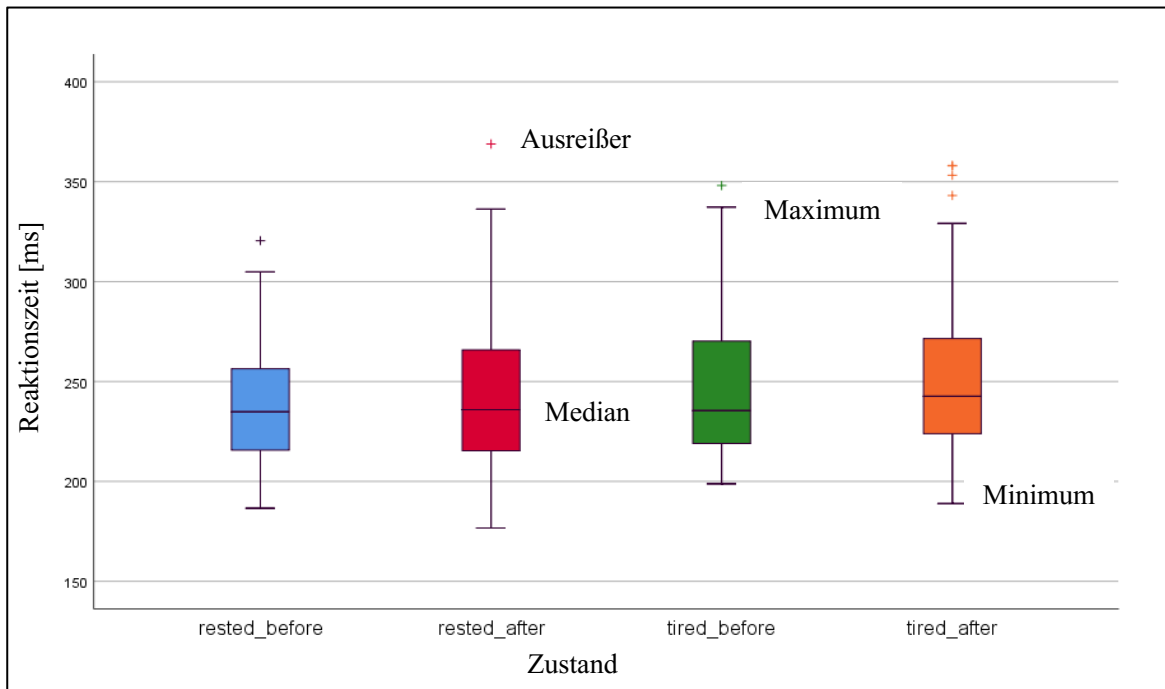
Zustand	Anzahl	Mittelwert	Median	Standard.- Abweichung	Minimum	Maximum
rested_before	85	238,1	234,8	30,3	186,5	320,5
rested_after	85	242,7	235,9	34,9	176,7	368,9
tired_before	85	246,5	235,5	34,5	198,8	348,1
tired_after	85	252,5	242,7	36,9	188,9	358,1

Tabelle 5: Verteilung der rechtzeitigen Reaktionszeiten bei einer Grenze von 500 Millisekunden

Sowohl bei den Mittelwerten bis 355 Millisekunden als auch bei jenen bis 500 Millisekunden sind die durchschnittlichen Reaktionszeiten jeweils kürzer, wenn die Testpersonen ausgeschlafen sind. Dies gilt nicht nur für die Werte vor der Fahrsimulation, sondern auch für jene nachdem die Simulation absolviert wurde. Die Mittelwerte der Reaktionszeit nach der Fahrsimulation sind höher als die Mittelwerte vor der Fahrsimulation, was sowohl für den ausgeschlafenen als auch für den müden Zustand gilt. In Abbildung 12 sind die Daten aus Tabelle 5 in einem Boxplot dargestellt. Die gefärbten Kästchen umfassen mit ihrer Spannweite die häufigsten 50% der Werte, wobei die mittlere Linie den Median angibt. Minimum und Maximum werden mittels der randständigen, schwarzen Horizontallinien gekennzeichnet und die Ausreißer mit den eingezeichneten Plus-Zeichen („+“). Werte die mehr als drei Standardabweichungen vom Mittelwert entfernt sind, werden als starke Ausreißer bezeichnet, kommen in den Daten aus Tabelle 5 allerdings nicht vor, weshalb auch kein Sternchen („*“) abgebildet ist.

Die Spannweite der Mittelwerte ist bei den Messungen im ausgeruhten Zustand vor der Fahrsimulation (rested_before) am kürzesten. Ausreißer nach oben gibt es im müden Zustand nach der Fahrsimulation am häufigsten.

Abbildung 12: Boxplots je Zustand für rechtzeitige Reaktionszeiten bei einer Grenze von 500 Millisekunden



Es wird die Verteilung der Reaktionszeiten je Zustand in Boxplots dargestellt. Auf der Y-Achse sind die Reaktionszeit (150–400 Millisekunden), auf der X-Achse zunächst die Mittelwerte der ausgeruhten Personen vor und nach der Fahrsimulation („rested_before“ und „rested_after“) und schließlich die beiden Messungen im müden Zustand („tired_before“ und „tired_after“) aufgetragen. Aus der Abbildung lässt sich erkennen, dass die Reaktionen im ausgeruhten Zustand vor der Simulation am schnellsten sind und der Median von links nach rechts ansteigt.

Die folgenden Tabellen 6 und 7 weisen die Anzahl der je nach definierter Grenze zu langsamen Reaktionen, also die Reaktionsfehler, auf. Es wurde als Fehler gewertet, wenn 355 bzw. 500 Millisekunden nach Aufscheinen des Signals noch keine Taste gedrückt wurde. Tabelle 6 zeigt sowohl in den Medianen als auch in den Mittelwerten einen sehr geringen Unterschied zwischen „wach“ und „müde“. Die höchste Anzahl an Fehlern, also das Maximum von 35 Fehlern innerhalb eines drei Minuten PVTs wurde nach den Simulationen sowohl im wachen als auch im müden Zustand erreicht. In Tabelle 7 ist die Verteilung der Reaktionsfehler bei einer Grenze von 500 Millisekunden je Zustand zu finden. Beim Vergleich der beiden Tabellen 6 und 7 lässt sich am Median erkennen, dass die Reaktionsfehler nicht darauf zurückzuführen sind, dass eine Reaktion gänzlich ausblieb,

sondern diese lediglich langsamer war und die Taste erst innerhalb der 500 Millisekunden gedrückt wurde. Daher sind in Tabelle 7 Median und Mittelwert auch deutlich niedriger. In allen Zuständen gab es Teilnehmende, die keine Fehler gemacht haben, also immer innerhalb der definierten Grenzwerte reagierten.

Zustand	Anzahl	Mittelwert	Median	Std.-Abweichung	Minimum	Maximum
rested_before	85	4,45	3	4,06	0	17
rested_after	85	5,02	3	6,09	0	35
tired_before	85	6,01	4	6,68	0	34
tired_after	85	6,36	4	7,25	0	35

Tabelle 6: Verteilung der Reaktionsfehler bei einer Grenze von 355 Millisekunden

Zustand	Anzahl	Mittelwert	Median	Std.-Abweichung	Minimum	Maximum
rested_before	85	0,82	0	1,41	0	7
rested_after	85	0,96	0	2,23	0	16
tired_before	85	1,16	1	1,98	0	14
tired_after	85	1,51	0	3,09	0	20

Tabelle 7: Verteilung der Reaktionsfehler bei einer Grenze von 500 Millisekunden

Aufgrund der Ähnlichkeit der Werte und der Verteilung der Reaktionsfehlergrenzen von 355 und 500 Millisekunden werden nach Basner und Dinges (2011), Basner et al. (2011) und nach Absprache mit StatistikerInnen, welche mit den Daten vertraut sind, in allen folgenden Analysen nur mehr jene Durchschnitte, die für eine Grenze von 500 Millisekunden errechnet wurden, dargestellt und analysiert.

3.1.2 Die schnellsten 10% der Reaktionszeiten

In Tabelle 8 wurden nur die schnellsten 10% der Reaktionszeiten je teilnehmender Person für die Durchschnittsberechnung einbezogen. Auch für diese Daten ergeben sich, wie auch bereits für jene aus Tabelle 4 und 5, dass im ausgeruhten Zustand bzw. vor der Fahrsimulation schnellere Reaktionszeiten gemessen wurden. Die Unterschiede in den Minimum- und Maximumwerten sind klar ersichtlich. Während die Spannweite im „rested_before“-Zustand nur 154,6 bis 262,6 Millisekunden beträgt, wächst diese im „tired-after“ Zustand bereits auf 160,9 bis 298,6 Millisekunden an.

Zustand	Anzahl	Mittelwert	Median	Standardabweichung	Minimum	Maximum
rested_befor	85	190,6	185,0	22,9	154,6	262,6
rested_after	85	193,7	190,8	22,9	151,6	278,1
tired_before	85	193,1	188,1	22,3	163,0	273,2
tired_after	85	200,7	191,4	27,5	160,9	298,6

Tabelle 8: Verteilung der schnellsten 10% der Reaktionszeiten

3.1.3 Die langsamsten 10% der Reaktionszeiten

Werden nun, wie in Tabelle 9 ersichtlich, nur die langsamsten 10% der Reaktionszeiten je teilnehmender Person für die Durchschnittsberechnung miteinbezogen, beträgt der Durchschnitt im ausgeruhten Zustand vor der Simulation (rested_before) 315,0 Millisekunden, bei einer Spannweite von 216,8 bis 404,2 Millisekunden. Abermals sind die Reaktionszeiten nach der Simulationsfahrt bzw. im müden Zustand langsamer. Der höchste Maximalwert von 475,0 Millisekunden ergab sich im „rested_after“-Zustand, also ausgeruht nach der Fahrsimulation, gefolgt vom müden Zustand nach der Simulation (tired_after) mit 461,0 Millisekunden.

Zustand	Anzahl	Mittelwert	Median	Standardabweichung	Minimum	Maximum
rested_before	85	315,0	313,0	45,3	216,8	404,2
rested_after	85	317,1	315,4	52,9	208,2	475,0
tired_before	85	325,8	316,5	51,7	229,4	452,0
tired_after	85	328,3	321,6	51,3	225,3	461,0

Tabelle 9: Verteilung der langsamsten 10% der Reaktionszeiten

Bei einer Betrachtung von Tabelle 8 und 9 können die beiden Extreme verglichen werden. Während die schnellsten 10% im ausgeruhten Zustand vor der Simulation durchschnittlich 190,6 Millisekunden für eine Reaktion brauchten, erreichten die langsamsten 10% einen Mittelwert von 315,0 Millisekunden. Während die langsamste Reaktion der schnellsten 10% bei 298,6 Millisekunden lag (tired_after), kam das Maximum unter den langsamsten 10% auf 475,0 Millisekunden (rested_after). Bei einem Blick auf den Median wird ebenfalls ein Unterschied ersichtlich. Die schnellsten 10% erzielten ausgeruhte Werte von 185,0

(rested_before) und 188,1 (tired_before), während die langsamsten 10% Werte von 313,0 (rested_before) und 325,8 (tired_before) zeigten.

3.1.4 Reaktionszeit nach Altersgruppe

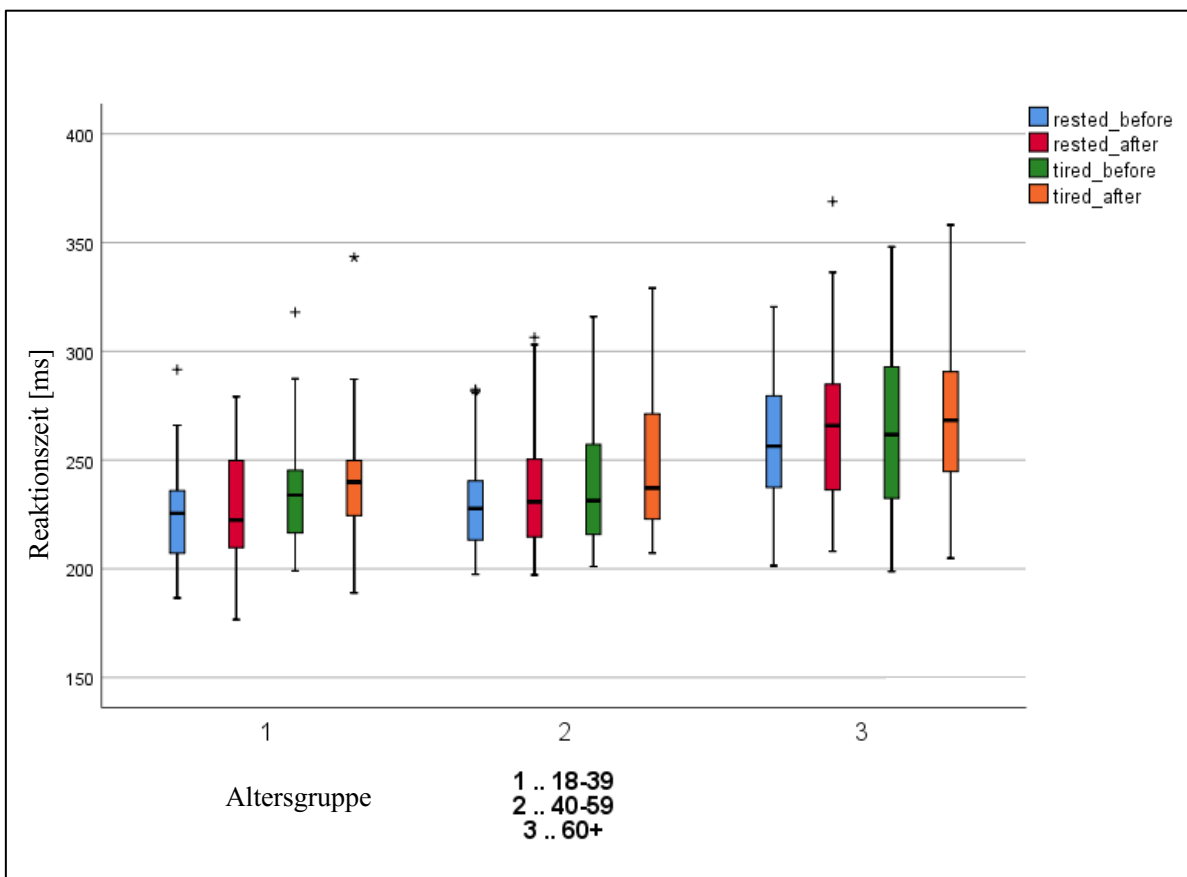
Nach Altersgruppen gegliedert, ist eine Steigerung der Mittelwerte von den jüngeren zu den älteren Gruppen erkennbar. Die jüngste Gruppe (18–39) war sogar unabhängig vom Zustand (wach/müde) oder der Zeit (vor/nach der Simulation) immer schneller als die älteste Gruppe (60+). Außerdem ist der Unterschied zwischen den ersten beiden Altersgruppen wesentlich geringer als der Abstand zur dritten Altersgruppe (Tabelle 10).

Zustand	Gruppe	Anzahl	Mittelwert	Standardabweichung
rested_before	1...18–39	29	225,7	24,7
	2...40–59	29	231,7	25,7
	3...60+	27	258,5	30,7
	Gesamt	85	238,1	30,3
rested_after	1...18–39	29	228,2	25,5
	2...40–59	29	237,7	31,1
	3...60+	27	263,7	38,5
	Gesamt	85	242,7	34,9
tired_before	1...18–39	29	237,7	26,8
	2...40–59	29	238,3	28,7
	3...60+	27	264,8	40,9
	Gesamt	85	246,5	34,5
tired_after	1...18–39	29	242,3	29,9
	2...40–59	29	244,7	31,7
	3...60+	27	271,7	42,4
	Gesamt	85	252,5	36,9

Tabelle 10: Mittelwerte und Standardabweichungen der Reaktionszeit nach Altersgruppen

Diese Effekte sind auch in Abbildung 13 deutlich ersichtlich. Die Spannweite der Boxplots sind bei der ersten Altersgruppe (18–39) noch am geringsten und steigern sich dann zur Gruppe der 40–59-Jährigen bis hin zur Gruppe der über 60-Jährigen.

Abbildung 13: Boxplot der Reaktionszeiten je Altersgruppe (1: 18–39, 2: 40–59, 3: 60+) und Zustand

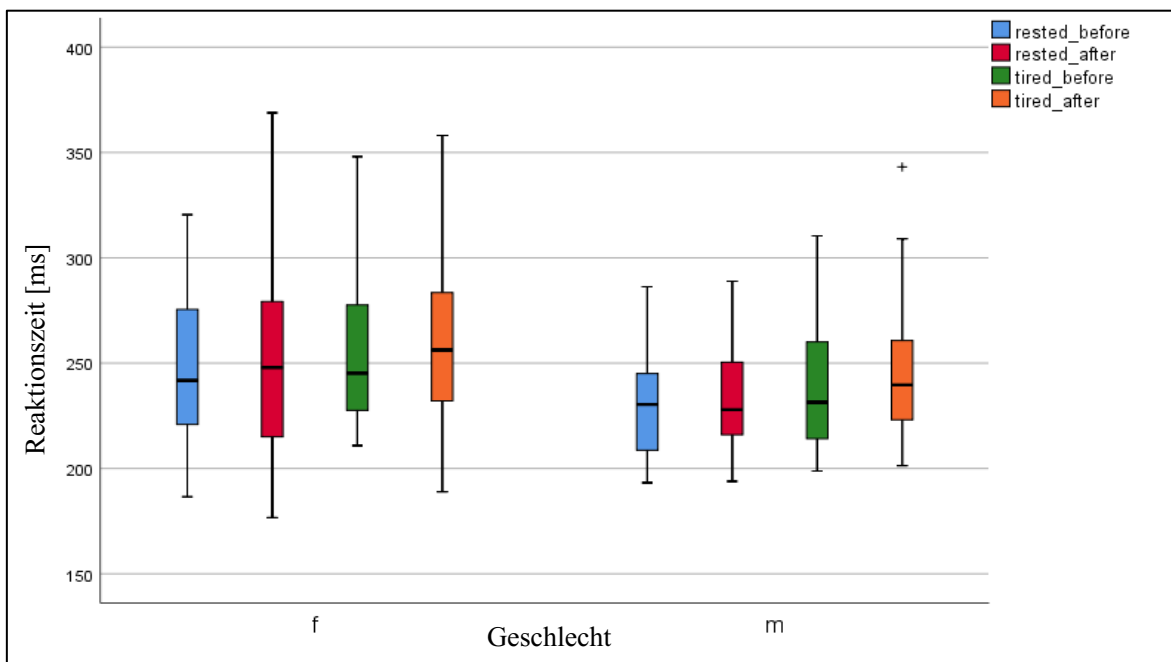


Auf der Y-Achse ist die Reaktionszeit (150–350 Millisekunden) abgebildet. Die X-Achse untergliedert die drei Altersgruppen in jeweils vier verschiedene Zustände. Nach den Altersgruppen gegliedert ist eine Steigerung der Mittelwerte von den jüngeren zu den älteren Gruppen erkennbar. Die erste Altersgruppe (18–39) war unabhängig vom Zustand (wach/müde) oder der Zeit (vor/nach der Simulation) durchschnittlich stets schneller als die älteste Gruppe (60+).

3.1.5 Reaktionszeit nach Geschlecht

In Abbildung 14 werden die Reaktionszeiten der jeweiligen Zustände nach Geschlechtern gruppiert gezeigt. Optisch ist erkennbar, dass die mittleren Reaktionszeiten bei Frauen länger sind als bei Männern. Die Spannweite bei den Frauen ist größer, aber auch die Mediane, Maxima und Minima liegen höher.

Abbildung 14: Boxplot der Reaktionszeiten je Geschlecht (f: weiblich und m: männlich) und Zustand



Die Reaktionszeit (150–350 Millisekunden) wird auf der Y-Achse und die weibliche (f) und männliche (m) Gruppenaufteilung auf der X-Achse dargestellt. Die vier Zustände sind in den Boxplots durch die Farben blau („rested_before“), rot („rested_after“), grün („tired_before“) und orange („tired_after“) gekennzeichnet.

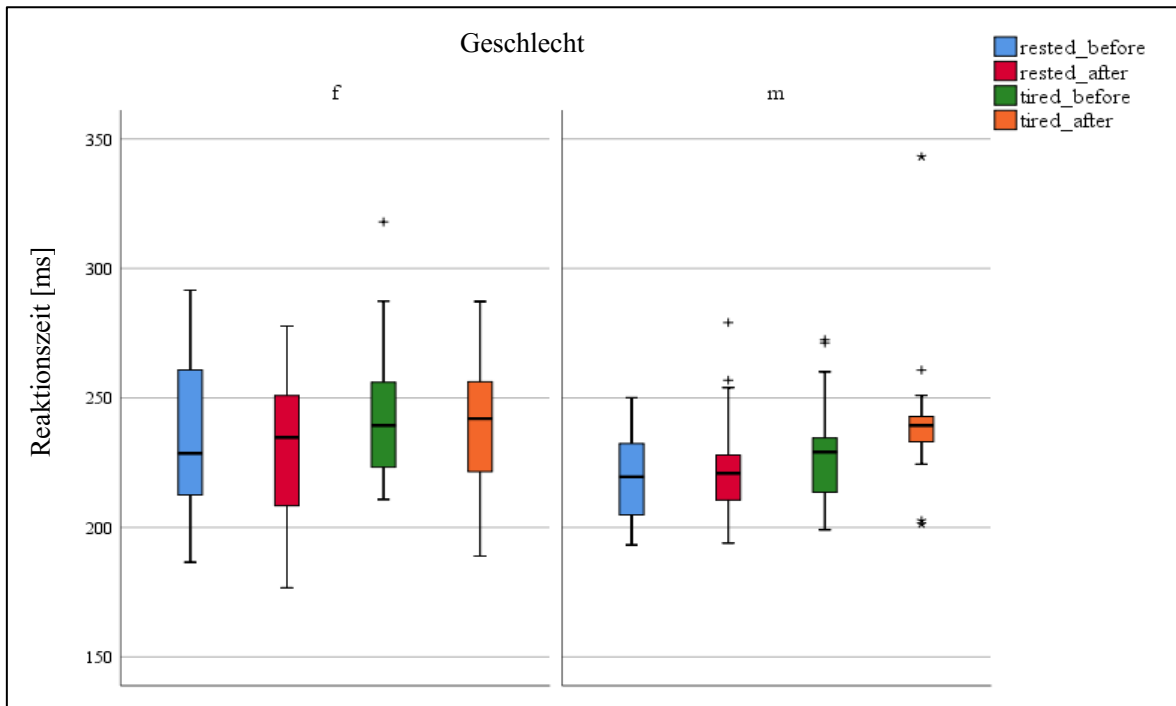
3.1.6 Reaktionszeit nach Altersgruppe und Geschlecht

Zum detaillierten Vergleich der mittleren Reaktionszeiten zwischen Männern und Frauen in den drei Altersgruppen werden Boxplots gruppiert nach Geschlecht und für den einzelnen Zustand der jeweiligen Altersgruppe abgebildet.

In Abbildung 15 ist für die Altersgruppe der 18–39-Jährigen ein Unterschied zwischen Frauen und Männern ersichtlich. Die Zeiten der Testteilnehmerinnen zeigen eine größere Spannweite in den Reaktionszeiten als die Durchschnitte der Männer. Auffällig ist, dass in den Daten der Männer dieser jungen Altersgruppe deutlich mehr Ausreißer zu finden sind als bei den Frauen.

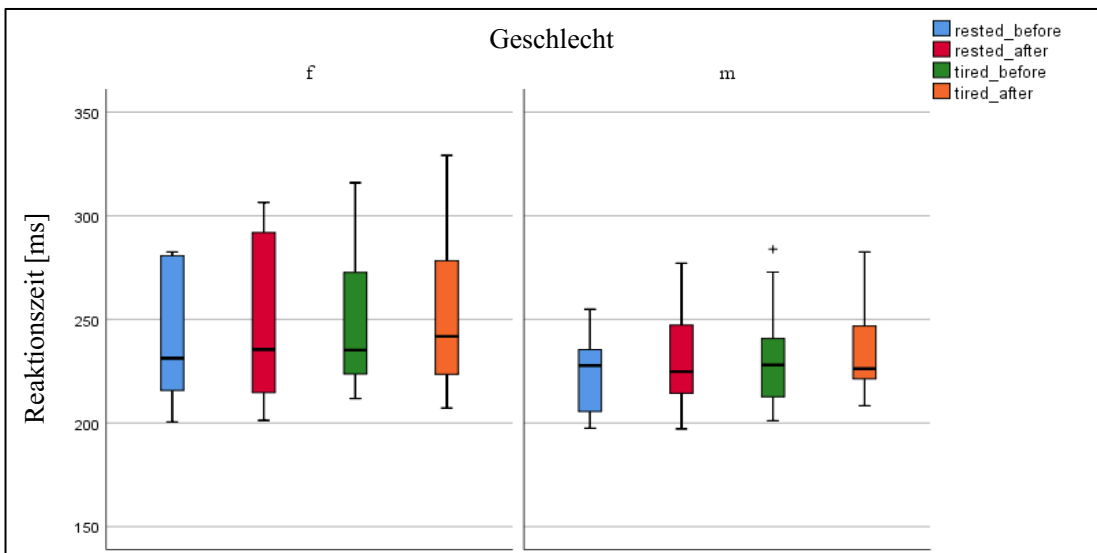
Auch bei der Altersgruppe der 40–59 Jahren, deren Reaktionszeiten in Abbildung 16 dargestellt sind, unterscheiden sich die Geschlechter in der Spannweite. Die Mittelwerte der Reaktionszeiten der Männer in den jeweiligen Zuständen liegen näher beieinander. Im Vergleich zu der jüngeren Gruppe sind die Werte höher und vor allem bei den Frauen verbreitern sich die einzelnen Quartile. Bei den Daten der Frauen gibt es keine Ausreißer und auch bei den Männern findet sich lediglich ein Ausreißer.

Abbildung 15: Boxplot der Reaktionszeiten gruppiert nach Geschlecht und Zustand für die Altersgruppe 18–39



Auf der Y-Achse ist die Reaktionszeit (150–350 Millisekunden) dargestellt und auf der X-Achse links die weibliche und rechts die männliche Gruppe. Die vier Zustände sind in den Boxplots durch die Farben blau („rested_before“), rot („rested_after“), grün („tired_before“) und orange („tired_after“) gekennzeichnet.

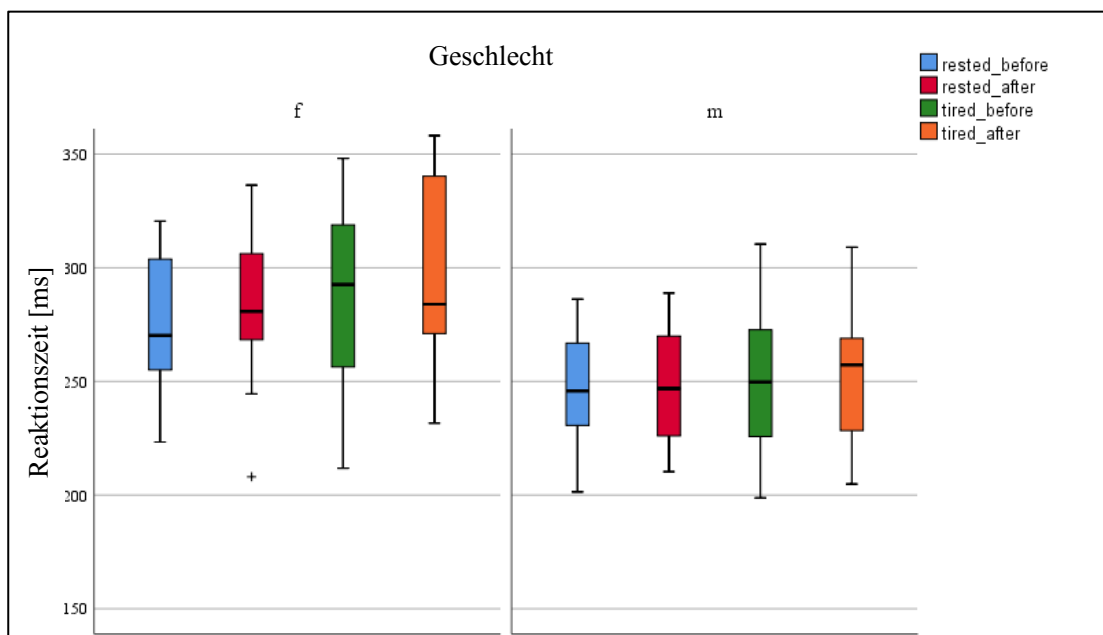
Abbildung 16: Boxplot der Reaktionszeiten gruppiert nach Geschlecht und Zustand für die Altersgruppe 40–59



Die Y-Achse zeigt die Reaktionszeit (150–350 Millisekunden). Auf der X-Achse sind links die weiblichen und rechts die männlichen Teilnehmenden dargestellt. Die vier Zustände sind in den Boxplots durch die Farben blau („rested_before“), rot („rested_after“), grün („tired_before“) und orange („tired_after“) gekennzeichnet.

Abbildung 17 zeigt die Reaktionszeiten der über 60-Jährigen und verdichtet das Bild der jüngeren Gruppen, da auch hier eine breitere Spannweite und höhere Reaktionswerte bei den Daten der Frauen ersichtlich sind. Es ist zu beachten, dass in dieser weiblichen Gruppe nur 11 Personen sind, in den anderen jedoch 14 bzw. 16. Die männlichen Testpersonen (60+) verzeichnen eine größere Spannweite als ihre jüngeren Kollegen. Auch ist ein Unterschied in der Breite zwischen wach („rested“) und müde („tired“) zu erkennen. Ausreißer sind in den Daten der Männer über 60 Jahren nicht ersichtlich.

Abbildung 17: Boxplot der Reaktionszeiten gruppiert nach Geschlecht und Zustand für die Altersgruppe 60+



Die Reaktionszeit (150–350 Millisekunden) wird auf der Y-Achse und die weibliche (links) und männliche (rechts) Gruppe wird auf der X-Achse angegeben. Die vier Zustände sind in den Boxplots durch die Farben blau („rested_before“), rot („rested_after“), grün („tired_before“) und orange („tired_after“) gekennzeichnet.

Die Analyse der Verteilung der Reaktionszeiten erlaubt die Hypothese, dass jüngere Personen kürzere Reaktionszeiten aufweisen, die weniger streuen, als ältere, bei denen die Werte auch weiter auseinander liegen und die Reaktionszeiten höher sind. Zusätzlich lässt sich auch eine Hypothese zum Unterschied zwischen den Geschlechtern aufstellen, da die Spannweiten innerhalb der einzelnen männlichen Altersgruppen schmaler sind und diese niedrigere Reaktionszeiten (Mediane) aufweisen als die weiblichen Gruppen. Darüber hinaus ist zu vermuten, dass speziell die Kombination Müdigkeit und Alter einen Einfluss auf die Reaktionszeiten hat.

Tabelle 11 gibt einen abschließenden Überblick über die Mittelwerte der Reaktionszeiten der Altersgruppen und Geschlechter. In allen Untergruppen sind die Reaktionszeiten im

ausgeruhten Zustand schneller als die Reaktionszeiten im müden Zustand. Vor der Simulation sind die Reaktionszeiten schneller als nach der monotonen, dunklen Fahrsimulation, einzig bei den Teilnehmerinnen der ersten Altersgruppe (18–39) ist dies nicht der Fall. Die langsamsten Reaktionszeiten in allen Tests erzielten die Frauen über 60 Jahre. Hingegen waren die männlichen 18–39-Jährigen stets die Schnellsten, ausgenommen im Zustand „tired_after“ (müde und nach der Simulation), wo die männlichen 40–59-Jährigen mit 235,6 Millisekunden den besten Durchschnittswert erzielen. Der Unterschied zwischen wach („rested“) und müde („tired“) ist in allen Bereichen erkennbar, wobei der deutlichste Abstand zwischen wach vor der Simulation („rested_before“) und müde danach („tired_after“) auftritt. Dies stützt erneut die Hypothese, dass Müdigkeit eine Auswirkung auf die Reaktionszeiten hat, wobei sich diese je Altersgruppe und Geschlecht unterschiedlich stark abzeichnet.

Altersgruppe	Geschlecht	Zustand			
		rested_before	rested_after	tired_before	tired_after
18–39	weiblich	233,1	231,8	245,6	242,5
	männlich	218,8	224,9	230,4	242,1
40–59	weiblich	239,9	246,1	246,0	254,5
	männlich	224,0	229,9	231,1	235,6
60+	weiblich	275,4	286,2	287,1	299,3
	männlich	246,8	248,3	249,5	252,7
Gesamt	weiblich+männlich	238,1	242,7	246,5	252,5

Tabelle 11: Mittelwerte der Reaktionszeiten je Zustand, Altersgruppe und Geschlecht

3.2 Schlussfolgerungen aus den Reaktionszeiten (Inferenzstatistik)

In diesem Unterabschnitt werden die mit Hilfe der deskriptiven Statistik aufgestellten Hypothesen überprüft. Hierbei wird sowohl auf Vorhandensein eines Perioden- bzw. Lerneffektes als auch auf Signifikanz des Einflusses von Altersgruppe und Geschlecht auf die Reaktionszeiten getestet.

3.2.1 Einfluss des Perioden- und Lerneffekts auf die Reaktionszeiten

Zunächst wurde geprüft, ob es einen Lerneffekt gibt. Also ob ein signifikanter Unterschied besteht, wenn zuerst im müden Zustand und danach im wachen Zustand oder Teilnehmende zuerst wach und dann müde zu den Tests erschienen sind. Ursprünglich wurde die Reihenfolge der Zustände für die Teilnehmenden über ein Cross-Over-Design zufällig eingeteilt. Dies ergab eine gleichmäßige Verteilung der Frauen bzw. Männer für die unterschiedlichen Reihenfolgen des Zustandes (wach/müde bzw. müde/wach). Hier musste jedoch in einem zweiten Schritt auf die Berufstätigkeit der Teilnehmenden Rücksicht genommen werden, womit sich die finale Verteilung von der ursprünglich angestrebten unterscheidet. Mit der Simulation im ausgeruhten Zustand begannen 20 Frauen und 17 Männer, wohingegen 19 Frauen und 29 Männer die Abfolge müde und dann wach absolvierten (Tabelle 12).

Geschlecht	rested – tired	tired – rested
weiblich	20	19
männlich	17	29
Gesamt	37	48

Tabelle 12: Reihenfolge des Zustandes je Geschlecht

Die Verteilung der Mittelwerte in Tabelle 13 lässt erkennen, dass die Reaktionszeiten der Gruppe mit der Reihenfolge müde – wach im Schnitt stets etwas höher sind als bei jenen mit der Reihenfolge wach – müde. Die deskriptive Statistik lässt also vermuten, dass die Reihenfolge einen Einfluss hat, was in weiterer Folge auf Signifikanz getestet wurde.

	Reihenfolge	Anzahl	Mittelwert	Standardabweichung
rested_before	rested-tired	37	234,1	30,3
	tired-rested	48	241,2	30,2
	Gesamt	85	238,1	30,3
tired_before	rested-tired	37	240,1	29,8
	tired-rested	48	251,5	37,3
	Gesamt	85	246,5	34,5
rested_after	rested-tired	37	237,7	34,4
	tired-rested	48	246,6	35,2
	Gesamt	85	242,7	34,9
tired_after	rested-tired	37	245,4	28,4
	tired-rested	48	257,9	41,8
	Gesamt	85	252,5	36,9

Tabelle 13: Mittelwerte je Zustand und Reihenfolge

Das Testergebnis der Innersubjektkontraste (Tabelle 14) weist aber keine statistische Signifikanz der Interaktionen zwischen Reihenfolge und Zeit (vor – nach Simulation, $p = 0,662$), Reihenfolge und Zustand (müde – ausgeruht, $p = 0,365$) sowie der dreifachen Interaktion Zeit, Zustand und Reihenfolge ($p = 0,889$) auf. Dies bedeutet, dass die Reihenfolge der Untersuchungen keinen statistisch signifikanten Einfluss auf die Reaktionszeiten hat. Da in allen drei Variationen $p > 0,05$ ist, kann ein Periodeneffekt, also eine signifikante Auswirkung der Testtag-Abfolge, ausgeschlossen werden.

	Quadratsumme vom Typ III	Mittel der Quadrate	F	p-Wert
Zeit 2	2.244,2	2.244,2	2244,2	0,002
Zeit 2 * Reihenfolge	41,2	41,2	41,2	0,662
Zustand 2	6.479,7	6.479,7	6479,7	0,000
Zustand 2 * Reihenfolge	325,7	325,7	325,7	0,365
Zeit 2 * Zustand 2	39,2	39,2	39,2	0,610
Zeit 2 * Zustand 2 * Reihenfolge	3,0	3,0	3,0	0,889

Tabelle 14: Ausschluss eines signifikanten Periodeneffekts durch Testung der Innersubjektkontraste

Auch bei der Reihenfolge als Zwischensubjektfaktor (Tabelle 15) ergibt sich keine statistische Signifikanz ($p = 0,147$). Dadurch wird der „Carry-Over“-Effekt bzw. Lerneffekt ausgeschlossen, denn der erste Testtag hat keinen Einfluss auf den zweiten Testtag.

	Quadratsumme vom Typ III	Mittel der Quadrate	F	p-Wert
Konstanter Term	19.954.462,0	19.954.462,0	5138,5	0,000
Reihenfolge	8.323,0	8.323,0	2,1	0,147

Tabelle 15: Ausschluss eines signifikanten Lerneffekts durch Testung der Zwischensubjekteffekte

3.2.2 Einfluss der Zeit und des Zustands auf die Reaktionszeiten

Durch die Tests der Innersubjektkontraste lässt sich zeigen, dass sowohl Zustand ($p < 0,001$) als auch Zeit ($p = 0,001$) einen statistisch signifikanten Einfluss auf die Reaktionszeit haben (Tabelle 16). Eine statistisch signifikante Interaktion von Zustand und Zeit mit der Reaktionszeit liegt jedoch nicht vor ($p = 0,618$).

	Quadratsumme vom Typ III	Mittel der Quadrate	F	p-Wert
Zustand 2	6978,0	6978,0	17,8	0,000
Zeit 2	2363,2	2363,2	11,1	0,001
Zeit 2 * Zustand 2	148,5	148,5	0,3	0,618

Tabelle 16: Tests der Innersubjektkontraste

Tabelle 17 zeigt das Ergebnis der Post-hoc-Analysen, um in paarweisen Vergleichen der Mittelwerte auf einen signifikanten Unterschied in den Mittelwerten vor und nach der Simulation sowie zwischen ausgeruht und müde zu testen. Es erwies sich ein statistisch signifikanter Unterschied zwischen den Reaktionszeiten „vor versus nach der Simulation“, sowohl im wachen als auch im müden Zustand. Dieser Unterschied zeigt sich im ausgeruhten Zustand mit einer Signifikanz von $p = 0,009$ (95%KI [-8,0; -1,2], $t(84) = -2,7$) und in der müden Simulation mit $p = 0,013$ (95%KI [-10,6; -1,3], $t(84) = -2,5$). Um die Auswirkung der Müdigkeit auf die Reaktionszeiten weiter zu untersuchen, werden in Tabelle 17 unter „ausgeruht versus müde“ die Mittelwerte der Reaktionszeiten vor der Simulation, aber auch die beiden Mittelwerte nach der Simulation miteinander verglichen. Die Testpersonen waren im ausgeruhten Zustand und vor der Autofahrt (95%KI [-13,2; -4,5], $t(84) = -3,5$, $p = 0,001$) signifikant schneller. Gleichsam waren sie nach der Simulation im müden Zustand signifikant langsamer (95%KI [-15,0; -4,5], $t(84) = -3,7$, $p < 0,001$).

Zustand	Mittelwert	Standardabweichung	Standardfehler	95% Konf.intervall der Differenz		T	df	p-Wert (2-seitig)
				Unterer Wert	Oberer Wert			
vor versus nach Simulation								
rested_before – rested_after	-4,6	15,9	1,7	-8,0	-1,2	-2,7	84	0,009
tired_before – tired_after	-5,9	21,6	2,3	-10,6	-1,3	-2,5	84	0,013
ausgeruht versus müde								
rested_before – tired_before	-8,4	22,0	2,4	-13,2	-3,6	-3,5	84	0,001
rested_after – tired_after	-9,7	24,4	2,6	-15,0	-4,5	-3,7	84	0,000

Tabelle 17: Test bei gepaarten Stichproben – Unterschied je Zeit und Zustand

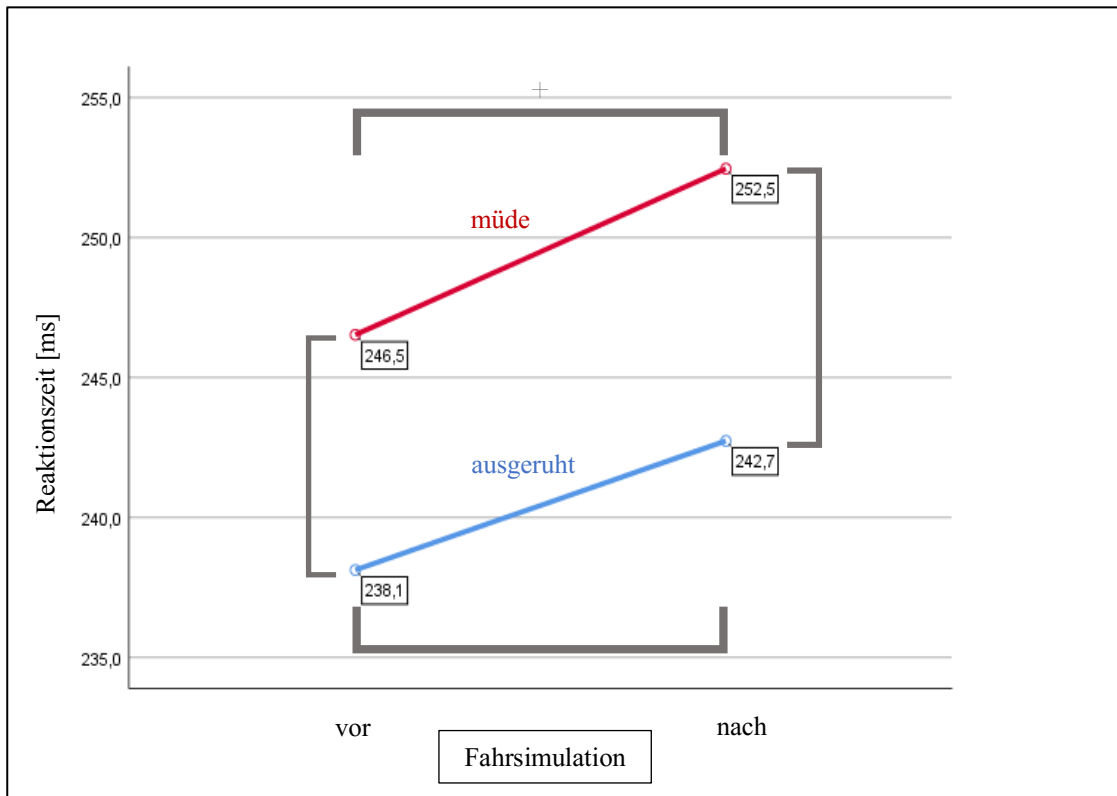
Mittels einer Statistik der geschätzten Mittelwerte wird in Tabelle 18 der einzelne Mittelwert, Standardabweichung und Standardfehler des Mittelwertes je Zeit und Zustand angegeben. Der Mittelwert der Ausgeruhten vor der Simulation ist der niedrigste mit 238,1 Millisekunden, wohingegen die müden Teilnehmenden nach der Simulation einen Mittelwert von 252,5 Millisekunden aufweisen.

Zustand	Anzahl	Mittelwert	Standardabweichung	Standardfehler des Mittelwertes
rested_before (Zeit = 1, Zustand = 1)	85	238,1	30,3	3,3
rested_after (Zeit = 2, Zustand = 1)	85	242,7	34,9	3,8
tired_before (Zeit = 1, Zustand = 2)	85	246,5	34,5	3,7
tired_after (Zeit = 2, Zustand = 2)	85	252,5	36,9	4,0

Tabelle 18: Geschätzte Mittelwerte je Zeit und Zustand

Die vier geschätzten Mittelwerte aus Tabelle 18 sind in Abbildung 18 dargestellt. Es lässt sich der Unterschied zwischen den Zuständen und Zeiten ablesen.

Abbildung 18: Geschätzte Mittelwerte je Zeit und Zustand



In dieser Abbildung werden die beiden Zustände (ausgeruht = blau, müde = rot) im Zusammenhang mit der Zeit (vor der Simulation, nach der Simulation) verglichen. Auf der Y-Achse ist die Reaktionszeit (235–255 Millisekunden) eingezeichnet, während die X-Achse die beiden Zeitpunkte vor/nach der Fahrsimulation zeigt. Der graue Balken gibt die Signifikanz der Unterschiede an ($p \leq 5\%$ nur Balken; $p \leq 1\%$ +; $p \leq 0,1\%$ ++).

Schließlich wird noch geprüft, ob sich ein Unterschied zwischen „ausgeruht vor der Simulation“ und „müde nach der Simulation“ darstellen lässt. Aus Tabelle 19 kann das signifikante Ergebnis (95%KI [-19,6; -9,1], $t(84) = -5,4$, $p < 0,001$) abgelesen werden.

Zustand	Mittelwert	Standardabweichung	Standardfehler des Mittelwertes	95% Konfidenzintervall der Differenz		T	df	p-Wert (2-seitig)
				Unterer Wert	Oberer Wert			
rested_before - tired_after	-14,3	24,4	2,7	-19,6	-9,1	-5,4	84	0,000

Tabelle 19: Test bei gepaarten Stichproben – Unterschied zwischen „ausgeruht vor der Simulation“ und „müde nach der Simulation“

3.2.3 Einfluss des Alters auf die Reaktionszeiten

Die Tests der Innersubjektkontraste (Tabelle 20) zeigen, dass keine statistisch signifikanten Interaktionen zwischen Alter und Zeit ($p = 0,747$), Alter und Zustand ($p = 0,414$) sowie Alter, Zeit und Zustand ($0,965$) bestehen.

	Quadratsumme vom Typ III	Mittel der Quadrate	F	p-Wert
Zeit 2	2376,8	2376,8	11,0	0,001
Zeit 2 * @Alter	126,3	63,1	0,3	0,747
Zustand 2	6903,3	6903,3	17,6	0,000
Zustand 2 * @Alter	700,5	350,3	0,9	0,414
Zeit 2 * Zustand 2	37,4	37,4	0,3	0,620
Zeit 2 * Zustand 2 * @Alter	10,7	5,3	0,0	0,965

Tabelle 20: Tests der Innersubjektkontraste – Interaktion zwischen Alter, Zeit und Zustand

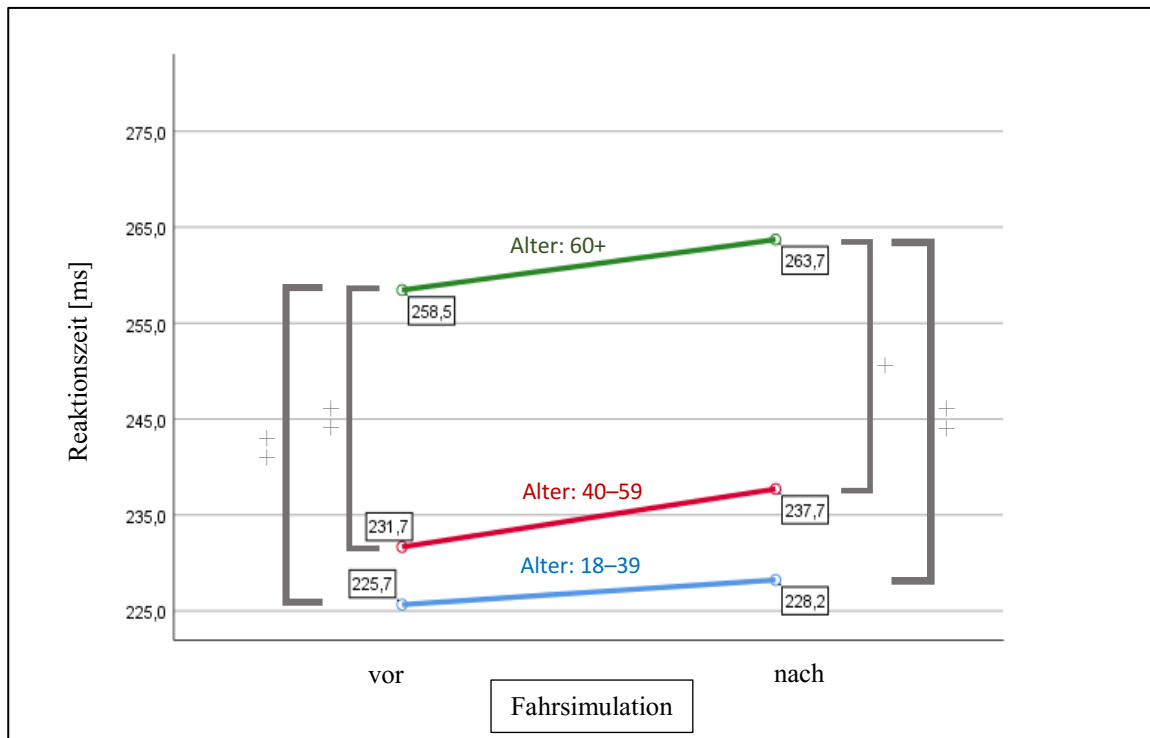
Jedoch ergeben die Tests der Zwischensubjekteffekte (Tabelle 21), dass sich die Reaktionszeiten zwischen den drei Altersgruppen statistisch signifikant unterscheiden ($p < 0,001$).

	Quadratsumme vom Typ III	Mittel der Quadrate	F	p-Wert
Konstanter Term	20454072,8	20454072,8	6260,4	0,000
@Alter	62725,1	31362,5	9,6	0,000

Tabelle 21: Tests der Zwischensubjekteffekte – Unterschied zwischen den Altersgruppen

Die Abbildungen 19 und 20 stellen die Mittelwerte der Reaktionszeiten in den jeweiligen Altersgruppen getrennt für ausgeruht (Abbildung 19) und müde (Abbildung 20) dar. Auf der X-Achse ist das Ergebnis des Reaktionstests vor und nach der Simulation aufgetragen. Dabei wird deutlich, dass sich die Ergebnisse für die Altersgruppe 1 und 2 zu allen Messzeitpunkten ähneln, wohingegen der Abstand zur 60+ Personengruppe deutlich gegeben ist.

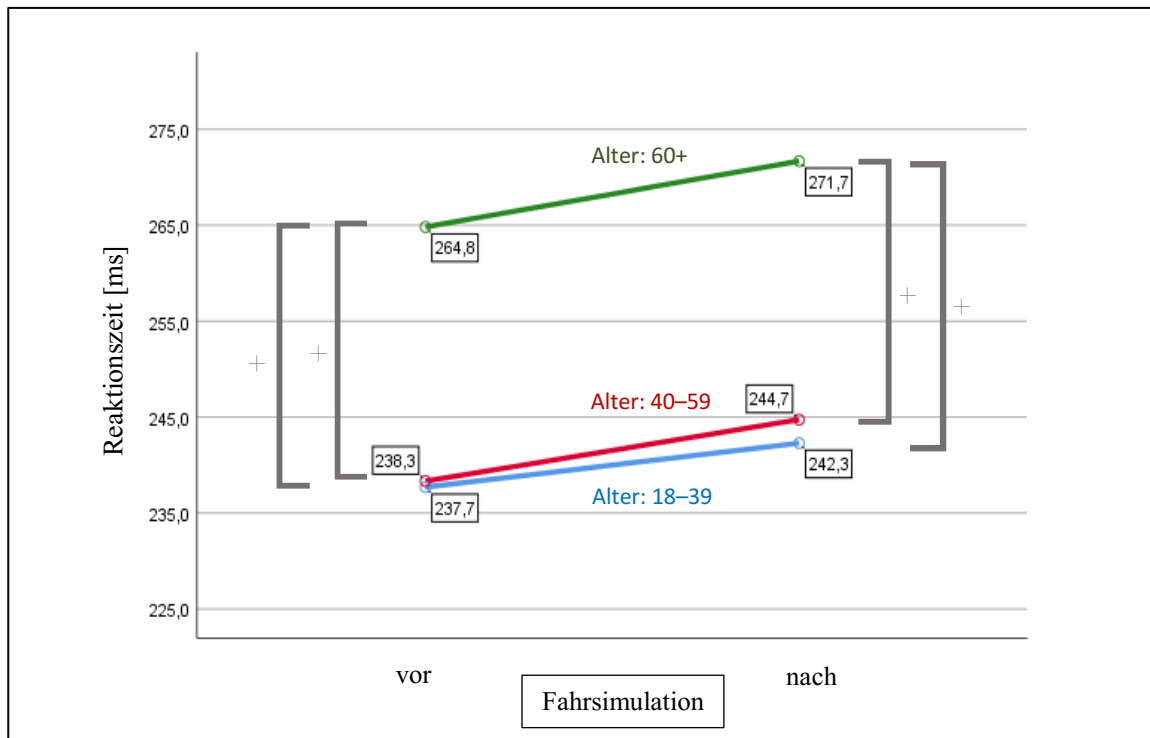
Abbildung 19: Unterschied der Reaktionszeiten je Altersgruppe vor und nach der Simulation dargestellt als geschätzte Mittelwerte des wachen Zustandes



In dieser Abbildung werden die Mittelwerte der ausgeruhten Teilnehmenden untereinander verglichen. Auf der Y-Achse ist die Reaktionszeit (225–275 Millisekunden) angegeben. Auf der X-Achse ist die Zeit (vor der Simulation, nach der Simulation) abzulesen. Die schnellsten Reaktionszeiten weist die jüngste Gruppe (grün) auf, gefolgt von den 40–59-jährigen Personen (rot) und schließlich kommt die älteste Altersgruppe (blau) mit den langsamsten Reaktionen. Der graue Balken gibt die Signifikanz der Unterschiede an. ($p \leq 5\%$ nur Balken; $p \leq 1\%$ +; $p \leq 0,1\%$ ++)

Nach der Simulation erhöhen sich die Reaktionszeiten in allen Altersgruppen. Außerdem zeigt sich, dass die Mittelwerte der Reaktionszeiten in der müderen Gruppe (Abbildung 20) bereits höher auf der Y-Achse starten, also die Testpersonen durchschnittlich langsamer sind.

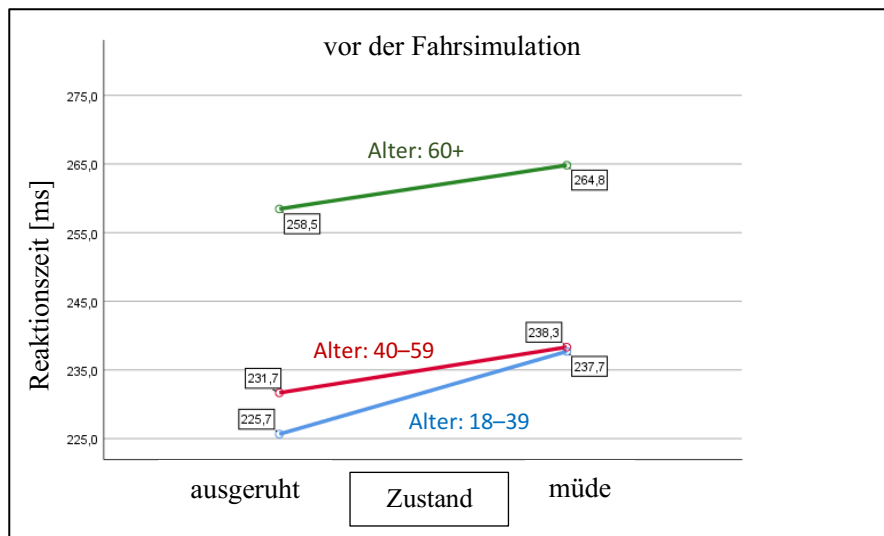
Abbildung 20: Unterschied der Reaktionszeiten je Altersgruppe vor und nach der Simulation dargestellt als geschätzte Mittelwerte des müden Zustandes



In dieser Abbildung werden die Mittelwerte der müden Teilnehmenden untereinander verglichen. Auf der Y-Achse ist die Reaktionszeit (225–275 Millisekunden) angegeben. Auf der X-Achse ist die Zeit (vor der Simulation, nach der Simulation) abzulesen. Auffallend ist, dass die beiden jüngeren Gruppen sehr nahe beieinander liegen. Der graue Balken gibt die Signifikanz der Unterschiede an ($p \leq 5\%$ nur Balken; $p \leq 1\%$ +; $p \leq 0,1\%$ ++).

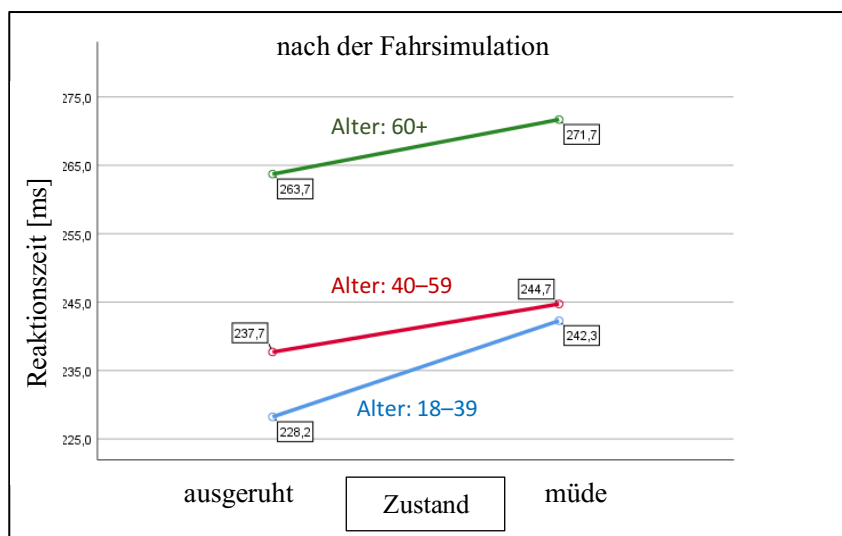
Auch bei den folgenden Grafiken (Abbildung 21 und 22) wird in allen Altersgruppen die Verlangsamung (höhere Werte) der Reaktionszeiten deutlich. Ähnlich wie in Abbildung 20 ist der Abstand zwischen den 40–59-Jährigen und den 60+ Personen größer als der Abstand zwischen den beiden jüngeren Gruppen.

Abbildung 21: Unterschied der Reaktionszeiten je Altersgruppe wach und müde dargestellt als geschätzte Mittelwerte vor der Simulation



In dieser Abbildung werden die Mittelwerte der Teilnehmenden jeweils vor der Simulation verglichen. Auf der Y-Achse ist die Reaktionszeit (225–275 Millisekunden) eingezeichnet, auf der X-Achse ist der Zustand skaliert.

Abbildung 22: Unterschied der Reaktionszeiten je Altersgruppe wach und müde dargestellt als geschätzte Mittelwerte nach der Simulation



Es werden die Mittelwerte nach der Simulation untereinander verglichen. Auf der Y-Achse ist die Reaktionszeit (225–275 Millisekunden) dargestellt und auf der X-Achse ist der Zustand gekennzeichnet. Wieder ist ein größerer Abstand zwischen den beiden jüngeren Altersgruppen und der ältesten Gruppe erkennbar.

Im Folgenden werden die Unterschiede zwischen den Altersgruppen mittels Levene-Tests auf Varianzgleichheit betrachtet. Da dieser die Varianzhomogenität beurteilt, wird die Nullhypothese „Varianzen sind gleich“ kontrolliert. Der F-Wert für identische Stichproben würde „eins“ betragen. Wenn der Wert größer oder kleiner als „eins“ ist, deutet dies auf

einen Unterschied in den Gruppen hin, lässt allerdings noch keine Aussage über dessen Signifikanz zu. Dies wird durch einen Levene-Test (Test auf Varianzgleichheit) bestimmt und mit dem p-Wert angezeigt. Bei $p < 0,05$ wird die Nullhypothese verworfen und die Alternativhypothese „Varianzen sind nicht gleich“ angenommen. Diese Unterscheidung ist für die Auswahl der richtigen Testung bzw. des richtigen Wertes in der Auswertung des „T-Tests für die Mittelwertgleichheit“ relevant.

Tabelle 22 zeigt das Ergebnis des Levene-Tests für die Altersgruppen der 18–39 und 40–59-Jährigen. Da der p-Wert in allen vier Zuständen über 0,05 liegt wird die Nullhypothese („Varianzen sind gleich“) angenommen und die Alternativhypothese („Varianzen sind ungleich) verworfen. Hierdurch ist ersichtlich, dass sich die Varianzen der Mittelwerte der Reaktionszeiten nicht signifikant unterscheiden. Somit ist von einer homogenen Varianz für die Altersgruppe der 18–39 und 40–59-Jährigen auszugehen.

		F	p-Wert
rested_before	Varianzen sind gleich	0,0	0,830
tired_before	Varianzen sind gleich	0,5	0,481
rested_after	Varianzen sind gleich	0,9	0,357
tired_after	Varianzen sind gleich	1,3	0,261

Tabelle 22: Test auf Varianzgleichheit (Levene-Test) der 18–39 und 40–59-Jährigen

Mittels T-Tests für unabhängige Stichproben (T-Test für die Mittelwertgleichheit) wird nun in Tabelle 23 überprüft, ob es statistisch signifikante Unterschiede zwischen der Altersgruppe der 18–39-Jährigen und 40–59-Jährigen gibt. Da im Levene-Test (Tabelle 22) die Nullhypothese angenommen wurde, werden in der Auswertung des „T-Tests für Mittelwertgleichheit“ die Werte aus der Zeile „Varianzen sind gleich“ verwendet. Da die jeweiligen Nullhypothesen („die Mittelwerte sind gleich“) angenommen werden müssen ($p > 0,05$), ist kein statistisch signifikanter Unterschied zwischen den Reaktionszeiten der Altersgruppe eins und zwei bei ausgeruht vor der Simulation ($t(56) = -0,9$, $p = 0,367$), müde vor der Simulation ($t(56) = -0,1$, $p = 0,932$), ausgeschlafen nach der Simulation ($t(56) = -1,3$, $p = 0,209$) und müde nach der Simulation ($t(56) = -0,3$, $p = 0,764$) nachweisbar.

		T	df	p-Wert (2-seitig)	Mittlere Differenz	Standard- fehler der Differenz	95% Konfidenz- intervall der Differenz	
							Untere	Obere
rested_before	Varianzen sind gleich	-0,9	56,0	0,367	-6,0	6,6	-19,3	7,2
	Varianzen sind nicht gleich	-0,9	55,9	0,367	-6,0	6,6	-19,3	7,2
tired_before	Varianzen sind gleich	-0,1	56,0	0,932	-0,6	7,3	-15,2	14,0
	Varianzen sind nicht gleich	-0,1	55,7	0,932	-0,6	7,3	-15,2	14,0
rested_after	Varianzen sind gleich	-1,3	56,0	0,209	-9,5	7,5	-24,4	5,5
	Varianzen sind nicht gleich	-1,3	53,9	0,209	-9,5	7,5	-24,4	5,5
tired_after	Varianzen sind gleich	-0,3	56,0	0,764	-2,4	8,1	-18,7	13,8
	Varianzen sind nicht gleich	-0,3	55,8	0,764	-2,4	8,1	-18,7	13,8

Tabelle 23: T-Test für die Mittelwertgleichheit der 18–39 und 40–59-Jährigen

Andere Ergebnisse erzielte der Vergleich der 18–39-Jährigen mit den über 60-Jährigen, da der Levene-Test für Varianzgleichheit (Tabelle 24) bei „tired_before“ (müde und vor der Simulation) einen signifikanten Unterschied ($p = 0,015$) in den Varianzen ergibt (Nullhypothese: Varianzen sind gleich wird abgelehnt; Alternativhypothese: Varianzen sind ungleich wird angenommen). Für alle anderen Zustände und Zeiten ergeben sich jedoch wie schon zuvor keine signifikanten Unterschiede in den Varianzen, da die p-Werte allesamt über 0,05 liegen.

		F	Signifikanz
rested_before	Varianzen sind gleich	2,1	0,149
tired_before	Varianzen sind gleich	6,3	0,015
rested_after	Varianzen sind gleich	3,1	0,085
tired_after	Varianzen sind gleich	3,1	0,086

Tabelle 24: Test auf Varianzgleichheit (Levene-Test) der 18–39 und 60+ Jährigen

Der T-Test für Mittelwertgleichheit (Tabelle 25) ergibt einen statistisch signifikanten Unterschied in allen Zuständen zwischen den Reaktionszeiten der Altersgruppen der 18–39-Jährigen mit den über 60-Jährigen, wobei die Reaktionszeit der älteren Gruppe beispielsweise in der ausgeruhten Testung vor der Simulation durchschnittlich 32,8 Millisekunden langsamer war (95%-KI[-47,7; -17,9]), $t(54) = -4,4$, $p < 0,001$). In der Messung im müden Zustand und nach der Simulation betrug der Unterschied durchschnittlich 29,4 Millisekunden (95%-KI [-48,9; -9,9]), $t(54) = -3,0$, $p = 0,004$).

		T	df	p-Wert (2-seitig)	Mittlere Differenz	Standard- fehler der Differenz	95% Konf.- intervall der Differenz	
							Untere	Obere
rested_before	Varianzen sind gleich	-4,4	54,0	0,000	-32,8	7,4	-47,7	-17,9
	Varianzen sind nicht gleich	-4,4	49,9	0,000	-32,8	7,5	-47,8	-17,8
tired_before	Varianzen sind gleich	-3,0	54,0	0,005	-27,1	9,2	-45,5	-8,7
	Varianzen sind nicht gleich	-2,9	44,3	0,006	-27,1	9,3	-45,9	-8,4
rested_after	Varianzen sind gleich	-4,1	54,0	0,000	-35,5	8,7	-52,8	-18,1
	Varianzen sind nicht gleich	-4,0	44,6	0,000	-35,5	8,8	-53,2	-17,8
tired_after	Varianzen sind gleich	-3,0	54,0	0,004	-29,4	9,7	-48,9	-9,9
	Varianzen sind nicht gleich	-3,0	46,5	0,005	-29,4	9,9	-49,3	-9,5

Tabelle 25: T-Test für die Mittelwertgleichheit der 18–39 und 60+ Jährigen

Schließlich wurde noch die Varianzgleichheit der Altersgruppe 40–59 und 60+ getestet. Beim Levene-Test (Tabelle 26) ergab sich keine Signifikanz, da alle p-Werte größer als 0,05 waren und somit nach dem Schema „Varianzen sind gleich“ ausgewertet werden muss.

		F	Signifikanz
rested_before	Varianzen sind gleich	1,5	0,220
tired_before	Varianzen sind gleich	3,9	0,055
rested_after	Varianzen sind gleich	0,8	0,370
tired_after	Varianzen sind gleich	0,8	0,363

Tabelle 26: Test auf Varianzgleichheit (Levene-Test) der 40–59 und 60+ Jährigen

Im T-Test für die Mittelwertgleichheit (Tabelle 27) ergibt sich ein signifikanter Unterschied zwischen den Gruppen der 40–59-Jährigen und über 60-Jährigen ($p < 0,05$; für alle Zustände und Zeiten). Beispielsweise war der Mittelwert der Reaktionszeiten der müden 40–59-Jährigen vor der Simulation durchschnittlich 26,5 Millisekunden kleiner (95%-KI [-45,3; -7,7]), $t(54) = -2,8$, $p = 0,007$).

		T	df	p-Wert (2-seitig)	Mittlere Differenz	Std-fehler der Differenz	95% Konfidenz- intervall der Differenz	
							Untere	Obere
rested_before	Varianzen sind gleich	-3,5	54,0	0,001	-26,8	7,5	-41,9	-11,7
	Varianzen sind nicht gleich	-3,5	50,8	0,001	-26,8	7,6	-42,0	-11,5
tired_before	Varianzen sind gleich	-2,8	54,0	0,007	-26,5	9,4	-45,3	-7,7
	Varianzen sind nicht gleich	-2,8	46,3	0,008	-26,5	9,5	-45,6	-7,4
rested_after	Varianzen sind gleich	-2,8	54,0	0,007	-26,0	9,3	-44,7	-7,3
	Varianzen sind nicht gleich	-2,8	50,0	0,008	-26,0	9,4	-44,9	-7,2
tired_after	Varianzen sind gleich	-2,7	54,0	0,009	-27,0	10,0	-46,9	-7,0
	Varianzen sind nicht gleich	-2,7	48,1	0,01	-27,0	10,1	-47,2	-6,7

Tabelle 27: T-Test für die Mittelwertgleichheit der 40–59 und 60+ Jährigen

3.2.4 Einfluss des Geschlechts auf die Reaktionszeiten

In den Tests der Innersubjektkontraste (Tabelle 28) kann die Hypothese abgelehnt werden, dass sich statistisch signifikante Interaktionen zwischen Geschlecht und Zeit ($p = 0,926$), Geschlecht und Zustand ($p = 0,603$) sowie Geschlecht, Zeit und Zustand ($p = 0,818$) zeigen.

	Quadratsumme vom Typ III	Mittel der Quadrate	F	p-Wert
Zeit 2	2336,2	2336,2	10,9	0,001
Zeit 2 * Geschlecht	1,9	1,9	0,0	0,926
Zustand 2	7073,9	7073,9	17,9	0,000
Zustand 2 * Geschlecht	108,0	108,0	0,3	0,603
Zeit 2 * Zustand 2	34,1	34,1	0,2	0,634
Zeit 2 * Zustand 2 * Geschlecht	8,0	8,0	0,1	0,818

Tabelle 28: Tests der Innersubjektkontraste – Interaktion zwischen Geschlecht, Zeit und Zustand

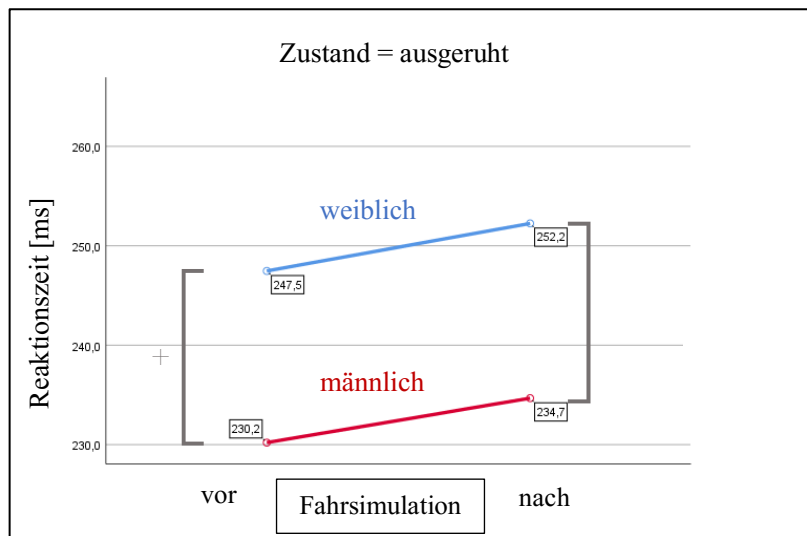
Innerhalb der Geschlechter wird mit dem Test der Zwischensubjekteffekte (Tabelle 29) verdeutlicht, dass sich die Reaktionszeiten statistisch signifikant zwischen Frauen und Männern unterscheiden ($p = 0,006$).

	Quadratsumme vom Typ III	Mittel der Quadrate	F	p-Wert
Konstanter Term	20.389.973,3	20.389.973,3	5.611,7	0,000
Geschlecht	29.057,6	29.057,6	8,0	0,006

Tabelle 29: Tests der Zwischensubjekteffekte – Unterschied zwischen Frauen und Männern

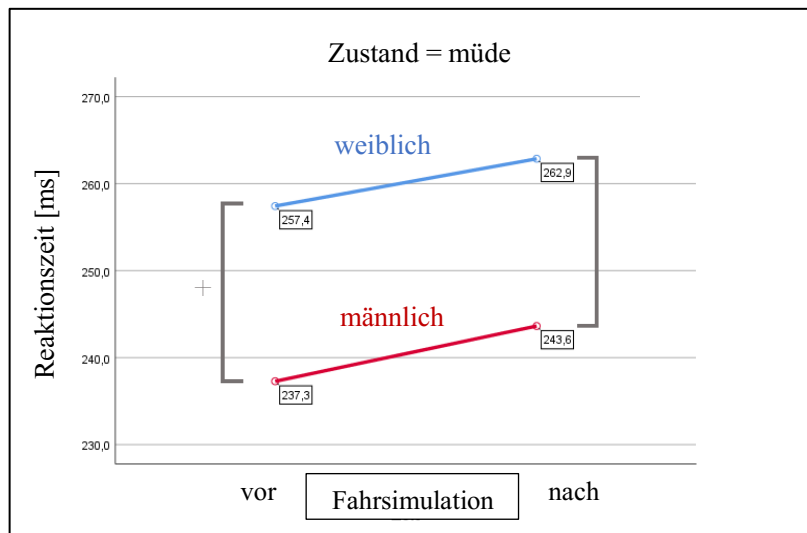
In den folgenden Abbildungen der geschätzten Mittelwerte wird dieser Unterschied dargestellt. Zunächst befindet sich die Zeit auf der X-Achse, also wird die Zeit vor und nach der Simulation verglichen. Abbildung 23 zeigt die ausgeruhten, Abbildung 24 die müden Teilnehmenden. Die eingezeichneten Werte stehen für die geschätzten Mittelwerte der jeweiligen Gruppe. Aus Abbildung 24 ergibt sich eine Veränderung bei den Männern von 230,2 Millisekunden vor der Simulation auf 234,7 Millisekunden nach der Autofahrt im ausgeruhten Zustand. Wohingegen die Frauen zunächst bei 247,5 Millisekunden liegen und nach der Simulation auf eine Reaktionszeit von 252,2 Millisekunden kommen.

Abbildung 23: Unterschied der Reaktionszeiten je Geschlecht dargestellt als geschätzte Mittelwerte im ausgerufenen Zustand



Auf der Y-Achse ist die Reaktionszeit (230–260 Millisekunden) skaliert, während auf der X-Achse die Zeit (vor der Simulation, nach der Simulation) gekennzeichnet ist. Unter allen Messungen der ausgeruhten Personen weisen die Teilnehmerinnen (blau) höhere Reaktionszeiten als die männliche Gruppe (rot) auf. Der graue Balken gibt die Signifikanz der Unterschiede an ($p \leq 5\%$ nur Balken; $p \leq 1\%$ +; $p \leq 0,1\%$ ++).

Abbildung 24: Unterschied der Reaktionszeiten je Geschlecht dargestellt als geschätzte Mittelwerte im müden Zustand

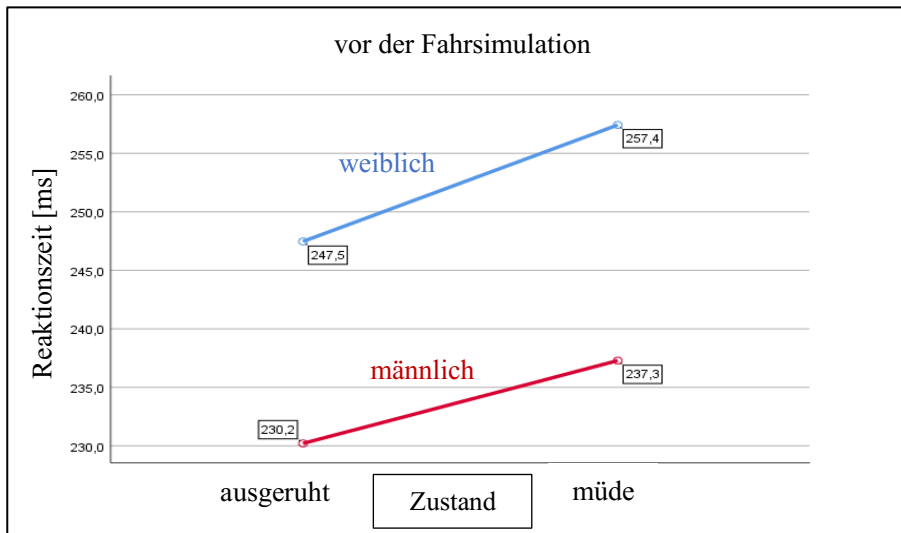


In dieser Abbildung ist auf der Y-Achse die Reaktionszeit (230–260 Millisekunden) dargestellt, während auf der X-Achse die Zeit (vor der Simulation, nach der Simulation) abzulesen ist. Auch bei den Tests der müden Personen erreichen die Teilnehmer (rot) kürzere Reaktionszeiten als die weibliche Gruppe (blau). Der graue Balken gibt die Signifikanz der Unterschiede an ($p \leq 5\%$ nur Balken; $p \leq 1\%$ +; $p \leq 0,1\%$ ++).

In Abbildung 25 und 26 werden die Unterschiede mit dem Zustand auf der X-Achse dargestellt. Während die Abbildung 25 die Werte vor der Simulation präsentiert, zeigt Abbildung 26 die Ergebnisse nach der Simulation. Auch hier lässt sich ein deutlicher

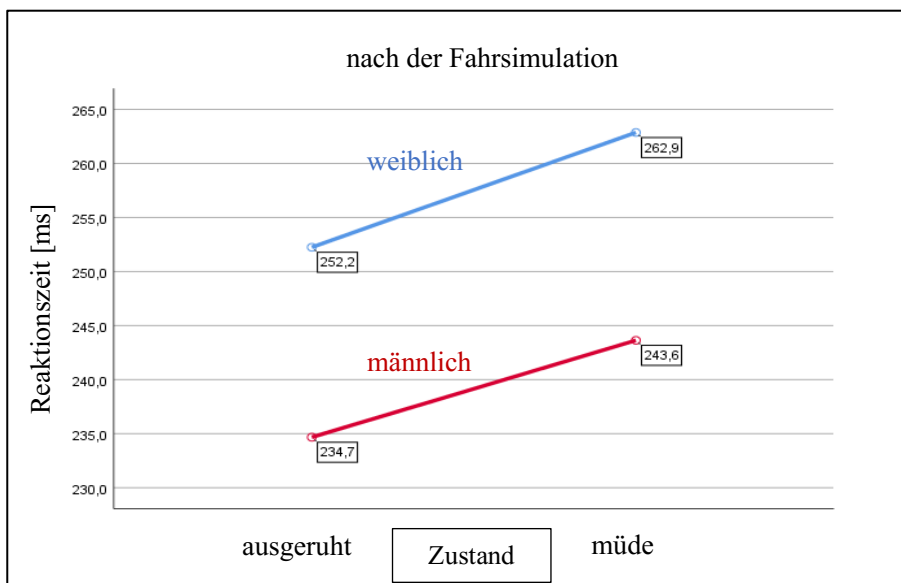
Abstand erkennen. Die geschätzten Mittelwerte lassen sich wieder aus den Abbildungen ablesen. So erzielten die Männer im ausgeruhten Zustand nach der Simulation einen Mittelwert von 237,3 Millisekunden, wohingegen die Frauen im Durchschnitt erst nach 257,4 Millisekunden reagierten.

Abbildung 25: Unterschied der Reaktionszeiten je Geschlecht dargestellt als geschätzte Mittelwerte vor der Simulation



In dieser Abbildung werden die beiden Geschlechter (Frauen = blau, Männer = rot) vor der Simulationsfahrt miteinander verglichen. Auf der Y-Achse ist die Reaktionszeit (230–260 Millisekunden) eingezeichnet und auf der X-Achse kann der Zustand (ausgeruht, müde) abgelesen werden.

Abbildung 26: Unterschied der Reaktionszeiten je Geschlecht dargestellt als geschätzte Mittelwerte nach der Simulation



Die Reaktionszeit wird in Millisekunden (240–270) auf der Y-Achse angezeigt, während auf der X-Achse der Zustand (ausgeruht, müde) eingezeichnet ist. Auch nach der Simulation waren die Teilnehmerinnen (blau) langsamer als die Testteilnehmer (rot).

Dieser Unterschied wird nun auch noch durch den Levene-Test auf Varianzgleichheit (Tabelle 30) untersucht. Da die Nullhypothese verworfen wird ($p < 0,05$ in allen Zuständen und Zeiten), wird der nachfolgende T-Test für die Mittelwertgleichheit nach dem Schema „Varianzen sind nicht gleich“ ausgewertet.

		F	Signifikanz
rested_before	Varianzen sind gleich	9,3	0,003
tired_before	Varianzen sind gleich	4,8	0,032
rested_after	Varianzen sind gleich	8,5	0,005
tired_after	Varianzen sind gleich	7,4	0,008

Tabelle 30: Test auf Varianzgleichheit (Levene-Test) – Unterschied zwischen Frauen und Männern

Der Unterschied zwischen den Reaktionszeiten der Frauen und Männer, welcher zuvor bereits grafisch dargestellt wurde, kann mit diesem Test (Tabelle 31) als signifikant bewiesen werden ($p < 0,05$; für alle Zustände und Zeiten). So war der Mittelwert der Reaktionszeiten der müden Frauen vor der Simulation durchschnittlich 20,1 Millisekunden größer (95%-KI [5,4; 34,9]), $t(68,0) = 2,7$, $p = 0,008$).

		T	df	p-Wert (2-seitig)	Mittlere Differenz	Standard- fehler d. Differenz	95% Konf.- intervall d. Differenz	
							Untere	Obere
rested_before	Varianzen sind gleich	2,7	83,0	0,008	17,3	6,4	4,6	29,9
	Varianzen sind nicht gleich	2,6	65,6	0,010	17,3	6,5	4,2	30,3
tired_before	Varianzen sind gleich	2,8	83,0	0,007	20,1	7,2	5,8	34,5
	Varianzen sind nicht gleich	2,7	68,0	0,008	20,1	7,4	5,4	34,9
rested_after	Varianzen sind gleich	2,4	83,0	0,020	17,6	7,4	2,9	32,3
	Varianzen sind nicht gleich	2,3	60,4	0,026	17,6	7,7	2,2	33,0
tired_after	Varianzen sind gleich	2,5	83,0	0,016	19,2	7,8	3,7	34,8
	Varianzen sind nicht gleich	2,4	64,8	0,020	19,2	8,1	3,1	35,3

Tabelle 31: T-Test für die Mittelwertgleichheit – Unterschied zwischen Frauen und Männern

4 Diskussion

Übermüdung am Steuer ist nicht nur in Österreich, sondern weltweit ein gefährliches Verkehrsproblem, das zu schwerwiegenden und sogar tödlichen Verletzungen führen kann. Laut einer Forschungsarbeit des Österreichischen Verkehrssicherheitsfonds, kann „davon ausgegangen werden, dass durch Müdigkeit zwischen 15 und 20% aller Verkehrsunfälle verursacht werden.“ (Kirchbichler et al. 2014)

Müdigkeit kann durch verschiedenste Symptome signalisiert werden. Die Geräuschwahrnehmung wird häufig intensiver und höhere Lautstärke als störend empfunden. (Omann 2009) Besonders in stressigeren oder unangenehmen Situationen reißt der Geduldsfaden schneller und auch emotionalere Reaktionen treten häufiger und intensiver auf. (Kirchbichler et al. 2014) Durch längeren Schlafentzug sinkt die Leistungsfähigkeit und auch die Konzentration. Da Informationen auch langsamer verarbeitet werden, funktionieren die Wachsamkeit und das Arbeitsgedächtnis schlechter als im wachen Zustand. (Nguyen 1998)

4.1 Beantwortung der Forschungsfrage und Hypothesen

Wie stark die Reaktionszeit von Müdigkeit beeinflusst wird und wie gefährlich diese im Straßenverkehr sein kann, konnte mit der „WachSens“-Studie aufgezeigt werden. Dazu wurde die psychomotorische Wachsamkeitsaufgabe (Psychomotor-Vigilance-Test-B) nicht während, sondern vor und nach simulierten Autofahrten absolviert. Dabei wurde ein signifikanter Unterschied in den Reaktionszeiten von müdem und wachem Zustand nachgewiesen, wobei den Teilnehmenden bei den Tests sehr wohl bewusst war, dass Schnelligkeit gefragt ist und diese daher mit Konzentration auf ihre Reaktion fokussiert waren. Dieses Ergebnis behielt für alle untersuchten Altersgruppen und beide Geschlechter Gültigkeit.

Im Rahmen der deskriptiven statistischen Auswertung wurde die Verteilung der Reaktionszeiten (Mittelwert, Median, Standardabweichung, Minimum und Maximum) betrachtet und die Unterschiede grafisch in Boxplots abgebildet. Vor der Simulation waren die Reaktionszeiten niedriger als nach der monotonen, dunklen Fahrsimulation, einzig bei den Teilnehmerinnen der ersten Altersgruppe (18–39) war dies knapp nicht der Fall. Die höchsten und somit langsamsten Reaktionszeiten in allen Tests erzielten die Frauen über

60 Jahre. Hingegen waren die männlichen 18–39-Jährigen stets die Schnellsten, ausgenommen im müden Zustand nach der Simulation, wo die männlichen 40–59-Jährigen den besten Durchschnittswert erreichten. Der Unterschied zwischen wach und müde war in allen Bereichen erkennbar, wobei der deutlichste Abstand zwischen wach vor der Simulation und müde danach auftrat. Dies bestärkte die Hypothese, dass Müdigkeit eine Auswirkung auf die Reaktionszeiten hat, wobei sich diese in den Altersgruppen und je Geschlecht unterschiedlich stark abzeichnet.

Neben der Reaktionszeit wurde auch die Fehleranzahl, wie häufig die Reaktionszeit („Taste drücken nach Aufscheinen der Millisekunden“) 355 Millisekunden bzw. 500 Millisekunden überschritt, gemessen. In allen Zuständen gab es fehlerlose Teilnehmende, die stets innerhalb der definierten Grenzwerte reagierten. Die Altersgruppe, der über 60-Jährigen, sammelte die meisten verfehlten Reaktionen. Da sich die Fehleranzahl im müden und ausgeruhten Zustand nicht signifikant unterschied, ist diese zur Erkennung von Müdigkeit ungeeignet.

Nach Empfehlung von Basner et al. (2011) wurden in der „WachSens“-Studie zusätzlich die schnellsten und langsamsten 10% der Reaktionszeiten ausgewertet. Die schnellsten 10% im ausgeruhten Zustand vor der Simulation brauchten durchschnittlich 190,6 Millisekunden für eine Reaktion, wohingegen die langsamsten 10% lediglich einen Mittelwert von 315,0 Millisekunden erreichten; das ist eine um 65% längere Reaktionszeit. Während die langsamste Reaktion der schnellsten 10% bei 298,6 Millisekunden lag, betrug diese bei den langsamsten 10% sogar 475,0 Millisekunden; das ist eine um 59% längere Reaktionszeit. Der deutlichste Unterschied entsteht, wenn das Minimum der schnellsten 10% (151,6 Millisekunden) mit dem Maximum der langsamsten 10% (475,0 Millisekunden) verglichen wird; hier zeigt sich eine um 3,13-mal längere Reaktionszeit.

Darüber hinaus wurde untersucht, ob ein Unterschied in den Reaktionszeiten zwischen älteren und jüngeren Personen besteht und Müdigkeit beeinflussend wirkt. Nach Altersgruppen gegliedert, war eine Steigerung der Mittelwerte von den Jüngeren zu den Älteren erkennbar. Die jüngste Gruppe der 18–39-Jährigen war sogar unabhängig vom Zustand (wach/müde) oder der Zeit (vor/nach der Simulation) stets schneller als die älteste Gruppe der über 60-Jährigen. Der Unterschied zwischen den ersten beiden Altersgruppen war wesentlich geringer als der Abstand zur dritten Altersgruppe. Der T-Test auf Mittelwertgleichheit zeigte einen signifikanten Unterschied in den Reaktionszeiten der 18–

39-Jährigen mit den über 60-Jährigen sowie der 40–59-Jährigen mit den über 60-Jährigen, wohingegen kein signifikanter Unterschied zwischen den jüngeren beiden Gruppen festgestellt wurde.

Durch Tests der Innersubjektkontraste ließ sich beweisen, dass sowohl Zustand ($p < 0,001$) als auch Zeit ($p = 0,001$) einen statistisch signifikanten Einfluss auf die Reaktionszeit haben. Eine statistisch signifikante Interaktion von Zustand und Zeit mit der Reaktionszeit lag jedoch nicht vor ($p = 0,618$).

In Post-hoc-Analysen wurde durch paarweise Vergleiche der Mittelwerte auf einen Unterschied in den Reaktionszeiten vor und nach der Simulation sowie zwischen ausgeruht und müde getestet. Sowohl im ausgeruhten ($p = 0,009$) als auch im müden ($p = 0,013$) Zustand erwies sich ein statistisch signifikanter Unterschied zwischen den Reaktionszeiten vor versus nach der Simulation.

Zur genaueren Untersuchung der Auswirkung von Müdigkeit auf die Reaktionszeiten, wurden die Mittelwerte der Reaktionszeiten vor der Simulation sowie die beiden Mittelwerte nach der Simulation miteinander verglichen. Die Testpersonen waren im ausgeruhten Zustand und vor der Autofahrt signifikant ($p = 0,001$) schneller bzw. nach der Simulation im müden Zustand signifikant langsamer ($p < 0,001$).

Der abschließende Vergleich weiblicher und männlicher Reaktionszeiten mit dem Test der Zwischensubjekteffekte, bestätigte die Hypothese, dass sich die Reaktionszeiten statistisch signifikant unterscheiden ($p = 0,006$). Der Unterschied zwischen den Reaktionszeiten der Frauen und Männer konnte auch mit einem T-Test auf Mittelwertgleichheit als signifikant nachgewiesen werden ($p < 0,05$; für alle Zustände und Zeiten).

4.2 Literaturvergleich

Ähnliche Ergebnisse für die im Rahmen der „WachSens“-Studie gemessenen Reaktionszeiten sind in vergleichbaren Studien zu finden. Beispielsweise führte Jain et al. (2015) Reaktionstests mit 120 Medizinstudierenden im Alter von 18–20 Jahren durch. Diese erzielten eine durchschnittliche Reaktionszeit von 247,6 Millisekunden mit einer Standardabweichung von 18,5 Millisekunden. Im Vergleich dazu erreichten in der „WachSens“-Studie die 18–39-Jährigen ausgeruht und vor der Simulation eine durchschnittliche Reaktionszeit von 225,7 Millisekunden bei einer Standardabweichung von 24,7 Millisekunden (Frauen: 233,1 Millisekunden; Männer: 218,1 Millisekunden). Nach

der Autofahrt und im müden Zustand war diese Gruppe etwas langsamer mit einer Durchschnittsreaktionszeit von 242,3 Millisekunden bei einer Standardabweichung von 29,9 Millisekunden (Frauen: 242,5 Millisekunden; Männer: 242,1 Millisekunden). In einer Studie von Nikam und Gadkari (2012) wiesen 30 Männer im Alter von 18–20 Jahren eine durchschnittliche Reaktionszeit von 220,4 Millisekunden mit einer Standardabweichung von 28,3 Millisekunden auf, während die gleichaltrigen 30 Frauen durchschnittlich 236,6 Millisekunden (Standardabweichung: 33,5 Millisekunden) benötigten. Darüber hinaus testeten Nikam und Gadkari (2012) auch die Reaktionszeit von jeweils 30 Frauen und Männern im Alter von 65–75 Jahren. Die männliche Gruppe war mit einer Durchschnittszeit von 332,3 Millisekunden (Standardabweichung: 42,2 Millisekunden) etwas schneller als die weibliche Gruppe, deren durchschnittlich Reaktionszeit 341,3 Millisekunden (Standardabweichung: 41,7 Millisekunden) betrug. In der „WachSens“-Studie benötigte die älteste Gruppe der über 60-Jährigen Frauen durchschnittlich 275,4 Millisekunden im ausgeruhten und 287,1 Millisekunden im müden Zustand. Ebenfalls vor der Autofahrt betrug die durchschnittliche Reaktionszeit der Männer im ausgeruhten Zustand 246,8 Millisekunden und bei der müden Messung 249,5 Millisekunden.

In der Literatur wird bereits über unterschiedliche Reaktionszeiten von Frauen und Männer berichtet. (Jain et al. 2015, Nikam und Gadkari 2012, Shelton und Kumar 2010, Silverman 2006) So konnten in einer Studie von Jain et al. (2015) 60 Männer im Alter von 18–20 Jahren eine mittlere Reaktionszeit von 239,7 Millisekunden (Standardabweichung: 13,0 Millisekunden) erzielen, während die gleichaltrigen 60 Frauen durchschnittlich 255,5 (Standardabweichung 19,9 Millisekunden) benötigten. Jain et al. (2015) beschreibt eine mögliche Ursache für die Differenz der Geschlechter in der stärkeren motorischen Reaktion der Männer, also dem Weg von Stimulus zur Muskelkontraktion. Die Dauer der folgenden Anspannung sei bei Frauen und Männern hingegen gleich. In einer Meta-Analyse von Silverman (2006) wird eine Tendenz innerhalb des betrachteten Studienzeitraums von 70 Jahren beschrieben, in welcher sich die Reaktionszeit zwischen den Geschlechtern langsam annähert. Dies könnte auf mehr sportliche Schnelligkeitsübungen und Trainings, bzw. gesteigerten Wettbewerbsgeist und Selbstvertrauen der Frauen, aber auch auf eine Zunahme des verlangsamenden Übergewichts bei Männern zurückzuführen sein. (Silverman 2006) Die positive Auswirkung von Sport auf die Reaktionszeit wurde auch von

Jain et al. (2015) beschrieben, da es unter den regelmäßig trainierenden Medizinstudierenden keine signifikanten Unterschiede zwischen den Geschlechtern gab.

4.3 Limitationen und offene Forschungsfragen

Die Handhabung des Tablets mit der Reaktionszeit und der zu betätigende Druckknopf könnte für ältere Personen eine größere Herausforderung als für jüngere Teilnehmende dargestellt haben und sich somit negativ auf deren Reaktionszeiten ausgewirkt haben. Darüber hinaus war den Teilnehmenden der „WachSens“-Studie bewusst, dass während der dreiminütigen Testdauer höchste Konzentration aufzuwenden ist, um schnell zu reagieren. Wenngleich dieses Testverfahren als wissenschaftlich etabliert gilt, ist in Hinblick auf Schlussfolgerungen, die den täglichen Straßenverkehr betreffen, limitierend anzumerken, dass bei Autofahrten die schnelle Reaktion und Aufmerksamkeit ohne spezifische Ankündigung und über einen längeren Zeitraum gefordert sind. Im Rahmen der Testung konnte jedoch der negative Einfluss von Müdigkeit auf die Reaktionszeiten, deren Verlängerung wiederum zu einer erhöhten Unfallgefahr beiträgt, nachgewiesen werden. Ein spannendes Forschungsergebnis stellen die signifikanten Unterschiede zwischen den weiblichen und männlichen Reaktionszeiten dar. Die spezifischen Differenzen und Ursachen bieten ein interessantes Forschungsfeld für zukünftige Studien. Zusätzlich birgt eine genaue Analyse der deutlich langsameren Reaktionen der über 60-Jährigen das Potential mit vertiefender Forschung zu mehr Sicherheit im Straßenverkehr beizutragen.

Literaturverzeichnis

- AAA FOUNDATION FOR TRAFFIC SAFETY (2018): 2017 Traffic Safety Culture Index, American Automobile Association Foundation for Traffic Safety, 1–27.
- AMERICAN ACADEMY OF SLEEP MEDICINE BOARD, D.; WATSON, N. F.; MORGENTHALER, T.; CHERVIN, R.; CARDEN, K.; KIRSCH, D.; KRISTO, D.; MALHOTRA, R.; MARTIN, J.; RAMAR, K.; ROSEN, I.; WEAVER, T.; WISE, M. (2015): Confronting Drowsy Driving: The American Academy of Sleep Medicine Perspective, *Journal of Clinical Sleep Medicine*, 11, 1335–1336.
- ASCHOFF, J. (1998): Circadian parameters as individual characteristics, *Journal of Biological Rhythms*, 13, 123–31.
- ASCHOFF, J.; GERECKE, U.; WEVER, R. (1967): Desynchronization of human circadian rhythms, *The Japanese journal of physiology*, 17, 450–457.
- BASNER, M.; DINGES, D. F. (2011): Maximizing sensitivity of the psychomotor vigilance test (PVT) to sleep loss. *Sleep*, 34, 581–591.
- BASNER, M.; MOLLICONE, D.; DINGES, D. F. (2011): Validity and sensitivity of a brief psychomotor vigilance test (PVT-B) to total and partial sleep deprivation. *Acta Astronaut*, 69, 949–959.
- BRANDES, R.; LANG, F.; SCHMIDT, R. F. (2019): *Physiologie des Menschen, mit Pathophysiologie*, 32. Aufl., Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag GmbH Deutschland.
- BUNDESANSTALT STATISTIK AUSTRIA (2020): Unfälle mit Personenschaden [online] https://www.statistik.at/web_de/statistiken/energie_umwelt_innovation_mobilitaet/verkehr/strasse/unfaelle_mit_personenschaden/index.html [19.05.2021].
- BUNDESMINISTERIUM FÜR INNERES (2020): Verkehrsstatistik 2019 [online] https://www.bmi.gv.at/202/Verkehrsangelegenheiten/unfallstatistik_vorjahr.aspx [19.05.2021].
- CHANG, A. M.; AESCHBACH, D.; DUFFY, J. F.; CZEISLER, C. A.; (2015): Evening use of light-emitting eReaders negatively affects sleep, circadian timing, and next-morning alertness. *PNAS*, 112(4), 1232–1237.
- DEUTSCHER VERKEHRSSICHERHEITSRAT E.V. (o.J.): Vorsicht Sekundenschlaf! – Kampagne klärt über die Gefahren von Müdigkeit am Steuer auf [online] <https://www.dvr.de/programme/kampagnen/vorsicht-sekundenschlaf/> [19.05.2021].
- DINGES, D.F.; POWELL, J.W. (1985): Microcomputer analyses of performance on a portable, simple visual RT task during sustained operations, *Behavior Research Methods, Instruments, and Computers* 17, 652–655.

- FRÜHWIRTH, M. (2018): Studienprotokoll, WACHsens – Fahrtüchtigkeitsbewertung bei teilautomatisiertem Fahren durch physiologische, verhaltens- und kamerabasierte Sensorik, Human Research – Institut für Gesundheitstechnologie und Präventionsforschung GmbH, Technische Universität Graz.
- GONCALVES, M.; AMICI, R.; LUCAS, R.; AKERSTEDT, T.; CIRIGNOTTA, F.; HORNE, J.; LEGER, D.; MCNICHOLAS, W. T.; PARTINEN, M.; TERAN-SANTOS, J.; PEIGNEUX, P.; GROTE, L. (2015): Sleepiness at the wheel across Europe: a survey of 19 countries. *J Sleep Res*, 24, 242–253.
- GOSWAMI, N.; ABULAFIA, C.; VIGO, D.; MOSER, M.; CORNELISSEN, G.; CARDINALI, D. (2020): Falls Risk, Circadian Rhythms and Melatonin: Current Perspectives, *Clinical interventions in aging*, 15, 2165–2174.
- GRAHAM, D.M.; WONG, K. (2008): Melanopsin-expressing, Intrinsically Photosensitive Retinal Ganglion Cells (ipRGCs), *Webvision: The Organization of the Retina and Visual System*.
- HILDEBRANDT, G.; MOSER, M.; LEHOFER, M. (2013): Chronobiologie und Chronomedizin. Biologische Rhythmen – Medizinische Kompetenzen, 2. Aufl., Weiz: Gesundheitsleitsystem.
- HIRSHKOWITZ, M.; WHITON, K.; ALBERT, S. M.; ALESSI, C.; BRUNI, O.; DONCARLOS, L. et al. (2015): National Sleep Foundation’s updated sleep duration recommendations: final report, *Sleep Health: Journal of the National Sleep Foundation*, Band 4, 233–243.
- HORNE, J.; REYNER, L. (1999): Vehicle accidents related to sleep: a review, *Occup Environ Med*, 56, 289–294.
- JAIN, A.; BANSAL, R.; KUMAR, A.; SINGH, K.D. (2015): A comparative study of visual and auditory reaction times on the basis of gender and physical activity levels of medical first year students, *International Journal of Applied and Basic Medical Research*, 5(2), 124–127.
- JENKINS, J. G.; DALLENBACH, K. M. (1924): Obliviscence During Sleep and Waking, *The American Journal of Psychology*, 35, 605–612.
- JESSEN, N. A.; MUNK, A. S.; LUNDGAARD, I.; NEDERGAARD, M. (2015): The Glymphatic System: A Beginner's Guide, *Neurochemical research*, 40(12), 2583–2599.
- KAUFMANN, C.; FRÜHWIRTH, M.; MESSERSCHMIDT, D.; MOSER, M.; EICHBERGER, A.; AREFNEZHAD, S. (2020): Driving and tiredness: Results of the behaviour observation of a simulator study with special focus on automated driving, *Transactions on Transport Sciences*, 11(2), 51–63.
- KIRCHBICHLER, S.; TOMASCH, E.; HOSCHOPF, H.; MOSER, J.; SALEH, P.; ETL, F.; MOCANU, I.; STEFFAN, C. (2014): ALERT – Anforderungsliste an C2X Systeme zur Erhöhung der

Verkehrssicherheit im Hinblick auf Müdigkeit, Ablenkung und Unaufmerksamkeit. Österreichischer Verkehrssicherheitsfonds, 30. Band, Graz: Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie.

- LEPROULT, R.; VAN CAUTER, E. (2010): Role of sleep and sleep loss in hormonal release and metabolism, *Endocrine development*, 17, 11–21.
- MOSER, M. (2017): Vom richtigen Umgang mit der Zeit. Die heilende Kraft der Chronobiologie, 2. Aufl., Berlin: Allegria.
- MOSER, M.; FRÜHWIRTH, M.; KENNER, T. (2008): The symphony of life. Importance, interaction, and visualization of biological rhythms, *IEEE Engineering in Medicine and Biology Magazine*, 27(1), 29–37.
- MOSER, M.; FRÜHWIRTH, M.; PENTER, R.; WINKER, R. (2006): Why life oscillates – from a topographical towards a functional chronobiology, *Cancer causes and control*, 17(4), 591–599.
- NATIONAL HIGHWAY TRAFFIC SAFETY ADMINISTRATION (NHTSA) (o.J.): Drowsy Driving [online] <https://www.nhtsa.gov/risky-driving/drowsy-driving> [19.05.2021].
- NEDERGAARD M. (2013): Neuroscience. Garbage truck of the brain, *New York: Science*, 340(6140), 1529–1530.
- NGUYEN, L. T.; JAUREGUI, B.; DINGES, D. F. (1998): Changing behaviors to prevent drowsy driving and promote traffic safety: Review of proven, promising, and unproven techniques, American Automobile Association Foundation for Traffic Safety, Pennsylvania: National Transportation Library.
- NIKAM, L. H.; GADKARI, J. V. (2012): Effect of age, gender and body mass index on visual and auditory reaction times in Indian population, *Indian journal of physiology and pharmacology*, 56(1), 94–99.
- OMANN, D. (2009): Die rechtlichen Folgen von Müdigkeit am Steuer, Kuratorium für Verkehrssicherheit [online] https://www.ots.at/presseaussendung/OTS_200904_30_OT0094/die-rechtlichen-folgen-von-muedigkeit-am-steuer [19.05.2021].
- OWENS, J. (2014): Adolescent sleep working group. Committee on adolescence. Insufficient sleep in adolescents and young adults: An update on causes and consequences. *Pediatrics*, 134, 921–932.
- OWENS, J. M.; DINGUS, T. A.; GUO, F.; YOUJIA, F.; PEREZ, M.; MCCLAFFERTY, J.; TEFFT, B. C. (2018): Prevalence of drowsy driving crashes: Estimates from a large-scale naturalistic driving study, Washington: AAA Foundation for Traffic Safety, 1–6.
- ÖSTERREICHISCHES STRAFGESETZBUCH (StGB), BGBl 1974/60: Das Rechtsinstitut der Fahrlässigkeit; siehe dazu auch ausführlich Burgstaller/Schütz in Höpfel/Ratz (Hrsg), Wiener Kommentar zum StGB (2020), § 6.

- PLOG, B. A.; NEDERGAARD, M. (2018): The Glymphatic System in Central Nervous System Health and Disease: Past, Present, and Future, *Annual review of pathology*, 13, 379–394.
- ROENNEBERG, T. (2019): *Das Recht auf Schlaf. Eine Kampfschrift für den Schlaf und ein Nachruf auf den Wecker*, 1. Aufl., München: dtv Verlagsgesellschaft GmbH und Co. KG.
- SCHLACK, R.; HAPKE, U.; MASKE, U.; BUSCH, M.; COHRS, S. (2013): Frequency and distribution of sleep problems and insomnia in the adult population in Germany: results of the German Health Interview and Examination Survey for Adults (DEGS1). *Bundesgesundheitsblatt Gesundheitsforschung Gesundheitsschutz*, 56, 740–748.
- SILVERMAN, I.W. (2006): Sex Differences in Simple Visual Reaction Time: A Historical Meta-Analysis. *Sex Roles* 54, 57–68.
- SHELTON, J.; KUMAR, G. P. (2010): Comparison between auditory and visual simple reaction times. *Neuroscience and Medicine*, 1(1), 30–32.
- TONONI, G.; CIRELLI, C. (2016): *Sleep and Synaptic Down-Selection*. BUZSAKI, G.; CHRISTEN, Y.; *Micro-, Meso- and Macro-Dynamics of the Brain*. Cham (CH).
- TONONI, G.; CIRELLI, C. (2020): Sleep and synaptic down-selection. *Eur J Neurosci*, 51, 413–421.
- WEESS, H.-G. (2018): *Schlaf wirkt Wunder. Alles über das wichtigste Drittel unseres Lebens*, München: Droemer Verlag.
- WRIGHT, K. P. JR.; DRAKE, A. L.; FREY, D. J.; FLESHNER, M.; DESOUZA, C. A.; GRONFIER, C.; CZEISLER, C. A (2015): Influence of sleep deprivation and circadian misalignment on cortisol, inflammatory markers, and cytokine balance, *Brain, behavior, and immunity*, 47, 24–34.
- YARROUSH, R.; SULLIVAN, M. J.; EKSTRAND, B. R. (1971): Effect of sleep on memory: 2. Differential effect of the first and second half of the night, *Journal of Experimental Psychology*, 88(3), 361–366.
- ZULLEY J.; GEISLER, P. (2004): Der Schlaf – Ruhe und Aktivität, *Anästhesiologie und Intensivmedizin*, 45, 634–641.
- ZULLEY, J. (2020): persönliche E-Mail-Korrespondenz [März 2020].
- ZULLEY, J. (2007): Physiologie des Schlafes: Ein Prozess aktiver Erholung, *Pharmazie in Unserer Zeit*, 36(3), 176–179.
- ZULLEY, J. (2004): Schlaf und Leistung, Vortragsunterlagen [online] http://www.skolamed.de/hot/hot2004/presentation_zulley.pdf [19.05.2021].