

Institut für Visualisierung und Interaktive Systeme

Universität Stuttgart  
Universitätsstraße 38  
D-70569 Stuttgart

Bachelorarbeit

**Gamifikation und Evaluierung  
eines Handy-Toolkits zur  
Bestimmung kognitiver  
Performanz**

Ken Singer

**Studiengang:** Softwaretechnik

**Prüfer/in:** Prof. Dr. Albrecht Schmidt

**Betreuer/in:** Dr. Tonja Machulla,  
Dr. Tilman Dinger

**Beginn am:** 2. November 2016

**Beendet am:** 4. Mai 2017

**CR-Nummer:** H.5.2



## Kurzfassung

Unsere kognitive Performanz ist über den Tag hinweg starken Schwankungen unterlegen. Zu einem Teil sind insbesondere die zirkadianen Rhythmen für diese Schwankungen verantwortlich, welche von Mensch zu Mensch unterschiedlich sind und maßgeblich durch den Chronotypen der Person bestimmt werden. Zum anderen zeigen andere Faktoren, wie die vorherige Nahrungszunahme, Koffeinzufuhr, aber auch der vorangegangene Schlaf, Auswirkungen und tragen zu den Schwankungen bei. Nathaniel Kleitman gilt als der erste Wissenschaftler, dem ein Zusammenhang zwischen der kognitiven Performanz und den zirkadianen Rhythmen aufgefallen ist. Aufbauend auf seinen Erkenntnissen wird erforscht, wie sich diese Schwankungen am besten messen lassen, um in Zukunft Systemen die Möglichkeit zu geben, sich auf die momentane kognitive Leistung eines Menschen einstellen zu können. Diese Circadian-Aware-Systems sollen in Zukunft den Menschen unterstützen und entlasten. So könnten Kalenderapplikationen kognitiv anspruchsvolle Termine zu Zeiten planen, zu denen der jeweilige Mensch die geforderte kognitive Leistung erbringen kann. Das würde den Stress im Alltag verringern und stressbedingten Krankheiten entgegenwirken. In dieser Arbeit wird ein vorhandenes Toolkit zur Bestimmung der kognitiven Performanz gamifiziert, damit es sich besser als das bisherige Toolkit in den Alltag integrieren lässt. Dazu werden die einzelnen Aufgaben PVT, GNG und MOT in einen Spielablauf integriert und mit zusätzlichen Spiel-Design-Elementen ausgestattet. Anschließend wurde mit der Applikation eine Studie durchgeführt, um sie dahingehend zu evaluieren, ob sie die Schwankungen der kognitiven Performanz messen kann.



## **Danksagung**

An dieser Stelle möchte ich mich bei allen bedanken, die mir durch ihre Unterstützung den Abschluss dieser Arbeit ermöglicht haben.

Ich möchte mich bei meinen Betreuern Tonja Machulla und Tilman Dingler für die kompetente fachliche Unterstützung und ihr umfangreiches Feedback bedanken, was mir bei der Bearbeitung dieser Bachelorarbeit eine große Hilfe war. Des Weiteren möchte ich mich bei ihnen für die Bereitstellung der finanziellen Mittel, welche für die Durchführung der Studie benötigt wurden, bedanken.

Außerdem möchte ich mich gerne bei den Studienteilnehmern und den Korrekturlesern bedanken, die sich die Zeit dafür genommen haben.

Mein besonderer Dank gilt meinen Eltern, welche mir das Studium ermöglicht und mich immer unterstützt haben.



# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung</b>	<b>15</b>
<b>2</b>	<b>Zirkadiane Rhythmik der Aufmerksamkeit</b>	<b>19</b>
2.1	Frühe Forschung . . . . .	20
2.2	Aktuelle Forschung . . . . .	22
2.3	Übersicht über vorhandene Messverfahren . . . . .	25
2.3.1	Selbstbeobachtungsverfahren . . . . .	25
2.3.2	Fremdbeobachtungsverfahren . . . . .	27
2.3.2.1	Physiologische Verfahren . . . . .	27
2.3.2.2	Neuropsychologische Verfahren . . . . .	28
2.4	Fazit . . . . .	30
<b>3</b>	<b>Gamifikation</b>	<b>31</b>
3.1	Definition . . . . .	31
3.1.1	Game versus Play . . . . .	31
3.1.2	Spiel-Design-Elemente . . . . .	32
3.2	Beispiele . . . . .	33
3.2.1	Serious Games . . . . .	33
3.2.2	Games with a Purpose . . . . .	33
3.2.3	Gamifikation . . . . .	34
3.3	Fazit . . . . .	35
<b>4</b>	<b>Applikation</b>	<b>37</b>
4.1	Architektur . . . . .	37
4.1.1	Android-Paket . . . . .	37
4.1.2	Core-Paket . . . . .	39
4.2	Notifikationen . . . . .	40
4.3	Umfang . . . . .	41
4.3.1	Fragebögen . . . . .	41
4.3.2	Spieldurchlauf . . . . .	41
4.3.3	Spiel-Design-Elemente . . . . .	44
4.4	Logging . . . . .	46

<b>5</b>	<b>Studie</b>	<b>51</b>
5.1	Methode . . . . .	51
5.1.1	Versuchspersonen . . . . .	51
5.1.2	Versuchsaufbau . . . . .	51
5.1.3	Durchführung . . . . .	52
5.1.3.1	Fragebögen . . . . .	52
5.1.3.2	Spieldurchlauf . . . . .	52
5.1.3.3	Feedback . . . . .	53
5.2	Ergebnisse . . . . .	54
5.2.1	Datenanalyse . . . . .	54
5.2.1.1	Fragebögen . . . . .	54
5.2.1.2	PVT . . . . .	55
5.2.1.3	GNG . . . . .	58
5.2.1.4	MOT . . . . .	61
5.2.1.5	Notifikationen . . . . .	62
5.2.2	Feedback . . . . .	63
5.3	Diskussion . . . . .	66
5.3.1	Limitationen . . . . .	66
<b>6</b>	<b>Fazit</b>	<b>67</b>
6.1	Ausblick . . . . .	67
	<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>69</b>



# Abbildungsverzeichnis

2.1	Studienergebnisse von Kleitman . . . . .	21
2.2	Studienergebnisse von Aschoff und Wever . . . . .	22
2.3	Aufgaben des Toolkit Circog . . . . .	24
2.4	Stanford Sleepiness Scale . . . . .	26
2.5	Epworth Sleepiness Scale . . . . .	27
3.1	Designprozess für gamifizierte Anwendungen . . . . .	32
3.2	Serious Games - Influent . . . . .	33
3.3	Games with a Purpose - Foldit . . . . .	34
3.4	The Speed Camera Lottery . . . . .	35
4.1	Struktur des android-Paket . . . . .	38
4.2	Struktur des core-Paket . . . . .	39
4.3	Fragebögen der Applikation . . . . .	42
4.4	Tutorial der Applikation . . . . .	43
4.5	PVT der Applikation . . . . .	43
4.6	GNG der Applikation . . . . .	44
4.7	MOT der Applikation . . . . .	45
4.8	Bildschirme der Spiel-Design-Elemente . . . . .	46
4.9	Klassendiagramm Logger . . . . .	47
4.10	Sequenzdiagramm der Serverkommunikation . . . . .	48
4.11	ER-Diagramm der Datenbank . . . . .	49
5.1	Fehlerrate des MOT . . . . .	55
5.2	PVT1 und PVT2 kombiniert . . . . .	56
5.3	PVT1 und PVT2 separiert . . . . .	57
5.4	Einfluss von Koffein im PVT . . . . .	58
5.5	Reaktionszeiten im GNG . . . . .	59
5.6	Fehlerrate im Go-Task des GNG . . . . .	60
5.7	Fehlerrate im No-Go-Task des GNG . . . . .	61
5.8	Fehlerrate des MOT . . . . .	62
5.9	Bevorzugte Aufgabe der Applikation . . . . .	65



# Tabellenverzeichnis

2.1	Qualitätskriterien von Vigilanztests . . . . .	29
3.1	Spiel-Design-Elemente und Motive . . . . .	31
5.1	Übersicht der Appstarts pro Zeitslot . . . . .	63
5.2	Subjektive Bewertung des PVT . . . . .	63
5.3	Subjektive Bewertung des GNG . . . . .	64
5.4	Subjektive Bewertung des MOT . . . . .	64
5.5	Subjektive Bewertung zu Elementen der Applikation . . . . .	65



# Abkürzungsverzeichnis

**EEG** Elektroenzephalogramm. 27

**EMA** Ecological Momentary Assessment. 22

**ESS** Epworth Sleepiness Scale. 26

**FR** Fehlerrate. 16

**GNG** Go/No-Go Task. 23

**GUI** Graphical User Interface, deutsch: graphische Benutzeroberfläche. 16

**HUD** Head-up-Display. 40

**ID** Identifikator. 51

**KSS** Karolinska Sleepiness Scale. 25

**MOT** Multiple Object Tracking Task. 23

**MSLT** Multipler Schlaflatenz-Test. 26

**MWT** Maintenance of Wakefulness-Test. 28

**PST** Pupillographischer Schläfrigkeitstest. 28

**PVT** Psychomotor Vigilance Task. 22

**RT** Reaktionszeit. 16

**SD** Standardabweichung. 51

**SE** Standardfehler. 54

**SSS** Stanford Sleepiness Scale. 25

**XP** Erfahrungspunkte. 44



# 1 Einleitung

Der Tag ist für uns Menschen eine geschlossene Einheit mit einem Anfang und einem Ende und jeder neue Tag stellt einen kleinen Neuanfang dar, dem wir mit neuer Kraft entgegentreten. Es gibt nicht ohne Grund einige Redewendungen wie „Neuer Tag, neues Glück“ oder Zitate wie z. B. „Gib jedem Tag die Chance, der Schönste deines Lebens zu werden.“ von Mark Twain und „Carpe Diem“ von Horaz, welche, im Fall von Horaz, bis in die Antike zurückreichen und dennoch heutzutage Verwendung finden. Dabei ist in diesen Sätzen nicht die Rede von Stunden, Wochen oder Jahren, sondern von Tagen, die offenbar einen außergewöhnlich hohen Stellenwert im Vergleich zu den anderen Zeiteinheiten haben.

Die kulturelle Wichtigkeit könnte sich dadurch erklären lassen, dass der Tag eine enorm wichtige Rolle in der menschlichen Physiologie spielt, da viele unserer Körperfunktionen einem 24-Stunden-Rhythmus, also einem zirkadianen Rhythmus, unterliegen. Es folgen unter anderem der Blutdruck und die Körpertemperatur zirkadianen Rhythmen. Das ist nur eine kleine Auswahl an Körperfunktionen, die täglich von unseren *inneren Uhren* gesteuert werden. Der menschliche Körper verfügt über hunderte solcher innerer Uhren, die alle wiederum von einer *Haupt-Uhr* angeleitet werden, welche sich im Hypothalamus befindet und als Suprachiasmatischer Kern bezeichnet wird [HD00] [AMM+14].

Die zirkadianen Rhythmen wirken sich auch auf unsere kognitiven Fähigkeiten aus, sodass die Wachsamkeit, die Konzentrationsfähigkeit, die Merkfähigkeit und die Aufmerksamkeit über den Tag hinweg spürbar schwanken. Dabei sind die Schwankungen von Mensch zu Mensch unterschiedlich, was insbesondere dadurch zustande kommt, dass es verschiedene Chronotypen gibt. Es lassen sich zwei grundlegend unterschiedliche Gruppen unterscheiden. Die *early birds*, im Deutschen als Lerchen bezeichnet, sind Frühaufsteher, welche eher am Morgen eine höhere Leistungsfähigkeit aufweisen, während die sogenannten *night owls*, im Deutschen Eulen, eher am Abend kognitiv performant sind [AMM+14] [HD00]. Die Grenzen zwischen den beiden Typen sind allerdings nicht hart, sondern es befindet ein ganzes Spektrum dazwischen [AMM+16]. Weitere Faktoren, die unsere Aufmerksamkeit über den Tag beeinflussen und die bereits vorhandenen Schwankungen zusätzlich verstärken können, sind z. B. Schlafdauer und -qualität, Alter und die Persönlichkeit eines Menschen, also ob er z. B. introvertiert oder extrovertiert ist [AMM+16] [HD00].

Die interindividuellen zirkadianen Rhythmen führen dazu, dass die typischen Arbeitszeiten nicht ideal für alle Menschen sind, da die innere Uhr der Nachteulen sie später einschlafen lässt, sie aber sehr früh durch den Wecker geweckt werden. Ähnlich ist es bei den Frühaufstehern, die am Wochenende sozialen Aktivitäten frönen, die länger gehen, als es ihre innere Uhr vorsieht,

weshalb sie am nächsten Morgen früher aufwachen. Beides resultiert in einer Diskrepanz zwischen biologischer Zeit und sozialer Zeit, was zu Schlafstörungen und einem sogenannten sozialen Jetlag führt [WDMR06].

Im Gegensatz zu dem normalen Jetlag, wie er auf Reisen auftritt und von dem sich ein Mensch vergleichsweise leicht erholt, kann der soziale Jetlag das ganze Erwachsenenleben prägen. Im schlimmsten Fall führt dies zu schweren körperlichen Krankheiten, wie z. B. Diabetes und Krebs, aber es gibt auch Zusammenhänge zu psychischen Krankheiten, wie etwa der bipolaren Störung und Depression. Dieses Problem betrifft allerdings nicht nur Erwachsene, sondern auch Kinder und Jugendliche, bei denen der soziale Jetlag zu Alkohol- und Drogenkonsum, sowie zu Lerndefiziten führen kann [WDMR06].

Um diesen negativen Auswirkungen entgegenzutreten, wird in den letzten Jahren vermehrt in den Bereichen *Circadian Computing* und *Circadian-Aware-Systems* geforscht, die sich damit beschäftigen, wie sich der zirkadiane Rhythmus eines Menschen zuverlässig und einfach messen und anschließend verwenden lässt. So könnten Programme, die den Kontext des Nutzers in Bezug auf dessen Aufmerksamkeit kennen, ihre graphische Benutzeroberfläche (GUI) dementsprechend anpassen und z. B. einem Nutzer helfen, sich auf bestimmte Elemente zu konzentrieren, indem irrelevante Elemente ausgeblendet werden. Dadurch wird die Anzahl der zu verarbeitenden Reize verringert und der Nutzer entlastet. Des Weiteren könnten Kalender-Applikationen, die den zirkadianen Rhythmus des Nutzers kennen, Terminvorschläge unterbreiten. Termine mit einer hohen Anforderung an kognitive Funktionen könnten zu Zeiten geplant werden, zu denen der Nutzer sein Leistungshoch hat. Entsprechend könnten weniger anspruchsvolle Aktivitäten zu Zeiten niedriger kognitiver Performanz geplant werden.

Der zirkadiane Rhythmus der Aufmerksamkeit einer Person kann aus den Schwankungen der verschiedenen Reaktionszeiten (RTs) und Fehlerraten (FRs) errechnet werden, die aus der Durchführung verschiedener kognitiver Aufgaben resultieren. Diese Aufgaben sind meist repetitiv und müssen über einen längeren Zeitraum hinweg durchgeführt werden, um möglichst viele Werte zu generieren. Das führt dazu, dass die Motivation der Menschen sehr gering ist diese Aufgaben durchzuführen, falls sie nicht zusätzlich extrinsisch motiviert werden. Meistens handelt es sich dabei um eine Kompensation in Form von Geld.

Ziel dieser Bachelorarbeit ist es:

1. Ein vorhandenes Handy-Toolkit [DSM17] zu gamifizieren, um die Nutzer intrinsisch zu motivieren, sodass die Datenerhebung kostengünstiger und einfacher wird. Dadurch sollen sich mehr Menschen ansprechen und über einen längeren Zeitraum motivieren lassen, als es bei dem aktuellen Handy-Toolkit der Fall ist.
2. Das gamifizierte Handy-Toolkit dahingehend zu evaluieren, ob sich aus den gewonnenen Daten Schwankungen der Aufmerksamkeit ablesen lassen.



---

Die verbleibenden Kapitel sind wie folgt gegliedert:

In Kapitel 2 werden die ersten Arbeiten betrachtet, die sich mit dem Zusammenhang zwischen zirkadianer Rhythmik und der Aufmerksamkeit beschäftigten. Außerdem werden moderne Ansätze zum Messen der zirkadianen Schwankungen beschrieben und eine Übersicht über vorhandene Messverfahren gegeben. In Kapitel 3 wird das Konzept der Gamifikation erklärt und von ähnlichen Konzepten abgegrenzt. Kapitel 4 befasst sich mit dem Aufbau und der Funktionsweise der Applikation, die im Rahmen dieser Arbeit entwickelt wurde. Das Kapitel 5 erklärt den Aufbau der Studie und es werden die Ergebnisse analysiert. Zum Abschluss wird in Kapitel 6 die Arbeit zusammengefasst und ein Ausblick auf zukünftig mögliche Messmethoden gegeben.



## 2 Zirkadiane Rhythmik der Aufmerksamkeit

Als zentrale Komponente der kognitiven Fähigkeiten wird die *alertness* gesehen, der viele kognitive Funktionen unterliegen, wie z.B. die Lern- oder Merkfähigkeit [AMM+16]. Im Deutschen wird *alertness* mit Aufmerksamkeitsaktivierung übersetzt, was die „Fähigkeit des Organismus, kurzfristig eine allgemeine Reaktionsbereitschaft herzustellen“ ist [NG10]. Es wird zwischen zwei Komponenten der Aufmerksamkeitsaktivierung unterschieden, nämlich der tonischen und phasischen Aktivierung. Die tonische Aktivierung beschreibt die „allgemeine physiologische Aktivierung und Erhöhung der Reaktionsbereitschaft des Organismus“ [NG10], während die phasische Aktivierung die „Fähigkeit zur kurzfristigen Steigerung der Aufmerksamkeit im Hinblick auf einen Warnreiz“ [NG10] benennt. Für diese Arbeit ist die Komponente der tonischen Aktivierung interessant, da sie durch zirkadiane Rhythmen und die anderen genannten Faktoren beeinflusst wird und weshalb die Aufmerksamkeitsaktivierung Schwankungen von etwa 30% unterliegt [AMM+16]. Das wirkt sich dementsprechend auf unsere selektive und geteilte Aufmerksamkeit, sowie die Vigilanz aus, denen die Aufmerksamkeitsaktivierung zugrunde liegt.

Die selektive Aufmerksamkeit ist die „Fähigkeit, bestimmte Merkmale einer Aufgabe oder einer Situation auszuwählen, schnell und zuverlässig auf die ausgewählten Reize zu reagieren und sich durch irrelevante oder unwichtige Reize nicht ablenken zu lassen“ [NG10].

Die geteilte Aufmerksamkeit beschreibt die „Fähigkeit, zwei oder mehrere Aufgaben gleichzeitig zu bewältigen“ [NG10].

Schließlich definiert die Vigilanz „[...] die Fähigkeit, die Aufmerksamkeit in monotoner Situation über einen längeren Zeitraum auf erhöhtem Niveau zu halten mit der Bereitschaft, auf seltene und zufällig auftretende Reize adäquat zu reagieren“ [Mie10].

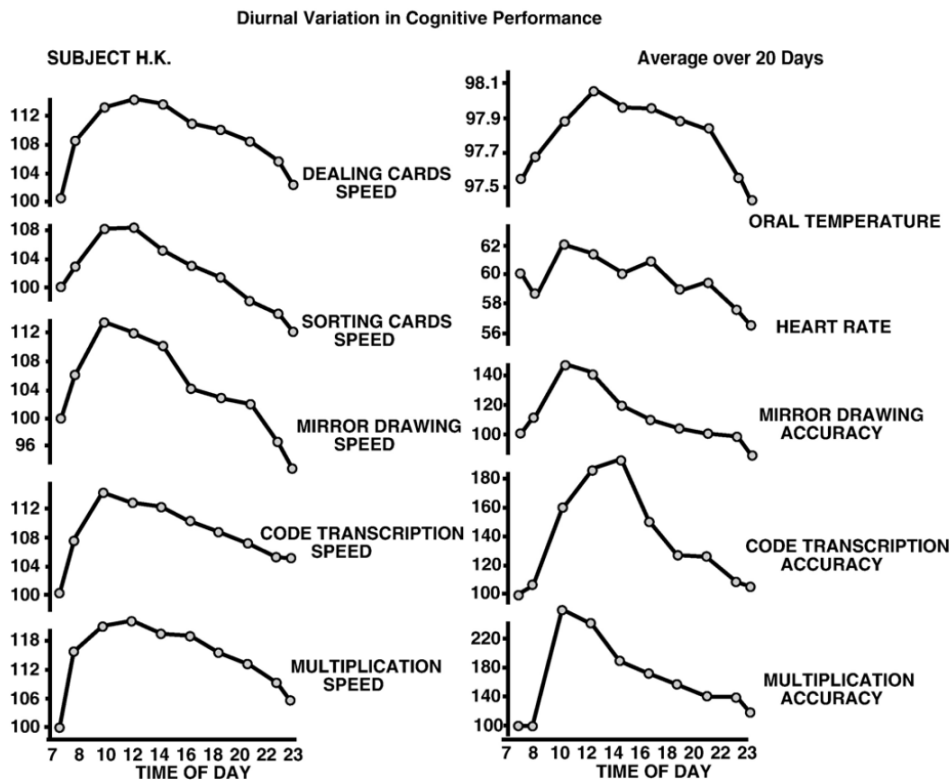
Des Weiteren sprechen Niemann und Gauggel [NG10] zusätzlich zwei andere Komponenten der Aufmerksamkeit an, die Mieg [Mie10] nicht erwähnt. Die Daueraufmerksamkeit ist eine Abwandlung der Vigilanz, mit dem Unterschied, dass die Reize in höherer Anzahl auftreten und eine höhere kognitive Leistung erbracht werden muss, um auf diese zu reagieren. Die exekutive Aufmerksamkeit ermöglicht die „willentliche[...] Kontrolle und Steuerung bei der Verarbeitung von Informationen“, also z. B. auf unerwünschte Reize nicht zu reagieren und sie auszublenden.

### 2.1 Frühe Forschung

Zu Beginn der Forschungen im Bereich der zirkadianen Rhythmen war es sehr aufwendig und teuer Versuche durchzuführen, da sie häufig in Laboren oder speziellen isolierten Einrichtungen durchgeführt werden mussten. Es wurden generell mehrere Testpersonen benötigt, die über mehrere Tage und Wochen hinweg beobachtet werden und mehrmals täglich verschiedenste und teils unangenehme Tests und Messungen absolvieren mussten. Zu diesen Messungen gehörte oft die Messung der Körpertemperatur, die oft als Variable und als Vergleichsrhythmus verwendet wurde. Des Weiteren wurden auch Desynchronitätsprotokolle durchgeführt. Dazu wurden spezielle Einrichtungen benötigt, die die Versuchspersonen vor Einflüssen von außen isolieren, um sie an einen verlängerten oder verkürzten Tag gewöhnen zu können.

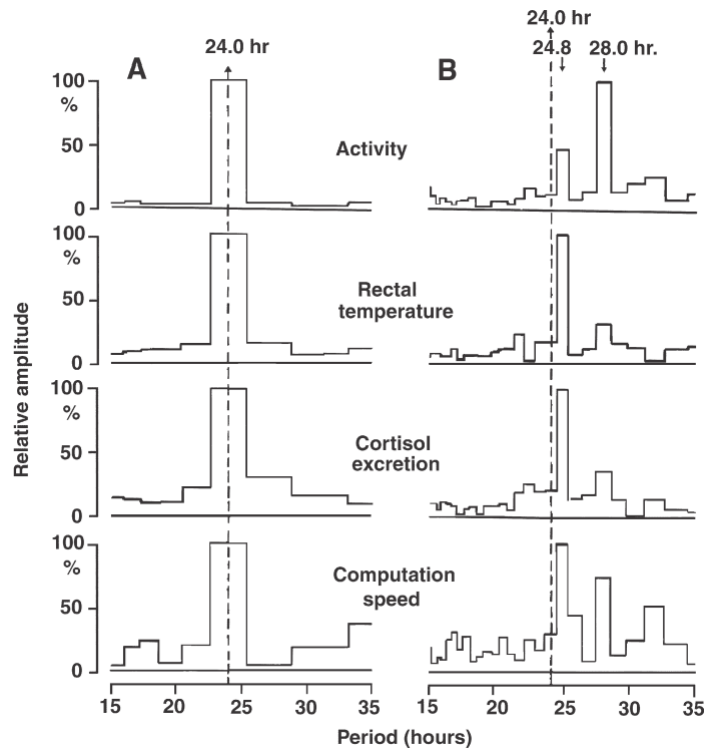
Im Jahr 1933 veröffentlichte Kleitman [Kle33] einen Artikel, in dem er als erster Wissenschaftler einen Zusammenhang zwischen der Körpertemperatur und kognitiver Performanz herstellen konnte [BC07]. Außerdem hat er damit gezeigt, dass die kognitive Performanz täglichen Schwankungen unterliegt, also einem zirkadianen Rhythmus folgt. In seinem Experiment hat er sechs Versuchspersonen mehrere Aufgaben gestellt, die sie fünfmal am Tag und über einen Zeitraum von 20 Tagen oder mehr ausführen mussten. Zwei der Versuchspersonen haben dabei im Labor geschlafen und zusätzliche Aufgaben bekommen, während die anderen vier die Aufgaben von ihrem Zuhause aus durchgeführt haben. Die verschiedenen Aufgaben waren z. B. Karten zu sortieren, gespiegelt zu zeichnen und das Multiplizieren von achtstelligen Zahlen. Dabei hat er beobachtet, dass die Kurven der Leistungen in den Aufgaben und die Kurve der Körpertemperatur parallel zueinander verliefen und die Kurven für Geschwindigkeit und Genauigkeit einen täglichen Rhythmus aufwiesen mit Minima früh am Morgen und spät am Abend und einem Maximum am Mittag. Dieser Versuch wurde schließlich noch mit einer weiteren Person durchgeführt, die die genannten Aufgaben zehnmal pro Tag und über einen Zeitraum von 20 Tagen durchgeführt hat. Die Ergebnisse aus dem Versuch sind in Abbildung 2.1 zu sehen. Es ist deutlich zu erkennen, dass die Geschwindigkeit und Genauigkeit in allen Aufgaben einen sehr ähnlichen Verlauf aufweisen, mit einem Maximum am Vormittag und Minima am frühen Morgen und späten Abend. Das gleiche Verhalten lässt sich an der Kurve der Körpertemperatur beobachten.

Etwa 40 Jahre später haben Aschoff und Wever ein Experiment durchgeführt, in dem sie die Tage der Teilnehmer künstlich auf 28h gestreckt haben, um den zirkadianen Rhythmus und den Schlaf-Wach-Zyklus zu desynchronisieren. Dabei haben sie zum ersten Mal die Periodendauer eines zirkadianen Rhythmus quantifiziert, der in ihrem Fall 24.8h betrug. Ihnen ist allerdings neben der 24.8h-Komponente auch eine 28.0h-Komponente aufgefallen, welche zum Schlaf-Wach-Zyklus gehörte und in Abbildung 2.2 zu sehen ist. Die 28.0h-Komponente ist besonders bei den Messwerten der Variable *computation speed* zu erkennen und weniger ausgeprägt bei den Variablen *rectal temperature* und *cortisol excretion*. Dies lässt darauf schließen, dass die kognitive Performanz nicht ausschließlich von dem zirkadianen Rhythmus abhängig ist, sondern der Schlaf-Wach-Zyklus ebenso viel Auswirkung darauf hat [BC07] und dass sich der



**Abbildung 2.1:** Die tägliche Variation in Genauigkeit und Geschwindigkeit in den einzelnen Aufgaben, wobei alle Werte mit dem ersten Wert des Tages, der um 7 Uhr morgens gemessen wurde, normiert und mit 100 multipliziert wurden. Die Ausnahme bilden die Werte der Körpertemperatur und der Herzrate, welche aus den Mittelwerten bestehen. Die Daten dieser Grafik stammen von einer Person, die die Tests über 20 Tage und zehnmals täglich durchgeführt hat. Entnommen aus [BC07].

zirkadiane Rhythmus nicht durch einen desynchronisierten Schlaf-Wach-Zyklus beeinflussen lässt.



**Abbildung 2.2:** Periodogram (A) gewohnter 24h Tag, (B) künstlicher 28h Tag. Entnommen aus [BC07].

## 2.2 Aktuelle Forschung

Heutzutage ist es ein Ziel der Forschung die Messung des zirkadianen Rhythmus außerhalb von Laboren durchzuführen. Das spart Zeit und Geld, außerdem können so größere Gruppen gleichzeitig untersucht werden, ohne dass sie sich den Unannehmlichkeiten der alten Messmethoden unterziehen müssen. Ein gutes Werkzeug, um dies umzusetzen, ist das Smartphone. In Deutschland und den USA besitzen über 90% der 18- bis 34-Jährigen eines [Pou16] und es wird geschätzt, dass bis zum Jahr 2020 80% der Erwachsenen weltweit ein Smartphone besitzen [MAM+16]. Dabei werden verschiedene Ansätze genutzt, wie die passive Untersuchung der Smartphone-Nutzung oder Applikationen, mit Hilfe derer die Versuchsperson bestimmte Aufgaben absolvieren muss. Eine beliebte Aufgabe, um die Aufmerksamkeit einer Versuchsperson zu messen, ist der Psychomotor Vigilance Task (PVT). Dabei werden dem Nutzer Stimuli gezeigt, auf die er mit einem Knopfdruck reagieren muss. Die Zeitabstände zwischen den Stimuli sind dabei zufällig gewählt. Der PVT wurde von Kay et al. [KRC+13] für Smartphones adaptiert und evaluiert, um ihn auch auf Touchscreens nutzen zu können [KRC+13]. Die erhobenen Daten können anschließend verwendet werden, um Rückschlüsse auf den zirkadianen Rhythmus der Versuchsperson zu schließen, um in Zukunft Applikationen die Möglichkeit zu geben, Entscheidungen basierend auf dem zirkadianen Rhythmus zu treffen.

Abdullah et al. [AMM+16] verfolgen in ihrer Arbeit das Ziel die Schwankungen der Aufmerksamkeit über das Smartphone zu messen, ohne dass der Nutzer Eingaben dafür tätigen oder Aufgaben durchführen muss. Dazu führten sie eine Studie durch, in der die Versuchspersonen eine Applikation installierten, mit der sie viermal am Tag sogenannte Ecological Momentary Assessments (EMAs) durchführen sollten und die parallel die Smartphone-Nutzung überwachte. Ecological Momentary Assessments dienen dazu den aktuellen Zustand der Versuchsperson in seiner natürlichen Umgebung in Echtzeit zu erfragen. Dabei soll verhindert werden, dass die Angaben der Versuchsperson durch fehlerhafte Erinnerung verfälscht werden [SSH08]. Im Falle von Abdullah et al. [AMM+16] besteht das EMA aus subjektiven Umfragen und der objektiven Messung durch einen PVT, genauer den PVT-Touch [KRC+13]. Die Umfragen umfassten Fragen aus der *Chalder Fatigue Scale* und der *Fatigue Visual Analogue Scale*, sowie Angaben von Aktivitäten in der letzten Stunde, zu denen die Koffein- oder Nahrungseinnahme, sportliche Aktivitäten oder das Schlafen gehörten, da diese Aktivitäten die Aufmerksamkeit positiv oder negativ beeinflussen können. Des Weiteren haben die Versuchspersonen jeden Tag ein Schlaf-Protokoll geführt, in dem sie unter anderem Angaben zur Zeit des Zubettgehens und des Aufwachens und der Anzahl der Minuten bis zum Einschlafen machten. Daraus haben Abdullah et al. [AMM+16] die Chronotypen bestimmt.

Anschließend wurden die erhobenen Daten der Ecological Momentary Assessments ausgewertet und mit den passiv gemessenen Smartphone-Nutzungsdaten verglichen. Sie sind zu dem Ergebnis gekommen, dass sich das Nutzungsverhalten in Zeiten erhöhter und geringerer Aufmerksamkeit merklich unterscheidet. So wird das Smartphone zu Zeiten erhöhter Aufmerksamkeit öfter verwendet, aber dafür vergleichsweise kurz. Im Vergleich dazu wird das Smartphone in Zeitabschnitten geringerer Aufmerksamkeit länger am Stück verwendet, aber weniger oft angeschaltet. In einer vorangegangenen Arbeit haben Abdullah et al. [AMM+14] außerdem eine Möglichkeit präsentiert, um selbst das Schlafverhalten passiv über das Smartphone zu beobachten und z. B. Rückschlüsse auf den Chronotyp ziehen zu können, ohne dass der Nutzer selbst eine Eingabe tätigen muss. Damit haben sie ein Modell entwickelt, das rein auf Basis von Nutzungsdaten des Smartphones arbeiten kann und keine weitere Interaktion des Nutzers benötigt, um die Aufmerksamkeitsschwankungen über den Tag hinweg bestimmen zu können.

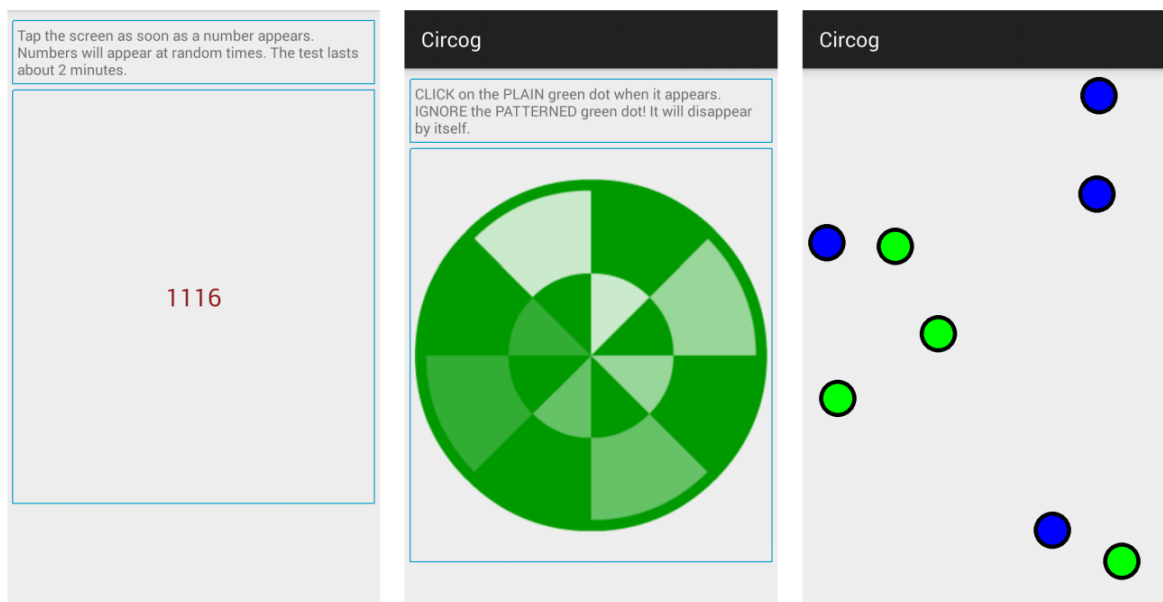
Dingler, Schmidt und Machulla [DSM17] haben wiederum ein mobiles Toolkit entwickelt, um den zirkadianen Rhythmus eines Nutzers zu bestimmen. Dieses Toolkit besteht aus einer Android-Applikation, welche kurze Umfragen und drei verschiedene Aufgaben kombiniert und dessen Durchführung nicht länger als fünf Minuten pro Durchlauf dauert. Damit die Nutzer die Applikation regelmäßig und verteilt über den Tag verwenden, wird der Nutzer über Notifikationen erinnert, die zwischen 8 Uhr morgens und 21 Uhr abends in 60 bis 90 Minuten Intervallen abgeschickt werden.

Die Umfragen sind dreigeteilt und umfassen unter anderem eine einmalige Umfrage zu Alter, Geschlecht und Beruf. Der zweite Teil besteht aus einer täglichen Umfrage, in der Fragen zum Schlaf gestellt werden. Dazu gehören Fragen zur Zeit des Aufstehens, der Anzahl der geschlafenen Stunden und der Qualität des Schlafs. Die letzte Umfrage wird bei jedem Start der Applikation durchgeführt und erfragt die aktuelle subjektive Aufmerksamkeit, sowie die Frage

nach etwaigen Koffeinkonsum in der letzten vergangenen Stunde. Die erste Aufgabe ist ein PVT, welcher als PVT-Touch [KRC+13] implementiert ist. Der PVT dauert etwa eine Minute und es werden dem Nutzer alle zwei bis sechs Sekunden Stimuli gezeigt, auf die es zu reagieren gilt. In dem Toolkit besteht der Stimulus aus der bisher vergangenen Zeit in Millisekunden bis zur Reaktion, wie in Abbildung 2.3 links zu sehen ist.

Ebenso dauert die zweite Aufgabe der Testbatterie etwa eine Minute. Dabei handelt es sich um einen sogenannten Go/No-Go Task (GNG). Dieser Task besteht aus zwei oder mehreren verschiedenen Stimuli, bezeichnet als Go- und No-Go-Stimuli. Das Toolkit beschränkt sich in diesem Fall auf zwei unterscheidbare Stimuli, einen komplett grünen Kreis für den Go-Stimulus und einen grünen Kreis mit einem Muster für den No-Go-Stimulus, welcher in Abbildung 2.3 mittig zu sehen ist. Die Aufgabe des Nutzers besteht darin, diese beiden unterschiedlichen Stimuli möglichst schnell zu unterscheiden und im Falle des Go-Stimulus mit einer Reaktion in Form von einer Berührung des Bildschirms zu antworten bzw. im Falle des No-Go-Stimulus nicht zu reagieren. Das Toolkit präsentiert dem Nutzer acht bis zwölf Stimuli, wobei diese zufällig in einem Intervall zwischen einer und acht Sekunden erscheinen können.

Die letzte der drei Aufgaben ist ein Multiple Object Tracking Task (MOT). Diese Aufgabe ist die kognitiv anstrengendste und fordert die geteilte Aufmerksamkeit des Nutzers. In dem Toolkit werden acht Kreise gezeigt, von denen zu Beginn vier Kreise grün aufleuchten, wie Abbildung 2.3 rechts dargestellt wird. Anschließend werden wieder alle Kreise uniform blau koloriert und beginnen sich für zehn Sekunden in zufällige Richtungen linear zu bewegen. Die Aufgabe ist es die vier zuvor aufblinkenden Kreise mit den Augen zu verfolgen und sie, nachdem sie zum Stillstand gekommen sind, wiederzufinden und anzutippen.



**Abbildung 2.3:** Die Umsetzungen der einzelnen Aufgaben PVT (links), GNG (mittig) und MOT (rechts) im mobilen Toolkit Circog. Entnommen aus [DSM17].



Mit dieser Applikation haben Dingler, Schmidt und Machulla [DSM17] eine Studie durchgeführt, in der sie zwölf Teilnehmer rekrutierten, die über 14 Tage hinweg, die Applikation sechsmal am Tag verwenden sollten. Nach der Auswertung der Daten konnten sie in den drei Aufgaben einen Abfall der kognitiven Performanz über den Tag hinweg feststellen und in den Daten des PVT einen deutlichen Tiefpunkt um 14 Uhr, der als *mid-afternoon dip* bekannt und typisch für die Schwankungen der kognitiven Performanz ist [HD00].

## 2.3 Übersicht über vorhandene Messverfahren

Es gibt einige Verfahren, die dazu entwickelt wurden, die Wachsamkeit und Aufmerksamkeit von Versuchspersonen zu messen und zu quantifizieren. Sie werden in die zwei Kategorien *Selbstbeobachtungsverfahren* 2.3.1 und *Fremdbeobachtungsverfahren* 2.3.2 unterteilt. In diesem Kapitel werden einige dieser Verfahren vorgestellt.

### 2.3.1 Selbstbeobachtungsverfahren

Die Selbstbeobachtungsverfahren zur Feststellung der Wachsamkeit und Aufmerksamkeit eines Menschen bestehen aus Fragebögen, die die Versuchsperson nach ihrer subjektiven Einschätzung ausfüllt. Es geht dabei in der Regel um die aktuelle Wachheit bzw. Schläfrigkeit des Probanden, weshalb diese Fragebögen meistens mehrmals pro Tag ausgefüllt werden, um ein Bild von dem Tagesverlauf zu bekommen. Der Nachteil an diesen Verfahren ist, dass man auf die Aufrichtigkeit der Versuchspersonen angewiesen ist, um gute Ergebnisse zu erzielen.

**Karolinska Sleepiness Scale.** Die Karolinska Sleepiness Scale (KSS) ist eine 9-Punkte-Skala, die die aktuelle Wachheit bzw. Schläfrigkeit erfragt. Die verbalen Anker der Skala variieren innerhalb der verfügbaren Literatur, allerdings haben Kaida et al. [KTÅ+06] eine Version der KSS gegen den PVT evaluiert, welche zuvor bereits im Jahre 1989 von Åkerstedt und Gillberg [ÅG90] in einer Studie evaluiert wurde. Die ursprünglich von Åkerstedt und Gillberg [ÅG90] verwendete Skala hat die folgenden verbalen Anker: (1) „extremely alert“, (3) „alert“, (5) „neither alert nor sleepy“, (7) „sleepy, but no difficulty remaining awake“ und (9) „extremely sleepy, fighting sleep“. Die geraden Zahlen besitzen lediglich die Zahl und keine weiteren verbalen Anker. Die KSS gilt als höchst valide und hat bereits in vielen Bereichen gute Ergebnisse erzielen können, wie z. B. in Studien zu Schichtarbeit oder Jetlag [KTÅ+06].

**Stanford Sleepiness Scale.** Die Stanford Sleepiness Scale (SSS) funktioniert ähnlich wie die KSS und dient ebenfalls dazu die aktuelle Wachheit bzw. Schläfrigkeit der Versuchsperson zu erfragen. Im Gegensatz zur KSS handelt es sich bei der SSS allerdings um eine 7-Punkte-Skala, bei der sämtliche Punkte mit verbalen Ankern versehen sind, wie in Abbildung 2.4 zu sehen. Außerdem erlaubt es die Skala der Versuchsperson anzugeben, dass sie zu einem bestimmten

Zeitpunkt geschlafen hat. Das ermöglicht das Ausfüllen eines Fragebogens, der den ganzen Tag betrachtet und somit das Sammeln von Informationen zu den Schlafgewohnheiten der Versuchspersonen. Laut Mieg [Mie10] wurden keine Validitätsprüfungen zur SSS publiziert, allerdings lasse die starke Verbreitung eine gewisse Validität vermuten.

Degree of Sleepiness	Scale Rating
Feeling active, vital, alert, or wide awake	1
Functioning at high levels, but not at peak; able to concentrate	2
Awake, but relaxed; responsive but not fully alert	3
Somewhat foggy, let down	4
Foggy; losing interest in remaining awake; slowed down	5
Sleepy, woozy, fighting sleep; prefer to lie down	6
No longer fighting sleep, sleep onset soon; having dream-like thoughts	7
Asleep	X

**Abbildung 2.4:** Stanford Sleepiness Scale. Entnommen aus [Dem].

**Epworth Sleepiness Scale.** Die Epworth Sleepiness Scale (ESS) unterscheidet sich grundlegend von den vorangegangenen Methoden. Sie wurde 1991 von Johns [Joh91] im Epworth Krankenhaus in Melbourne, Australien entwickelt und dient nicht dazu die Schläfrigkeit zu bestimmten Zeiten und somit ihren Tagesverlauf zu bestimmen, sondern möchte durch spezielle Fragen Rückschlüsse auf die durchschnittliche Tagesschläfrigkeit ziehen, um Schlafstörungen zu erkennen. Neben Fragen zu Name, Alter, Datum und Geschlecht, wobei das Alter nach der Deutschen Gesellschaft für Schlafforschung und Schlafmedizin (DGSM) [DGS07] nicht mehr benötigt wird, beinhaltet diese Skala bestimmte Situationen, zu denen die Versuchsperson angibt, wie hoch die Wahrscheinlichkeit ist, dass sie in dieser Situation einschläft, welche in Abbildung 2.5 dargestellt sind. Zur Einschätzung dieser Situationen gibt die Versuchsperson Zahlen von 0 bis 3 an, wobei 0 für *würde niemals einnicken*, 1 für *geringe Wahrscheinlichkeit einzunicken*, 2 für *mittlere Wahrscheinlichkeit einzunicken* und 3 für *hohe Wahrscheinlichkeit einzunicken*, steht [DGS07].

Johns [Joh92] hat selbst Studien zur Zuverlässigkeit durchgeführt [Joh92] und sieht eine Korrelation zwischen der ESS und dem Multiplen Schlaflatenz-Test (MSLT), der in Abschnitt 2.3.2 erklärt wird, dennoch konnten andere Wissenschaftler diese Korrelation in ihren Studien nicht beobachten [Mie10] [DGS07]. Trotzdem ist diese Skala sehr verbreitet und wird von

Situation	Wahrscheinlichkeit einzunicken
Im Sitzen lesend	① ② ③
Beim Fernsehen	① ② ③
Wenn Sie passiv (als Zuhörer) in der Öffentlichkeit sitzen (z.B. im Theater oder bei einem Vortrag)	① ② ③
Als Beifahrer im Auto während einer einstündigen Fahrt ohne Pause	① ② ③
Wenn Sie sich am Nachmittag hingelegt haben, um auszuruhen	① ② ③
Wenn Sie sitzen und sich mit jemand unterhalten	① ② ③
Wenn Sie nach dem Mittagessen (ohne Alkohol) ruhig dasitzen	① ② ③
Wenn Sie als Fahrer eines Autos verkehrsbedingt einige Minuten halten müssen	① ② ③
<i>Bitte nicht ausfüllen</i>	
Summe	

Abbildung 2.5: Epworth Sleepiness Scale. Entnommen aus [DGS07].

Ärzten als Test verwendet, um einen ersten Eindruck von der Tagesschläfrigkeit eines Patienten zu bekommen, da er sehr schnell und günstig durchzuführen ist.

### 2.3.2 Fremdbeobachtungsverfahren

Die Fremdbeobachtungsverfahren liefern objektive Daten, um die Wachsamkeit und Aufmerksamkeit einer Versuchsperson zu bestimmen. Sie lassen sich in zwei Gruppen, die physiologischen und neuropsychologischen Verfahren, unterteilen.

#### 2.3.2.1 Physiologische Verfahren

Die physiologischen Verfahren arbeiten zumeist mit den Aufzeichnungen eines Elektroenzephalogramm (EEG) und messen verschiedene Variablen, die mit der Vigilanz in Zusammenhang stehen [Mie10]. Zu den bekanntesten physiologischen Verfahren zählt die Temperaturmethode, welche bereits Kleitman [Kle33] verwendete. Bei dieser Methode wird die Körpertemperatur mehrmals am Tag gemessen und am Verlauf der Messwerte lässt sich der zirkadiane Rhythmus ablesen.

**Multipler Schlaflatenz-Test.** Der MSLT wurde 1976 von Carscadon und Dement an der Stanford Universität entwickelt und misst die Zeit, die eine Versuchsperson benötigt, um auf Kommando einzuschlafen, sowie die Zeit bis zum Auftreten der REM-Phasen. Etwa ein bis zwei Wochen vor dem Test sollten die Probanden ein Schlaftagebuch führen, da die vorangegangenen Tage das Ergebnis des MSLT beeinflussen können [Kel10]. Der eigentliche Test kann nur im Labor durchgeführt werden und sollte beginnen, nachdem die Versuchsperson bereits 1,5 bis 3 Stunden wach ist. Gemessen wird mindestens viermal pro Tag und jedes Mal muss sich die Versuchsperson in ein Bett legen und wird an Messgeräte angeschlossen. Sobald das Licht ausgeschaltet ist, wird die Zeit gestoppt und die Versuchsperson hat die Aufgabe einzuschlafen. Die Zeit wird gemessen, bis der Proband eingeschlafen und dies auf dem EEG zu sehen ist [Kel10]. Der hohe personelle und finanzielle Aufwand, sowie die umstrittene Validität, führen dazu, dass dieses Verfahren seltener zum Einsatz kommt [Mie10].

**Maintenance of Wakefulness-Test.** Der Maintenance of Wakefulness-Test (MWT) möchte, im Gegensatz zum MSLT, nicht die Zeit messen, die es benötigt einzuschlafen, sondern die Zeit, die eine Versuchsperson in einer monotonen Situation wach bleiben kann. Während des Versuchs sitzt die Versuchsperson in einem Stuhl, wobei ihr sämtliche Aktivitäten untersagt sind. Nach [Mie10] handelt es sich beim MWT um kein Standardverfahren und der personelle Aufwand, sowie die Kosten, verhalten sich genauso wie beim MSLT.

**Pupillographischer Schläfrigkeitstest.** Der Pupillographische Schläfrigkeitstest (PST) misst die Schwankungen der Pupillenweite mittels einer Infrarot-Kamera und bei völliger Dunkelheit. Ist die Aufmerksamkeitsaktivierung der Versuchsperson hoch, so bleibt die Pupillenweite konstant. Bei erhöhter Schläfrigkeit kommt es zu Oszillationen der Pupillenweite, die auch als Schläfrigkeitwellen bekannt sind [Veg07]. Durch den Zusammenhang zwischen der Aufmerksamkeit und den Schwankungen der Pupillenweite eignet sich dieser Test sehr gut, um die Schwankungen der Aufmerksamkeit über den Tag hinweg zu beobachten. Allerdings muss der Test erneut in einem Labor durchgeführt werden, da er an die technische Ausrüstung und geschultes Personal gebunden ist, was ihn wiederum mit einem erheblichen finanziellen und zeitlichen Aufwand verbindet [Mie10].

### 2.3.2.2 Neuropsychologische Verfahren

Die neuropsychologischen Verfahren stellen kognitive Anforderungen an die Versuchsperson, indem sie ihr z. B. einen Stimulus präsentieren, auf den die Versuchsperson adäquat reagieren muss. Dabei werden Variablen wie die RT oder die Fehlerrate gemessen. 1982 hat Johnson Qualitätskriterien festgelegt, die als Vorgabe für Tests der Aufmerksamkeit dienen und laut Mieig [Mie10] noch heute großteils gültig sind. Allein die Testdauer muss heute erwiesenermaßen nicht immer länger als 30 Minuten betragen, um gute Ergebnisse zu erzielen [LLD+04] und kann auch zu mehr Studienabbrüchen führen [Mie10].

Hauptsächlicher Bezug auf eine Sinnesmodalität (z. B. visuelles oder auditives System)
Aufgabendauer länger als 30 min.
Geringe Auftretenswahrscheinlichkeit des kritischen Stimulus
Randomisiertes Auftreten des kritischen Stimulus hinsichtlich zeitlicher und räumlicher Kriterien
Monotone Aufgabensituation
Keine Beteiligung von Gedächtnisfunktionen
Der kritische Stimulus sollte subjektiv als schwach wahrgenommen werden

**Tabelle 2.1:** Die Qualitätskriterien von Vigilanztests von Johnson, 1982. Die Kriterien wurden entnommen aus [Mie10]

**Wiener Testsystem.** Die moderne Version des Wiener Testsystems besteht aus mehreren verschiedenen neuropsychologischen Tests, darunter auch ein Vigilanztest, bei dem ein Leuchtpunkt über einen Kreis aus Punkten wandert. Sobald der Leuchtpunkt einen Punkt überspringt, soll die Versuchsperson das über ein Eingabegerät schnellstmöglich angeben. Bei diesem Test werden RT und Fehlerrate gemessen und er ist gut dazu geeignet Schwankungen der Vigilanz zu messen. Allerdings ist auch dieser Test mit hohen Kosten verbunden, die durch die Anschaffung spezieller Geräte entstehen [Mie10].

**Zimmermann Testbatterie.** Die Testbatterie von Zimmermann und Fimm besteht aus zwölf verschiedenen Aufgaben, die teilweise in verschiedenen Varianten und Schwierigkeitsgraden existieren. Unter diesen Tests befindet sich ebenfalls ein Vigilanztest, der in vier Varianten zur Verfügung steht. Die verschiedenen Varianten präsentieren alle Stimuli, auf die die Versuchsperson mit einem Tastendruck reagieren soll. Die Stimuli werden in den unterschiedlichen Varianten entweder akustisch, visuell oder akustisch und visuell präsentiert, was es auch ermöglicht die Vigilanz von Menschen mit ausgeprägter Sehschwäche zu messen. Allerdings weist dieser Test laut Mie [Mie10] eine geringe Zuverlässigkeit auf und wurde nicht validiert.

**Ambrocker Vigilanztest.** Dieser Vigilanztest wurde 1996 von Siller vorgestellt und wird auf einem handelsüblichen Computer durchgeführt. Der Versuchsperson wird eine abstrakte Straße dargestellt, bestehend aus zwei weißen Streifen links und rechts und einer gestrichelten Linie in der Mitte. Das Bild ist in Bewegung, sodass es wie eine Fahrt auf der Straße erscheint. In zufälligen Abständen wird der Versuchsperson ein Stimulus in Form eines weißen Rechtecks, der ein Hindernis auf der Straße darstellt, präsentiert, der zufällig im oberen Bildschirm Drittel erscheinen kann. Aus diesen Stimulus gilt es mit einem Druck auf die Leertaste des Computers zu reagieren. Gemessen werden die RTs und die Fehlerrate, wobei nur RTs, die innerhalb der ersten Sekunde nach Erscheinen des Rechtecks zustande kommen, gewertet werden [Mie10].

### **2.4 Fazit**

Diese Arbeit baut auf den Ergebnissen von Dinger, Schmidt und Machulla [DSM17] auf und verwendet die gleichen drei Aufgaben, also PVT, GNG und MOT, zur Messung der Aufmerksamkeit. Demnach handelt es sich dabei nur um neuropsychologische Aufgaben. Physiologische Verfahren kommen in dieser Arbeit nicht zum Einsatz. Zusätzlich werden den Versuchspersonen Fragen zur subjektiven Einschätzung gestellt, wofür unter anderem die KSS eingesetzt wird.

# 3 Gamifikation

## 3.1 Definition

Gamifikation lässt sich kurz in einem Satz als „the use of game design elements in non-game contexts“ [AKP+12] beschreiben. Das Ziel von Gamifikation ist es mit Hilfe von Spiel-Design-Elementen die Motivation und das Verhalten des Nutzers positiv zu beeinflussen. Eine Übersicht über Spiel-Design-Elemente, die sich aus Spielmechaniken und den resultierenden Spieldynamiken zusammensetzen, sowie deren zugehörigen Motive, ist in Tabelle 3.1 zu sehen. So führt z. B. ein Rankingsystem zu einem kompetitiven Spielerlebnis, was mit dem Motiv verbunden ist soziale Anerkennung zu erlangen. Darüber hinaus lässt sich die Gamifikation allerdings noch weit genauer von ähnlichen Konzepten abgrenzen, wie in den folgenden Abschnitten zu sehen ist.

Spiel-Design-Elemente		Motive
Spiel-Mechanik	Spiel-Dynamik	
Dokumentation von Verhaltensweisen	Exploration	Wissbegierde
Punktesysteme, Badges, Trophäen	Sammeln	Leistung
Ranglisten	Wettbewerb	Soziale Anerkennung
Ränge, Levels, Reputationspunkte	Statuserwerb	Soziale Anerkennung
Gruppenaufgaben	Zusammenarbeit	Sozialer Austausch
Zeitdruck, Aufgaben, Missionen	Herausforderung	Kognitive Stimulation
Avatare, virtuelle Welten, virtueller Handel	Entwickeln/Organisieren	Selbstbestimmung

**Tabelle 3.1:** Übersicht über Spiel-Design-Elemente und deren Motive. Der Inhalt der Tabelle wurde von [BL13] übernommen.

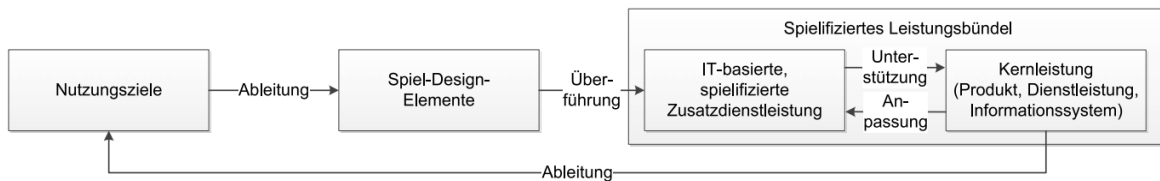
### 3.1.1 Game versus Play

Asaj et al. [AKP+12] beginnen damit, dass sie die englischen Wörter für spielen definieren und voneinander abgrenzen. Zunächst gibt es das Wort *play*, das sich vom altgriechischen *paidia* ableitet und eine freie und improvisierte Form des Spielens beschreibt, wohingegen das Wort *game* vom lateinischen *ludus* stammt und eine Form des Spielens beschreibt, die auf bestimmten Regeln und Zielen basiert. Laut Asaj et al. [AKP+12] wird sich im Zusammenhang

von Gamifikation meistens auf *ludus* bezogen, da in gamifizierten Anwendungen selten Wert auf *paidia* gelegt wird. Allerdings ist es nicht auszuschließen, dass auch gamifizierte Anwendungen ein Spielen im Sinne von *paidia* ermöglichen können.

#### 3.1.2 Spiel-Design-Elemente

Des Weiteren müssen gamifizierte Anwendungen von vollwertigen Videospiele abgegrenzt werden, da sie nur einzelne Elemente des Spiel-Designs verwenden, um ihr zugrundeliegendes Kernangebot, das z. B. ein Produkt, Service oder Informationssystem sein kann, damit anzureichern [BL13]. Abbildung 3.1 zeigt einen möglichen Designprozess einer gamifizierten Anwendung, bei dem der erste Schritt die Bestimmung der Nutzungsziele ist. Diese leiten sich aus dem Kernangebot ab und werden in Spiel-Design-Elemente überführt, welche wiederum bestimmte Nutzungsmotive aktivieren sollen, um gewünschte Verhaltensweisen beim Nutzer hervorzurufen. Die Spiel-Design-Elemente werden anschließend in ein gamifiziertes Leistungsbündel überführt, welches aus der neuen gamifizierten Zusatzdienstleistung besteht, welche nun das ebenso darin enthaltene Kernangebot unterstützt, welches sich wiederum an die Zusatzdienstleistung anpassen muss [BL13].



**Abbildung 3.1:** Designprozess für gamifizierte Anwendungen. Entnommen aus [BL13].

Damit unterscheiden sich gamifizierte Anwendungen nicht nur von herkömmlichen Spielen, die zu Unterhaltungszwecken entwickelt wurden, sondern auch von ähnlichen Konzepten, wie die *serious games* und die *games with a purpose*, bei welchen es sich um vollwertige Spiele handelt, welche aber auch ein höheres Ziel als die Unterhaltung haben. So umfassen *serious games* Videospiele, die einen gewissen Lernerfolg zum Ziel haben (siehe Abschnitt 3.2.1), wobei *games with a purpose* Spiele sind, welche dazu dienen Probleme mit Hilfe vieler Menschen zu lösen, die durch Computer noch nicht gelöst werden konnten (siehe Abschnitt 3.2.2) [BL13].



## 3.2 Beispiele

### 3.2.1 Serious Games

Laut Blohm und Leimeister [BL13] sind *serious games* Spiele, welche ein gewisses Lernziel haben. Bei Influent<sup>1</sup> handelt es sich um ein Spiel zum Sprachen lernen, das nebenbei eine kleine Geschichte erzählt, in der der Spieler der Hauptfigur hilft, neue Wörter kennenzulernen. Dem Spieler ist es in dem Spiel möglich sich in einer 3D-Wohnung frei zu bewegen und verschiedenste Alltagsgegenstände anzuklicken, die vom Spiel in der eingestellten Fremdsprache vorgelesen werden. Des Weiteren bietet das Spiel weitere Spielmodi, wie die Abfrage von Wörtern unter Zeitdruck und die Abfrage einer Zufallsliste, Erfolge, zusätzliche Aufgaben, eine Wortliste der bekannten Wörter und eine Fortschrittsanzeige.



Abbildung 3.2: Ansicht des Spiels Influent.

### 3.2.2 Games with a Purpose

*Games with a purpose* definieren Blohm und Leimeister [BL13] als Spiele, die speziell entwickelt wurden, um Probleme mit Hilfe von Spielern zu lösen, die mit Hilfe von Informationssystemen nicht gut gelöst werden konnten. Ein gutes Beispiel hierfür ist Foldit<sup>2</sup>, welches speziell für den Zweck entwickelt wurde, um mit Hilfe der Spieler Proteine zu falten. Eine Ansicht des Spiels ist in Abbildung 3.3 zu sehen. Die Struktur eines Proteins zu kennen ist wichtig, um die

<sup>1</sup><http://playinfluent.com/>

<sup>2</sup><https://fold.it/portal/>

### 3 Gamifikation

Funktionsweise zu verstehen und es mit Medikamenten angreifen zu können. Es zählt laut ihrer Informationsseite zu den schwierigsten und kostspieligsten Problemen der Biologie die beste Struktur eines Proteins herauszufinden. Die Spieler von Foldit treten deshalb gegeneinander an die besten Proteine zu falten. Dabei gibt es bestimmte Regeln zu beachten, die auf ihrer Seite erklärt werden. So gilt z. B. je kompakter das Protein gefaltet ist, desto besser. Falls sich herausstellt, dass Menschen effizienter sind, als die bisherigen Computerprogramme, soll es versucht werden die menschlichen Lösungsstrategien einem Computer beizubringen.

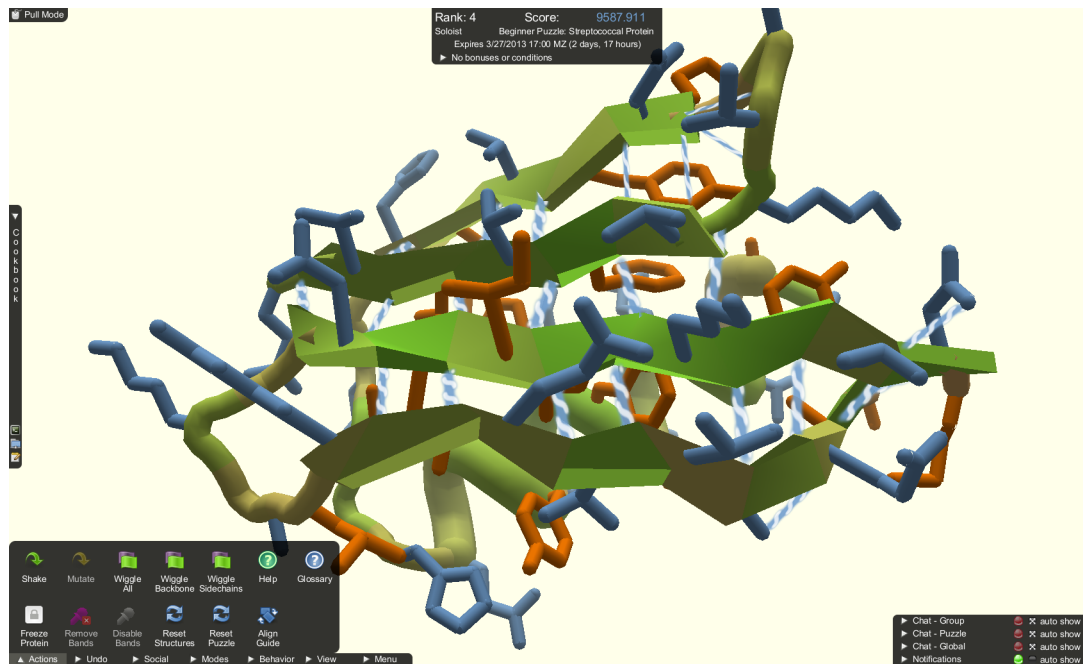


Abbildung 3.3: Ansicht des Spiels Foldit<sup>2</sup>

#### 3.2.3 Gamifikation

The Fun Theory<sup>3</sup> ist eine Initiative von Volkswagen, die die Ideen von Menschen auszeichnet, welche sich alltäglichen Problemen angenommen haben und sie gamifiziert haben, sodass sich das Verhalten der Menschen zum Besseren wendete. So hat z. B. Kevin Richardson aus den USA den Vorschlag vorgebracht eine *Speed Camera Lottery*, also eine Blitzer-Lotterie, ins Leben zu rufen, mit dem Ziel, dass sich die Fahrer an die Geschwindigkeitsbegrenzung halten wollen. Diese Idee wurde tatsächlich in Stockholm, Schweden in Zusammenarbeit mit der Swedish National Society for Road Safety umgesetzt und jeder Fahrer, der an dem Blitzer vorbeikam, hat automatisch an der Verlosung teilgenommen, wenn er sich an die Geschwindigkeitsbegrenzung hielt. Die zugehörige Anzeigetafel ist in Abbildung 3.4 zu sehen. Die Gewinne wurden dabei

<sup>3</sup><http://www.thefuntheory.com/>

aus den Einnahmen durch die Geschwindigkeitssünder genommen. Außerdem hat sich durch das Experiment die Durchschnittsgeschwindigkeit der Autos in diesem Abschnitt von 32 km/h auf 25 km/h verringert. Auf der Internetseite finden sich noch weitere Ideen, wie die *Piano Stairs*, welches die Menschen dazu bewegen soll die Treppe, statt die Rolltreppe zu nehmen.



Abbildung 3.4: Anzeigetafel der Speed Camera Lottery<sup>3</sup>.

### 3.3 Fazit

Diese Arbeit folgt dem Konzept der Gamifikation. Es ist das Ziel das Verhalten der Nutzer durch intrinsische Motivation zu verändern, damit sie die Applikation verwenden. Dies soll durch die Verwendung einiger Spiel-Design-Elemente geschehen. Die in der Applikation verwendeten Spiel-Design-Elemente und ihre Umsetzung werden in Abschnitt 4.3.3 aufgeführt.



# 4 Applikation

Die Kernaufgabe dieser Arbeit bestand darin das vorhandene Toolkit Circog zu gamifizieren und die drei Aufgaben PVT, GNG und MOT in ein Erlebnis zusammenzufassen, sodass es sich besser in den Alltag der Menschen integrieren lässt. In diesem Kapitel wird auf die entwickelte Android-Applikation eingegangen, sowie auf den, für die Datenspeicherung notwendigen, Server.

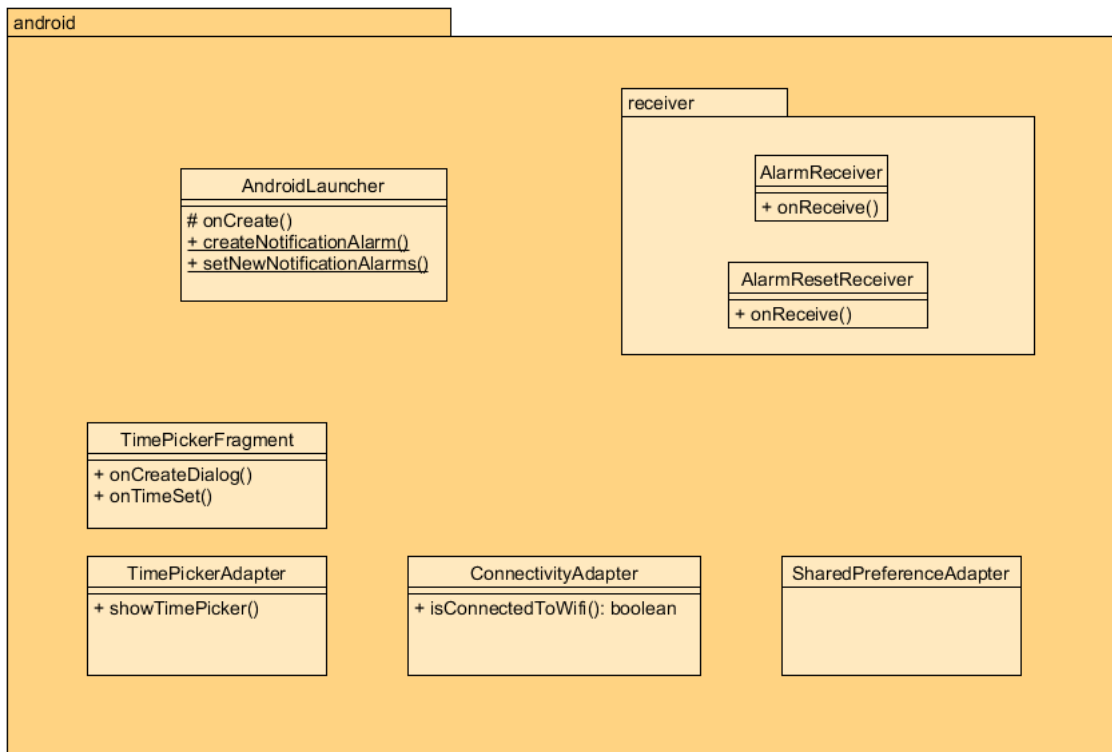
## 4.1 Architektur

Um die Android-Applikation zu realisieren, wurde die Android API 25 und das open-source Framework Libgdx verwendet, das plattformübergreifende Spielentwicklung für Android, Desktop, HTML5, iOS und Blackberry erlaubt. Bei der Erstellung eines neuen Libgdx-Projekts über die Setup-App wird eine vordefinierte Ordnerstruktur erstellt, die die Architektur der Applikation maßgeblich vorgibt. Libgdx generiert bis zu fünf Pakete für das Projekt, wobei für diese Arbeit nur die zwei Pakete *core* und *android* von Bedeutung sind und die Pakete *desktop*, *html* und *ios* bei der Erstellung deaktiviert wurden. In dem Paket *core* befindet sich der plattformunabhängige Code, also im Grunde der Code des gesamten Spiels. In den anderen Paketen, z. B. dem *android*-Paket befindet sich lediglich der jeweilige plattformabhängige Code. Neben den Quellcodedateien befinden sich noch andere, teils generierte, Dateien in den Paketen, welche im Folgenden nicht beachtet werden.

### 4.1.1 Android-Paket

Alle Klassen und Pakete, die das *android*-Paket beinhaltet, sind in Abbildung 4.1 zu sehen. Um eine gute Übersicht zu gewährleisten, wurden in den einzelnen Klassen nur die wichtigsten Methoden gelistet und auf etwaige Felder und Parameter verzichtet.

**AndroidLauncher.** Die Klasse `AndroidLauncher` ist der Startpunkt der Android-Applikation und ihre Methode `onCreate()` wird ausgeführt, bevor das eigentliche Spiel initialisiert wird. Sie dient dazu Konfigurationseinstellungen für Android zu tätigen, sowie beim ersten Start der Applikation bestimmte Einträge in die `SharedPreferences` zu schreiben und die ersten Alarme für die Notifikationen zu setzen. Außerdem wird von ihr aus das Spiel initialisiert und die jeweiligen Adapter, die im Folgenden genauer erläutert werden, übergeben.



**Abbildung 4.1:** Die Struktur des android-Pakets.

**Receiver.** Das *receiver*-Paket beinhaltet zwei Klassen, die jeweils von `BroadcastReceiver` erben. Der `AlarmReceiver` reagiert auf die Alarme, die zuvor von `AndroidLauncher` erstellt wurden. Der Intent, der bei der Erstellung des Alarms mitgegeben wurde bestimmt dabei das Vorgehen des `AlarmReceiver`. Er kann entweder eine normale oder eine Bonusnotifikation an das Smartphone senden oder die Bonusnotifikation löschen. Weitere Informationen zu den Notifikationen befinden sich in Abschnitt 4.2.

Der `AlarmResetReceiver` hat den einzigen Zweck auf Events zu reagieren, die die Alarme zurücksetzen, damit er wiederum die Alarme neu setzen kann. Zu diesen Events zählen das Neustarten des Geräts und das Updaten der Applikation, weswegen der `AlarmResetReceiver` auf `Intent.ACTION_BOOT_COMPLETED` und `Intent.ACTION_MY_PACKAGE_REPLACED` reagiert und die Methode `setNewNotificationAlarms()` der Klasse `AndroidLauncher` aufruft.

**Adapter.** Die einzelnen Adapter dienen dazu die jeweiligen Android-spezifischen Methoden im Spiel, also im *core*-Paket, verwenden zu können. Dazu wurden im *core*-Paket Interfaces erstellt, welche von den Adaptern mit dem Android-spezifischen Code implementiert werden. Die Klasse `AndroidLauncher` initialisiert neben dem Spiel auch diese Adapter und übergibt sie der Spiel-Instanz. Libgdx bezeichnet dieses vorgehen als *interfacing*.

Der `TimePickerAdapter` hat die Aufgabe einen Android-typischen Dialog aus dem Code des

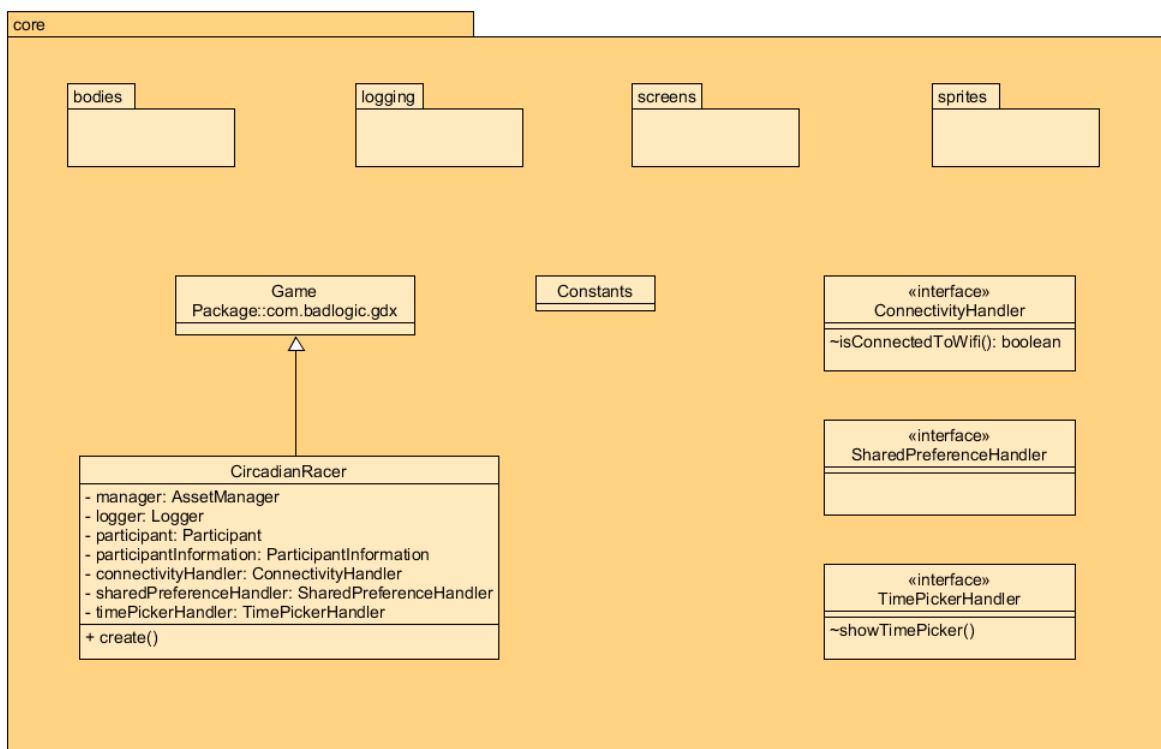
*core*-Pakets, im Folgenden *core*-Code, heraus zu öffnen, in dem man die Uhrzeit auswählen kann und gibt die eingetragene Uhrzeit an den *core*-Code zurück.

Die Aufgabe des *ConnectivityAdapter* besteht darin im *core*-Code erfragen zu können, ob der Nutzer mit dem WLAN verbunden ist, um die erfassten Spiel-Daten an den Server schicken zu können, ohne das für den Nutzer zusätzliche Kosten anfallen.

Der *SharedPreferenceAdapter* erlaubt die Verwendung der Funktionen der *SharedPreferences* im *core*-Code, d. h. das Schreiben und Lesen von Werten.

### 4.1.2 Core-Paket

Abbildung 4.2 beinhaltet die Pakete und Klassen, die sich im *core*-Paket befinden. Es wurden ebenfalls nur besonders relevante Felder und Methoden in die Grafik übernommen, um die Übersicht zu erhalten.



**Abbildung 4.2:** Die Struktur des *core*-Pakets.

**CircadianRacer.** Die Klasse *CircadianRacer* ist der Startpunkt des eigentlichen Spiels und erbt von der Klasse *Game*, einer *Libgdx*-Klasse. Sie wird von *AndroidLauncher* initialisiert und bekommt die verschiedenen Adapter, sowie Instanzen von *Participant* und *ParticipantInformation*

übergeben. Außerdem besitzt sie eine Instanz der Klasse `Logger`, welche im Konstruktor initialisiert wird. In der Methode `create()` wird mit einem Aufruf der Methode `setScreen(Screen screen)` der erste Screen, vergleichbar mit einer Activity in Android, aufgerufen.

**Constants.** Diese Klasse enthält häufig verwendete Konstanten.

**Handler.** Die verschiedenen Handler sind die Interfaces, die von den in Abschnitt 4.1.1 beschriebenen Adaptern implementiert werden. Sie sind nötig, um die Android-spezifischen Funktionen im *core*-Paket zur Verfügung zu stellen.

**Bodies.** Das Paket *bodies* beinhaltet sämtliche Klassen von physikalischen Gegenständen, abgesehen vom Spielerfahrzeug, die im Spiel vorkommen und für die eine Kollisionserkennung oder Bewegung benötigt wird. Dazu zählen die anderen Fahrzeuge, Benzinfässer und Trümmerteile, sowie unsichtbare Hilfsobjekte. Genaueres ist in Abschnitt 4.3 zu finden.

**Sprites.** Dieses Paket besteht aus verschiedensten Klassen, die graphische Elemente des Spiels darstellen. So befindet sich in diesem Paket neben dem Spielerfahrzeug auch das Head-up-Display (HUD), welches für die Einblendungen während des Spielens verantwortlich ist und die Klasse `Track`, welche die Strecke und zusätzliche Informationen hält.

**Screens.** In diesem Paket befinden sich alle Klassen des Spiels, die `Screen` implementieren. Da sie vergleichbar mit den Activities einer klassischen Android-Applikation sind, beinhalten sie sowohl die GUI-Elemente, als auch einen großen Teil der Logik des Spiels. Auf die einzelnen Screens und ihre Funktionsweise und Zusammenhänge wird anschließend in Abschnitt 4.3 eingegangen.

**Logging.** Das Paket *logging* beinhaltet die Klasse `Logger`, sowie sämtliche Datenklassen, wie die bereits genannten `Participant` und `ParticipantInformation`. Weitere Datenklassen und die Funktion von `Logger` wird in Abschnitt 4.4 besprochen.

## 4.2 Notifikationen

In die Applikation wurden Notifikationen eingebaut, um die Nutzer zu motivieren, das Spiel zu bestimmten Uhrzeiten und über den Tag verteilt zu spielen. Insgesamt werden pro Tag sechs Notifikationen versendet, wovon zwei Bonusnotifikationen sind. Die Bonusnotifikationen grenzen sich von den gewöhnlichen Notifikationen dahingehend ab, dass sie nur 20 Minuten aktiv sind und die Nutzer in dieser Zeit die doppelte Anzahl Erfahrungspunkte sammeln können,



während die gewöhnlichen Notifikationen den Nutzer nur erinnern das Spiel zu spielen. Die Notifikationen werden dabei wie folgt verteilt: Der Tag wurde zunächst in die sechs Zeitslots 09:00 - 11:00 Uhr, 11:00 - 13:00 Uhr, 13:00 - 15:00 Uhr, 15:00 - 17:00 Uhr, 17:00 - 19:00 Uhr und 19:00 - 21:00 Uhr unterteilt. Für jeden Zeitslot werden die Anzahl an Appstarts in den `SharedPreferences` mitgezählt, sodass für jeden Tag die Bonusnotifikationen für den Zeitslot geplant werden, in dem es die bisher wenigsten Appstarts gab, um die Nutzer zu motivieren in diesem Zeitslot zu spielen. Die verbleibenden vier Notifikationen wurden an die jeweils nächsten vier Zeitslots mit den wenigsten Appstarts verteilt, sodass der Slot mit den meisten verzeichneten Appstarts keine Notifikation bekam. Jede Notifikation war mindestens eine Stunde von einer anderen entfernt.

Die geplanten Notifikationen wurden mittels der `AlarmManager`-Klasse realisiert, die es ermöglicht interne Alarme zu planen und mit einem `Intent` zu versehen, sodass der `AlarmReceiver` Alarme von Bonusnotifikationen und gewöhnlichen Notifikationen unterscheiden und die jeweilige Notifikation an das Gerät senden kann. Für das Planen der Alarme ist die Klasse `AndroidLauncher` verantwortlich, welche dafür die Methoden `setNewNotificationAlarms()` und `createNotificationAlarm()` besitzt.

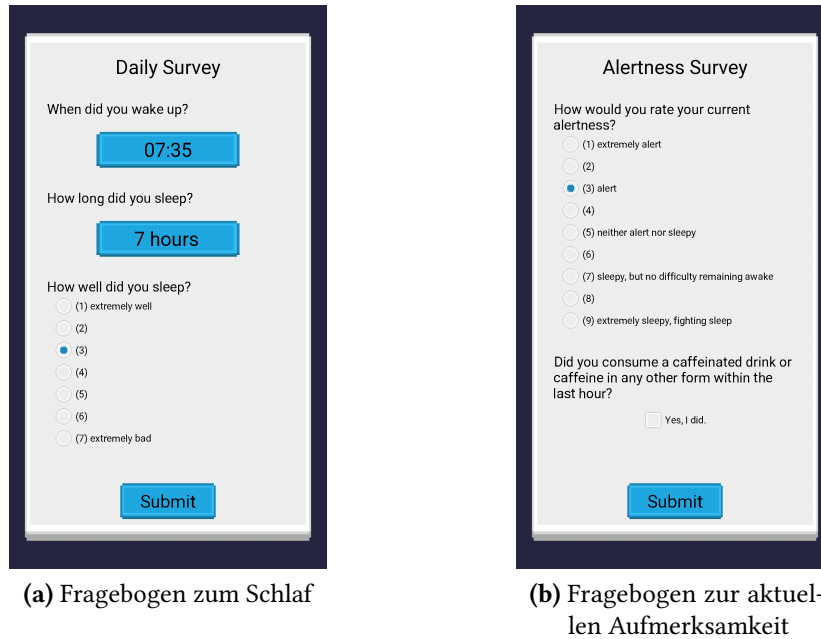
## 4.3 Umfang

### 4.3.1 Fragebögen

Beim Starten der Applikation werden dem Nutzer Fragebögen präsentiert, um etwas über den vorangegangenen Schlaf und die aktuelle Wachheit zu erfahren. Der erste der beiden Fragebögen wird einmal pro Tag gezeigt und erfragt die Zeit des Aufwachens, die Schlafdauer, sowie die Schlafqualität auf einer 7-Punkte-Skala (1=extremely well, 7=extremely bad). Zu sehen ist dieser Fragebogen in Abbildung 4.3 (a). Der andere Fragebogen wird vor jedem Appstart gezeigt und erfragt die aktuelle subjektive Wachheit des Nutzers auf der KSS, wie sie in Abschnitt 2.3.1 erklärt wurde. Außerdem wird der Nutzer gefragt, ob er innerhalb der letzten Stunde Koffein in beliebiger Form zu sich genommen hat (siehe Abbildung 4.3 (b)).

### 4.3.2 Spieldurchlauf

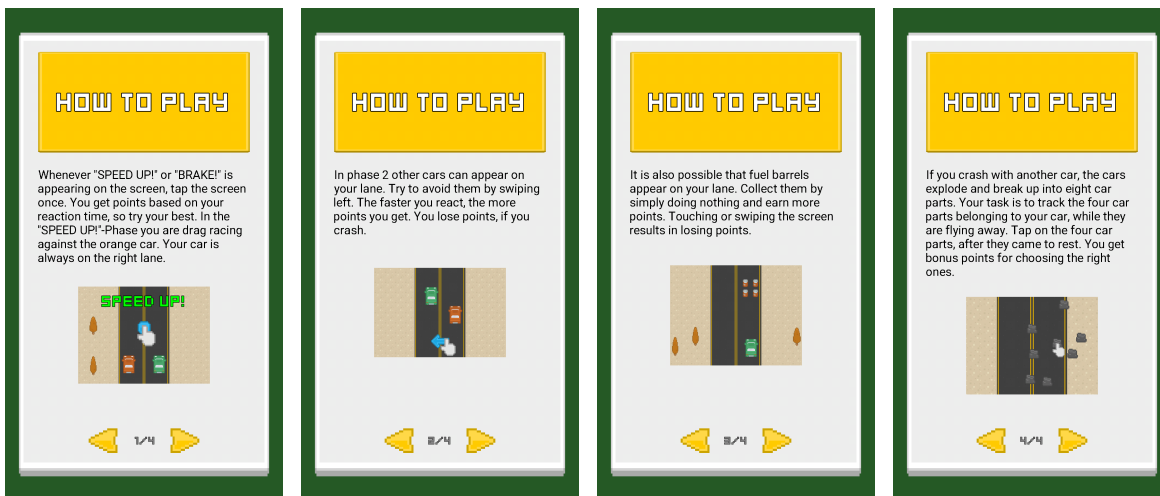
Hat der Nutzer die Fragebögen ausgefüllt, kommt er in das Hauptmenü des Spiels. Von dort aus kann er mit einem Druck auf den `Play`-Button einen Spieldurchlauf starten. Beim ersten Start eines Spieldurchlaufs, wird dem Nutzer ein Tutorial präsentiert, wie es in Abbildung 4.4 zu sehen ist. Es erklärt die einzelnen Spielphasen PVT, GNG und MOT, welche im Folgenden genauer betrachtet werden. Das Tutorial ist jederzeit über das Hauptmenü erreichbar.



**Abbildung 4.3:** Die Fragebögen der Applikation. Links der Fragebogen zum Schlaf, rechts der Fragebogen zur Aufmerksamkeit.

**PVT.** Nach dem Tutorial kommt die erste Hälfte des PVT, bei dem der Nutzer auf einen Stimulus möglichst schnell reagieren soll. Die Umsetzung des PVT in der Applikation ist in Abbildung 4.5 zu sehen. In diesem Fall ist die Einblendung des Textes *SPEED UP!* der Stimulus auf den es mit einem Druck auf den Bildschirm zu reagieren gilt. Die zweite Phase des PVT wird am Ende eines Spieldurchlaufs gespielt und der dazugehörige Stimulus ist die Texteinblendung *BRAKE!*. In beiden Hälften des PVT werden dem Nutzer 4-6 Stimuli präsentiert, wobei die einzelnen Stimuli zwischen 3 und 8 Sekunden auseinander liegen. Jede erfolgreiche Reaktion auf einen Stimulus wird mit Punkten belohnt, die sich wie folgt berechnen:  $(1000 - RT) * \frac{maxStimuli}{numStimuli}$ . *maxStimuli* sind hierbei die maximale Anzahl an Stimuli, die in der Aufgabe vorkommen können, also hier 6 und *numStimuli* sind die zufällig gewürfelte Anzahl Stimuli, die tatsächlich präsentiert werden, also ein Wert zwischen einschließlich 4 und 6.

**GNG.** Nachdem die erste Hälfte des PVT abgeschlossen ist, wird der GNG gestartet. Beim GNG hat der Nutzer die Aufgabe zwei unterschiedliche Stimuli zu unterscheiden. Er bekommt zufällig einen Go-Stimulus, auf den er reagieren soll und einen No-Go-Stimulus, den es zu ignorieren gilt, präsentiert. In der Applikation wird der Go-Stimulus durch andere Autos auf der Fahrbahn repräsentiert, denen es durch einen Swipe nach links auszuweichen gilt. Das Ausweichen wird mit Punkten  $((1000 - RT) * \frac{maxGoStimuli}{numGoStimuli})$  belohnt, wobei ein Crash zum Punkteabzug  $(-200 * \frac{maxGoStimuli}{numGoStimuli})$  führt. Der No-Go-Stimulus wird durch Benzinfässer auf der eigenen Fahrbahn dargestellt, die der Nutzer einsammeln sollte, um Punkte zu erhalten  $(500 * \frac{maxNoGoStimuli}{numNoGoStimuli})$ . Weicht er einem Fass aus, bekommt er Minuspunkte  $(-200 * \frac{maxNoGoStimuli}{numNoGoStimuli})$ .



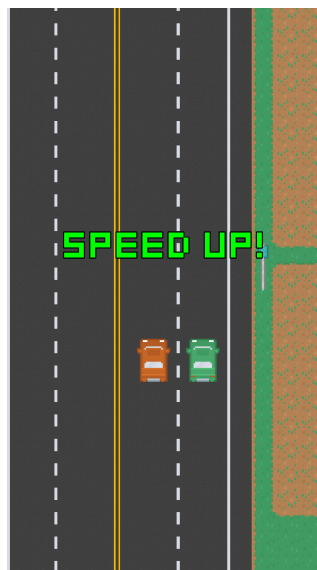
(a) Seite 1 des Tutorials

(b) Seite 2 des Tutorials

(c) Seite 3 des Tutorials

(d) Seite 4 des Tutorials

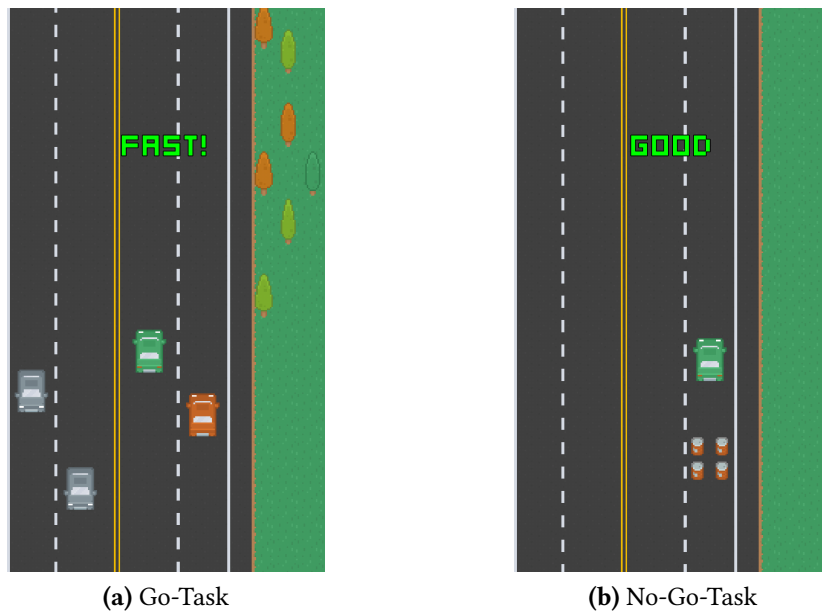
**Abbildung 4.4:** Die vier Seiten des Tutorials. (a) beschreibt den PVT, (b) und (c) den GNG und (d) den MOT.



**Abbildung 4.5:** Die Umsetzung des PVT in der Applikation.

Pro Spieldurchlauf werden dem Nutzer 5-8 Go-Stimuli und 3-5 No-Go-Stimuli präsentiert. Der GNG ist in Abbildung 4.6 dargestellt.

**MOT.** Falls der Nutzer im MOT einen Go-Task verpasst, also mit einem anderen Auto zusammenstößt, bevor er ausweichen kann, dann wird der MOT ausgelöst. Die beiden Autos explodieren nach einer Verzögerung von 2 Sekunden und werden zu uniformen Trümmerteilen,



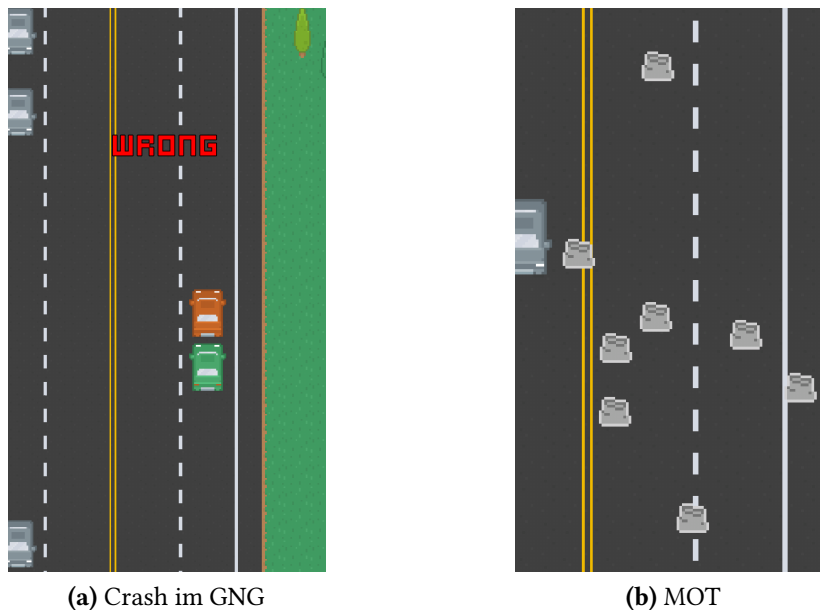
**Abbildung 4.6:** Die Umsetzung des GNG in der Applikation. (a) zeigt den Go-Task, (b) zeigt den No-Go-Task.

die sich anschließend in zufällige, aber lineare, Richtungen bewegen. Die Geschwindigkeit der einzelnen Teile ist dabei stets gleich. Die Aufgabe des Nutzers besteht darin die Trümmerteile, die zu seinem Auto gehören, mit den Augen zu verfolgen, während sich die Trümmerteile für mindestens 10 Sekunden über den Bildschirm bewegen. Falls sich die Trümmerteile nach 10 Sekunden noch überlappen sollten, bewegen sie sich maximal weitere 10 Sekunden lang weiter. Falls sie sich innerhalb der Zeit nicht mehr überlappen oder die 10 Sekunden vorbei sind, bleiben sie stehen und der Nutzer kann vier Teile antippen. Für jedes gefundene Teil seines Autos bekommt er 50 Punkte. Anschließend wird wieder zum GNG gewechselt.

### 4.3.3 Spiel-Design-Elemente

Neben der Kombination der kognitiven Aufgaben in einen Spielablauf, der Notifikationen und die graphischen Elemente wurden noch zusätzliche Spiel-Design-Elemente eingebaut, um die Nutzer motivation zu steigern.

**Levelsystem.** Nach dem Beenden eines Spieldurchlaufs kommt der Nutzer auf einen Abschlussbildschirm und wird durch Erfahrungspunkte (XP), basierend auf seiner Leistung in den vorherigen Aufgaben, belohnt. Die XP berechnen sich wie folgt:  $\frac{Punkte}{100}$ . Die insgesamt benötigten XP für einen Levelaufstieg lassen sich durch die Formel  $XP_x = XP_{x-1} + XP_{x-1} * 0.2$  berechnen, wobei x das aktuelle Level ist und es gilt  $XP_0 = 100$ . Auf dem Abschlussbildschirm

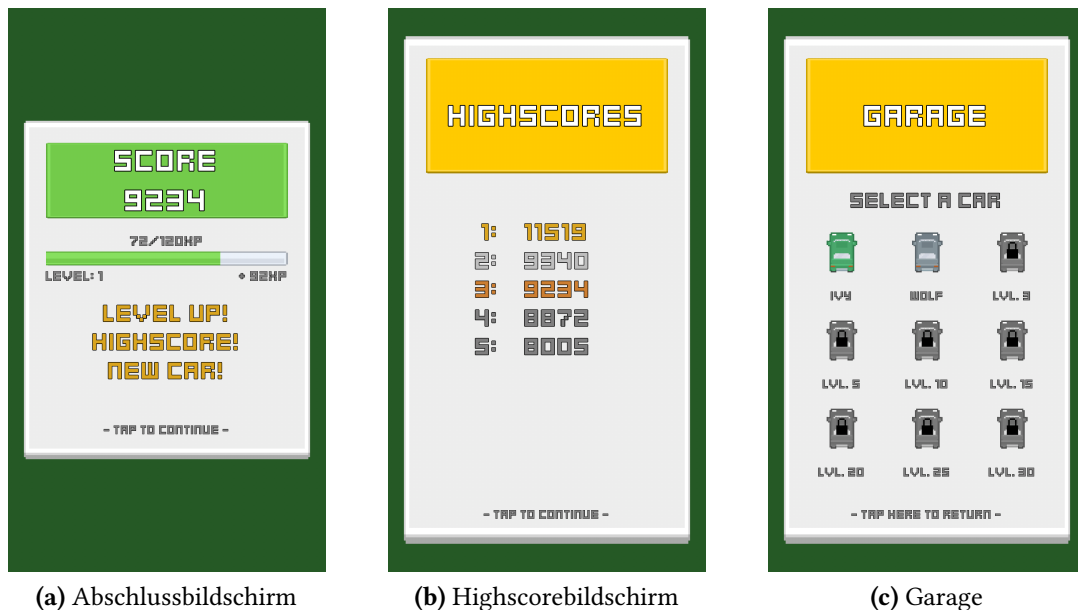


**Abbildung 4.7:** Die Umsetzung des MOT in der Applikation. (a) zeigt den Crash im GNG, (b) zeigt den laufenden MOT.

wird der Nutzer ebenfalls darüber informiert, ob er einen neuen Highscore geschafft hat oder ob er durch ein möglicherweise neu erreichtes Level ein neues Fahrzeug freigeschaltet hat. Der Abschlussbildschirm ist in Abbildung 4.8 (a) zu sehen.

**Highscores.** Die Applikation speichert die besten fünf Ergebnisse des Nutzers und ermöglicht es ihm seinen eigenen Highscore zu schlagen. Nach jedem Spieldurchlauf wird überprüft, ob ein Highscore geschlagen wurde und die Liste wird aktualisiert. Der Highscorebildschirm ist in Abbildung 4.8 (b) zu sehen. Zu erreichen ist er über das Hauptmenü.

**Freischaltbares.** Des Weiteren können die Nutzer mit ansteigendem Level neue Lackierungen für ihr Auto freischalten. Die erste neue Lackierung gibt es bereits mit Level 1, die zweite mit Level 3. Ab Level 5 wird alle 5 Level eine neue Lackierung freigeschaltet. Das gibt dem Nutzer einen zusätzlichen Reiz das Spiel zu spielen und im Level zu steigen, sowie die Möglichkeit sein Auto zu individualisieren. Die Garage ist in Abbildung 4.8 (c) zu sehen.



**Abbildung 4.8:** Die Bildschirmen, die zusätzliche Spiel-Design-Elemente beinhalten. (a) zeigt den Abschlussbildschirm, auf dem die verdienten XP angerechnet werden, (b) zeigt den Highscorebildschirm mit den fünf besten Ergebnissen, (c) zeigt die Garage, in der die freigeschalteten Lackierungen ausgewählt werden können.

## 4.4 Logging

Die durch die App gesammelten Daten mussten gespeichert werden, weshalb ein Logger mit zugehörigen Datenklassen erstellt wurde. Für jede Aufgabe (PVT, GNG, MOT) wurden Datenklassen erstellt, deren Instanzen die benötigten Informationen halten. Das Klassendiagramm ist in Abbildung 4.9 zu sehen und beinhaltet alle Klassen des Pakets *logger*. In dem Diagramm wurde auf die Darstellung von Getter- und Setter-Methoden, sowie auf die Konstruktoren verzichtet, um eine bessere Übersicht zu erlauben.

Nach jeder Reaktion im PVT, nach jedem Stimulus im GNG und nach jedem MOT wird eine neue Instanz der jeweiligen Klasse erstellt und in die passende Liste des `DataObject` des Logger eingefügt. Nach einem Spieldurchlauf oder falls die Applikation in den Hintergrund rückt, wird versucht die Daten an den Server zu senden. Dazu wird zunächst aus dem `DataObject` mit Hilfe der `Json`-Klasse von `Libgdx` das Objekt in einen JSON-String umgewandelt und eine MD5-Checksumme daraus gebildet. Beides wird schließlich versucht an den Server zu schicken. Gelingt dies erfolgreich, also sendet der Server den Statuscode 200 zurück, werden die Listen des `DataObject`-Objekt mit der Methode `clear()` geleert. Antwortet der Server mit einem Fehler, so wird der JSON-String zuvor in eine Datei auf dem Smartphone geschrieben. Diese Datei wird bei jedem Appstart eingelesen und das `DataObject` mit den enthaltenen Daten initialisiert, sodass neue Daten angehängt werden können, bis eine Verbindung mit dem Server

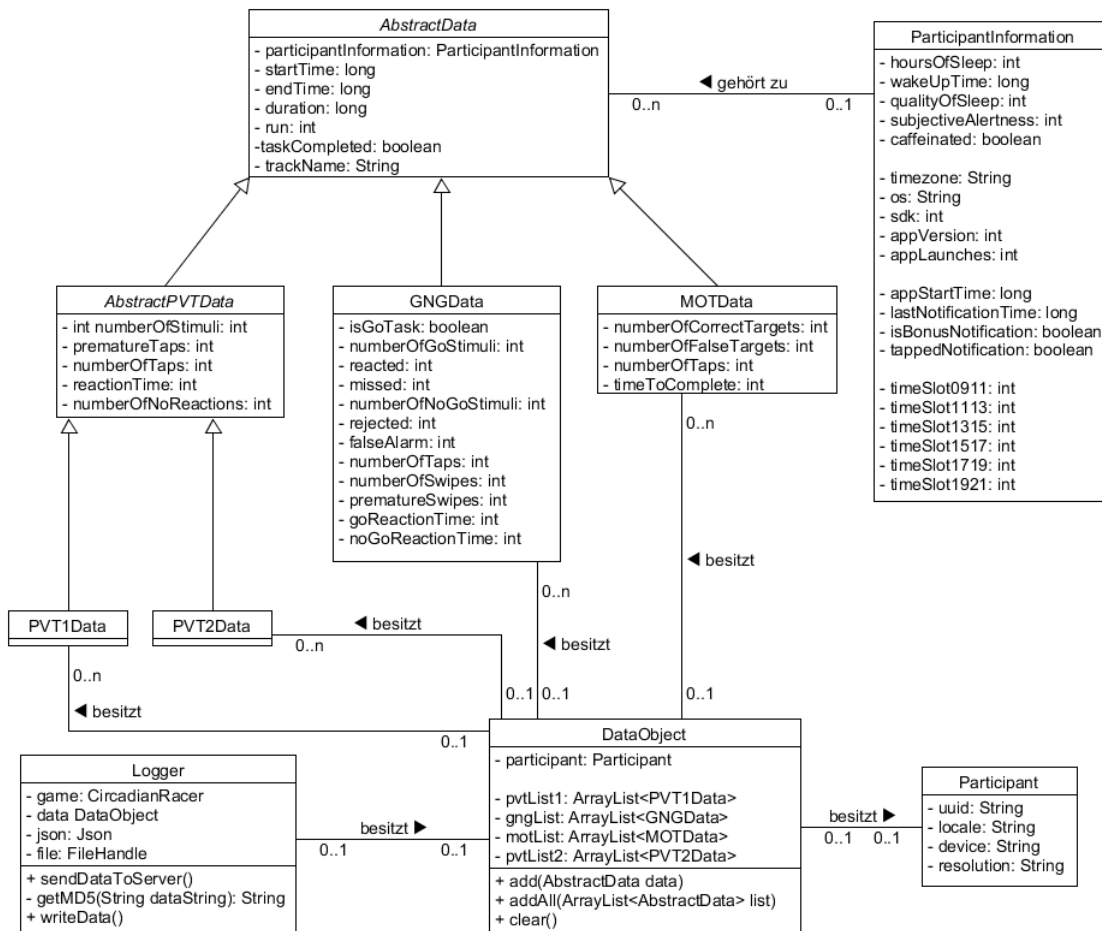


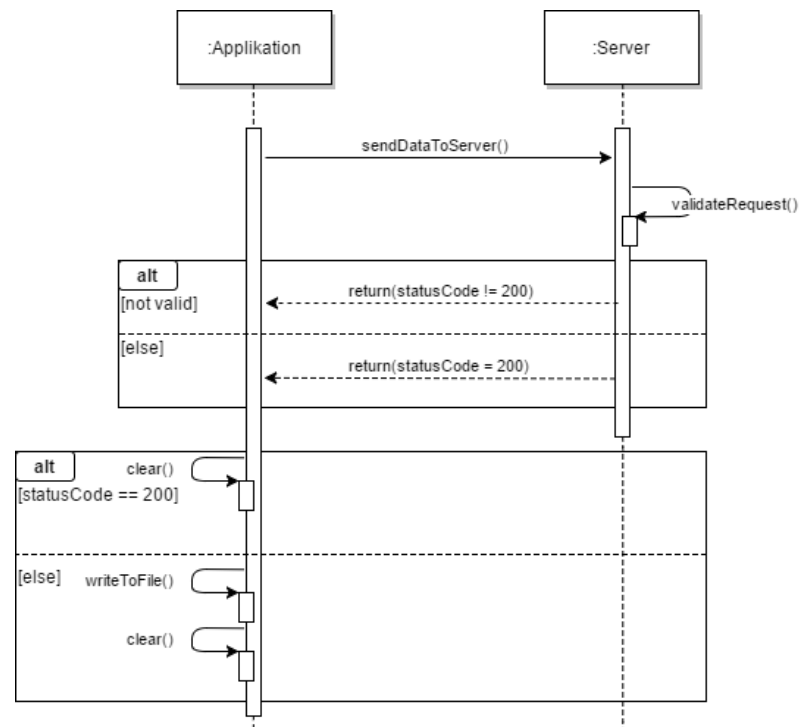
Abbildung 4.9: Klassendiagramm des Logger und der Datenklassen.

erfolgreich abgeschlossen werden konnte. Ein Sequenzdiagramm der Serverkommunikation ist in Abbildung 4.10 modelliert.

**Server.** Der Server wird in Deutschland gehostet und wird mit Ubuntu 16.04 (64-bit) betrieben. Um die Daten der Applikation zu speichern, wurde ein Django<sup>1</sup>-Projekt erstellt, welches mit Apache auf dem Server deployt wurde. Mit Hilfe des Django REST Framework<sup>2</sup> wurde eine REST-API implementiert, die ein tokenbasiertes Authentifizierungsverfahren verwendet. Das nötige Token ist hierbei in der Applikation gespeichert und wird beim Senden der Daten mitgeschickt. Die Kommunikation mit dem Server ist dabei durch HTTPS gesichert. Die ankommenden Daten werden in einer SQLite-Datenbank gespeichert. Ein ER-Diagramm der

<sup>1</sup><https://www.djangoproject.com/>

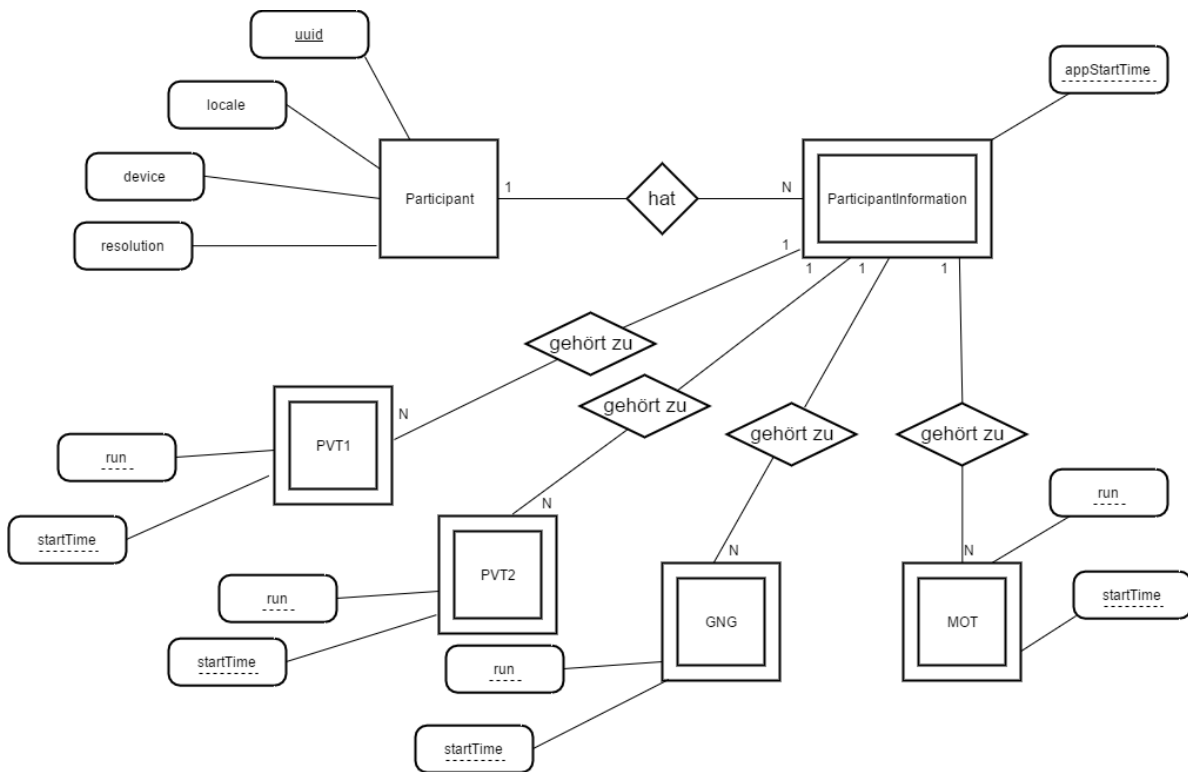
<sup>2</sup><http://www.django-rest-framework.org/>



**Abbildung 4.10:** In diesem Sequenzdiagramm wird die Kommunikation zwischen Applikation und Server modelliert.

Datenbank ist in Abbildung 4.11 modelliert, wobei nur die Attribute der Schlüssel dargestellt sind, um die Übersicht zu erhalten. Das Attribut *run* beschreibt die Anzahl der durchgeführten Spieldurchläufe pro Appstart. Im wesentlichen hat jede Entität ein Attribut für jedes Feld, das im Klassendiagramm 4.9 zu sehen ist. Des Weiteren wurde ein Download implementiert, der es erlaubt den kompletten Datensatz, getrennt nach den einzelnen Aufgaben und als csv-Dateien, in einem Zip-Archiv herunterzuladen, für den eine Anmeldung via Benutzername und Passwort erforderlich ist.





**Abbildung 4.11:** In diesem ER-Diagramm ist die SQLite-Datenbank des Servers modelliert.



# 5 Studie

Mit der Applikation wurde eine Nutzerstudie als Feldstudie durchgeführt, um zu evaluieren, ob sich aus den Messergebnissen die zirkadianen Schwankungen der Aufmerksamkeit ablesen lassen, während die Versuchspersonen sich in ihrem alltäglichen Kontext befinden. Als abhängige Variablen wurden hierfür die Performanz in den einzelnen Aufgaben, d. h. beim PVT die RTs, beim GNG die RTs und FRs und schließlich beim MOT die FRs gemessen. Als unabhängige Variable wurde die Uhrzeit, zu der die Aufgaben durchgeführt wurden, gemessen. Zusätzlich wurden die Teilnehmer während der Studie zu ihrem Schlaf und ihrer subjektiven Aufmerksamkeit befragt.

## 5.1 Methode

### 5.1.1 Versuchspersonen

Zu Beginn wurden 15 Versuchspersonen rekrutiert, von denen zwei die Studie abgebrochen haben und deren Daten nicht berücksichtigt werden. Im Folgenden wird deshalb von 13 rekrutierten Versuchspersonen ausgegangen, wobei davon fünf weiblich und acht männlich sind. Das Alter der Versuchspersonen bewegte sich zwischen 20 und 54 Jahren mit einem Durchschnitt von 25,08 Jahren (Standardabweichung (SD) = 8,86). Zwölf der Versuchspersonen wurden aus dem Bekanntenkreis rekrutiert und eine über den E-Mail-Verteiler der Universität. Die Versuchspersonen wurden über die Applikation und ihre Aufgaben per E-Mail, sowie in einer Informierten Einwilligung aufgeklärt. Für das Abschließen von insgesamt 60 Spieldurchläufen wurden die Versuchspersonen mit bis zu 25 € kompensiert. Um die Teilnehmer zu motivieren die Studie komplett durchzuführen, wurden für jeden fehlenden Durchlauf 0,25 € abgezogen.

### 5.1.2 Versuchsaufbau

Jede Versuchsperson bekam eine Version der Applikation, wie sie in Kapitel 4 beschrieben wurde, mit ihrer zugehörigen Identifikator (ID) per E-Mail zugesandt, die sie auf ihrem eigenen Smartphone (Android 4.1 oder höher) installierte.

### 5.1.3 Durchführung

Die Aufgabe der Versuchspersonen war es die Applikation über einen Zeitraum von 10 Tagen mindestens sechsmal am Tag zu spielen. Da nicht alle Versuchspersonen die Applikation zur gleichen Zeit installiert hatten, wurde über einen Zeitraum von insgesamt 14 Tagen gemessen, damit alle die Möglichkeit hatten zehn Tage teilzunehmen. Um die Versuchspersonen zu erinnern, zu motivieren und damit sie zu den verschiedenen Tageszeiten spielen, sendete die Applikation sechsmal am Tag eine Notifikation an die Versuchspersonen. Dazu wurde der Tag in sechs zweistündige Zeitslots unterteilt, beginnend um 9 Uhr morgens und endend um 21 Uhr abends. Daraus ergeben sich die Zeitslots 09:00 - 11:00 Uhr, 11:00 - 13:00 Uhr, 13:00 - 15:00 Uhr, 15:00 - 17:00 Uhr, 17:00 - 19:00 Uhr und 19:00 - 21:00 Uhr. In dem Zeitslot mit den wenigstens verzeichneten Starts der Applikation wurden zwei Notifikationen gesendet, die für 20 Minuten zusätzliche Erfahrungspunkte einbringen, um die Probanden zu motivieren in diesem Zeitslot zu spielen. In den anderen Zeitslots, abgesehen von dem mit den meisten verzeichneten Starts, wurde jeweils eine Notifikation ohne Bonuserfahrung versendet. Zwischen allen Notifikationen befand sich mindestens eine Stunde Abstand.

#### 5.1.3.1 Fragebögen

Jeden Tag wurden die Versuchspersonen beim ersten Start der Applikation zu ihrem Schlaf befragt, darunter die Zeit des Aufwachens, die Anzahl der geschlafenen Stunden und die Schlafqualität auf einer 7-Punkte-Skala (1=extremly well, 7=extremly bad). Zusätzlich wird bei jedem Start der Applikation ein Fragebogen zur Aufmerksamkeit durchgeführt, der die subjektive Wachheit mit Hilfe der KSS erfragt, wie sie in Abschnitt 2.3.1 beschrieben wurde. Des Weiteren wurden die Versuchspersonen dahingehend befragt, ob sie innerhalb der letzten Stunde Koffein in beliebiger Form zu sich genommen haben.

#### 5.1.3.2 Spieldurchlauf

Ein Spieldurchlauf war in mehrere Phasen unterteilt und begann mit einem PVT, im Folgenden als PVT1 bezeichnet, in der den Versuchspersonen zwischen vier und sechs Stimuli präsentiert wurden, welche in einem zufälligen Abstand von drei bis acht Sekunden auftreten konnten. Sollte die Versuchsperson zu früh reagieren, wurde die Zeit bis zum nächsten Stimulus zufällig neu bestimmt.

Auf den PVT1 folgte der GNG, der aus fünf bis acht Go-Stimuli (andere Autos) und drei bis fünf No-Go-Stimuli (Benzinfässer) bestand. Die Abstände der einzelnen Stimuli wurde ebenfalls zufällig bestimmt, allerdings nicht in Sekunden, sondern in Pixeln, da die Stimuli zu Beginn auf der Fahrbahn des Spiels verteilt wurden. Die Abstände bewegten sich zwischen 100 und 200 Pixeln, wobei es sich dabei um relative Werte handelt, welche unter anderem von der Auflösung des Bildschirms abhängen.

Wurde während des GNG nicht rechtzeitig auf einen Go-Stimulus reagiert, wurde der MOT ausgelöst. Dabei kam es zu einem Zusammenstoß des eigenen, sowie des fremden Autos, welche in jeweils vier Teile zersprangen. Die Aufgabe war es die vier Teile des eigenen Autos mit den Augen zu verfolgen, welche sich mindesten 10 Sekunden über den Bildschirm bewegten. Falls sich Teile überlagerten, konnten sich die Teile bis zu 20 Sekunden bewegen und kamen erst dann zum Stillstand. Anschließend galt es die eigenen Teile durch ein Antippen wiederzufinden.

Nachdem der GNG und damit auch der MOT beendet waren, wurde erneut ein PVT, im Folgenden als PVT2 benannt, gestartet. Dieser funktionierte analog zum PVT1.

### 5.1.3.3 Feedback

Zum Abschluss der Studie füllten die Versuchspersonen einen Fragebogen zum Sammeln von subjektiven Feedback aus. Dieser war in vier Abschnitte unterteilt und beinhalte in den ersten drei Abschnitten Aussagen zu den einzelnen Aufgaben (PVT, GNG, MOT), die sie auf einer 7-Punkte-Skala (1=totally disagree, 7=totally agree) bewerten konnten. Der Fragebogen umfasste folgende Aussagen zu den Aufgaben:

- Es hat lange gedauert diese Aufgabe zu beenden.
- Es war schwierig diese Aufgabe zu beenden.
- Es war anstrengend diese Aufgabe zu beenden.
- Es hat Spaß gemacht diese Aufgabe zu beenden.

Der letzte Abschnitt umfasste zusätzliches Feedback, insbesondere zu den Spiel-Design-Elementen, welche ebenfalls auf der bereits beschriebenen 7-Punkte-Skala bewertet wurden und folgende Aussagen umfasste:

- Das Levelsystem hat mich motiviert öfter zu spielen.
- Die freischaltbaren Autos haben mich motiviert öfter zu spielen.
- Die Notifications haben mich motiviert zu den gegebenen Zeiten zu spielen.
- Die Notifications, durch die es die doppelte Anzahl Erfahrungspunkte gab, haben mich zusätzlich motiviert.

Des Weiteren wurden die Versuchspersonen nach der beliebtesten Aufgabe zwischen PVT, GNG und MOT gefragt und hatten zusätzlich die Möglichkeit zu äußern, was ihnen besonders gut oder schlecht gefiel, sowie was ihnen möglicherweise fehlte.

## 5.2 Ergebnisse

Aus dieser Studie gehen zwei Datensätze hervor. Zum einen die Messdaten, die durch die Applikation gemessen wurden und zum anderen die Ergebnisse des abschließenden Fragebogens. Beide Datensätze werden getrennt in den folgenden Abschnitten ausgewertet.

### 5.2.1 Datenanalyse

In diesem Abschnitt werden die Daten, die aus der Applikation hervorgehen ausgewertet. Dabei werden der zirkadiane Rhythmus und der Schlaf-Wach-Zyklus betrachtet, da beide unabhängig voneinander Auswirkungen auf die kognitive Performanz haben, wie bereits in Abschnitt 2.1 beschrieben wurde. Durch den Schlaf-Wach-Zyklus ist es zu erwarten, dass mit zunehmender Zeit, die die Versuchsperson wach ist, die kognitive Performanz abnimmt, d. h. die RTs langsamer werden und die FR zunimmt. Des Weiteren sind die Auswirkungen der zirkadianen Schwankung über den Tag hinweg zu erwarten, die gewöhnlich einen Tiefpunkt um die Mittagszeit aufweisen. Die Mittelwerte der einzelnen Stunden, die im Folgenden zu sehen sind, wurden folgendermaßen berechnet:

Zunächst wurden die Mittelwerte der RTs und der FRs der einzelnen Versuchspersonen für die einzelnen Stunden bestimmt. Anschließend wurde der Mittelwert und der Standardfehler (SE) über alle Versuchspersonen bestimmt. Für die Mittelwertbestimmung der einzelnen Stunden wurde die vorangegangene halbe Stunde und die nachfolgende halbe Stunde betrachtet. So befinden sich im Mittelwert, der um 12:00 Uhr verzeichnet ist, die RTs, die im Zeitraum zwischen 11:30 Uhr und 12:29 Uhr registriert wurden. Es werden im Folgenden nur Daten verwendet, die in die Stundenslots von 09:00 Uhr bis 21:00 Uhr fallen, da dies der Zeitraum ist, zu denen die Notifikationen versendet wurden und die meisten Daten vorliegen.

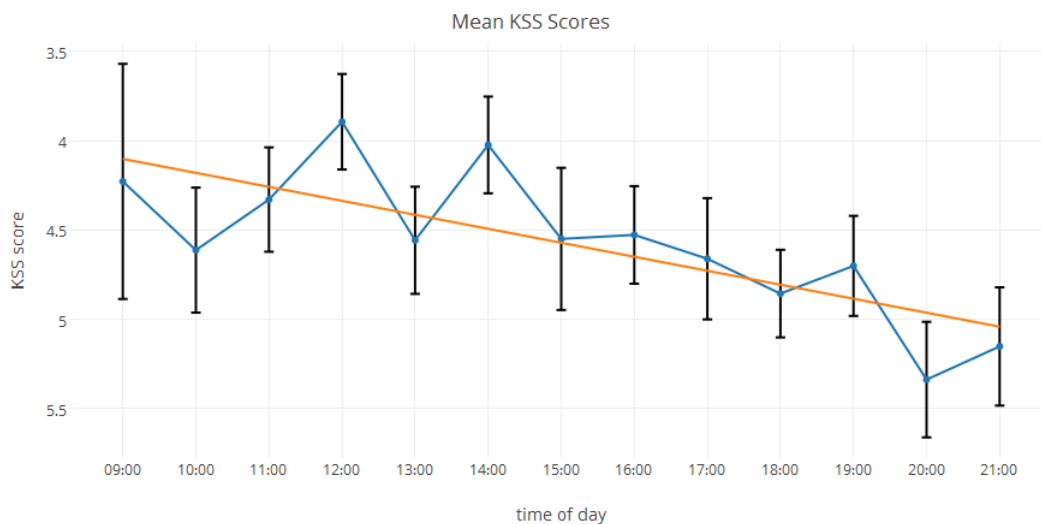
#### 5.2.1.1 Fragebögen

Die Versuchspersonen füllten die Fragebögen insgesamt 711 Mal aus. Die durchschnittliche Zeit des Aufwachens lag an den Wochentagen bei 07:37 Uhr ( $SD = 13, 19min$ ) und am Wochenende bei 09:15 Uhr ( $SD = 21, 17min$ ). Die Versuchspersonen hatten an den Wochentagen eine durchschnittliche Schlafdauer von 6, 68h ( $SD = 0, 63h$ ). An den Wochenenden lag sie bei 6, 85h ( $SD = 0, 35h$ ). Des Weiteren gaben die Versuchspersonen an, wie gut sie geschlafen haben. Die durchschnittliche subjektive Schlafqualität wurde an den Wochentagen mit 3, 02 ( $SD = 0, 40$ ) und am Wochenende mit 2, 84 ( $SD = 0, 25$ ) bewertet (1=extremely well, 7=extremely bad).

Die Mittelwerte der KSS-Werte zu den einzelnen Stunden und ihre SE-Balken sind in Abbildung 5.1 zu sehen. Der Fehlerbalken um 09:00 Uhr ist auffällig groß, da womöglich zu dieser Uhrzeit weniger Daten vorliegen. Um den Tagesverlauf der KSS-Werte zu quantifizieren, wurde eine Regressionsanalyse durchgeführt. Die Regressionslinie ( $y = -0, 078x + 3, 40$ )

weist eine negative Steigung auf, die einer Erhöhung des durchschnittlichen KSS-Werts um 0,078 pro Stunde entspricht. Um zu erfahren, ob es sich um eine signifikante Steigung handelt, wurde ein Einstichproben-t-Test gegen 0 mit den einzelnen Steigungen der Versuchspersonen durchgeführt. Da die Stichprobengröße klein ist ( $n < 30$ ), wurde zunächst mit dem Shapiro-Wilk-Test überprüft, ob die Steigungen normalverteilt sind. Der Test fiel nicht signifikant ( $W = 0,94, p = 0,46$ ) aus, was für eine Normalverteilung der Werte spricht. Anschließend wurde der t-Test auf den Werten durchgeführt, welcher ein signifikantes Ergebnis ( $t(12) = -2,34, p = 0,04$ ) hatte. Daraus lässt sich schließen, dass sich der Schlaf-Wach-Zyklus signifikant auf den KSS-Wert auswirkt und die Versuchspersonen über den Tag hinweg müder geworden sind.

Der Graph weist außerdem deutliche Schwankungen auf, die auf die zirkadianen Rhythmen zurückzuführen sein könnten. Die fünf Tiefpunkte treten um 10:00 Uhr ( $4,61 \pm 0,35$ ), 13:00 Uhr ( $4,56 \pm 0,29$ ), 15:00 Uhr ( $4,55 \pm 0,40$ ), 18:00 Uhr ( $4,86 \pm 0,25$ ) und 20:00 Uhr ( $5,34 \pm 0,32$ ) auf. Die Hochpunkte des Graphen finden sich um 12:00 Uhr ( $3,89 \pm 0,27$ ), 14:00 Uhr ( $4,02 \pm 0,27$ ), 16:00 Uhr ( $4,53 \pm 0,27$ ) und 19:00 Uhr ( $4,70 \pm 0,28$ ). Der Tiefpunkt um 13:00 Uhr ist vermutlich auf den mid-afternoon dip zurückzuführen, welcher typisch für zirkadiane Rhythmen ist.



**Abbildung 5.1:** Tagesverlauf der gemittelten KSS scores mit Standardfehlern.

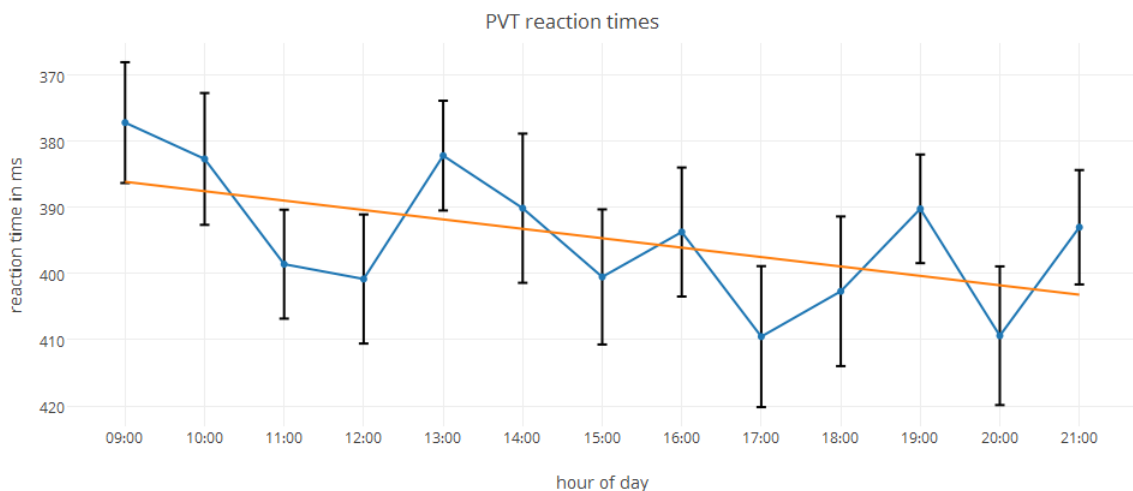
### 5.2.1.2 PVT

Der PVT wurde von den Versuchspersonen in zwei Phasen durchgeführt. Die erste Hälfte zu Beginn des Spieldurchlaufs und die zweite Hälfte am Ende. Für den PVT1 liegen insgesamt 3516 verwendbare Datenpunkte vor und für den PVT2 sind es 3509. In Abbildung 5.2 sind die Werte aus den beiden Phasen kombiniert zu sehen.

Um die Veränderung der RT über den Tag hinweg zu quantifizieren, wurde eine Regressionsanalyse durchgeführt. Die Regressionslinie ( $y = -1,42x + 373,33$ ) zeigt einen abfallenden Trend,

also eine Zunahme in den RTs von  $1,42ms$  pro Stunde. Dies legt nahe, dass die Müdigkeit aufgrund des Schlaf-Wach-Zyklus über den Tag hinweg sichtbare Auswirkungen auf die RTs der Versuchspersonen hat. Um dies zu überprüfen wurde ein Einstichproben-t-Test gegen 0 mit den Steigungen der Regressionen der einzelnen Versuchspersonen durchgeführt. Zunächst wurde mit dem Shapiro-Wilk-Test überprüft, ob Datenpunkte normalverteilt sind. Der Test war nicht signifikant ( $W = 0,95, p = 0,60$ ), wodurch sich eine Normalverteilung annehmen lässt. Der anschließende t-Test ergab, dass die Steigungen nicht signifikant ( $t(12) = -1,83, p = 0,09$ ) von null abweichen. Dies könnte allerdings auf die niedrige Stichprobengröße zurückzuführen sein.

Zudem sind Schwankungen in den Messwerten zu erkennen, welche deutliche Tiefpunkte um 12:00 Uhr ( $400,82ms \pm 9,76ms$ ), 17:00 Uhr ( $409,53ms \pm 10,65ms$ ) und 20:00 Uhr ( $400,40ms \pm 10,45ms$ ), sowie Hochpunkte um 13:00 Uhr ( $382,18ms \pm 8,30ms$ ) und 19:00 Uhr ( $390,22ms \pm 8,21ms$ ) aufweisen. Insbesondere der Tiefpunkt um 12:00 Uhr mit einer durchschnittlichen RT von  $400,82ms$  lässt einen mid-afternoon dip vermuten. Außerdem fällt auf, dass der Zeitslot um 12:00 Uhr den besten KSS-Wert (siehe Abbildung 5.1) erzielt hat, obwohl die RTs zu dieser Uhrzeit mitunter am schlechtesten waren. Insgesamt bewegen sich die Mittelwerte zwischen  $377,19ms$  und  $409,53ms$ , haben also einen Abstand von bis zu  $32,34ms$ .



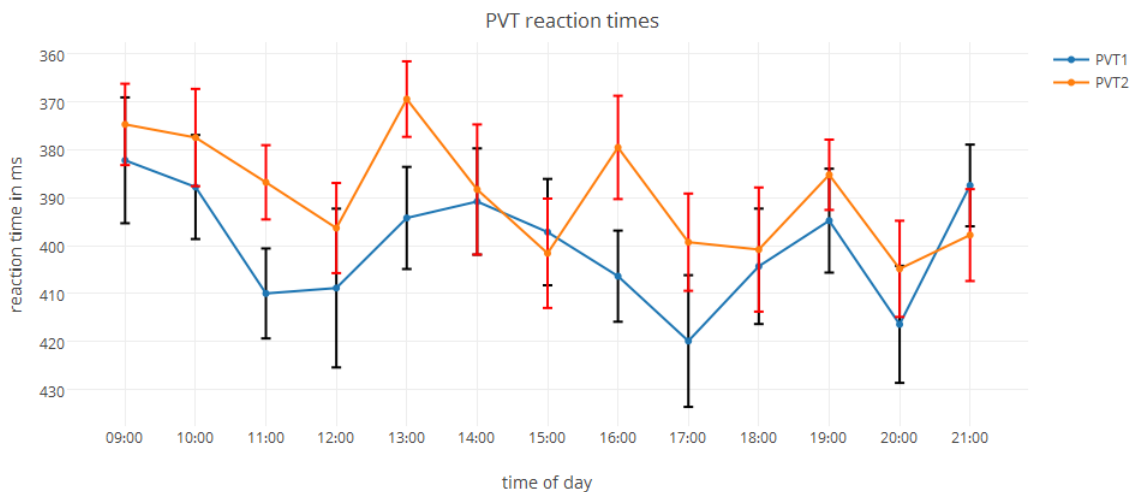
**Abbildung 5.2:** Tagesverlauf der kombinierten Reaktionszeiten aus PVT1 und PVT2 mit Standardfehlern.

In Abbildung 5.3 sind die beiden Phasen des PVT getrennt zu sehen. Der blaue Graph gehört zu den durchschnittlichen RTs des PVT1, der zu Beginn eines Spieldurchlaufs durchgeführt wird. Die durchschnittlichen RTs des PVT2, der am Ende eines Durchlaufs gespielt wird, werden durch den orangen Graph dargestellt.

Es ist deutlich zu erkennen, dass die RTs, die in der zweiten Phase des PVT aufgezeichnet wurden, nahezu durchgängig schneller waren, als diejenigen aus der ersten Phase. Es wurde



ein zweiseitiger gepaarter t-Test für die Mittelwerte der einzelnen Personen über alle Tage und Zeiten aus jeweils PVT1 und PVT2 durchgeführt, welcher signifikant ( $t(12) = 2,76, p = 0,02$ ) ausfällt und eine Aufmerksamkeitssteigerung innerhalb eines Spieldurchlaufs vermuten lässt. Da hierbei erneut eine kleine Stichprobengröße zum Einsatz kam, wurde ein Shapiro-Wilk-Test für die Messwertdifferenzen durchgeführt, welcher nicht signifikant ( $W = 0,92, p = 0,28$ ) ausfiel.

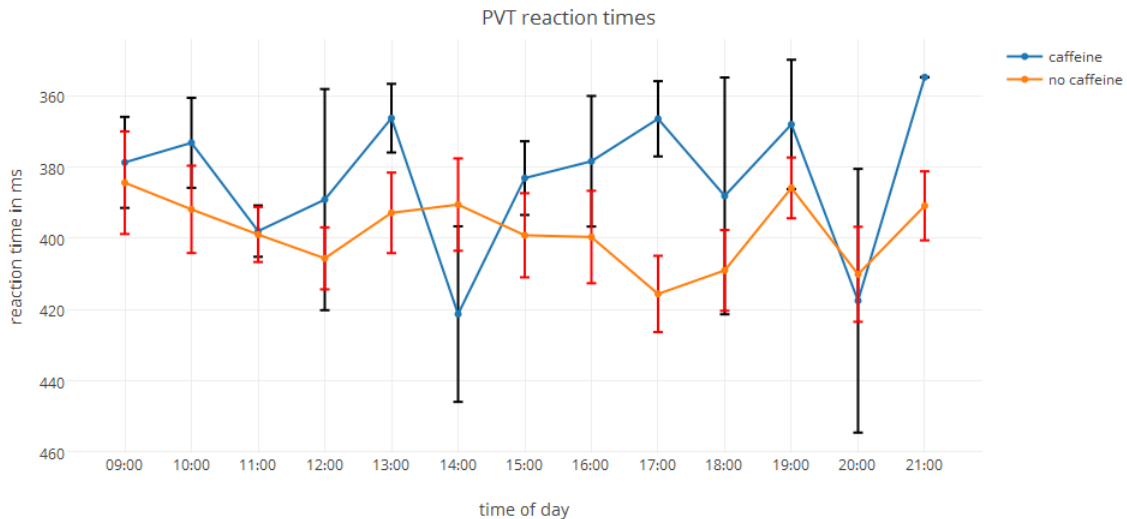


**Abbildung 5.3:** Tagesverlauf der Reaktionszeiten der PVT1-Phase (blau) und der PVT2-Phase (orange) mit Standardfehlern.

Des Weiteren können Auswirkungen von zeitnaher Koffeinzufuhr erkannt werden, wie in Abbildung 5.4 zu sehen ist. In dieser Grafik werden die RTs aus beiden PVT-Phasen kombiniert und getrennt nach vorherigem Koffeinkonsum dargestellt. Anschließend wurden die Mittelwerte und SE wie zuvor berechnet. Dabei wurden nur die Daten von Versuchspersonen betrachtet, die während der Studie Koffein zu sich genommen haben (9 von 13 Versuchspersonen). Daraus ergaben sich 1034 Messwerte, die unter dem Einfluss von Koffein und 3750 Messwerte die ohne den Einfluss von Koffein entstanden sind. Die Mittelwerte der RTs, die unter dem Einfluss von Koffein entstanden sind, werden blau dargestellt und die Messwerte, die ohne die Unterstützung von Koffein erzielt wurden, werden orange präsentiert.

Es ist zu erkennen, dass der blaue Graph nahezu durchgängig über dem orangenen verläuft. Um 13:00 Uhr ( $366,26ms \pm 9,64ms$ ), 17:00 Uhr ( $366,43ms \pm 10,57ms$ ) und 19:00 Uhr ( $368,00ms \pm 18,16ms$ ) besitzt der blaue Graph seine Hochpunkte und die Tiefpunkte befinden sich bei 14:00 Uhr ( $421,28ms \pm 24,66ms$ ) und 20:00 Uhr ( $417,53ms \pm 37,03ms$ ). Der orange Graph besitzt um 14:00 Uhr ( $390,53ms \pm 12,96ms$ ) und 19:00 Uhr ( $385,83ms \pm 8,53ms$ ) seine Hochpunkte und um 12:00 Uhr und um 17:00 Uhr seine Tiefpunkte. Auffällig sind die enormen Tiefpunkte des blauen Graphen, welche jeweils einen vergleichsweise großen SE aufweisen und vermutlich Ausreißer sind, da sie nicht dem Trend entsprechen. Dies resultiert aus der verkleinerten Stichprobe und der Aufteilung nach Koffeinzufuhr. Der einseitige gepaarte t-Test über die Mittelwerte der einzelnen Personen, über alle Tage und Zeiten,

deutet auf einen signifikanten Unterschied ( $t(8) = -2,41, p = 0,02$ ) zwischen den Werten hin. Der zugehörige Shapiro-Wilk-Test der Messwertdifferenzen war nicht signifikant ( $W = 0,93, p\text{-value} = 0,50$ ).



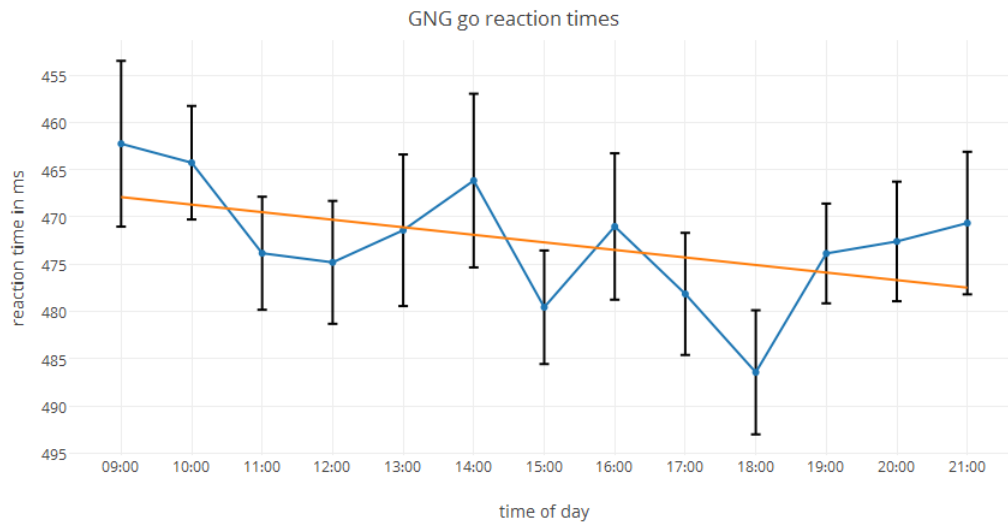
**Abbildung 5.4:** Tagesverlauf der Reaktionszeiten des PVT unter Koffeineinfluss (blau) und ohne Koffein (orange) mit Standardfehlern.

### 5.2.1.3 GNG

Für die RTs auf einen Go-Task im GNG liegen insgesamt 3689 Messwerte vor. Aus diesen Messwerten werden, wie eingangs beschrieben, die Mittelwerte für die einzelnen Zeitslots berechnet, wie sie in Abbildung 5.5 zu sehen sind.

Um den Tagesverlauf der RTs darzustellen, wurde erneut eine Regressionsanalyse durchgeführt. Die Regressionslinie ( $y = -0,80x + 460,72$ ) zeigt erneut einen abfallenden Trend, mit einer Zunahme in der RTs um  $0,80ms$  pro Stunde und lässt einen Zusammenhang mit dem Schlaf-Wach-Zyklus erkennen. Es wurden erneut ein Shapiro-Wilk-Test ( $W = 0,96, p = 0,68$ ), welcher auf eine Normalverteilung schließen ließ und ein Einstichproben-t-Test ( $t(12) = -1,36, p = 0,20$ ) gegen 0, welcher erneut nicht signifikant war, durchgeführt. Mit einer größeren Stichprobe und über einen längeren Zeitraum würde der Test vermutlich anders ausfallen.

Die zirkadianen Schwankungen sind in diesem Graph ebenfalls zu erkennen. Er besitzt drei Tiefpunkte um 12:00 Uhr ( $474,81ms \pm 6,51ms$ ), 15:00 Uhr ( $479,57ms \pm 6,01ms$ ) und 18:00 Uhr ( $486,46ms \pm 6,57ms$ ), sowie zwei Hochpunkte um 14:00 Uhr ( $466,16ms \pm 9,19ms$ ) und 16:00 Uhr ( $471,02ms \pm 7,75ms$ ). Genau wie der Graph in Abbildung 5.2 zeigt dieser Graph einen Tiefpunkt um 12:00 Uhr, was erneut einen mid-afternoon dip vermuten lässt. Insgesamt bewegen sich die Mittelwerte zwischen  $462,26ms$  und  $486,46ms$ , haben also einen Abstand von bis zu  $24,20ms$ .



**Abbildung 5.5:** Tagesverlauf der Reaktionszeiten des GNG mit Standardfehlern.

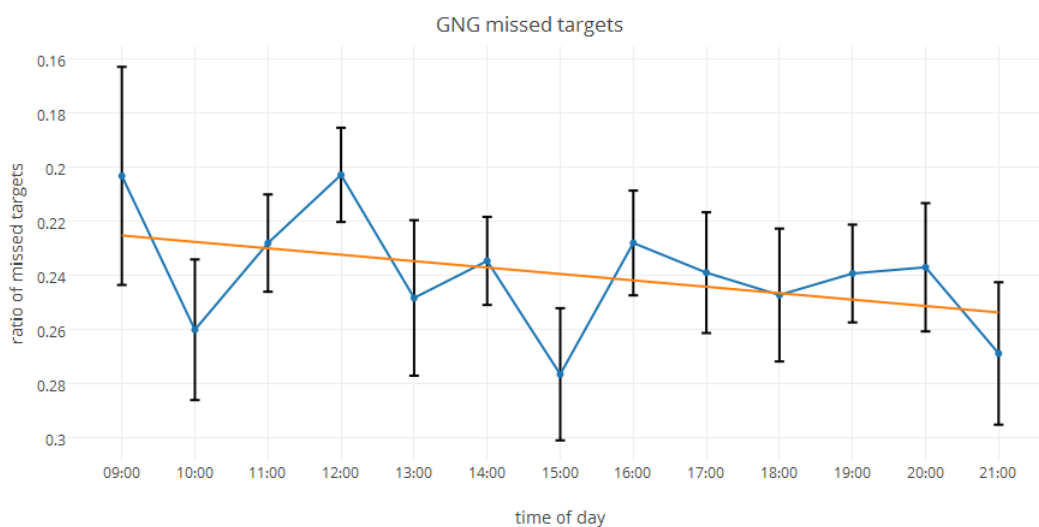
In Abbildung 5.6 wird der Tagesverlauf der gemittelten FR bei den Go-Tasks dargestellt. Dazu stehen insgesamt 931 Messwerte zur Verfügung.

Erneut wurde eine Regressionsanalyse durchgeführt, um den Tagesverlauf der FR zu verdeutlichen. Die Regressionslinie ( $y = -0,0024x + 0,20$ ) zeigt ebenfalls einen leicht abfallenden Trend, mit einer Zunahme der FR um 0,24% pro Stunde. Der Shapiro-Wilk-Test fiel erneut nicht signifikant aus ( $W = 0,93, p = 0,36$ ), allerdings zeigte der Einstichproben-t-Test gegen 0, über die einzelnen Steigungen der Regressionslinien der Probanden, keine Signifikanz ( $t(12) = -1,05, p = 0,31$ ).

Der Graph weist sehr starke Schwankungen auf, welche vermutlich nicht nur auf die zirkadianen Rhythmen, sondern insbesondere auf die geringe Anzahl von Messwerten zurückzuführen sind. Die vier Tiefpunkte dieses Graphen liegen bei 10:00 Uhr (26,01% ± 2,60%), 13:00 Uhr (24,84% ± 2,87%), 15:00 Uhr (27,66% ± 2,44%) und 18:00 Uhr (24,73% ± 2,46%). Der Graph besitzt außerdem vier Hochpunkte, die sich bei 12:00 Uhr (20,29% ± 1,74%), 14:00 Uhr (23,47% ± 1,63%), 16:00 Uhr (22,80% ± 1,94%) und 20:00 Uhr (23,70% ± 2,37%) befinden. Der mid-afternoon dip ist bei diesem vergleichsweise kleinen Datensatz erst um 13:00 Uhr zu erkennen. Insgesamt bewegt sich die gemittelte FR im Go-Task des GNG zwischen 20,29% und 27,66%. Das ist eine Schwankung von 7,37%.

In Abbildung 5.7 wird der Tagesverlauf der gemittelten FR bei den No-Go-Tasks dargestellt. In diesem Fall standen 1738 Messwerte zur Verfügung. Daraus lässt sich schließen, dass die Versuchspersonen deutlich öfter bei den No-Go-Tasks reagiert haben, als den Go-Task zu verpassen, insbesondere da die No-Go-Tasks deutlich seltener auftraten als die Go-Tasks. Dies lässt sich auch an der hohen FR in Abbildung 5.7 erkennen, die sich in der Nähe von 50% bewegt.

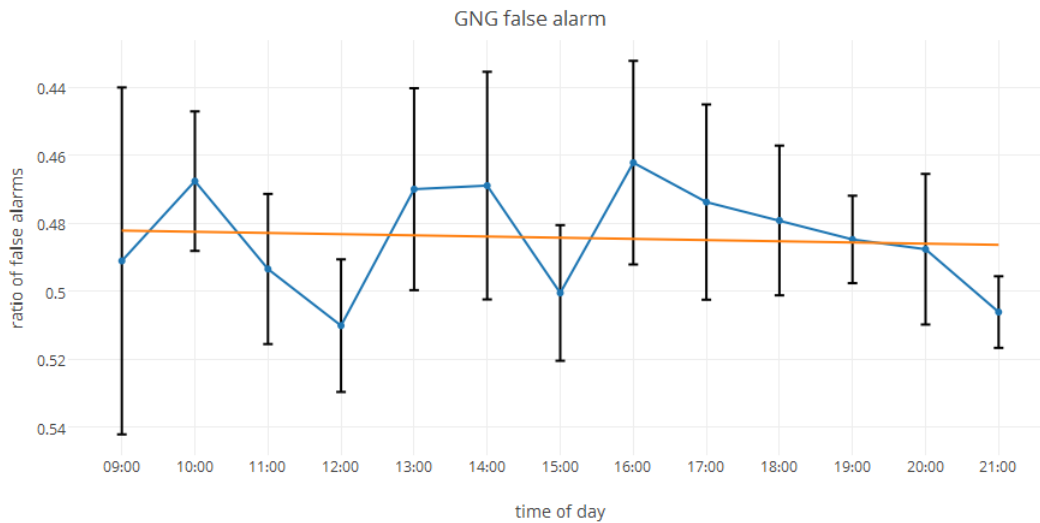
Zunächst wurde erneut eine Regressionsanalyse durchgeführt, um den Tagesverlauf der FR



**Abbildung 5.6:** Tagesverlauf der gemittelten Fehlerrate im Go-Task des GNG mit Standardfehlern.

darzustellen. Es ist ebenfalls ein Abfall der Steigung der Regressionslinie ( $y = 0,00035x + 0,48$ ) zu erkennen, der allerdings deutlich flacher ausfällt und nur eine Zunahme der FR um 0,035% pro Stunde aufweist. Der Shapiro-Wilk-Test über die einzelnen Steigungen der einzelnen Versuchspersonen fiel erneut nicht signifikant ( $W = 0,94, p = 0,46$ ) aus. Der Einstichproben-t-Test fiel ebenfalls nicht signifikant ( $t(12) = -0,29, p = 0,78$ ) aus.

Der Graph besitzt insgesamt zwei Tiefpunkte, die um 12:00 Uhr (52,01%  $\pm$  1,95%) und um 15:00 Uhr (50,05%  $\pm$  2,00%) auftreten. Die drei Hochpunkte befinden sich bei 10:00 Uhr (46,76%  $\pm$  2,05%), 14:00 Uhr (46,89%  $\pm$  3,35%) und 16:00 Uhr (46,21%  $\pm$  3,00%). Der deutliche Tiefpunkt um 12:00 Uhr lässt hier erneut auf einen mid-afternoon dip schließen. Die niedrigste FR beträgt 46,21% und die höchste 51,01%. Das ergibt insgesamt eine Schwankung von 4,80%.



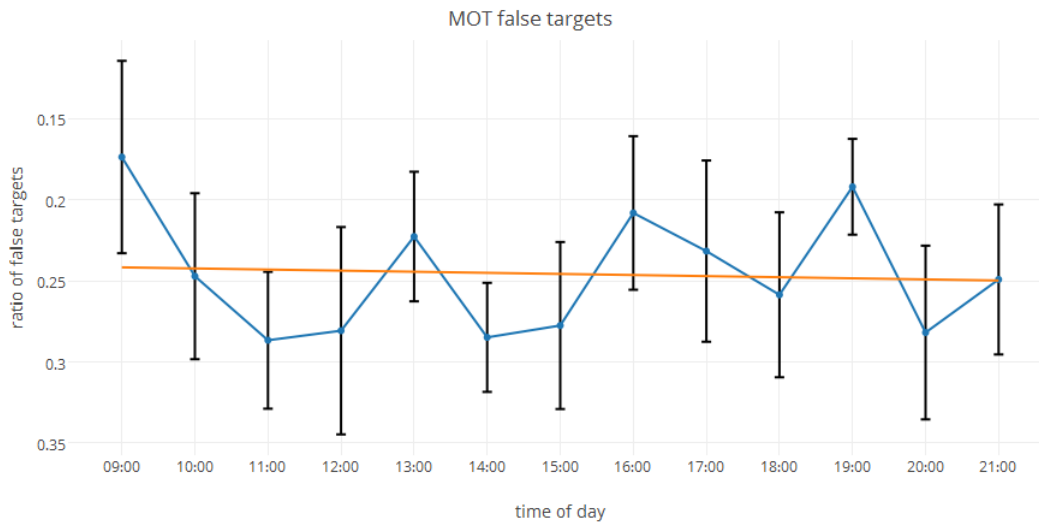
**Abbildung 5.7:** Tagesverlauf der gemittelten Fehlerrate im No-Go-Task des GNG mit Standardfehlern.

#### 5.2.1.4 MOT

Für den MOT stehen insgesamt ebenfalls 931 Messergebnisse zur Verfügung, da er nur durchgeführt wird, falls die Versuchsperson nicht auf einen Go-Stimulus im GNG reagiert.

Die durchgeführte Regressionsanalyse zeigt erneut einen abfallenden Trend der Regressionslinie ( $y = 0,00068x + 0,24$ ) über den Tag hinweg. Die FR nimmt folglich um 0,068% pro Stunde zu. Der Shapiro-Wilk-Test über die einzelnen Steigungen ist nicht signifikant ( $W = 0,88, p = 0,08$ ), lässt also auf eine Normalverteilung der Werte schließen. Der Einstichproben-t-Test gegen 0 fällt ebenfalls nicht signifikant ( $t(12) = 0,30, p = 0,77$ ) aus. Die Auswirkungen des Schlaf-Wach-Zyklus lassen demnach einen Trend in dem Graph erkennen, welcher aber nicht signifikant ist.

Die Tiefpunkte des Graphen liegen bei 11:00 Uhr ( $28,66\% \pm 4,22\%$ ), 14:00 Uhr ( $28,49\% \pm 3,36\%$ ), 18:00 Uhr ( $25,86\% \pm 5,09\%$ ) und 20:00 Uhr ( $28,19\% \pm 5,36\%$ ). Die Hochpunkte befinden sich bei 13:00 Uhr ( $22,27\% \pm 4,00\%$ ), 16:00 Uhr ( $20,81\% \pm 4,74\%$ ) und 19:00 Uhr ( $19,20\% \pm 3,00\%$ ). Die durchschnittlichen FRs bewegen sich zwischen 17,36% und 28,67%, schwanken also um 11,31%.



**Abbildung 5.8:** Tagesverlauf der gemittelten Fehlerrate des MOT mit Standardfehlern.

### 5.2.1.5 Notifikationen

Da zwei Versuchspersonen über Probleme mit den Notifikationen berichteten, werden im Folgenden nur die Daten der restlichen 11 Probanden betrachtet. Die Versuchspersonen haben die Applikation sowohl über die Notifikationen, als auch über das Launcher-Icon gestartet. Im Durchschnitt wurden 10,6 ( $SD = 5.54$ ) Bonusnotifikationen angeklickt, um das Spiel zu starten. Da die Studie für zehn Tage anberaumt war, macht das etwa eine Bonusnotifikation, die im Durchschnitt pro Tag geklickt wurde. Insgesamt wurden zwei Bonusnotifikationen pro Tag versendet. Das ergibt eine Antwortrate von etwa 50%, obwohl die Bonusnotifikationen nach 20 Minuten selbstständig verschwunden sind. Die normalen Notifikationen wurden durchschnittlich 29,10 Mal ( $SD = 9,66$ ) geklickt, das sind durchschnittlich etwa drei geklickte normale Notifikationen pro Tag, von denen insgesamt vier pro Tag versendet wurden und die nicht von selbst verschwunden sind. Das entspricht einer Antwortrate von etwa 75%. Abgesehen davon wurde die Applikation oft normal, also über das Launcher-Icon, gestartet. Durchschnittlich 19,09 ( $SD = 21,94$ ) Appstarts wurden ohne die Hilfe einer Notifikation durchgeführt. Das entspricht etwa zwei normalen Appstarts pro Tag. Zusammenfassend wurde durchschnittlich etwa eine Bonusnotifikation zum Starten verwendet, die Applikation zweimal ohne Notifikation gestartet und dreimal über eine normale Notifikation. Die großen SDs lassen vermuten, dass die Verwendung der Notifikationen sehr unregelmäßig war. Subjektive Bewertungen der Notifikationen sind in Abschnitt 5.2.2 aufgeführt.

Sahami Shirazi et al. [SHD+14] haben in einer Studie Notifikationen untersucht und kamen zu dem Ergebnis, dass Notifikationen von Spielen als weniger wichtig betrachtet werden (durchschnittlich 2,34 ( $SD = 1,42$ ) von 5 erreichbaren Punkten). Notifikationen gelten als störend und ablenkend und werden primär für Messaging-Applikationen verwendet.

Dennoch ist in Tabelle 5.1 gut zu erkennen, dass in den Zeitslots relativ gleichmäßig Daten generiert wurden. Die Tabelle zeigt die durchschnittlichen Appstarts über sämtliche Versuchspersonen. Die Durchschnittswerte sind nahe beieinander und die Standardabweichungen eher moderat. Einzig im ersten Zeitslot wurden weniger Appstarts durchgeführt, was auf die erhöhte Anzahl studentischer Teilnehmer zurückzuführen sein könnte, die zu dieser Uhrzeit womöglich noch nicht aktiv sind. Dafür wurde die Applikation abends öfter gestartet und weist eine höhere SD auf.

Zeitslot	Durchschnittliche Anzahl an Appstarts mit SD
09:00 Uhr - 11:00 Uhr	5,69 ± 2,50
11:00 Uhr - 13:00 Uhr	8,46 ± 3,31
13:00 Uhr - 15:00 Uhr	8,78 ± 2,77
15:00 Uhr - 17:00 Uhr	7,92 ± 3,38
17:00 Uhr - 19:00 Uhr	8,23 ± 2,49
19:00 Uhr - 21:00 Uhr	9,78 ± 6,15

**Tabelle 5.1:** Die durchschnittliche Anzahl an Appstarts über alle Versuchspersonen und Tage, die pro Zeitslot durchgeführt wurden.

### 5.2.2 Feedback

Der abschließende Fragebogen wurde anonym und online durchgeführt. An ihr haben 12 der 13 Versuchspersonen teilgenommen. Die Bewertung der einzelnen Aussagen geschah auf einer 7-Punkte-Skala (1=totally disagree, 7=totally agree) und kann in den jeweiligen Tabellen als Durchschnittswert mit zugehöriger SD betrachtet werden.

In Tabelle 5.2 sind die Ergebnisse zum PVT zu sehen. Diese Aufgabe wurde von den Versuchspersonen als am wenigsten schwere und anstrengende Aufgabe wahrgenommen. Gleichzeitig hat ihnen die Aufgabe am meisten Spaß gemacht und konnte in kurzer Zeit bewältigt werden. Die vergleichsweise geringen SDs deuten darauf hin, dass sich die Versuchspersonen relativ einig waren.

Aussage	Bewertung mit SD
Es hat lange gedauert diese Aufgabe zu beenden	1,92 ± 0,67
Es war schwierig diese Aufgabe zu beenden	1,25 ± 0,45
Es war anstrengend diese Aufgabe zu beenden	1,83 ± 0,94
Es hat Spaß gemacht diese Aufgabe zu beenden	5,33 ± 0,89

**Tabelle 5.2:** Die durchschnittlichen Ergebnisse des Fragebogens zum PVT.

Die Ergebnisse zum GNG sind in Tabelle 5.3 dargestellt. Aus ihnen geht hervor, dass die Probanden diese Aufgabe als deutlich schwieriger und anstrengender empfanden, als den PVT.

Ebenso die Dauer der Aufgabe wurde als höher eingestuft. Daraus resultiert möglicherweise, dass der GNG etwas weniger Spaß gemacht hat, obwohl er abwechslungsreicher als der PVT ist.

<b>Aussage</b>	<b>Bewertung mit SD</b>
Es hat lange gedauert diese Aufgabe zu beenden	4,42 ± 1,17
Es war schwierig diese Aufgabe zu beenden	4,83 ± 1,34
Es war anstrengend diese Aufgabe zu beenden	4,25 ± 1,82
Es hat Spaß gemacht diese Aufgabe zu beenden	4,33 ± 1,50

**Tabelle 5.3:** Die durchschnittlichen Ergebnisse des Fragebogens zum GNG.

Der MOT wurde von den Probanden als längste Aufgabe bewertet, wie in Tabelle 5.4 zu erkennen ist. Allerdings wurde der MOT durchschnittlich als leichter und weniger anstrengend eingestuft, als der GNG, obwohl er kognitiv fordernder ist. Des Weiteren lässt sich feststellen, dass der MOT den Versuchspersonen durchschnittlich ähnlich viel Spaß gemacht hat, wie der GNG. Die hohen SDs lassen jedoch auf große Meinungsunterschiede innerhalb der Stichprobe schließen.

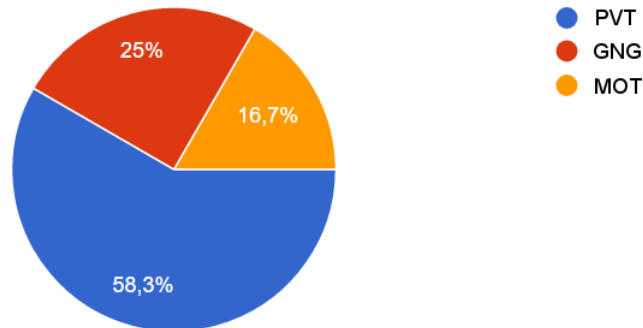
<b>Aussage</b>	<b>Bewertung mit SD</b>
Es hat lange gedauert diese Aufgabe zu beenden	4,83 ± 1,90
Es war schwierig diese Aufgabe zu beenden	4,08 ± 1,56
Es war anstrengend diese Aufgabe zu beenden	3,92 ± 1,98
Es hat Spaß gemacht diese Aufgabe zu beenden	4,08 ± 2,19

**Tabelle 5.4:** Die durchschnittlichen Ergebnisse des Fragebogens zum MOT.

Anschließend wurden die Studienteilnehmer nach ihrer bevorzugten Aufgabe gefragt, welche entsprechend den vorangegangenen Durchschnittswerten ausgefallen ist (siehe Abbildung 5.9). Der PVT war mit 58,3%, und somit absoluter Mehrheit, die beliebteste Aufgabe, gefolgt vom GNG mit 25% und dem MOT mit 16,7%.



Welche Aufgabe haben Sie generell bevorzugt? (12 Antworten)



**Abbildung 5.9:** Die bevorzugte Aufgabe während eines Spieldurchlaufs.

In Tabelle 5.5 sind die Ergebnisse zusätzlicher Aussagen zu sehen, welche sich mit ausgewählten Spiel-Design-Elementen und den Notifikationen beschäftigen. Die erste Aussage betrifft das Levelsystem, welches mit durchschnittlichen 3,5 von 7 Punkten eher moderat zur Motivation der Probanden beigetragen hat. Die hohe SD lässt indes darauf schließen, dass es eventuell von der Person abhängig ist, wie sehr sie sich davon motivieren lässt. Das gleiche lässt sich über die freischaltbaren Autos sagen, welche mit 3,67 ähnlich abgeschnitten haben und eine ähnlich hohe SD aufweisen.

Die Notifikationen haben hingegen gut abgeschnitten ( $5,08 \pm 1,83$  Punkte) und haben die Probanden tendenziell eher motiviert zu den gegebenen Zeiten zu spielen. Ebenso haben die Bonusnotifikationen eher einen motivierenden Effekt auf die Versuchspersonen gehabt ( $4,75 \pm 1,71$  Punkte)

Aussage	Bewertung mit SD
Das Levelsystem hat mich motiviert öfter zu spielen	$3,5 \pm 2,24$
Die freischaltbaren Autos haben mich motiviert öfter zu spielen	$3,67 \pm 2,15$
Die Notifications haben mich motiviert zu den gegebenen Zeiten zu spielen	$5,08 \pm 1,83$
Die Notifications, durch die es die doppelte Anzahl Erfahrungspunkte gab, haben mich zusätzlich motiviert	$4,75 \pm 1,71$

**Tabelle 5.5:** Die durchschnittlichen Ergebnisse des Fragebogens zu ausgewählten Elementen der Applikation.

## 5.3 Diskussion

Ziel der Studie war es zu evaluieren, ob mit der Applikation die Schwankungen und der Abfall in der kognitiven Performanz über den Tag hinweg gemessen werden können. Alle Messergebnisse zeigen wie erwartet einen abfallenden Trend in Form einer Zunahme der RTs oder der FR über den Tag hinweg, jedoch weichen die Steigungen nicht signifikant von null ab. Einzig die subjektive Wahrnehmung der Müdigkeit der Probanden, die sie über die KSS angegeben hatten, weist einen signifikanten Abfall auf. Ferner wurden die Ergebnisse auf zirkadiane Schwankungen hin untersucht. Alle Variablen, bis auf die FR des Go-Task des GNG zeigten Tiefpunkte in RT und FR um die Mittagszeit. Diese Tiefpunkte sind typisch für die zirkadiane Rhythmik und werden als mid-afternoon dip bezeichnet. Bei den RTs aus PVT und GNG und der FR des MOT konnte des Weiteren ein Tiefpunkt um 15:00 Uhr und ein anderer um ca. 17:00 Uhr bis 18:00 Uhr festgestellt werden, während bei den FRs des GNG ebenfalls ein Tiefpunkt um 15:00 Uhr auftrat. Die zirkadianen Schwankungen wirken sich demnach sehr ähnlich auf die unterschiedlichen Aufgaben aus und können mit der Applikation erfasst werden.

### 5.3.1 Limitationen

Die erfassten Daten unterliegen einem starken Rauschen, was unter anderem durch den Einsatz im Feld, aber auch die geringe Stichprobengröße, zustande kommt. Die Personen werden nie im gleichen Umfeld die Applikation verwenden. So könnten sie das eine Mal alleine in ihrem Zimmer einen Spieldurchlauf abschließen, während sie komplett konzentriert sind und ein anderes Mal währenddessen in einer Bar sitzen, in der es laute Umgebungsgeräusche und Personen, die mit einem reden, gibt. Das bedeutet, dass die abhängigen Variablen von verschiedenen unberechenbaren Störvariablen beeinträchtigt werden können. Abgesehen davon haben die Versuchspersonen nicht jeden Tag gleich viel Zeit und es gibt Tage, an denen sie gar nicht oder nur sehr wenig spielen können, während sie an anderen Tagen viel Zeit dafür haben. Gleichermaßen gibt es Tage oder Wochen, an denen die Probanden gestresster oder entspannter sein können, was sich ebenfalls auf die Ergebnisse auswirken kann. Um dem Rauschen entgegenzuwirken, müssten mehr Daten gesammelt werden, d. h. es müssten mehr Probanden rekrutiert werden, die über einen längeren Zeitraum an der Studie teilnehmen. Dies wäre wiederum mit einem erhöhten zeitlichen und finanziellen Aufwand verbunden.

## 6 Fazit

In dieser Arbeit wurde ein vorhandenes und evaluiertes Toolkit zur Bestimmung der kognitiven Performance gamifiziert und es wurde gezeigt, dass die Aufgaben PVT, GNG und MOT auch in Form eines Spiels die erwarteten Trends zeigen. Die Reaktionszeiten und Fehlerraten sind mit zunehmenden Wachheit der Probanden schlechter geworden, wie es durch den Schlaf-Wach-Zyklus zu erwarten war und es konnten parallele Schwankungen in den einzelnen Aufgaben festgestellt werden, insbesondere mittags, welche typisch für die zirkadianen Rhythmen sind. Die zugehörigen t-Tests zu den Daten sind zwar in den meisten Fällen negativ ausgefallen, allerdings lässt die vorangegangene Forschung und der erkennbare Trend der Daten vermuten, dass eine größere Stichprobe und ein längerer Messzeitraum aussagekräftigere Ergebnisse liefern, deren t-Tests signifikant ausfallen könnten.

### 6.1 Ausblick

Durch die stetige wachsende Digitalisierung unseres Alltags, z. B. im IoT-Bereich, stehen uns und den Systemen immer mehr Daten zur Verfügung, sodass es verschiedene Möglichkeiten gibt, wie Circadian-Aware-Systems in Zukunft ihre Messungen und Berechnungen durchführen könnten.

So könnte der Gedanke der gamifizierten Anwendung fortgeführt werden, indem eine Applikation, vergleichbar mit der aus dieser Arbeit, von einem professionellen Spieleentwickler-Team entwickelt wird. Dieses könnte mit mehr Zeit und Geld zusätzliche Spiel-Design-Elemente umsetzen und mehr Abwechslung anbieten. Durch nachfolgende Updates könnten außerdem neue Spielinhalte integriert werden, um die Langzeitmotivation der Nutzer zu steigern. Eine weitere Möglichkeit wäre es die kognitiven Aufgaben in Free-to-Play-Spiele zu integrieren, die wie bereits verbreitete Spiele, z. B. Candy Crush oder FarmVille, funktionieren, sodass den Nutzern die Möglichkeit gegeben wird, den nächsten Spieldurchgang bzw. -zug früher zu tätigen, wenn sie eine der kognitiven Aufgaben durchführen.

Es könnten auch komplett passive Messmethoden entwickelt werden, die sich in den Alltag des Nutzers integrieren, ohne ihn dabei abzulenken. Für Menschen, die ihren Arbeitsplatz in einem Büro haben und viel mit Tippen auf der Tastatur beschäftigt sind, könnte ein Messverfahren sinnvoll sein, dass die Fehlerrate und Tippgeschwindigkeit der Nutzer misst, um daraus Rückschlüsse auf die Aufmerksamkeit und Wachheit des Nutzers zu schließen. Für LKW-Fahrer oder vergleichbare Berufe könnte die Messungen über das Fahrverhalten stattfinden. Es könnte aufgezeichnet werden, wie oft der Fahrer über die Spurbegrenzungen bzw.

wie gleichmäßig er fährt. Es gibt sehr viele Möglichkeiten unsere Aufmerksamkeit zu messen, die sich in unseren Alltag integrieren lassen und es werden mit dem technischen Fortschritt ständig neue dazukommen. Zunächst müssen Sie allerdings ausprobiert und evaluiert werden, bevor schließlich solche Systeme entwickelt werden können.

Ist dies geschehen, könnten die Circadian-Aware-Systems unseren Alltag angenehmer gestalten, indem sie uns Vorschläge für Termine machen oder sich unserer aktuellen kognitiven Performanz anpassen, um uns zu entlasten. Dies würde zu einer Verminderung von Stress führen, was wiederum zur Folge hat, dass das Auftreten von stressbedingten Krankheiten zurückgeht.

# Literaturverzeichnis

- [ÅG90] T. Åkerstedt, M. Gillberg. „Subjective and Objective Sleepiness in the Active Individual“. In: *International Journal of Neuroscience* 52.1-2 (1990). PMID: 2265922, S. 29–37. DOI: [10.3109/00207459008994241](https://doi.org/10.3109/00207459008994241). eprint: <http://dx.doi.org/10.3109/00207459008994241>. URL: <http://dx.doi.org/10.3109/00207459008994241> (zitiert auf S. 25).
- [AKP+12] N. Asaj, B. Konings, M. Poguntke, F. Schaub, B. Wiedersheim, M. Weber. „Gamification: State of the Art Definition and Utilization“. In: *RTMI '12 - Proceedings of the 4th Seminar on Research Trends in Media Informatics*. Universität Ulm, 2012. DOI: [10.18725/OPARU-1773](https://doi.org/10.18725/OPARU-1773). URL: <https://doi.org/10.18725/OPARU-1773> (zitiert auf S. 31).
- [AMM+14] S. Abdullah, M. Matthews, E. L. Murnane, G. Gay, T. Choudhury. „Towards circadian computing: “Early to Bed and Early to Rise” Makes Some of Us Unhealthy and Sleep Deprived“. In: *Proceedings of the 2014 ACM International Joint Conference on Pervasive and Ubiquitous Computing - UbiComp '14 Adjunct*. Association for Computing Machinery (ACM), 2014. DOI: [10.1145/2632048.2632100](https://doi.org/10.1145/2632048.2632100) (zitiert auf S. 15, 23).
- [AMM+16] S. Abdullah, E. L. Murnane, M. Matthews, M. Kay, J. A. Kientz, G. Gay, T. Choudhury. „Cognitive Rhythms: Unobtrusive and Continuous Sensing of Alertness Using a Mobile Phone“. In: *Proceedings of the 2016 ACM International Joint Conference on Pervasive and Ubiquitous Computing - UbiComp '16*. Association for Computing Machinery (ACM), 2016. DOI: [10.1145/2971648.2971712](https://doi.org/10.1145/2971648.2971712) (zitiert auf S. 15, 19, 23).
- [BC07] K. Blatter, C. Cajochen. „Circadian rhythms in cognitive performance: Methodological constraints, protocols, theoretical underpinnings“. In: *Physiology & Behavior* 90.2–3 (2007). Includes a Special Section on Chronobiology Aspects of the Sleep–Wake Cycle and Thermoregulation, S. 196–208. ISSN: 0031-9384. DOI: [10.1016/j.physbeh.2006.09.009](https://doi.org/10.1016/j.physbeh.2006.09.009). URL: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0031938406003945> (zitiert auf S. 20–22).
- [BL13] I. Blohm, J. M. Leimeister. „Gamification“. In: *WIRTSCHAFTSINFORMATIK* 55.4 (2013), S. 275–278. ISSN: 1861-8936. DOI: [10.1007/s11576-013-0368-0](https://doi.org/10.1007/s11576-013-0368-0). URL: <http://dx.doi.org/10.1007/s11576-013-0368-0> (zitiert auf S. 31–33).
- [Dem] D. W. C. Dement. *Stanford Sleepiness Scale*. URL: <https://web.stanford.edu/~dement/sss.html> (zitiert auf S. 26).

- [DGS07] DGSM. *Epworth-Schläfrigkeitsskala*. 19. Juli 2007. URL: [http://www.dgsm.de/fachinformationen\\_fragebogen\\_epworth.php](http://www.dgsm.de/fachinformationen_fragebogen_epworth.php) (zitiert auf S. 26, 27).
- [DSM17] T. Dingler, A. Schmidt, T. Machulla. „Building Cognition-Aware Systems: A Mobile Toolkit for Extracting Time-of-Day Fluctuations of Alertness“. 2017 (zitiert auf S. 16, 23–25, 30).
- [HD00] P. D. Hans P. A. Van Dongen, P. D. David F. Dinges. „Circadian Rhythms in Fatigue, Alertness and Performance Unit for Experimental Psychiatry“. In: *Principles and Practice of Sleep Medicine (3rd ed.)* Hrsg. von I. M. H. Kryger, T. R. W. C. Dement. pp. 391–399. W. B. Springer, 2000, S. 391–399 (zitiert auf S. 15, 25).
- [Joh91] M. W. Johns. „A New Method for Measuring Daytime Sleepiness: The Epworth Sleepiness Scale“. In: *Sleep* 14.6 (1991) (zitiert auf S. 26).
- [Joh92] M. W. Johns. „Reliability and Factor Analysis of the Epworth Sleepiness Scale“. In: *Sleep* 14.4 (1992) (zitiert auf S. 26).
- [Kel10] S. Keller. „Wertigkeit von MSLT und Langzeit-EEG in der Diagnostik der Narkolepsie“. Diss. Medizinische Fakultät der Ruhr-Universität Bochum, 2010 (zitiert auf S. 28).
- [Kle33] N. Kleitman. „STUDIES ON THE PHYSIOLOGY OF SLEEP“. In: *American Journal of Physiology – Legacy Content* 104.2 (1933), S. 449–456. ISSN: 0002-9513. eprint: <http://ajplegacy.physiology.org/content/104/2/449.full.pdf>. URL: <http://ajplegacy.physiology.org/content/104/2/449> (zitiert auf S. 20, 27).
- [KRC+13] M. Kay, K. Rector, S. Consolvo, B. Greenstein, J. O. Wobbrock, N. F. Watson, J. A. Kientz. „PVT-touch: Adapting a reaction time test for touchscreen devices“. In: *2013 7th International Conference on Pervasive Computing Technologies for Healthcare and Workshops*. 2013, S. 248–251 (zitiert auf S. 22–24).
- [KTÅ+06] K. Kaida, M. Takahashi, T. Åkerstedt, A. Nakata, Y. Otsuka, T. Haratani, K. Fukasawa. „Validation of the Karolinska sleepiness scale against performance and EEG variables“. In: *Clinical Neurophysiology* 117.7 (2006), S. 1574–1581. ISSN: 1388-2457. DOI: [10.1016/j.clinph.2006.03.011](https://doi.org/10.1016/j.clinph.2006.03.011). URL: <http://dx.doi.org/10.1016/j.clinph.2006.03.011> (zitiert auf S. 25).
- [LLD+04] S. Loh, N. Lamond, J. Dorrian, G. Roach, D. Dawson. „The validity of psychomotor vigilance tasks of less than 10-minute duration“. In: *Behavior Research Methods, Instruments, & Computers* 36.2 (2004), S. 339–346. ISSN: 1532-5970. DOI: [10.3758/BF03195580](https://doi.org/10.3758/BF03195580). URL: <http://dx.doi.org/10.3758/BF03195580> (zitiert auf S. 28).
- [MAM+16] E. L. Murnane, S. Abdullah, M. Matthews, M. Kay, J. A. Kientz, T. Choudhury, G. Gay, D. Cosley. „Mobile Manifestations of Alertness: Connecting Biological Rhythms with Patterns of Smartphone App Use“. In: *Proceedings of the 18th International Conference on Human-Computer Interaction with Mobile Devices and Services*. MobileHCI ’16. Florence, Italy: ACM, 2016, S. 465–477. ISBN: 978-1-4503-4408-1. DOI: [10.1145/2935334.2935383](https://doi.org/10.1145/2935334.2935383). URL: <http://doi.acm.org/10.1145/2935334.2935383> (zitiert auf S. 22).

- [Mie10] H.-P. Mieg. „Vigilanzentwicklung unter nCPAP-Therapie beim obstruktiven Schlafapnoesyndrom unter besonderer Berücksichtigung der zirkadianen Rhythmik“. Diss. Medizinische Fakultät der Charité – Universitätsmedizin Berlin, 19. Feb. 2010, S. 22–32. URL: [http://www.diss.fu-berlin.de/diss/servlets/MCRFileNodeServlet/FUDISS\\_derivate\\_00000002326/](http://www.diss.fu-berlin.de/diss/servlets/MCRFileNodeServlet/FUDISS_derivate_00000002326/) (zitiert auf S. 19, 26–29).
- [NG10] H. Niemann, S. Gauggel. „Störungen der Aufmerksamkeit“. In: P. Frommelt, H. Lösslein. *NeuroRehabilitation*. 2010, S. 145–170. ISBN: 978-3-642-12915-5. DOI: [10.1007/978-3-642-12915-5](https://doi.org/10.1007/978-3-642-12915-5) (zitiert auf S. 19).
- [Pou16] J. Poushter. *Smartphone Ownership and Internet Usage Continues to Climb in Emerging Economies*. 22. Feb. 2016. URL: <http://www.pewglobal.org/2016/02/22/smartphone-ownership-and-internet-usage-continues-to-climb-in-emerging-economies/> (zitiert auf S. 22).
- [SHD+14] A. Sahami Shirazi, N. Henze, T. Dingler, M. Pielot, D. Weber, A. Schmidt. „Large-scale Assessment of Mobile Notifications“. In: *Proceedings of the 32Nd Annual ACM Conference on Human Factors in Computing Systems*. CHI '14. Toronto, Ontario, Canada: ACM, 2014, S. 3055–3064. ISBN: 978-1-4503-2473-1. DOI: [10.1145/2556288.2557189](https://doi.org/10.1145/2556288.2557189). URL: <http://doi.acm.org/10.1145/2556288.2557189> (zitiert auf S. 62).
- [SSH08] S. Shiffman, A. A. Stone, M. R. Hufford. „Ecological Momentary Assessment“. In: *Annual Review of Clinical Psychology* 4.1 (2008). PMID: 18509902, S. 1–32. DOI: [10.1146/annurev.clinpsy.3.022806.091415](https://doi.org/10.1146/annurev.clinpsy.3.022806.091415). eprint: <http://dx.doi.org/10.1146/annurev.clinpsy.3.022806.091415>. URL: <http://dx.doi.org/10.1146/annurev.clinpsy.3.022806.091415> (zitiert auf S. 23).
- [Veg07] C. B. W. de Vega. „Fahrschlafigkeit gemessen mit dem Pupillographischen Schläfrigkeitstest an süddeutschen Autobahn-Raststätten“. Diss. medizinische Fakultät der Eberhard-Karls-Universität Tübingen, 2007 (zitiert auf S. 28).
- [WDMR06] M. Wittmann, J. Dinich, M. Merrow, T. Roenneberg. „Social Jetlag: Misalignment of Biological and Social Time“. In: *Chronobiology International* 23.1-2 (Jan. 2006), S. 497–509. ISSN: 0742-0528. DOI: [10.1080/07420520500545979](https://doi.org/10.1080/07420520500545979). URL: <http://dx.doi.org/10.1080/07420520500545979> (zitiert auf S. 16).

Alle URLs wurden zuletzt am 02. 05. 2017 geprüft.





## **Erklärung**

Ich versichere, diese Arbeit selbstständig verfasst zu haben. Ich habe keine anderen als die angegebenen Quellen benutzt und alle wörtlich oder sinngemäß aus anderen Werken übernommene Aussagen als solche gekennzeichnet. Weder diese Arbeit noch wesentliche Teile daraus waren bisher Gegenstand eines anderen Prüfungsverfahrens. Ich habe diese Arbeit bisher weder teilweise noch vollständig veröffentlicht. Das elektronische Exemplar stimmt mit allen eingereichten Exemplaren überein.

---

Ort, Datum, Unterschrift