

Bachelorarbeit

**„Untersuchung des Einflusses der Lichteinstellungen  
eines Bildschirms auf die geistige Belastung des  
Personals anhand einer Analyse der Biosignale“**

Erstellt durch: **Abdullah Ba Khashwain**

Matrikelnummer: 

Studiengang: **Medizintechnik**

Erster Gutachter: **Prof. Dr. Jürgen Lorenz**

Zweiter Gutachter: **Dr.-Ing. Mario Meza**

Abgabedatum: 25.08.2019

# Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis .....	I
Abbildungsverzeichnis .....	II
Tabellenverzeichnis .....	IV
Abkürzungsverzeichnis .....	V
1. Einleitung .....	1
2. Theoretischer Hintergrund .....	4
2.1 Das autonome Nervensystem .....	4
2.2 Herzratenvariabilität .....	6
2.3 Additive Faktormethode .....	10
3. Materialien und Methoden .....	12
3.1 Versuchspersonen .....	12
3.2 Versuchsaufbau .....	12
3.3 Erfasste Biosignale .....	19
3.4 Datenbearbeitung .....	20
3.5 Statistische Auswertung .....	21
4. Ergebnisse .....	22
4.1 CW-Test .....	22
4.1.1 Reaktionszeiten und Fehlerquoten .....	22
4.1.2 HRV .....	25
4.2 Leseaufgabe .....	29
4.2.1 NASA-TLX .....	30
4.2.2 HRV .....	30
5. Diskussion .....	36
Referenz und Literaturverzeichnis .....	V
Anhang .....	VIII
Digitale Version .....	XXX

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1 Lage der prä- und postganglionären Neuronen des Sympathikus (rot) bzw. Parasympathikus (grün) [7, S. 103].	4
Abbildung 2 Zielorgane vom Sympathikus und Parasympathikus [5, S. 328].	5
Abbildung 3 Entstehung des Elektrokardiogramms [5, S. 48].	6
Abbildung 4 Der LF-Bereich, reprinted from [35, S. 37].	8
Abbildung 5 Der HF-Bereich [35, S. 32].	9
Abbildung 6 Die respiratorische Sinusarrhythmie (RSA) [35, S. 22].	9
Abbildung 7 Poincaré Plot	10
Abbildung 8 Die additive Faktormethode (AFM).	11
Abbildung 9 Versuch-Set-Up im Raum Cave	12
Abbildung 10 Die degradierten Farbeinstellungen, DGB (links) und DGR (rechts).	13
Abbildung 11 Der Ablauf eines einzelnen CW-Tests. Die 250 Millisekunden nach der Word Reading-(LD)-Aufgabe dient zur Signalisierung das Ende der ersten Teilaufgabe.	14
Abbildung 12 Der Ablauf der Leseaufgabe.	14
Abbildung 13 Das Protokoll der Untersuchung bei einer Variante. Bei der anderen Variante wechseln sich die degradierten Einstellungen, DGR und DGB, gegenseitig.	15
Abbildung 14 Die untersuchten Farbeinstellungen und deren Reihenfolge.	16
Abbildung 15 Hamburg Applications MoBio RT®.	17
Abbildung 16 Das MoBio RT® und der IR Sensor.	17
Abbildung 17 Erst nach dem Klicken auf "Starten" (links) wird das PB-Programm ausgeführt (rechts).	18
Abbildung 18 Die Teilaufgaben der CW-Test, low-demand-Aufgabe (links) und high-demand-Aufgabe (rechts).	18
Abbildung 19 Ein Textbeispiel (links) und die NASA-TLX-Bewertung (rechts).	19
Abbildung 20: Boxplotte der Reaktionszeiten (links) und der Fehlerquoten (rechts) aller Probanden in den beiden Task-Modi.	25
Abbildung 21 Der Verlauf des R-R-Intervalls. Während der Word Reading-(LD)-Aufgabe sind die R-R-Intervalle relativ größer als im Color Naming-(HD)-Task. Der Degradierung Effekt sieht man auch in der Farbeinstellung DGR.	26
Abbildung 22 Die SDNN (grau) und RMSSD (blau) sind in der Pace Breathing-Aufnahme höher als in der Aufgabe. Dieser Unterschied ist deutlich sichtbar, wenn man die Phasen PB1 und SD1 in diesem Datensatz beobachtet.	27
Abbildung 23 Der Parameter log(HF) (grau) zeigt in der Pace Breathing-Aufnahme einen deutlich hohen Wert. Hingegen ist der Parameter log(LF) (blau) nicht signifikant.	28
Abbildung 24 Die Parameter SD1 (blau) und SD2 (grau) weisen hohe Werte in der Pace Breathing-Aufnahme.	29
Abbildung 25 Der Verlauf der ECG-derived-Respiration (EDR) während des CW-Test-Aufgabenblocks bei der Testperson 3.	29
Abbildung 26 Die HRV-Aufnahme der Testperson 21 während der Leseaufgabe ohne Threshold (oben) und nach dem Einsetzen eines strong-Thresholds (unten) in Kubios HRV.	30

Abbildung 27 Die Erholung-Phasen ER1 und ER2 zeigen hohe Unterschiede im Vergleich zu SD1-Phase in diesem Datensatz, was der Block-Effekt in der ANOVA3 erklärt. Der Block-Effekt in ANOVA4 lässt sich anhand der Werte in der ersten SD-Farbeinstellung deutlich erkennen. ....	31
Abbildung 28 Die SDNN und RMSSD zeigen ein signifikanter Block-Effekt in der ANOVA3, wobei sie hohe Werte in den Erholung-Phasen und niedrige Werte in dem ersten Block (SD1) aufweisen. Die niedrige RMSSD Werte in dem ersten Block könnten der Block-Effekt in ANOVA4 erklären. ....	32
Abbildung 29 Der signifikante Block-Effekt in der ANOVA3 lässt sich anhand des Verlaufs der Parameter log(LF) (blau) und log(HF) (grau) zeigen. In der ANOVA4 ist nur log(HF) signifikant. ..	32
Abbildung 30 Der Parameter SD1 (blau) zeigt einen signifikanten Block-Effekt sowohl in der ANOVA3 als auch in der ANOVA4. Der andere nicht-Lineare Parameter SD2 (grau) ist nur in der ANOVA3 signifikant. ....	33
Abbildung 31 Die NASA-TLX Scores für die Probanden 1-8. ....	VIII
Abbildung 32 Die NASA-TLX Scores für die Probanden 9-15. Datenverlust bei der Testperson 16. ....	IX
Abbildung 33 Die NASA-TLX Scores für die Probanden 17-24. ....	X

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1 Die belegte Variante (Var.), das Geschlecht (Gesch.) und das Alter aller Testpersonen. .....	16
Tabelle 2: Ergebnisse der ANOVA1 für die Reaktionszeiten und die Fehlerquoten. Die grauen Felder zeigen keine statistische Signifikanz. ....	23
Tabelle 3 Die Mittelwerte der Reaktionszeiten und Fehlerquoten bei den Task-Modi.....	23
Tabelle 4 Ergebnisse des t-Tests für die Task-Modi und die Degradierungen. Die grauen Felder zeigen keine statistische Signifikanz.....	23
Tabelle 5 Mittelwerte der Reaktionszeiten und Fehlerquoten bei allen Farbeinstellungen. ....	23
Tabelle 6 Ergebnisse der nicht parameterischen Test für die Fehlerquote. ....	23
Tabelle 7 Mittelwerte der Reaktionszeiten und der Fehlerquoten bei den beiden Geschlechtern. .....	24
Tabelle 8 Ergebnisse der nicht parametrischen Tests für die Reaktionszeiten und Fehlerquoten. .....	24
Tabelle 9 Ergebnisse der ANOVA1 für die R-R-Intervalle. ....	26
Tabelle 10 Ergebnisse des t-Tests für die Task-Modi und die Degradierungen. Die grauen Felder zeigen keine statistische Signifikanz.....	26
Tabelle 11 Die Mittelwerte der R-R-Intervalle bei den Task-Modi und den Degradierungen. ....	26
Tabelle 12 Ergebnisse der ANOVA2 für die HRV-Parameter im Zeitbereich.....	27
Tabelle 13 Ergebnisse der ANOVA2 für die HRV-Parameter im Frequenzbereich.....	28
Tabelle 14 Ergebnisse der ANOVA2 für die HRV-nicht-lineare-Parameter. ....	28
Tabelle 15 Ergebnisse der ANOVA3 für die HRV-Parameter im Zeitbereich. Der p-Wert mit einer Greenhouse-Geisser-Korrektur wurde mit (GG) gekennzeichnet.....	31
Tabelle 16 Die Mittelwerte der RMSSD in allen Blöcken. ....	31
Tabelle 17 Ergebnisse der ANOVA3 für die HRV-Parameter im Frequenzbereich.....	32
Tabelle 18 Ergebnisse der ANOVA3 für die HRV-nicht-lineare-Parameter. ....	33
Tabelle 19 Ergebnisse der ANOVA4 für die HRV-Parameter im Zeitbereich.....	34
Tabelle 20 Ergebnisse der ANOVA4 für die HRV-Parameter im Frequenzbereich.....	35
Tabelle 21 Ergebnisse der ANOVA4 für die HRV-nicht-lineare-Parameter. ....	35
Tabelle 22 Anzahl der richtigen Antworten und die Fehlerquote aller Probanden bei dem CW- Test. ....	XI

## Abkürzungsverzeichnis

AFM:	Die additive Faktormethode
ANS:	Das autonome Nervensystem
DGB:	Degraded Blue, blau-manipulierte (degradierte) Farbeinstellung des Monitors
DGR:	Degraded Red, rot-manipulierte (degradierte) Farbeinstellung des Monitors
EDR:	ECG-derived respiration
EEG:	Elektroenzephalografie
EKG:	Elektrokardiografie
EOG:	Elektrookulografie
ESC/NASPE:	Task Force of The European Society of Cardiology and The North American Society of Pacing and Electrophysiology
HD:	High-demand Aufgabe (Color Naming)
HF:	High Frequency, hohe Frequenz der HRV
HF <sub>EC</sub> :	hohe Frequenz mit EDR-zentrierter Restriktion
HRV:	Herzratenvariabilität
LD:	Low-demand Aufgabe (Word Reading)
LF:	Low Frequency, niedrige Frequenz der HRV
PB:	Pace Breathing
RMSSD:	Root Mean Square of Successive Differences
RSA:	Respiratorische Sinusarrhythmie
SD:	Standardfarbeinstellung ( $\neq$ HRV- Parameter Poincaré SD).
SD1:	Poincaré Standardabweichung 1 der HRV ( $\neq$ erste Standardfarbeinstellung)
SD2:	Poincaré Standardabweichung 2 der HRV ( $\neq$ zweite Standardfarbeinstellung)
SDNN:	Standard Deviation of the NN Intervall

## 1. Einleitung

Die Erkenntnisse über die nicht-sensorische Bedeutung von Lichtern (insbesondere von blauem und rotem Licht) auf Vigilanz und mentale Leistungsfähigkeit und deren Abhängigkeiten von der Tageszeit wurden aufgegriffen, um das Wohlbefinden und die Arbeitsleistung durch farbspezifische Beleuchtungsbedingungen (ambient light) am Arbeitsplatz von Schichtarbeiten [18] oder in Klassenräumen von Schülern [16] positiv zu gestalten.

Der Sehsinn ist von fundamentaler Bedeutung für die geistige Entwicklung und die mentale Leistungsfähigkeit des Menschen. So ist beispielsweise die Präzision motorischer Fertigkeiten abhängig von einer Hand-Auge-Koordination, die durch Lernprozesse und Übung von Geburt an entwickelt wird. Der adäquate Reiz für die Netzhaut (Retina) des Auges ist Licht. An der Stelle des schärfsten Sehens, der Fovea, weist die Retina die höchste Dichte von Fotorezeptoren des Zapfentyps auf, die sowohl für die höchste Raumauflösung, dem Visus, als auch für die Farbsensitivität verantwortlich sind. Letztere beruht auf den farbspezifischen Absorptionsmaxima der Pigmentmoleküle (Opsine) in den Rhodopsinproteinen von Rot-, Grün- und Blauzapfen. Stäbchen vermitteln hingegen farbspezifische Hell-Dunkel-Kontraste. Jedoch senden Fotorezeptoren nicht nur visuelle Informationen über die Ganglienzellen des Sehnerven (N. opticus) zur Sehrinde (visueller Cortex), sondern auch nicht-visuelle Informationen über spezielle retinale Rezeptoren und Ganglienzellen (intrinsically photosensitive Retinal Ganglion Cells, ipRGC) zu Hirnregionen, die autonome, endokrine und emotionale Funktionen wie Wachheitsgrad, Aufmerksamkeit und Schlaf beeinflussen [8].

Mehrere Studien zeigen, dass die Lichter Einfluss auf physiologische Prozesse des Körpers haben, wie die Sekretion des Melatonins und der circadiane Rhythmus des Organismus. Auch die Körpertemperatur und die Wachsamkeit des Menschen könnten beeinflusst werden [2]. Weitere Untersuchungen haben außerdem gezeigt, dass die Lichtfarbe eine Wirkung auf die Herzratenvariabilität (HRV) hat [12, 26].

Blaues Licht mit einer Wellenlänge von 460 nm hat eine positive Wirkung auf die Wachsamkeit [19] und zeigt eine stärkere Melatonin-Unterdrückung im Vergleich zum roten Licht mit 550 nm [9]. Des Weiteren wird bei einer anderen Studie gezeigt, dass blaues Licht eine Verbesserung der Leistung und eine reduzierte alpha-Aktivität in der Elektroenzephalografie (EEG) aufweisen, was eine erhöhte Wachsamkeit andeutet [3], während die in einer weiteren Studie nachgewiesene Reduktion der hohen Frequenz (HF) der HRV, welche der Respiratorische Sinusarrhythmie entspricht, eine Verschlechterung der kognitiven Leistung durch rotes Licht andeutet [12].

Hingegen zeigt sich bei einer Studie von Sahin und Figueiro (2013) im Vergleich zur Dunkelheit, dass blaues Licht nur eine nicht-signifikante Reduktion ( $p > 0,05$ ) der alpha-Aktivität bewirkt, während rotes Licht zu einer signifikanten Reduktion des alpha-Spektrums führt, wobei die alpha-Aktivitäten der EEG nachmittags jeweils nach einer 48-minütigen Exposition gegenüber blauem (470 nm) und rotem (630 nm) Licht gemessen wurden [23]. Außerdem hat eine Studie von Figueiro (2016) gezeigt, dass rotes Licht nachts eine Verbesserung der Leistung bewirkt, ohne den circadianen Rhythmus zu beeinflussen [14]. Daher ist wegen jüngerer Erkenntnisse nicht mehr klar, ob blaues oder rotes Licht vorteilhafter ist.

Bei den erwähnten Studien wurden relativ große Lichtquellen benutzt, die das Umgebungslicht stark überlagern. Eine kleine Lichtquelle, wie ein Bildschirm, wurde nach eigenen Kenntnissen noch nicht untersucht.

Die vorliegende Arbeit knüpft an solche Studien an, um anhand von subjektiven (Fragebögen), verhaltensbezogenen (Reaktionszeiten und Fehlerraten) und physiologischen (EKG und Herzratenvariabilität) Parametern den Einfluss verschiedener Lichtfarbtöne bei Bildschirmaufgaben zu erfassen. Eine Aufgabe bestand darin, auf die Wörter „RED“, „GREEN“, „BLUE“ und „YELLOW“ so schnell wie möglich für das gerade gezeigte Wort zu reagieren. In der „Word Reading“ Version sollten die Wortbedeutungen erkannt werden, unabhängig davon, ob diese entweder kongruent in derselben Farbe des Wortsinns oder inkongruent, also z.B. das Wort RED in blauer Farbe, erschien. In der zweiten Version (Color Naming) sollte die Farbe unabhängig von der Wortbedeutung erkannt werden. Die so genannte Farb-Wort-Interferenz wurde erstmals vom amerikanischen Psychologen John Ridley Stroop beschrieben und wird seither als Color Stroop effect bezeichnet [17, 31]. Er besteht darin, dass die Farbbenenennung zu signifikant längeren Reaktionszeiten als das Wortlesen führt. Der Effekt wird darauf zurückgeführt, dass die Unterdrückung stark automatisierter und habitueller Reaktionen, hier das Lesen der Wörter, die Aufmerksamkeit stärker beansprucht, um insbesondere bei der inkongruenten Präsentation, also wenn die Farbe nicht mit dem Wortsinn übereinstimmt, korrekt zu reagieren.

Eine weitere Aufgabe bestand in Form einer Leseaufgabe eines ebenfalls in den drei Farbhintergründen am Bildschirm dargebotenen Textes, die einer täglichen Tätigkeit im Büro ähnelt. Ein Szenario, in dem ein Arbeitnehmer während der Arbeitszeiten zahlreiche Stunden vor seinem Bildschirm verbringt und er den vom Monitor erzeugten Lichtern ausgesetzt ist.

Ziel dieser Arbeit ist es, die in der Literatur beschriebenen Effekte von blauem und rotem Licht auf die kognitive Leistungsfähigkeit nachzuvollziehen und mit physiologischen Indikatoren in

Beziehung zu bringen. Um den Einfluss des Umgebungslichtes einzubeziehen, wurde der Bildschirmhintergrund zusätzlich zur Standardeinstellung entweder blau oder rot gestaltet. Die physiologischen Indikatoren wurden mit dem vom Kooperationspartner Hamburg Applications (HAMES) neu entwickelten drahtlosen Biosignalverstärker (MoBioRT®) erfasst. Dieses am Oberarm bequem fixierbare Gerät gestattet die gleichzeitige Aufnahme von 8 Biosignalkanälen. In dieser Arbeit wurde sie für EKG, EOG und EEG genutzt, wobei lediglich auf die Auswertung der EKG-Daten eingegangen wird. Die Analyse von EEG und EOG ist für eine gesonderte Arbeit vorgesehen. Hauptaugenmerk dieser Arbeit war die Nutzbarkeit der Analyse der Herzratenvariabilität (HRV) zur Erfassung von psychomentalen Belastungsindikatoren.

Die Bachelorarbeit ist folgendermaßen aufgebaut. Zunächst soll der physiologische und methodische Hintergrund der HRV-Analyse detailliert erläutert werden. Anschließend wird beschrieben, wie der Versuch aufgebaut und durchgeführt wurde. Außerdem wird dargestellt, wie die Messdaten mithilfe unterschiedlicher Software erhoben, analysiert und ausgewertet wurden. Darauffolgend werden die Messergebnisse vorgestellt und im Bezug auf das Ziel der Arbeit im abschließenden Kapitel diskutiert.

## 2. Theoretischer Hintergrund

### 2.1 Das autonome Nervensystem

Das autonome Nervensystem (ANS) gilt als ein Kommunikationssystem, das Informationen zwischen den Körperorganen austauscht, wodurch Vitalfunktionen, wie Funktionen der Atmung, des Herz-Kreislaufs und der Verdauung, geregelt werden [5, 7]. Eine Anpassung von Organleistungen, z.B. des Herzens, an eine (mentale) Belastung erfordert eine unwillkürliche, daher „autonome“, Steuerung durch das ANS [5].

Das ANS lässt sich in drei Teilsysteme einteilen; Das sympathische Nervensystem (Sympathikus), das parasympathische Nervensystem (Parasympathikus) und das Darmnervensystem, das im Rahmen dieser Arbeit nicht relevant ist [5, 7].

Im Hirnstamm bzw. im Rückenmark befinden sich die präganglionären Neuronen des Sympathikus bzw. Parasympathikus. Diese bilden Synapsen (Verknüpfungsstelle zweier Neuronen) mit den postganglionären Neuronen. Die Axone dieser postganglionären Neuronen innervieren das entsprechende Körperorgan [7] (Abbildung 1).

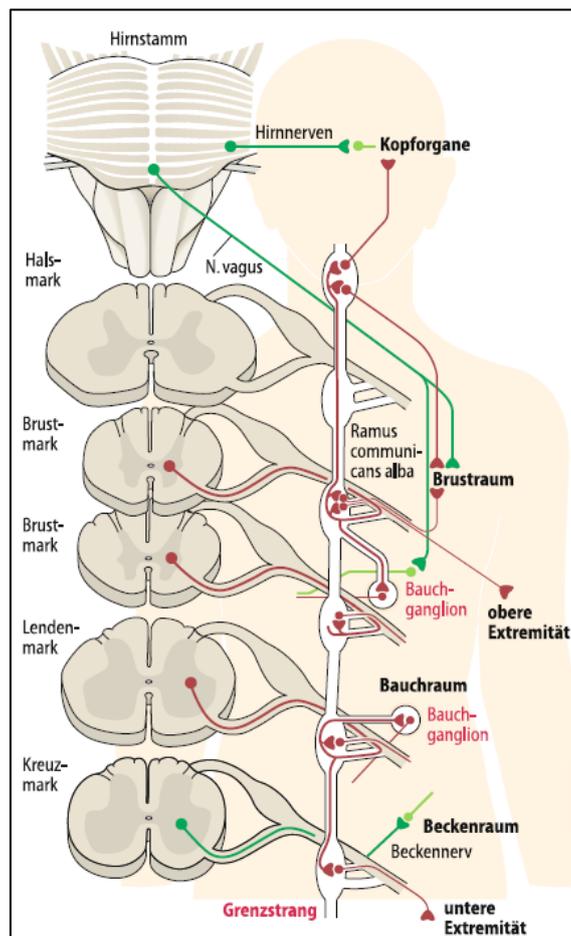


Abbildung 1 Lage der prä- und postganglionären Neuronen des Sympathikus (rot) bzw. Parasympathikus (grün) [7, S. 103].

Der Sympathikus kontrolliert die Herzmuskelfasern, der Parasympathikus innerviert die Vorhöfe des Herzens. Manche Körperorgane sind nur von dem Sympathikus kontrolliert, wobei alle Körperorgane, die parasymphatisch kontrolliert sind, auch durch den Sympathikus kontrolliert werden [7]. Die Abbildung 2 zeigt die Organe, die von Sympathikus und Parasympathikus kontrolliert werden [5].

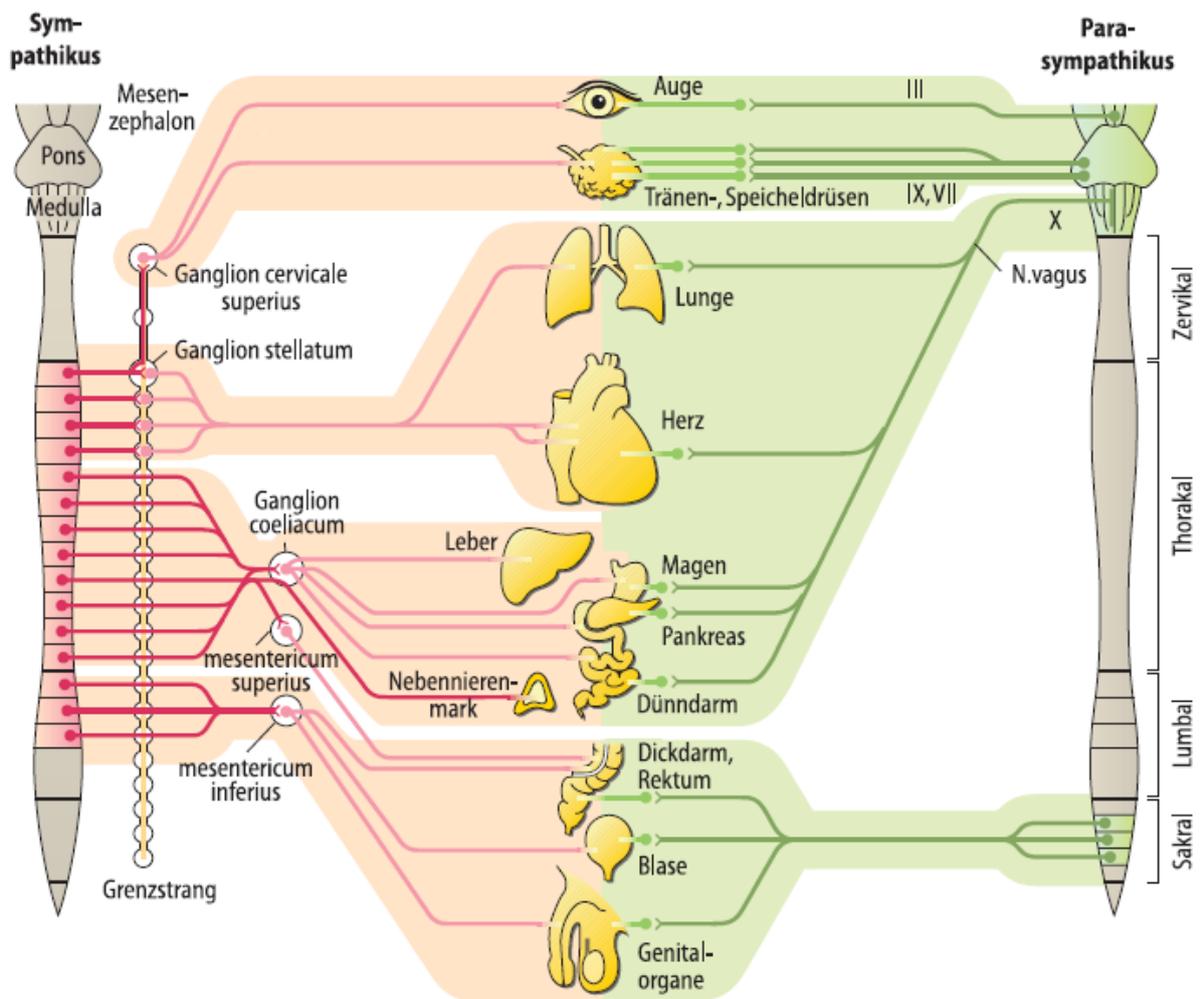


Abbildung 2 Zielorgane vom Sympathikus und Parasympathikus [5, S. 328].

Die sympathischen und parasympathischen Aktivitäten wirken antagonistisch zueinander [5]. „Soweit die Organe sowohl sympathisch wie parasympathisch innerviert werden, sind die Effekte der beiden autonomen Teilsysteme weitgehend antagonistisch. So führt z. B. die Aktivierung entsprechender sympathischer Nerven zur Zunahme der Schlagfrequenz des Herzens und zur Abnahme der Darmmotilität, während Aktivierung der parasympathischen Innervation entgegengesetzten Effekte hat, nämlich Abnahme der Herzfrequenz und Zunahme der Darmmotilität.“ [7]

Dieses Zusammenspiel zwischen dem Sympathikus und Parasympathikus kann anhand der HRV-Messungen gut verdeutlicht werden [21], die im folgenden Abschnitt vorgestellt werden.

## 2.2 Herzratenvariabilität

Die HRV-Messung bezeichnet eine auf dem Elektrokardiogramm (EKG) basierende nicht-invasive Methode, die die zeitlichen Abstände zwischen aufeinanderfolgenden Herzschlägen (R-R-Intervalle) betrachtet [11]. Diese R-R-Intervalle könnten von einem EKG abgelesen werden. Das EKG zeichnet das elektrische Feld auf, was aufgrund der erregten Herzmuskelfaser und dadurch entstehender Potenzialunterschiede in der Umgebung des Herzens erzeugt wird. Dieses elektrische Feld lässt sich mit Elektroden auf der Körperoberfläche einfach messen [5, 7]. Die Abbildung 3 zeigt, wie ein EKG zustande kommt. Die elektrischen Potentiale können dabei zwischen den Elektroden, die an einer Muskelzelle liegen, gemessen werden, wenn die Muskelfaser von einer Richtung teilweise erregt wird (Abb. 3 b) und die Potentiale über die Muskelfaser weitergeleitet werden (Abb. 3 c). Ruhige Herzmuskelzellen bzw. vollständig erregte Muskelzellen erzeugen keine Potenzialunterschiede (Abb. 3 a und d). Ein negatives Potenzial entsteht bei der Erregungsrückbildung (Abb. 3 e) [5].

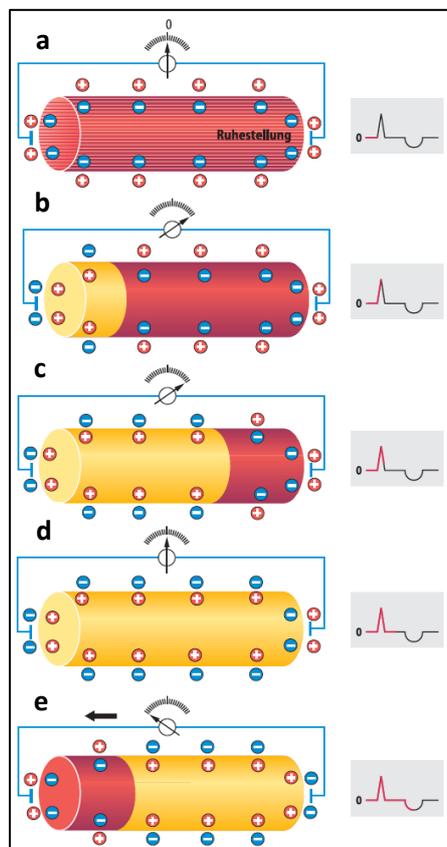


Abbildung 3 Entstehung des Elektrokardiograms [5, S. 48].

Die HRV-Methode hilft bei der Untersuchung des Zusammenspiels von Sympathikus und Parasympathikus und wird daher in der Fachliteratur als guter Indikator für das Verhalten des autonomen Nervensystems betrachtet [11, 21]. Während die Herzrate eine durchschnittliche Anzahl von Herzschlägen pro Minute angibt, ohne die zeitlichen Unterschiede zwischen einzelnen Schlägen zu berücksichtigen, fokussiert die HRV auf diese Zeitunterschiede (R-R-Intervall) und bildet damit wichtige Parameter, die physiologisch bedeutsam sind. Sie werden nach der Task Force of The European Society of Cardiology and The North American Society of Pacing and Electrophysiology (ESC/NASPE) in Parameter im Zeit- und Frequenzbereich und nicht-lineare Parameter aufgeteilt [11].

- **Parameter im Zeitbereich**

Bei den Parametern im Zeitbereich werden die R-R-Intervalle anhand einer mathematischen bzw. statistischen Formel berechnet und lassen sich dadurch interpretieren [35]. In dieser Arbeit werden die Größen **SDNN** und **RMSSD** betrachtet.

**SDNN** (eng. Standard Deviation of the NN Intervall) bezeichnet die Standardabweichung der gesamten R-R-Intervalle bei einer HRV-Messung. Dieser Wert ist für die langfristige Messungen, 24 Stunden nach ESC/NASPE [11], bei gleichartigen Aktivitäten geeignet und zeigt die Aktivitäten des autonomen Nervensystems während der gesamten Messung [35]. Er lässt sich mit der folgenden Formel [11] der Standardabweichung berechnen:

$$SDNN = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{i=2}^N (RR_i - \overline{RR})^2}$$

Wobei  $\overline{RR}$  für den Mittelwert aller R-R-Intervalle der Messung steht und  $N$  der Anzahl aller R-Zacken derselben Messung gleicht.

**RMSSD** (eng. Root Mean Square of Successive Differences) ist die Quadratwurzel vom Mittelwert der Summe der quadrierten Differenzen zwischen benachbarten R-R-Intervallen [11, 35]. Der Wert ist ein guter Indikator für die Aktivierung des Parasympathikus, die eine Erholung andeutet und er kann für kürzere Zeitmessungen angesetzt werden. Obwohl eine kurze Messungsdauer nach ESC/NASPE auf 5 Minuten definiert ist [11], zeigt der RMSSD auch bei „ultra-kurzen“ Messungen einen stabilen Wert [4, 13, 24].

Mathematisch lässt sich dieser Wert folgendermaßen ausdrücken [11]:

$$RMSSD = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^{N-1} (RR_{i+1} - RR_i)^2}$$

Wobei  $RR$  ein R-R-Intervall und  $N$  die Anzahl aller R-Zacken der Messung ist.

- **Parameter im Frequenzbereich**

Bei den Parametern im Frequenzbereich werden komplexe mathematische Transformationen angewendet, wie Fast Fourier Transformation (FFT) oder autoregressive (AR)-Modelle, um die Frequenzen in unterschiedlichen Frequenzbändern zu teilen und auf ein Spektrogramm darzustellen [11, 27, 35]. Die betrachteten Frequenzbänder in diese Arbeit sind die hohen Frequenzen (**HF**) und die niedrigen Frequenzen (**LF**) [11]. Dazu werden die logarithmischen Faktoren **log (LF)**, **log (HF)**, **log (LF/HF)** und ein um die EDR (ECG derived respiration) zentriertes **log (HF<sub>EC</sub>)** untersucht.

**LF** (low frequency) umfasst die Frequenzen im Bereich von 0,04 bis 0,15 Hz (Abb. 4) nach ESC/NASPE [27]. Die sympathische und parasympathische Aktivität kann innerhalb dieses Frequenzbereichs betrachtet werden, wobei die parasympathische Aktivität eine maximale (Resonanz-)Frequenz von 0,1 Hz nicht überschreitet und eine parasympathische Aktivität erst ab 0,05 Hz im Spektrogramm zu sehen ist [1, 27, 35]. Im Ruhezustand entspricht dieser Frequenzbereich dem des Barorezeptorenreflexes [27]. „Dieser (mechanorezeptor) vermittelt Blutdruckanpassungsreaktionen und gibt Hinweise auf cerebrale Aktivierung“ [35].

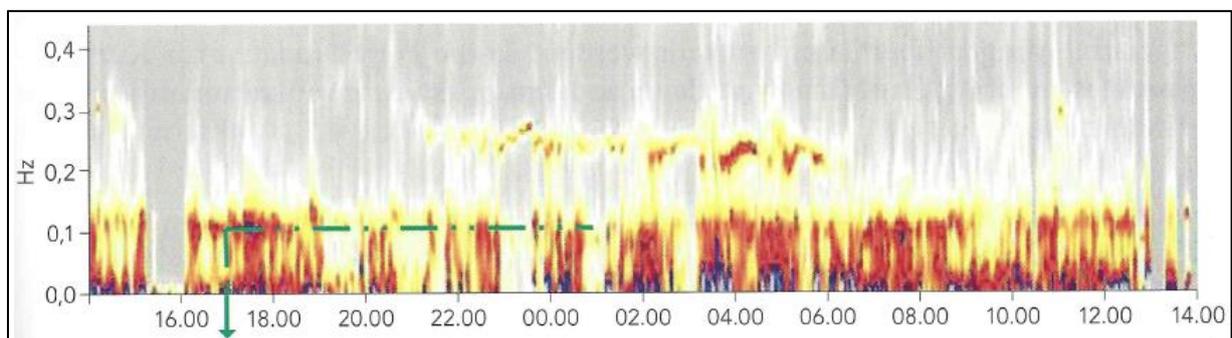


Abbildung 4 Der LF-Bereich, reprinted from [35, S. 37]

**HF** (high frequency) ist der Bereich von 0,15 bis 0,4 Hz im Spektrogramm (Abb. 5) [11]. Dieser Bereich zeigt die parasympathische Aktivität des ANS und entspricht der respiratorischen Sinusarrhythmie (RSA), die im Frequenzbereich der „normalen“ Atemfrequenz zw. 0,2 und 0,3 Hz liegt. Die RSA zeichnet sich durch eine erhöhte Herzfrequenz beim Einatmen und eine reduzierte

Herzfrequenz beim Ausatmen aus, was zu unregelmäßigen Herzfrequenzschwankungen auf dem EKG führt (Abb. 6) [35].

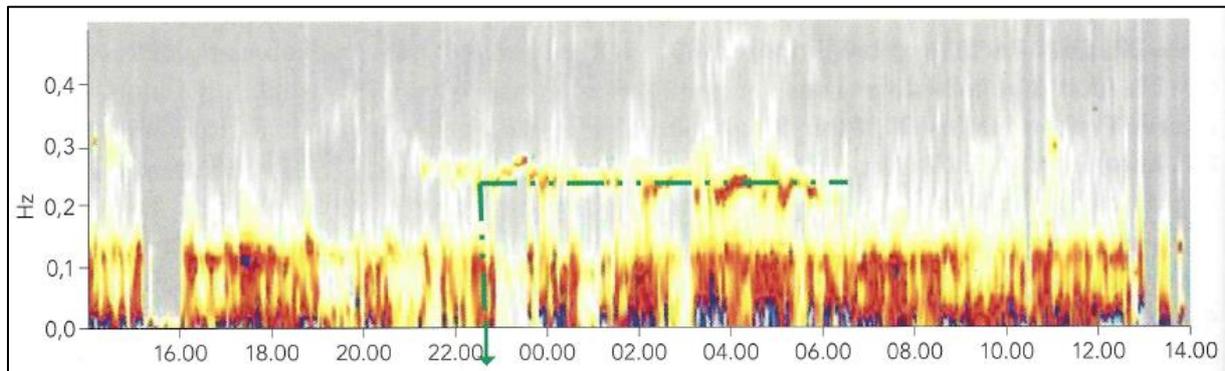


Abbildung 5 Der HF-Bereich [35, S. 32]

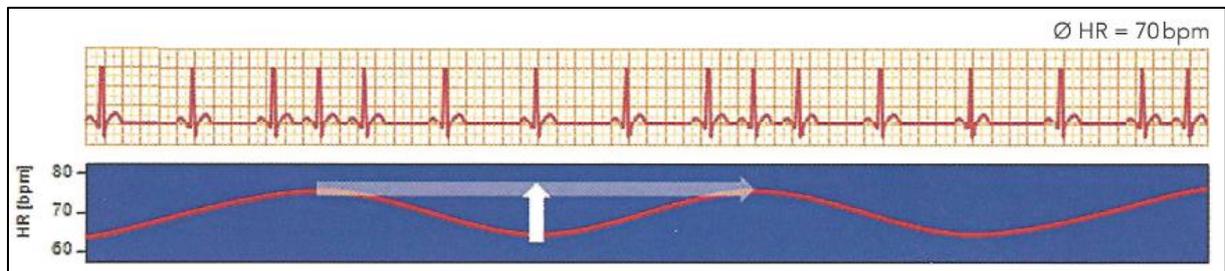


Abbildung 6 Die respiratorische Sinusarrhythmie (RSA) [35, S. 22]

Das **LF/HF**-Verhältnis ist zur Ermittlung des Verhältnisses von der sympathischen Aktivität zur parasympathischen Aktivität (Sympathovagal-Balance) gedacht, wobei ein hoher LF/HF Wert eine dominante Aktivierung des Sympathikus andeuten sollte, und ein niedriger Wert auf eine parasympathische Dominanz zurückzuführen wäre [27]. Die Interpretation dieses Wertes anhand dieser Annahme ist umstritten [27, 34]. Einerseits zeigt der LF/HF-Wert eine Zunahme bei Situationen, der Sympathikus aktiviert wird. Andererseits ist ein niedriger Wert nicht nur auf den erhöhten HF-Anteil zurückzuführen, sondern kann auch in einem reduzierten LF-Anteil begründet sein. Außerdem beeinflusst die parasympathische Aktivität den LF-Bereich ab der Frequenz 0,05 Hz [27, 35].

- **Nicht-Lineare Parameter (Poincaré-Plot)**

Bei einem Poincaré-Plot wird ein aktueller Wert der gemessenen R-R-Intervallen gegenüber einem vorherigen Wert dargestellt (geplottet). Eine Ellipse wird dabei mithilfe der Parameter **SD1** und **SD2** erstellt, wobei SD1 der Breite und SD2 der Länge dieser Ellipse entsprechen (Abb. 7).

**SD1** bezeichnet die Standardabweichung der kurzfristigen Variabilität [6]. Er zeigt eine hohe Korrelation mit dem Parameter RMSSD im Zeitbereich [10] und weist eine parasympathische Aktivität auf.

**SD2** bezeichnet die Standardabweichung der langfristigen Variabilität und weist Aktivitäten des Sympathikus und Parasympathikus auf [6].

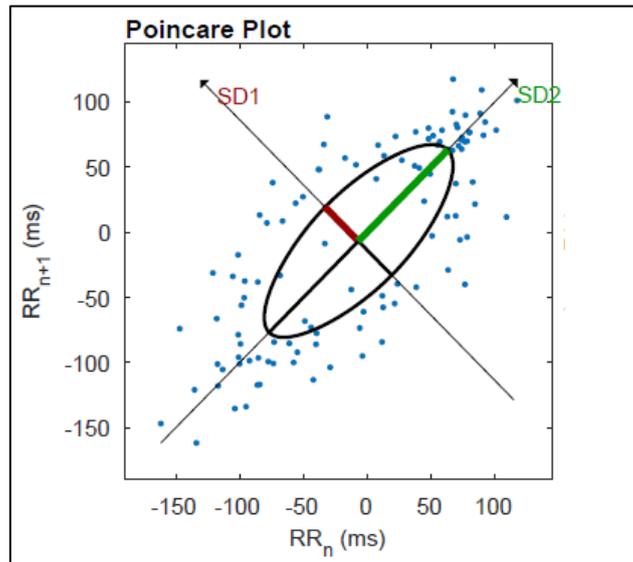


Abbildung 7 Poincaré Plot

### 2.3 Additive Faktormethode

Die additive Faktormethode nach Sternberg besagt, dass eine Reaktionszeit zum einzelnen Reiz aus der Summe unabhängiger Prozessphasen („Stages“) ergibt (Abb. 8) [28, 29, 30]. Diese Phasen bestehen aus einer Enkodierungs-, Kognitions-, Selektions- und Ausführungsphase. Die Enkodierungsphase bezeichnet den Prozess, wo der Mensch den Reiz mit dem bloßen Auge wahrnimmt, die Kognitionsphase entspricht der Verarbeitung des Reizes im Gehirn, die Selektionsphase bezeichnet die Auswahl der passenden Reaktion und die Ausführungsphase ist die Durchführung dieser Reaktion. Durch eine Manipulation einer einzelnen Phase wird die Reaktionszeit damit manipuliert. Ein äußerer Einfluss auf mehrere Phasen führt dazu, dass die Verzögerungen sich addieren. In dieser Arbeit wird ein Experiment entworfen, das die **Enkodierungs-** und **Selektions-**Phase beeinflusst. Durch eine Verschlechterung (Degradierung) der Farbeinstellung des Monitors wird die Enkodierungsphase manipuliert. Die Teilaufgaben Color-Naming und Word-Reading in dem CW-Test beeinflussen die Selektionsphase.

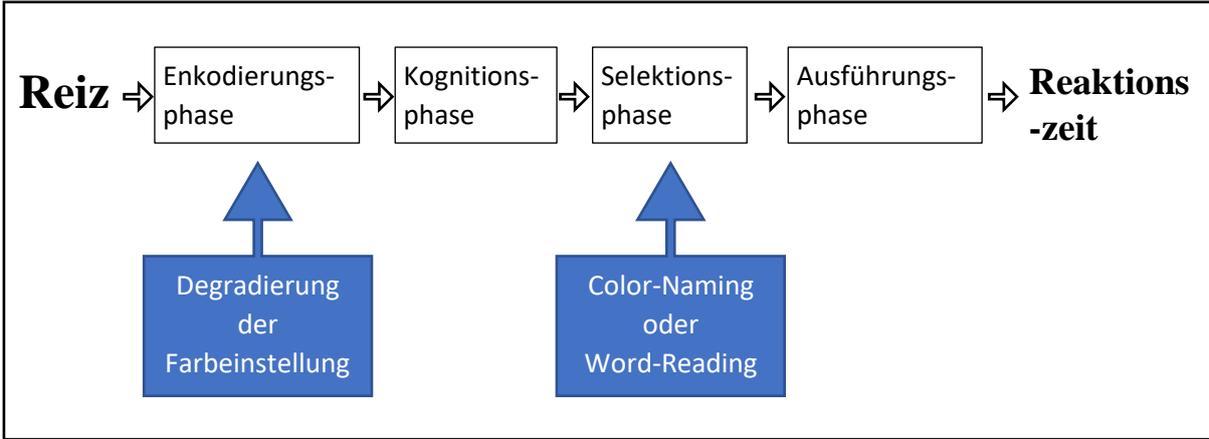


Abbildung 8 Die additive Faktormethode (AFM).

### 3. Materialien und Methoden

#### 3.1 Versuchspersonen

Es wurden 24 freiwillige Testpersonen (12 weiblich, 12 männlich) mit einem ähnlichen Alter rekrutiert. Ihr Alter lag zwischen 19 und 26 Jahre (Mittelwert  $\pm$  SA:  $22,833 \pm 2,036$  Jahre). Alle Teilnehmende waren zum Zeitpunkt der Untersuchung Nichtraucher und nach eigenen Angaben gesund. Sie litten unter keine Herzerkrankungen, trugen keinen Herzschrittmacher, wurden nie am Herzen operiert und nahmen keine Medikamente ein, die die Herzaktivitäten beeinflussen. Sie wurden außerdem gebeten, Angaben über Ihre Sport-Aktivitäten und Schlafqualität zu machen. Nachdem sie über die Untersuchung aufgeklärt wurden, unterschrieben sie eine Einverständniserklärung.

#### 3.2 Versuchsaufbau

- **Versuch-Settings**

Die Untersuchung fand zwischen 8:30 und 14 Uhr vom 1. bis 12. Juli in einem isolierten Raum (Abb. 9) an der Fakultät Life Sciences der HAW Hamburg statt. Der Raum (Cave) ist mit einem zentralen Kühlungssystem ausgerüstet, verfügt über einen Schalter zur Einstellung der Lichtintensität und hat vorteilhaft keine Fenster, sodass keine Lichtstrahlungen vom Außen durchdringen. Die Temperatur wurde an dem zentralen Regler auf  $21\text{ °C}$  eingestellt und wurde gleichzeitig mit einem Thermo-Hygrometer (MOXX, TFA Dostmann GmbH & Co. KG, Deutschland) kontrolliert. Dieses zeigte eine Temperatur von  $(19,949 \pm 1,474\text{ °C})$  und einen Feuchtigkeitsgrad von  $(54,044 \pm 7,198\text{ %})$ . Die Lichthelligkeit im Raum wurde mithilfe eines Luxmeters (MS-1300 Luxmeter, Voltcraft, Deutschland) gemessen und betrug ungefähr  $241 \pm 12,05\text{ lx}$ .

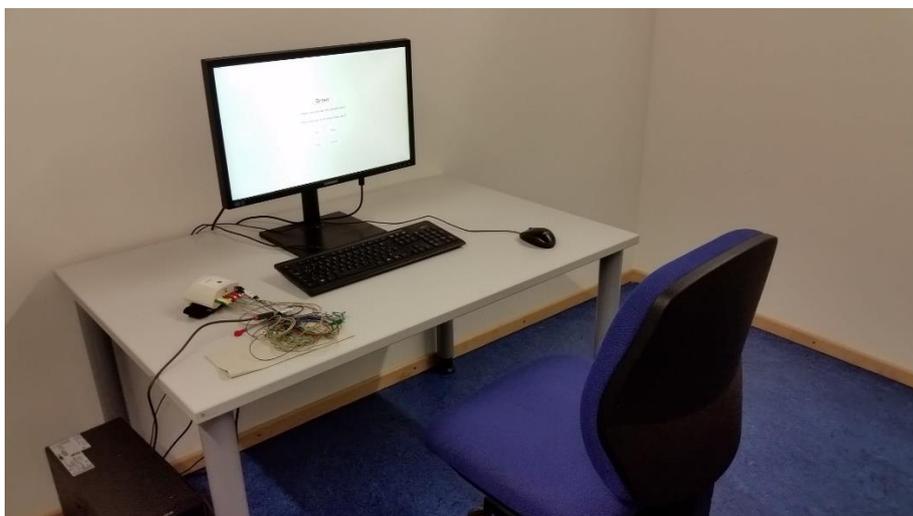


Abbildung 9 Versuchs-Set-Up im Raum „Cave“.

Zur Verfügung standen ein Tisch, ein Stuhl, ein PC (mit Maus und Tastatur) und ein Monitor (S24C450, Samsung, South Korea). Das Zentrum des Monitors war  $32 \pm 0,2$  cm höher als die Tischoberfläche. Jede Testperson saß auf dem Stuhl; der Abstand zwischen der Testperson und der Monitor war  $75 \pm 3$  cm.

- **Lichtfarbeinstellungen des Monitors**

In dieser Untersuchung wurde die Farbeinstellung so manipuliert, dass es um eine farbbezogene Verschlechterung (Degradierung) der Bildqualität kam. Diese Verschlechterung diente dazu, die Enkodierungsphase von Sternbergs AFM [29, 30] zu beeinflussen. Dabei wurde die Intensität des roten Anteils maximal erhöht und die restlichen Anteile auf null gesetzt, sodass sich eine rot manipulierte Farbeinstellung (**DGR**) ergab. Analog dazu wurde eine blau manipulierte Farbeinstellung (**DGB**) eingestellt (Abb. 10). Die beiden degradierten Farbeinstellungen wurden mit einer Standardfarbeinstellung (**SD**) verglichen. Die Beleuchtungsstärke des Monitors wurde mit dem Luxmeter (MS-1300 Luxmeter, Voltcraft, Deutschland) gemessen und betrug ca.  $175,275 \pm 12,117$  lx während der Standardfarbeinstellung, ca.  $150,557 \pm 10,421$  lx in der degradierten DGR und  $149,263 \pm 10,775$  lx in der degradierten DGB. Sowohl die Helligkeitseinstellung als auch die Schärfe des Bildschirms blieben während der ganzen Untersuchung unverändert.



Abbildung 10 Die degradierten Farbeinstellungen, DGB (links) und DGR (rechts).

- **Aufgaben**

Die Probanden beschäftigten sich in der Untersuchung hauptsächlich mit zwei Aufgabenblöcke: CW-Test und Leseaufgabe.

Bei dem **CW-Test** (Color Naming und Word Reading Test) handelt sich um eine Interferenz von Stimulationen durch Farben und Wörter, ähnlich zu „The Stroop Color and Word Test (SCWT)“ von Stroop [31]. Die Aufgabenstellung und ein farbiges Wort wurden am Bildschirm gezeigt und der Proband hatte eine Auswahl von vier Wörtern (Red, Green, Blue und Yellow) zur Lösung der gezeigten Aufgabe. Bei einer high-demand-Aufgabe (**HD**) ist der Proband aufgefordert, die Farbe

des gezeigten Wortes als Lösung auszuwählen (Color Naming). Hingegen soll er bei einer low-demand-Aufgabe (**LD**) das richtige Wort als die Lösung auszuwählen (Word Reading). Dabei wurde die Selektionsphase von Sternbergs AFM [29, 30] beeinflusst. Die Testperson sollte innerhalb eines Zeitfensters von 2 Sekunden auf eine Lösung klicken. Sowohl die low-demand- als auch die high-demand-Aufgaben dauerten 45 Sekunden (Abb. 11).

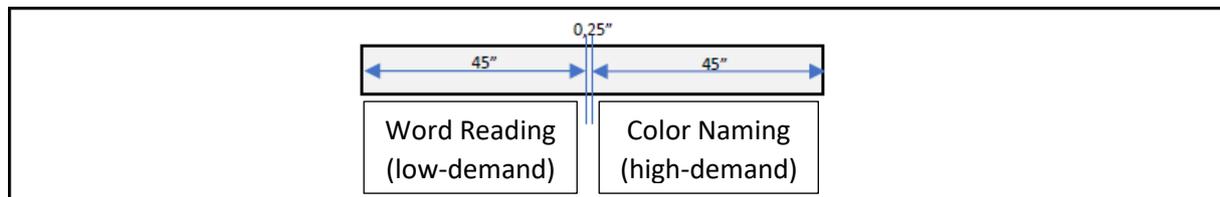


Abbildung 11 Der Ablauf eines einzelnen CW-Tests. Die 250 Millisekunden nach der Word Reading-(LD)-Aufgabe dient zur Signalisierung das Ende der ersten Teilaufgabe.

Bei der **Leseaufgabe** wurde auf dem Bildschirm ein Text (vom Lehrbuch Aspekte Mittelstufe Deutsch, Das Sprachniveau C1 nach dem Gemeinsamen Europäischen Referenzrahmen für Sprachen) gezeigt. Die Probanden lasen einen Ausschnitt von dem Text für 60 Sekunden und wurden danach aufgefordert, innerhalb von 30 Sekunden eine Bewertung nach der National Aeronautics and Space Administration-Task Load Index (NASA-TLX) auf Skalen von 0 bis 100 abzugeben (Abb. 12). Dabei wurden sechs Parameter (Dimensionen) bewertet werden, nämlich die geistige, körperliche und zeitliche Anforderung, die Leistung, die Anstrengung und die Frustration. Diese Bewertungen bilden den NASA-TLX-Score, üblicherweise nach einer Vergleichsmethode „pairwise comparisons“ [33]. In dieser Arbeit wurde der sogenannte „raw“-Score pro Parameter benutzt, der von Hart in seinem Review als valide gezeigt wurde [15].

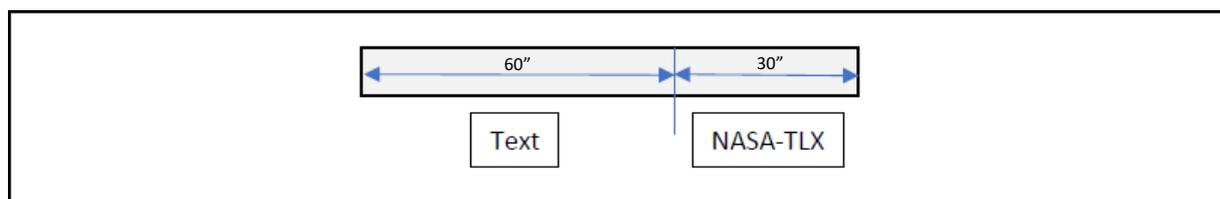


Abbildung 12 Der Ablauf der Leseaufgabe.

Um eine Baseline für die HRV zu erstellen und einen für alle Probanden einheitlichen Atemrhythmus zu schaffen, wird jeweils vor und nach einem Aufgabenblock eine **Pace Breathing (PB)**-Aufnahme durchgeführt. Dabei folgte jeder Proband für 90 Sekunden den Anweisungen am Bildschirm und führt synchronisierte Aus- und Einatmen-Manöver durch. Der Atem-Takt betrug 12 bpm. Dadurch kann die respiratorische Sinusarrhythmie (RSA) in den spektralen Komponenten der HRV erkannt und quantifiziert werden.



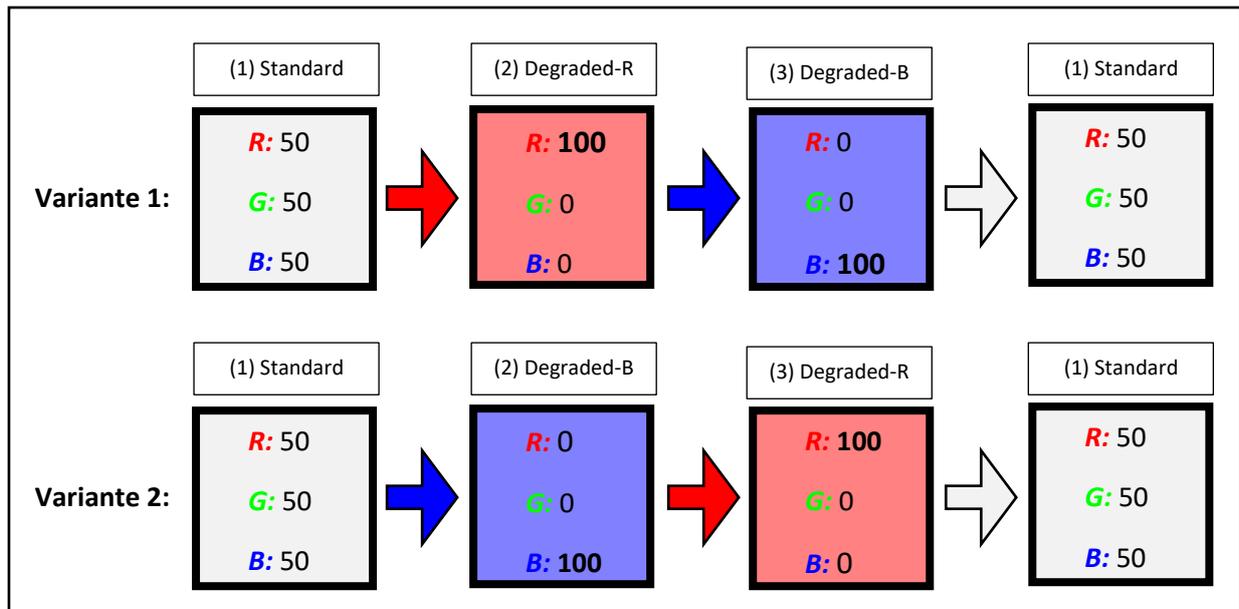


Abbildung 14 Die untersuchten Farbeinstellungen und deren Reihenfolge.

Tabelle 1 Die angewendete Variante (Var.), das Geschlecht (Gesch.) und das Alter aller Testpersonen.

TP	Var.	Gesch.	Alter	TP	Var.	Gesch.	Alter
1	2	w	23	13	1	w	21
2	2	w	19	14	1	w	25
3	2	m	26	15	2	m	24
4	2	m	25	16	2	m	19
5	2	w	23	17	2	w	23
6	1	w	19	18	2	w	20
7	1	m	24	19	2	m	24
8	1	m	24	20	1	m	25
9	1	m	25	21	1	w	22
10	1	w	23	22	2	m	21
11	1	m	23	23	2	w	23
12	1	m	24	24	1	w	23

Das Üben des Programms, die Erklärung des Versuchs und Besprechung eventueller Fragen und das Ausfüllen des Fragebogens dauerte maximal 20 Minuten. Die gesamte Untersuchung nahm  $42,5 + 20 = 62,5$  Minuten pro Testperson in Anspruch.

- **Hardware zur Datenerhebung (MoBio RT®, der EXG-Verstärker)**

Bei dem MoBio RT® handelt sich um einen mobilen Verstärker, der von der Firma Hamburg Applications MES UG (HAMES) entwickelt wurde (Abb. 15). Das Gerät ist in der Lage, EKG-, EEG-, EOG- sowie EMG-Signale drahtlos zu erfassen und ggf. auf einer SD Karte zu speichern. Die erfassten Daten könnten mithilfe der MOBIO Software dargestellt und in CSV-Format gespeichert werden. Das MoBio RT® verfügt über acht Kanäle (CH1-CH8) für Elektroden, einen Referenzpunkt,

der im MoBio RT® als REF bezeichnet wird und eine Schaltung zur Polarisation des Körpers (Driven Right Leg, DRL). Außerdem steht bei dem Gerät ein Trigger-Port zur Verfügung, der es ermöglicht, externe Sensoren anzuschließen.



Abbildung 15 Hamburg Applications MoBio RT®.

Für diese Untersuchung wurde am Trigger-Port ein IR Sensor genutzt (Abb. 16). Dieser diente der synchronen Erfassung der Zeitpunkte von den wichtigsten Ereignissen dieser Untersuchung z.B. der Anfang bzw. das Ende einer Aufgabe.



Abbildung 16 Das MoBio RT® und der IR Sensor.

- **Software zur Datenerhebung GUI**

Die Datenerhebung in dieser Untersuchung wurde über eine in MATLAB (Math-Works, Version R2018a, USA) programmierte Applikation durchgeführt. Dabei wurden Programme für alle Phasen mithilfe des App Designer-Tools geschrieben. Zur automatischen Änderung der Farbeinstellung nach jeder Aufgabe wurde das freie Tool ClickMonitorDDC (Freeware, Version 6.6) verwendet.

**Pace Breathing:** Die PB-Aufnahmen vor den Aufgabenblöcken fängt erst nach dem Klicken auf dem „Starten“-Button an (Abb. 17), wodurch ein Triggersignal an das MoBio RT® geschickt wird.



Abbildung 17 Erst nach dem Klicken auf "Starten" (links) wird das PB-Programm ausgeführt (rechts).

Die PB-Aufnahmen nach den Aufgabenblöcken beginnen 250 Millisekunden nach dem letzten Durchgang. Diese Verzögerung ermöglicht dem Probanden, das Ende der jeweiligen Aufgabe zu erkennen. Am Ende dieser PB-Aufnahmen wird außerdem ein Triggersignal geschickt, was das Ende des gesamten Aufgabenblocks signalisiert.

**CW-Test:** Der erste CW-Test startet nach der ersten PB-Aufnahme. Zuerst wird die Word Reading-(LD)-Aufgabe ausgeführt und kurz nach 45 Sekunden wird die Color Naming-(HD)-Teilaufgabe ausgeführt (Abb. 18). Zwischen den beiden Teilaufgaben werden 250 ms alle UI-Elemente ausgeblendet, bevor die Color Naming-(HD)-Teilaufgabe eingeblendet wird. Dadurch erkennt der Proband das Ende der Word Reading-(LD)-Aufgabe.

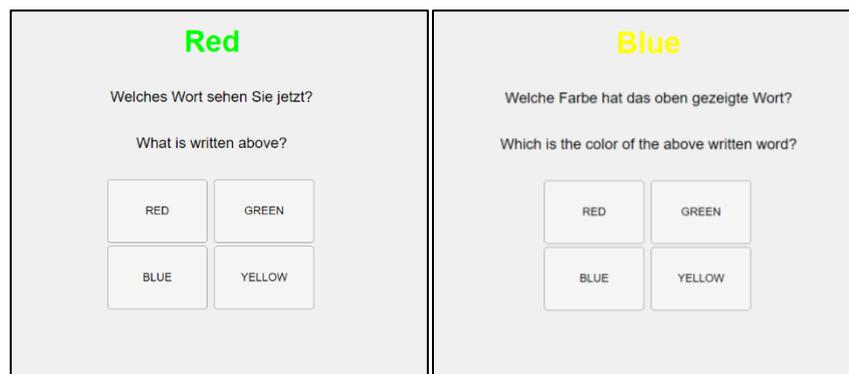


Abbildung 18 Die Teilaufgaben der CW-Test, low-demand-Aufgabe (links) und high-demand-Aufgabe (rechts).

Die Reaktionszeit wird mithilfe der Clock-Funktionen in MATLAB ermittelt, wobei die Zeit zwischen dem Erscheinen eines Wortes und der Auswahl einer Lösung registriert wird. Nach jedem Klick auf eine Lösung wird die Maus wieder in der Mitte gesetzt, sodass der Proband immer den gleichen Abstand zwischen dem Anfangspunkt und der richtigen Lösung hat.

**Lesen:** Auch hier taucht der erste Text nach der ersten PB-Aufnahme auf und bleibt 60 Sekunden. Nach dem Text muss der Proband innerhalb von 30 Sekunden die Parameter des NASA-TLX beurteilen. Die auszuwählenden Werten sind in Form eines Radio-Buttons dargestellt (Abb. 19), wobei alle ausgewählten Werte im Workspace des MATLABs registriert werden.

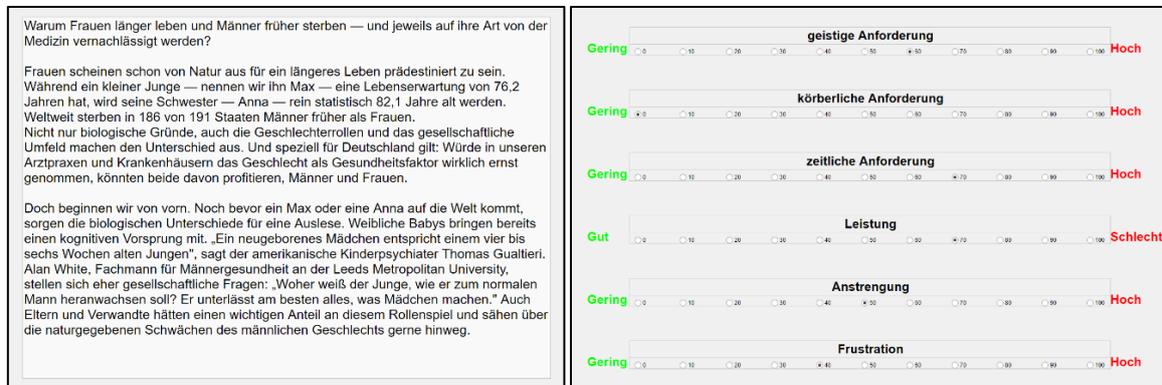


Abbildung 19 Ein Textbeispiel (links) und die NASA-TLX-Bewertung (rechts).

### 3.3 Erfasste Biosignale

Sowohl EKG als auch EEG wurden in der Untersuchung aufgenommen, wobei die EEG-Daten zur Auswertung in einer gesonderten Arbeit vorgesehen sind. Zur Erfassung der EEG-Daten wurden Ag/AgCl-Elektroden (EASYCAP Set, EASYCAP, Germany) an den Stellen Fz (CH1 im MoBio RT®), Cz (CH3) und Pz (CH5) nach dem 10-20-Elektrodenpositionierungssystem angebracht. Für die EKG wurde das Leads II nach Einthoven abgeleitet, wobei eine Elektrode (ECG Electrodes, Ambu, Malaysia) am rechten Arm (CH4) und eine am linken Bein (CH6) platziert wurden. Eine weitere Elektrode wurde am linken Arm (CH2) platziert. Außerdem wurden zwei EOG-Elektroden (ADHESIVE ELECTRODES, spes medica, Italy) unter und ober dem rechten Auge (CH7 und CH8) angebracht, um das Augenblinzeln zu erfassen.

Der Referenzpunkt (REF in MoBio RT®) für die EKG und EEG war an der Stelle zwischen Fz und Pz an der EEG-Kappe (EASYCAP Set, EASYCAP, Deutschland) und für die Polarisation des Körpers wurde eine Elektrode (EASYCAP Set, EASYCAP, Deutschland) an einem Ohrfläppchen (DRL in MoBio RT®) platziert. Die Impedanz wurde mit einem Multimeter gemessen (M-3650B, VOLT-CRAFT, Deutschland) und unter 10 kΩ gehalten.

### 3.4 Datenbearbeitung

- **EKG**

Die erfassten EKG Signale wurden mithilfe eines von Hamburg Applications entwickelten EDF-Converters in das EDF (European Data Format) konvertiert, was eine Bearbeitung durch die Software Kubios HRV (Version 3.1.0, kubios, USA) ermöglichte. In Kubios HRV wurden die Daten in kurze Abschnitte segmentiert. Jedes Segment entspricht einer Phase des jeweiligen Aufgabenblocks. Pro Segment wurden die HRV-Parameter im Zeitbereich (R-R-Interval, SDNN und RMSSD), die Parameter im Frequenzbereich ( $\log(LF)$ ,  $\log(HF)$  und  $\log(LF/HF)$ ) und die nicht-lineare Parameter (SD1 und SD2) ermittelt. Außerdem wurde eine RSA-zentrierte Restriktion ( $\log(HF_{EC})$ ) durchgeführt, wobei ein Fenster vom  $\pm 0,05$  entlang des EDR (ECG derived respiration) angesetzt wurde. Bei Daten mit höheren Artefakten wurde der Threshold je nach Stärke des Artefakts passend angesetzt. Der Einfluss der Artefaktkorrektur konnte anhand der RR-Tachogramm visualisiert werden. Auf diese Weise konnte sichergestellt werden, dass keine normalen und ungestörten RR-Intervalle aus der Analyse ausgeschlossen wurden. Die smoothin priors-Funktion mit einem  $\lambda$  von 500 wurde bei allen Daten verwendet, um niederfrequente Trends unterhalb einer Grenzfrequenz von 0,0035 Hz zu entfernen.

- **Reaktionszeiten und Fehlerquote in dem CW-Test**

Die ermittelten Reaktionszeiten wurden mit MATLAB (Math-Works, Version R2018a, USA) weiterverarbeitet. Dabei wurden nur die Zeiten der richtigen Antworten gezählt. Es wurden außerdem nur Reaktionszeiten, die innerhalb des Intervalls  $MW \pm 2 \cdot SA$  liegen, betrachtet. Fehlende Punkte, wenn ein Proband innerhalb 2 Sekunden nicht antwortete, wurden als falsche Antworten betrachtet und bildeten mit den falschen Antworten die Fehlerquote. Außerdem wurden die versehentlich-richtigen Antworten ausgeschlossen, z.B. wenn eine Person sehr kurz nach dem Ablauf der 2 Sekunden auf die nächste richtige Antwort klickt. Sowohl bei den Reaktionszeiten als auch bei den Fehlerquoten wurde die allererste Antwort in jeder (Teil-)Aufgabe ausgeschlossen, da der Proband zuerst die Aufgabe lesen musste.

- **NASA-TLX in der Leseaufgabe**

Bei den ermittelten NASA-TLX wurden die sogenannten „rohen“-TLX betrachtet. Das heißt, es wurde keine TLX-Score anhand der sechs Parametern berechnet, sondern die einzelnen Parameter betrachtet. Dabei wurde der Parameter „körperliche Anforderung“ weggelassen, da die

Untersuchung keine physische Belastung hatte. Die Verarbeitung erfolgte durch die Software MATLAB (Math-Works, Version R2018a, USA).

### **3.5 Statistische Auswertung**

Zur Auswertung der aufgenommenen Daten wurde die Software SPSS (IBM, Version 25, USA) verwendet. Vier Varianzanalysen wurden für die HRV-Parameter, Reaktionszeiten, Fehlerquote und NASA-TLX durchgeführt. Die ANOVA1 testete die Faktoren Task-Modus und Degradierung der Farbeinstellung bei dem CW-Test. Die ANOVA2 untersuchte den Faktor Task x No-Task – bestehend aus CW-Test und PB-Aufnahme – und den Faktor Wiederholung in einem Messwiederholungsdesign. Gezielt war der Einfluss der durch den CW-Test applizierten Belastung hervorzuheben, ohne die Verschlechterung der Farbeinstellung zu berücksichtigen. Für die Leseaufgabe eignete sich die ANOVA3 und ANOVA4. Die ANOVA3 untersuchte als Faktor die sechs Blöcke, in denen der Proband den Text gelesen hatte (SD1, DG und SD2) oder sich erholt hatte (ER1, ER2 und ER3). Die ANOVA4 hatte ausschließlich die Lesephasen während der drei Farbeinstellungen untersucht, wobei die Standardfarbeinstellung zwar zweimal vorkam, aber nicht als wiederholte Messung betrachtet wurde, weil der Inhalt des Texts in allen Blöcken unterschiedlich war. Als Zwischensubjektfaktoren wurden Geschlecht und Variante (Reihenfolge) einbezogen. Für die untersuchten Haupt- und Wechselwirkungen wurden die F-Werte analysiert und die Unterschiede galten erst signifikant, wenn die Irrtumswahrscheinlichkeit ( $p$ -Wert)  $< 0,05$  betrug. Die Greenhouse-Geisser Korrektur wurde gelegentlich für die Haupteffekte durchgeführt, die eine Freiheitsgrad größer als 2 hatten. Gegebenenfalls wurden  $t$ -Tests und nicht-parametrische Tests durchgeführt, um weitere Vergleiche unter den signifikanten Variablen darzustellen.

## 4. Ergebnisse

### 4.1 CW-Test

Die ANOVA1 wurde für die Reaktionszeit, Fehlerquote und alle HRV-Parameter in dem CW-Test durchgeführt und hatte die Task-Modi und die degradierten Farbeinstellungen als Variablen. Dabei wurde bei allen Parametern der Mittelwert aus den beiden SD-Farbeinstellungen zu Beginn und am Ende der Sitzung ( $\overline{SD} = \frac{SD1+SD2}{2}$ ) gebildet und in die ANOVA1 durchgeführt. Die ANOVA2 untersuchte die „Task“ und „No Task“ (bzw. CW-Test und PB) und wurde nur für die HRV-Parameter durchgeführt.

#### 4.1.1 Reaktionszeiten und Fehlerquoten

Die ANOVA 1 testete die Faktoren Task-Modus (Word Reading vs. Color Naming) und Degradierung (Standard, roter Hintergrund, blauer Hintergrund) in einem 2x3-faktoriellen Messwiederholungsdesign. Als Zwischensubjektfaktor wurde Geschlecht (männlich vs. weiblich) einbezogen. Die Reaktionszeit und die Fehlerquote zeigten signifikante Haupt- und Wechselwirkungseffekte (Tab. 2). Der Haupteffekt von Task-Modus ( $F_{1,20} = 19,5$  und  $p < 0,001$ ) war darauf zurückzuführen, dass die Reaktionszeiten beim Word Reading-Task (1,0074 s) signifikant kürzer als bei der Color Naming-Aufgabe (1,0749 s) waren ( $t = 4,24$  und  $p < 0,001$ ; Tab. 3). Task-Modus hatte auch bei der Fehlerquote einen signifikanten Haupteffekt ( $F_{1,20} = 11,8$  und  $p = 0,003$ ). Denn bei Word Reading haben die Probanden mit 4,60 % signifikant weniger Fehler im Vergleich zum Color Naming (7,83 %; Tab. 3). Der Faktor Degradierung war ebenfalls signifikant für Reaktionszeit ( $F_{2,40} = 4,31$  und  $p = 0,02$ ) und Fehlerquote ( $F_{2,40} = 3,90$  und  $p = 0,028$ ). Die Tabellen 4 und 5 beinhalten die Ergebnisse der Paarvergleiche im Student t-Test für abhängige Stichproben bei den Reaktionszeiten sowie die Mittelwerte von Reaktionszeiten bezogen auf die verschiedenen Farbeinstellungen des Bildschirmhintergrunds. Hieraus wird ersichtlich, dass die längste Reaktionszeit und größte Fehlerquote mit dem roten Bildschirmhintergrund resultierten, im Vergleich zum blauen oder dem Mittelwert aus blauem und Standard Bildschirmhintergrund (Tab. 6). Da die Fehlerquote grenzwertig das Kriterium der Normalverteilung verletzte (Kolmogorof-Smirnoff  $p = 0,1$ ) wurden non-parametrische Tests eingesetzt, die in Tab. 8 dargestellt sind.

Bemerkenswerterweise war die Reaktionszeit auch vom Geschlecht abhängig ( $F_{1,20} = 7,54$ ), da Frauen signifikant schneller als Männer reagierten (Mann-Whitney-U test  $p = 0,012$ ). Auch zeigten sie eine nicht-signifikant geringere Fehlerrate als Männer. Allerdings war sowohl für die Reaktionszeit als auch für die Fehlerquote die Wechselwirkung Task-Modus X Geschlecht

signifikant, die darauf beruhte, dass der Geschlechtsunterschied beider Parameter bei Color Naming-Aufgabe signifikant größer als bei Word Reading-Aufgabe war (Tab. 7).

Tabelle 2: Ergebnisse der ANOVA1 für die Reaktionszeiten und die Fehlerquoten. Die grauen Felder zeigen keine statistische Signifikanz.

Effekt	Reaktionszeit		Fehlerquote	
	F	p	F	p
Task-Modus	19,5	<0,001	11,8	0,003
Degradierung	4,31	0,02	3,90	0,028
Geschlecht	7,54	0,012	0,88	0,36
Task-Modus * Geschlecht	4,69	0,043	5,64	0,028

Tabelle 3 Die Mittelwerte der Reaktionszeiten und Fehlerquoten bei den Task-Modi.

Task	Mittelwert	Reaktionszeit [s]	Fehlerquote [%]
Word Reading-(LD)-Task		1,0074	4,5985
Color Naming-(HD)-Task		1,0749	7,8305

Tabelle 4 Ergebnisse des t-Tests für die Task-Modi und die Degradierungen. Die grauen Felder zeigen keine statistische Signifikanz.

Paarvergleich	t	p
Reaktionszeit		
Word Reading (LD) – Color Naming (HD)	4,24	<0,001
SD – DGR	1,77	0,90
SD – DGB	1,64	0,116
DGR – DGB	2,40	0,025
DGR – Mittelwert (SD&DGB)	2,25	0,034
Task-Effekt	2,26	0,034

Tabelle 5 Mittelwerte der Reaktionszeiten und Fehlerquoten bei allen Farbeinstellungen.

Farbeinstellung	Mittelwert	Reaktionszeit [s]	Fehlerquote [%]
Standard (SD)		1,0393	4,7485
Degraded Rot (DGR)		1,0640	7,6804
Degraded Blau (DGB)		1,0203	6,2146
Mittelwert (SD&DGB)		1,0298	5,4815

Tabelle 6 Ergebnisse der nicht parameterischen Test für die Fehlerquote.

Nicht parametrische Tests	Variable	p
Fehlerquote		
Mann-Whitney-U-Tests (unabhängige Variable)	SD-DGR	0,013
	DGR-Mittelwert (SD&DGB)	0,040

Tabelle 7 Mittelwerte der Reaktionszeiten und der Fehlerquoten bei den beiden Geschlechtern.

Bezeichnung	Geschlecht	Mittelwert Reaktionszeit [s]	Mittelwert Fehlerquote [%]
Task-Effekt (Differenz)	Weiblich	0,0344	0,9980
	Männlich	0,1006	5,4659
Word Reading-(LD)-Aufgabe	Weiblich	0,9653	4,9741
	Männlich	1,0495	4,2229
Color Naming-(HD)-Aufgabe	Weiblich	0,9997	5,9721
	Männlich	1,1501	9,6888

Tabelle 8 Ergebnisse der nicht parametrischen Tests für die Reaktionszeiten und Fehlerquoten.

Nicht parametrische Tests	Variable	<i>p</i>
Reaktionszeit		
Mann-Whitney-U-Tests (unabhängige Variable)	Task-Effekt	0,052
Fehlerquote		
Mann-Whitney-U-Tests (unabhängige Variable)	Task-Effekt	0,024
Wilcoxon-Vorzeichenrangtest (abhängige Variable)	Word Reading – Color Naming	0,007
Friedmans zweifaktorielle Analyse (abhängige Variable)	Word Reading – Color Naming	0,041

Der durch die Varianzanalyse detektierte Geschlechtseffekt in Wechselwirkung mit Task Modus ist in Abbildung 20 illustriert. Man sieht, dass die Mittelwerte der Reaktionszeit (linkes Diagramm) und der Fehlerrate (rechtes Diagramm) zwischen Frauen (rot) und Männern (blau) stärker in der Bedingung Color Naming im Vergleich zu Word Reading voneinander abweichen. Frauen zeigen im Vergleich zu Männern sowohl für die Reaktionsgeschwindigkeit als auch für die Reaktionsgüte einen signifikant geringeren Task Modus Effekt.

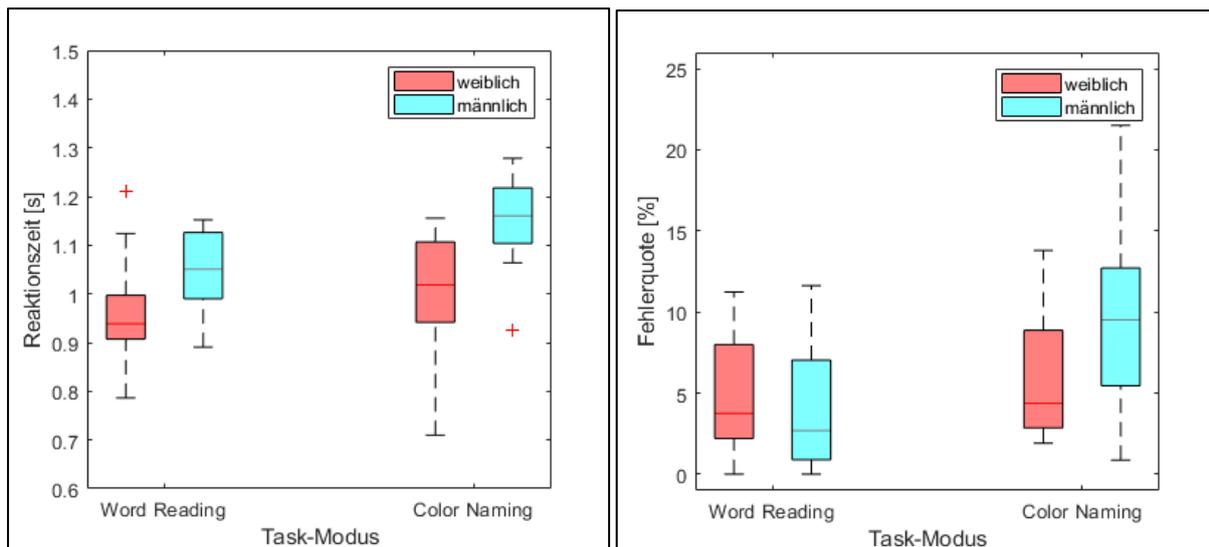


Abbildung 20: Boxplotte der Reaktionszeiten (links) und der Fehlerquoten (rechts) aller Probanden in den beiden Task-Modi.

#### 4.1.2 HRV

Aufgrund der Artefakte bei den Daten der Testpersonen 9, 21, 22 und 23 wurde ein Threshold zur Unterdrückung dieser Artefakte eingesetzt. Bei den Testpersonen 9,22 und 23 wurde ein medium-Threshold benutzt, bei der Testperson 21 ein very-strong-Threshold. Für die HRV-Parameter wurden die ANOVA1 und die ANOVA2 durchgeführt.

##### ANOVA1: (Task-Modus x Degradierung)

- **Parameter im Zeitbereich**

Der HRV-Parameter R-R-Intervall zeigte signifikante Haupteffekte (Tab. 9). Der Haupteffekt von Task-Modus ( $F_{1,20} = 4,40$  und  $p = 0,049$ ) war darauf zurückzuführen, dass der Mittelwert der R-R-Intervalle beim bei Color Naming (801,41 ms)-Task signifikant kleiner als Word Reading-Task (817,70 ms) waren ( $t = 2,15$  und  $p < 0,043$ ; Tab. 10). Der Faktor Degradierung war ebenfalls signifikant für R-R-Intervall ( $F_{2,40} = 5,38$  und  $p = 0,009$ ). Die Tabellen 10 und 11 beinhalten die Ergebnisse der Paarvergleiche im Student t-Test für abhängige Stichproben bei den R-R-Intervallen sowie die Mittelwerte von R-R-Intervalle bezogen auf die verschiedenen Farbeinstellungen des Bildschirmhintergrunds. Hieraus wird ersichtlich, dass die größte R-R-Intervalle mit dem roten Bildschirmhintergrund resultierten, im Vergleich zum blauen oder dem Mittelwert aus blauem und Standard Bildschirmhintergrund (Tab. 11). Die Abbildung 21 zeigt die R-R-Intervalle aus einem erfassten Datensatz.

Tabelle 9 Ergebnisse der ANOVA1 für die R-R-Intervalle.

Effekt	<i>F</i>	<i>p</i>
R-R-Intervall		
Task-Modus	4,40	0,049
Degradierung	5,38	0,009

Tabelle 10 Ergebnisse des t-Tests für die Task-Modi und die Degradierungen. Die grauen Felder zeigen keine statistische Signifikanz.

Paarvergleiche	<i>t</i>	<i>p</i>
R-R-Intervall		
Word Reading (LD) – Color Naming (HD)	2,15	0,043
SD – DGR	3,17	0,004
SD – DGB	1,43	0,165
DGR – DGB	1,83	0,081
DGR – Mittelwert (SD&DGB)	2,97	0,007

Tabelle 11 Die Mittelwerte der R-R-Intervalle bei den Task-Modi und den Degradierungen.

Bezeichnung	Mittelwert [ms]
R-R-Intervall	
Word Reading-(LD)-Aufgabe	817,6950
Color Naming-(HD)-Aufgabe	801,4145
SD-Farbeinstellung	798,7192
DGR-Farbeinstellung	820,9484
DGB-Farbeinstellung	808,9967
Mittelwert (SD&DGB)	803,8579

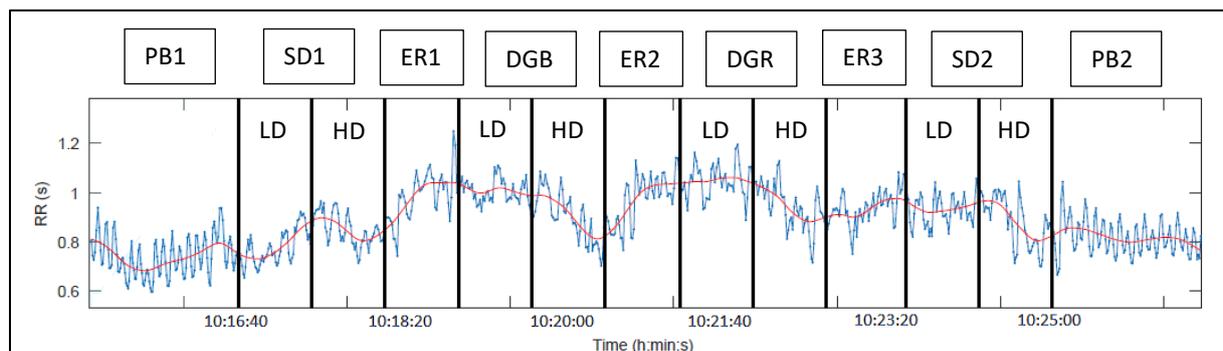


Abbildung 21 Der Verlauf des R-R-Intervalls. Während der Word Reading-(LD)-Aufgabe sind die R-R-Intervalle relativ größer als im Color Naming-(HD)-Task. Der Degradierung Effekt sieht man auch in der Farbeinstellung DGR.

Das Geschlecht war nicht signifikant, weder als Haupt- noch als Wechselwirkung Task-Modus X Geschlecht. Die Parameter SDNN und RMSSD zeigten keine statistische Signifikanz bei den Haupteffekten und wiesen auch keinen Geschlechter-Effekt auf.

- **Parameter im Frequenzbereich**

Es wurden keine statistischen Signifikanzen bei den Parametern  $\log(LF)$ ,  $\log(HF)$ ,  $\log(LF/HF)$  und  $\log(HF_{EC})$  gezeigt.

- **Nicht-Lineare Parameter**

Auch die nicht-linearen Parameter  $SD1$  und  $SD2$  waren nicht signifikant in der ANOVA1.

### ANOVA2: (Task x No-Task)

- **Parameter im Zeitbereich**

Die ANOVA2 testete die Faktoren Task x No-Task (CW-Test und PB-Aufnahme) und Wiederholung (erstes und zweites Mal) in einem 2x2-faktoriellen Messwiederholungsdesign. Die R-R-Intervalle, die SDNN und die RMSSD zeigten signifikante Haupteffekte (Tab. 12). Der Haupteffekt von Task x No-Task war bei der SDNN ( $F_{1,20} = 77,01$  und  $p < 0,001$ ) und bei der RMSSD ( $F_{1,20} = 87,33$  und  $p < 0,001$ ) signifikant. Zurückzuführen war das auf die Abnahme der SDNN und RMSSD beim CW-Test im Vergleich zur PB-Aufnahme (Abb. 22). Der Faktor Task x No-Task war aber beim R-R-Intervall nicht signifikant. Jedoch hatte die Wiederholung bei dem R-R-Intervall einen signifikanten Haupteffekt ( $F_{1,20} = 8,10$  und  $p = 0,01$ ). Die Wiederholung war bei der SDNN und der RMSSD nicht signifikant.

Tabelle 12 Ergebnisse der ANOVA2 für die HRV-Parameter im Zeitbereich.

Effekt	$F$	$p$
R-R-Intervall		
Wiederholung	8,10	0,01
SDNN		
Task x No-Task	77,01	<0,001
RMSSD		
Task x No-Task	87,33	<0,001

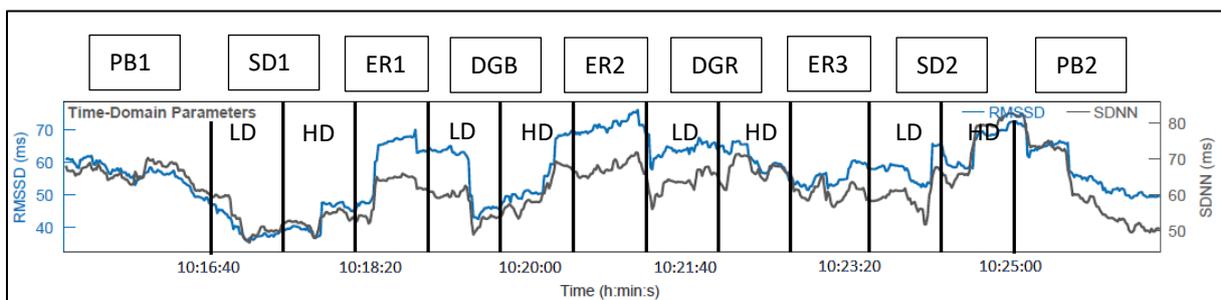


Abbildung 22 Die SDNN (grau) und RMSSD (blau) sind in der Pace Breathing-Aufnahme höher als in der Aufgabe. Dieser Unterschied ist deutlich sichtbar, wenn man die Phasen PB1 und SD1 in diesem Datensatz beobachtet.

- **Parameter im Frequenzbereich**

Die Parameter  $\log(HF)$ ,  $\log(LF/HF)$  und  $\log(HF_{EC})$  zeigten signifikante Haupteffekte (Tab. 13). Task x No-Task hatte einen signifikanten Haupteffekt beim  $\log(HF)$  ( $F_{1,20} = 139,89$  und  $p < 0,001$ ), beim  $\log(LF/HF)$  ( $F_{1,20} = 22,9$  und  $p < 0,001$ ) und beim  $\log(HF_{EC})$  ( $F_{1,20} = 244,91$  und  $p < 0,001$ ). In der Abbildung 23 wird gezeigt, dass die  $\log(HF)$  und  $\log(HF_{EC})$  beim CW-Test niedriger als bei der PB-Aufnahme waren, was den Effekt erklärt. Keine signifikanten Effekte wurden beim  $\log(LF)$  gezeigt. Die Wiederholung war für alle Frequenzbereich-Parameter nicht signifikant.

Tabelle 13 Ergebnisse der ANOVA2 für die HRV-Parameter im Frequenzbereich.

Effekt	$F$	$p$
$\log(HF)$		
Task x No-Task	139,89	<0,001
$\log(LF/HF)$		
Task x No-Task	22,90	<0,001
$\log(HF_{EC})$		
Task x No-Task	244,91	<0,001

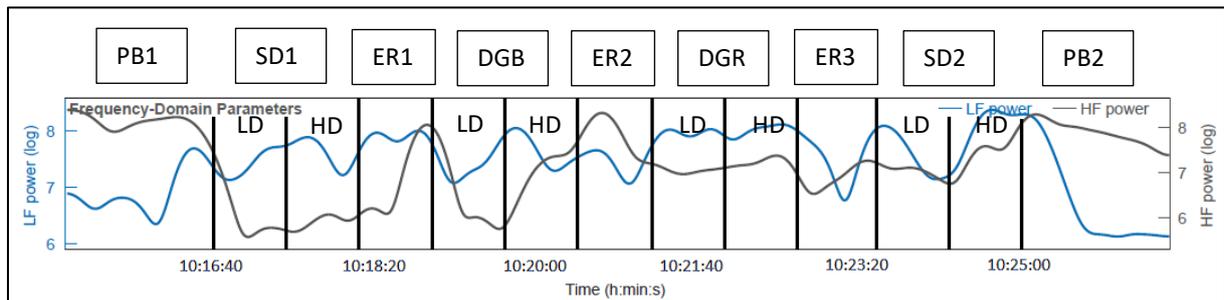


Abbildung 23 Der Parameter  $\log(HF)$  (grau) zeigt in der Pace Breathing-Aufnahme einen deutlich hohen Wert. Hingegen ist der Parameter  $\log(LF)$  (blau) nicht signifikant.

- **Nicht-Lineare Parameter**

Task x No-Task hatte auch einen signifikanten Haupteffekt bei SD1 ( $F_{1,20} = 87,17$  und  $p < 0,001$ ) und SD2 ( $F_{1,20} = 11,8$  und  $p < 0,001$ ) (Tab. 14). Auch hier sind die SD1 und SD2 während der PB-Aufnahme höher als im CW-Test (Abb. 24).

Tabelle 14 Ergebnisse der ANOVA2 für die HRV-nicht-lineare-Parameter.

Effekt	$F$	$p$
SD1		
Task x No-Task	87,17	<0,001
SD2		
Task x No-Task	68,78	<0,001

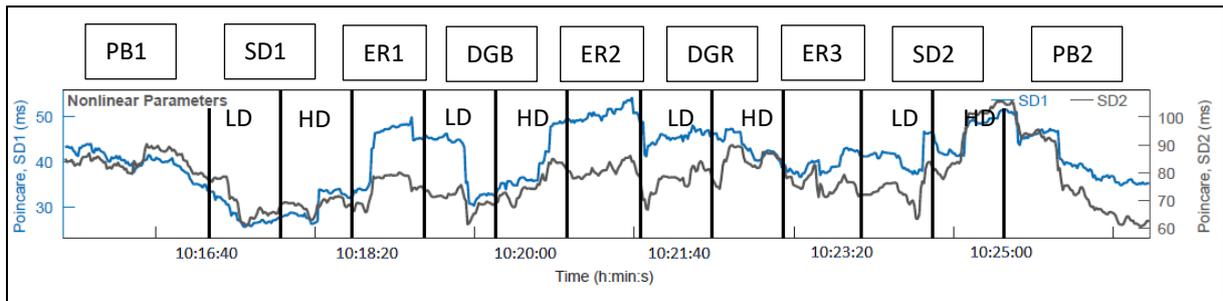


Abbildung 24 Die Parameter SD1 (blau) und SD2 (grau) weisen hohe Werte in der Pace Breathing-Aufnahme.

Die Abbildung 25 zeigt den Verlauf der EDR (in grün) im Spektrogramm bei der Testperson 3 während des gesamten Aufgabenblocks, wobei die EDR im Bereich der RSA bei der PB-Aufnahme lag. Der Verlauf war bei den meisten Testpersonen zu sehen; die Wahl der Abbildung 25 wurde aufgrund der hohen Qualität der Messung getätigt.

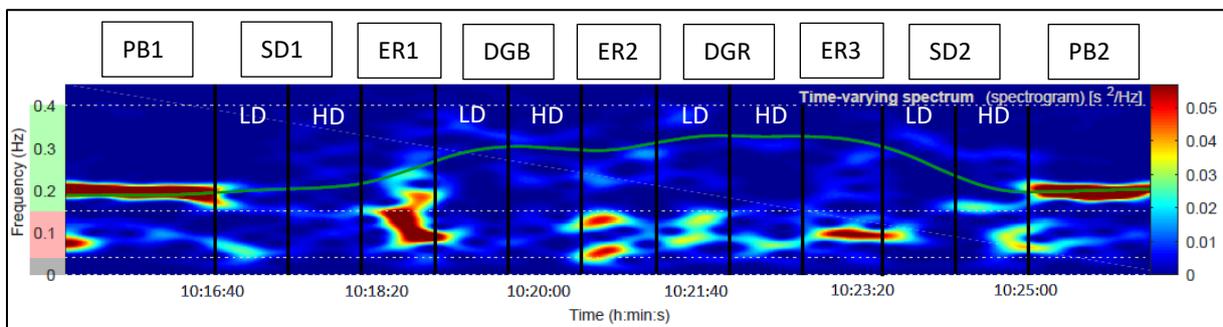


Abbildung 25 Der Verlauf der ECG-derived-Respiration (EDR) während des CW-Test-Aufgabenblocks bei der Testperson 3.

## 4.2 Leseaufgabe

Bei der Datenerhebung in diesem Aufgabenblock kam es zu einem Datenverlust bei den Testpersonen 4 und 16, wobei die HRV-Parameter bei der Testperson 4 nicht aufgenommen worden sind und der NASA-TLX bei der Testperson 16 nicht erfasst wurde. Daher können die beiden Personen jeweils nur bei einer ANOVA aus den zwei, die für diesen Aufgabenblock geeignet sind, teilnehmen. Die ANOVA3 wurde nur für die HRV-Parameter durchgeführt und untersuchte die Blöcke, bei denen die Testperson den Text las oder eine Erholung belegte. Dabei wurde der Mittelwert aus den beiden degradierten Farbeinstellungen ( $\overline{DG} = \frac{DGR+DGB}{2}$ ) gebildet und in die ANOVA3 eingeführt. Die ANOVA4 untersuchte nur die Blöcke, wo die Testpersonen den Text lasen, und wurde sowohl für die HRV-Parameter als auch für den NASA-TLX durchgeführt.

### 4.2.1 NASA-TLX

Die ANOVA 4 zeigte keine statistische Haupt- oder Wechselwirkungseffekte bei den Ergebnissen der NASA-TLX. Für alle Probanden befinden sich die Säulendiagramme der NASA-TLX im Anhang.

### 4.2.2 HRV

Auch hier tauchten Artefakte wie bei dem CW-Test auf und wurden mithilfe der Threshold-Methode unterdrückt. Dabei wurden bei den Daten der Testpersonen 13 und 23 ein medium-Threshold und bei den Daten der Testpersonen 19 und 21 ein strong-Threshold eingesetzt. Die Abbildung 26 zeigt die Daten der Testperson 21 vor und nach der Artefaktkorrektur.

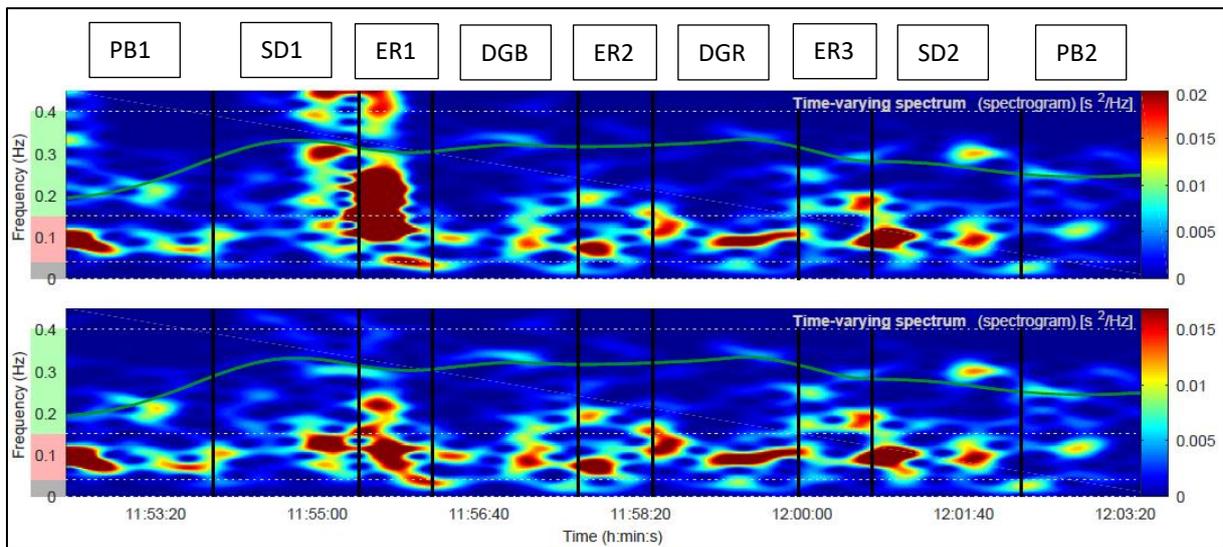


Abbildung 26 Die HRV-Aufnahme der Testperson 21 während der Leseaufgabe ohne Threshold (oben) und nach dem Einsetzen eines strong-Thresholds (unten) in Kubios HRV.

#### ANOVA3: (Blöcke: SD1 ER1 DG ER2 SD2 ER3)

- **Parameter im Zeitbereich**

Die ANOVA3 testete den Faktor Block (SD1, ER1, DG, ER2, SD2 und ER3) in einem 6x1-Messwiederholungsdesign. Als Zwischensubjektfaktoren wurden Geschlecht (männlich vs. weiblich) und Variante (1 vs. 2) einbezogen. Die R-R-Intervalle und die SDNN zeigten signifikante Haupteffekte, die RMSSD zeigte Haupt- und Wechselwirkungseffekte (Tab. 15). Der Block-Effekt war signifikant beim R-R-Intervall ( $F_{5,95} = 5,91$  und  $p < 0,001$ ), bei der SDNN ( $F_{5,95} = 6,35$  und  $p < 0,001$ ) und bei der RMSSD ( $F_{5,95} = 9,76$  und  $p < 0,001$ ). Die Tabelle 16 beinhaltet die Mittelwerte von RMSSD bezogen auf die verschiedenen Blöcke. Hieraus wird ersichtlich, dass die RMSSD in den Aufgaben-Blöcken (SD1,  $\overline{DG}$  und SD2) niedrigere Werte im Vergleich zu den Erholungs-Blöcken (ER1, ER2 und ER3) zeigt.

Für die RMSSD waren die Wechselwirkungen Block X Geschlecht ( $F_{5,95} = 2,37, p = 0,045$  und mit Greenhouse-Geisser-Korrektur  $p_{GG} = 0,075$ ) und Block X Variante ( $F_{5,95} = 3,58$  und  $p = 0,005$ ) signifikant. Die Abbildungen 27 und 28 zeigen die Verläufe des R-R-Intervalls, der SDNN und der RMSSD während der Leseaufgabe. Der niedrige RMSSD-Wert in dem ersten Block hat sich fast bei allen Datensätzen wiederholt.

Tabelle 15 Ergebnisse der ANOVA3 für die HRV-Parameter im Zeitbereich. Der p-Wert mit einer Greenhouse-Geisser-Korrektur wurde mit (GG) gekennzeichnet.

Effekt	F	p
R-R-Intervall		
Block	5,91	<0,001
SDNN		
Block	6,35	<0,001
RMSSD		
Block	9,76	<0,001
Block * Variante	3,58	0,005
Block * Geschlecht	2,37	0,045 (GG) 0,075

Tabelle 16 Die Mittelwerte der RMSSD in allen Blöcken.

Block	Beschreibungnung	Mittelwert [ms]
RMSSD		
SD1	Erste Leseaufgabe bei der Standardeinstellung	30,6232
ER1	Erste Erholung-Phase	34,3834
$\overline{DG}$	Mittelwert aus den beiden degradierten Einstellungen	30,4874
ER2	Zweite Erholung-Phase	34,4886
SD2	Letzte Leseaufgabe bei der Standardeinstellung	30,8337
ER3	Letzte Erholung-Phase	37,2794

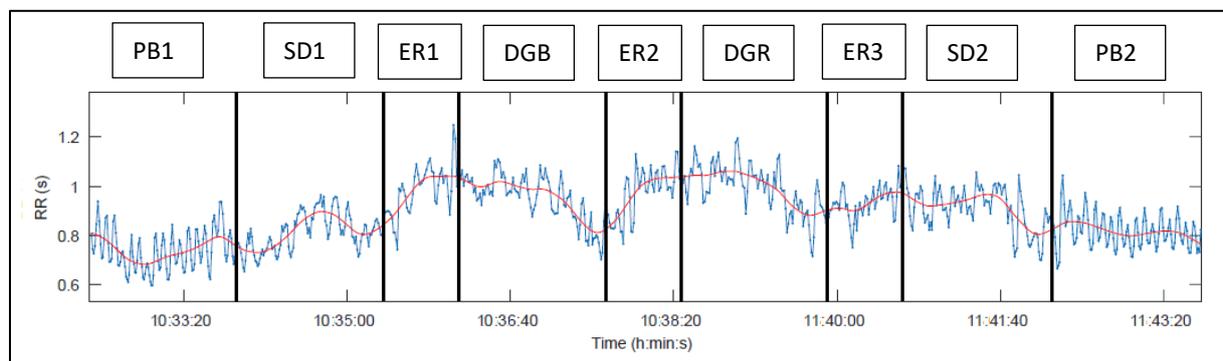


Abbildung 27 Die Erholung-Phasen ER1 und ER2 zeigen hohe Unterschiede im Vergleich zu SD1-Phase in diesem Datensatz, was der Block-Effekt in der ANOVA3 erklärt. Der Block-Effekt in ANOVA4 lässt sich anhand der Werte in der ersten SD-Farbeinstellung deutlich erkennen.

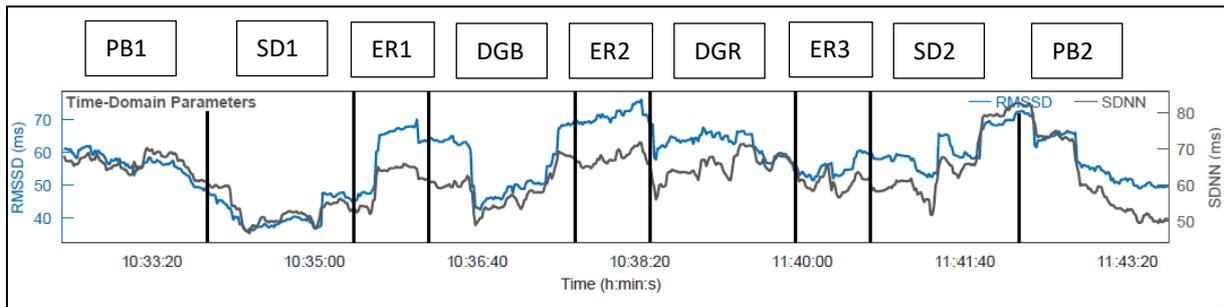


Abbildung 28 Die SDNN und RMSSD zeigen ein signifikanter Block-Effekt in der ANOVA3, wobei sie hohe Werte in den Erholung-Phasen und niedrige Werte in dem ersten Block (SD1) aufweisen. Die niedrige RMSSD Werte in dem ersten Block könnten der Block-Effekt in ANOVA4 erklären.

- **Parameter im Frequenzbereich**

Die Blöcke hatten auch einen signifikanten Haupteffekt beim  $\log(LF)$  ( $F_{5,95} = 2,97$  und  $p = 0,001$ ),  $\log(HF)$  ( $F_{5,95} = 13,34$  und  $p < 0,001$ ),  $\log(LF/HF)$  ( $F_{5,95} = 4,99$  und  $p < 0,001$ ) und  $\log(HF_{EC})$  ( $F_{5,95} = 13,11$  und  $p < 0,001$ ) (Tab. 17). Dieser Block-Effekt war für den Parameter  $\log(HF)$  in der Abbildung 29 besonders sichtbar.  $\log(HF)$  zeigt in den Aufgaben-Blöcke (vor allem im SD1-Block) deutlich niedrigere Werte im Vergleich zu den Erholungs-Blöcken (ER1- und ER2-Block).

Tabelle 17 Ergebnisse der ANOVA3 für die HRV-Parameter im Frequenzbereich.

Effekt	$F$	$p$
$\log(LF)$		
Block	2,97	0,016
$\log(HF)$		
Block	13,34	<0,001
$\log(LF/HF)$		
Block	4,99	<0,001
$\log(HF_{EC})$		
Block	13,11	<0,001

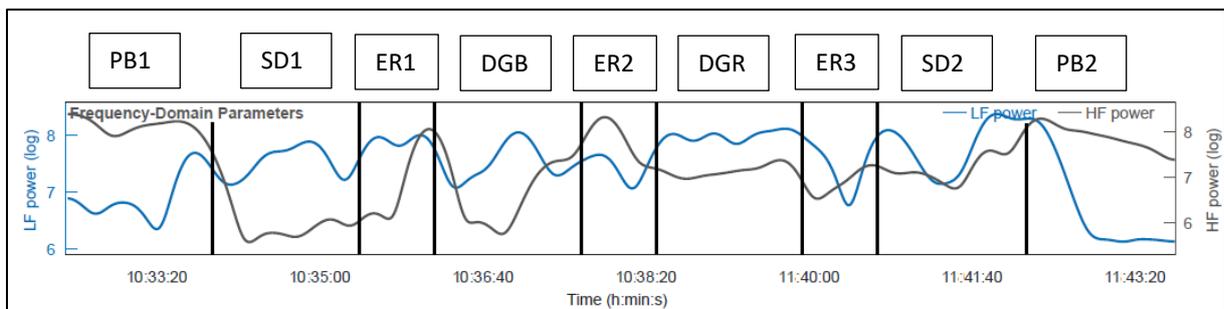


Abbildung 29 Der signifikante Block-Effekt in der ANOVA3 lässt sich anhand des Verlaufs der Parameter  $\log(LF)$  (blau) und  $\log(HF)$  (grau) zeigen. In der ANOVA4 ist nur  $\log(HF)$  signifikant.

- **Nicht-Lineare Parameter**

Der nicht-lineare Parameter SD1 zeigte signifikante Haupt- und Wechselwirkungseffekte, die SD2 zeigte einen signifikanten Haupteffekt (Tab. 18). Der Faktor Block hatte einen signifikanten Haupteffekt bei der SD1 ( $F_{5,95} = 9,85$  und  $p < 0,001$ ) und der SD2 ( $F_{5,95} = 5,59$  und  $p < 0,001$ ). Der Verlauf beider Parameter ist in der Abbildung 30 zu sehen. Besonders sichtbar sind die Unterschiede der SD1-Werte in den Erholungs-Phasen und im ersten Block, wobei sich wieder erhöhte Werte in ER1 und ER2 und niedrigere Werte in der ersten Leseaufgabe zeigen lassen. Aufgrund dieser Beobachtung lässt sich der Block-Effekt in der ANOVA3 erklären.

Für die SD1 waren die Wechselwirkungen Block X Geschlecht ( $F_{5,95} = 2,37$ ,  $p = 0,045$  und mit Greenhouse-Geisser-Korrektur  $p_{GG} = 0,075$ ) und Block X Variante ( $F_{5,95} = 3,58$  und  $p = 0,005$ ) signifikant.

Tabelle 18 Ergebnisse der ANOVA3 für die HRV-nicht-lineare-Parameter.

Effekt	F	P
SD1		
Block	9,85	<0,001
Block * Variante	3,58	0,005
Block * Geschlecht	2,37	0,045 (GG) 0,075
SD2		
Block	5,59	<0,001

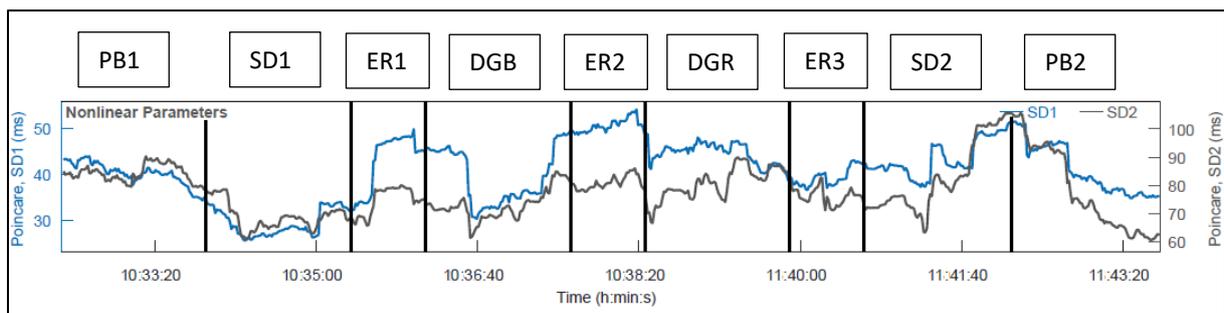


Abbildung 30 Der Parameter SD1 (blau) zeigt einen signifikanten Block-Effekt sowohl in der ANOVA3 als auch in der ANOVA4. Der andere nicht-lineare Parameter SD2 (grau) ist nur in der ANOVA3 signifikant.

#### ANOVA4: (Blöcke: SD1 DGR DGB SD2)

- **Parameter im Zeitbereich**

Die ANOVA4 testete den Faktor Block (SD1, DG1, DG2 und SD2) in einem 4x1-Messwiederholungsdesign. Als Zwischen-Subjektfaktor wurde Geschlecht (männlich vs weiblich) und Variante (1 oder 2) einbezogen. Die R-R-Intervalle und die RMSSD zeigten signifikante Haupt- und Wechselwirkungseffekte, die SDNN zeigte einen signifikanten Haupteffekt (Tab. 19). Der Faktor Block hatte einen signifikanten Haupteffekt bei den R-R-Intervallen ( $F_{3,57} = 18,45$  und  $p < 0,001$ ), bei der SDNN ( $F_{3,57} = 3,5$  und  $p = 0,021$ ) und bei der RMSSD ( $F_{3,57} = 9,26$  und  $p < 0,001$ ). Die Abbildungen 27 und 28 (siehe oben) zeigen die Verläufe des R-R-Intervalls, der SDNN und der RMSSD während der Leseaufgabe. Die RMSSD zeigt in der Tabelle 16 einen niedrigeren Wert im ersten Block, was den Block-Effekt in der ANOVA4 erklärt. Leider fehlte die deskriptive Statistik für die einzelnen Blöcke der DGR und DGB.

Für die RMSSD war die Wechselwirkung Block X Geschlecht ( $F_{5,95} = 2,37$  und  $p_{GG} = 0,045$ ) signifikant, für das R-R-Intervall war die Wechselwirkung Block X Variante signifikant ( $F_{5,95} = 2,37$ ,  $p = 0,006$  und  $p_{GG} = 0,045$ ).

*Tabelle 19 Ergebnisse der ANOVA4 für die HRV-Parameter im Zeitbereich.*

Effekt	<i>F</i>	<i>p</i>
R-R-Intervall		
Block	18,45	<0,001
Block * Variante	4,62	0,006 (GG) 0,022
SDNN		
Block	3,5	0,021
RMSSD		
Block	9,26	<0,001
Block * Geschlecht	3,03	(GG) 0,045

- **Parameter im Frequenzbereich**

Der Block als Haupteffekt war für die Parameter log (LF) und log (LF/HF) nicht signifikant. Der Blockeffekt war signifikant für log (HF) ( $F_{3,57} = 11,0$  und  $p < 0,001$ ) und für log (HF<sub>EC</sub>) ( $F_{3,57} = 9,89$  und  $p < 0,001$ ), was auf die niedrigeren Werte im ersten Block zurückzuführen war (Abb. 29).

Es wurde keine statistische Signifikanz bei den Wechselwirkungen gezeigt. Merkwürdig war, dass das Geschlecht für den Parameter  $\log(LF/HF)$  ( $F_{3,57} = 4,38$  und  $p = 0,05$ ) statistisch signifikant war (Tab. 20).

Tabelle 20 Ergebnisse der ANOVA4 für die HRV-Parameter im Frequenzbereich.

Effekt	$F$	$p$
$\log(HF)$		
Block	11,0	<0,001
$\log(LF/HF)$		
Geschlecht	4,38	0,05
$\log(HF_{EC})$		
Block	9,89	<0,001

- **Nicht-Lineare Parameter**

Die SD1 zeigte einen signifikanten Blockeffekt ( $F_{3,57} = 9,26$  und  $p_{GG} < 0,001$ ) und einen Wechselwirkungseffekt Block X Geschlecht ( $F_{3,57} = 3,03$  und  $p_{GG} = 0,045$ ). Die SD2 war nicht signifikant (Tab. 21). Die Abbildung 30 zeigt den Verlauf des Parameters SD1. Die niedrigeren Werte in dem ersten Block erklären den vorgelegten Blockeffekt.

Tabelle 21 Ergebnisse der ANOVA4 für die HRV-nicht-lineare-Parameter.

Effekt	$F$	$P$
SD1		
Block	9,26	<0,001
Block * Geschlecht	3,03	(GG) 0,045

## 5. Diskussion

In dieser Arbeit wurden verhaltensbezogene, subjektive und physiologische Parameter in einem simulierten Arbeitsumfeld erfasst. Dabei haben 24 Testpersonen (12 weiblich, 12 männlich) bei einer Exposition durch die unterschiedliche Farbeinstellungen eines Monitors mentale Leistungsaufgaben durchgeführt. Für die erste Aufgabe zur mentalen Beanspruchung durch einen CW-Test wurden zwei Varianzanalysen durchgeführt. Dabei zeigen die Reaktionszeit und die Fehlerquote als verhaltensbezogene Parameter signifikante Unterschiede bei einigen Haupteffekten und Wechselwirkungen. Der Faktor Task-Modus war für die Reaktionszeit und die Fehlerquote signifikant. Die Reaktionszeit war während der Color Naming-(HD)-Aufgabe langsamer als der Reaktionszeit der Word Reading-(LD)-Aufgabe, was die Tabelle 3 zeigte und der t-Test in der Tabelle 4 bestätigte. Das entspricht der erwarteten Auswirkung, die durch die Beeinflussung der Selektionsphase der additiven Faktormethode (AFM) nach Sternberg [29, 30] verursacht wird. Wie die Reaktionszeiten hatte sich auch die Fehlerquote durch die Erschwerung der Aufgabe erhöht.

Die Degradierung als Haupteffekt war ebenfalls für die beiden verhaltensbezogenen Parameter signifikant. Dabei wurde eine negative Auswirkung auf die Leistung der Probanden hinsichtlich der Reaktionszeiten und der Fehlerrate in der rot-manipulierten Farbeinstellung (DGR) gefunden. Hingegen zeigte der blaue Bildschirmhintergrund (DGB) die kürzesten Reaktionszeiten, was den von Baek und Min (2015) nachgewiesenen Vigilanz-Effekt des blauen Lichts bestätigen könnte [3]. Dagegen spricht, dass die Fehlerquote in der Standardfarbeinstellung (SD) besser als in DGB war (Tab. 5). Außerdem fand die Untersuchung von Baek und Min nachmittags statt, wobei unsere Untersuchung vormittags war. Die Ergebnisse der Paarvergleiche im t-Test in der Tabelle 4 zeigten signifikante Unterschiede für die Paare DGR und DGB bei den Reaktionszeiten. Außerdem zeigten die t-Tests in der gleichen Tabelle keine statistische Signifikanz, wenn die SD-Farbeinstellung mit einer der degradierten Farbeinstellungen verglichen wurde. Sowohl für die Reaktionszeit als auch für die Fehlerquote waren jedoch signifikante Unterschiede zu sehen, wenn ein Mittelwert aus SD- und DGB-Farbeinstellung gebildet und dann mit der DGR-Farbeinstellung verglichen wurde, was eine negative mentale Wirkung der roten Farbe andeuten könnte. Der für die Fehlerquote durchgeführte nicht-parametrische Mann-Whitney-U-Test bestätigte auch diesen Effekt.

Eine Beeinflussung der Enkodierungsphase der AFM [29, 30] könnte diesen Haupteffekt des Faktors „Degradierung“ erklären. Dabei reizt das Licht die Netzhaut des Auges und die Fotorezeptoren senden in Folge dessen visuelle und nicht-visuelle Informationen zu Hirnregionen, die den Wachheitsgrad beeinflussen [8].

Der Degradierung-Effekt könnte mit der signifikanten Wechselwirkung Task-Modus X Geschlecht in Verbindung stehen (Tab. 2). Dieser Interaktionseffekt war für die Reaktionszeit und die Fehlerquote signifikant und wurde durch einen t-Test (Tab. 4) und durch nicht parametrische Tests (Tab. 8) für unabhängige (Mann-Whitney-U-Test) und abhängige (Wilcoxon-Vorzeichenrangtest und Friedmans Varianzanalyse) Variablen bestätigt und lässt sich auch in der Abbildung 20 erkennen.

Anscheinend lässt sich dieser Effekt dadurch erklären, dass Frauen Farben anders als Männer wahrnehmen. Hinsichtlich dieses Aspektes stützt Vanstons Review (2017) zum Unterschied der visuellen Wahrnehmung das Ergebnis der durchgeführten Untersuchung. Vanston diskutiert in seinem Mini-Review die unterschiedliche visuelle Wahrnehmung zwischen den beiden Geschlechtern und zeigt Befunde zum Unterschied von visuellen Prozessen wie Kontrastempfindlichkeit (eng. Contrast Sensitivity), Sehschärfe und Bewegungswahrnehmung zwischen den Frauen und Männern [32]. Bezüglich der unterschiedlichen Farbwahrnehmung zwischen den beiden Geschlechtern wird erwähnt, dass die Genetik eine Rolle spielt. Das vererbte X-Chromosom entscheidet dabei, ob eine Rot-Grün-Sehchwäche vorliegt, die bei Männern häufiger als bei Frauen vorkommt [22]. Es wurde bei unserer Untersuchung keinen anomaloskopischen Test durchgeführt. Daher kann nicht festgestellt werden, wie viele Männer in unserer Untersuchung an Rot-Grün-Sehchwäche leiden bzw. wie viele Frauen „heterozygote carriers“ sind, die aufgrund des vererbten X-Chromosoms entweder gute oder schlechte Rot-Grün-Farbdiskriminierung aufweisen [20, 22].

Die mögliche Verbindung zwischen Degradierung-Effekt und Wechselwirkung Task-Modus X Geschlecht, die u.a. in der hohen Fehlerquote bei Männern in der Color Naming-(HD)-Aufgabe sichtbar wird (Abb. 20), ist anscheinend auf die Leistung der männlichen Testpersonen 12, 16 und 22 zurückzuführen. Diese Probanden haben fast bei allen Color Naming-(HD)-Aufgabe eine hohe Fehlerquote erzeugt (siehe Ergebnisse im Anhang, Tab. 22). Wegen des fehlenden anomaloskopischen Tests kann hier die Relevanz der Rot-Grün-Sehchwäche als möglicher weiterer Einflussfaktor auf die Ergebnisse nicht beurteilt werden.

Für den HRV-Parameter R-R-Intervall war der Faktor Task-Modus ebenfalls signifikant (Tab. 9) und durch einen t-Test bestätigt (Tab. 10). Durch die Erschwerung der Aufgabe werden die R-R-Intervalle kleiner bzw. die Herzrate erhöht sich. Dieser Erhöhung der Herzrate deutet eine mentale Belastung an.

Die Degradierung hatte auch einen signifikanten Effekt auf die R-R-Intervalle während des CW-Test (Tab. 9). Überraschenderweise wiesen die R-R-Intervalle in der SD-Farbeinstellung die kleinsten Werte auf und zeigten die größte Werte in der DGR-Einstellung. Anhand der erbrachten Leistungen in dem CW-Test war es zu erwarten, dass die DGR zu kleineren R-R-Intervallen und damit erhöhter Herzrate führt.

Dieser Degradierung-Effekt war bei den verhaltensbezogenen Daten (Reaktionszeit und Fehlerquote) besser sichtbar als bei den physiologischen HRV-Parametern im CW-Test. Der Einfluss des vom Monitor erzeugten Lichts kann bei einer einfachen Leseaufgabe nicht beurteilt werden, obwohl die Aufgabenblöcke an sich signifikante Unterschiede während der verschiedenen Farbeinstellungen des Bildschirmhintergrunds aufwiesen. Es ist unklar, ob diese Unterschiede in den degradierten Farbeinstellungen oder dem Aufgabentext begründet sind. Manche Probanden haben dabei geäußert, dass sie sich vor Beginn des ersten Aufgabenblocks (SD1-Einstellung) mental besonders belastet fühlten, weil sie die Schwierigkeit der Aufgabe nicht schätzen konnten. Sie gaben dabei NASA-TLX-Bewertungen ab, die in der Varianzanalyse nicht signifikant waren (alle NASA-TLX befinden sich im Anhang).

Um den durch die Aufgaben (CW-Test oder Leseaufgabe) erzeugten Effekt darzustellen, wurden weitere Varianzanalysen durchgeführt. Dabei wurden die Pace Breathing (PB)-Aufnahme-Phasen und Erholungsphasen mit den Aufgaben verglichen. Ein Auftreten mentaler Belastungen durch den CW-Test und die Leseaufgabe wird durch eine Vielzahl signifikanter Unterschiede bei den HRV-Parametern bestätigt. Dabei deutet eine Aktivierung bzw. Deaktivierung des parasympathischen Nervensystems anhand der Werte der RMSSD in der Tabelle 16 an, dass während den Erholungen deutlich weniger Belastungen im Vergleich zu der Leseaufgabe vorliegen. Außerdem ist die Aktivierung des Sympathikus (bzw. erhöhte Amplitude der respiratorischen Sinusarrhythmie) in der Abbildung 25 während der PB-Aufnahmen ein weiterer Beweis, dass der CW-Test mental belastend war.

Letztendlich lässt sich hinsichtlich des Ziels dieser Abschlussarbeit festhalten, dass die Manipulation einer kleinen Lichtquelle (PC-Monitor) keine eindeutige Wirkung auf die physiologischen HRV-Parameter aufweist. Dagegen und trotz der kleinen Lichtquelle, die vom relativ starken Umgebungslicht überlagert ist, weisen die verhaltensbezogenen Parameter deutliche Einflüsse auf. Das Design des dabei verwendeten CW-Tests ermöglicht den Nachweis der Farb-Wort-Interferenz, die von J. R. Stroop beschrieben wurde [31]. Im Vergleich zum Design des ursprünglichen Stroop-Color- und Word-Tests gibt es einen kleinen Unterschied in der „Color Naming“ Version. In Stroops Version tauchen die Wörter immer inkongruent auf, d.h. die Wörter

werden nie dieselbe Farbe des Wortsinns haben [25, 31]. In dem verwendeten CW-Test ist dieser Prozess rein zufällig und die Farbe dürfte mit dem Wortsinn übereinstimmen. Trotz dieses Unterschiedes bestätigt diese Arbeit das Auftreten des Stroop-Effekts bei den untersuchten Probanden und hebt sogar einen geschlechtsspezifischen Effekt hervor, dessen Ursache künftig mit Hilfe eines anomaloskopischen Tests besser untersucht werden könnte.

## Referenz und Literaturverzeichnis

- [1] Akselrod, S.; Gordon, D.; Ubel, F. A.; Shannon, D. C.; Berger, A. C.; Cohen, R. J. (1981): Power spectrum analysis of heart rate fluctuation: a quantitative probe of beat-to-beat cardiovascular control. In: *Science (New York, N.Y.)* 213 (4504), S. 220–222. DOI: 10.1126/science.6166045.
- [2] Badia, P.; Myers, B.; Boecker, M.; Culpepper, J.; Harsh, J. R. (1991): Bright light effects on body temperature, alertness, EEG and behavior. In: *Physiology & Behavior* 50 (3), S. 583–588. DOI: 10.1016/0031-9384(91)90549-4.
- [3] Baek, Hongchae; Min, Byoung-Kyong (2015): Blue light aids in coping with the post-lunch dip: an EEG study. In: *Ergonomics* 58 (5), S. 803–810. DOI: 10.1080/00140139.2014.983300.
- [4] Baek, Hyun Jae; Cho, Chul-Ho; Cho, Jaegeol; Woo, Jong-Min (2015): Reliability of ultra-short-term analysis as a surrogate of standard 5-min analysis of heart rate variability. In: *Telemedicine journal and e-health: the official journal of the American Telemedicine Association* 21 (5), S. 404–414. DOI: 10.1089/tmj.2014.0104.
- [5] *Basiswissen Physiologie* (2007). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg. In: Herz, S. 48f. In: *Vegetatives Nervensystem*, S. 328-331.
- [6] Behbahani S, Dabanloo NJ, Nasrabadi AM. Ictal heart rate variability assessment with focus on secondary generalized and complex partial epileptic seizures. *Adv Biores* (2012) 4:50–8.
- [7] Birbaumer, Niels-Peter; Schmidt, Robert F. (2010): *Biologische Psychologie*. 7., Auflage. Berlin: Springer (Springer-Lehrbuch). In: *Autonomes Nervensystem*, S. 102-105. In: *Blut, Herz und Kreislauf*, S. 191.
- [8] Brainard, George C.; Hanifin, John P. (2005): Photons, clocks, and consciousness. In: *Journal of biological rhythms* 20 (4), S. 314–325. DOI: 10.1177/0748730405278951.
- [9] Cajochen, Christian; Münch, Mirjam; Kobiacka, Szymon; Kräuchi, Kurt; Steiner, Roland; Oelhafen, Peter et al. (2005): High sensitivity of human melatonin, alertness, thermoregulation, and heart rate to short wavelength light. In: *The Journal of clinical endocrinology and metabolism* 90 (3), S. 1311–1316. DOI: 10.1210/jc.2004-0957.
- [10] Ciccone, Anthony B.; Siedlik, Jacob A.; Wecht, Jill M.; Deckert, Jake A.; Nguyen, Nhuquynh D.; Weir, Joseph P. (2017): Reminder: RMSSD and SD1 are identical heart rate variability metrics. In: *Muscle & nerve* 56 (4), S. 674–678. DOI: 10.1002/mus.25573.
- [11] *Electrophysiology, Task Force of the European Society* (1996): Heart Rate Variability. In: *Circulation* 93 (5), S. 1043–1065. DOI: 10.1161/01.CIR.93.5.1043.
- [12] Elliot, Andrew J.; Payen, Vincent; Brisswalter, Jeanick; Cury, Francois; Thayer, Julian F. (2011): A subtle threat cue, heart rate variability, and cognitive performance. In: *Psychophysiology* 48 (10), S. 1340–1345. DOI: 10.1111/j.1469-8986.2011.01216.x.
- [13] Esco, Michael R.; Flatt, Andrew A. (2014): Ultra-Short-Term Heart Rate Variability Indexes at Rest and Post-Exercise in Athletes: Evaluating the Agreement with Accepted Recommendations. In: *Journal of Sports Science & Medicine* 13 (3), S. 535–541.
- [14] Figueiro, Mariana G.; Sahin, Levent; Wood, Brittany; Plitnick, Barbara (2016): Light at Night and Measures of Alertness and Performance: Implications for Shift Workers. In: *Biological research for nursing* 18 (1), S. 90–100. DOI: 10.1177/1099800415572873.
- [15] Hart, Sandra G. (2006): Nasa-Task Load Index (NASA-TLX); 20 Years Later. In: *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting* 50 (9), S. 904–908. DOI: 10.1177/154193120605000909.

- [16]Keis, Oliver; Helbig, Hannah; Streb, Judith; Hille, Katrin (2014): Influence of blue-enriched classroom lighting on students' cognitive performance. In: Trends in Neuroscience and Education 3 (3-4), S. 86–92. DOI: 10.1016/j.tine.2014.09.001.
- [17]MacLeod, Colin M. (1991): John Ridley Stroop. Creator of a landmark cognitive task. In: Canadian Psychology. Band 32, S. 521–524).
- [18]Motamedzadeh, Majid; Golmohammadi, Rostam; Kazemi, Reza; Heidaramoghadam, Rashid (2017): The effect of blue-enriched white light on cognitive performances and sleepiness of night-shift workers: A field study. In: Physiology & Behavior 177, S. 208–214. DOI: 10.1016/j.physbeh.2017.05.008.
- [19]Phipps-Nelson, Jo; Redman, Jennifer R.; Schlangen, Luc J. M.; Rajaratnam, Shantha M. W. (2009): Blue light exposure reduces objective measures of sleepiness during prolonged nighttime performance testing. In: Chronobiology international 26 (5), S. 891–912. DOI: 10.1080/07420520903044364.
- [20]Pickford, R. W. (1947). Sex differences in colour vision. Nature 159, 606-607.
- [21]Rajendra Acharya, U.; Paul Joseph, K.; Kannathal, N.; Lim, Choo Min; Suri, Jasjit S. (2006): Heart rate variability: a review. In: Medical & biological engineering & computing 44 (12), S. 1031–1051. DOI: 10.1007/s11517-006-0119-0.
- [22]Rodríguez-Carmona, M.; Sharpe, L. T.; Harlow, J. A.; Barbur, J. L. (2008): Sex-related differences in chromatic sensitivity. In: Visual neuroscience 25 (3), S. 433–440. DOI: 10.1017/S095252380808019X.
- [23]Sahin, Levent; Figueiro, Mariana G. (2013): Alerting effects of short-wavelength (blue) and long-wavelength (red) lights in the afternoon. In: Physiology & Behavior 116-117, S. 1–7. DOI: 10.1016/j.physbeh.2013.03.014.
- [24]Salahuddin, Lizawati; Cho, Jaeeol; Jeong, Myeong Gi; Kim, Desok (2007): Ultra short term analysis of heart rate variability for monitoring mental stress in mobile settings. In: Conference proceedings: ... Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society. IEEE Engineering in Medicine and Biology Society. Annual Conference 2007, S. 4656–4659. DOI: 10.1109/IEMBS.2007.4353378.
- [25]Scarpina, Federica; Tagini, Sofia (2017): The Stroop Color and Word Test. In: Frontiers in psychology 8, S. 557. DOI: 10.3389/fpsyg.2017.00557.
- [26]Schäfer, Axel; Kratky, Karl W. (2006): The effect of colored illumination on heart rate variability. In: Forschende Komplementarmedizin (2006) 13 (3), S. 167–173. DOI: 10.1159/000092644.
- [27]Shaffer, Fred; Ginsberg, J. P. (2017): An Overview of Heart Rate Variability Metrics and Norms. In: Frontiers in public health 5, S. 258. DOI: 10.3389/fpubh.2017.00258.
- [28]Stafford, Tom; Gurney, Kevin N. (2011): Additive factors do not imply discrete processing stages: a worked example using models of the stroop task. In: Frontiers in psychology 2, S. 287. DOI: 10.3389/fpsyg.2011.00287.
- [29]Sternberg, Saul (1969): The discovery of processing stages: Extensions of Donders' method. In: Acta Psychologica 30, S. 276–315. DOI: 10.1016/0001-6918(69)90055-9.
- [30]Sternberg, S. (1998). Discovering mental processing stages: The method of additive factors. In D. Scarborough & S. Sternberg (Eds.), An invitation to cognitive science. Methods, models, and conceptual issues: An invitation to cognitive science, Vol. 4, pp. 703-863). Cambridge, MA, US: The MIT Press.
- [31]Stroop, J. R. (1935): Studies of interference in serial verbal reactions. In: Journal of Experimental Psychology 18 (6), S. 643–662. DOI: 10.1037/h0054651.

- [32]Vanston, John E.; Strother, Lars (2017): Sex differences in the human visual system. In: Journal of neuroscience research 95 (1-2), S. 617–625. DOI: 10.1002/jnr.23895.
- [33]Hart, Sandra G.; Staveland, Lowell E. (1988): Development of NASA-TLX (Task Load Index): Results of Empirical and Theoretical Research. In: Human Mental Workload, Bd. 52: Elsevier (Advances in Psychology), S. 139–183.
- [34]Billman, George E. (2013): The LF/HF ratio does not accurately measure cardiac sympatho-vagal balance. In: Frontiers in physiology 4, S. 26. DOI: 10.3389/fphys.2013.00026.
- [35]Eller-Berndl, Doris (2010): Herzratenvariabilität. 1. Aufl. Wien: Verl.-Haus der Ärzte. In: Auswertungsmöglichkeiten der HRV, S. 26-39.

# Anhang

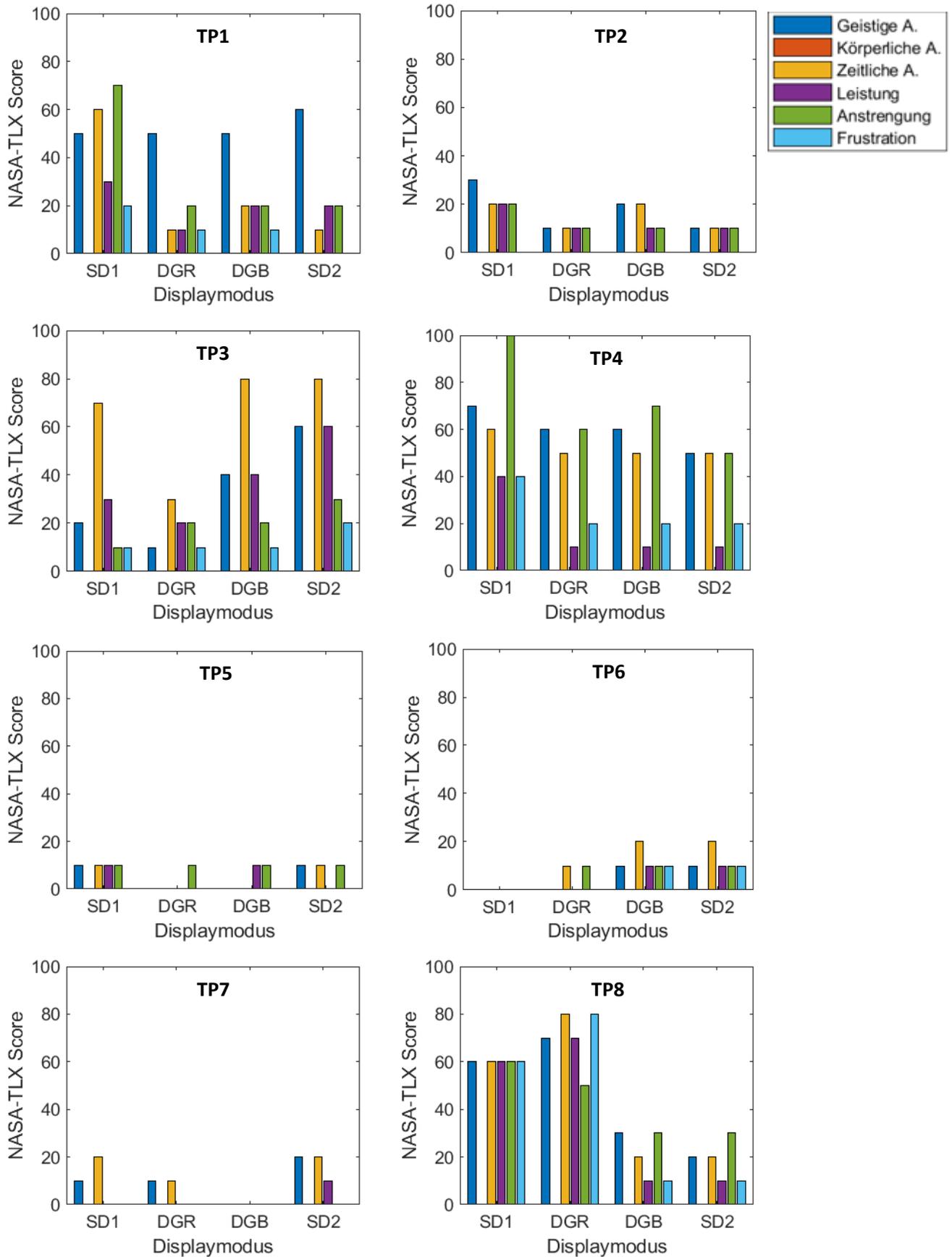


Abbildung 31 Die NASA-TLX Scores für die Probanden 1-8.

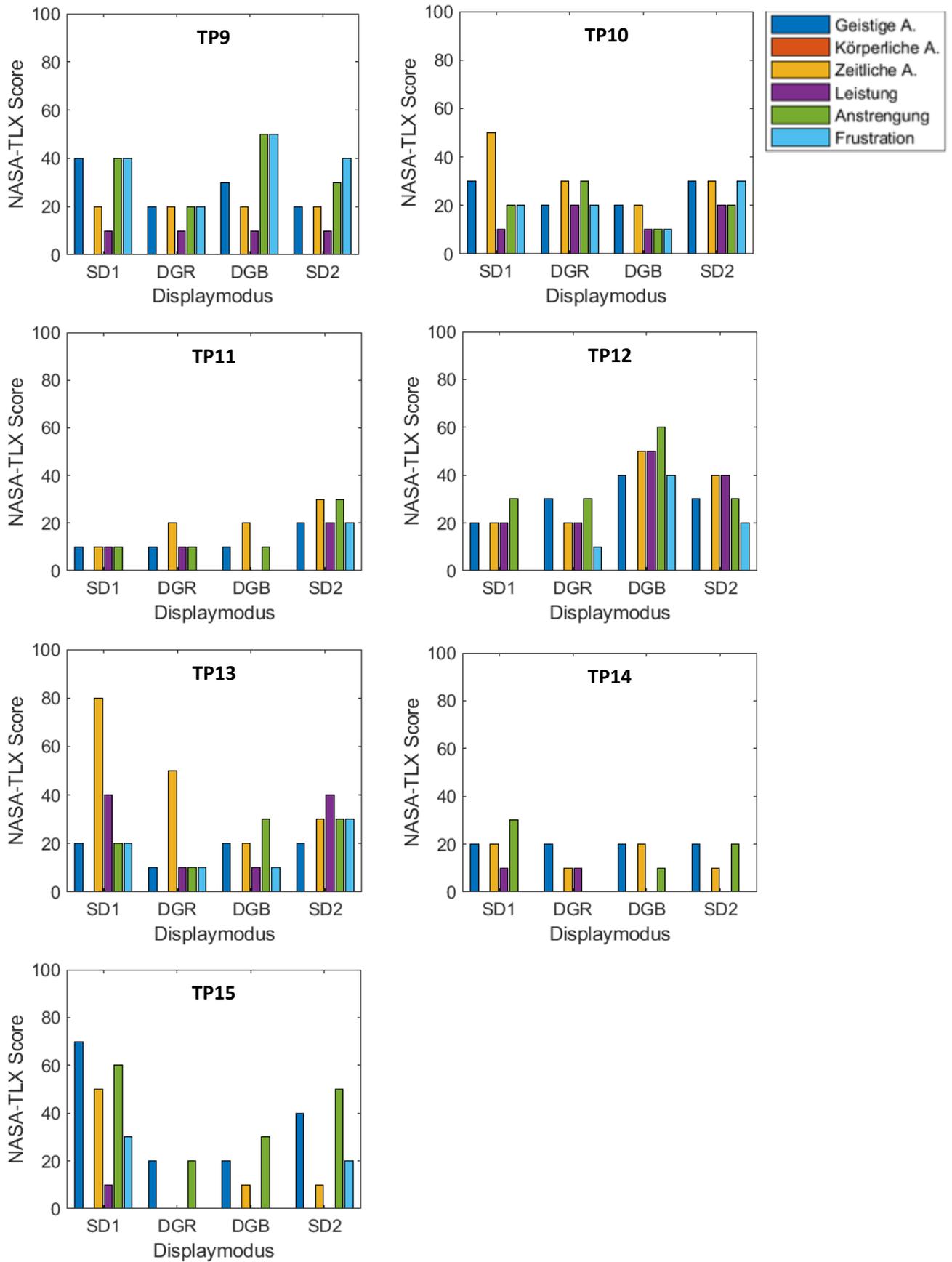


Abbildung 32 Die NASA-TLX Scores für die Probanden 9-15. Datenverlust bei der Testperson 16.

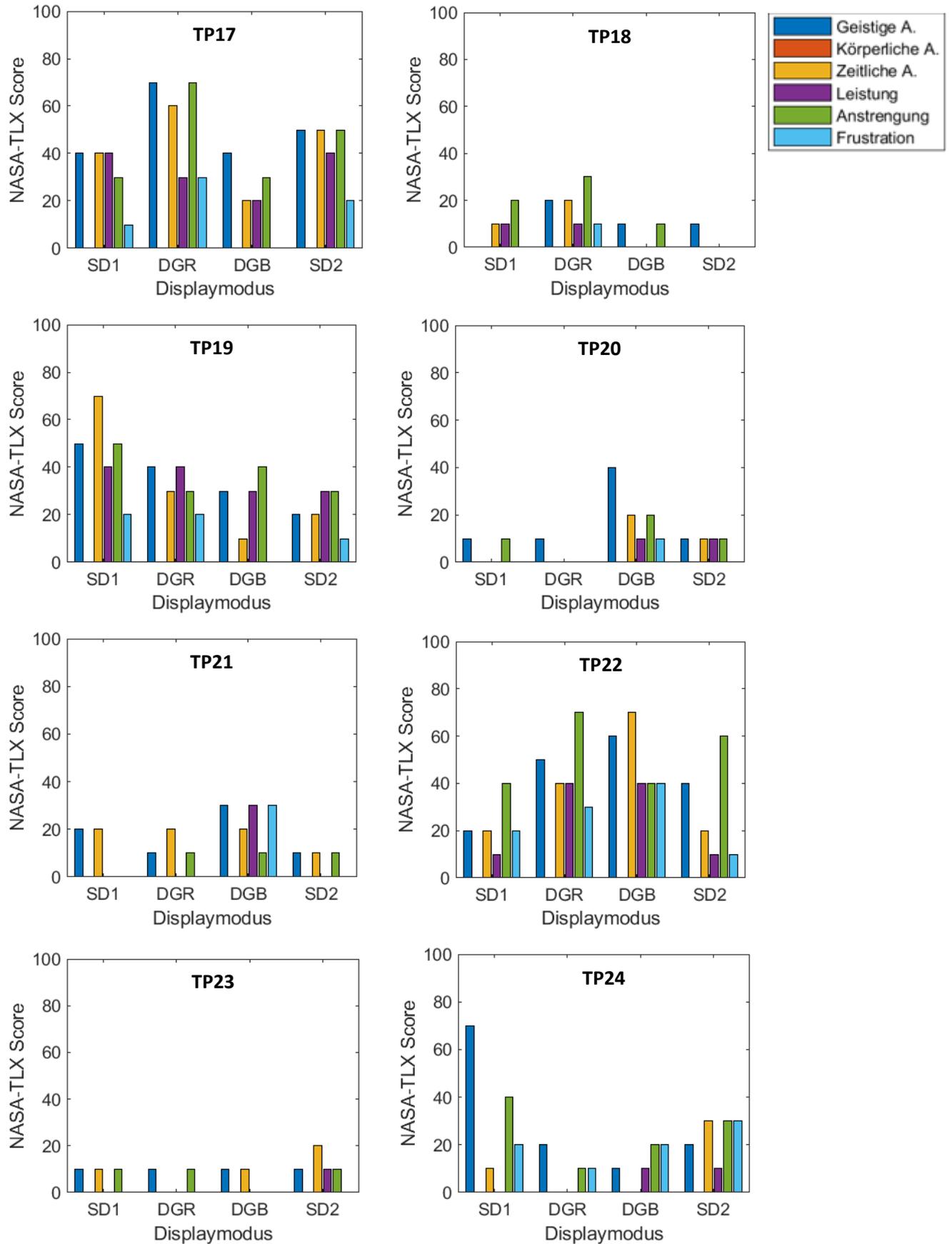


Abbildung 33 Die NASA-TLX Scores für die Probanden 17-24.

Tabelle 22 Anzahl der richtigen Antworten und die Fehlerquote aller Probanden bei dem CW-Test.

TP	LD SD1		HD SD1		LD DGR		HD DGR		LD DGB		HD DGB		LD SD2		HD SD2	
	Richtig	Fehler %														
1	36	2,78	36	0,00	34	14,71	30	13,33	36	8,33	31	12,90	39	5,13	34	5,88
2	42	2,38	43	2,33	40	5,00	48	0,00	41	4,88	45	2,22	42	4,76	45	0,00
3	36	0,00	27	11,11	35	0,00	36	5,56	38	0,00	31	6,45	39	0,00	30	13,33
4	35	0,00	32	6,25	34	5,88	34	8,82	28	17,86	31	3,23	39	0,00	37	2,70
5	38	2,63	31	6,45	44	2,27	38	0,00	38	2,63	35	8,57	42	0,00	38	5,26
6	44	0,00	38	2,63	41	7,32	38	5,26	45	0,00	39	0,00	43	0,00	39	2,56
7	34	0,00	28	7,14	34	0,00	24	20,83	37	0,00	33	6,06	42	0,00	33	9,09
8	33	0,00	31	6,45	39	0,00	29	17,24	38	0,00	32	12,50	36	5,56	36	5,56
9	36	0,00	28	10,71	29	6,90	27	14,81	37	2,70	31	6,45	37	0,00	32	6,25
10	39	2,56	33	3,03	35	5,71	32	6,25	44	0,00	37	5,41	45	0,00	40	2,50
11	44	0,00	33	0,00	34	5,88	43	0,00	42	0,00	38	2,63	42	0,00	39	0,00
12	19	26,32	20	30,00	24	16,67	30	3,33	36	2,78	29	20,69	33	3,03	26	23,08
13	35	11,43	38	2,63	35	5,71	38	5,26	41	4,88	33	21,21	40	12,50	43	2,33
14	34	0,00	33	6,06	33	9,09	32	0,00	42	0,00	37	2,70	40	0,00	35	0,00
15	38	2,63	31	9,68	38	5,26	38	0,00	39	0,00	34	8,82	42	0,00	35	0,00
16	31	12,90	24	29,17	28	17,86	25	16,00	28	7,14	28	10,71	29	6,90	30	6,67
17	40	0,00	35	8,57	41	0,00	32	12,50	43	0,00	35	2,86	46	0,00	41	2,44
18	28	14,29	31	6,45	23	17,39	27	11,11	35	5,71	30	6,67	29	6,90	38	0,00
19	32	3,13	29	13,79	35	5,71	30	6,67	31	3,23	28	10,71	35	5,71	36	2,78
20	39	2,56	33	0,00	38	0,00	31	6,45	41	0,00	27	22,22	38	2,63	37	2,70
21	34	0,00	28	17,86	30	6,67	26	23,08	28	17,86	32	9,38	36	0,00	29	13,79
22	33	6,06	19	36,84	32	12,50	22	31,82	34	2,94	28	14,29	37	0,00	30	3,33
23	41	2,44	30	13,33	41	2,44	38	5,26	39	0,00	41	0,00	44	2,27	37	5,41
24	47	4,26	45	2,22	48	2,08	55	0,00	46	15,22	55	5,45	50	8,00	54	5,56

**Antrag auf Stellungnahme der Ethikkommission des Competence Centers Gesundheit**  
 Bitte reichen Sie den Antrag nach Möglichkeit mit allen Anlagen als ein PDF-Dokument

1	Name der Antragstellerin/ des Antragstellers	Abdullah Ba Khashwain
	Fakultät/Department	Life Sciences / Medizintechnik
	Adresse	Stellbrinkweg 26
		21035 Hamburg
	Position	Student
	Email	Abdullah.bakhashwain@haw-hamburg.de

2	Bei Qualifikationsarbeiten (Promotion, Masterthesis, Bachelorthesis): Namen der betreuenden Professorinnen und/oder Professoren	Herr Prof. Dr. Jürgen Lorenz (HAW Hamburg)  Herr Dr. Mario Meza (Hamburg Applications MES UG)
	Fakultät/Department	(Dr. Lorenz): Life Sciences / Medizintechnik
	Adresse	(Dr. Lorenz): Ulmenliet 20 21033 Hamburg Raum N5.10
		(Dr. Meza): Harburger Schloßstraße 6-12 21079 Hamburg Raum 3.33
	Position	(Dr. Lorenz): Professor für Humanbiologie und Physiologie (Dr. Meza): CTO
	Email	(Dr. Lorenz): juergen.lorenz@haw-hamburg.de (Dr. Meza): meza@hamburg-applications.com

3	<i>Kurztitel des Forschungsvorhabens</i> Untersuchung des Einflusses der Lichteinstellungen eines Bildschirms auf die geistige Belastung des Personals am Arbeitsplatz
---	---

4	<i>Titel des Forschungsvorhabens</i> Abschlussarbeit in der Medizintechnik – Untersuchung des Einflusses der Lichteinstellungen eines Bildschirms auf die geistige Belastung des Personals anhand einer Analyse der Biosignale
---	---

5	<i>Datum des Antrags</i> 02.08.2019
---	--

6	<i>Welches Ziel verfolgt das Forschungsvorhaben?</i> Ziel dieser Arbeit ist die Evaluierung subjektiver (NASA-TLX), Verhaltens-bezogener (Reaktionszeiten und Fehlerquoten) sowie physiologischer Parameter (EKG- basierte HRV-Analyse und die Aktivitäten der Frequenzbänder der EEG), bei einer Exposition durch das Monitorlicht bei den üblichen Standardfarbeinstellungen (SD), bei einer rot manipulierten Farbeinstellung (DGR) und bei einer blau manipulierten
---	--

	<p>Farbeinstellung (DGB) des Bildschirms während der mentalen Belastungen durch den SCW-Test und die Leseaufgabe. Die erfassten Daten zu allen Farbeinstellungen werden gegenübergestellt und miteinander verglichen. Dadurch soll geklärt werden, ob eine signifikante Änderung der gemessenen Werte gezeigt werden kann, was eine Beanspruchung durch die Farbeinstellungen andeuten könnte.</p>
--	--

7	<i>Handelt es sich um</i>	
	<i>Primärforschung</i>	<input checked="" type="checkbox"/>
	<i>Sekundärforschung</i>	<input type="checkbox"/>
	<i>Handelt es sich um eine Promotion?</i>	<input type="checkbox"/> Ja <input checked="" type="checkbox"/> Nein
	<i>Anderes (bitte erläutern)</i>	<input checked="" type="checkbox"/> Bachelorarbeit

8	<p><i>Wurde die geplante Studie bereits bei einer anderen Ethikkommission eingereicht?</i></p> <p><input type="checkbox"/> Ja      <input checked="" type="checkbox"/> Nein</p> <p>Wenn ja, wo? _____</p> <p><i>Wurde die Studie von o.g. Kommission befürwortet?</i></p> <p><input type="checkbox"/> Ja      <input type="checkbox"/> Nein</p> <p>Ggf. Kommentar: _____</p>
---	--

9	<p><i>Wie ist die Untersuchung wissenschaftlich gerechtfertigt? (theoretischer Rahmen, Relevanz des Forschungsvorhabens)</i></p> <p>Die Wahrnehmung von Lichtern hat unterschiedliche Wirkung auf den Menschen [2]. Mehrere Studien zeigten, dass die Lichter Einfluss auf physiologische Prozesse des Körpers haben, wie die Sekretion des Melatonins und der circadiane Rhythmus des Organismus. Auch die Körpertemperatur und die Wachsamkeit des Menschen könnten beeinflusst werden [2]. Weitere Untersuchungen haben außerdem gezeigt, dass die Lichtfarbe eine Wirkung auf die Herzratenvariabilität (HRV) hat [4, 5, 10]. Blaues Licht mit einer Wellenlänge von 460 nm hat eine positive Wirkung auf die Wachsamkeit [7] und zeigt eine stärkere Melatonin-Unterdrückung im Vergleich zum roten Licht mit 550 nm [4]. Des Weiteren wird bei einer anderen Studie gezeigt, dass blaues Licht eine Verbesserung der Leistung und eine reduzierte alpha-Aktivität in der Elektroenzephalografie (EEG) aufweisen, was eine erhöhte Wachsamkeit andeutet [3], während die in einer weiteren Studie nachgewiesene Reduktion der hohen Frequenz (HF) der HRV, welche der Respiratorische Sinusarrhythmie entspricht, eine Verschlechterung der kognitiven Leistung durch rotes Licht andeutet [5].</p> <p>Hingegen zeigt sich bei einer Studie von Sahin und Figueiro [9] im Vergleich zur Dunkelheit, dass blaues Licht nur eine nicht-signifikante Reduktion (<math>p &gt; 0,05</math>) der alpha-Aktivität bewirkt, während rotes Licht zu einer signifikanten Reduktion des alpha-Spektrums führt, wobei die alpha-Aktivitäten der EEG nachmittags jeweils nach einer 48-minütigen Exposition gegenüber blauem (470 nm) und rotem (630 nm) Licht gemessen wurden. Außerdem hat eine Studie von Figueiro gezeigt, dass rotes Licht nachts eine Verbesserung der Leistung bewirkt, ohne den circadianen Rhythmus zu beeinflussen [6]. Daher ist wegen jüngerer Erkenntnisse nicht mehr klar, ob blaues oder rotes Licht vorteilhafter ist. Außerdem wurden bei den erwähnten Studien relativ große Lichtquellen benutzt, die das Umgebungslicht stark überlagern. Eine kleine Lichtquelle, wie ein Bildschirm, wurde nach eigenen Kenntnissen noch nicht untersucht. Da die (mentale) Beanspruchung des menschlichen Körpers anhand des Verhaltens des autonomen Nervensystems (ANS) demonstriert werden kann [1], hat diese Arbeit das Ziel, der Einfluss einer farb-bezogenen Manipulation des Bildschirmhintergrunds anhand einer HRV-Analyse zu untersuchen. Die sympathische und parasympathische Aktivität des ANS kann mithilfe der HRV-Messung aufgezeichnet werden [8]. Zudem werden auch subjektiven (NASA-TLX), verhaltensbezogenen Parameter (Reaktionszeiten und Fehlerquote) und weitere physiologischen Parameter (EEG Aktivitäten) evaluiert, um den Einfluss der manipulierten Monitorlichter weiter zu untersuchen.</p>
---	---

	<p>[1]: Backs, R. W. (1998): A comparison of factor analytic methods of obtaining cardiovascular autonomic components for the assessment of mental workload. In: Ergonomics 41 (5), S. 733–745. DOI: 10.1080/001401398186883.</p> <p>[2]: Badia, P.; Myers, B.; Boecker, M.; Culpepper, J.; Harsh, J. R. (1991): Bright light effects on body temperature, alertness, EEG and behavior. In: Physiology &amp; Behavior 50 (3), S. 583–588. DOI: 10.1016/0031-9384(91)90549-4.</p> <p>[3]: Baek, Hongchae; Min, Byoung-Kyong (2015): Blue light aids in coping with the post-lunch dip: an EEG study. In: Ergonomics 58 (5), S. 803–810. DOI: 10.1080/00140139.2014.983300.</p> <p>[4]: Cajochen, Christian; Münch, Mirjam; Kobiacka, Szymon; Kräuchi, Kurt; Steiner, Roland; Oelhafen, Peter et al. (2005): High sensitivity of human melatonin, alertness, thermoregulation, and heart rate to short wavelength light. In: The Journal of clinical endocrinology and metabolism 90 (3), S. 1311–1316. DOI: 10.1210/jc.2004-0957.</p> <p>[5]: Elliot, Andrew J.; Payen, Vincent; Brisswalter, Jeanick; Cury, Francois; Thayer, Julian F. (2011): A subtle threat cue, heart rate variability, and cognitive performance. In: Psychophysiology 48 (10), S. 1340–1345. DOI: 10.1111/j.1469-8986.2011.01216.x.</p> <p>[6]: Figueiro, Mariana G.; Sahin, Levent; Wood, Brittany; Plitnick, Barbara (2016): Light at Night and Measures of Alertness and Performance: Implications for Shift Workers. In: Biological research for nursing 18 (1), S. 90–100. DOI: 10.1177/1099800415572873.</p> <p>[7]: Phipps-Nelson, Jo; Redman, Jennifer R.; Schlangen, Luc J. M.; Rajaratnam, Shantha M. W. (2009): Blue light exposure reduces objective measures of sleepiness during prolonged nighttime performance testing. In: Chronobiology international 26 (5), S. 891–912. DOI: 10.1080/07420520903044364.</p> <p>[8]: Rajendra Acharya, U.; Paul Joseph, K.; Kannathal, N.; Lim, Choo Min; Suri, Jasjit S. (2006): Heart rate variability: a review. In: Medical &amp; biological engineering &amp; computing 44 (12), S. 1031–1051. DOI: 10.1007/s11517-006-0119-0.</p> <p>[9]: Sahin, Levent; Figueiro, Mariana G. (2013): Alerting effects of short-wavelength (blue) and long-wavelength (red) lights in the afternoon. In: Physiology &amp; Behavior 116-117, S. 1–7. DOI: 10.1016/j.physbeh.2013.03.014.</p> <p>[10]: Schäfer, Axel; Kratky, Karl W. (2006): The effect of colored illumination on heart rate variability. In: Forschende Komplementärmedizin (2006) 13 (3), S. 167–173. DOI: 10.1159/000092644.</p>
--	---

10	<p><i>Fassen Sie das Forschungsvorhaben ausführlich zusammen: Forschungsziel, -design sowie gewählte Methodik, inklusive kurzer theoretischer Einbettung.</i></p> <p>Forschungsziel: Anhand von subjektiven (ratings), Verhaltens-bezogenen (Reaktionszeiten und Fehler) sowie physiologischen Parametern (EKG- basierte HRV-Analyse und die Frequenzbänder der EEG), den Einfluss einer farb-bezogenen</p>
----	---

	<p>Manipulation des Bildschirmhintergrunds bei einer mentalen Leistungsaufgabe (Stroop-Color- und Word-Test und Leseaufgabe) zu evaluieren.</p> <p>Im Rahmen dieser Untersuchung werden drei Farbeinstellungen des Bildschirms untersucht. Diese Einstellungen sind das Ergebnis einer Kombination der roten (r), grünen (g) und blauen (b) Farbanteile des Bildschirms. Die Farbanteile sind in eine analoge Skala von 0 bis 100 einstellbar. Die untersuchte Farbeinstellungen umfassen eine Standard-Einstellung (r= 50, g= 50, b= 50) und zwei degradierte Einstellungen, Degraded-Einstellung Rot (r= 100, g= 0, b= 0) und Degraded-Einstellung Blau (r= 0, g= 0, b= 100).</p> <p>An der Untersuchung nehmen 24 Probanden, 12 Frauen und 12 Männer, teil. Zur Erfassung der Biosignale wird das von Hamburg Applications entwickelten MobioRT verwendet. Die durchgeführten Aufgabenblöcke bestehen aus einem Stroop-Color- und Word-Test (SCW-Test) und einer Leseaufgabe. Beim SCW-Test handelt sich um eine Interferenz von Stimulationen durch Farben und Wörter [10]. Eine Aufgabe und ein farbiges Wort wird am Bildschirm gezeigt und der Proband hat eine Auswahl von vier Wörtern (Red, Green, Blue und Yellow), wobei diese vier Wörtern die Lösung der gezeigten Aufgabe entsprechen (siehe Studienprotokoll). In der Leseaufgabe wird der Proband nach dem Lesen eines Texts eine Bewertung mithilfe der NASA-TLX Methode abgeben. Um eine Baseline für die Herzrate und Herzratenvariabilität zu erstellen, wird jeweils vor und nach einem Aufgabenblock ein Pace Breathing mit einem Atem-Takt von 12 bpm durchgeführt (siehe Studienprotokoll). Dadurch kann die respiratorische Sinusarhythmie in den spektralen Komponenten der HRV erkannt und quantifiziert werden. Der Proband bleibt während der ganzen Untersuchung mit Elektroden beschaltet. Am MobioRT und dem Rechner wird ein gebastelter IR-Sensor angeschlossen, um eine genaue Zeit aller Phasen zu signalisieren. Die ganze Untersuchung läuft über eine mit MATLAB programmierte Applikation, wobei alle Einträge und Aktionen in MATLAB registriert und nachher zur Analyse bereit gemacht werden.</p> <p>Zur Auswertung eignen sich die HRV-Parameter, die Frequenzbänder der EEG, die Reaktionszeit (nur in SCW-Test) und der NASA Task Load Index (nur in der Leseaufgabe) für den Vergleich. Für die gemessene EKG wird die Kubios-HRV-Software benutzt, um die sympathovagale Balance zu untersuchen. für die EEG wird eine Wavelet-Transformation in der Software MATLAB durchgeführt. Die Reaktionszeit im SCW-Test wird mithilfe der Clock-Funktionen in MATLAB ermittelt, wobei die Zeit zwischen dem Auftreten eines Wortes und der Auswahl einer Lösung registriert wird (siehe Studienprotokoll). Der NASA-TLX wird anhand der abgegebenen Bewertung berechnet. Die erfassten Daten zu allen Farbeinstellungen werden gegenübergestellt und miteinander verglichen. Dadurch soll geklärt werden, ob eine signifikante Änderung der gemessenen Werte gezeigt werden kann, was eine Beanspruchung durch die Farbeinstellungen andeuten könnte.</p> <p>[11]: Stroop, J. R. (1935): Studies of interference in serial verbal reactions. In: Journal of Experimental Psychology 18 (6), S. 643–662. DOI: 10.1037/h0054651.</p>
--	--

11	<p><i>Wie wurde/wird die wissenschaftliche Qualität des Forschungsvorhabens durch eine/n Dritte/n überprüft?</i></p> <p>Unabhängige externe Überprüfung <input type="checkbox"/></p>
----	--

Überprüfung innerhalb eines Unternehmens	<input type="checkbox"/>
Überprüfung innerhalb einer multizentrischen oder interdisziplinären Forschergruppe	<input type="checkbox"/>
Überprüfung durch die hauptverantwortliche Institution oder Gastinstitution	<input type="checkbox"/>
Überprüfung innerhalb des Forschungsteams	<input type="checkbox"/>
Überprüfung durch eine Betreuerin bzw. einen Betreuer	<input checked="" type="checkbox"/>
Anderes (bitte erläutern)	<input type="checkbox"/>
Keine Überprüfung durch Dritte	<input type="checkbox"/>

12	<p><i>Wie werden die potentiell Teilnehmenden</i>  <i>(i) ausgesucht (Einschluss- und Ausschlusskriterien),</i>  <i>(ii) angesprochen und</i>  <i>(iii) rekrutiert?</i></p> <p>(i) Es werden 24 Testpersonen (12 weiblich, 12 männlich) ausgesucht. Um ein ähnliches Alter zwischen den Probanden zu gewährleisten, werden Studierende, die Kommilitonen des Antragstellers rekrutiert.</p> <p>Einschlusskriterien: Die Probanden sollten 19-29 Jahre alt sein, die nach eigenen Angaben gesund sind. Außerdem sind alle Teilnehmende deutsch sprachige Personen, da in der Untersuchung einen Text mit einem relativ hohen Sprachniveau (C1 laut der Europäischen Referenz) vorgestellt wird.</p> <p>Ausschlusskriterien: Die Probanden müssen nicht-raucher sein. Sie nehmen keine Medikamente bzw. Drogen ein, die die Herzaktivitäten beeinflusst, wurden nicht im Herzen operiert und tragen keinen Herzschrittmacher. Personen, die früher ein epileptischer Anfall erlebt haben, wurden auch von diesem Experiment ausgeschlossen.</p> <p>(ii) Alle Probanden werden von mir persönlich oder über Telefon angesprochen.</p> <p>(iii) Die Probanden bekommen von mir ein Aufklärungsbogen und eine Einverständniserklärung, die sie unterschreiben müssen.</p>
----	--

13	<p><i>Werden in den individuellen Interviews/Fragebögen oder Gruppeninterviews/-fragebögen Themen angesprochen, die sensibel, peinlich oder übergriffig sind? Oder können möglicherweise kriminelle oder andere Taten offenkundig werden, die entsprechende Maßnahmen erfordern (z.B. Untersuchung auf Drogenkonsum)?</i></p> <p>Nein. Die potenziellen Teilnehmende, wie im Punkt 12 zu sehen ist, werden bei der direkten Ansprache gefragt, ob sie unter einer Krankheit leiden oder ob sie allgemein regelmäßig Medikamente bzw. Drogen einnehmen.</p>
----	--

14	<p><i>Können Traumata durch die Befragung / die Untersuchung auftreten?</i></p> <p><input type="checkbox"/> Ja      <input checked="" type="checkbox"/> Nein</p> <p><i>Wenn ja, wie verfahren Sie damit? (Gibt es z.B. Nachbetreuung?)</i></p>
----	--

15	<p><i>Dürfen die gesammelten Daten laut deutschem Datenschutzrecht genutzt werden?</i></p> <p>Ja.</p>
----	---

16	<p><i>Beinhaltet die Forschung eine Täuschung bezüglich der Ziele oder Absichten?</i></p> <p><input type="checkbox"/> Ja      <input checked="" type="checkbox"/> Nein</p> <p><i>Falls ja, werden die Teilnehmenden hierüber aufgeklärt?</i>  <i>Wann?</i></p>
----	--

	<p><i>Wie?</i> <i>Von wem?</i></p>
17	<p><i>Wie lange wird die Teilnahme für die Probanden voraussichtlich dauern?</i> Die Untersuchung besteht aus zwei Aufgabenblöcken. Die einzelne Aufgabe dauert ungefähr 11 Minuten und 20 Sekunden. Zwischen den beiden Aufgaben erhält man eine 5 Minuten lang Pause. Das Anschließen der Elektroden und das Erreichen der gewünschten Impedanz in der Vorbereitungsphase dauert 15 Minuten. Außerdem üben die Probanden vor dem Anfang der Untersuchung das Color-Stroop-Programm so lang, bis sie vorbereitet sind, an der Untersuchung teilzunehmen. Das Üben des Programms, die Klärung des Versuchs und deren eventuellen Fragen und das Ausfüllen des Fragebogens dauert maximal 20 Minuten. Die gesamte Untersuchung nimmt 62,5 Minuten pro Testperson in Anspruch.</p>
18	<p><i>Welchen potenziellen Nutzen haben die Teilnehmenden von einer Teilnahme?</i> Eine Kompensation der Probanden für die Teilnahme erfolgt nicht. Der Anreiz für die Teilnahme an der Studie wird über das Angebot geschaffen, aktiv die Forschung und Entwicklung zu unterstützen.</p>

19	<p><i>Welche Maßnahmen werden angewendet, um die Vertraulichkeit der persönlichen Daten zu gewährleisten? Beschreiben Sie, ob eine Pseudonymisierung (Kodierliste) oder andere Form der Anonymisierung vorgenommen wird, und wenn ja, welche und in welchem Stadium.</i></p> <p>Die Daten werden vom Anfang an pseudonymisiert (sowohl bei Datenerfassung als auch bei der Datenanalyse) und jeder Teilnehmende wird durch „Testperson X“ gekennzeichnet und in einer Kodierliste eingetragen, wobei „X“ für die Nummer der Person steht. Die Kodierliste wird nach maximal einem Jahr gelöscht werden.</p>
----	---

20	<p><i>Wer wird Zugang zu den Daten haben und welche Maßnahmen werden getroffen, um die Daten vertraulich zu behandeln?</i></p> <p>Nur der Antragsteller (Abdullah Ba Khashwain) und seine Betreuer Prof. Dr. Jürgen Lorenz und Dr.-Ing. Mario Meza haben Zugang zu den gesammelten Daten in der Kodierliste.</p>
----	--

21	<p><i>In welcher Form erfolgt eine Aufklärung der Probanden über das Forschungsvorhaben? Bitte fügen Sie hierfür Belege bei.</i></p> <p>Alle Probanden werden persönlich bzw. über Telefon über den Ablauf der Untersuchung grob informiert. Sie werden außerdem darauf hingewiesen, dass die Teilnahme freiwillig ist und ihre Daten pseudonymisiert werden. Am Tag des Versuchs wird die Untersuchung detaillierter erklärt. Die Probanden erhalten dann eine schriftliche Einverständniserklärung, worauf steht, dass die Teilnahme freiwillig ist, dass ihre Daten pseudonymisiert werden, und dass sie jederzeit ohne Nachteile von der Studie zurücktreten können.</p>
----	--

22	<p><i>Wird nach erfolgter Aufklärung eine schriftliche Einverständniserklärung der an der Studie Teilnehmenden eingeholt?</i></p> <table border="1" style="width: 100%;"> <tr> <td style="width: 50%;">Ja</td> <td style="text-align: center;"><input checked="" type="checkbox"/></td> </tr> <tr> <td>Nein</td> <td style="text-align: center;"><input type="checkbox"/></td> </tr> </table> <p><i>Falls ja, beschreiben Sie bitte folgende Aspekte:  Wer holt die Einverständniserklärung ein?  Wie wird die Aufklärung durchgeführt?  Werden außer des Aufklärungs-/Informationsbogens noch andere Arten der Aufklärung (z.B. Video, interaktive Medien) genutzt?  Eine Kopie des Aufklärungs-/Informationsbogens ist diesem Antrag beizufügen.</i></p> <p><i>Sollte keine Einverständniserklärung der an der Studie Teilnehmenden eingeholt werden, legen Sie hierfür bitte den genauen Grund dar.</i></p> <p>Die Einverständniserklärung wird vom Antragsteller eingeholt. Alle rekrutierte Teilnehmende werden sowohl bei der Rekrutierung (entweder persönlich oder telefonisch) als auch am Versuchstag vor Ort mündlich und schriftlich über das Forschungsvorhaben informiert.</p>	Ja	<input checked="" type="checkbox"/>	Nein	<input type="checkbox"/>
Ja	<input checked="" type="checkbox"/>				
Nein	<input type="checkbox"/>				

23	<p><i>Erfordert die Rekrutierung die Involvierung weiterer Kooperationspartner?</i></p> <p>Nein. Alle Teilnehmende sind Kommilitonen bzw. Bekannten des Antragstellers.</p>
----	---

24	<p><i>Wie viel Zeit steht den potentiell Teilnehmenden zur Verfügung, über ihre Teilnahme/Nicht-Teilnahme an der Studie zu entscheiden?</i></p> <p>Die Teilnahme ist komplett freiwillig und die Personen können sich während der direkten Ansprache entscheiden, ob sie mitmachen möchten oder nicht.</p>
----	--

25	<p><i>Werden die Teilnehmenden darüber informiert, dass sie jederzeit (ohne Nachteile) die Teilnahme verweigern bzw. von der Studie zurücktreten können (bis zum Zeitpunkt der Anonymisierung der Daten)?</i></p> <p>Ja.</p>
----	--

26	<p><i>Nehmen Personen aus einer der benannten Gruppen an der Studie teil?</i></p> <p>Nein</p>																
	<table border="1" style="width: 100%;"> <tr> <td style="width: 80%;">Kinder oder Jugendliche unter 18 Jahren</td> <td style="width: 20%; text-align: center;"><input type="checkbox"/></td> </tr> <tr> <td>Erwachsene, die bewusstlos oder schwer krank sind</td> <td style="text-align: center;"><input type="checkbox"/></td> </tr> <tr> <td>Erwachsene mit unheilbaren Erkrankungen</td> <td style="text-align: center;"><input type="checkbox"/></td> </tr> <tr> <td>Erwachsene in Notfallsituationen</td> <td style="text-align: center;"><input type="checkbox"/></td> </tr> <tr> <td>Erwachsene mit psychischen Erkrankungen</td> <td style="text-align: center;"><input type="checkbox"/></td> </tr> <tr> <td>Erwachsene mit Demenz</td> <td style="text-align: center;"><input type="checkbox"/></td> </tr> <tr> <td>Personen die in einem potentiellen Abhängigkeitsverhältnis zur Studienleitung bzw. zur/zum verantwortlichen Forschenden stehen, z.B. Menschen in betreuten Einrichtungen, Studierende etc.</td> <td style="text-align: center;"><input type="checkbox"/></td> </tr> <tr> <td>Andere (bitte spezifizieren)</td> <td style="text-align: center;"><input type="checkbox"/></td> </tr> </table>	Kinder oder Jugendliche unter 18 Jahren	<input type="checkbox"/>	Erwachsene, die bewusstlos oder schwer krank sind	<input type="checkbox"/>	Erwachsene mit unheilbaren Erkrankungen	<input type="checkbox"/>	Erwachsene in Notfallsituationen	<input type="checkbox"/>	Erwachsene mit psychischen Erkrankungen	<input type="checkbox"/>	Erwachsene mit Demenz	<input type="checkbox"/>	Personen die in einem potentiellen Abhängigkeitsverhältnis zur Studienleitung bzw. zur/zum verantwortlichen Forschenden stehen, z.B. Menschen in betreuten Einrichtungen, Studierende etc.	<input type="checkbox"/>	Andere (bitte spezifizieren)	<input type="checkbox"/>
Kinder oder Jugendliche unter 18 Jahren	<input type="checkbox"/>																
Erwachsene, die bewusstlos oder schwer krank sind	<input type="checkbox"/>																
Erwachsene mit unheilbaren Erkrankungen	<input type="checkbox"/>																
Erwachsene in Notfallsituationen	<input type="checkbox"/>																
Erwachsene mit psychischen Erkrankungen	<input type="checkbox"/>																
Erwachsene mit Demenz	<input type="checkbox"/>																
Personen die in einem potentiellen Abhängigkeitsverhältnis zur Studienleitung bzw. zur/zum verantwortlichen Forschenden stehen, z.B. Menschen in betreuten Einrichtungen, Studierende etc.	<input type="checkbox"/>																
Andere (bitte spezifizieren)	<input type="checkbox"/>																
	<p><i>Bitte begründen Sie die Teilnahme der benannten Personengruppen.</i></p>																

27	<p><i>Gibt es potentielle Gründe, die eine Verweigerung der Studienteilnahme erschweren (z.B. wenn potentiell an der Studie Teilnehmende zugleich Studierende der/des Forschenden sind)?</i></p> <p><input type="checkbox"/> Ja      <input checked="" type="checkbox"/> Nein</p> <p><i>Falls ja, erläutern Sie bitte die Gründe, die eine Verweigerung erschweren können.</i></p>
----	--

28	<p><i>Werden Anreize finanzieller oder anderer Art an die Probanden oder an das Departement gezahlt?</i></p> <p><input type="checkbox"/> Ja      <input checked="" type="checkbox"/> Nein</p> <p><i>Falls ja, spezifizieren Sie bitte die Art und Höhe der Zahlungen.</i></p>
----	---

29	<p><i>Wo findet das Forschungsprojekt statt? (Setting, Ort)</i></p> <p>Die Untersuchung findet in einem isolierten Raum (Cave) an der Fakultät Life Sciences der HAW Hamburg.</p>
----	---

30	<p><i>Wer trägt die Kosten des Forschungsprojektes?</i></p> <p>Alle die benötigte Hardware und Software werden von der Firma Hamburg Applications MES UG besorgt. Die Zubehöre zur Erfassung der Bio-Signalen wurden sowohl vom Humanbiologie-Labor der HAW Hamburg als auch von Hamburg Applications MES erworben.</p>
----	---

31	<p><i>Bitte legen Sie alle weiteren möglichen ethisch zu berücksichtigende Aspekte dar, von denen das Beratungsgremium Kenntnis haben sollte.</i></p> <p>Keine ethisch bedenklichen Aspekte.</p>
----	--

<i>Welche Anlagen/Dokumente sind diesem Antrag beigefügt (bitte ankreuzen)?</i>	
Informationsmaterial / Broschüren etc. für mögliche Studienteilnehmende	<input checked="" type="checkbox"/>
Formular Einwilligungserklärung	<input checked="" type="checkbox"/>
Kopie des Studienprotokolls	<input type="checkbox"/>
Anschreiben an die Teilnehmenden	<input type="checkbox"/>
Anschreiben an die Eltern / Erziehungsberechtigten etc.	<input type="checkbox"/>
Bewilligungsschreiben des Ethikkomitees oder andere Genehmigungsschreiben	<input type="checkbox"/>
Andere relevante Dokumente (bitte benennen)	<input type="checkbox"/>

Die obigen Angaben habe ich nach bestem Wissen und Gewissen korrekt angeführt. Ich habe die Informationen für die Forschenden/die Studienleitung gelesen und meine Verpflichtungen sowie die Rechte der Probanden / Studienteilnehmenden verstanden, insbesondere in Bezug auf die Einholung einer gültigen Einverständniserklärung.

Unterschrift der hauptverantwortlichen Forscherin /des hauptverantwortlichen Forschers:

.....

Datum: .....

Unterschrift der betreuenden Professorin / des betreuenden Professors an der HAW bzw. der Studienleitung (falls vorhanden):

Ich habe den Antrag geprüft und befürworte ihn in der vorliegenden Form.

.....

Datum: .....

**Kontakt**

HAW-Projektleitung:

**Prof. Dr. med. habil. Jürgen Lorenz**  
Ulmenliet 20  
21033 Hamburg  
Raum N5.10  
Tel.: 040/428 75 - 62 61  
Email: [juergen.lorenz@haw-hamburg.de](mailto:juergen.lorenz@haw-hamburg.de)

HAMES-Projektleitung:

**Dr.-Ing. Mario Meza**  
Harburgerschlossstraße 6-12  
21079 Hamburg  
Büro 3.33  
Tel.: 040/22 81 32 - 6 00  
Email: [meza@hamburg-applications.com](mailto:meza@hamburg-applications.com)

## Einverständniserklärung zur Studie

### Untersuchung des Einflusses der Lichteinstellungen eines Bildschirms auf die geistige Belastung des Personals anhand einer Analyse der Biosignale

Studienteilnehmer (Name, Vorname): .....

Geburtsdatum: .....

Hiermit bestätige ich, dass ich schriftlich über die oben genannte Studie aufgeklärt und informiert worden bin. Auch die Ziele und die Risiken dieser Studie wurden mir mitgeteilt und ich bin mit der Durchführung dieser Studie einverstanden. Ich hatte die Möglichkeit Fragen zu stellen, die mir vollständig und verständlich beantwortet wurden. Ich wurde darüber aufgeklärt, dass die Teilnahme an dieser Studie freiwillig ist und dass ich meine Einwilligung jederzeit und ohne Angabe von Gründen und ohne Nachteile zurückziehen kann.

Versuchsteilnehmer  
.....  
(Unterschrift des Studienteilnehmers)

Aufklärende Person  
.....  
(Unterschrift der aufklärenden Person)

Hamburg, den .....

Projektleitung (HAW Hamburg): .....

Projektleitung (HAMES UG): .....

**Kontakt**HAW-Projektleitung:**Prof. Dr. med. habil. Jürgen Lorenz**Ulmenliet 20  
21033 Hamburg  
Raum N5.10  
Tel.: 040/428 75 - 62 61  
Email: [juergen.lorenz@haw-hamburg.de](mailto:juergen.lorenz@haw-hamburg.de)HAMES-Projektleitung:**Dr.-Ing. Mario Meza**Harburgerschlossstraße 6-12  
21079 Hamburg  
Büro 3.33  
Tel.: 040/22 81 32 - 6 00  
Email: [meza@hamburg-applications.com](mailto:meza@hamburg-applications.com)Testleiter:**Abdullah Ba Khashwain**Email: [abdullah.bakhashwain@haw-hamburg.de](mailto:abdullah.bakhashwain@haw-hamburg.de)

## Information und Aufklärung

### Untersuchung des Einflusses der Lichteinstellungen eines Bildschirms auf die geistige Belastung des Personals anhand einer Analyse der Biosignale

Die Hochschule für Angewandte Wissenschaften (Prof. Dr. Jürgen Lorenz) und die Firma Hamburg Applications MES (Dr.-Ing. Mario Meza) möchten Sie bitten an einer wissenschaftlichen Studie teilzunehmen. Wir wollen den Zusammenhang zwischen unterschiedlicher Farbeinstellungen eines Bildschirms und dem damit erzeugten geistigen Stress untersuchen. Dabei interessiert uns, ob sich die Herzaktivitäten, anhand einer Elektrokardiographie (EKG), und die Gehirnaktivitäten, anhand einer Elektroenzephalographie (EEG), eines Menschen deutlich ändert.

### Wissenschaftlicher Hintergrund und Ziel dieser Studie

Das menschliche Gehirn verhält sich bei der Wahrnehmung von Lichtern verschiedener Wellenlängen unterschiedlich. Unsere Hypothese besagt, dass diese Lichter als mentale Stressfaktoren gelten und dass die Gehirn- und Herzaktivitäten deswegen beeinflusst werden. Der Herzschlag eines gesunden Menschen ist in der Regel nicht regelmäßig. Die Anpassung der Herzleistung an den jeweiligen Bedarf des Menschen erfordert eine Steuerung durch das vegetative Nervensystem. Dieses vegetative Nervensystem wird in ein sympathisches Nervensystem und ein parasympathisches Nervensystem untergliedert. Der Sympathikus beschleunigt, der Parasympathikus (vom Nervus vagus vermittelt) verlangsamt den Herzschlag. Eine gesunde vegetative, so genannte sympathovagale Balance, herrscht, wenn beide in einem ausgeglichenen Verhältnis zueinander den Herzschlag beeinflussen.

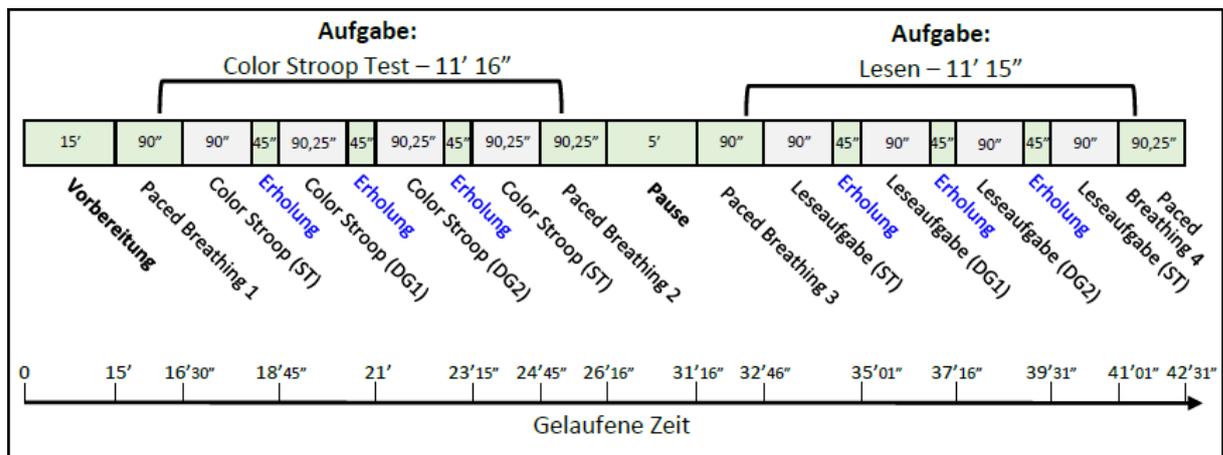
Mit dem EEG können wir die unterschiedlichen Frequenzbänder analysieren und mit dem EKG können wir die sympatho-vagale Balance der Herzrätigkeit messen.

Die Untersuchung hat das Ziel, die Biosignale der Testperson in allen Farbeinstellungen wärend einer Durchföhrung von unterschiedlichen Aufgaben zu untersuchen.

### Ablauf der Untersuchung

An dieser Studie brauchen Sie nur einmal teilzunehmen. Die Untersuchung findet an der Fakultät Life Sciences der HAW Hamburg statt und nimmt ca. eine Stunde pro Testperson in Anspruch (Abb. 1). Diese Untersuchung läuft über eine in MATLAB programmierte Applikation, die Sie vor dem Versuchsanfang üben dürfen. Am Versuchstag wird Ihnen ein Fragebogen zur Aufnahme personenbezogener Daten ausgehändigt. Sollten Sie eventuell Fragen zum Versuch haben, dürfen Sie diese vor dem Versuchsanfang stellen.

Es wird drei Einstellungen untersucht. Die Farbeinstellungen werden in einer der gezeigten Reihenfolgen eingestellt (Abb. 2), wobei die Untersuchung immer mit den Standard-Farbeinstellungen anfängt und endet.



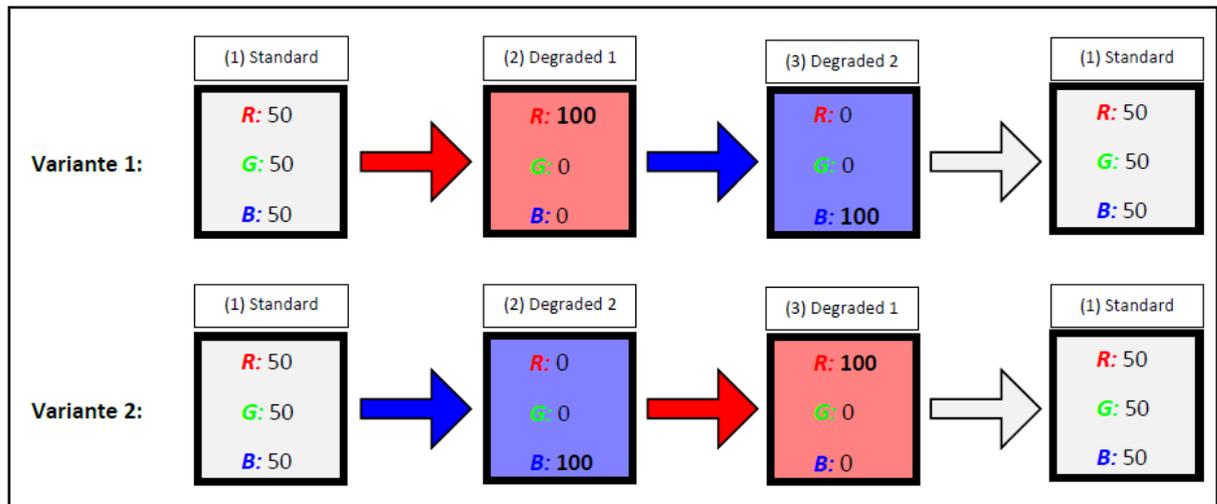


Abb. 2: Die untersuchten Farbeinstellungen und deren Reihenfolge.

Diese Untersuchung hat verschiedene Phasen, die in diesem Abschnitt beschrieben werden.

- **Vorbereitungsphase**

In dieser Phase werden die EEG-Elektroden an der Stellen Fz, Cz, Pz nach der 10-20-Elektrodenpositionierungssystem (CH1, CH3 und CH5 im MobioRT, der von HAMES entwickelten Verstärker) angebracht. Für die EKG werden die Leads I und II nach Einthoven abgeleitet, wobei eine Elektrode am linken Arm (CH2), eine am rechten Arm (CH4) und eine am linken Bein (CH6) platziert werden. Außerdem wird zwei EOG-Elektroden unter und ober dem rechten Auge (CH7 und CH8) angebracht, um das Augenblinzeln zu erfassen. Die gemessene Impedanz sollte unter 10k Ohm gehalten.

- **Paced Breathing (PB)**

Sie sollten für 90 Sekunden die Anweisungen der PB-Software folgen, um eine Baseline für die HRV zu erstellen. Der Atem-Takt soll in der Regel 12 bpm betragen. Diese Phase befindet sich vier male während der ganzen Untersuchung, wobei sie jedes Mal vor (PB1, PB3) und nach (PB2, PB4) aller Aufgabenphasen stattfindet.

- **Aufgabenphase: Color Stroop Test**

Beim Color Stroop Test handelt sich um einen Test, in dem eine Aufgabe und ein farbiges Wort am Bildschirm gezeigt werden und Sie eine Auswahl von vier Wörtern haben (Red, Green, Blue und Yellow), wobei diese vier Wörtern die Lösung der gezeigten Aufgabe entsprechen. Je nach der Aufgabenstellung, high-demand oder low-demand, ändert sich die richtige Lösung. Bei einer high-demand-Aufgabe sind Sie aufgefordert, die Farbe des

gezeigten Wortes als Lösung auszuwählen (color naming). Hingegen sollen Sie bei einer low-demand-Aufgabe das richtige Wort als die Lösung auszuwählen (word naming). Sie sollten innerhalb eines Zeitfensters von 2 Sekunden auf eine Lösung klicken. Der Test findet in der gesamten Aufgabenphase vier male statt. Der einzelne Test dauert 90,25 Sekunden und besteht aus 45 Sekunden lang low-demand-Aufgabe, 250 Millisekunden-Zeitfenster zwischen den beiden Aufgaben und 45 Sekunden lang high-demand-Aufgabe. Probieren Sie in dieser Phase so gut wie möglich, das Blinzeln, das Reden und ggf. Körperbewegungen zu vermeiden.

- **Die Pause**

In dieser Pause wird nicht gemessen und Sie können sich frei bewegen und reden. Allerdings bleiben die Elektroden beschaltet, um die nächste Aufgabenphase starten zu können. Direkt nach der Pause fängt die nächste Aufgabenphase mit einer Pace Breathing Aufnahme an.

- **Aufgabenphase: Lesen**

Auf dem Bildschirm wird ein Text (vom Lehrbuch Aspekte Mittelstufe Deutsch, Das Sprachniveau C1 nach dem Gemeinsamen Europäischen Referenzrahmen für Sprachen) gezeigt. Sie lesen einen Schnitt von dem Text für 60 Sekunden und werden danach aufgefordert, innerhalb von 30 Sekunden eine Bewertung (NASA- Task Load Index) abzugeben.

## **Datenmanagement**

Ihre Daten werden in Papierform und auf Datenträgern an der HAW Hamburg aufgezeichnet und pseudonymisiert (verschlüsselt). Bei der Pseudonymisierung (Verschlüsselung) werden der Name durch „Testperson X“ ersetzt, um die Identifizierung des Studienteilnehmers auszuschließen oder wesentlich zu erschweren, wobei „X“ für die Nummer der Person steht. Zugang zu dem „Schlüssel“, der eine persönliche Zuordnung der Daten des Studienteilnehmers ermöglicht, haben neben Abdullah Ba Khashwain nur seine Betreuer Prof. Dr. Jürgen Lorenz und Dr.-Ing. Mario Meza. Die Auswertung und Nutzung der Daten durch den Studienleiter und die Betreuer erfolgt in pseudonymisierter Form. Die Daten werden ausschließlich für die Zwecke dieser Studie verwendet.

Alle hier verwendeten EEG- bzw. EKG-Messgerät (nicht-invasiv) sowie den Bildschirm sind für die Anwendung an Menschen zugelassen. Von diesen Versuchen gehen nach bestem Wissen und Gewissen keinerlei Risiken für Sie aus. Sie haben zu jedem Zeitpunkt die Möglichkeit, die Messungen abubrechen, ohne dass Ihnen dadurch irgendwelche Nachteile entstehen. Die Teilnahme an der Studie ist absolut freiwillig.

Name: .....

Testperson Nr.: .....

Datum: .....

• **Angaben zur Person**

- 1. Geschlecht:  weiblich  männlich
- 2. Alter: .....
- 3. Rauchen Sie?  nein  ja
- 4. Haben Sie früher geraucht?  nein  ja

**Merke:** .....  
.....

• **Medikamente und Nahrungsergänzungsmittel**

- 5. Nehmen Sie regelmäßig oder bei bedarf Medikamente und / oder Nahrungsergänzungsmittel, wie z. B. Vitamine, ein?  nein  ja  
Wenn ja, welche? .....

**Merke:** .....  
.....

• **Körperliche Aktivität**

- 6. Wie oft treiben Sie pro Woche Sport?  
 0-1 mal pro Woche  2-3 mal pro Woche  4-5 mal pro Woche  6-7 mal pro Woche

**Merke:** .....  
.....

• **Erkrankungen**

- 7. Leiden Sie unter Herzerkrankungen?  nein  ja
- 8. Tragen Sie einen Herzschrittmacher?  nein  ja
- 9. Wurden Sie bereits am Herzen operiert?  nein  ja
- 10. Haben Sie früher einen epileptischen Anfall erlebt?  nein  ja

**Merke:** .....  
.....

• **Schlafqualität**

- 11. Wie gut haben Sie in der letzten Nacht geschlafen?  
 sehr schlecht  schlecht  neutral  gut  sehr gut
- 12. Wie viele Stunden schlafen Sie durchschnittlich pro Nacht? ..... Stunden.

**Merke:** .....  
.....

**Digitale Version**