

BACHELORARBEIT

Psychophysiologische Indikatoren der Wirkung von verschiedenfarbigen Lichtreizen

Eine experimentelle Studie an gesunden Versuchspersonen zum Einfluss von roten und blauen Lichtreizen auf die Herzratenvariabilität und auf die Entstehung weiterer subjektiver Reaktionen

vorgelegt am 20. September 2023

Lone Marleen Schindler

Erstprüferin: Prof. Dr.-Ing Carolin Liedtke

Zweitprüfer: Prof. Dr.-Ing. Paul Walter Schmits-Reinecke

**HOCHSCHULE FÜR ANGEWANDTE
WISSENSCHAFTEN HAMBURG**

Department Medientechnik

Finkenau 35

20081 Hamburg

Danksagung

Diese Forschungsarbeit konnte nur mithilfe der Unterstützung vieler Personen umgesetzt werden:

Ich danke Herrn Prof. Dr.-Ing. Paul Walter Schmits-Reinecke, der mir die Idee zu diesem Versuch anlehndend an der Forschungsarbeit von Angela Steer-Reeh gab und als Zweitprüfer diese Arbeit bewertet. Zudem danke ich meiner Erstprüferin Frau Prof. Dr.-Ing. Carolin Liedtke für die allgemeine Beratung und Unterstützung in Bezug auf meine Bachelorarbeit und für die fachkenntliche lichttechnische Unterstützung im Vorhinein bei dem Versuchsdesign und bei den lichttechnischen Messungen.

Die physiologische Messung und Auswertung dieses Versuchs mittels EKG waren nur durch die Expertise des Physiologen Prof. Dr. Jürgen Lorenz von der Fakultät „Life Sciences“ der HAW möglich. Er stellte mir alle dafür notwendigen Geräte und Lizenzen für benötigte Software zur Verfügung, erklärte mir die Messung mithilfe des „Cardio Secur Pro“-Systems, die Auswertung mithilfe von „Kubios HRV Premium“ und der statistischen Auswertesoftware „SPSS Statistics“. Außerdem gab er mir auf Grundlage langjähriger Erfahrung mit experimentellen Versuchen wichtige Ideen für den Versuchsablauf und die psychologische Befragungsmethode. Des Weiteren erklärte er mir, soweit es in der kurzen Zeit möglich war, die physiologischen Zusammenhänge zwischen der Atmung und dem Herzschlag und die Bedeutung der HRV-Parameter. Seine Expertise hat den Versuch in dieser Form überhaupt erst ermöglicht, weshalb ihm ein besonderer Dank gilt.

Des Weiteren danke ich Fabian Oving, der mir über mehrere Monate den Versuchsraum und die dafür verwendeten Materialien und Leuchten des Lichtlabors der HAW Hamburg zur Verfügung stellte. Bei Fragen standen er und die Tutoren und Tutorinnen des Lichtlabors mir zur Verfügung und unterstützten mich.

Besonders danke ich Hannah Körber, Oke Hansen und Yoshimi Saravia Machida, die mir neben weiteren Unterstützern und Unterstützerinnen tatkräftig beim Auf- und Abbau halfen.

Zudem bedanke ich mich Nathalie Mai, die mir das iPad für die EKG-Messungen zur Verfügung stellte, Prof. Dr. Jan Neuhöfer für das Binoptometer, Julia Weichenthal für die Tische aus dem Forum, dem ASTA für das Transportfahrzeug, dem Produktionslabor für Aufbaumaterialien und Prof. Dr. Roland Greule für seine Literaturempfehlungen.

Hervorzuheben ist die Zeit und Offenheit der Probanden und Probandinnen für die Versuchsteilnahme, ohne die es nicht möglich gewesen wäre, die Wirkung von Lichtreizen auf den Körper zu untersuchen und auswertbare Ergebnisse zu erhalten. Ihnen gilt mein besonderer Dank.

Zusammenfassung

Diese Forschungsarbeit untersucht die psychophysiologische Wirkung der farbigen Lichtreize Rot und Blau auf 23 Versuchspersonen. Die Versuchsteilnehmenden sitzen frontal vor einem Fenster, durch welches die Lichtreize dargeboten werden und in welches sie hineinschauen sollen. Rot und Blau werden jeweils durch zwei Wiederholungen insgesamt drei Minuten dargeboten. Davor, dazwischen und zum Schluss findet eine neutrale Phase statt. Während der gesamten Reizdarbietungsdauer werden mithilfe eines Elektrokardiogramms physiologische und durch die Self-Assessment-Manikin-Befragungsmethode psychologische Daten erhoben.

In den Ergebnissen zeigt sich unter Berücksichtigung mehrerer Einflussfaktoren, im Vergleich zum roten, beim blauen Lichtreiz tendenziell eine erhöhte parasympathische Aktivität und ein subjektiv entspannteres und zufriedeneres Wohlbefinden. Zudem wird anhand eines deutlichen Wiederholungsunterschieds zwischen Rot 1 und Rot 2 der Vorgang der chromatischen Adaptation während der Farbdarbietung sichtbar. Insgesamt ist zu sehen, dass die Darbietungsreihenfolge einen starken Einfluss darauf hat, ob sich Wirkungen aufgrund der verschiedenen Lichtreize zeigen. Zudem wird deutlich, dass die individuellen Konstitutionen der Versuchspersonen zu unterschiedlichen Ergebnissen führen und dass es wichtig ist, so viele Einflussfaktoren wie möglich bei der Auswertung zu berücksichtigen. Außerdem spricht dieses Versuchsdesign insgesamt eher parasympathische als sympathische Reaktionen des Körpers der Versuchspersonen an.

Abstract

This research work investigates the psychophysiological effects of the coloured light stimuli red and blue on 23 test subjects. The test participants sit facing a window through which the light stimuli are presented. Red and blue are presented in two repetitions for a total of 3 minutes. Before, in between and at the end there is a neutral phase. During the entire stimulus presentation period, physiological data is collected with the aid of an electrocardiogram and psychological data is collected with the help of the self-assessment Manikin questioning method.

Taking several influencing factors into account, the results show that the blue light stimulus tends to increase parasympathetic activity and a subjectively more relaxed and satisfied sense of well-being compared to the red-light stimulus. In addition, a clear difference in repetition between red 1 and red 2 reveals the process of chromatic adaptation during colour presentation. Overall, the presentation order has a strong influence on whether effects caused by the different light stimuli become apparent. It is also clear that the individual constitutions of the subjects lead to different results and that it is important to consider as many influencing factors as possible during the evaluation. Furthermore, this experimental design addresses parasympathetic rather than sympathetic reactions of the subjects' bodies.

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis.....	VI
Tabellenverzeichnis	VIII
1 Einleitung	1
2 Theoretische Grundlagen	3
2.1 <i>Licht und Farbe</i>	3
2.1.1 Lichttechnische Größen.....	3
2.1.2 Farbe	5
2.2 <i>Physiologie der visuellen Wahrnehmung</i>	6
2.2.1 Sehen	7
2.2.2 Adaptation.....	9
2.2.3 Weiterverarbeitung visueller Informationen.....	10
2.3 <i>Physiologische Indikatoren</i>	12
2.3.1 Vegetatives Nervensystem	12
2.3.2 Respiratorische Sinusarrhythmie.....	12
2.3.3 Herzratenvariabilität.....	13
2.4 <i>Farbwirkungen</i>	14
2.4.1 Assoziationen und emotionale Wirkung	15
2.4.2 Physiologische Wirkung	15
3 Versuchsdesign	17
3.1 <i>Aufbau</i>	17
3.2 <i>Beleuchtungskonzept</i>	20
3.2.1 Verwendete Leuchten	20
3.2.2 Lichttechnische Messungen	23
3.2.3 Begründung des Beleuchtungskonzepts	37
3.3 <i>Messmethoden</i>	41
3.3.1 Herzratenvariabilität.....	41
3.3.2 Subjektive Einschätzungen	42
3.4 <i>Ausschlusskriterien für Versuchsteilnehmende</i>	43
4 Versuchsdurchführung.....	44
4.1 <i>Ablauf</i>	44
4.2 <i>Versuchsanleitung</i>	47
4.3 <i>Versuchsgruppe</i>	47
4.4 <i>Hindernisse bei der Durchführung</i>	48
5 Auswertungsmethoden.....	49
5.1 <i>Kubios Software</i>	49

5.1.1	Herzratenvariabilität.....	50
5.1.2	Atemfrequenz	52
5.1.3	Respiratorische Sinusarrhythmie.....	52
5.2	<i>Subjektive Einschätzung</i>	55
5.3	<i>Statistische Auswertung</i>	55
6	Ergebnisse.....	58
6.1	<i>Subjektive Einschätzung: Reaktionen auf die Farbreize</i>	58
6.1.1	SAM – Detaillierte Ergebnisse.....	59
6.1.2	Notizzeile für Auffälligkeiten.....	62
6.1.3	Beantwortung der 1. Forschungsfrage	65
6.2	<i>Atemfrequenz: Reaktionen auf die Farbreize</i>	66
6.2.1	Detaillierte Ergebnisse.....	66
6.2.2	Beantwortung der 2. Forschungsfrage	67
6.3	<i>Respiratorische Sinusarrhythmie: Reaktionen auf die Farbreize</i>	68
6.3.1	Detaillierte Ergebnisse.....	68
6.3.2	Beantwortung der 3. Forschungsfrage	69
6.4	<i>Herzratenvariabilität: Reaktionen auf die Farbreize</i>	70
6.4.1	Zeitbasierte Parameter – Detaillierte Ergebnisse.....	70
6.4.2	Frequenzbasierte Parameter – Detaillierte Ergebnisse	73
6.4.3	Nichtlineare Parameter	76
6.4.4	Beantwortung der 4. Forschungsfrage	77
6.5	<i>Weitere Erkenntnisse</i>	77
6.6	<i>Beantwortung der Hauptfragestellung</i>	79
6.7	<i>Vergleich mit weiteren Forschungsergebnissen</i>	80
6.7.1	Beantwortung der 5. Forschungsfrage	80
6.7.2	Beantwortung der 6. Forschungsfrage	80
7	Diskussion	82
7.1	<i>Erklärungsansätze für die Ergebnisse</i>	82
7.2	<i>Reflexion dieser Forschungsarbeit</i>	87
7.2.1	Eignung des Versuchsdesigns	87
7.2.2	Eignung der Indikatoren und Auswertungsmethoden.....	90
8	Fazit und Ausblick.....	94
9	Literaturverzeichnis	96
	Anhang	99
	Ethikkommissionsvotum.....	126
	Eigenständigkeitserklärung	127

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Spektrale Hellempfindlichkeitskurven (2°): $V(\lambda)$ Tagsehen, $V'(\lambda)$ Nachtsehen.....	3
Abbildung 2: Links: kaltweiße LED; Rechts: warmweiße LED	6
Abbildung 3: Menschliches Auge	7
Abbildung 4: Zapfenempfindlichkeiten	7
Abbildung 5: Aufbau – Plan	17
Abbildung 6: Aufbau – Foto (Anmerkung: der rechte Tisch steht im finalen Szenario links)	18
Abbildung 7: Betrachtungswinkel im Verhältnis zum Betrachtungsabstand	19
Abbildung 8: Seitenverhältnis Fenster.....	19
Abbildung 9: KL-Panels und Tageslichtleuchte – Aufbau.....	21
Abbildung 10: KL-Panels Rot (mitte) und Tageslichtleuchte (links).....	21
Abbildung 11: Fenster Rot	21
Abbildung 12: KL-Fresnel – Aufbau.....	23
Abbildung 13: Aufbau der Messung mit dem Jeti Specbos.....	24
Abbildung 14: Beleuchtungsstärken der Leuchten.....	26
Abbildung 15: Bestrahlungsstärken der Leuchten	26
Abbildung 16: Relevante horizontale Fläche – Adaptationsni-veau (40° -Band)	28
Abbildung 17: Relevante vertikale Fläche – Adaptationsni-veau (40° -Band).....	28
Abbildung 18: Leuchtdichte des Fensters – Graphik	29
Abbildung 19: Strahldichte des Fensters – Graphik.....	29
Abbildung 20: Leuchtdichtebild Rot: Blende f6.3; Belichtungszeit 1/50	31
Abbildung 21: Leuchtdichtebild Blau: Blende f6.3; Belichtungszeit 1/20	31
Abbildung 22: Adaptationsniveau der Farbreize in diesem Versuch	33
Abbildung 23: Spektrum neutrales Szenario – Gesamt	34
Abbildung 24: Spektrum Panel Szenario Blau	35
Abbildung 25: Spektrum Panel Szenario Rot.....	35
Abbildung 26: Rot: finales Beleuchtungskonzept.....	40
Abbildung 27: Blau: finales Beleuchtungskonzept	40
Abbildung 28: Rot: Beobachtungsperspektive	40
Abbildung 29: Blau: Beobachtungsperspektive.....	40
Abbildung 30: Cardio Secur Pro System.....	41
Abbildung 31: Oculus Binoptometer 4P	43
Abbildung 32: Versuchsablauf Übersicht.....	44
Abbildung 33: Lichtphasen und SAM-Abfragen	45
Abbildung 34: Kubios: Phasen und Spektrogramm	50
Abbildung 35: Gewählte Werte aus Kubios	51
Abbildung 36: RSA in Kubios	53
Abbildung 37: RSA-Werte aller Teilnehmenden: gesteuertes Atmen.....	54
Abbildung 38: Auswertung Übersicht	56
Abbildung 39: Valence: Farbe* Wiederholung.....	60

Abbildung 40: Valence: Gruppe* Farbe*Wiederholung	60
Abbildung 41: Valence: Gruppe*Farbe*Wiederholung	60
Abbildung 42: Valence: Geschlecht* Farbe	60
Abbildung 43: Arousal: Gruppe*Farbe*Wiederholung	62
Abbildung 44: Arousal: Farbe*Wiederholung	62
Abbildung 45: Arousal: Synch_group*Farbe* Wiederholung.....	62
Abbildung 46: Arousal: Geschlecht*Farbe.....	62
Abbildung 47: Atemfrequenz: Gruppe*Farbe*Wiederholung.....	67
Abbildung 48: Atemfrequenz: Synch_group*Farbe*Wiederholung	67
Abbildung 49: RSA: Gruppe*Farbe*Wiederholung	69
Abbildung 50: RSA: Synch_group*Farbe*Wiederholung	69
Abbildung 51: RR: Gruppe*Farbe* Wiederholung.....	71
Abbildung 52: RR: Synch_group*Farbe*Wiederholung	71
Abbildung 53: RMSSD: Farbe*Wiederholung	73
Abbildung 54: RMSSD: Gruppe*Farbe*Wiederholung	73
Abbildung 55: HF: Gruppe*Farbe*Wiederholung	75
Abbildung 56: HF: Gruppe*Farbe*Wiederholung	75
Abbildung 57: LF/HF: Gruppe*Farbe*Wiederholung.....	76
Abbildung 58: LF/HF: Synch_group*Farbe*Wiederholung.....	76
Abbildung 59: Messpositionen Jeti Specbos.....	102
Abbildung 60: Leuchtdichtebild Neutral: Blende f6.3; Belichtungszeit 1/50	104
Abbildung 61: Grauwertbildschnitt Blau: f6.3; 1/20; Maximum bei 212,7 cd/m ²	104
Abbildung 62: Leuchtdichtebild Rot: linear; Blende f6.3; Belichtungszeit 1/50	105
Abbildung 63: Leuchtdichtebild Blau: linear; Blende f6.3; Belichtungszeit 1/20.....	106
Abbildung 64: Leuchtdichtebild Neutral: linear; Blende f6.3; Belichtungszeit 1/50	106
Abbildung 65: Spektrum Tageslichtleuchte	107
Abbildung 66: Fresnel-Spektrum Rot	108
Abbildung 67: Fresnel-Spektrum Blau.....	109
Abbildung 68: Fresnel-Spektrum Neutral	109
Abbildung 69: Spektrum diffuse Folie: mit und ohne Folie (Weißlicht).....	110
Abbildung 70: Zeitprotokoll – Beispiel	112
Abbildung 71: Diffuse Folie mit Muster.....	112

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Wellenlängen der Bunttöne.....	5
Tabelle 2: Zelltypen im visuellen Kortex	8
Tabelle 3: Verwendete Leuchten	20
Tabelle 4: Messgeräte	24
Tabelle 5: Beleuchtungs-/Bestrahlungsstärke Messwerte.....	25
Tabelle 6: Farbtemperaturen der Fresnel-Einstellungen	36
Tabelle 7: Normfarbwerte auf dem Fenster	37
Tabelle 8: Verwendete Auswertungsindikatoren aus Kubios.....	51
Tabelle 9: RSA-Werte: gesteuertes Atmen.....	53
Tabelle 10: Bewertungsskalen der SAM-Dimensionen	55
Tabelle 11: SPSS: Beispiel der Ergebnisse.....	57
Tabelle 12: SPSS: Gesamtergebnis des Beispiels aus Tabelle 11.....	57
Tabelle 13: Geräte und Seriennummern	100
Tabelle 14: KL-Panel: Einstellungen im Lichtpult	101
Tabelle 15: KL-Fresnel: Einstellungen im Lichtpult	101
Tabelle 16: Leucht-/Strahlendichte: Messwerte	102
Tabelle 17: Normfarbwerte: Messpositionen 1-7	110
Tabelle 18: Normfarbwerte: Messpositionen 8-15.....	111

1 Einleitung

Das für den Menschen sichtbare Licht befindet sich in einem Wellenlängenbereich zwischen ca. 380 und 780 Nanometern und besteht aus allen sichtbaren Farben des Spektrums. Wenn alle Wellenlängen in einem Licht (Bsp. Sonnenlicht) vertreten sind, erscheint es dem Menschen als Weiß. Bisherige Forschungen haben sich vor allem damit beschäftigt, wie sich unterschiedliche Farbtemperaturen des weißen Lichts auf den Körper und auf die Psyche auswirken. Sonnenlicht hat dabei z.B. einen Einfluss auf den Knochenstoffwechsel (vgl. Holick, 2004, 1682S-1683S) und auf das psychische Wohlbefinden (vgl. Rosenthal et al., 1988, S. 118). Anhand dieser prägnanten Wirkungen auf den Menschen wird deutlich, dass durch Licht die Gesundheit und das Wohlbefinden des Menschen beeinflusst werden können.

Die Forschung zur Wirkung von verschiedenfarbigen Lichtreizen ist noch nicht so weit fortgeschritten wie die zur Wirkung von weißem Licht. Anhand der in der Medizin bereits angewendeten Lichttherapie bei Hyperbilirubinämie bei Neugeborenen ist jedoch zu sehen, dass auch einzelne Wellenlängen, in diesem Fall Blau bei 450 Nanometern, eine starke Wirkung zeigen (vgl. Steer-Reeh, 2012, S. 37). So ist zu vermuten, dass auch andere Wellenlängenbereiche eine Wirkung zeigen können.

Steer-Reeh (2012) zeigte anhand ihrer Forschungsstudie, in der die Versuchspersonen frontal vor einem Farblichtglas saßen, dass die Farbreize Rot und Blau einen Einfluss auf das vegetative Nervensystem des Körpers haben. Bei der Präsentation eines roten Lichtreizes stieg die Atemfrequenz der Probanden bzw. Probandinnen deutlich an und die Herzratenvariabilität (HRV) nahm ab (vgl. Steer-Reeh, 2012, S. 75). Bei der Präsentation des blauen Lichtreizes hingegen nahm die HRV deutlich zu (vgl. ebd.) Diese physiologischen Reaktionen wurden mithilfe eines Elektrokardiogramms (EKG) aufgenommen. Mithilfe der HRV und der Atemfrequenz kann auf sympathische (aktivierend) und parasympathische (erhaltend und erholend) Aktivitäten des vegetativen Nervensystems geschlossen werden (vgl. Tarvainen et al., 2014, S. 210; Trepel, 2022, S. 308). Es ist zentral in der Steuerung des gesamten körperlichen Systems und somit ein geeigneter Indikator für die Wirkung von dargebotenen Reizen.

Die aus ihrer Studie gewonnenen Erkenntnisse sind sehr wertvoll für die aktuelle Forschung, jedoch beschrieb sie in ihrer Arbeit die lichttechnischen Grundbedingungen ihres Versuches nicht genau genug. Diese sind allerdings wichtig, um das Versuchsdesign reproduzieren zu können und ihre Studie mit weiteren Studien vergleichen zu können.

Aus diesem Grund ist für die hier vorliegende Forschungsarbeit ein Versuch entwickelt worden, der anlehnend an die Grundidee von Steer-Reeh die Wirkung von den Lichtfarben Rot und Blau untersucht und dabei die lichttechnischen Daten genau erfasst. **Er behandelt die Hauptfragestellung, ob und inwieweit die beiden Lichtreize Rot und Blau eine Wirkung auf den Körper und das Wohlbefinden des Menschen haben können.** Dieser Versuch unterscheidet sich aus ressourcen- und zeittechnischen Gründen von der Forschungsarbeit von Steer-Reeh (2012) in Versuchsaufbau und in der Durchführung. Ebenso sind die Messmethoden erweitert worden.

Zur physiologischen Messung der Wirkung der Farbreize sind die Indikatoren der Atemfrequenz, der respiratorischen Sinusarrhythmie (RSA) und verschiedene Parameter der Herzratenvariabilität (HRV)

herangezogen worden. Zusätzlich zur physiologischen Messung mittels EKG ist die in der Psychologie häufig angewandte Self-Assessment-Manikin (SAM) Befragungsmethode zur Erhebung subjektiver Einschätzungen des persönlichen Wohlbefindens verwendet worden.

Auf Grundlage der hier verwendeten Messmethoden wird der Hauptfragestellung mithilfe folgender Forschungsfragen (1. - 6.) nachgegangen:

Inwieweit haben die beiden Lichtreize Rot und Blau eine Wirkung auf den Körper und das Wohlbefinden des Menschen?

1. Sind anhand subjektiver Einschätzungen des Wohlbefindens Reaktionen auf die Farbreize zu erkennen?
2. Sind anhand der Atemfrequenz Reaktionen auf die Farbreize zu erkennen?
3. Sind anhand der respiratorischen Sinusarrhythmie Reaktionen auf die Farbreize zu erkennen?
4. Sind anhand der Parameter der Herzratenvariabilität Reaktionen auf die Farbreize zu erkennen?
5. Werden die Ergebnisse von Steer-Reeh teilweise oder vollständig bestätigt?
6. Werden Ergebnisse anderer Forschungsstudien teilweise oder vollständig bestätigt?

Um diese Fragestellungen beantworten zu können, werden in dieser schriftlichen Ausarbeitung in Kapitel 2 zuerst theoretische Grundlagen dargelegt, in denen das zum Verständnis nötige Wissen zu Licht, dem Sehen, zu Farben und ihren Wirkungen und den neuronalen, physiologischen und medizintechnischen Hintergründen erklärt wird. In Kapitel 3 folgen das Versuchsdesign mit Aufbau, Beleuchtungskonzept und Messmethoden, woraufhin dann in Kapitel 4 die Versuchsdurchführung beschrieben wird. Nach der Erläuterung der Auswertungsmethoden in Kapitel 5 werden in Kapitel 6 die Ergebnisse bezogen auf die oben aufgeführten Forschungsfragen dargelegt. Der darauffolgende Diskussionsteil in Kapitel 7 beinhaltet Erklärungsansätze und Interpretationen der vorliegenden Ergebnisse und einen Reflexionsteil dieser Forschungsarbeit. Im letzten Kapitel 8 wird ein Fazit gezogen und ein Ausblick gegeben.

2 Theoretische Grundlagen

In diesem Abschnitt werden für den vorliegenden Versuch relevante lichttechnische, physiologische und medizintechnische Grundlagen erklärt und bereits gewonnene Erkenntnisse über Farbwahrnehmung und ihre Wirkung erläutert.

2.1 Licht und Farbe

Licht ist nach Baer et al. (2020) „[...] eine elektromagnetische Strahlung, die beim Menschen unmittelbar eine visuelle Empfindung oder Wahrnehmung hervorrufen kann“ (Baer et al., 2020, S. 21). Das für den Menschen sichtbare Licht umfasst einen Wellenlängenbereich mit fließenden Grenzen von etwa 380 bis 780 nm (vgl. Lübbe, 2013, S. 2).

Im sichtbaren Wellenlängenbereich ist das menschliche Auge unterschiedlich empfindlich und nimmt die jeweiligen Wellenlängen verschieden hell wahr. Diese Gewichtung wird durch die spektralen Hellempfindlichkeitskurven $V(\lambda)$ und $V'(\lambda)$ dargestellt (vgl. Baer et al., 2020, S. 21–23).

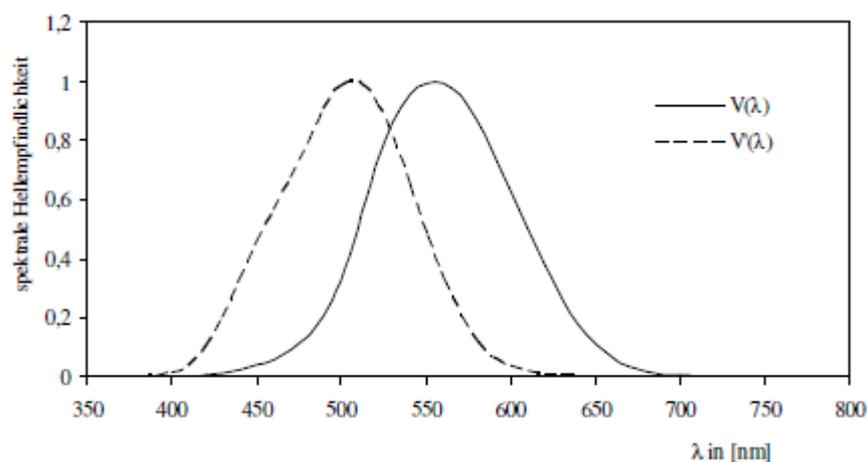


Abbildung 1: Spektrale Hellempfindlichkeitskurven (2°): $V(\lambda)$ Tagsehen, $V'(\lambda)$ Nachtsehen

Quelle: (CIE 1924 zitiert nach Lübbe, 2013, S. 25)

In Abbildung 1 sind die beiden Hellempfindlichkeitskurven zu sehen. $V(\lambda)$ ist dabei die Gewichtung für das Tagsehen (fotopisches Sehen) und $V'(\lambda)$ für das Nachtsehen (skotopisches Sehen). Maximal empfindlich ist das menschliche Auge im fotopischen bei 555 nm und im skotopischen bei 507 nm (vgl. Baer et al., 2020, S. 20). Der Buchstabe „V“ steht hier für die Helligkeit und das Symbol „ λ “ für die Wellenlänge.

2.1.1 Lichttechnische Größen

Die folgend erklärten lichttechnischen und strahlungsphysikalischen Größen sind zum Verstehen dieser Arbeit relevant. Wenn man die strahlungsphysikalischen Größen $V(\lambda)$ -gewichtet, also betrachtet, mit welcher Helligkeit das Auge des Menschen diese wahrnimmt, dann ergeben sich die lichttechnischen Größen.

a) Lichtstrom und Strahlungsleistung

Die spektrale Strahlungsleistung φ_e ist die im gesamten Raum abgegebene Strahlungsleistung bezogen auf ihre Wellenlänge und wird in Watt angegeben (vgl. Baer et al., 2020, S. 28).

Der Lichtstrom φ gibt die von einer Lichtquelle nach allen Seiten hin abgestrahlte $V(\lambda)$ -gewichtete spektrale Strahlungsleistung an und wird mit der Einheit Lumen (lm) angegeben (vgl. Mueller, 2014, S. 101).

b) Beleuchtungs- und Bestrahlungsstärke

Die Beleuchtungsstärke E ist der Quotient des auftreffenden Lichtstroms auf eine beleuchtete Fläche (vgl. Baer et al., 2020, S. 31). Sie ist $V(\lambda)$ -gewichtet und wird in Lux (lx) angegeben.

Die Bestrahlungsstärke E_e ist das strahlungsphysikalische Pendant dazu und ihre Einheit ist W/m^2 .

c) Leucht- und Strahldichte

Die Leuchtdichte L gibt den Helligkeitseindruck des menschlichen Auges von einer beleuchteten oder selbstleuchtenden Fläche an (Mueller, 2014, S. 103). „Sie ist als der Lichtstromanteil [...] definiert, der in eine vorgegebene Richtung, in ein Raumwinkelement [...] eingestrahlt wird, bezogen auf die scheinbar leuchtende Fläche“ (Baer et al., 2020, S. 32). Ihre Einheit wird in cd/m^2 angegeben.

Die Strahldichte L_e ist das strahlungsphysikalische Äquivalent dazu und ihre Einheit wird in $W/(m^2 \cdot sr)$ angegeben (vgl. Baer et al., 2020, S. 36).

Die Leuchtdichte ist die Größe, die das Adaptationsniveau des menschlichen Auges bestimmt. Beträgt sie mindestens $30 cd/m^2$, spricht man vom fotopischen Sehen (Tagsehen) und bei niedrigeren Leuchtdichten unterhalb von $0,01 cd/m^2$ vom skotopischen Sehen (Nachtsehen) (vgl. Baer et al., 2020, S. 71). Dazwischen ist ein Übergangsbereich, der mesopisches Sehen (Dämmerungssehen) genannt wird (vgl. ebd.). Die Grenzen dazwischen sind fließend, von Mensch zu Mensch anders und werden verschieden in unterschiedlichen Quellen angegeben. Die Leuchtdichte bestimmt zudem auch die Kontrastwahrnehmung und die Blendungsempfindung.

Bei der Helligkeitswahrnehmung einer bestimmten Fläche spielt zudem immer die Leuchtdichte der Umgebung eine entscheidende Rolle (vgl. Mueller, 2014, S. 55). Ist sie gering, erscheint das Licht eines Laptops beispielsweise deutlich heller, als wenn sie höher ist. Der Unterschied zwischen der Leuchtdichte der Bezugsfläche und der der Umgebung nennt man Helligkeitskontrast.

d) Normalbeobachter

Die internationalen Beleuchtungskommission „CIE“ hat zwei sogenannte „Normalbeobachter“ definiert. Lübbe (2013) beschrieb diese folgendermaßen: „Zuerst wurde der 2° -Beobachter definiert, der mit einem Sehinkel 2° schaut. Bei einem Beobachtungsabstand von 50 cm wird dabei eine Fläche mit einem Durchmesser von 1,8 cm betrachtet. Die in der Praxis verwendeten Farbmuster sind aber meist größer. Deshalb wurde 1964 noch der 10° -Beobachter definiert“ (Lübbe, 2013, S. 23). In dieser Arbeit wird allerdings nur mit dem 2° Normalbeobachter gearbeitet, da dieser hier ausreicht.

2.1.2 Farbe

In der Farbmeterik wird zwischen unbunten und bunten Farben unterschieden. Unbunte Farben sind dabei Weiß, Schwarz und alle Grautöne dazwischen. Bunte Farben sind alle anderen Farben (vgl. Mueller, 2014, S. 61). Die letzteren können zur visuellen Beschreibung durch drei Merkmale beschrieben werden: Buntton, Buntheit und Helligkeit.

Die Helligkeit „gibt die Stärke der Lichtempfindung an“ (Mueller, 2014, S. 61). Die Buntheit, auch Sättigung genannt, gibt den Anteil der unbunten Farben in einer reinen Farbe an. Durch mehr Schwarzanteil wirkt die daraus resultierende Farbe kräftiger (gesättigter) und durch mehr Weißanteil blasser. Der Buntton, der auch Farbton genannt wird, ist derjenige, der die Art der Buntheit einer Farbe (zu 100% gesättigt) angibt, welche z.B. Blau, Grün, Rot oder Gelb sein können (vgl. ebd.).

In dieser Arbeit werden in Bezug auf die verwendeten Leuchten in Abschnitt 3.2.1 englische Begriffe für die zuvor genannten Merkmale auftauchen. Dabei werden für Buntton der Begriff „hue“, für Buntheit „saturation“ und für Helligkeit „brightness“ verwendet.

In Tabelle 1 sind die zu den jeweiligen Wellenlängen zugeordneten Bunttöne aufgelistet.

Tabelle 1: Wellenlängen der Bunttöne

Wellenlängenbereich $\Delta\lambda$ [nm]	Name
Bis 465	Violettblau
465 – 482	Blau
482 – 486	Grünblau (Cyan)
486 – 492	Blaugrün (Türkis)
492 – 498	Bläuliches Grün
498 – 530	Grün
530 – 560	Gelbgrün
560 – 570	Grüngelb
570 – 575	Grünliches Gelb
575 – 580	Gelb
580 – 585	Gelborange
585 – 595	Orange
595 – 620	Rotorange
Über 620	Rot

Quelle: Lübbe, 2013, S.19

Wenn alle Wellenlängen zusammenwirken, entsteht weißes Licht. Dieses wird v.a. durch ein weiteres Merkmal, die Farbtemperatur gekennzeichnet, welche in Kelvin (K) angegeben wird. Dabei kann grob in drei Gruppen unterschieden werden: Warmweiß, Neutralweiß und Kaltweiß. Zu Warmweiß zählt der Farbtemperaturbereich unterhalb von 3300 K, zu Neutralweiß der Bereich zwischen 3300-5300 K und als Kaltweiß kann das Licht oberhalb von 5300 K bezeichnet werden (vgl. Baer et al., 2020, S. 237). Tageslicht mit bedecktem Himmel liegt zwischen 6800-7500 K, hingegen eine 100 Watt-Glühlampe bei etwa 2850 K liegt (vgl. Mueller, 2014, S. 90). Abbildung 2 zeigt ein Beispiel, in dem links das Spektrum

einer kaltweiß leuchtenden LED und rechts das einer warmweiß eingestellten LED zu sehen ist. Die X-Achse enthält die Wellenlängen und die Y-Achse die Intensität des Lichts. Zuerst fällt auf, dass alle Wellenlängen im Spektrum vertreten sind und somit klar ist, dass ein Weiß vorliegt. Zudem ist das Maximum der linken LED im blauen kurzwelligeren Bereich und rechts im gelben langwelligen Bereich zu finden. Das Weiß links erscheint somit bläulicher und kälter und das rechte gelblicher und wärmer. Die kleinen Bilder oberhalb der Spektren zeigen dazu anschaulich ein und dieselbe Farbtafel in einem weißen Kasten, die in dem Versuchsaufbau mit den beiden unterschiedlichen Farbtemperaturen beleuchtet worden sind.

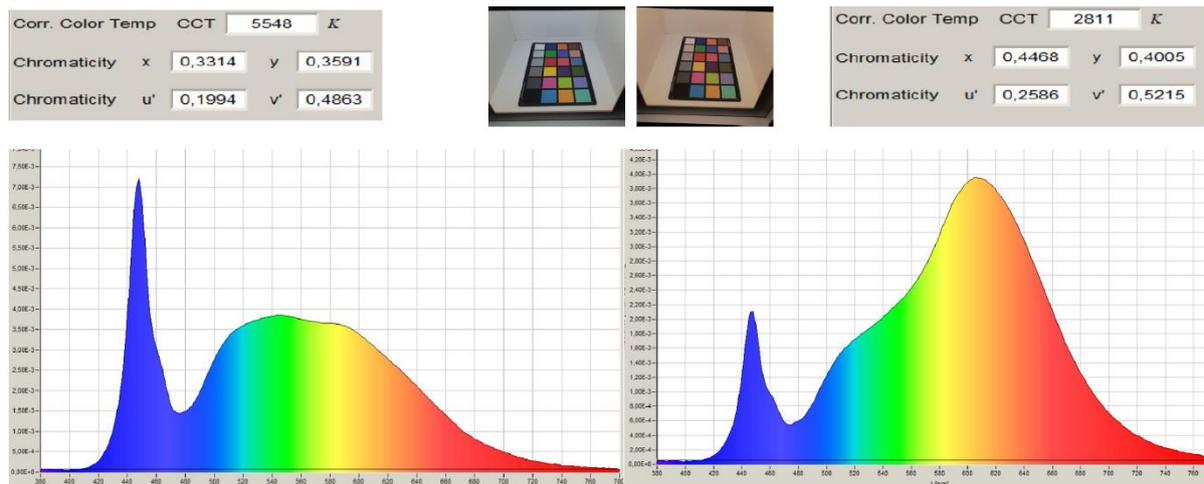


Abbildung 2: Links: kaltweiße LED; Rechts: warmweiße LED

Quelle: (Liedtke, 2022)

In dieser Forschungsstudie wird der Fokus auf den Bunttönen Rot und Blau liegen, welche im Spektrum am weitesten voneinander entfernt liegen. Wie in der Abbildung 2 zu sehen ist, umfassen Blau und Rot jeweils einen eigenen relativ breiten Wellenlängenbereich. Ganz rechts auf der horizontalen Achse befindet sich Dunkelrot und ganz links Dunkelblau.

Mathematisch kann ein Farbreiz durch seine Normfarbwerte X, Y und Z in einem Koordinatensystem charakterisiert werden (vgl. Baer et al., 2020, S. 61). Mithilfe dieser Werte können z.B. Farbdifferenzen berechnet werden.

2.2 Physiologie der visuellen Wahrnehmung

In diesem Abschnitt werden die physiologischen Grundlagen des Sehens und der damit zusammenhängenden Adaptation dargelegt. Ebenso wird auf die neuronale Weiterverarbeitung eingegangen, die auf die subjektive Bewertung der Reizwahrnehmung Einfluss hat.

2.2.1 Sehen

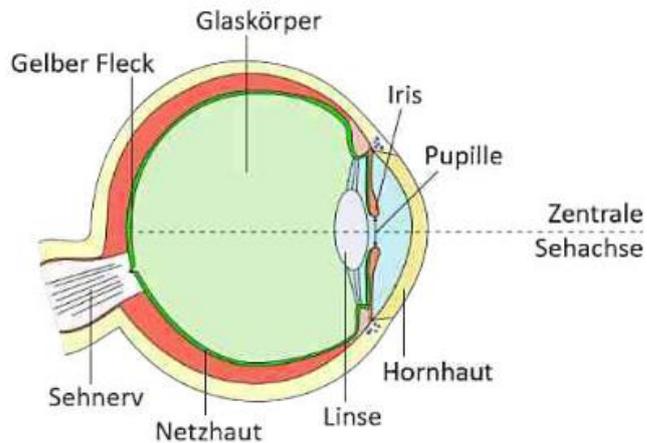


Abbildung 3: Menschliches Auge

Quelle: Ueberschaer, 2017, S. 11

In Abbildung 3 ist ein Querschnitt des menschlichen Auges zu sehen. Das Licht gelangt durch die Pupille auf die Netzhaut, auf der sich die Fotorezeptoren befinden, welche die Sinneszellen sind, die das Licht aufnehmen und weiterleiten. Davon sind etwa 92 Millionen Stäbchen und 4,6 Millionen Zapfen (vgl. Baer et al., 2020, S. 80). Die Stäbchen sind für das Nachtsehen zuständig und deshalb etwa 100-mal empfindlicher als die Zapfen (vgl. ebd.). In der Abbildung 1, in der die spektralen Hellempfindlichkeitskurven eingezeichnet sind, ist die $V'(\lambda)$ -Kurve, diejenige die die Empfindlichkeit des Sehens mit den Stäbchen anzeigt. Mit ihnen können keine bunten, sondern nur unbunte Farben verarbeitet werden. Für das Tagsehen sind die farbempfindlichen Zapfen zuständig, die sich in drei Arten aufteilen lassen: L-, M- und S-Zapfen. Die L-Zapfen ($\bar{l}(\lambda)$) sind in den langen, die M-Zapfen ($\bar{m}(\lambda)$) in den mittleren und die S-Zapfen ($\bar{s}(\lambda)$) in den kurzen Wellenlängen am empfindlichsten (Lübbe, 2013, S. 13). Abbildung 4 zeigt diese.

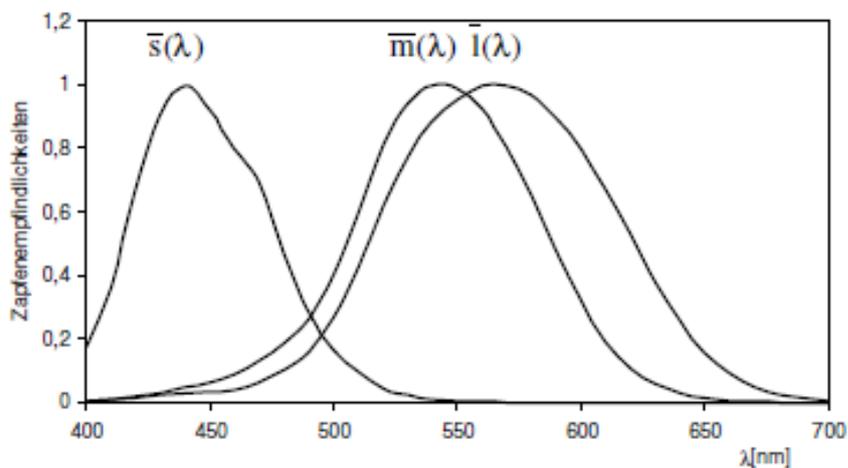


Abbildung 4: Zapfenempfindlichkeiten

Quelle: CIE 1964 zitiert nach Lübbe, 2013, S.14

Auf Grundlage der Tabelle 1 kann man darauf schließen, dass die S-Zapfen ihre maximale Empfindlichkeit bei Violettblau, die M-Zapfen bei Gelbgrün und die L-Zapfen bei einem Gelb haben. Auf Grundlage dieser drei Arten bewertet das Gehirn die eintreffende Lichtfarbe (vgl. Lübbe, 2013, S. 13). Man nehme als Beispiel einen imaginären Lichtreiz an, der mit einer Wellenlänge von 600 nm auf die Netzhaut trifft. Dabei könnten die S-Zapfen kein Licht wahrnehmen, da sie bei dieser Wellenlänge nicht empfindlich sind. Hingegen nähmen die M-Zapfen und die L-Zapfen Farbinformationen auf und würden auf den Lichtreiz antworten. Dabei würden die L-Zapfen stärker antworten als die M-Zapfen, wodurch dann die dementsprechende Farbe zusammengemischt werden würde. Diese wäre hier laut Tabelle 1 Rotorange. Wenn durch einen Lichtreiz alle drei Zapfentypen gleich stark stimuliert werden, nimmt der Mensch ein Weiß wahr (vgl. Goldstein, 2015, S. 203).

Die durch die Fotorezeptoren empfangenen Signale werden zuerst in den Ganglienzellen gebündelt, von dort mit elektrischen Spannungsimpulsen über den Sehnerv „Nervus opticus“ an die seitlichen Kniehöcker und in den visuellen Kortex weitergeleitet (vgl. Baer et al., 2020, S. 71; Lübbe, 2013, S. 12). Vor der Weiterverarbeitung im visuellen Kortex findet bereits bei den seitlichen Kniehöckern ein Teil der Signalverarbeitung durch sieben verschiedene Zelltypen statt (vgl. Lübbe, 2013, S. 17–18). Im visuellen Kortex wird durch die Zusammenarbeit mehrerer Areale die Farb-Information erzeugt. Dort gibt es zur Farbwahrnehmung 6 Arten von Gegenfarbzellen (Zelltypen), die nach Lübbe (2013) auf die in Tabelle 2 dargelegten Farbreize reagieren. „L“, „M“ und „S“ sind dabei wieder die Arten der Wellenlängen.

Tabelle 2: Zelltypen im visuellen Kortex

Zelltyp	Farbreize
S-L	Violettblau
M-S	Gelb
L-M	Orangerot
M-L	Grün
(L+M)-s	Magenta
S-(M+L)	Cyanblau

Quelle: eigene Darstellung gemäß Lübbe, 2013, S.18 Lübbe

Lübbe (2013) schreibt dazu folgendes: „Wir besitzen damit einen Farbkasten mit 6 Grundfarben zur Erzeugung unserer Bilder. Die eigentliche Farberzeugung geschieht dabei in sehr kompakten Zellpaketen, so genannten Blobs im visuellen Kortex. Man muss dabei von einem sehr komplexen Geschehen ausgehen, bei dem die einzelnen Zellen mit unterschiedlicher Erregung zu dem speziellen Farbeindruck führen“ (Lübbe, 2013, S. 18–19).

Die Farbinformation aus dem visuellen Kortex wird darauf folgend mit den Informationen über Form und Bewegung eines gesehenen Objekts zwischen Temporal-, Partial- und Okzipitallappen (TPO) zusammengeführt (vgl. Lübbe, 2013, S. 13). Außerdem wird die visuelle Information in weiteren Verarbeitungs-

schritten mit gelernten Inhalten verknüpft, was u.a. der Gesichts- und Schrifterkennung dient (vgl. Trepel, 2022, S. 244).

Wichtig ist abschließend zu erwähnen, dass Lichtstrahlen zuerst einmal nur eine reine Form von Energie sind und die daraus resultierende Farberfahrung vom Nervensystem und seinen komplexen Zusammenhängen erzeugt wird (vgl. Goldstein, 2015, S. 221).

Wie die visuelle Information in höheren Arealen des Gehirns weiterverarbeitet wird und wie dies das vegetative Nervensystem und Emotionen beeinflussen kann, wird in Abschnitt 2.2.3 dargelegt.

2.2.2 Adaptation

Das menschliche Auge hat die Fähigkeit der Adaptation entwickelt, um sich an unterschiedliche Beleuchtungssituationen in Bezug auf Helligkeit und Farbe anzupassen.

a) Helligkeitsadaptation

Damit das menschliche Auge in stark unterschiedlich hell beleuchteten Situationen (zwischen ca. 0,01 lx und 100.000 lx) sehen kann, hat es die Fähigkeit entwickelt, sich an die verschiedenen Helligkeitsbedingungen anzupassen. Dieser Vorgang wird Adaptation genannt (Mueller, 2014, S. 55). Dabei gibt es grundlegend die Dunkel- und Helladaptation. Bei diesem physiologischen Vorgang verändert sich der Pupillenlichtreflex, geschieht der Wechsel zwischen Stäbchen- und Zapfensehen, verändert sich die Fotopigment-Konzentration in den Fotorezeptoren und geschieht die neuronale Adaptation in der Netzhaut. Dadurch kann das Auge Gegenstände in einem Leuchtdichtebereich von 10^{-6} bis 10^5 cd/m² erkennen (vgl. Baer et al., 2020, S. 83). Das Auge benötigt bei plötzlicher Veränderung des Beleuchtungsniveaus eine bestimmte Adaptationszeit, die vom hellen Niveau in das dunkle deutlich länger dauert als andersherum (vgl. Ueberschaer, 2017, S. 16). Die Helladaptation dauert nach einer Phase der kurzen Blendung ca. 20 bis 60 s (Sekunden) (vgl. Baer et al., 2020, S. 83). Der Normfarbwert Y ist der Wert für das Referenzweiß, durch den die Beurteilung der Helligkeit stattfindet. An diesen Bezugswert passt sich das Auge an, sodass ein Weiß als „Weiß“ empfunden wird (vgl. Lübbe, 2013, S. 38).

Um das im Abschnitt 2.1.1.c genannte Adaptationsniveau zu ermitteln, sollte die Leuchtdichte auf einer Fläche betrachtet werden, die sich durch ein horizontales 40°-Band von der Betrachtungsposition aus ergibt (vgl. Loe et al., 1994, S. 127). D.h., dass je nach Abstand zur Fläche die durch diesen Winkel eingegrenzte Fläche unterschiedlich groß ist. Eine anschauliche Darstellung dazu ist spezifisch für diesen Versuch in Abschnitt 3.2.2.b zu finden.

b) Chromatische Adaptation

Neben der Helligkeitsadaptation gibt es die chromatische Adaptation, bei der sich das Auge auf eine neue Farbe einstellt. Dabei adaptieren die drei Zapfentypen unabhängig voneinander, was diesen Vorgang sehr komplex macht (vgl. Baer et al., 2020, S. 83). Folgendes ist jedoch nachgewiesen: Wenn beispielsweise eine rote Fläche über einen Zeitraum länger als 30 s betrachtet wird, ist zu beobachten, dass die Empfindlichkeit der L-Zapfen der beobachtenden Person mit der Zeit sinkt. Dadurch wirkt das Rot im Verlaufe dieser Zeit immer weniger gesättigt (vgl. Goldstein, 2015, S. 214) und eine danach betrachtete weiße Fläche kaltweißer als vor der Betrachtung der roten Fläche. Die Empfindlichkeit der

langwelligen Zapfen erreicht dann nach einer bestimmten Zeit wieder die Höhe, die sie vorher hatte, wenn die Beleuchtungsbedingungen der weißen Fläche wieder dieselben wie zuvor sind.

Durch die Farbadaptation wird es allgemein ermöglicht, Farbtöne deutlicher voneinander zu unterscheiden (vgl. Goldstein, 2015, S. 215). So kommt es u.a. dazu, dass bei dem Betrachten der roten Fläche die Empfindlichkeit der langwelligen Zapfen deutlich abnimmt, da das Rot auf der sichtbaren Fläche so dominant ist, dass kaum Empfindlichkeit dieser Zapfen benötigt wird, um es zu erkennen.

c) Einfluss der Umgebung

Wenn eine Farbfläche nun von einer äußeren weißen Fläche umgeben ist, wirkt die Verminderung der Zapfenempfindlichkeit auf die Wahrnehmung der weißen Fläche: Bei einer roten inneren Farbfläche wirkt das sie umgebende Weiß demnach kaltweiß. Bei einer blauen inneren Fläche (kurzwellige Zapfenempfindlichkeit wird verringert) wird die umgebende weiße Fläche als warmweiß wahrgenommen. Wenn nun zusätzlich das äußere Weiß bei einer inneren roten Fläche kaltweiß eingestellt wäre, würde die betrachtende Person einen starken Farbkontrast zwischen Weiß und Rot wahrnehmen. Wenn man es hingegen warmweißer einstellt, verringert sich der wahrgenommene Farbkontrast zwischen der inneren und äußeren Fläche.

Zudem kann die äußere Fläche auch einen Einfluss auf die Farbadaptation der innenliegenden Farbfläche haben (vgl. Baer et al., 2020, S. 67; Goldstein, 2015, S. 215). Das Weiß der umgebenden Fläche wird demnach von der Wahrnehmung als „adaptierter Weißpunkt“ bzw. als „Referenzweiß“ genommen (vgl. Baer et al., 2020, S. 67). Das Leuchtdichteniveau und die Normfarbwertanteile dieses Weiß können die Farbwahrnehmung der inneren Fläche stark beeinflussen und sorgen bei einer Veränderung für eine Neuadaptation der Fotorezeptoren innerhalb von 1 bis 2 min (vgl. Baer et al., 2020, S. 69). Die Neuadaptation sorgt dann dafür, dass der Farbton der inneren Fläche mit der Umgebung des zweiten Weißtons, schließlich genauso erscheint wie mit der Umgebung des ersten Weißtons. Diese Leistung in der Wahrnehmung wird „Farbkonstanz“ genannt (vgl. Goldstein, 2015, S. 213–214).

Alles in allem ist zu sehen, dass die Wahrnehmung von Licht- und Farbreizen einer ständigen Adaptation unterliegt, sei es in ihrer Helligkeit oder in ihrer Farbe. Sie wird durch mehrere Faktoren beeinflusst, die es zu berücksichtigen gilt. Die Fotorezeptoren sind dabei hochempfindliche und sich dynamisch anpassende Zellen, die für die visuelle Wahrnehmung des Menschen optimale Bedingungen schaffen.

2.2.3 Weiterverarbeitung visueller Informationen

In der Wahrnehmungspsychologie wird zwischen den Begriffen „Empfindung“ und „Wahrnehmung“ unterschieden. Empfindung ist demnach das bewusste Erleben eines Sinnesreizes. Wahrnehmung resultiert hingegen aus der Verknüpfung der Empfindung mit Inhalten der Erfahrung (vgl. Schandry, 2016, S. 216). Aus diesem Grund ist es unmöglich, einen Sinnesreiz ohne subjektive Tönung zu erleben (vgl. ebd.). Deshalb werden im Folgenden in Kürze wichtige Gehirnareale erläutert, die Einfluss auf diese subjektive Tönung und wiederum auf das vegetative Nervensystem haben. Wichtig ist an dieser Stelle jedoch anzumerken, dass dies nur ein sehr kleiner Ausschnitt eines höchst komplexen Systems ist.

Die subjektive Tönung eines visuellen Reizes kann z.B. durch Gedächtnisfarben generiert werden. Das sind die Farben, deren Wahrnehmung durch Erinnerungen an bekannte Farben beeinflusst werden (vgl. Goldstein, 2015, S. 216). Für das Gedächtnis sind Strukturen im medialen Temporallappen (MTL) verantwortlich, zu denen u.a. der parahippocampale Kortex und der Hippocampus gehören (vgl. Goldstein, 2015, S. 88). In diese MTL-Strukturen gelangen u.a. auch Signale aus dem IT-Kortex (inferotemporaler Kortex), der eine wichtige Rolle bei dem Verarbeiten von visueller Information spielt (vgl. Goldstein, 2015, S. 68–69). Quirogas fand heraus, dass der Hippocampus zwar nicht wichtig für das Erkennen von Objekten ist, aber für die Erinnerung an diese (vgl. Goldstein, 2015, S. 89). Dies zeigt, dass durch die visuelle Reizverarbeitung automatisch auch die Gedächtnisstrukturen des Gehirns mit einbezogen werden.

Außerdem gehört der Hippocampus zum limbischen Bahnsystem, welches in Teilen des Großhirns zu finden ist und die Gedächtnisstrukturen und Emotionen des Menschen stark beeinflusst (vgl. Trepel, 2022, S. 223). Über dieses Bahnsystem hat der Hippocampus Verschaltungen mit der Amygdala, welche eine entscheidende Rolle bei emotionalen Prozessen spielt (vgl. Schandry, 2016, S. 454). Daher können Erinnerungen direkt mit emotional getönten Erlebnissen zusammenhängen (vgl. Schandry, 2016, S. 454). Ebenso hat die Amygdala Verschaltungen mit dem Hypothalamus (vgl. ebd.), der als das oberste Regulationszentrum des vegetativen Nervensystems gilt (vgl. Trepel, 2022, S. 197). Er besitzt u.a. in beide Richtungen intensive Faserbeziehungen mit dem limbischen System (vgl. Trepel, 2022, S. 192), wodurch ersichtlich wird, dass Emotionen und damit verbundene Gedächtnisstrukturen die Aktivitäten des vegetativen Nervensystems beeinflussen können (vgl. Ernst, 2017, S. 3; Trepel, 2022, S. 189–190).

Zusammenfassend lässt sich also an dieser Stelle sagen, dass visuelle Reize indirekt auf das vegetative Nervensystem einwirken können.

Zudem sei hier noch eine ergänzende Information zum Abschnitt 2.2.1 zur visuellen Bahn des Sehnervs hinzuzufügen: 10 % seiner optischen Nervenfasern laufen nicht direkt zum visuellen Kortex, sondern zweigen schon vorher, u.a. direkt zum Hypothalamus und zur „Area prectalis“ ab. Über die direkte Verbindung zum Hypothalamus erfolgt die Steuerung der biologischen Uhr (vgl. Baer et al., 2020, S. 71; Trepel, 2022, S. 242) und über die „Area prectalis“ die Pupillenverengung bei Lichteinfall (vgl. Trepel, 2022, S. 196). Der Vorgang der Pupillenöffnung steht wiederum in direkter Verbindung zur Aktivität der vegetativen Nervensystems (vgl. Trepel, 2022, 242, 309), was zeigt, dass die Faserbeziehungen im Gehirn sehr komplex sind und Körperreaktionen sich gegenseitig bedingen. An dem letzteren Beispiel ist zu sehen, dass das vegetative Nervensystem auch schon vor der Weiterverarbeitung im visuellen Kortex in den MTL-Strukturen und im limbischen System auf einen visuellen Reiz reagiert und dass es einerseits durch den subjektiv ungetönten Reiz und andererseits durch den subjektiv getönten Reiz aktiviert wird. Hieran ist zu sehen, dass der Vorgang des Sehens und der damit einhergehenden Reaktionen des vegetativen Nervensystems sehr komplex ist und dass nach bisherigem Forschungsstand nicht klar unterschieden werden kann, wie stark jeweils die subjektiv ungetönten und getönten Anteile des Lichtreizes auf das vegetative Nervensystem einwirken. Es ist jedoch zu vermuten, dass beide gleichzeitig einen Einfluss haben.

2.3 Physiologische Indikatoren

Die für diesen Versuch berücksichtigten physiologischen Indikatoren für die Analyse der Wirkung von Farbreizen werden an dieser Stelle grundlegend erläutert.

2.3.1 Vegetatives Nervensystem

Das vegetative Nervensystem steuert alle vegetativen Parameter wie z.B. Atmung, Kreislauf, Wasserhaushalt, Körpertemperatur und Herzschlag (vgl. Trepel, 2022, S. 309) und wird u.a. durch viszerale Reflexe auf Hirnstamm- und Rückenmarksebene und vom Hypothalamus gesteuert (vgl. Trepel, 2022, S. 308).

Es wird unterteilt in zwei meist antagonistische Teile, den Sympathikus und den Parasympathikus (vgl. Trepel, 2022, S. 309). Der Sympathikus hat für den Körper „eine energiemobilisierende und aktivitätssteigernde Funktion“ (Trepel, 2022, S. 308) und der Parasympathikus dient eher der „Konservierung und de[m] Wiederaufbau der Körperenergien“ (ebd.). Traditionell wurde daher von einem antagonistischen Verhalten der beiden Anteile ausgegangen, bei dem eine hohe Aktivität des Sympathikus automatisch eine niedrige Aktivität des Parasympathikus einherbringt (vgl. Ernst, 2017, S. 6). Dies ist jedoch eine vereinfachte Sichtweise, denn beide ergänzen sich bei den meisten Körperreaktionen und arbeiten gleichzeitig (vgl. ebd.). So haben sie häufig, jedoch nicht immer eine antagonistische Funktion.

Beispiele für das Wirken der beiden Anteile zeigen sich an der Herzschlagfrequenz und der Pupillensteuerung: Auf die Herzschlagfrequenz hat der Sympathikus einen erhöhenden und der Parasympathikus einen senkenden Einfluss. In dieser Form wirken sie zudem auch auf die Kontraktionskraft und die Erregungsgeschwindigkeit des Herzens (vgl. Trepel, 2022, S. 309).

Im Auge wirkt der Sympathikus pupillenerweiternd und der Parasympathikus pupillenverengend (vgl. ebd.).

2.3.2 Respiratorische Sinusarrhythmie

Der Vagusnerv übernimmt vom Halsbereich über Herz und Bronchien bis in das Abdomen fast die gesamte parasympathische Versorgung des Körpers (vgl. Trepel, 2022, S. 127). Nachweislich hat die Atmung einen wesentlichen Einfluss auf diesen Nerv und somit auch auf die Herzfrequenz. Die Herzfrequenz bezeichnet die Anzahl an Herzschlägen und die Atemfrequenz die Anzahl an Atemzügen pro Minute. Je schneller die Herz- und Atemfrequenz ist, desto mehr Atemzüge bzw. Herzschläge geschehen pro Minute.

Es konnte festgestellt werden, dass die Herzfrequenz sich typischerweise während der Einatmung beschleunigt und sich bei der Ausatmung verlangsamt (vgl. Grossman & Taylor, 2007, S. 263). Diese Kopplung zwischen Atmung und Herzreaktion wird respiratorische Sinusarrhythmie (RSA) genannt (vgl. ebd.). Das Ausmaß der RSA wird durch die Amplitude dieser vom Atem abhängigen rhythmischen Herzfrequenz-Schwankungen bestimmt (vgl. ebd.). So steigt die RSA unter stabilen und gleichbleibenden Bedingungen bei langsamer und tiefer Atmung und sinkt bei schneller und flacher Atmung (vgl. Grossman & Taylor, 2007, S. 265). Wenn wichtige Komponenten, wie die Atemfrequenz, das Alter und weitere

physiologische Eigenschaften der Person erfasst und berücksichtigt werden, dann ist die Größe der RSA ein bedeutender Indikator für die Stärke der parasympathischen Aktivität (vgl. Berntson et al., 1997, S. 641).

Die RSA ist von Person zu Person unterschiedlich. Es gibt Menschen, die generell höhere RSA-Werte haben und welche, die bei denselben Atemfrequenzen eine geringere RSA aufweisen. Diejenigen mit der höheren RSA haben eine stärkere sogenannte „kardiorespiratorische Kopplung“ und eine generell langsamere Herzfrequenz. Ihr vegetatives Gleichgewicht zwischen Parasympathikus und Sympathikus ist dauerhaft eher in Richtung des Parasympathikus verschoben, weshalb dieser Zustand „Vagotonie“ genannt wird (vgl. Hoffmann-La Roche, 2003, S. 1910). Das Gegenstück dazu ist die „Sympathikotonie“, bei der das vegetative Gleichgewicht eher in Richtung Sympathikus verschoben ist und die Menschen eine geringere RSA und kardiorespiratorische Kopplung haben.

Insgesamt können deshalb zwei Arten von vegetativen Typen unterschieden werden, die in dieser Arbeit demzufolge „Vagotoniker“ und „Sympathotoniker“ bezeichnet werden. Es kann wichtig sein, diese vegetativen Konstitutionen bei der Auswertung von Versuchen, die das vegetative Nervensystem betreffen, zu berücksichtigen, um z.B. verschieden starke Ansprechbarkeiten der Versuchspersonen auf äußere Reize erklären zu können.

Der Einfachheit halber werden die Bezeichnungen für die vegetativen Typen folgend nur im generischen Maskulinum (Vagotoniker und Sympathotoniker) verwendet. Dies schließt hier jedoch alle Versuchsteilnehmenden mit ein.

2.3.3 Herzratenvariabilität

Die Herzratenvariabilität (HRV) bezeichnet die Veränderung der Zeitintervalle zwischen aufeinanderfolgenden Herzschlägen. Bei einem gesunden Herz verändern sich diese Zeitintervalle ständig. Diese Veränderung ermöglicht dem Herz-Kreislauf-System in jedem Moment eine schnelle Anpassung an aktuelle psychische und physische Bedingungen und Herausforderungen (vgl. Shaffer & Ginsberg, 2017, S. 1). Somit zeigt sie die Interaktionen zwischen Herz und Gehirn und dynamische Prozesse des vegetativen Nervensystems an (vgl. ebd.). Steigt die HRV, bedeutet dies einen erhöhten Einfluss des parasympathischen Nervensystems und somit eine Verringerung der Herzfrequenz. Sinkt die HRV, indiziert dies sympathische Aktivität und die Herzfrequenz wird schneller (vgl. Tarvainen et al., 2014, S. 210).

Die HRV kann durch ein Elektrokardiogramm (EKG) erfasst werden und enthält zeitbasierte, frequenzbasierte und nichtlineare Parameter. Je nach Anwendungsfall kann es sein, dass nur ein Teil der aufgenommenen HRV-Parameter ein Ergebnis liefert, weshalb es wichtig ist, möglichst viele aufzunehmen und zu analysieren. Im Folgenden werden die für diesen Versuch aufgenommenen Parameter dargestellt.

a) *Zeitbasierte Parameter*

Im Zeitbereich wird die Veränderung der Zeitintervalle zwischen zwei Herzschlägen (RR-Intervalle) quantifiziert. Hierbei gibt die SDNN die Standardabweichungen der RR-Intervalle an und generell Aufschluss über die Größe der HRV. Bei geringer HRV sind auch die SDNN-Werte niedrig (vgl. Steer-Reeh, 2012, S. 20). Außerdem indiziert sie eher die sympathische Aktivität des vegetativen Nervensystems.

Der RMSSD-Wert gibt den durchschnittlichen Betrag der Änderung der RR-Intervalle an und kommt durch schnelle Variationen der HRV zustande. „Er wird daher als Indikator der parasympathischen Wirkung auf die [HRV] betrachtet“ (ebd.). Die Werte HR und RR sind inhaltlich identisch, werden allerdings jeweils in verschiedenen Einheiten angegeben. RR wird in ms (Millisekunden) angegeben und beschreibt den durchschnittlichen zeitlichen Abstand benachbarter RR-Intervalle (Herzschläge). HR wird in bpm (beats per minute) angegeben und zeigt die Anzahl der Herzschläge pro Minute an. Da sie äquivalent sind, werden für diesen Versuch nur die RR-Werte betrachtet.

b) Frequenzbasierte Parameter

Im Frequenzbereich kann die Messung in mehrere Abschnitte unterteilt werden. U.a. in den hoch- und niederfrequenten Bereich. Der hochfrequente Bereich (HF-Band), der von 0,15 Hz bis 0,4 Hz reicht, wird besonders durch die Atmung beeinflusst und indiziert die parasympathische Aktivität des vegetativen Nervensystems (vgl. Shaffer et al., 2014, S. 9). Der Einfluss auf das niederfrequenter Band (LF-Band), das von 0,04 bis 0,15 Hz reicht, wird in der Literatur kontrovers diskutiert. Dieses Band kann demnach abhängig von den äußerlichen Bedingungen sowohl durch parasympathische als auch sympathische Aktivität und den Blutdruck beeinflusst werden (vgl. Shaffer et al., 2014, S. 1). Um es richtig zu interpretieren, muss es im Zusammenhang mit der Atmung betrachtet werden. Solange die Atmung oberhalb des Frequenzbereiches des LF-Bandes liegt, kann das LF-Band als Indikator für die sympathische Aktivität des Körpers angesehen werden (vgl. Berntson et al., 1997, S. 637).

Die LF/HF-Ratio gibt das Verhältnis beider Frequenzbereiche zueinander an und sollte aufgrund des komplexen Einflusses auf das LF-Band ebenso mit Vorsicht interpretiert werden (vgl. Shaffer et al., 2014, S. 10). Jedoch kann man aus rein mathematischen Gründen darauf schließen, dass der LF-Anteil einen größeren Einfluss hat, wenn der Wert der LF/HF-Ratio größer wird und der HF-Anteil zunimmt, wenn die Ratio abnimmt.

Wie diese Messungen ausgewertet werden, wird in Abschnitt 5.1.1 dargestellt.

c) Nichtlineare Parameter

Im nicht-linearen Bereich werden die Werte SD1 und SD2 zur Analyse herangezogen. Ihre Bedeutung ist immer noch recht ungeklärt, jedoch misst SD1 die schnellen und hochfrequenten Änderungen der HRV und SD2 die Langzeitänderungen der HRV (vgl. Laborde et al., 2017, S. 4; Tarvainen et al., 2014, S. 213). Auch wenn die Aussagekraft dieser beiden Parameter noch nicht ausreichend geklärt ist, werden sie standardmäßig bei einer HRV-Messung mit aufgenommen.

2.4 Farbwirkungen

Es ist folglich aus der Komplexität der neuronalen Vorgänge und der daraus resultierenden subjektiven Tönungen der Sinnesreize ersichtlich, dass jeder Mensch aufgrund von verschiedenen Vorerfahrungen Bunttöne unterschiedlich wahrnimmt. Aufgrund dessen ist es wichtig, sich an dieser Stelle anzuschauen, welche Assoziationen der Mensch mit ihnen hat und welche Wirkungen sie laut vorhandener Literatur

und aktuellem Forschungsstand auf Emotionen und den Körper haben können. In dieser Arbeit werden aufgrund des später folgenden Versuchsdesigns nur die Bunttöne Rot und Blau betrachtet.

2.4.1 Assoziationen und emotionale Wirkung

Blau und Rot werden in der Literatur viele Bedeutungen zugeschrieben. Sie können nach Mueller (2014) positive und negative Assoziationen hervorrufen. Rot soll demnach im Menschen mit *Wärme, Aufregung, Leben, Blut, Kraft* und *Liebe*, sowie mit *Zorn, Gefahr, Wut, Sucht, Egoismus* und *Macht* assoziiert werden. Blau hingegen wird laut ihm mit *Ordnung, Vernunft, Treue, Ewigkeit* und *Bedeutsamkeit*, sowie mit *Ernsthaftigkeit* und *Kühlheit* verbunden (vgl. Mueller, 2014, S. 62). Diese Bedeutungszuschreibungen sind auf einen kleinen Kulturkreis begrenzt, in verschiedenen Religionen und ethnischen Gruppen unterschiedlich und von Person zu Person aufgrund von persönlichen Vorerfahrungen unterschiedlich (vgl. Annen, 2017, S. 69). Demnach wird z.B. bei einer chinesischen Hochzeit traditionell ein rotes Brautkleid getragen und in russischen Kulturen die rote Farbe mit Begriffen wie „wertvoll“ und „teuer“ verbunden (vgl. Annen, 2017, S. 70). Hier könnten viele weitere Beispiele erläutert werden, was hier jedoch zu weit führen würde.

Insgesamt ist es wichtig diese Bedeutungszuschreibungen bei der Wirkung von Farbreizen im Hinterkopf zu behalten, da diese Assoziationen und Vorerfahrungen, wie folgend in Kapitel 3 dargelegt, die Farbwahrnehmung und somit auch die physiologischen Reaktionen des Körpers auf die Farben beeinflussen können.

2.4.2 Physiologische Wirkung

Die physiologischen Auswirkungen von farbigem Licht auf den Menschen, lassen sich besonders gut anhand der HRV-Parameter und der Atemfrequenz sehen. Dies stellten Schäfer und Kratky (2006) in einer Studie deutlich heraus. Bei diesem Versuch wurde die Reaktion der HRV auf die jeweils 10-minütige Beleuchtung mit rotem, grünen und blauem Leuchtstoffröhrenlicht von 12 gesunden Menschen bei einer Beleuchtungsstärke von 700 Lux untersucht. Sie wurden vor und nach den Farbreizen absichtlich für 15 min dunkeladaptiert (vgl. Schäfer & Kratky, 2006, S. 167). Dabei zeigte sich, „dass farbiges Licht die HRV innerhalb von Minuten beeinflussen kann und dass die Auswirkungen einzelner Farben durch HRV-Analyse unterschieden werden können“ (ebd.). Außerdem ergab sich aus diesen Untersuchungen ein interessantes Ergebnis bezüglich der am Ende des Abschnitts 2.2.3 dargelegten Unsicherheit, inwieweit jeweils die subjektiv ungetönten oder getönten Anteile des Lichtreizes auf das vegetative Nervensystem wirken: Die rote und grüne Beleuchtung riefen insgesamt sehr ähnliche Effekte hervor, von denen sich die der blauen Beleuchtung deutlich unterschieden. Schäfer und Kratky (2006) vermuteten daher einen Zusammenhang mit den Empfindlichkeitskurven der Fotorezeptoren der L-, M- und S-Zapfen, bei denen die L- und M-Zapfen (im gelborangen und grünen Bereich) des Spektrums nah aneinander liegen und die Empfindlichkeit der S-Zapfen (im blauen Bereich) weiter entfernt liegt. Dies könnte bedeuten, dass die Zapfenaktivitäten direkt messbare körperliche Reaktionen verursachten, ohne dass vorher eine Farbinterpretation stattfand. Jedoch war bei dem Versuch die Anzahl der Versuchsteilnehmenden nicht groß genug, um ein repräsentatives und aussagekräftiges Ergebnis zu liefern.

Neben dieser wurden weitere Studien durchgeführt, die zwar unter anderen Bedingungen und mit anderen Versuchsgruppen durchgeführt wurden, aber trotzdem richtungsweisend für die Wirkung von Lichtfarben auf den Körper sein können:

Wie in der Einleitung erwähnt, ermittelte Steer-Reeh (2012) beim roten Lichtreiz einen Anstieg der Atemfrequenz und bei der HRV eine Abnahme. Beides deutete auf sympathische Reaktionen des Nervensystems hin (vgl. Steer-Reeh, 2012, S. 13). Bei der Präsentation des blauen Lichtreizes hingegen nahm die HRV deutlich zu, was auf eine parasympathische Aktivität hinwies (vgl. ebd.).

Bei der Studie von Modi et al. (2019) wurden 77 Menschen mit Bluthochdruck rotem, blauem und weißem Licht für je 10 min nacheinander ausgesetzt. Die HRV wurde die letzten 5 bis 6 min der jeweiligen Phase gemessen. Hierbei stellte sich heraus, dass Rot sympathischen Einfluss hatte und Weiß als parasympathischer Regulator wirkte. Hingegen lieferte Blau keine statistisch signifikanten Ergebnisse (vgl. Modi et al., 2019, S. 16–17).

In der Studie von Choi et al. (2011) wurden 92 gesunde Menschen jeweils 5 min blauem, rotem und weißem Licht ausgesetzt und vor und nach dem jeweiligen Lichtreiz wurden kurze HRV-Messung durchgeführt. 30,4% der Teilnehmenden waren Menschen, die nach einem koreanischen Klassifizierungssystem als depressiv und 25% als ängstlich eingestuft wurden (vgl. Choi et al., 2011, S. 84). Es wurde ein Abfall der parasympathischen Aktivität durch die Darbietung des roten Lichtreizes bei den depressiv und ängstlich eingeordneten Personen gemessen, hingegen derselbe Lichtreiz bei den Personen, die nicht in diese Gruppen gehörten, keinen Einfluss auf die parasympathische Aktivität hatte (vgl. Choi et al., 2011, S. 86). Durch diese Studie wird bestätigt, dass der emotionale Zustand der Versuchspersonen die Reaktionen des Nervensystems auf dargebotene Reize beeinflussen kann.

Zu diesen gibt es noch weitere Studien, u.a. von Litscher et al. (2013), in der neben der HRV auch die Temperaturveränderungen an der Stirn und Nase gemessen wurden (vgl. Litscher et al., 2013, S. 2). Bei dieser Studie mit 7 Teilnehmenden kam es zu dem Ergebnis, dass blaues Licht insgesamt einen stärkeren Einfluss auf die Reaktionen des autonomen Nervensystems hat als rotes Licht (vgl. Litscher et al., 2013, S. 6). Damit widerspricht dieses Ergebnis dem von Modi et al. (2019), wobei zu erwähnen ist, dass diese Versuche in unterschiedlichen Rahmenbedingungen und mit einer stark voneinander abweichenden Anzahl an Versuchsteilnehmenden durchgeführt wurden. Dadurch wird ersichtlich, dass sich die Forschung zu physiologischen Reaktionen auf farbige Lichtreize noch in ihren Anfängen befindet.

3 Versuchsdesign

Es wurde ein Versuch geschaffen, bei dem die Versuchspersonen in ein vor ihnen liegendes Fenster schauten, welches in Blau und Rot durchleuchtet wurde. Es wurde untersucht, ob diese Farben psychischen und körperlichen Einfluss auf sie haben. Eine neutrale Phase fand dabei vor, zwischen und nach den Farbreizen statt. Während des gesamten Versuches wurde neben der Abnahme eines Elektrokardiogramms die emotionale Befindlichkeit der Personen mittels kurzer Fragebögen abgefragt. Im Folgenden wird der Begriff „Versuchsleitung“ verwendet. Die Versuchsleitung ist dieselbe Person, wie die Verfasserin dieser Arbeit.

3.1 Aufbau

Ein Plan des Aufbaus dieses Versuchs ist in folgender Abbildung 5 zu sehen.

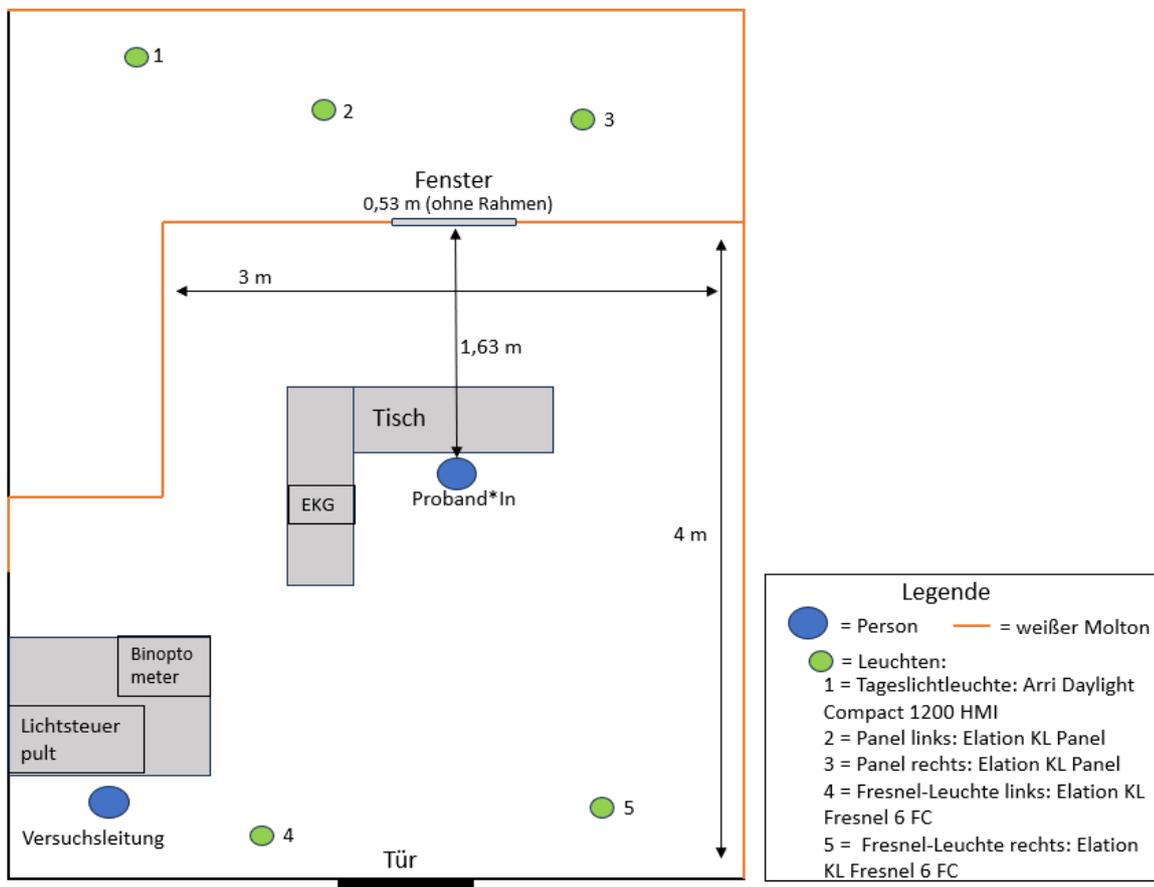


Abbildung 5: Aufbau – Plan

Quelle: Eigene Darstellung



Abbildung 6: Aufbau – Foto (Anmerkung: der rechte Tisch steht im finalen Szenario links)

Quelle: Eigene Darstellung

Mit diesem Versuchsaufbau wurde ein weißer Raum geschaffen, der ohne den linken hinteren Abschnitt, wo die Versuchsleitung gesessen hat, 12 m² groß war. Die Wahl eines einzigen Raumes bot im Gegensatz zu der Studie von Steer-Reeh (2012), die in zwei Versuchsräumen mit den Maßen 10 m² und 18 m² stattfanden, besser zu kontrollierende Bedingungen. In der Mitte stand ein Tisch, vor dem die Teilnehmenden in einem Abstand von 1,63 m zum Fenster saßen. Links von ihnen auf dem Tisch wurde das iPad platziert, welches über ein Kabel mit den am Körper angebrachten Elektroden der Person verbunden war und das EKG aufgezeichnet hat. Das iPad wurde so aufgestellt, dass die Versuchsleitung die EKG-Aufzeichnung mitverfolgen konnte. Diese saß links hinten im Raum, von wo aus sie das Licht gesteuert und das Zeitprotokoll geführt hat. Der für die Person sichtbare Bereich war mit weißem Molton ausgehängt. Die Erschaffung eines Raumes, der vollständig mit Molton ausgehängt wurde, ist eine starke Änderung zu dem Versuch von Steer-Reeh (2012), der in einem Raum mit festen Wänden stattfand. Hinten rechts und links von der Tür wurde schwarzer Molton aufgehängt, um eine Fensterfront zu verdecken, die Licht von außerhalb in den Raum gelassen hätte. Die Leuchten 1, 2 und 3 waren für die Versuchsperson nicht sichtbar. Mithilfe einiger Materialien wurde dafür gesorgt, dass kein Streulicht an den Seiten und Rändern in den Raum hineinscheinen konnte. Ebenso wurde dafür gesorgt, dass kein Tageslicht in den Raum eindringen konnte und das Fenster somit ausschließlich von künstlichem Licht durchstrahlt wurde.

Der Aufbau in der Praxis ist im neutralen Szenario in Abbildung 6 zu sehen. Dabei muss hinzugefügt werden, dass der rechte Tisch final nach links (vgl. Aufbau-Plan) gestellt wurde.

Fenster

Das Fenster bestand aus Plexiglas und war in diesem Versuch kleiner als das bei Steer-Reeh (2012). Seine Maße und der daraus folgende Betrachtungsabstand orientierten sich jedoch an den Verhältnissen, die in ihrem Versuch vorhanden waren:

Das Fenster in der Dissertation von Steer-Reeh (2012) war 0,65 m breit und die Versuchspersonen saßen in einem Abstand von 2 m vor ihm (vgl. Steer-Reeh, 2012, S. 23). Daraus ergab sich für die Versuchspersonen nachgerechnet ein Betrachtungswinkel von $18,5^\circ$. Um in diesem Versuch denselben Betrachtungswinkel herzustellen, wurde bei vorliegender Fensterbreite von 0,53 m ein dafür benötigter Abstand von 1,63 m errechnet. Die folgende Abbildung 7 stellt diese Verhältnisse anschaulich dar.

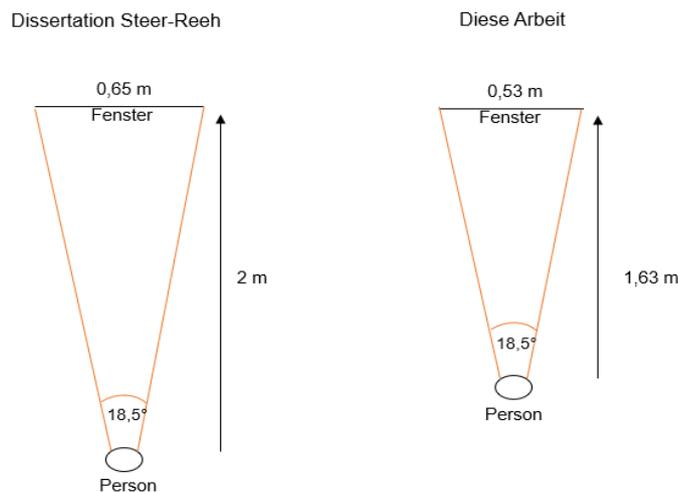


Abbildung 7: Betrachtungswinkel im Verhältnis zum Betrachtungsabstand

Quelle: Eigene Darstellung

Die Höhe des Fensters bei Steer-Reeh (2012) betrug 1,10 m, was ein Seitenverhältnis (Breite/Höhe) von 0,59 ergab. Die Höhe des Fensters beim vorliegenden Versuch hat hingegen 0,99 m betragen, wodurch sich mit der Breite ein Seitenverhältnis von 0,54 ergeben hat. Auch dies ist noch einmal anschaulich in Abbildung 8 abgebildet.

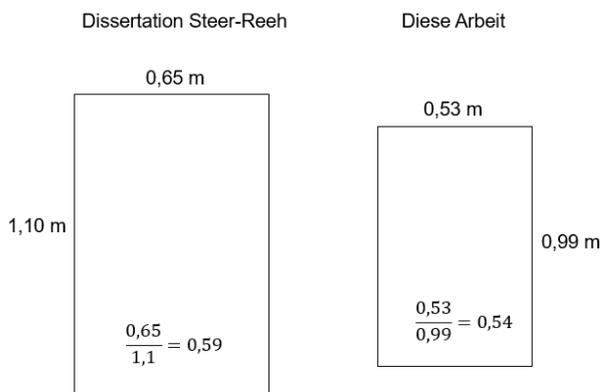


Abbildung 8: Seitenverhältnis Fenster

Quelle: Eigene Darstellung

Die Mitte des Fensters ist bei diesem Versuch vom Boden aus gesehen auf eine Höhe von 1,20 m gehängt worden.

Außerdem ist auf dem Fenster eine diffuse Folie angebracht worden, um das eintreffende Licht gleichmäßiger zu verteilen. So ist es eine homogen ausgeleuchtete Fläche geworden, in die die Versuchspersonen hineingeschaut haben.

3.2 Beleuchtungskonzept

Für das Beleuchtungskonzept sind einige Kriterien aufgestellt worden, die erreicht werden sollten. Dazu gehörten u.a. das gleichmäßige Ausleuchten der Reizfläche (Fenster), lichttechnisch kontrollierbare Bedingungen und das Erreichen einer Leuchtdichte auf dem Fenster, die hoch genug ist, um eine Wirkung bei den Personen erzielen zu können, aber gleichzeitig keine Blendung auslöst.

Da die Untersuchungen von Steer-Reeh (2012) mit hineinscheinendem Tageslicht durchgeführt wurden, ist zu vermuten, dass durch unterschiedliche Wetterbedingungen bei den Versuchsdurchführungen jeweils verschiedene Beleuchtungsstärken und Leuchtdichten im Raum vorhanden waren. Bei diesem Versuch sind daher kontrollierte Bedingungen geschaffen worden, um für jede Person dieselben Lichtreize darzubieten. Dies ist dadurch erreicht worden, dass kein Tageslicht in den Raum eindringen konnte und somit die künstlichen Leuchten für jeden Versuch die gleichen Rahmenbedingungen geschaffen haben.

Im Folgenden werden die verwendeten Leuchten vorgestellt, die Werte der lichttechnischen Messungen der Beleuchtungssituationen dargelegt und abschließend das Beleuchtungskonzept dieses Versuchs diskutiert.

3.2.1 Verwendete Leuchten

Es wurden für diesen Versuch fünf Leuchten und ein Lichtpult „Dot2“ von MA-Lighting verwendet, um die Leuchten anzusteuern. Die verwendeten Leuchten sind mit ihrer Anzahl in Tabelle 3 aufgelistet:

Tabelle 3: Verwendete Leuchten

Name	Funktion	Nummer in Abbildung 5	Anzahl
Elation KL-Panel	Farbreiz für das Fenster	2, 3	x 2
Arri Daylight Compact 1200 HMI	Tageslicht-Eindruck	1	x 1
Elation KL-Fresnel 6 FC	Raumlicht-Leuchtdichte	4, 5	x 2

Quelle: Eigene Darstellung

Die Tageslichtleuchte „Arri Daylight Compact 1200 HMI“ wurde nicht an das Lichtpult angeschlossen und per eigenem Vorschaltgerät angesteuert bzw. eingestellt.

In Anhang 8 sind die Datenblätter der jeweiligen Leuchten zu finden. Für das „Elation KL-Panel“ sind vier Seiten aufgeführt, in denen zum einen die Spezifikationen der Leuchte („Specifications“) und zum anderen die Eigenschaften bei den jeweiligen Farbreizen dargelegt werden.

a) Elation KL-Panel

Um das Fenster gleichmäßig auszuleuchten, wurden zwei KL-Panels von Elation, welche flächig strahlende Leuchten sind, an der Stelle 2 und 3 in Abbildung 5 aufgestellt und auf den weißen Molton gerichtet, der durch das Fenster zu sehen war.



Abbildung 9: KL-Panels und Tageslichtleuchte – Aufbau

Quelle: Eigene Darstellung

Durch die diffuse Folie wurde das Fenster mit dem Farbton durchleuchtet, der von den Panels flächig auf den dahinter liegenden Molton gerichtet wurde.



Abbildung 10: KL-Panels Rot (mitte) und Tageslichtleuchte (links)

Quelle: Eigene Darstellung



Abbildung 11: Fenster Rot

Quelle: Eigene Darstellung

In der linken Abbildung 10 sind bildmässig die beiden Panels zu sehen, die das Rot auf den hinteren Molton strahlen, der dieses Licht durch das Fenster nach vorn reflektiert. In der rechten Abbildung 11 ist das rot durchschienene Fenster zu sehen. Jedoch muss hier angemerkt werden, dass die Fläche um das Fenster herum in der Realität nicht schwarz, sondern weiß war. Die Kamera konnte das Rot mit angemessener Belichtungszeit nicht realitätsgetreu darstellen, und somit wurde hier eine kürzere gewählt, um das Rot zur Geltung zu bringen, wodurch dann jedoch der äußere Bereich in diesem Bild dunkel erscheint.

Neben der Eigenschaft des flächigen Strahlens haben diese Leuchten den Vorteil, dass sie farbige LEDs besitzen (siehe Anhang 8 in Elation KL-Panel, Allgemein) und selbst in dem gewünschten Farbton leuchten können. Eine Leuchte, die nur weißes Licht erzeugen kann, müsste mit einer farbigen Folie bedeckt werden, um farbiges Licht zu erzeugen. Die Folie würde jedoch dafür sorgen, dass nicht die volle Leistung des Scheinwerfers ausgenutzt wird, da sie ansonsten die Energie der anderen Wellenlängen absorbieren würde und nur die roten Wellenlängen durch sie transmittieren würden. Dementsprechend würde nur ein kleiner Teil des Spektrums der weißen LED nach außen gelangen und damit auch nur ein kleiner Teil ihrer gesamten Leistung ausgenutzt.

Die Einstellungen der Lampen im Lichtpult „Dot2“ von MA Lighting sind in Anhang 2 im Unterpunkt „KL-Panel“ zu finden. Der Dimmer im Lichtpult verändert die Leistungsaufnahme der Leuchte, indem die Spannungsversorgung verändert und dadurch die Lichtabgabe der Leuchte reguliert wird (vgl. Seifert, 2020, S.384). Dieser kann unabhängig von der Farbe im Lichtpult bedient werden. In der Praxis bedeutet dies, dass das ausgestrahlte Licht durch Veränderung des Dimmers heller oder dunkler erscheint. 100% ist dabei der maximale Wert und erscheint uns heller als darunterliegende Werte. Dies ist hier nicht zu verwechseln mit der in Abschnitt 2.1.2 beschriebenen „Helligkeit“ der Farbe.

b) *ARRI Daylight Compact 1200 HMI*

Die verwendete Tageslichtleuchte „ARRI Daylight Compact 1200 HMI“ ist auf der Abbildung 9 ganz rechts und in Abbildung 10 ganz links im Bild zu sehen. Sie wurde so platziert, dass sie von schräg hinten durch das Fenster schien. Sie ahmte eine Art Sonne nach, um dem Tageslichtszenario von Steer-Reeh (2012) näher zu kommen. Durch sie gab es im Raum auf der rechten Seite am Molton eine leicht heller erscheinende Stelle in Form eines schräg durchleuchteten Fensters. Dies sollte den Versuchspersonen unbewusst das Gefühl eines realen Fensters vermitteln, durch das das Tageslicht hindurchscheint. Es war den Versuchspersonen zwar bewusst, dass sie in einem künstlichen Szenario waren, jedoch sollte dies dem kleinen mit Molton ausgehängten Versuchsraum etwas mehr Weite geben, was das Wohlbefinden der Personen steigern sollte. In Abbildung 6 ist diese hellere Stelle auf der rechten Seite auf dem Molton zu erkennen.

Das Vorschaltgerät der Tageslichtlampe wurde für jeden Versuch auf den dritten Strich vom Minimum aus gesehen, eingestellt. Die daraus resultierenden messtechnischen Werte sind dem Abschnitt 3.2.2 zu entnehmen.

c) **Elation KL-Fresnel 6 FC**

Für die Beleuchtung im Versuchsraum wurden zwei KL-Fresnel 6 FC-Scheinwerfer von Elation verwendet (siehe Abbildung 12).



Abbildung 12: KL-Fresnel – Aufbau

Quelle: Eigene Darstellung

Es war wichtig, die Helligkeit im Raum zu erhöhen, um zum einen den Helligkeitskontrast zwischen dem Fenster und der Moltonwand zu verringern und keine Blendung zu erzeugen und zum anderen, um das Adaptationsniveau anzuheben. Die Leuchtdichte auf dem Molton neben dem Fenster durfte jedoch auch nicht zu hoch werden, da dann der Farbreiz im Fenster an Wirkungsstärke verloren hätte. Der Aufmerksamkeit der Versuchspersonen sollte in jedem Fall auf dem Fenster liegen. Gleichzeitig war es wichtig, dass ihre Augen tagadaptiert waren, wodurch sichergestellt wurde, dass eine mögliche Auswirkung der Lichtfarben auf die Versuchspersonen unter dem Einfluss der Farbseh-Sinneszellen (Zapfen) und nicht unter dem der Stäbchen gemessen wurde.

Bei diesen Leuchten wird das Weiß aus Rot, Grün, Blau, Magenta und Amber gemischt (siehe Anhang 9 in „Elation KL-Fresnel 6 FC“). Dieses Weiß wurde für diesem Versuch in seiner Farbtemperatur an die drei Lichtszenarien (Rot, Blau, Neutral) jeweils angepasst. Die Farbtemperatur wurde im Lichtpult jedoch nicht direkt über die Einstellung der Farbtemperatur verändert, sondern über den Buntton und die Buntheit. Für den roten Lichtreiz wurden Buntton und Buntheit so verändert, dass ein wärmeres Weiß als für den blauen Lichtreiz dargeboten wurde, da beim blauen derselbe Weißton wärmer als beim roten ausgesehen hätte. Somit wurden für die drei Szenarien drei verschiedene Farbtemperaturen eingestellt, um starke Farbkontraste zwischen Reizfläche und Molton zu vermeiden (Zusammenhang siehe Abschnitt 2.2.2.c). Die dafür eingestellten Werte im Lichtpult sind im Anhang 2 dem Unterpunkt „KL-Fresnel“ zu entnehmen. Die im Raum gemessenen lichttechnischen Werte können im folgenden Abschnitt 3.2.2 nachgelesen werden.

3.2.2 Lichttechnische Messungen

Um auf diesem Versuch aufbauen zu können, ist es wichtig, die vorliegende Situation lichttechnisch zu messen und zu dokumentieren. Dafür wurden die Geräte verwendet, die in Tabelle 4 aufgelistet sind.

Tabelle 4: Messgeräte

Name	Messfunktion	Software
Jeti Specbos 1201	- Beleuchtungs-/Bestrahlungsstärke - Leucht-/Strahldichte	JETI LiVal V7.2.0
Konica Minolta LS – 110	Leuchtdichte	
Canon EOS 650D	Leuchtdichtekamera	LMK Labsoft V22.3.17

Quelle: Eigene Darstellung

Die vorgenommenen Einstellungen in den Leuchten wurden größtenteils nach dem optischen Eindruck frei ausgewählt, da bei Steer-Reeh (2012) kaum lichttechnische Messungen vorliegen. Es wurde dabei auf die zuvor genannten Kriterien geachtet, dass eine flächige Ausleuchtung des Fensters gegeben ist, keine Blendung vorliegt, der Fokus jedoch auf dem Fenster bleibt und die Farbkontraste zwischen dem Fenster und dem weißen Molton gut abgestimmt sind. Die einzige lichttechnische Information, die in diesem Zusammenhang bei dem Versuch von Steer-Reeh (2012) vorliegt, ist der Messung der Beleuchtungsstärken, die direkt vor jedem Versuch in einem Abstand von 10 cm vor dem Farblichtglas durchgeführt wurde. Sie gibt im Mittel einen Wert von 95 lx mit einer Standardabweichung von 29 Lux für die Rotlichtmessung und einen Wert von 93 lx mit einer Standardabweichung von 35 Lux für die Blaulichtmessung an (vgl. Steer-Reeh, 2012, S. 45).

Die Messungen mit den Messgeräten wurden in diesem Versuch immer, wenn nicht anders angegeben, mittig des Fensters, in einem Abstand von 1,63 m (Betrachtungsposition), in einer Höhe von 1,20 m (durchschnittliche Sitzhöhe) und im rechten Winkel zum Fenster durchgeführt. Der Aufbau der Messung mit dem „Jeti Specbos“ ist in Abbildung 13 zu sehen.



Abbildung 13: Aufbau der Messung mit dem Jeti Specbos

Quelle: Eigene Darstellung

a) Beleuchtungs-/Bestrahlungsstärken

In der Tabelle 5 sind die mit dem Jeti Specbos ermittelten Messergebnisse der Beleuchtungs- und Bestrahlungsstärke zu sehen. Diese Ergebnisse zeigen die Werte an, die zu den Augen der Versuchsteilnehmenden gelangten. Alle Werte sind im 2°-Normalbeobachter angegeben.

Tabelle 5: Beleuchtungs-/Bestrahlungsstärke Messwerte

Leuchte/Material	Szenario	Beleuchtungsstärke in lx	Bestrahlungsstärke in W/m²
Elation KL-Panel	Rot	52,2	0,283
	Blau	20,7	0,482
	Neutral	85,5	0,279
ARRI Daylight 1200 HMI	Weiß	4,42	0,020
Elation KL-Fresnel 6 FC	Weiß (Panel Rot)	23,0	0,072
	Weiß (Panel Blau)	25,4	0,083
	Weiß (Panel Neutral)	28,0	0,092
Alle Leuchten zusammen	Rot	79,9	0,376
	Blau	49,8	0,585
	Neutral	118,6	0,393
Diffuse Folie	Mit Folie (Weißlicht)	89,35	0,297
	Ohne Folie (Weißlicht)	102	0,340

Quelle: Eigene Darstellung mithilfe der Software JETI LiVal

In dieser Tabelle 5 werden die Messwerte der Beleuchtungssituation pro Szenario dargestellt. Dies beinhaltet, dass die diffuse Folie auf dem Fenster angebracht ist. Diese, wie am Ende der Tabelle zu sehen, wurde gesondert gemessen. Wird die Beleuchtungsstärke, die mit der auf dem Fenster angebrachten Folie vorhanden ist, von der Stärke, die ohne Folie vorhanden ist, subtrahiert, dann ergeben sich ca. 13 lx. Um diesen Wert nimmt die Beleuchtungsstärke durch die Folie an der Betrachtungsposition ab.

In den folgenden Abbildungen 14 und 15 sind die Beleuchtungs- und Bestrahlungsstärken der jeweiligen Leuchten bezogen auf das Farbszenario in einem Diagramm abgebildet. Die Zahlen 1, 2 und 3 auf der X-Achse stehen, wie unter den Graphiken aufgelistet, für die unterschiedlichen Lichtreizphasen. In diesen Abbildungen werden die jeweils zwei verwendeten Panels und Fresnels als jeweils eine Leuchte als „Panel“ und „Fresnel“ zusammengefasst.

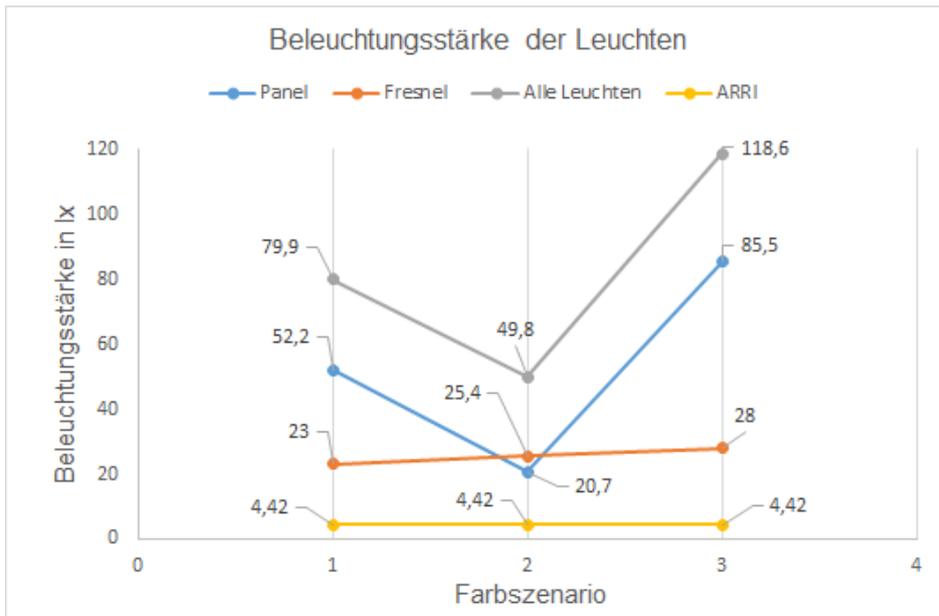


Abbildung 14: Beleuchtungsstärken der Leuchten

Quelle: Eigene Darstellung

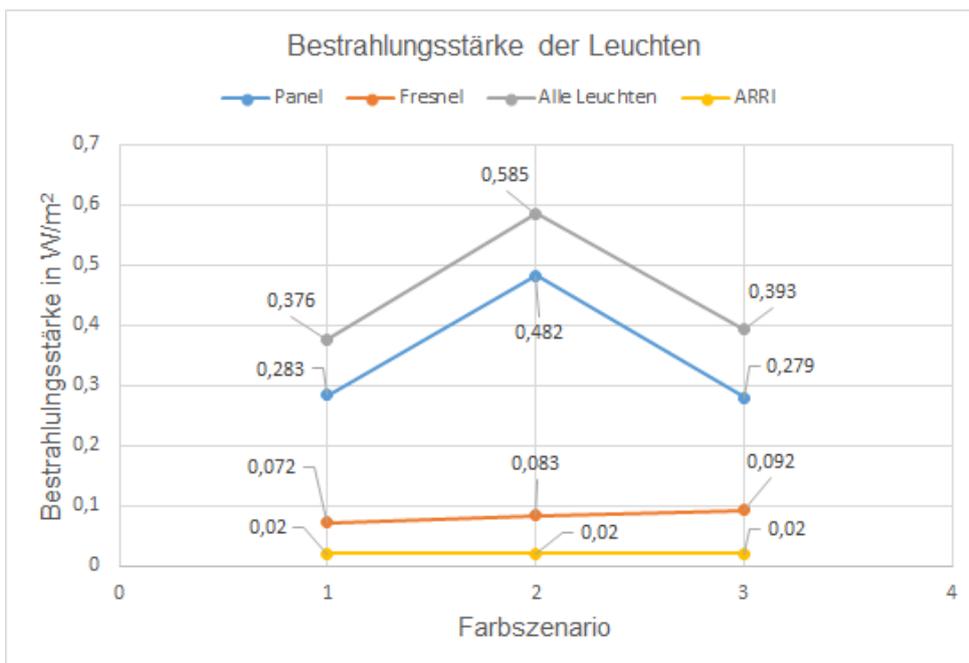


Abbildung 15: Bestrahlungsstärken der Leuchten

Quelle: Eigene Darstellung

In Abbildung 14 und 15 ist zu erkennen, dass die Beleuchtungsstärken, sowie die Bestrahlungsstärken bei allen drei Farbszenarien der Fresnel-Leuchten (orange Linie) ähnlich hoch sind. Dabei ist die Beleuchtungsstärke im roten Szenario mit 23,0 lx am geringsten und beim neutralen mit 28,0 lx am höchsten. Die Bestrahlungsstärke ist beim roten Szenario ebenfalls mit 0,072 W/m² am geringsten und mit 0,092 W/m² beim neutralen Szenario am höchsten. Blau liegt bei beiden lichttechnischen Größen in der Mitte.

Die Tageslichtleuchte von ARRI hat insgesamt die geringste Beleuchtungs- und Bestrahlungsstärke und ist in allen Szenarien gleich eingestellt.

Die Panels (blaue Linie) haben insgesamt die höchsten Werte im Vergleich zu den anderen Leuchten. An ihren Werten ist deutlich zu sehen, dass die Beleuchtungsstärke (siehe Abbildung 14) beim neutralen Szenario mit 85,5 lx am höchsten und beim blauen mit 20,7 lx am geringsten ist. Das rote Szenario liegt mit 52,2 lx dazwischen. Die Beleuchtungsstärke der Panels ist zwar insgesamt höher als die der Fresnels, jedoch gelangt durch sie im blauen Szenario etwas weniger Beleuchtungsstärke zum Auge der Versuchspersonen als durch die Fresnels, die 25,4 lx erzeugen.

Die Dominanz der Panels zeigt sich ebenfalls in den Bestrahlungsstärken (siehe Abbildung 15). Dort haben sie im roten Szenario mit 0,283 W/m², im neutralen mit 0,279 W/m² und im blauen mit 0,482 W/m² deutlich höhere Werte als die Fresnels.

Die graue Linie, die in beiden Abbildungen die gesamte Beleuchtungssituation darstellt, ergibt sich aus der Addition der Werte aller beteiligten Leuchten. Dabei kommt es beim neutralen Szenario insgesamt zu dem höchsten Wert von 118,6 lx, beim blauen mit 49,8 lx zur geringsten Beleuchtungsstärke und beim roten zu einem dazwischen liegenden Wert von 79,9 lx.

Bei der Bestrahlungsstärke hingegen hat das blaue Szenario mit 0,585 W/m² den höchsten Wert und das rote mit 0,376 W/m² und das neutrale mit 0,393 W/m² haben deutlich geringere Werte.

Insgesamt ist beim Vergleich dieser beiden Graphiken zu sehen, dass sich die Bestrahlungs- und Beleuchtungsstärke tendenziell konträr zueinander verhalten, was besonders im blauen Szenario zu sehen ist: Es hat die höchste Bestrahlungsstärke, wohingegen es die geringste Beleuchtungsstärke aufweist. Im roten und neutralen Szenario liegt eine etwa gleichhohe Bestrahlungsstärke vor, wohingegen die Beleuchtungsstärke im neutralen höher und beim roten geringer ist.

b) Leucht-/Strahldichte

Es wurden für die Reizfläche und die für das Adaptationsniveau relevante Fläche, die Leucht- und Strahldichte der vorliegenden Beleuchtungssituation gemessen. Dafür wurde zuerst das Jeti Specbos und anschließend die Leuchtdichtekamera des „Techno Team LMK mobile“ verwendet. Zur Überprüfung der Leuchtdichtewerte wurde zudem das „Konica Minolta LS-110“ angewendet.

In den ersten Messungen zeigte sich, dass die Reizfläche nicht homogen ausgeleuchtet war. Außerdem sollte durch diese Messungen das Adaptationsniveau für jeden Lichtreiz ermittelt werden. Dementsprechend musste die Leucht- und Strahldichte an mehreren Positionen gemessen werden und die für das Adaptationsniveau relevante Fläche berechnet werden. Der Zusammenhang, von dem dafür relevanten 40°-Winkel und der daraus resultierenden Fläche ist in den Abbildungen 16 und 17 zu sehen. Die Größenverhältnisse sind nicht realitätsgetreu und rein schematisch zu verstehen.

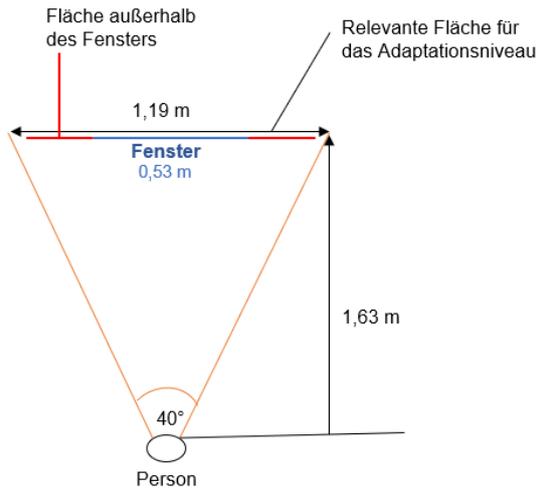


Abbildung 16: Relevante horizontale Fläche – Adaptationsniveau (40°-Band)

Quelle: Eigene Darstellung

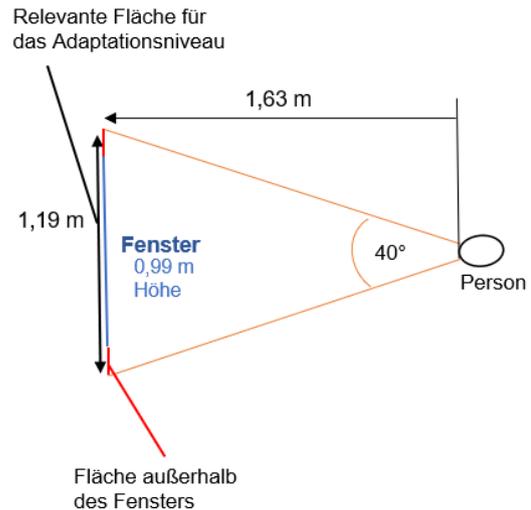


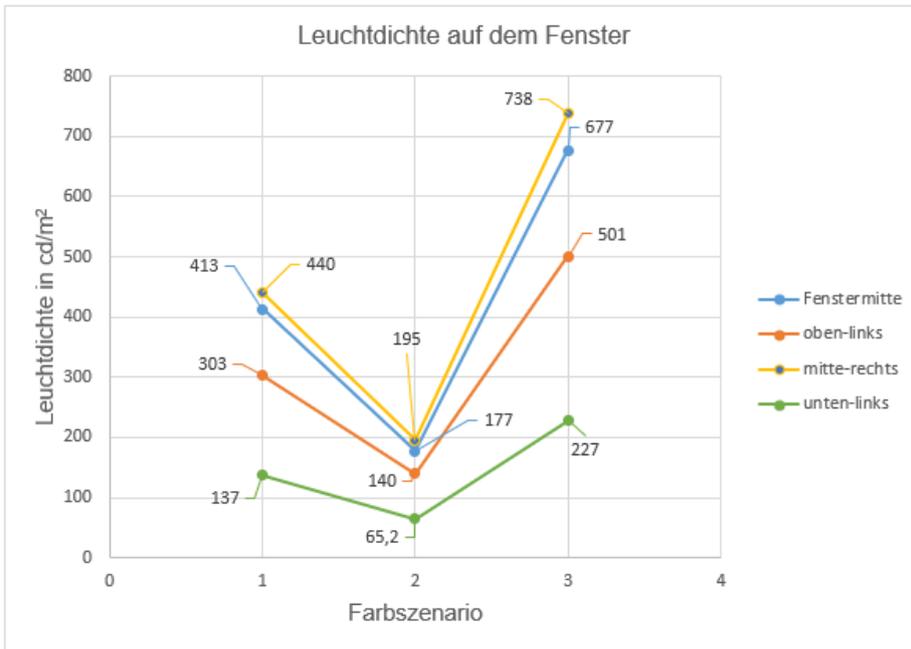
Abbildung 17: Relevante vertikale Fläche – Adaptationsniveau (40°-Band)

Quelle: Eigene Darstellung

Abbildung 16 zeigt eine Draufsicht, bei der ein Abstand von 1,63 m und ein geforderter horizontaler 40°-Winkel von der Betrachtungsposition aus gesehen eine vor der Person liegende Fläche von 1,19 m aufspannt. Das Fenster ist mit 0,53 m ein Teil dieser Fläche. Dementsprechend ist die Fläche rechts und links vom Fenster jeweils 0,33 m groß. Dieselben trigonometrischen Berechnungen wurden ebenfalls für die vertikalen Maße durchgeführt (siehe Seitenansicht in Abbildung 17). Hier ist die relevante Fläche ebenso 1,19 m hoch und die Fläche außerhalb des Fensters folglich oben und unten jeweils 10 cm. Die durch das horizontale und vertikale 40°-Band eingegrenzte adaptationsrelevante Region betrug daher insgesamt 1,42 m². Hierdurch wird ersichtlich, dass die für das Adaptationsniveau relevante Region größer ist als die Reizfläche an sich, was bestätigt, dass die Aspekte des Helligkeits- und Farbkontrastes zwischen Reizfläche und Umgebung für diesen Versuch eine wichtige Rolle spielen.

Für die Bestimmung der Leucht- bzw. Strahldichte der Reizfläche und der für das Adaptationsniveau relevanten Fläche wurden zunächst Messreihen mit dem Jeti Specbos durchgeführt. Dabei wurden für jedes Szenario sieben Messpositionen auf dem Fenster ausgewählt (bei jedem dieselben Positionen), um die Werte der nicht vollständig homogen ausgeleuchteten Fläche genau zu protokollieren. Weitere acht Messpositionen ergaben sich außerhalb des Fensters (rechts, links, oben und unten) auf dem ihn umgebenden Molton. Diese 15 Messpositionen sind in Anhang 3 in der Abbildung 59 dargestellt. Aus dieser sind die Abstände der Positionen zum jeweils nächstgelegenen Fensterrand zu entnehmen. Die dazugehörigen Messergebnisse sind ebenfalls im Anhang 3 in der Tabelle 16 dargestellt. Dabei werden die drei Szenarien in jeweils ihrem Gesamtbild mit allen Leuchten aufgeführt. Für die Messungen außerhalb des Fensters wurde das neutrale Szenario bei der Messung mit dem Jeti Specbos nicht berücksichtigt.

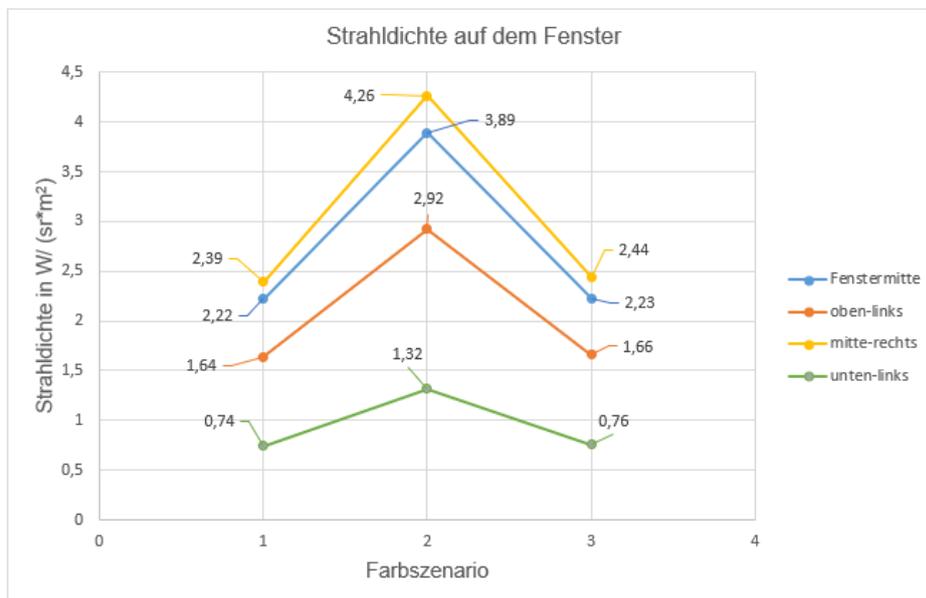
In den Abbildungen 18 und 19 sind graphisch die Ergebnisse von vier Messpositionen auf dem Fenster dargestellt.



1= Rotes Szenario 2= Blaues Szenario 3= Neutrales Szenario

Abbildung 18: Leuchtdichte des Fensters – Graphik

Quelle: Eigene Darstellung



1= Rotes Szenario 2= Blaues Szenario 3= Neutrales Szenario

Abbildung 19: Strahldichte des Fensters – Graphik

Quelle: Eigene Darstellung

Wie bei der Beleuchtungs- und Bestrahlungsstärke fällt hier beim blauen Szenario das gegensätzliche Verhalten der lichttechnischen und strahlungsphysikalischen Größen auf. Es hat im Vergleich zu den anderen Szenarien die geringste Leuchtdichte, jedoch die höchste Strahldichte. Dies zeigt, dass das

Blau zwar für das Auge am dunkelsten wirkt, aber von der rein physikalischen Seite betrachtet die größte Intensität hat. Neutral und Rot besitzen auch hier bei der strahlungsphysikalischen Größe sehr nah aneinander liegende Werte. Insgesamt sind über die hier dargestellten Messpositionen dieselben Verhältnisse zu beobachten. Ebenso ist dies für die hier nicht dargestellten Positionen der Fall. Außerdem ist hier zu erkennen, dass die Messposition mit den höchsten Leuchtdichtewerten auch die höchsten Strahldichtewerte hat. Genauso verhalten sich auch die darunter liegenden Messpositionen. Daher überschneiden sich die Linien der Positionen nie. Die insgesamt höchsten Werte sind bei der Messposition zu sehen, die sich mittig rechts auf dem Fenster befindet (siehe Anhang 3, Abbildung 59, Position 5). Diese wird dicht gefolgt von der Position der Fenstermitte. Die geringsten Werte weist die Messung im unteren linken Bereich des Fensters auf.

Allgemein lässt sich aus den Graphiken erkennen, dass in der Fenstermitte die Leuchtdichte bei dem neutralen Szenario mit 677 cd/m^2 am höchsten und beim blauen mit 177 cd/m^2 am geringsten ist. Das rote Szenario ordnet sich, wie schon bei der Beleuchtungsstärke beobachtet, dazwischen mit 413 cd/m^2 ein. Bei den Strahldichten in dieser Messposition wurde mit $3,89 \text{ W/(sr}\cdot\text{m}^2)$ der höchste Wert beim blauen gemessen und bei den anderen beiden Szenarien wurden, wie bei der Bestrahlungsstärke, deutlich geringere, sehr nah aneinander liegende Werte von $2,23 \text{ W/(sr}\cdot\text{m}^2)$, und $2,22 \text{ W/(sr}\cdot\text{m}^2)$ gemessen.

Leuchtdichtebild

Die ermittelten Leuchtdichte-Messwerte lassen sich übersichtlicher in einem Leuchtdichtebild darstellen. Dieses kann zudem mittlere Leuchtdichten für Flächen aufzeigen und außerdem den Leuchtdichteunterschied zwischen Reizfläche und dem ihr umgebenden Molton zeigen. Damit wird geklärt, in welchem Adaptationsniveau sich die Versuchspersonen im Raum befinden. Mithilfe der Leuchtdichtekamera des „Techno Team LMK mobile“, konnte so ein Bild jeweils für alle drei Szenarien aufgenommen werden. Dafür wurde die Spiegelreflex-Kamera „Canon EOS 650D“ mit einem 17-50mm Objektiv verwendet. Um die Kamera der Situation angemessen einzustellen, wurden zusätzlich einzelne punktuelle Messungen mit dem „Konica Minolta LS-110“ durchgeführt und mit den Werten der Spiegelreflex-Kamera verglichen, um sie so einzustellen, dass sie ein realistisches Leuchtdichtebild erstellen kann. Dabei waren sich die Werte des Jeti Speckbos und die des Konica Minoltas insgesamt recht ähnlich. Die Belichtungszeit und Blende der Kamera wurden so lange in der Kamera angepasst, bis das durch die Software „LMK Labsoft“ generierte Leuchtdichtebild diesen Werten möglichst nahe kam. Dabei war es besonders wichtig, den gesamten Dynamikumfang der vorliegenden Beleuchtungssituation zu erfassen. D.h., dass der geringste sowie der höchste Leuchtdichtewert von der Kamera abgebildet werden sollte. Final wurde sich in allen drei Szenarien für eine Blende von $f6.3$ entschieden und beim neutralen und roten Szenario für eine Belichtungszeit von $1/50$. Beim blauen Szenario wurde eine Belichtungszeit von $1/20$ gewählt.

Die Werte der daraus resultierenden Leuchtdichtebilder unterschieden sich zwar dennoch leicht von den zuvor durch die Messgeräte ermittelten Werte, jedoch ist dies das beste Ergebnis, welches mit den zur Verfügung stehenden Mitteln erzeugt werden konnte. Die Abbildungen 20 und 21 zeigen die beiden Leuchtdichtebilder für das rote und blaue Szenario und die Abbildung 60 in Anhang 4 zeigt das neutrale Szenario. In diesen Abbildungen sieht man logarithmisch dargestellte Leuchtdichtebilder („log 2“ in der

Software), die einen Rahmen aus gestrichelten Linien mit der Nummer 1 beinhalten. Dadurch wird die Region, die aus der Betrachtungsperspektive den nach Loe et al. (1994) für das Adaptationsniveau relevanten horizontalen 40°-Winkel eingrenzt, gekennzeichnet.

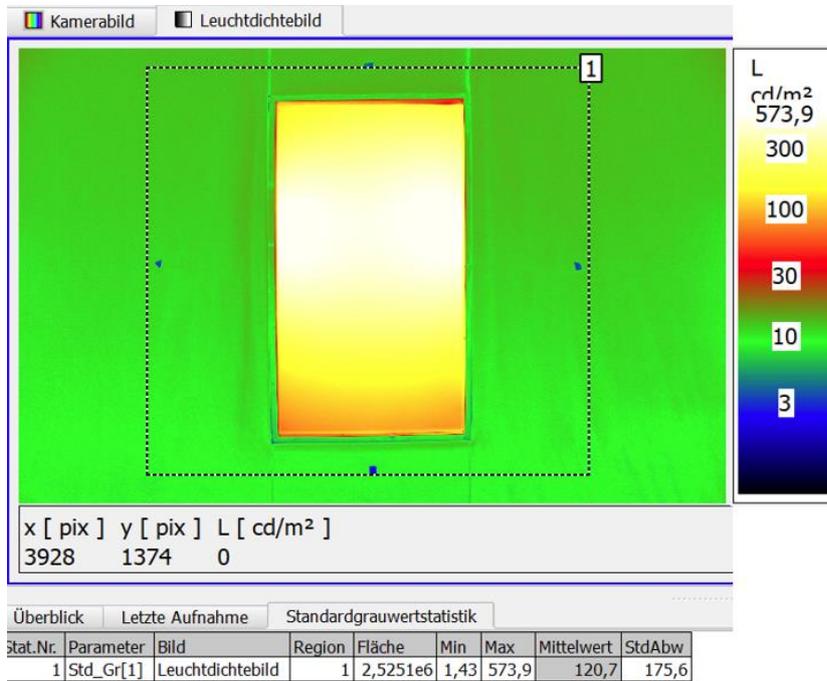


Abbildung 20: Leuchtdichtebild Rot: Blende f6.3; Belichtungszeit 1/50

Quelle: Eigene Darstellung mithilfe der Software LMK Labsoft

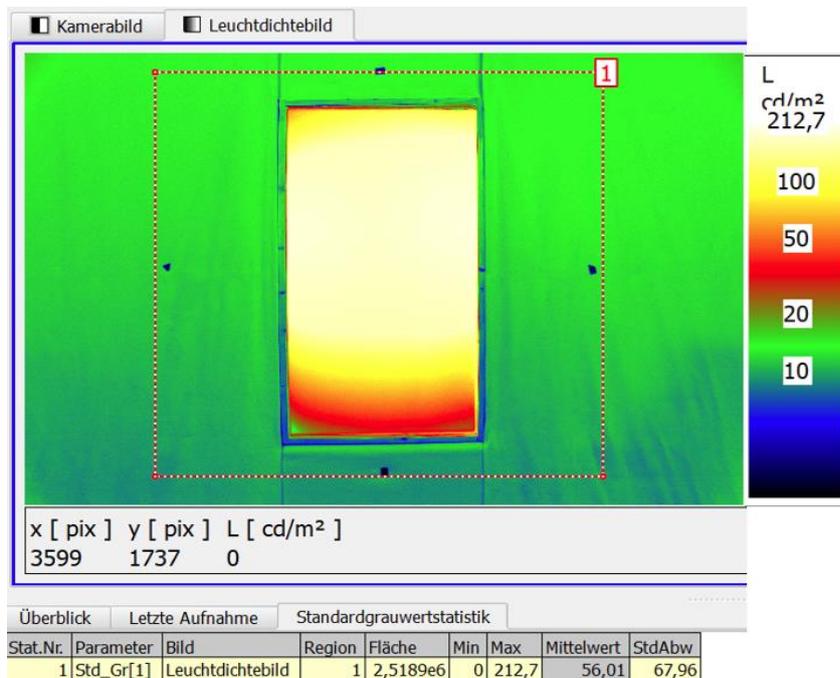


Abbildung 21: Leuchtdichtebild Blau: Blende f6.3; Belichtungszeit 1/20

Quelle: Eigene Darstellung mithilfe der Software LMK Labsoft

In Abbildung 20 und 21 ist rechts im Bild eine Skala zu sehen, die den im Leuchtdichtebild vorhandenen dargestellten Farben Werte zuordnet. Dabei ist es wichtig zu erwähnen, dass die Farben nicht den wirklich gesehenen Farben entsprechen, sondern für bestimmte Leuchtdichtewerte stehen. Hierdurch ist eindeutig zu sehen, dass der das Fenster umgebende Molton dunkler ist (ca. 10 cd/m^2), als das Fenster, dessen Leuchtdichten in weiß, gelb und orange dargestellt werden. Diese logarithmische Darstellung zeigt ein Bild, welches den im Auge wahrgenommenen Helligkeitsverhältnissen am nächsten kommt. Im roten Szenario ist ein Leuchtdichte-Maximum von $573,9 \text{ cd/m}^2$ (siehe Abbildung 20) und im blauen eines von $212,7 \text{ cd/m}^2$ (siehe Abbildung 21) zu sehen. An dieser Stelle ist es wichtig zu erklären, dass diese Werte höher sind als die zuvor in den Graphiken dargestellten, da sich keine Messposition direkt auf der hellsten Stelle des Fensters befand. In jedem Szenario ist der rechte Rand die hellste Stelle, was beispielhaft an einem Grauwertbildschnitt am blauen Szenario in der untenliegenden Graphik in der Abbildung 61 in Anhang 4 zu sehen ist. Dort ist der angegebene Maximalwert zu finden, da dort die Tageslichtleuchte schräg hindurchscheint. Demnach ist die Leuchtdichte in der Mitte etwas geringer als am rechten Rand, was auch an den Werten des Jeti Specbos im Anhang 3 in Tabelle 16 zu sehen ist. Neben der Tatsache, dass die Leuchtdichtekamera-Werte nicht ganz genau sind, ist dies ein weiterer Grund, warum die Maximalwerte der beiden Farbreize in der LMK Labsoft Software höher sind als die an der Messposition 5 gemessenen Werte. Die Leuchtdichten auf dem Fenster befinden sich der Abbildung 20 zufolge im roten Szenario überwiegend zwischen dem Maximalwert und 100 cd/m^2 und im blauen der Abbildung 21 zufolge zwischen ebenfalls dem Maximalwert und etwa 30 cd/m^2 . Auf dem Fenster sind die Leuchtdichtewerte in allen Szenarien am unteren Rand am geringsten. Im gesamten 40° -Winkel sind die geringsten Werte auf dem Molton außerhalb des Fensters zu finden. Wenn man in der Software die lineare Darstellung des Leuchtdichtebilds wählt, können die vorgemessenen Werte, die durch das Jeti Specbos und das Konica Minolta ermittelt wurden, mit den Leuchtdichtewerten der linearen Darstellung genauer abgeglichen werden. Diese Bilder sind in Anhang 4 unter „Leuchtdichtebilder linear“ für jedes Szenario zu finden.

Adaptationsniveau

Unterhalb des Leuchtdichtebildes ist jeweils eine kleine Tabelle zu sehen, die die Standardgrauwertstatistik anzeigt. Diese gibt den mittleren Leuchtdichtewert („Mittelwert“) für die angegebene Region (40° -Winkel) an. Dieser ist beim blauen Szenario mit $56,01 \text{ cd/m}^2$ am geringsten und beim neutralen mit $163,6 \text{ cd/m}^2$ am höchsten. Das rote Szenario liegt mit $120,7 \text{ cd/m}^2$ dazwischen. Damit ist die Leuchtdichte im für das Adaptationsniveau relevanten Bereich bei Rot doppelt so hoch wie bei Blau. Anschaulich sind diese Werte noch einmal in Abbildung 22 dargestellt.

An dieser Graphik ist auf Grundlage des Wissens aus Abschnitt 2.1.1.c zu konstatieren, dass die Darbietung aller drei Farbszenarien unter fotopisch adaptiertem Sehen stattgefunden haben.

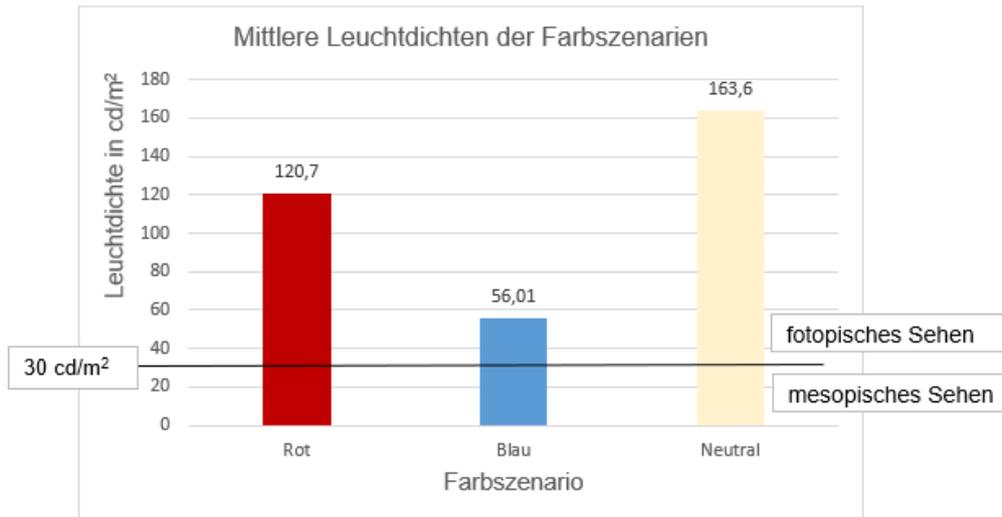


Abbildung 22: Adaptationsniveau der Farbreize in diesem Versuch

Quelle: Eigene Darstellung

c) **Spektrale Messung**

Da aus dem Versuch von Steer-Reeh (2012) keine spektralen Messungen vorliegen, gab es für diesen Versuch keine Vorgaben bezüglich der einzustellenden dominanten Wellenlängen für die jeweiligen Farbreize. Durch ihren Versuch ergaben sich die einzigen Kriterien die Farbreize in Blau und Rot einzustellen, doch wie Buntton, Buntheit und Helligkeit eingestellt werden sollten, erschloss sich daraus nicht. Die folgenden spektralen Darstellungen wurden an der Beobachtungsposition im Zusammenhang mit den Messungen der Bestrahlungsstärke generiert. Die spektralen Darstellungen aus der Strahldichtemessung auf dem Fenster ergaben dasselbe Spektrum.

Alle Leuchten zusammen

In der folgenden Abbildung 23 sind die Zusammensetzungen im Spektrum für die einzelnen Leuchten im neutralen Szenario gut zu sehen. In Farbe unterlegt ist das Spektrum für das neutrale Szenario ohne die Tageslichtleuchte (Fresnels und Panels zusammen). Das Spektrum der Tageslichtleuchte ist als die niedrigste Linie im unteren Bereich zu sehen. Über ihr liegt die Linie der Fresnels im neutralen Szenario und darüber der Bereich der Panels. Folglich ist der darüberliegende Bereich zwischen der oberen Linie des Bereichs der Panels und dem Ende des farbigen Bereichs das Spektrum der Panels und der Fresnels zusammen. Der darüberliegende nicht farbig hinterlegte Bereich zeigt das gesamte neutrale Szenario, bei dem alle drei Spektren miteinander addiert wurden. Er ist weiß hinterlegt, da in der Software bei diesem Bild nur das Spektrum der Fresnels mit dem der Panels zusammen angezeigt wurden.

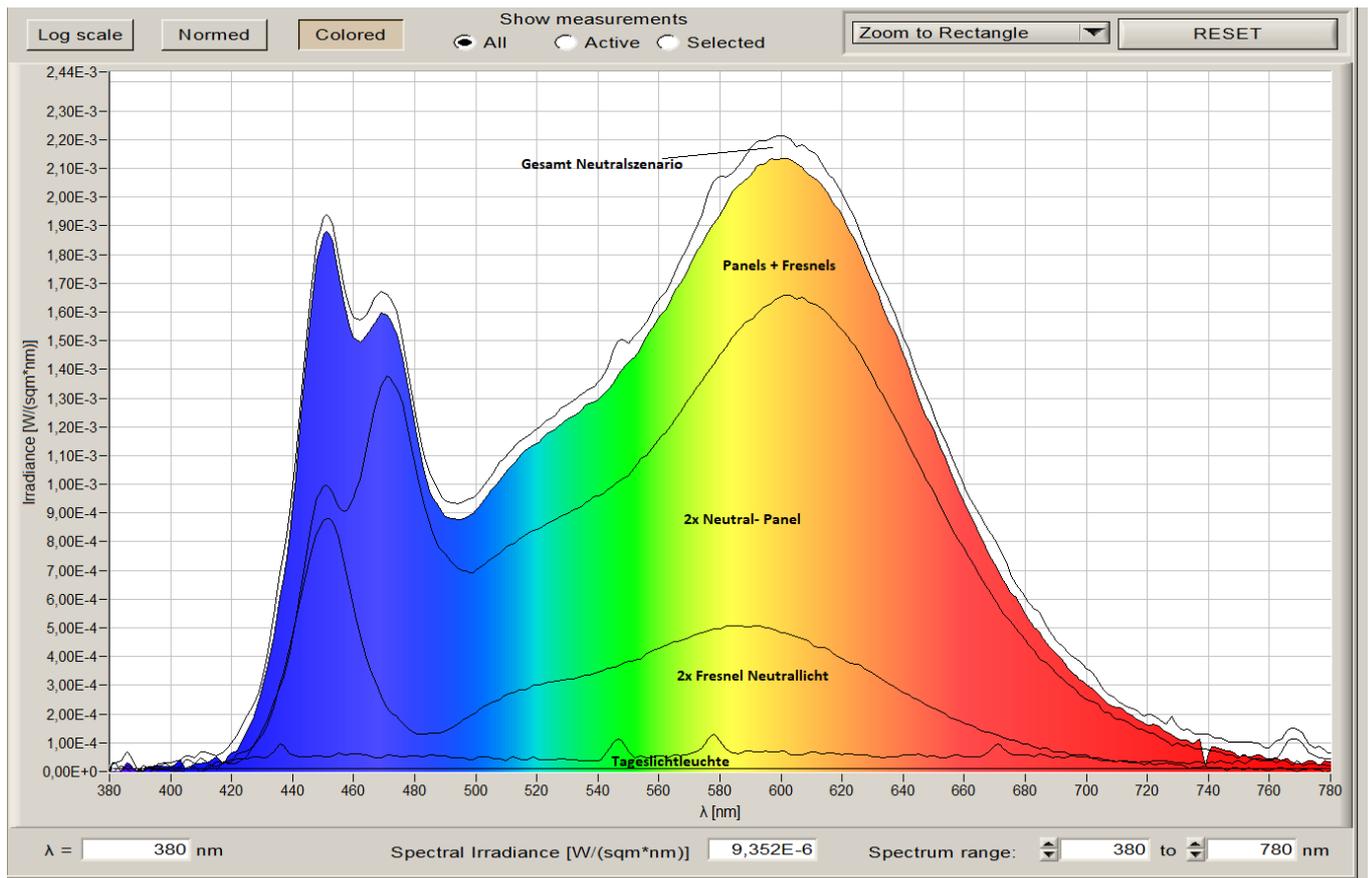


Abbildung 23: Spektrum neutrales Szenario – Gesamt

Quelle: Eigene Darstellung mithilfe von der Software JETI LiVal

An dieser Stelle wird darauf verzichtet, das rote und blaue Szenario in dieser Form darzustellen, da die gesamte Energie des Spektrums des jeweiligen Farbreizes um eine dominierende Wellenlänge herum angesiedelt ist. Demnach ist die Bestrahlungsstärke in einem kleinen Bereich sehr hoch und die Bestrahlungsstärken der anderen Leuchten erscheinen dagegen so gering, dass sie im Bild kaum zu sehen wären. Aus diesem Grund werden für diesen beiden Szenarien die Panels und die Fresnel-Leuchten in folgenden Abschnitten einzeln dargelegt.

Elation KL-Panel

In Abbildung 24 ist zu sehen, dass das Blau seine dominante Wellenlänge (maximale Intensität) bei 451 nm hat. Rot und Blau sind hier in einer Darstellung, Rot ist jedoch nicht farblich untermalt. Auffällig ist, dass das Blau neben dem Maximum im blauen Wellenlängenbereich eine kleine Erhebung bei 630 nm, zufällig unterhalb des Maximums des rot leuchtenden Panels, hat. Im Datenblatt (siehe Anhang 8, „Elation KL-Panel“ unter „Farbreize“) ist für Blau eine dominante Wellenlänge von 456 nm angegeben, was dem hier gemessenen Wert sehr nahekommt.

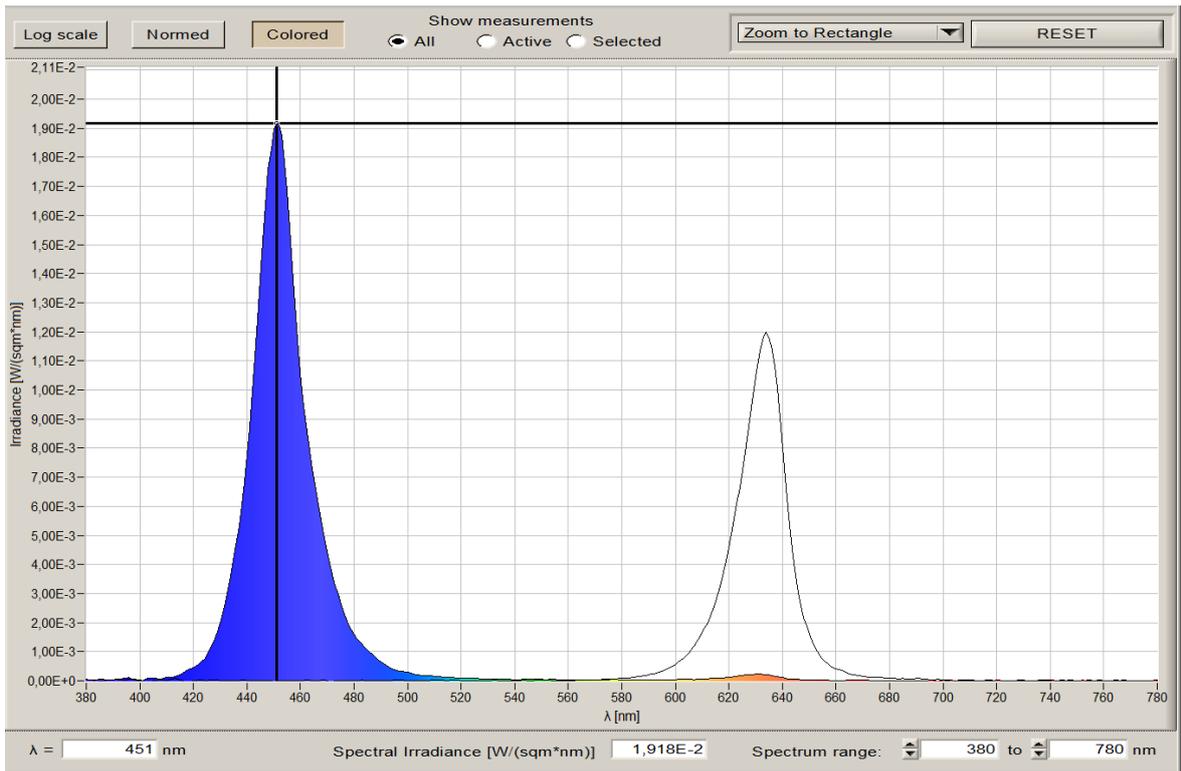


Abbildung 24: Spektrum Panel Szenario Blau

Quelle: Eigene Darstellung mithilfe von der Software JETI LiVal

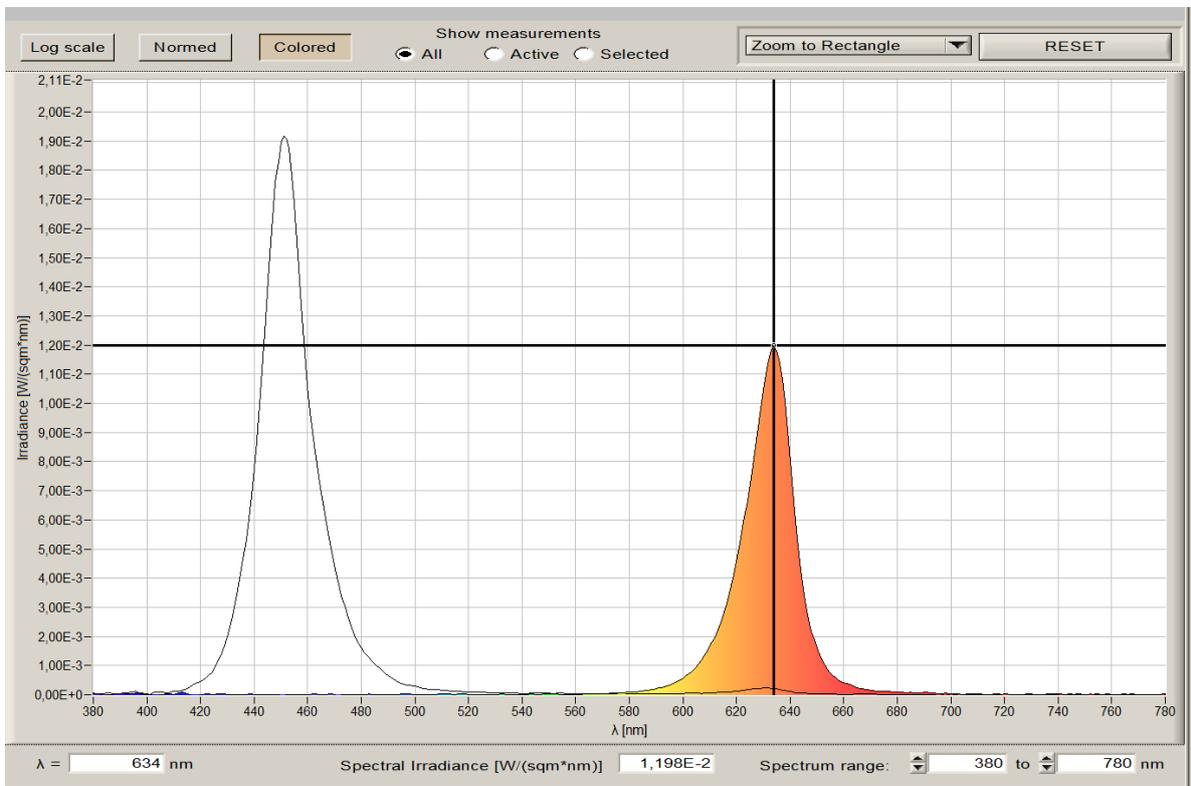


Abbildung 25: Spektrum Panel Szenario Rot

Quelle: Eigene Darstellung mithilfe von der Software JETI LiVal

In Abbildung 25 ist zu sehen, dass die dominante Wellenlänge des roten Szenarios bei 634 nm liegt.

Auch hier ist das Spektrum des blau leuchtenden Panels in derselben Darstellung zu sehen. Daran ist zu erkennen, dass das Blau eine ca. doppelt so hohe Bestrahlungsstärke hat wie das Rot. Dies bestätigen auch die Ergebnisse aus dem Abschnitt 3.2.2.a. Im Datenblatt (siehe Anhang 8 „Elation KL-Panel“ unter „Farbreize“) ist eine dominante Wellenlänge des Rots von 622 nm angegeben, was 12 nm von dem hier gemessenen Wert abweicht.

Wichtig ist an dieser Stelle zu erwähnen, dass die Werte aus dem Abschnitt 3.2.2.a Werte für das gesamte vorhandene Spektrum sind und sie nicht den Maximalwert der dominanten Wellenlänge darstellen. Der Wert $0,482 \text{ W/m}^2$ des blauen Panels ist der Gesamtwert der Bestrahlungsstärke aller aufsummierter Wellenlängenanteile aus dem Spektrum des dargebotenen Farbreizes. Da dieser Maximalwert der Panels jedoch im Vergleich zu den durch die anderen Leuchten generierten Spektren so hoch ist, dass diese daneben kaum zu erkennen sind, bestimmen die Panels bei den Farbreizen Rot und Blau die dominante Wellenlänge im Gesamtszenario des jeweiligen Farbreizes.

ARRI Daylight Compact 1200 HMI

Das Spektrum der Tageslichtleuchte ist in Anhang 5 in Abbildung 65 zu sehen.

Alle Wellenlängen sind ähnlich stark vertreten und es gibt auffallende Erhebungen bei 436, 547, 578, 671 und 768 nm.

Elation KL-Fresnel 6 FC

Wie bereits in Abschnitt 3.2.1.c erwähnt, mussten die Farbtemperaturen der Fresnel-Leuchten für die drei Szenarien Rot, Blau und Neutral jeweils angepasst werden. Die drei Spektren sind in den Abbildungen 66-68 in Anhang 5 zu sehen. Insgesamt ist hier deutlich zu erkennen, dass es sich aufgrund der Erhebung zwischen 540 und 640 nm um ein Weiß handelt. Das blaue und neutrale Szenario unterscheiden sich in ihrem Blauanteil nicht viel, jedoch hat das neutrale mehr Anteile zwischen 550 und 700 nm. In folgender Tabelle 6 sind die durch die Software „JETI LiVal“ ermittelten Farbtemperaturen dazu aufgeführt:

Tabelle 6: Farbtemperaturen der Fresnel-Einstellungen

Szenario	Farbtemperatur in K
Rot	4650
Blau	6510
Neutral	4758

Quelle: Eigene Darstellung

Es ist ein deutlicher Unterschied zwischen den Spektren des roten und des blauen Szenarios zu sehen. Beim roten gibt es deutlich weniger Blauanteile und die Bereiche ab ca. 580 nm aufwärts sind konstant leicht höher als die des blauen Szenarios. Die Farbtemperatur des Weiß, welche beim Rot verwendet wird, hat die niedrigste Farbtemperatur und wirkt somit im Vergleich zu den anderen Weißtönen am wärmsten. Das Weiß, welches für das blaue Szenario verwendet wird, hat die höchste Farbtemperatur und ist nach Baer et al. (2020) als Kaltweiß einzustufen. Das Weiß aus dem neutralen Szenario liegt im Neutralweiß-Bereich und ist leicht höher als das des roten Szenarios. Die Farbtemperatur des Rots wird

zwar nicht als Warmweiß eingestuft, ist jedoch im Vergleich zu den anderen Weißtönen am wärmsten. Die Einstellungen wurden nach dem Seheindruck der Versuchsleitung ausgesucht und der Farbkontrast zwischen der roten Reizfläche und dem zugehörigen Weißton in ihrer Umgebung wurde als visuell angenehm eingestuft.

Normfarbwerte: Alle Leuchten zusammen

Zur zusätzlichen Charakterisierung der verwendeten Farbreize dienen Normfarbwerte. Die Werte für die Fenstermitte in allen drei Szenarien sind in Tabelle 7 dargelegt. Sie sind während der Leuchtdichtemessungen im 2°-Winkel ermittelt worden. Die Werte aller Messpositionen auf dem Fenster sind in Anhang 6 in Tabelle 17 zu finden.

Tabelle 7: Normfarbwerte auf dem Fenster

Szenario	X (2°)	Y (2°)	Z(2°)
Rot	925,9	413,1	15,2
Blau	795,4	176,9	4112
Neutral	720,3	677,3	438,9

Quelle: Eigene Darstellung mithilfe von der Software JETI LiVal

Auffällig ist in Tabelle 7 sowie in der zuvor genannten Tabelle 17 im Anhang, dass die stärksten Unterschiede zwischen den Farbreizen beim Z-Wert zu sehen sind. Dies ist ebenso bei den Normfarbwerten der 8 außerhalb des Fensters auf dem Molton liegenden Messpositionen der Fall. Diese sind ebenfalls in Anhang 6 in der Tabelle 18 dargestellt. Bei dieser Tabelle sind jedoch nur die beiden Szenarien Rot und Blau berücksichtigt worden. Durch diese Normfarbwerte ist es möglich, die Bunttöne im Fenster mit den Weißtönen auf dem Molton mathematisch zu vergleichen und wenn gewünscht, Farbabstände zu berechnen.

Diffuse Folie

Dass die diffuse Folie die Beleuchtungsstärke an der Betrachtungsposition verringert, wurde bereits im Abschnitt 3.2.2.a dargelegt. Diese Abnahme ist auch an ihrem gemessenen Spektrum in Anhang 5 in der Abbildung 69 zu sehen. In der Abbildung ist das Spektrum, welches mit Folie erzeugt wurde, farbig hinterlegt. Die Linie oberhalb des Spektrums zeigt an, wie das Spektrum ohne Folie aussieht. Es ist deutlich zu sehen, dass durch die Folie in jedem Wellenlängenbereich die Bestrahlungsstärke verringert wird, jedoch zwischen ca. 500 nm und 640 nm mehr als in den Bereichen außerhalb.

Die Farbtemperatur mit Folie beträgt 3570 K und ohne 3607 K. Die Folie verändert die Farbtemperatur somit kaum. Diese Messungen wurden in einer mit Weißlicht beleuchteten Situation durchgeführt, um möglichst alle Wellenlängen des Spektrums zu erfassen.

3.2.3 Begründung des Beleuchtungskonzepts

Die Bedingungen für dieses Beleuchtungskonzept waren auf Basis der Grundidee des Versuchs von Steer-Reeh (2012) u.a. das gleichmäßige Ausleuchten der Reizfläche (Fenster), lichttechnisch kontrollierbare Bedingungen zu schaffen und das Erreichen einer Leuchtdichte auf dem Fenster, die hoch

genug ist, um eine Wirkung bei den Personen erzielen zu können, aber dennoch keine Blendung auslöst. Das homogene Ausleuchten der Fläche wurde nur teilweise erreicht, was in Abschnitt 3.2.2.b durch die Leuchtdichtebilder deutlich gemacht wurde. Lichttechnisch kontrollierte Bedingungen wurden dadurch geschaffen, dass kein Tageslicht in den Versuchsraum gelangt. Vor der Versuchsauswertung war es noch nicht einzuschätzen, ob die Höhe der Leuchtdichte für eine Wirkung sorgen würde, jedoch wurden die Einstellungen nach eigenem Ermessen so vorgenommen, dass die Reizflächen sehr präsent waren und Blendung vermieden wurde.

Folgend wird das Beleuchtungskonzept im Hinblick auf die Vergleichbarkeit, den Farbkontrast, die Wahl der Bunttöne und das Adaptationsniveau begründet.

Vergleichbarkeit der Farbreize

Der ursprüngliche Plan war es, das blaue und rote Szenario bestrahlungsstärkegleich einzustellen, um die beiden Szenarien Rot und Blau am Auge der Betrachtenden auf physikalischer Ebene direkt miteinander vergleichen zu können. Während der Einrichtung der Beleuchtungssituation fiel jedoch auf, dass eine gleiche Bestrahlungsstärke bedeutet hätte, dass der blaue Farbreiz im Fenster deutlich lichtschwächer erschienen wäre als der rote. Denn für dieselbe Bestrahlungsstärke, hätte er am Lichtpult auf ca. 40% gedimmt werden müssen. Dies zeigte sich in der Beleuchtungsstärke, die beim Blau dadurch deutlich geringer geworden ist als beim Rot. Somit fiel auch hier die Entscheidung, die Einstellungen der Farbreize dem optischen Eindruck nach auszuwählen und das blaue Panel nur so weit zu dimmen, dass der Unterschied zwischen Rot und Blau nicht gravierend erscheint. Deshalb wurde beim blauen Panel der Dimmer auf 80% eingestellt (siehe Anhang 2 unter „KL-Panel“). Dadurch war die Bestrahlungsstärke bei dem blauen Szenario trotzdem noch deutlich höher. Daneben wäre es auch eine Möglichkeit gewesen, die Situationen beleuchtungsstärkegleich einzustellen. Dies hätte jedoch aufgrund der im Spektrum weit voneinander entfernten dominanten Wellenlängen der Farbreize bedeutet, dass die beiden auf der physikalischen Ebene noch weiter auseinandergegangen wären und die Bestrahlungsstärke des Blaus noch mehr Abstand zur Bestrahlungsstärke des Rots gehabt hätte. Zudem hätte man die Lichtreize auch leuchtdichtegleich einstellen können, doch in diesem Versuch sollte der Fokus auf den strahlungsphysikalischen Größen liegen. Es ist hier deutlich zu sehen, dass es viele verschiedene Einstellungs- und Vergleichsmöglichkeiten für diese Beleuchtungssituationen gibt. Aus zeitlichen und ressourcentechnischen Gründen wurde sich dafür entschieden, die Einstellungen dem optischen Eindruck nach auszuwählen und die vorhanden lichttechnischen Messwerte ausführlich zu dokumentieren, um eine Vergleichbarkeit und Reproduzierbarkeit zu ermöglichen.

Insgesamt ist an diesem Beleuchtungsszenario zu sehen, dass sich Bestrahlungs- und Beleuchtungsstärke konträr zueinander verhalten, denn wenn man beide Szenarien in einer Komponente aneinander angleicht, entfernen sich die beiden in der anderen Komponente deutlich voneinander.

Farbkontrast

Im Unterschied zum Versuch von Steer-Reeh wurde kein rotes Fenster, sondern eine diffuse Folie durchschienen, indem sie von hinten über die Reflexion des weißen Moltons farblich durchleuchtet wurde und zudem mit der Tageslichtleuchte direkt von hinten durchleuchtet wurde. Dies hatte zur Folge, dass der Raum, wie bei Steer-Reeh (2012) nicht mit rotem Licht durchströmt und die Wände deshalb

rot angeleuchtet wurden, sondern die Wände innerhalb des Versuchsraums (der Molton) weiß reflektierten. Deshalb musste auf den farblichen Kontrast zwischen dem Molton und dem Buntton im Fenster geachtet werden, weshalb, wie schon erwähnt, die Farbtemperaturen der Weißtöne in den Fresnels dem jeweiligen Szenario angepasst wurden. Hier ist die Beleuchtungssituation dem Aussehen nach eingestellt worden, um ein angenehmes Sehen für die Teilnehmenden zu ermöglichen.

Bunttöne und neutrale Phase

Der Buntton des jeweiligen Farbreizes wurde, wie zuvor beschrieben, dem optischen Eindruck nach ausgewählt. Die Buntheit wurde bei Rot und Blau jeweils auf 100% gesetzt, damit die Farbe möglichst kräftig (gesättigt) ist. Das Rot sollte in einem möglichst hohen Wellenlängenbereich dargeboten werden, damit hauptsächlich die langwelligen Zapfen durch die Darbietung aktiviert werden. Jedoch konnten die roten LEDs der Elation KL-Panels kein Dunkelrot darstellen. Andere Leuchten standen nicht zur Verfügung.

Die neutrale Phase sollte diejenige sein, in der sich die Augen der Teilnehmenden wieder auf ein grundlegendes Weiß adaptieren können, welches vor, während und nach dem Versuch immer das Gleiche war. Dies ist wichtig gewesen, um dieselben Ausgangsbedingungen für Rot und Blau zu schaffen. Erwähnenswert ist es, dass die Einstellung des Dimmers beim Neutral nur 68% betrug und seine Beleuchtungsstärke trotzdem am höchsten war (siehe Abschnitt 3.2.2.a).

Adaptationsniveau

Durch die Ermittlung der Leuchtdichte in dem horizontalen 40°-Winkel konnte das Adaptationsniveau in diesem Versuch für jeden Lichtreiz bestimmt werden. Alle Szenarien fanden im fotopischen Bereich statt, wobei es zwischen ihnen trotzdem deutliche Unterschiede gab. Beim roten Szenario war die Leuchtdichte mehr als doppelt so hoch wie beim blauen. Dadurch entstand ein deutlich wahrzunehmender Helligkeitsunterschied. Dieser kann anschaulich durch die Hellempfindlichkeitskurve $V(\lambda)$ aus Abbildung 1 erklärt werden. Bei der dominanten Wellenlänge von 451 nm des blauen Szenarios war die Hellempfindlichkeit beim fotopischen Sehen deutlich geringer als bei der Wellenlänge von 634 nm des Rots. Würden die Darbietungen hingegen in einem skotopischen Szenario stattfinden, würde das Blau heller als das Rot erscheinen. Aufgrund der in diesem Versuch deutlichen Leuchtdichte- und damit auch Helligkeitsunterschiede zwischen den drei Beleuchtungsszenarien ist anzunehmen, dass sich das Auge bei der Darbietung des nächstens Lichtreizes jeweils an dieses neue Helligkeitsniveau adaptieren musste. Daneben musste es sich aufgrund der Farbwechsel chromatisch adaptieren. Auch die Farbkontraste zwischen der Farbfläche und dem weißen Molton unterschieden sich jeweils für die drei Szenarien voneinander.

Es ist im Unterschied zu dem Versuch von Steer-Reeh (2012) an dieser Stelle darauf hinzuweisen, dass aufgrund der Höhe der dort genannten Beleuchtungsstärkewerte, die 10 cm hinter dem Fenster gemessen wurden (siehe Abschnitt 3.2.2), vermutlich keine tagadaptierte Situation am Auge der Betrachtenden in 2 m Abstand (siehe Abschnitt 3.1.) zustande kam.

Finale Szenarien

In den Abbildungen 26 und 27 sind Bilder von den finalen roten und blauen Szenarien zu sehen. Das neutrale Szenario ist bereits in Abbildung 6 dargestellt. Bei diesen Bildern ist es wichtig hinzuzufügen, dass sie die Farben und Helligkeiten (besonders im Fenster) nicht realitätsgetreu abbilden und sie nur zur besseren Vorstellung der finalen Szenarien der Leser und Leserinnen dieser Arbeit beitragen sollen. Das Fenster erschien deutlich homogener und in einem klaren roten bzw. blauen Farbton. Ebenso ist es mit den Abbildungen 28 und 29, die die Beobachtungsperspektive veranschaulichen sollen. Bei dem roten und blauen Szenario sieht der das Fenster umgebende Molton blau aus, was er in der Realität jedoch nicht war.



Abbildung 26: Rot: finales Beleuchtungskonzept

Quelle: Eigene Darstellung



Abbildung 27: Blau: finales Beleuchtungskonzept

Quelle: Eigene Darstellung

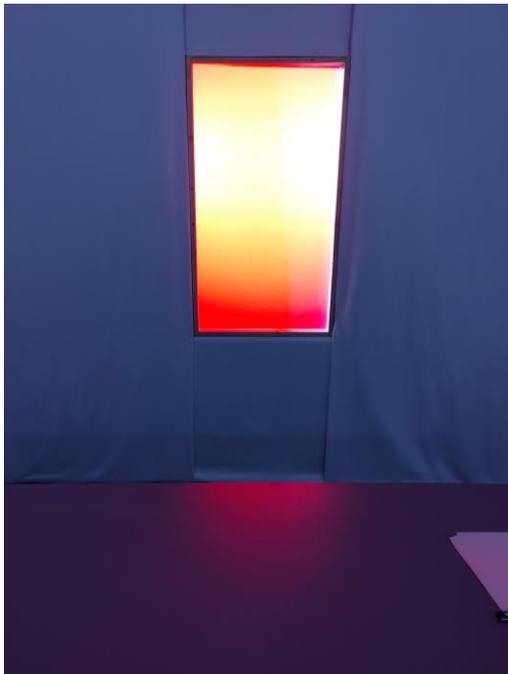


Abbildung 28: Rot: Beobachtungsperspektive

Quelle: Eigene Darstellung



Abbildung 29: Blau: Beobachtungsperspektive

Quelle: Eigene Darstellung

Die Teilnehmenden meldeten der Versuchsleitung zurück, dass das Licht, welches oben rechts über der Moltonkante hindurchschien (siehe Abbildungen 26 und 27), von der Betrachtungsposition aus nicht auffällig zu sehen war.

3.3 Messmethoden

Die physiologische Wirkung auf die Farblichtreize sollte mithilfe der HRV und die subjektive Einschätzung des persönlichen Wohlbefindens mit einer SAM-Befragung ermittelt werden. Diese Indikatoren beinhalten abhängige Variablen, da sie diejenigen sind, die sich durch eine Versuchsbedingung ändern können. Zudem sollten die unabhängigen Variablen (verändern sich nicht durch die Versuchsbedingungen) der Versuchspersonen in die Auswertung einbezogen werden, die durch einen Eingangsfragebogen abgefragt wurden, um grundlegende Daten über die Teilnehmenden zu erhalten. Außerdem wurde zum Ausschluss einer Farbfehlsichtigkeit ein Farbsehtest durchgeführt.

3.3.1 Herzratenvariabilität

Die HRV wurde ermittelt mithilfe der Aufnahme eines 12-Kanals-EKGs, welches durch das „Cardio Secur Pro 12“-System zur Verfügung stand. Dieses wurde an ein iPad angeschlossen (siehe Abbildung 30), welches mit der App „Cardio Secur Pro“ ausgestattet war. Gemäß den Vorgaben wurden die EKG-Elektroden, wie in Abbildung 30 zu sehen, auf dem Körper angebracht.

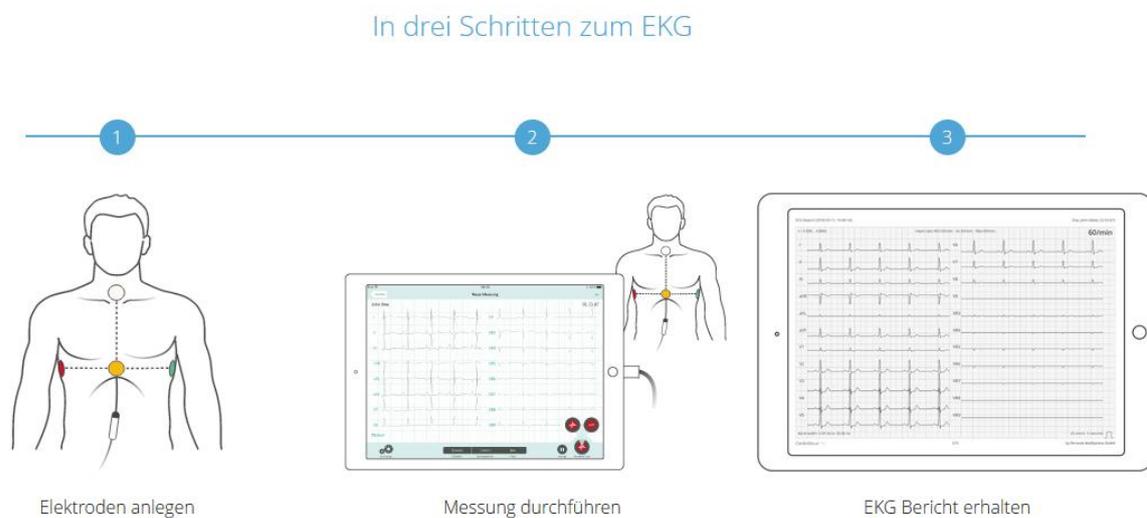


Abbildung 30: Cardio Secur Pro-System

Quelle: CardioSecur, 2023

Auf der Haut wurden die „H 98 SG, Micropore“ EKG-Überwachungselektroden aus Vlies von „Cardinal Health“ zur Ableitung des EKGs angebracht.

Wie in Abbildung 30 zu sehen ist, wurde nach der jeweiligen Messung in Schritt 3 automatisch ein EKG-Bericht generiert. Dieser wurde dann später bei der Auswertung mithilfe der Software „Kubios HRV Premium 3.5.0“ analysiert (siehe Abschnitt 5.1).

3.3.2 Subjektive Einschätzungen

Als eine Erweiterung zu der Studie von Steer-Reeh (2012) wurden die Teilnehmenden dazu aufgefordert, einen Eingangsfragebogen vor und mehrere SAM-Fragebögen während des Versuches auszufüllen. Dies sollte die rein physiologische Messung um Ergebnisse der subjektiven Bewertung des Wohlbefindens erweitern.

a) *Eingangsfragebogen*

Der Eingangsfragebogen hat vor dem Versuch grundlegende Daten wie z.B. Alter, biologisches Geschlecht, Erkrankungen und Vorwissen zum Thema Wirkung von farbigem Licht erhoben (siehe Anhang 9 unter „Eingangsfragebogen“). Diese Eigenschaften der Personen sind sogenannte unabhängige Variablen, die feststehen und nicht durch die Farbreize verändert werden können. Ebenso wurde erfragt, inwieweit die Teilnehmenden Vorerfahrung mit Entspannungstechniken gehabt hatten und ob sie zu der Zeit Schmerzen hatten. Diese Daten sind einerseits wichtig, um bei der Auswertung weitere relevante Einflussfaktoren vorhandener körperlichen Reaktionen zu berücksichtigen und andererseits, um mögliche aus der Statistik fallende Ergebnisse erklären zu können. Am Schluss dieses Fragebogens wurde die emotionale Befindlichkeit mittels SAM-Befragungsmethode erfasst (siehe nächster Abschnitt), um den Zustand der jeweiligen Personen vor dem Versuch zu erhalten und die danach ermittelten Daten aus den SAM-Fragebögen während der Lichtreize angemessen einordnen zu können.

b) *Self-Assessment-Manikin (SAM)*

Die SAM-Fragebögen dienen zur regelmäßigen Abfrage subjektiver Bewertungen des Wohlbefindens der Teilnehmenden während des Versuches. Diese sind abhängige Variablen. Die Hintergründe zu dieser Befragungsmethode sind im Folgenden dargelegt.

Mehrabian und Russel (1977) haben drei Dimensionen entgegengesetzter unabhängiger Emotionen ausgearbeitet: Zufriedenheit vs. Unzufriedenheit („Pleasure“ oder „Valence“), Erregung vs. Nicht-Erregung (Arousal) und Dominanz vs. Unterwürfigkeit (vgl. Russell & Mehrabian, 1977, S. 274). Diese sind jeweils bipolar und insofern unabhängig voneinander, als dass sie gleichzeitig in verschiedenen Größenordnungen nebeneinander existieren können. Nach ihrer Theorie sind z.B. Emotionen wie Wut und Angst eine Mischung aus den drei Größenordnungen (vgl. ebd.). Aus dieser Theorie wurde 1985 von Peter Lang die Self-Assessment-Manikin-Befragungsmethode (SAM) ausgearbeitet. Sie ist laut Morris (1995) eine vielversprechende Lösung, um Emotionen zu messen (vgl. Morris, 1995, S. 63). Der Zufriedenheitsgrad wird in Kürze „Pleasure“ oder „Valence“ genannt, der Erregungszustand „Arousal“ und der Grad der Dominanz „Dominance“. Für jede gibt es eine Figur, die das dazugehörige Stadium ausdrückt. Da jede Dimension bipolar ist, befindet sich z.B. links in der Kategorie „Pleasure“ eine Figur mit einem fröhlichen Gesicht und rechts eines mit einem unzufriedenen Gesicht. So entsteht eine 9-stufige Skala für jede Dimension, in der die Versuchspersonen ein Kreuz in einen unter den Figuren liegenden Kreis je nach Gemütszustand setzen können (vgl. Morris, 1995, S. 64). Somit ist die SAM-Befragungsmethode in jedem Land und jeder Kultur einfach zu verstehen und sie gibt die Möglichkeit, dass Versuchspersonen in weniger als 15 s ihren emotionalen Gemütszustand notieren können (vgl. ebd.).

Für diesen Versuch wurden die beiden Kategorien „Valence“ und „Arousal“ verwendet und auf die „Dominance“-Dimension verzichtet, da sich in Vorversuchen herausgestellt hat, dass die Teilnehmenden Schwierigkeiten hatten die Dominanzkategorie zu beantworten. Ebenso erwies sich aus Vorversuchen, dass eine 5-skalierte Bewertung (die auch Anwendung findet) für die jeweiligen Kategorien nicht ausreichend war. Deshalb wurde eine 9-skalierte SAM-Abfrage erstellt (siehe Anhang 9 unter „SAM-Fragebogen“). Zusätzlich zu den beiden Dimensionen gab es unten auf dem Fragebogen ein paar freie Notizenzeilen für Stichpunkte, die den Teilnehmenden die Möglichkeit gaben, mögliche Auffälligkeiten, die sie an sich selbst während des Versuches beobachteten, zu notieren.

3.4 Ausschlusskriterien für Versuchsteilnehmende

Für diesen Versuch sollten mindestens 20 gesunde Teilnehmende akquiriert werden, um ein aussagekräftiges Ergebnis zu erhalten. Gesund sollten die Teilnehmenden insofern sein, dass sie weder unter einer Art von Atemwegs- oder Herz-/Kreislaufkrankung, noch unter einer Hypertonie leiden. Ebenso durften sie nicht schwanger und in ihrer Farbsehfähigkeit beeinträchtigt sein. Dementsprechend galt das regelmäßige Einnehmen von Medikamenten, die auf das Herz-/Kreislauf- und das Atemsystem wirken, als Ausschlusskriterium. Auch Mittel, die die Wahrnehmung verändern, wie Drogen, sollten von den Teilnehmenden nicht regelmäßig und nicht in einem zeitlich nahen Abstand vor dem Versuch eingenommen worden sein, sodass ihre Wahrnehmung im Versuch davon beeinflusst würde.

Zur Feststellung, ob die Teilnehmenden voll farbsehfähig sind und nicht durch Farbfehlsichtigkeit beeinträchtigt werden, wurde ein „Oculus Binoptometer 4P“ verwendet (siehe Abbildung 31), welches über die Software „Binoptometer 4P“ gesteuert wurde. Es enthält mehrere Sehtestungen (OCULUS, 2023). Für diesen Versuch wurden die Ishihara Farbtafeln aus dem G37 Test herangezogen, welcher der Standardtest zur Ermittlung einer Farbfehlsichtigkeit ist (vgl. Goldstein, 2015, S. 206; Neitz & Neitz, 2000, S. 699).



Abbildung 31: Oculus Binoptometer 4P

Quelle: Eigene Darstellung

4 Versuchsdurchführung

Die Versuche fanden an der HAW Hamburg im Gebäude B der Finkenau 35 im Raum 3.028 statt. Sie wurden jeweils um 10 Uhr oder um 11 Uhr durchgeführt. Diese beiden Uhrzeiten wurden ausgewählt, um jeder teilnehmenden Person dieselben Rahmenbedingungen zu geben. Die Zeit am Vormittag sollte gewährleisten, dass die Personen am Versuch weder übermüdet (durch frühes Aufstehen) noch nach dem Mittagessen (im Mittagstief) teilnahmen, da diese Faktoren das vegetative Nervensystem beeinflussen (vgl. Trepel, 2022, S. 321–322; Zhang et al., 2022, S. 2). Hierdurch ist versucht worden, die genannten Einflussfaktoren so gut wie möglich zu vermeiden. Die Versuche von Steer-Reeh (2012, S. 48) hingegen wurden an vielen verschiedenen Tageszeiten durchgeführt. Außerdem sind bei ihrem Versuch die Blaulicht- und Rotlicht-Expositionen pro Versuchsperson an zwei verschiedenen Tagen durchgeführt worden, was aufgrund des zeitlichen Umfangs bei dieser Arbeit nicht gewährleistet werden konnte. Es ist nur ein einmaliges Erscheinen der Versuchspersonen nötig gewesen.

4.1 Ablauf

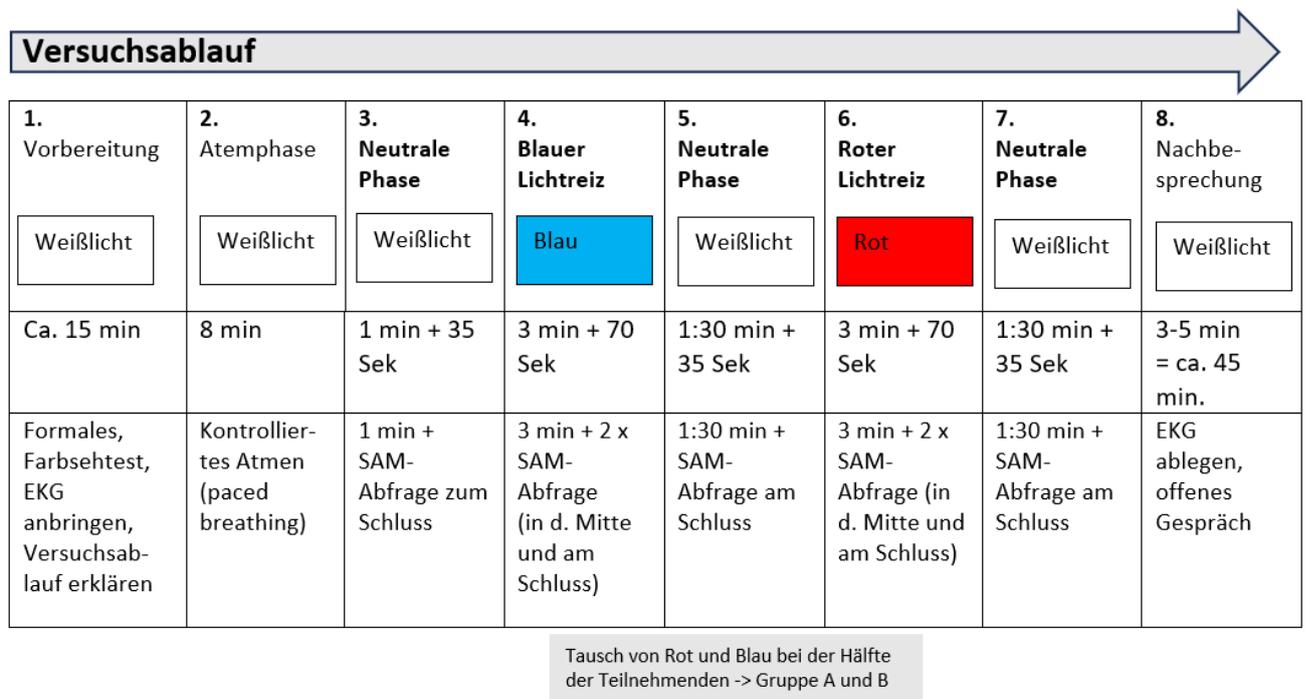


Abbildung 32: Versuchsablauf Übersicht

Quelle: Eigene Darstellung

Schematisch ist der Versuchsablauf in Abbildung 32 zu sehen: Er beinhaltet 8 Abschnitte, von denen der erste und der letzte Abschnitt ohne das angelegte Elektrokardiogramm durchgeführt worden sind. In den ersten beiden Phasen wird bereits der neutrale Lichtreiz, der später in Phase 3, 5 und 7 verwendet wird, eingeschaltet. So ist eine fotopische Beleuchtungssituation für die ankommenden Teilnehmenden gewährleistet.

Folgend werden die in der Abbildung 32 dargestellten Phasen erläutert.

Phase 1: Vorbereitung

In der ersten Phase wird zuerst mit der App „Random Number Generator“ eine 5-stellige Zufallszahl generiert (Pseudoanonymität der Versuchspersonen), der Aufklärungsbogen durchgelesen und die Einverständniserklärung und der Eingangsfragebogen von der Versuchsperson ausgefüllt (siehe Anhang 9). Danach wird ein Farbsehtest an ihr durchgeführt und nach positivem Testergebnis das Elektrokardiogramm (EKG) angelegt. Dann wird der Versuchsablauf noch einmal genau erklärt, Zeit für Fragen gegeben und die Sitzposition in 1,63 m Augenabstand zur Lichtreizfläche überprüft.

Phase 2: Gesteuertes Atmen

Danach folgt die zweite Phase des gesteuerten Atmens. In dieser werden über den Bluetooth-Kopfhörer, den die Teilnehmenden aufgesetzt haben, von dem Handy der Versuchsleitung aus mithilfe der App „Breathing Rhythm“ 8 min lang zwei Töne abgespielt, die den Atemrhythmus vorgeben. Beim hohen Ton soll eingeatmet und beim tiefen ausgeatmet werden. In der ersten Minute werden durch diesen Taktgeber 6 Atemzüge pro Minute vorgegeben, in der zweiten Minute 8 Atemzüge, in der dritten 10, und so weiter, bis final in der achten Minute 20 Atemzüge pro Minute.

Nach der Phase des gesteuerten Atmens folgen die Phasen der verschiedenen Lichtreize. Von hier an sollen die Teilnehmenden nach vorn frontal in das Fenster schauen.

Phase 3-7: Lichtreize und SAM-Befragungen

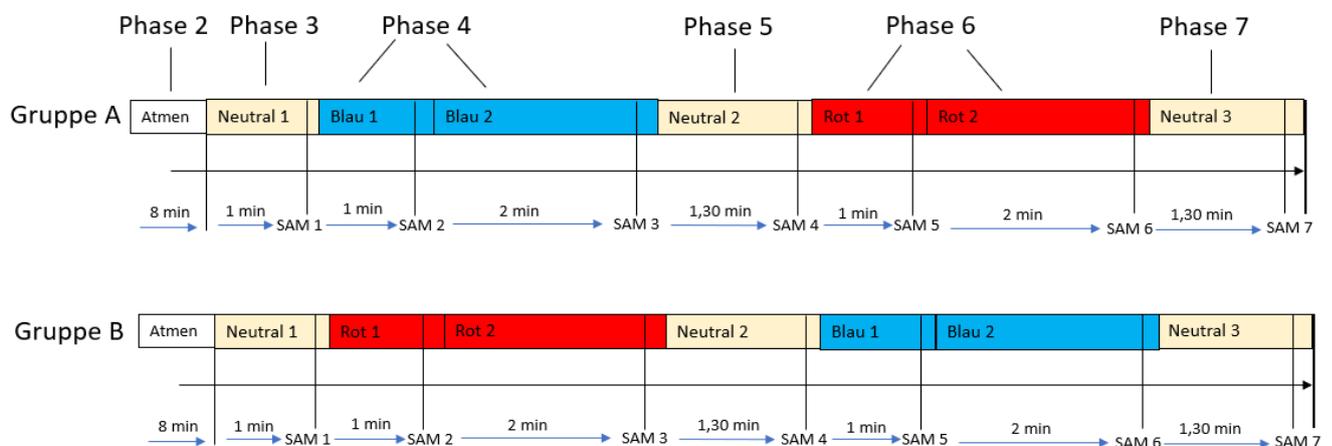


Abbildung 33: Lichtphasen und SAM-Abfragen

Quelle: Eigene Darstellung

Der erste Lichtreiz (Phase 3) ist das Neutralweiß, welches seit Beginn an (ab Phase 1) präsent gewesen ist und für eine Minute dargeboten wird. Der Sinn dieser Phase ist es, dass die Teilnehmenden ihren eigenen Atemrhythmus wiederfinden und sich an das Hineinschauen in das Fenster gewöhnen. Am Ende dieser Phase werden sie darum gebeten, den ersten SAM-Fragebogen auszufüllen.

Die Teilnehmenden sind wie in Abbildung 33 zu sehen, in 2 Gruppen aufgeteilt worden, „Gruppe A“ und „Gruppe B“. Gruppe A gehören die Teilnehmenden an, die zuerst dem blauen und als zweites dem roten Lichtreiz ausgesetzt werden. Bei Gruppe B ist diese Reihenfolge vertauscht, um sicher zu stellen, dass

eine gemessene Wirkung tatsächlich von dem Farbreiz abhängt und nicht von der Darbietungsreihenfolge, vom längeren Sitzen oder dem Hineinschauen in das Fenster.

In Phase 4 und 6 werden somit abhängig von der Gruppe der blaue oder rote Lichtreiz eingeschaltet. Die jeweilige Farbreizphase ist noch einmal in zwei Wiederholungen unterteilt, die „Rot 1“, „Rot 2“ bzw. „Blau 1“ und „Blau 2“ genannt werden (siehe Abbildung 33). Die Wiederholungen Rot 1 und Blau 1 dauern eine Minute, an deren Ende jeweils ein SAM-Fragebogen ausgefüllt wird. Die Wiederholung Rot 2 und Blau 2 dauern 2 min und haben am Anschluss ebenfalls jeweils einen SAM-Fragebogen. Zwischen Rot 1 und Rot 2 und Blau 1 und Blau 2 wird der Lichtreiz durchgängig dargeboten und nicht verändert (siehe Abbildung 33).

Die Phase 5 ist die wichtige neutrale Phase zwischen den beiden Farbreizen, um die Augen der Versuchspersonen wieder auf das Referenzweiß zu adaptieren, welches am Anfang und am Ende des Versuchs dargeboten wird. Dies soll vermeiden, dass die Zapfenempfindlichkeit, die das Auge entsprechend der ersten Lichtfarbe einstellt, das Aussehen der zweiten Lichtfarbe beeinflusst. So wird sichergestellt, dass die Wirkung der Lichtreize Rot und Blau einzeln betrachtet werden können. Die Dauer der Phase 5 von 1:30 min ist durch die Versuchsleitung nach ihrem eigenen Ermessen bestimmt worden.

Die EKG-Messung endet nach der Phase 7, in der wieder für 1:30 min dasselbe Neutral aus Phase 1, 2, 3 und 5 dargeboten wird. Mit dieser Phase und dem abschließenden SAM-Fragebogen soll überprüft werden, ob sich eventuelle subjektive Bewertungen verändern oder sich physiologische Auffälligkeiten aus Phase 6 wieder abschwächen. Danach ist der Versuch beendet und das EKG sowie die Kopfhörer können abgelegt werden. Da Neutral während der EKG-Messung in diesem Ablauf insgesamt 3 Mal dargeboten wird (ohne die Phase des Ankommens), werden die dazugehörigen Wiederholungen der Reihe nach „Neutral 1“, „Neutral 2“ und „Neutral 3“ genannt (siehe Abbildung 33).

Alle für jeden Versuch benötigten 7 SAM-Fragebögen liegen rechts umgedreht auf dem Tisch der Teilnehmenden und sind im Vorhinein von der Versuchsleitung dahingehend beschriftet worden, dass während des Versuchs eindeutig ist, welcher Fragebogen zu welchem Zeitpunkt ausgefüllt werden soll. Wenn die Personen das Ausfüllen des Fragebogens beenden, sollen sie ihn links von sich auf den Tisch zur Seite legen. Dies ist das Zeichen für die Versuchsleitung den nächsten Lichtreiz im Lichtpult einzustellen, falls die nächste Phase folgt.

Im Nachgang ist die durchschnittlich benötigte Zeit zum Ausfüllen eines SAM-Fragebogens berechnet worden. Sie hat 35 s betragen. Da in den Phasen 4 und 6 jeweils zwei Fragebögen ausgefüllt worden sind, sind dort im Versuchsablauf 70 s eingetragen worden (siehe Abbildung 32).

Phase 8: Nachbesprechung

In Phase 8 (siehe Abbildung 32) wird die teilnehmende Person gebeten, sich für eine kurze Nachbesprechung zu der Versuchsleitung zu setzen. Dadurch wird Zeit für Anmerkungen und Fragen gegeben. Ebenso wird noch einmal gemeinsam über die Notizen der SAM-Fragebögen, wenn vorhanden, ge-

schaut, um sicherzustellen, dass die Versuchsleitung diese bei der Auswertung sicher interpretieren und verstehen kann.

Während der gesamten EKG-Aufzeichnung führt die Versuchsleitung ein Zeitprotokoll, indem sie die Zeiten der verschiedenen Phasen im Versuchsablauf notiert (siehe Anhang 7, Abbildung 70).

4.2 Versuchsanleitung

An dieser Stelle wird beschrieben, wie die Versuchsleitung die Durchführung angeleitet hat.

Die Versuchsleitung hat intendiert, mit jeder teilnehmenden Person in einem neutralen und rahmengebenden Tonfall zu sprechen und ihr dieselben Dinge zu erklären. Sie hat u.a. darauf hingewiesen, dass jede Person in der Atemphase auf das eigene Wohlergehen achten und bei Unwohlsein in einem für die Person angenehmen Rhythmus atmen soll. Trotz dieser Anmerkungen hat die Versuchsleiterin eindeutig vermittelt, dass es wichtig ist, so gut wie möglich dem Atemrhythmus zu folgen und dass der Fokus der Lichtreize geradeaus auf dem Fenster liegen soll – wenngleich nichts geleistet werden muss und die Personen entspannt sitzen dürfen. Ebenso hat sie darauf hingewiesen, dass die Kopfhörer, wenn möglich die gesamte Versuchszeit über aufgelassen werden sollen. Diese Bedingung ist aus dem Grund entstanden, dass die Leitung davon ausgegangen ist, dass es dadurch den Personen leichter fallen könnte, den Fokus auf das Fenster beizubehalten und sich von der Leitung und den leichten Geräuschen außerhalb des Raumes nicht irritieren zu lassen. Schlussendlich sind alle Teilnehmenden damit einverstanden gewesen, die ganze Zeit die Kopfhörer aufzulassen.

Ebenso ist beim Versuchsablauf erklärt worden, dass das freie Notizfeld in den SAM-Fragebögen optional ist und dass es nur genutzt werden soll, wenn es Auffälligkeiten gibt. Die Versuchsleitung hat angemerkt, dass es kein Problem sei, wenn sie keine besonderen Auffälligkeiten an sich bemerken. Dies hat bewirken sollen, dass durch die künstliche Versuchsbedingung keine zusätzlichen Wirkungen generiert werden. Dies hat jedoch eine Möglichkeit gegeben, wichtige Informationen zu erhalten, die ansonsten nach dem Versuch möglicherweise in Vergessenheit geraten wären.

Vor jedem SAM-Fragebogen hat die Versuchsleitung bei jeder Versuchsperson in einem natürlichen Tonfall deutlich den kurzen Satz „Einen Fragebogen bitte“, gesagt. Dieser Satz ist auch schon bei den Erklärungen im Vorhinein kommuniziert worden, sodass die Teilnehmenden dies als ein eindeutiges Zeichen verstanden haben, einen SAM-Fragebogen umzudrehen, auszufüllen und an die Seite zu legen. Dies hat so lange funktioniert, bis einer Person nicht klar gewesen ist, dass sie einen bereits zur Seite gelegten Fragebogen nicht wieder aufdecken soll. Nach diesem Fall hat die Versuchsleitung die Anweisungen im Vorhinein noch genauer kommuniziert und seitdem hat es keine weiteren Missverständnisse gegeben.

4.3 Versuchsgruppe

Die Anmeldung für diesen Versuch ist anonym durch ein Terminfindungsprogramm abgewickelt worden. Jede Person hat sich jeweils zu einem Termin um 10 Uhr oder um 11 Uhr eingetragen. Es ist dort noch einmal explizit auf die Ausschlusskriterien hingewiesen worden.

Insgesamt haben an diesem Versuch 23 Personen im Alter von 21-39 Jahren teilgenommen. Der arithmetische Mittelwert hat 26,5 Jahre betragen. 20 der 23 aufgenommenen EKGs sind im Nachhinein auswertbar gewesen, jedoch drei von ihnen nicht. In Abschnitt 4.4. werden die Gründe hierfür genannt. Bei den drei Personen, deren EKGs nicht auszuwerten gewesen sind, sind nur die Fragebögen ausgewertet worden. Unter den 20 Teilnehmenden, deren EKGs auswertbar gewesen sind, hat es 9 Teilnehmende gegeben, die angegeben haben, ein weibliches und 10 Teilnehmende ein männliches biologisches Geschlecht zu haben. Eine teilnehmende Person hat keines angegeben. Wichtig ist es an dieser Stelle darauf hinzuweisen, dass des Weiteren im Fragebogen die Möglichkeit gegeben wird, andere Zuordnungen wie „Frau-zu-Mann-transsexuell“, „Mann-zu-Frau-transsexuell“ und „intersexuell“ anzugeben (siehe Anhang 9 unter „Eingangsfragebogen“).

Gruppe A hat aus insgesamt 10 Teilnehmenden bestanden, wovon 5 weiblich und 5 männlich sind. Gruppe B hat ebenfalls aus 10 Teilnehmenden bestanden, wovon 4 weiblich und 5 männlich und eine Person ohne Angabe sind. Von den 3 Personen, deren EKG nicht auswertbar gewesen ist, haben 2 der Gruppe B und eine Person der Gruppe A angehört. In beiden Gruppen haben 6 Teilnehmende an dem Termin um 10 Uhr und 4 an dem Termin um 11 Uhr teilgenommen. Bei Gruppe A und B gehören jeweils 5 Personen dem vegetativen Typen der Vagotoniker und 5 den der Sympathotoniker an. Wie diese genau bestimmt worden sind, wird in Abschnitt 5.1.3 erläutert. Dass sich die Anzahl der vegetativen Typen gleichmäßig auf die Gruppen aufgeteilt hat, ist ein Zufall gewesen. Ebenso gleichgewichtig ist die Verteilung der Geschlechter auf die vegetativen Typen gewesen: Insgesamt sind hier unter den Sympathotonikern 4 weibliche und 5 männliche Versuchspersonen und unter den Vagotonikern 5 weibliche und 5 männliche gewesen.

Alle Teilnehmenden sind den nach im Kap 3.4 genannten Kriterien gesund gewesen. Durch den Farbsehtest ist ermittelt worden, dass niemand eine Farbsehschwäche gehabt hat.

4.4 Hindernisse bei der Durchführung

Während der ersten Durchführungen hat sich herausgestellt, dass die „Cardio Secur“-App die Sekunden etwas schneller zählt als die Stoppuhr. Dadurch ist die EKG-Aufzeichnung der App bei z.B. einer 20-minütigen Aufzeichnung um ca. 20 s länger gewesen als die der mit der Stoppuhr gestoppten Zeit. Somit ist ein umfangreicheres Protokoll geführt worden als zunächst geplant, in dem zum einen die Zeit der Stoppuhr und zum anderen die Zeiten der „Cardio Secur“-App aufgeschrieben worden sind (siehe Anhang 7, Abbildung 70). Diese beiden Zeiten sind gemäß den Phasen im Versuchsverlauf zugeordnet worden, um am Ende bei der Auswertung mit der Software Kubios die Zeitintervalle korrekt einzustellen. Die Zeit der Stoppuhr ist während des Versuchs sehr wichtig gewesen, um sicherzustellen, dass die Lichtphasen für jede Person in derselben Länge durchgeführt werden. So hat sich das Umschalten am Lichtpult an den Stoppuhr-Zeiten orientiert.

Neben dem Problem mit den gemessenen Zeiten bei Cardio Secur, hat es zudem auch das Hindernis gegeben, dass die Messung des EKGs nach ca. 20 min abgebrochen sind und die ersten bereits gemessenen Daten mit neu gemessenen Daten überschrieben worden sind. Es hat keinen Grund gegeben, der dies erklären konnte, denn die maximale Messungszeit ist bereits auf 30 min eingestellt gewe-

sen. So hat die Versuchsleitung nach den ersten anfänglich gescheiterten Messungen ihren Versuchsablauf anpassen müssen, in dem sie für jede Versuchsperson insgesamt drei kürzere Messungen durchgeführt hat. Dies hat zur Folge gehabt, dass die Versuchsleiterin während der Phasen 2-7 zwei Mal aufgestanden ist und das EKG gestoppt und wieder neu gestartet hat. Dadurch hat es sichere und qualitativ gute Messungen gegeben. Die Versuchsteilnehmenden sind im Vorhinein darüber informiert worden, damit sie sich während des Versuches davon nicht gestört fühlen. Durch die Notwendigkeit der drei Messungen pro Person ist der rechte Tisch aus Abbildung 6 nach links gestellt worden (siehe Abbildung 5). So sind entsprechende Störungen im Versuchsablauf vermieden worden. Das Aufstehen der Versuchsleitung ist demnach nach der Atemphase und nach der SAM-Abfrage der vierten Phase erfolgt. In beiden Fällen ist vor dem Aufstehen auf die neutrale Phase umgeschaltet worden und die 5 s, die durch das Stoppen und Neustarten verloren gegangen sind, sind mit einberechnet worden. So haben die Personen in dem Versuchsablauf keine Unterbrechung erlebt und alle dieselbe Länge der neutralen Phase gesehen. Die Messungen der ersten 5 s fehlen dadurch in den neutralen Phasen 3 und 5. Ein weiteres Hindernis bei der Durchführung ist die diffuse Folie gewesen, deren Oberflächenstruktur sich mit den voranschreitenden Tagen langsam aufgelöst hat. Dadurch haben sich Muster entwickelt (siehe Anhang 7, Abbildung 71)

Zudem ist es schwierig gewesen, den Raum zu lüften. Außerdem ist mit der Zeit durch die Leuchten die Raumtemperatur angestiegen.

Vom Ablaufplan (siehe Abbildung 32) hat es eine Abweichung in der benötigten Zeit für die SAM-Befragungen gegeben: Für sie sind dort durchschnittlich 35 s pro Fragebogen angegeben worden. Durch die frei ausfüllbare Notizzeile auf dem SAM-Fragebogen jedoch, hat die Dauer der Bearbeitung des SAM-Fragebogens bei jeder Person verschieden lang gedauert. So haben manche Teilnehmenden während des Versuchs keine Besonderheiten beobachtet und im Durchschnitt 15 s für das Ausfüllen benötigt. Andere hingegen haben einige Auffälligkeiten an sich beobachtet, diese zu Papier gebracht und dementsprechend mehr Zeit zum Ausfüllen benötigt. Der Maximalwert hat dabei 1:42 min betragen.

5 Auswertungsmethoden

Die EKG-Messergebnisse dieses Versuches sind mittels Kubios-Software ausgewertet und anschließend zusammen mit den Werten aus den SAM-Fragebögen in eine Excel-Tabelle eingetragen worden. Diese ist in das Statistik-Programm „IBM SPSS Statistics“ eingelesen worden, sodass anschließend eine statistische Auswertung durchgeführt werden konnte.

5.1 Kubios Software

In der Software „Kubios HRV Premium 3.5.0“ sind die EKG-Ergebnisse der jeweiligen Versuchsteilnehmenden im Kanal 1 eingelesen worden. Die Messintervalle sind gemäß dem Zeitprotokoll in genauen Sekundenangaben eingetragen worden. In Abbildung 34 ist davon ein Beispiel zu sehen. Im obersten Teil dieser Abbildung wird der Verlauf der RR-Intervalle über die Zeit angezeigt. Oberhalb der Zeitachse sind die Phasen eingetragen. Die Zahlen „6“ bis „20“ stehen dabei für die Phasen des gesteuerten

Atmens und die Beschriftungen danach zeigen die Intervalle für die Lichtphasen und SAM-Befragungen gemäß der Abbildung 33 aus dem Abschnitt 4.1 an.

Die Aufzeichnungen des EKGs während der SAM-Abfragen sind bei der Auswertung nicht berücksichtigt worden. Es ist jedoch wichtig gewesen, die Intervalle der Abfragen anzugeben, um sie aus der Auswertung herausnehmen zu können, sodass Bewegungen des Körpers und die kurzen damit verbundenen Denkphasen der Teilnehmenden nicht in die EKG-Ergebnisse der Farbphasen mit einfließen.

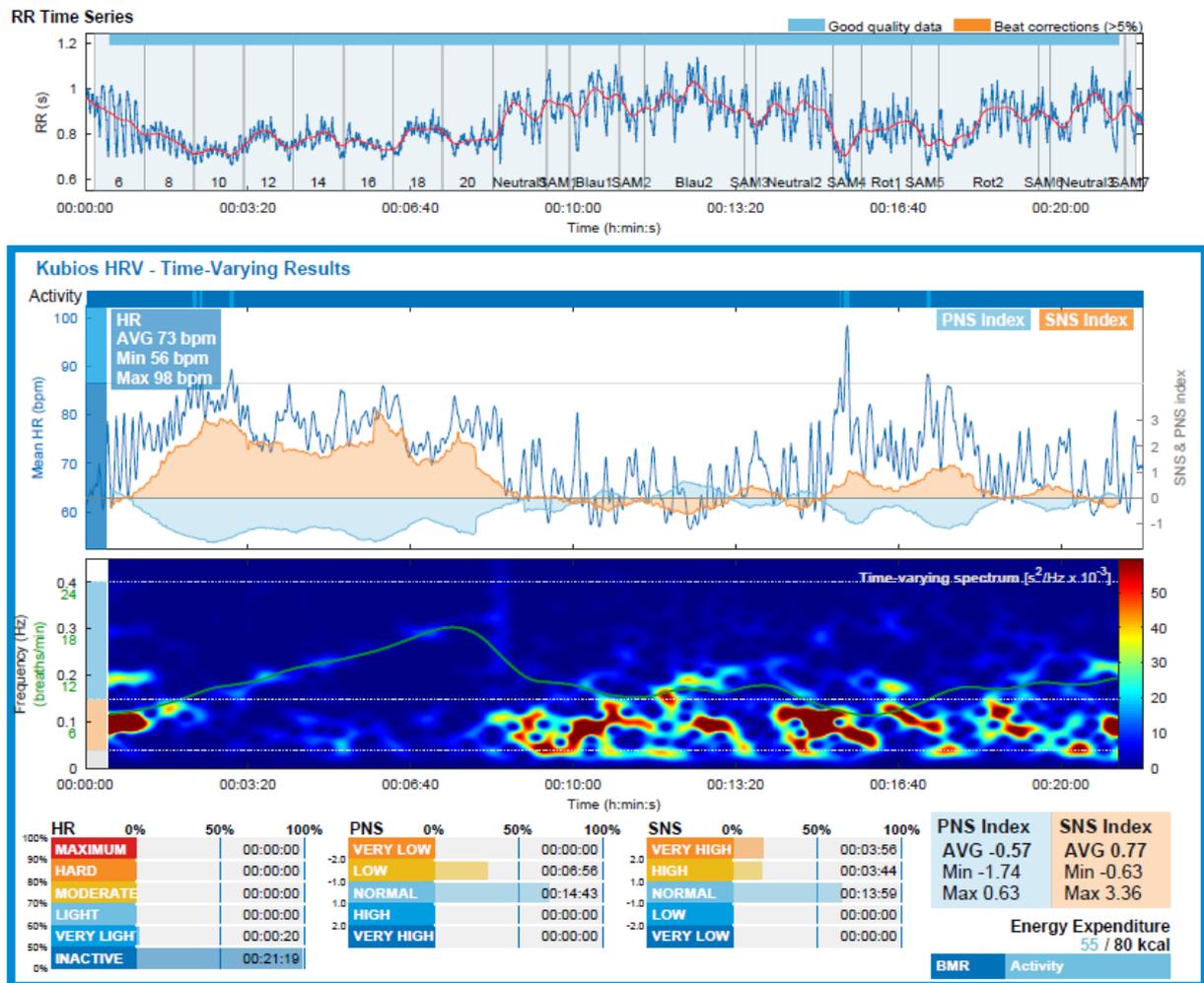


Abbildung 34: Kubios: Phasen und Spektrogramm

Quelle: Eigene Darstellung

5.1.1 Herzratenvariabilität

Kubios gibt automatisch für die einzelnen Intervalle die gemessenen zeitbasierten, frequenzbasierten und nichtlinearen Parameter an. Diese werden dort der Reihe nach „Time-Domain“, „Frequency-Domain“ und „Nonlinear“ genannt. In der Abbildung 35 ist ein Beispiel für die Ergebnisse einer Person in einem Intervall zu sehen.

Die Atemfrequenz „RESP“ wird ebenso durch das Programm ermittelt, hingegen wird die RSA händisch in Kubios ermittelt. Dies wird in Abschnitt 5.1.3 erklärt.

In Absprache mit Prof. Dr. Jürgen Lorenz sind für diese Auswertung die schon in Abschnitt 2.3 erklärten Indikatoren ausgewählt worden. Sie sind in folgender Tabelle 8 aufgelistet.

Tabelle 8: Verwendete Auswertungsindikatoren aus Kubios

Time-Domain	Frequency-Domain	Nonlinear	Weitere
Mean RR	LF (Power (log))	SD1	RESP
SDNN	HF (Power (log))	SD2	RSA
RMSSD			

Quelle: Eigene Darstellung

„Mean RR“ gibt dabei den durchschnittlichen Abstand der Herzschläge (RR-Intervalle) in ms an. „RESP“ gibt die Atemfrequenz an und „LF“ und „HF“ sind das tieffrequente und das hochfrequente Band. Das LF-Band reicht standardmäßig, wie in Abschnitt 2.3.3 beschrieben, von 0,04 bis 0,15 Hz und das HF-Band von 0,15 bis 0,4 Hz.

Die untere blau hinterlegte Graphik in Abbildung 34 zeigt das Spektrum der Messung, in dem die Frequenzen über die Zeit abgebildet werden. Dabei steht der hellorange Teil des Balkens an der Y-Achse für die LF-Komponenten und der darüber liegende hellblaue Bereich für die HF-Komponenten. Ebenso wird die Stärke der Leistungsdichte durch die rot-orange Untermauerung indiziert. Anhand dieses Beispiels kann man deutlich sehen, dass die Leistungsdichte ab ca. 8 min im LF-Bereich deutlich zunimmt.

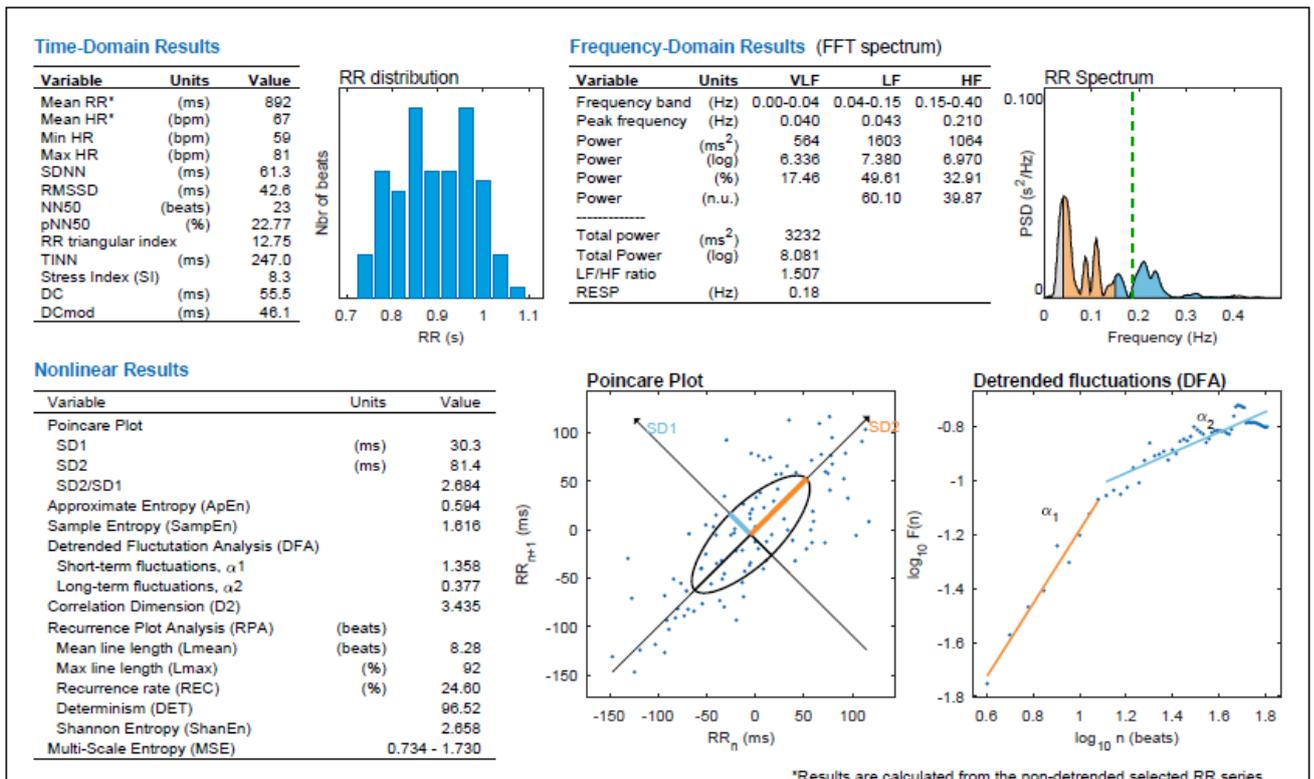


Abbildung 35: Gewählte Werte aus Kubios

Quelle: Eigene Darstellung mithilfe der Kubios-Software

5.1.2 Atemfrequenz

Kubios gibt zudem für jedes Intervall auch eine Atemfrequenz „RESP“ an, die mithilfe eines Software-internen EDR-Algorithmus ermittelt wird. Die Atemfrequenz ist nicht nur als unabhängiger Wert für die finale Auswertung von Relevanz, sondern dient auch zur Bestimmung der RSA. Mehr dazu ist im folgenden Abschnitt zu lesen.

5.1.3 Respiratorische Sinusarrhythmie

Die RSA hat in diesem Versuch zwei Aspekte gedient: Einerseits hat sie in der Phase des gesteuerten Atmens zur Ermittlung des vegetativen Typs gedient und andererseits als Indikator für eine mögliche physiologische Wirkung der Farben während der Lichtreizphasen (Übersicht dazu siehe in Abbildung 38). Die folgenden Vorgehensweisen bei der Ermittlung des RSA-Wertes und des daraus resultierenden vegetativen Typs gehen auf das fachkenntliche Wissen von Prof. Dr. Jürgen Lorenz zurück. Die RSA ist für beide Fälle auf Grundlage der Atemfrequenz mithilfe von Kubios bestimmt worden.

Vegetativer Typ

Um den vegetativen Typen bestimmen zu können, ist in der Phase des gesteuerten Atmens die Frequenz des vorgegebenen Atemrhythmus aus der App „Breathing Rhythm“ verwendet worden. Sie errechnet sich aus den Atemzügen pro Minute. Wie sich daraus der RSA-Wert ermittelt, wird folgend anhand der Phase von 6 Atemzügen pro Minute dargelegt: 6 Atemzüge pro Minute entsprechen einer Atemfrequenz von 0,1 Hz. Da das HF-Band ein Indikator für die parasympathische Aktivität ist (so wie die RSA), ist die Spannweite dieses Bandes abhängig von der Atemfrequenz verändert und in ihm ein Bandpass von 0,08 Hz eingestellt worden. Um den Wert von 0,1 Hz herum ist somit ein Bandpass eingestellt worden, der von 0,06 Hz bis 0,14 Hz reicht. Der Wert der RSA ergibt sich dann durch die von Kubios in dem HF-Band ermittelte „Power (log)“. Ein Beispiel dazu ist in Abbildung 36 zu sehen: Der blau markierte Wert ist der ermittelte RSA-Wert (linke Tabelle in der Abbildung 36). Der eingestellte Bandpass ist rechts unten in der Abbildung in den blauen Kästchen rechts neben „Hf (Hz)“ zu finden. Die Daraus resultierenden RSA-Werte sind für jede Versuchsperson in der darauffolgenden Tabelle 9 aufgelistet. In dieser Tabelle sind links die Versuchspersonen durch die zugehörigen 5-stelligen Zufallszahlen und in den Spalten rechts daneben die für die jeweilige Atemphase ermittelten RSA-Werte und ganz rechts die daraus resultierenden Mittelwerte pro Versuchsperson notiert. Beiläufig ist zu erwähnen, dass die blaumarkierten zur Gruppe A und die rotmarkierten zur Gruppe B gehören. Die graumarkierten sind die Versuchspersonen, bei denen keine EKG-Messung vorliegt.

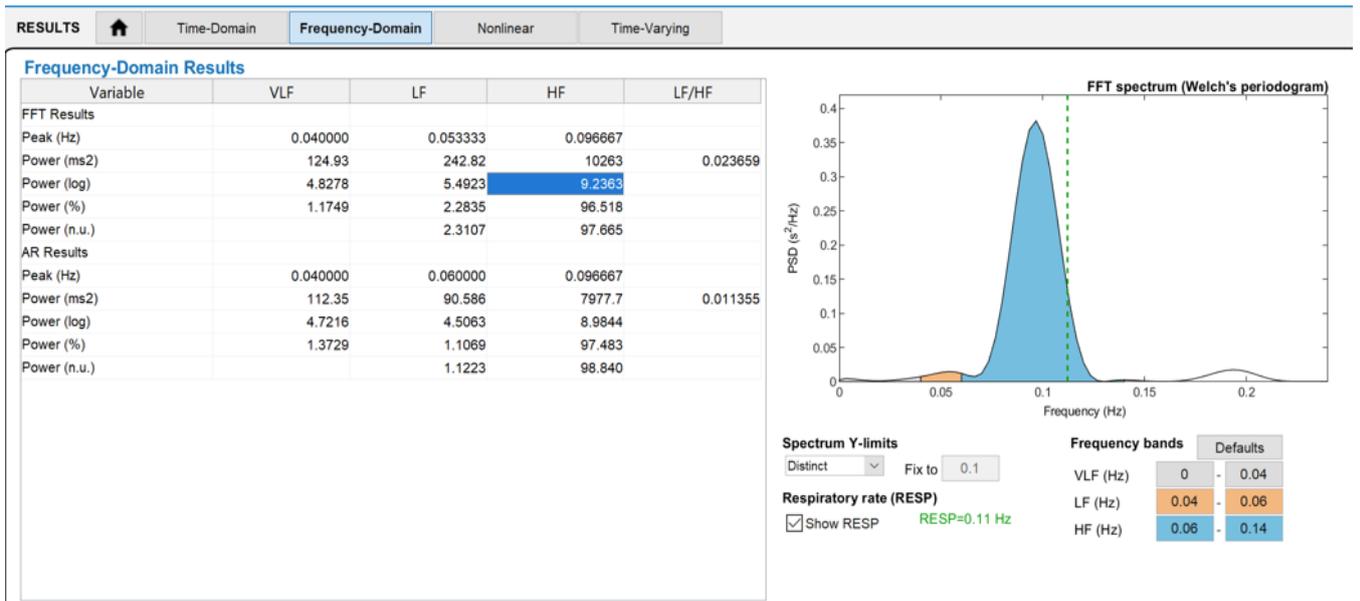


Abbildung 36: RSA in Kubios

Quelle: Eigene Darstellung mithilfe der Kubios-Software

Tabelle 9: RSA-Werte: gesteuertes Atmen

RSA-Gesteuertes Atmen										
	Atemphase	6	8	10	12	14	16	18	20	Mittelwert
Nr.	Person									
1	21692	8,99	7,21	5,40	6,31	5,87	4,08	5,53	4,12	5,94
2	28125	8,78	7,91	7,44	6,97	6,64	6,06	6,02	5,99	6,98
3	35181	9,09	8,96	7,11	6,58	7,05	6,60	6,15	6,40	7,24
4	37426	8,22	6,99	5,61	4,77	3,92	3,54	2,90	3,65	4,95
5	53261	9,69	8,79	7,99	7,10	6,60	6,26	4,16	4,83	6,93
6	54666	7,50	5,91	5,28	4,22	3,85	3,70	2,84	3,64	4,62
7	55856	8,56	7,79	6,67	6,25	4,27	4,40	3,75	4,07	5,72
8	73243	8,15	7,29	5,51	3,70	3,33	2,49	1,96	1,78	4,28
9	78676	9,19	9,47	8,86	7,98	8,08	7,76	7,18	7,50	8,25
10	93813	8,75	8,18	6,61	5,58	5,31	4,87	4,43	5,15	6,11
11	99755									
12	19271	9,10	8,24	7,41	6,61	5,89	5,81	5,63	4,96	6,71
13	26251	7,93	6,52	5,48	4,28	3,48	3,10	2,22	2,73	4,47
14	35832									
15	35978	8,48	8,77	7,24	5,70	5,30	4,93	4,09	4,02	6,07
16	41511	7,81	7,28	6,56	5,66	4,90	3,76	4,75	3,84	5,57
17	43147									
18	45411	9,24	7,82	6,96	6,04	4,99	4,44	4,21	4,42	6,02
19	59379	9,13	7,68	5,73	4,43	4,29	3,79	3,93	3,66	5,33
20	62748	7,80	7,15	6,46	5,47	4,96	5,82	5,30	5,12	6,01
21	72734	9,21	8,28	7,39	5,14	4,55	4,92	3,53	4,36	5,92
22	77742	8,64	7,87	6,05	5,17	5,26	5,67	4,71	5,14	6,06
23	92193	8,90	7,85	7,29	5,89	5,03	4,49	4,44	4,21	6,01

Quelle: Eigene Darstellung

Diese für die jeweilige Atemphase ermittelten RSA-Werte sind zusätzlich graphisch in der Abbildung 37 als Punkte dargestellt. Die Atemphase ist dabei auf der X-Achse und der RSA-Wert auf der Y-Achse zu finden. Durch die Werte, die als Punkte dargestellt sind, ist pro Person eine Regressionsgerade gezogen worden. Auffällig bei diesem Ergebnis ist, dass sich keine dieser Geraden überschneidet, was bedeutet,

dass jede Versuchsperson hier eine individuelle Stärke der RSA hat, die sich über alle Atemfrequenzen hinweg gleichmäßig von denen der anderen unterscheidet.

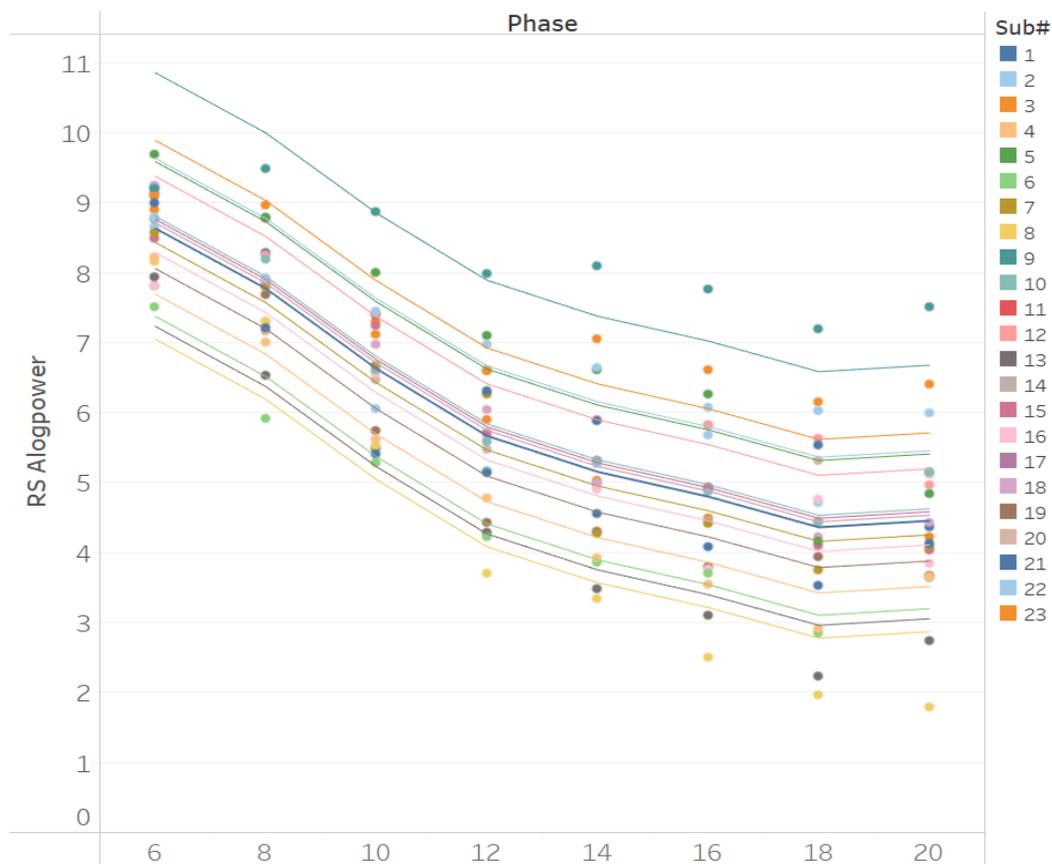


Abbildung 37: RSA-Werte aller Teilnehmenden: gesteuertes Atmen

Quelle: erstellt von Bernd Lorenz

Aus diesem Grund kann die Gruppe der Versuchsteilnehmenden hier in die zwei vegetativen Typen (siehe Abschnitt 2.3.2) eingeteilt werden. Dafür ist für jede Versuchsperson als erstes der Mittelwert aller RSA-Werte über alle Atemphasen berechnet worden (siehe rechte Spalte in Tabelle 9). Um die Gruppe in zwei gleichgroße Hälften aufzuteilen, ist daraufhin als erstes der Median aller Mittelwerte errechnet worden. Dieser hat 6,01 betragen. Alle Teilnehmenden unterhalb dieses Wertes sind dem vegetativen Typ „Sympathotoniker“ und der hier sogenannten „Synchronisation-Group 1“ zugeordnet worden und alle oberhalb, dem Typ „Vagotoniker“ bzw. der „Synchronisation-Group 2“. Diese Einteilung ist bei der Auswertung berücksichtigt worden, um zu untersuchen, ob sie eine potenziell unterschiedlich starke Ansprechbarkeit der Versuchspersonen auf die Reize erklären kann. Außerdem ist für den Fall fehlender signifikanter Untersuchungsergebnisse zwischen den Farbreizen eine weitere Möglichkeit gegeben worden, eine Signifikanz zwischen den Farbreizen zu ermitteln.

RSA-Werte der Lichtreizphasen

Die RSA-Werte der Lichtreizphasen sind ebenfalls mithilfe der Atemfrequenz und eines Bandpasses von 0,08 Hz bestimmt worden. Hierbei ist die Atemfrequenz herangezogen worden, die durch den soft-

ware-internen EDR-Algorithmus angegeben wird. Die durch diesen Algorithmus festgestellte Atemfrequenz ist beispielhaft rechts in der Abbildung 36 in grüner Schrift bei „RESP=0,11 Hz“ zu sehen.

Das Prozedere ist dann das gleiche wie bei der Ermittlung des vegetativen Typs: Bei einer Atemfrequenz von beispielsweise 0,2 Hz ist im HF-Band ein Bandpass eingestellt worden, der in diesem Fall von 0,16 bis 0,24 Hz reicht. Der RSA-Wert ist dann an derselben Stelle, wie zuvor beschrieben (siehe Abschnitt 5.1.3 „Vegetativer Typ“) abgelesen worden. Diese Werte haben, wie die Parameter der HRV, als Indikatoren für eine mögliche physiologische Wirkung der Farben gedient.

5.2 Subjektive Einschätzung

Die Dimensionen „Valence“ und „Arousal“ der SAM-Fragebögen sind jeweils in eine 9-stufige Bewertungsskala eingeteilt worden. Dementsprechend ist den 9 Stufen in der Auswertung jeweils ein Wert von 1-9 zugeteilt, welche in Tabelle 10 aufgeführt sind. Die zwischen 1 und 9 liegenden Werte sind der Reihe nach den subjektiven Einschätzungen zwischen dem minimalen und maximalen Valence- bzw. Arousal-Wert zuzuordnen. In Anhang 9 ist die Skala auf dem SAM-Fragebogen noch einmal nachzuvollziehen.

Tabelle 10: Bewertungsskalen der SAM-Dimensionen

Valence	Wert		Arousal	Wert
Sehr zufrieden	1		Sehr angespannt	1
Dazwischen	2...8		Dazwischen	2...8
Sehr unzufrieden	9		Sehr ruhig	9

Quelle: Eigene Darstellung

Die Aussagen der Teilnehmenden, die aus der Notizzeile auf dem SAM-Fragebogen zu entnehmen sind, sind bei der Auswertung in Kategorien zusammengefasst worden, um repetitive Aussagen zu identifizieren.

5.3 Statistische Auswertung

Die Ergebnisse, die sich aus den physiologischen Messungen und den subjektiven Einschätzungen ergeben haben, sind statistisch mithilfe der Software „IBM SPSS Statistics“ ausgewertet worden. Die Messergebnisse sind zuerst in eine „Long-Format“-Tabelle eingetragen und dann in die Software eingelesen worden. Es ist daraufhin entschieden worden, ein „Generalized Linear Mixed Model“ anzuwenden. Es ist u.a. gut geeignet, wenn wie im Abschnitt 4.3 beschrieben, bei drei Versuchspersonen keine (physiologischen) Messergebnisse vorliegen. In der „Long-Format“-Tabelle sind neben den abhängigen auch die unabhängigen Variablen eingetragen worden, um festzustellen, ob diese neben den Farbreizen auch einen Einfluss auf die Ergebnisse haben.

Es sind bei der statistischen Auswertung die subjektiven Einschätzungen des Eingangsfragebogens und die Ergebnisse des Neutral 1 außer Acht gelassen worden (siehe Abbildung 38), da es mit ihnen bei dieser Art von Auswertung ansonsten ein Ungleichgewicht zwischen den beiden Wiederholungen der

Farbreize und den drei Neutralwiederholungen gegeben und die statistische Auswertung inkonsistent gemacht hätte. Außerdem sollte der Fokus auf den Wirkungen der Farbreize liegen, weshalb hier alle ermittelten Ergebnisse der Phasen 4-7 berücksichtigt worden sind (siehe ebd.) Da die Phase des Neutral 1 nicht berücksichtigt worden ist, wird fortlaufend ab dieser Stelle das ursprüngliche im Ablaufplan aufgeführte Neutral 2 „Neutral 1“ und das ursprüngliche Neutral 3 „Neutral 2“ genannt. Diese Neuerungen sind in folgender Abbildung 38 zu sehen.

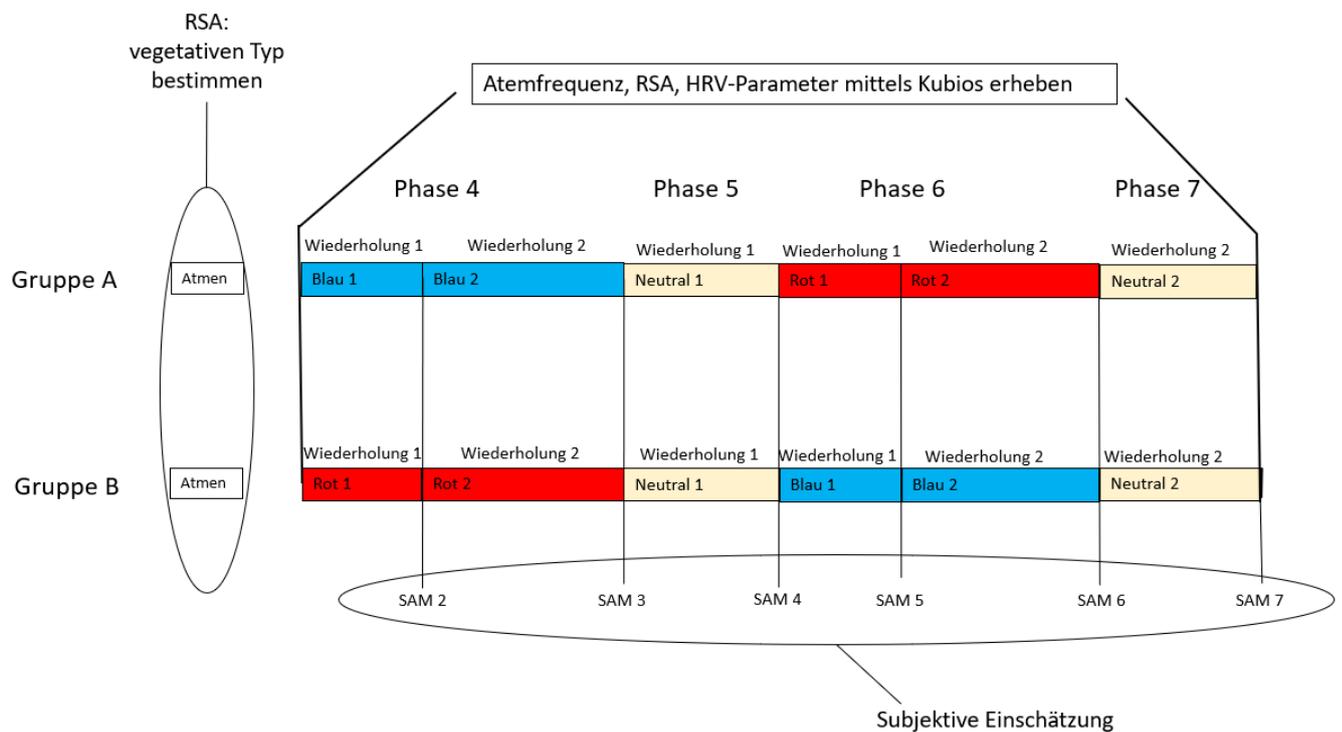


Abbildung 38: Auswertung Übersicht

Quelle: Eigene Darstellung

In der Statistik wird von Signifikanz gesprochen, wenn die Auswertung ein Ergebnis unter 5% liefert, es also kleiner als der Wert 0,05 ist. Als „marginal signifikant“ wird in dieser Arbeit der Bereich zwischen 0,05 und 0,1 bewertet. Wichtig ist es, hier jedoch hinzuzufügen, dass es für die marginale Signifikanz keine eindeutigen Grenzen gibt, es jedoch hierbei darum geht, Ergebnisse nicht außer Acht zu lassen, die für die Analyse wichtig sein könnten. Demnach können marginale Signifikanzen Tendenzen aufzeigen und darauf hinweisen, dass das Ergebnis unter derselben Versuchsbedingung bei einer größeren Versuchsgruppe eventuell signifikant werden kann. Deshalb ist es wichtig, diesen Bereich mit einzubeziehen.

In Tabelle 11 ist ein Beispiel für ein Ergebnis eines Indikators zu sehen, bei dem die sogenannte „Interaktion“ von „Gruppe“, „Farbe“ und „Wiederholung“ betrachtet worden ist. Entscheidend für die Auswertung ist, dass in der Tabelle der Signifikanz-Wert der Spalte „Anp. Sig.“ abgelesen wird. In diesem Beispiel ist eine Signifikanz bei Neutral 1 zwischen der Gruppe A und B von 0,018 zu sehen und ebenfalls eine marginale Signifikanz bei Rot 2 (0,059), Rot 1 (0,080) und Neutral 2 (0,091) zwischen den beiden Gruppen. Das Gesamtergebnis wird dann in einer anschaulicheren Tabelle (siehe Tabelle 12) darge-

stellt, in der noch einmal der Gesamtsignifikanz-Wert („Sig.“) der jeweiligen Farbwiederholungen in Bezug auf die Gruppenvergleiche aufgelistet wird. Alle im folgenden Kapitel 6 dargelegten Signifikanzwerte beruhen auf diesen Tabellen, die SPSS für jeden Parameter und jede Interaktion berechnet hat. Als Anschauungsmittel werden in Kapitel 6 jedoch nur die von SPSS zur Verfügung gestellten Graphiken verwendet. Hier ist darauf hinzuweisen, dass sich aus diesen keine Signifikanzen ablesen lassen.

Tabelle 11: SPSS: Beispiel der Ergebnisse

		Paarweise Kontraste							
Farbe	Wiederholung	Gruppe Paarweise Kontraste	Kontrastschätzer	Std.-Fehler	T	df	Anp. Sig.	95% Konfidenzintervall	
								Unterer	Oberer
Blau	1	A - B	-,023	,020	-1,137	36	,263	-,065	,018
		B - A	,023	,020	1,137	36	,263	-,018	,065
	2	A - B	-,028	,020	-1,382	36	,176	-,070	,013
		B - A	,028	,020	1,382	36	,176	-,013	,070
Neutral	1	A - B	-,050	,020	-2,471	36	,018	-,092	-,009
		B - A	,050	,020	2,471	36	,018	,009	,092
	2	A - B	-,035	,020	-1,735	36	,091	-,077	,006
		B - A	,035	,020	1,735	36	,091	-,006	,077
Rot	1	A - B	-,037	,020	-1,803	36	,080	-,078	,005
		B - A	,037	,020	1,803	36	,080	-,005	,078
	2	A - B	-,040	,020	-1,950	36	,059	-,081	,002
		B - A	,040	,020	1,950	36	,059	-,002	,081

Das anhand von "Bonferroni sequenziell" angepasste Signifikanzniveau ist 0,05.
Bei den Grenzen für Konfidenzintervalle handelt es sich um Näherungswerte.

Quelle: Eigene Darstellung mithilfe der Software SPSS

Tabelle 12: SPSS: Gesamtergebnis des Beispiels aus Tabelle 11

Gesamttestergebnisse					
Farbe	Wiederholung	F	df1	df2	Sig.
Blau	1	1,292	1	36	,263
	2	1,910	1	36	,176
Neutral	1	6,105	1	36	,018
	2	3,011	1	36	,091
Rot	1	3,250	1	36	,080
	2	3,802	1	36	,059

Quelle: Eigene Darstellung mithilfe der Software SPSS

Zusätzlich zu den Farbreizen können die Ergebnisse einerseits von weiteren unabhängigen Variablen abhängen, wie z.B. dem BMI und dem Geschlecht und andererseits auch von abhängigen Variablen, wie der Atem- und Herzfrequenz. Diese Parameter können die Ergebnisse unbemerkt beeinflussen. Wenn man sie jedoch als kontinuierliche Kontrollvariablen, auch „Kovariaten“ genannt, einstellt, wird die Varianz, die durch diese Variablen erklärt wird, von der Varianz des Effekts, den man betrachtet, getrennt. D.h., dass der Einfluss dieser Variablen herausgenommen wird und das Ergebnis in reinerer Form ohne die Varianz, die durch die Kovariate erklärt wird, betrachtet wird. Effekte können unter Um-

ständen damit geschärft werden (Ergebnisse werden signifikanter). Für diesen Versuch ist das für die Variablen des BMIs, des Geschlechts und der Atemfrequenz der Fall.

In Abbildung 39 sind die für diesen Versuch festgelegten Kovariaten unterhalb der Graphik zu sehen und werden als „stetige Einflussvariablen“ bezeichnet. Der BMI ist durchgehend für alle Parameter auf den Wert 23,45 und die Atemfrequenz (RESP) auf 0,21 gesetzt. Für das Geschlecht gibt es keinen festen Wert.

Insgesamt sind beim Geschlecht nur die Kategorien „männlich“ und „weiblich“ berücksichtigt worden. Die Person, die ihr Geschlecht nicht angegeben hat („ohne Angabe“), konnte im Geschlechtervergleich statistisch nicht berücksichtigt werden. Dafür hätte es mehr Personen von dieser einen Gruppe geben müssen. Bei allen anderen Vergleichen ist sie jedoch mit einbezogen worden.

6 Ergebnisse

Um herauszufinden, ob und inwieweit die beiden Lichtreize Rot und Blau unter diesen Versuchsbedingungen eine Wirkung auf den Körper und das Wohlbefinden des Menschen haben, wurden die Ergebnisse dieses Versuches auf die in der Einleitung gestellten Forschungsfragen untersucht:

1. Sind anhand subjektiver Einschätzungen des Wohlbefindens Reaktionen auf die Farbreize zu erkennen?
2. Sind anhand der Atemfrequenz Reaktionen auf die Farbreize zu erkennen?
3. Sind anhand der respiratorischen Sinusarrhythmie Reaktionen auf die Farbreize zu erkennen?
4. Sind anhand der Parameter der Herzratenvariabilität Reaktionen auf die Farbreize zu erkennen?

Die fünfte und sechste Forschungsfrage dienen der Einordnung in bisherige Erkenntnisse von Studien und werden deshalb am Schluss dieses Kapitels betrachtet:

5. Werden die Ergebnisse von Steer-Reeh teilweise oder vollständig bestätigt?
6. Werden Ergebnisse anderer Forschungsstudien teilweise oder vollständig bestätigt?

6.1 Subjektive Einschätzung: Reaktionen auf die Farbreize

In diesem Abschnitt soll die erste Forschungsfrage beantwortet werden:

1. Sind anhand subjektiver Einschätzungen des Wohlbefindens Reaktionen auf die Farbreize zu erkennen?

Diese Frage ist anhand der beiden SAM-Dimensionen „Valence“ und „Arousal“ untersucht worden. Die „Notizzeile für Auffälligkeiten“ gibt dazu eine ausführlichere durch die Versuchspersonen versprachlichte Ergänzung, wie die Gedanken und Emotionen während der Farbreize gewesen sind, ob es körperliche

Auffälligkeiten gegeben hat und wie die Farbreize v.a. im Hinblick auf die chromatische Adaptation für die Teilnehmenden ausgesehen haben. Zuerst werden die Ergebnisse im Detail dargestellt und zum Schluss die erste Forschungsfrage beantwortet.

6.1.1 SAM – Detaillierte Ergebnisse

Die beiden folgenden Dimensionen sind auf Grundlage der Werte der Bewertungsskala aus Abschnitt 5.2 (siehe Tabelle 10) interpretiert worden.

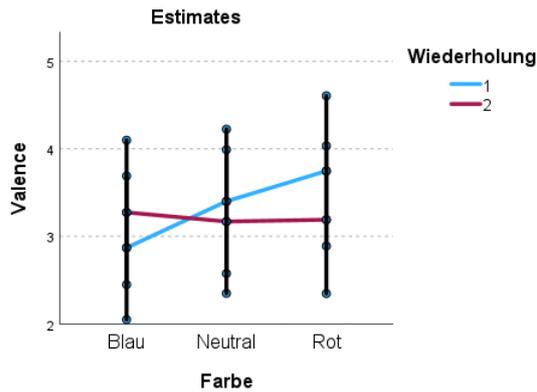
a) **Valence**

Ergebnisse im Überblick:

- Gruppe A ist insgesamt zufriedener als Gruppe B (0,053).
- Insgesamt ist der größte Unterschied zwischen den Gruppen bei Rot und der geringste bei Blau.
- Farbunterschiede sind in Wiederholung 1 größer als in Wiederholung 2.
- Farbwiederholungen unterscheiden sich bei Rot 1 und Rot 2 am stärksten.
- Teilnehmende sind bei Rot 1 unzufriedener als bei Rot 2 (0,053).
- Vagotoniker sind tendenziell unzufriedener als Sympathotoniker.
- Weibliche Teilnehmende sind bei Rot unzufriedener als männliche.
- Weibliche Teilnehmende fühlen sich bei Rot signifikant unzufriedener als bei Blau und Neutral.

Gruppe A (die Blau zuerst präsentiert bekam), hat über den gesamten Versuch fast signifikant (0,053) geringere Valence-Werte als Gruppe B angegeben, was heißt, dass die Teilnehmenden der Gruppe A tendenziell zufriedener als die der Gruppe B gewesen sind. Dieser Unterschied zwischen den Gruppen ist bei der Präsentation des Rot 2 im Vergleich zu den anderen Lichtreizwiederholungen am größten gewesen (0,054) und auch bei Rot 1 noch marginal signifikant (0,075). Der geringste Unterschied zwischen den Gruppen ist beim Blau 2 gewesen. Der allgemeine Unterschied zwischen den Farben über beide Gruppen ist jedoch nicht signifikant, sodass hier nur indirekt durch das einzelne Betrachten der beiden Gruppen die Tendenz beobachtet werden kann, dass die Gruppe B, die Rot zuerst dargeboten bekommen hat, insgesamt weniger zufrieden gewesen ist als die Gruppe, die zuerst die Blauwiederholungen gesehen hat. Dies kann in der Abbildung 40 nachvollzogen werden (beachte hierfür die gegenläufige Zuordnung der Werte aus Tabelle 10 in Abschnitt 5.2).

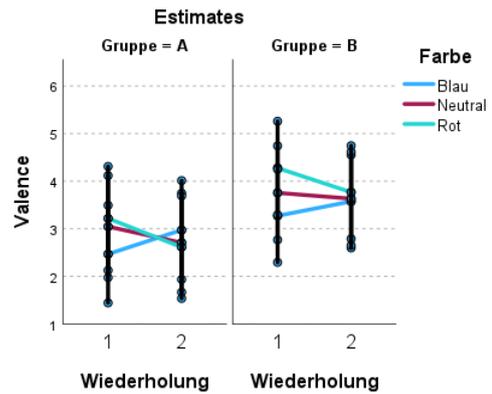
Die zwei Wiederholungen der jeweiligen Farbreize unterscheiden sich hier am deutlichsten und fast signifikant beim Rot voneinander (0,053). D.h., dass die angegebenen Valence-Werte zwischen Rot 1 und Rot 2 sich mehr voneinander unterscheiden als Blau 1 von Blau 2 und Neutral 1 von Neutral 2. Dabei wurden bei Rot 1 höhere Valence-Werte als bei Rot 2 angegeben (siehe Abbildung 39), was heißt, dass die Personen bei Rot 1 unzufriedener gewesen sind als bei Rot 2. In der Abbildung 40 ist zudem zu beobachten, dass die Unterschiede zwischen den Farben tendenziell in der 1. Wiederholung des Farbreizes größer sind und in der 2. Wiederholung kaum mehr vorhanden sind.



Stetige Einflussvariablen sind auf folgende Werte festgelegt: BMI = 23,4485, RESPHz = ,2078

Abbildung 39: Valence: Farbe* Wiederholung

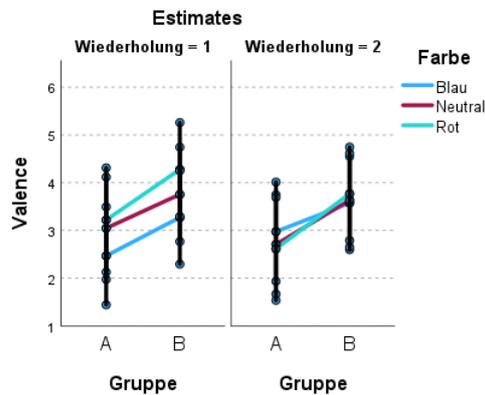
Quelle: Eigene Darstellung mithilfe der Software SPSS



Stetige Einflussvariablen sind auf folgende Werte festgelegt: BMI = 23,4485, RESPHz = ,2078

Abbildung 40: Valence: Gruppe* Farbe*Wiederholung

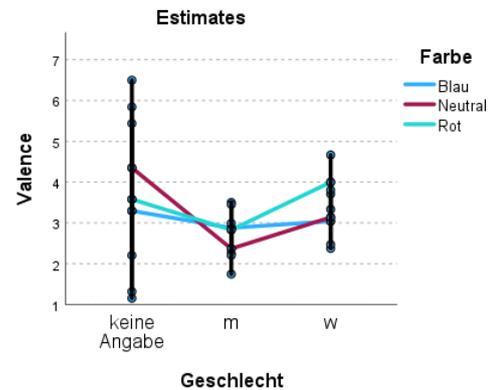
Quelle: Eigene Darstellung mithilfe der Software SPSS



Stetige Einflussvariablen sind auf folgende Werte festgelegt: BMI = 23,4485, RESPHz = ,2078

Abbildung 41: Valence: Gruppe*Farbe*Wiederholung

Quelle: Eigene Darstellung mithilfe der Software SPSS



Stetige Einflussvariablen sind auf folgende Werte festgelegt: BMI = 23,4485, RESPHz = ,2078

Abbildung 42: Valence: Geschlecht* Farbe

Quelle: Eigene Darstellung mithilfe der Software SPSS

Die zweite Synchronisation-Group (Vagotoniker) hat tendenziell höhere Werte (unzufriedener) als die erste (Sympathotoniker), es liegt jedoch keine Signifikanz vor.

In Bezug auf das Geschlecht ist ein fast signifikanter Unterschied (0,053) bei Rot zwischen den weiblichen und männlichen Teilnehmenden ermittelt worden, bei dem weibliche höhere und männliche geringere Valence-Werte angaben (siehe Abbildung 42). D.h., dass die weiblichen sich bei der Präsentation von Rot tendenziell unzufriedener als die männlichen gefühlt haben. Ebenso gibt es bei der weib-

lichen Versuchsgruppe einen signifikanten Unterschied zwischen den Werten von Blau und Rot (0,011) und Neutral und Rot (0,017). Dabei haben sie sich bei Rot deutlich unzufriedener als bei Blau und Neutral gefühlt.

b) Arousal

Ergebnisse im Überblick:

- Gruppe B: Bei Rot 1 sind die Teilnehmenden angespannter als bei Blau 1.
- Bei Rot 1 sind die Teilnehmenden angespannter als bei Rot 2.
- Farbunterschiede sind in Wiederholung 1 größer als in Wiederholung 2.
- Männliche Teilnehmende fühlen sich bei Rot angespannter als bei Neutral.
- Weibliche Teilnehmenden fühlen sich bei Rot angespannter als bei Neutral und bei Blau.

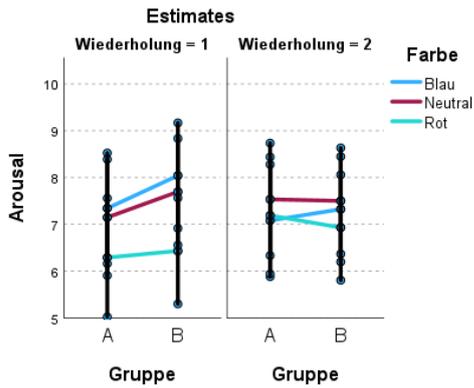
Auch bei Arousal sind Auswirkungen der Farben nur zu erkennen, wenn man die Wiederholung 1 und 2 unterscheidet und die Gruppen betrachtet: Rot 1 zeigt signifikant geringere Werte (0,048) als Blau 1, wobei insgesamt bei Blau höhere und bei Rot geringere Arousal-Werte angegeben worden sind (siehe Abbildung 44). Dies bedeutet nach Tabelle 10, dass die Teilnehmenden sich bei Blau 1 eher als ruhig und bei Rot 1 als etwas angespannter wahrgenommen haben. Diese Signifikanz in der ersten Wiederholung liegt v.a. in der Gruppe B begründet (siehe Abbildung 43), die zwischen den beiden eine Signifikanz von 0,040 hat. Bei Gruppe A liegt dort keine Signifikanz vor (0,413). Die Darbietungsreihenfolge der Farbreize spielt also auch bei Arousal eine Rolle.

In der 2. Wiederholung ist ein gegenläufiges Verhalten von Rot und Blau zu erkennen, indem der Arousal-Wert bei Rot 2 im Vergleich zu Rot 1 zunimmt (Personen werden entspannter) und von Blau 1 zu Blau 2 abnimmt (Personen werden leicht angespannter). Dadurch sind die Werte von Rot 2 und Blau 2 etwa gleich hoch (siehe Abbildung 44). Zwischen Blau 1 und Blau 2 ist die Veränderung jedoch nicht signifikant, hingegen sie es zwischen Rot 1 und Rot 2 ist (0,047).

Es ist wie beim Valence zu sehen, dass die Unterschiede zwischen den Farben in Wiederholung 1 deutlich höher sind als in der zweiten. Außerdem sind in der zweiten kaum noch Unterschiede zwischen den Gruppen zu sehen. Ebenso ist zu erkennen, dass besonders der rote Lichtreiz auf das persönliche Empfinden von Anspannung gewirkt hat und sich in der ersten Wiederholung deutlich von den angegebenen Empfindungen bei Blau und Neutral unterschieden hat.

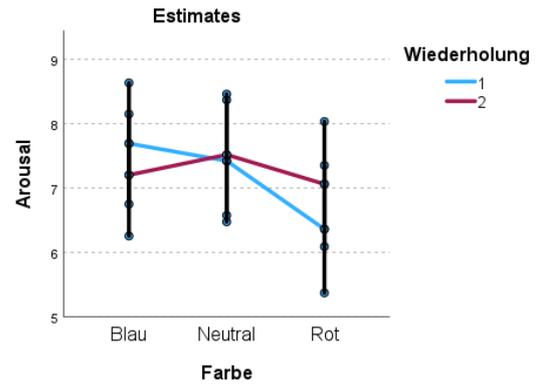
Des Weiteren gibt es fast signifikante Ergebnisse bei der vegetativen Gruppe der Vagotoniker, was in Abschnitt 6.5 in dargestellt wird.

Bezogen auf das biologische Geschlecht ist in Abbildung 46 zu sehen, dass weibliche Probandinnen sich selbst insgesamt als angespannter als männliche Probanden eingeschätzt haben und dass es bei den weiblichen größere Unterschiede zwischen den Farben gibt als bei den männlichen: Die männliche Gruppe hat eine signifikant höhere Anspannung bei Rot als bei Neutral angegeben. Die weibliche hat sich bei Rot ebenfalls signifikant angespannter als bei Neutral gefühlt, aber auch mehr als bei Blau.



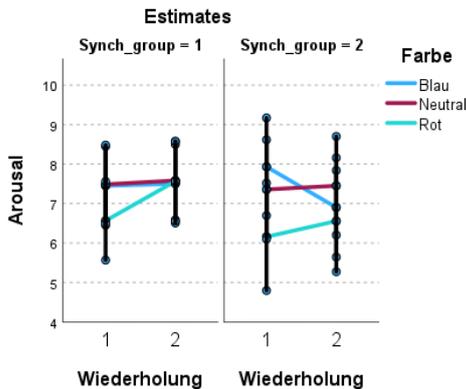
Stetige Einflussvariablen sind auf folgende Werte festgelegt: BMI = 23,4485, RESPHz = ,2078

Abbildung 43: Arousal: Gruppe*Farbe*Wiederholung
Quelle: Eigene Darstellung mithilfe der Software SPSS



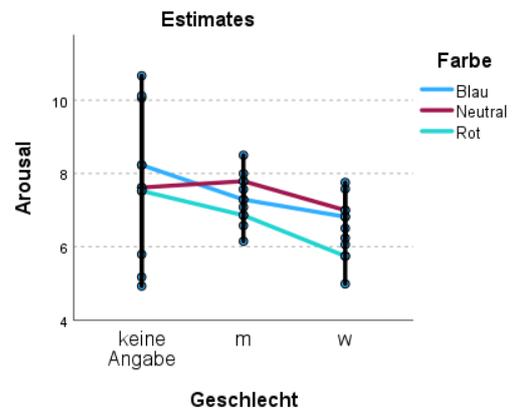
Stetige Einflussvariablen sind auf folgende Werte festgelegt: BMI = 23,4485, RESPHz = ,2078

Abbildung 44: Arousal: Farbe*Wiederholung
Quelle: Eigene Darstellung mithilfe der Software SPSS



Stetige Einflussvariablen sind auf folgende Werte festgelegt: BMI = 23,4485, RESPHz = ,2078

Abbildung 45: Arousal: Synch_group*Farbe* Wiederholung
Quelle: Eigene Darstellung mithilfe der Software SPSS



Stetige Einflussvariablen sind auf folgende Werte festgelegt: BMI = 23,4485, RESPHz = ,2078

Abbildung 46: Arousal: Geschlecht*Farbe
Quelle: Eigene Darstellung mithilfe der Software SPSS

6.1.2 Notizzeile für Auffälligkeiten

a) Visuelle Wahrnehmung der Farbreize

Besonders auffällig sind bei allen Teilnehmenden dieselben Muster bei der chromatischen Adaptation: Die neutrale Phase hat demnach nach den beiden Blauwiederholungen orange ausgesehen und nach den Rotwiederholungen cyan. Mit der Zeit der neutralen Wiederholungen ist das Orange dann als Warm-

weiß und das Cyan als Kaltweiß wahrgenommen worden. Außerdem ist das Rot 2 im Vergleich zum Rot 1 als nicht mehr so intensiv, mit der Zeit heller werdend und orange wahrgenommen worden. Ebenso ist beschrieben worden, dass das Blau 2 mit der Zeit heller geworden sei. Es hat einige Teilnehmende gegeben, die verwundert darüber gewesen sind, dass das Rot, das Blau und das Neutral über alle Wiederholungen dieselben gewesen und nicht mit der Zeit lichttechnisch verändert worden sind.

Zudem ist auch der Farbkontrast zwischen dem das Fenster umgebenden Molton und der Farbfläche wahrgenommen worden, indem eine Veränderung der Raumfarbtemperatur bei Rot und Blau über die Zeit wahrgenommen worden ist. Dieser Kontrast ist teilweise wechselnd als „schön“ oder „nicht schön“ beschrieben worden. Bei Rot 2 in Gruppe A ist zudem beschrieben worden, dass es so wirkt, als ob der Raum darum herum dunkler geworden sei.

Es ist mehrmals ausgesagt worden, dass beim Erscheinen des Rot 1 dieses im ersten Moment als sehr intensiv und hell und Rot 2 als nicht mehr so „grell“ wahrgenommen worden seien.

Bei Blau 1 ist meistens notiert worden, dass „Sternchen“ im Fenster gesehen worden seien, die heller als die dargebotene Farbe sind. Bei Blau 2 hätten sich diese Sternchen dann unregelmäßig bewegt und bei manchen Teilnehmenden auch eine blaue Farbe gehabt. Die „Sternchen“ sind auch als „herumschwirrende Punkte“ oder „Funken“ bezeichnet worden. Diese Funken seien auch manchmal beim Rot beobachtet worden und erschienen grünlich. Eine Person hat sogar beschrieben, dass es bei Rot 2 so ausgesehen habe, als ob sich der Hintergrund hinter der Fensterscheibe bewegt habe. Diese Punkte vor den Augen seien beim neutralen Farbreiz sofort verschwunden.

Mit steigender Anzahl der Teilnehmenden ist vermehrt beschrieben worden, dass es so aussähe, als ob sich die Muster auf der diffusen Folie ebenfalls bewegen würden.

b) Gedanken und Emotionen

Die Phase des gesteuerten Atmens ist teilweise als entspannend und teilweise als herausfordernd beschrieben worden. Manche haben sich danach ruhig und andere wenige haben sich wie kurz vor einer Hyperventilation gefühlt. Dementsprechend ist, obwohl Neutral 1 noch vor der ersten Wiederholung liegt, Rot 1 (Gruppe B) einige Male als entspannend und beruhigend im Vergleich zur Atemphase empfunden worden. Andere haben Rot 1 hingegen mit Adjektiven wie *intensiv*, *aggressiv*, *bedrohlich*, *hell*, *blendend*, *erschlagend*, *aufregend*, *anspannend* und *abschreckend* beschrieben. Rot 2 hingegen ist eher als *ruhig*, *angenehm* und *entspannend* beschrieben worden. Außerdem ist von einem intensiven Eintauchen in den Farbreiz gesprochen worden, was beim Blau 2 ebenfalls häufig beschrieben worden ist

Beim Blau ist auch von einem tranceartigen Zustand gesprochen worden, der durch dieses visuelle Eintauchen in den Farbreiz entstanden ist. Das Blau hat viele Teilnehmende an *Himmel*, *Wasser*, *Meer* und *Aquarium* erinnert und hat deshalb auf die meisten eher beruhigend, aber auch auf manche beunruhigend gewirkt. Das Blau 1 ist mit Adjektiven wie *anregend*, *auffordernd*, *beobachtend*, *aufmerksam* und *kalt* und das Blau 2 mit *stimulierend*, *heiter*, *spielerisch*, *intensiv*, *langweilig*, *traurig* und ebenfalls *kalt* beschrieben worden. Ebenso hat es einige Teilnehmende an *Ferne* und *Tiefsee* erinnert.

Mit dem Neutral hat es weniger Assoziationen gegeben. Es hat aber sowohl *entspannend* und *beruhigend* nach Blau 2 und Rot 2 als auch *aktivierend* nach dem Blau 2 gewirkt. Je nach Farbreiz, der vor

dem Neutral liegt, hat es Teilnehmende an eine *Lagune* und *Eis* und *Berge* oder einen *Sonnenuntergang* erinnert. Das Neutral ist eher mit *Weite* und *Leere* assoziiert und als *gleichgültig* empfunden worden. Es ist von einer Versuchsperson im Vergleich zu den Farbreizen so beschrieben worden, als würde man gegen eine Wand starren.

Insgesamt ist hieran zu sehen, dass die subjektiven Einschätzungen und Beschreibungen, die mit den Farben einhergehen häufig mit Assoziationen oder Vorerfahrungen zusammenhängen. Wenn die Mehrzahl der Menschen Rot mit Aggressivität oder Aufregung verbindet, gibt es jedoch auch immer welche, die es mit Wärme und Ruhe verbinden. Ebenso ist es mit Blau: Es wird mit Ruhe, aber auch mit Aufmerksamkeit und Anregung verbunden. Auffällig ist, dass die beschriebene, anfänglich intensive und anspannende Wahrnehmung des Rot 1 sich deutlich zum Rot 2 verändert, welches eher als angenehm empfunden worden ist. Zwischen Blau 1 und Blau 2 gibt es nicht so einen deutlichen Unterschied in den Beschreibungen.

Im nächsten Teilabschnitt geht es um die subjektiv empfundenen körperlichen Reaktionen der Versuchsteilnehmenden.

c) Körperliche Auffälligkeiten

Nicht alle Teilnehmenden haben körperliche Auffälligkeiten an sich selbst während des Versuchs beobachtet, doch manche haben bestimmte Symptome über alle Phasen hinweg gehabt. In manchen Teilen sind diesbezüglich Gemeinsamkeiten zwischen den Teilnehmenden zu beobachten.

Aufgrund der Helligkeit des Rot 1 haben einige berichtet, häufiger blinzeln und die Augen kurz schließen zu müssen. Dies ist vermehrt bei Gruppe A ausgesagt worden, die zuvor das blaue und neutrale Licht gesehen haben. Bei spätestens Rot 2 haben sie sich jedoch an die Helligkeit gewöhnt. Bei Rot ist jeweils einmal beobachtet worden, dass der Herzschlag schneller geworden und Anspannung im Bauch aufgetreten sind, dass zudem vergessen worden ist zu atmen, dass einmal tief eingeatmet werden musste und dass bei einer Teilnehmenden der Gruppe B bereits vorhandene Nackenschmerzen durch die Rotdarbietung wieder bewusst geworden sind, nachdem sie zuvor während des gesteuerten Atmens diese vergessen hatte. Einige der Gruppe A sagten aus, dass das Rot sie wachgehalten habe, nachdem der Versuch schon recht lange ging und das Neutral 1 sie eher müde gemacht habe. Eine Person hat beim Rot 1 von einer Anspannung in ihrer Stirn berichtet, die beim Rot 2 daraufhin nachgelassen habe. Ebenso ist von vertiefter Atmung beim Rot 2 gesprochen worden.

Ab und zu sind Auffälligkeiten beobachtet worden, die sich erst beim Neutral nach dem Rot gezeigt haben. Beispielweise ist während des Rots eine Faust gebildet worden und es hat Anspannung im Arm vorgelegen. Außerdem ist die beim Rot allgemein dagewesene Anspannung erst beim Neutral aufgefallen und ebendort abgefallen. Zudem hat ein Teilnehmer die Seiten der Valence- und Arousal-Werte während der Rot-Darbietungen vertauscht, was ihm bei allen anderen SAM-Befragungen jedoch nicht passiert ist. Dies ist ihm erst bei dem auf das Rot folgende Neutral aufgefallen.

Beim Blau ist im Gegensatz zum Rot teilweise eher von entspannten Augen und von ruhiger kontrollierter Atmung gesprochen worden und bei beiden Gruppen von mit der Zeit einkehrender Müdigkeit. Eine Person der Gruppe B hat von Kopfschmerzen und Druck auf den Ohren berichtet, die während des Blau 1 aufgetaucht seien. Bei Blau 2 seien die Kopfschmerzen verschwunden, doch der Druck auf den Ohren sie bestehen geblieben. Bei dem Neutral danach sei dann dieser auch gänzlich verschwunden.

Außerdem ist beim Blau 2 einmal Spannung im Nacken festgestellt worden, was von der betreffenden Person auf das längere Starren auf das Fenster zurückgeführt worden ist.

Neutral ist allgemein eher als beruhigend und ermüdend wahrgenommen worden. Beim Neutral 2 in der Gruppe A ist einmal Anspannung unter den Augen beobachtet worden, und dass die Atmung aus dem Takt gekommen ist. Nach dem Blau ist dort Halskratzen wahrgenommen worden.

6.1.3 Beantwortung der 1. Forschungsfrage

Die erste Forschungsfrage kann mit einem positiven Ergebnis beantwortet werden, da anhand subjektiver Einschätzungen Reaktionen auf die Farbreize zu erkennen sind.

Anhand der SAM-Befragung ist herausgefunden worden, dass der rote Farbreiz die Zufriedenheit bzw. Unzufriedenheit und die Ruhe bzw. Anspannung am meisten beeinflusst. Bei Rot 1 haben sich die Teilnehmenden signifikant angespannter gefühlt als bei Blau 1, wobei dies besonders auf die Gruppe B, die zuerst den roten und später den blauen Farbreiz gesehen hat, zugeht. In Gruppe A hat es diesen deutlichen Unterschied zwischen den beiden Farben nicht gegeben, weshalb sie sich ihren Angaben zufolge auch über den gesamten Messzeitraum tendenziell zufriedener als die Teilnehmenden der Gruppe B gefühlt haben. Hierdurch ist deutlich zu erkennen, dass die Darbietungsreihenfolge eine wichtige Rolle bei der Bewertung der subjektiven Einschätzungen des Wohlbefindens spielt.

Auffällig ist außerdem, dass weibliche Teilnehmerinnen sich insgesamt eher als angespannter und unzufriedener als männliche eingeschätzt haben und dass sie ebenfalls mehr subjektive Unterschiede zwischen den Farben wahrgenommen haben.

Zudem ist zu erkennen, dass sich die subjektiven Bewertungen zwischen den Farben in der ersten Wiederholung deutlicher voneinander unterscheiden als in der zweiten Wiederholung. Daher ist zu vermuten, dass in der letzteren eine Art Gewöhnungseffekt eingetreten ist.

Dies wird durch die schriftlichen und wörtlichen Aussagen der Teilnehmenden bestätigt, die zurückgemeldet haben, dass Rot 1 sehr hell gewesen sei und einen starken Einfluss auf sie gehabt habe, hingegen Rot 2 als angenehmer und ruhiger empfunden worden sei. Diese Wirkung kann u.a. durch die ebenfalls von ihnen beschriebene chromatische Adaptation unterstützt worden sein, bei der das Rot 2 mit der Zeit zu einem schwächeren Orange geworden ist. Zwischen Blau 1 und Blau 2 ist dieser starke Unterschied nicht beschrieben worden.

Hieran ist die direkte Verknüpfung zwischen Reizwahrnehmung und Emotion zu sehen. Des Weiteren ist u.a. anhand der Adjektive wie *entspannend* oder *aufregend*, die enge Verbindung zwischen den Emotionen und dem Körper zu sehen, da hier beide Adjektive sowohl für die Beschreibung des Wohlbefindens als auch für die Beschreibung körperlicher Reaktionen verwendet worden sind.

So ist insgesamt allein an dem Indikator der subjektiven Einschätzung der Vorgang der Reizwahrnehmung zu beobachten, der bei der reinen Reizempfindung beginnt, über die Interpretation und die Verbindung mit Assoziationen geht und schließlich zu körperlichen Reaktionen führt.

Es lässt sich also final sagen, dass anhand subjektiver Einschätzungen des Wohlbefindens Reaktionen auf die Farbreize zu erkennen sind, wenn man Faktoren wie die Reihenfolge der Darbietung, die Wiederholungszahl und das Geschlecht mit einbezieht.

Ob sich diese subjektiven Einschätzungen und Auffälligkeiten auch in einer Form in den physiologischen Messparametern widerspiegeln, wird in den folgenden Abschnitten geklärt.

6.2 Atemfrequenz: Reaktionen auf die Farbreize

In diesem Abschnitt soll die zweite Forschungsfrage beantwortet werden:

2. Sind anhand der Atemfrequenz Reaktionen auf die Farbreize zu erkennen?

Dafür wird sich die Atemfrequenz der Teilnehmenden während der Reizdarbietungen angeschaut. Ein höherer Wert gibt hier eine höhere Frequenz, also einen geringeren Abstand zweier aufeinanderfolgender Atemzüge an.

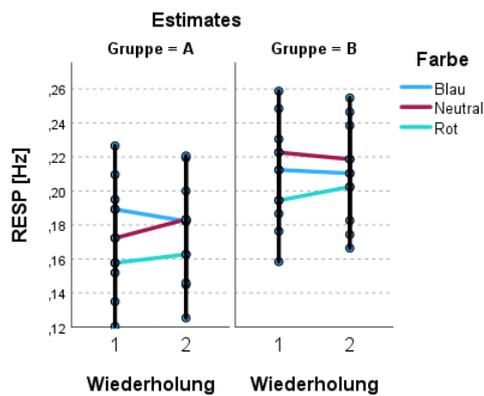
6.2.1 Detaillierte Ergebnisse

Ergebnisse im Überblick:

- Gruppe B hat bei Neutral 1 signifikant höhere Atemfrequenzen als Gruppe A (0,018).
- Gruppe B hat bei Rot 2 marginal signifikant höhere Atemfrequenzen als Gruppe A (0,059).
- Gruppe B hat bei Rot 1 marginal signifikant höhere Atemfrequenzen als Gruppe A (0,080).
- Gruppe B hat bei Neutral 2 marginal signifikant höhere Atemfrequenzen als Gruppe A (0,091).
- Vagotoniker weisen bei Rot eine geringere Atemfrequenz als Sympathotoniker auf.

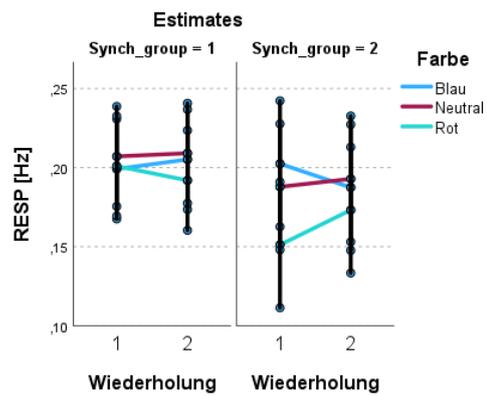
Bei der Auswertung dieser Ergebnisse ist, wie bei den subjektiven Einschätzungen, ebenso die Relevanz der Darbietungsreihenfolge aufgefallen. Gruppe B weist insgesamt signifikant höhere Atemfrequenzen als Gruppe A auf (0,039), was ausschlaggebend durch das Neutral 1 ausgelöst worden ist: Dort hat Gruppe B signifikant höhere Atemfrequenzen als Gruppe A (0,018). Aber auch beim Rot 2 gibt es einen marginal signifikanten Unterschied zwischen den beiden Gruppen (0,059). Rot 1 und Neutral 2 haben ebenfalls einen marginal signifikanten Unterschied zwischen diesen. Bei Blau ist zwischen den Gruppen kein signifikanter Unterschied zu sehen. Graphisch ist dies in Abbildung 47 dargestellt.

In dieser Graphik kann zudem der Verlauf der Atemfrequenzen über die Farbreize und ihre Wiederholungen hinweg nachvollzogen werden. Dabei ist zu sehen, dass Gruppe A beim Blau 1 und Gruppe B beim Rot 1 bei circa derselben Atemfrequenz beginnen, jedoch mit dem Blau 2 eine leicht geringere und mit dem Rot 2 eine leicht höhere Atemfrequenz folgen. Interessanterweise sinkt die Atemfrequenz nach dem Blau 2 zum Neutral 1 und steigt vom Rot 2 zum Neutral 1 an. Hier her stammt der zu Anfangs angesprochene signifikante Unterschied zwischen den Gruppen bei Neutral 1. In dem Zuge bleibt die Atemfrequenz der Gruppe B über den gesamten Messzeitraum insgesamt signifikant höher als bei Gruppe A. Bei letzterer sinkt die Atemfrequenz nach dem Neutral 1 beim Rot 1 und bei Gruppe B sinkt sie ebenfalls zum Blau 1. Zwischen den Wiederholungen der Farbreize ist zwar keine Signifikanz ermittelt worden, aber bei beiden Gruppen ist die Tendenz zu beobachten, dass die Atemfrequenz von Rot 1 zu Rot 2 steigt und vom Blau 1 zum Blau 2 sinkt. Jedoch kann hier keinesfalls davon gesprochen werden, dass während der Rotphasen höhere Atemfrequenzen vorliegen – im Gegenteil: dort liegen, wenn auch nicht signifikant, tendenziell die geringsten vor.



Stetige Einflussvariablen sind auf folgende Werte festgelegt: BMI = ...

Abbildung 47: Atemfrequenz: Gruppe*Farbe*Wiederholung
Quelle: Eigene Darstellung mithilfe der Software SPSS



Stetige Einflussvariablen sind auf folgende Werte festgelegt: BMI = ...

Abbildung 48: Atemfrequenz: Synchrongruppe*Farbe*Wiederholung
Quelle: Eigene Darstellung mithilfe der Software SPSS

Zu beobachten ist anhand der Abbildung 47 ebenfalls, dass nach dem Rot 2 bei der Gruppe A die Atemfrequenz wieder deutlich zum Neutral 2 ansteigt, was vermuten lässt, dass das Neutral 2 besonders hohe Atemfrequenzen im Vergleich zum Rot 2 zeigt. Doch steigt nach dem Blau 2 der Gruppe B die Atemfrequenz ebenfalls zum Neutral 2 leicht an und demnach könnte es auch das Neutral sein, was für den Anstieg von Atemfrequenzen sorgt. Diese Vermutung wird jedoch wiederum entkräftet, wenn man sich das Neutral nach dem Blau 2 der Gruppe A anschaut, bei dem die Atemfrequenz nach dem Farbreiz gesunken ist.

An dieser Stelle könnten noch weitere Überlegungen angeführt werden, die hier jedoch zu weit führen würden. Doch klar ist, dass die verschiedenen Reihenfolgen der Farbreize eine signifikant unterschiedliche Wirkung auf die Atemfrequenz haben.

Insgesamt ist zu erkennen, dass es zwischen den beiden Wiederholungen keine signifikanten Unterschiede gibt. Auch zwischen den Farben können keine signifikanten Unterschiede ermittelt werden. Bezüglich der Farben kann nur bei den Vagotonikern ein signifikanter Unterschied festgestellt werden, der in Abschnitt 6.5 aufgeführt wird. In Abbildung 48 ist zu sehen, dass die Vagotoniker (Synchrongruppe = 2) bei Rot eine geringere Atemfrequenz als die Sympathotoniker aufweisen.

Das Geschlecht hat auf die Atemfrequenz keinen Einfluss, hingegen es der Messzeitpunkt hat. Dies wird ebenfalls in Abschnitt 6.5. dargestellt.

6.2.2 Beantwortung der 2. Forschungsfrage

Die zweite Forschungsfrage kann ebenfalls mit einem positiven Fazit beantwortet werden, da anhand der Atemfrequenz Reaktionen auf die Farbreize zu erkennen sind.

Diese sind jedoch nur beim detaillierten Hinschauen zu erkennen. Besonders wichtig ist bei diesem Indikator die einzelne Betrachtung der Gruppen, also der Darbietungsreihenfolge. Dabei stellt sich her-

aus, dass die Personen der Gruppe B im Neutral 1 (nach den beiden Rotwiederholungen) eine signifikant höhere Atemfrequenz haben als die Teilnehmenden der Gruppe A (nach den beiden Blauwiederholungen). Tendenziell sind jedoch insgesamt beim Rot geringere Atemfrequenzen als bei Blau gemessen worden, was darauf hinweisen könnte, dass nicht das Rot und Blau an sich zu diesem signifikanten Unterschied zwischen den beiden Gruppen im Neutral 1 führen, sondern die Farbkontraste zwischen den Farben und dem Neutral.

Im Unterschied zu der subjektiven Bewertung mittels SAM-Methode sind kaum Unterschiede zwischen den Farbwiederholungen zu erkennen, was bedeutet, dass die deutlichen zuvor genannten subjektiv wahrgenommenen Unterschiede zwischen Rot 1 und Rot 2 sich nicht in der Atemfrequenz widerspiegeln.

Insgesamt ist hier zu erkennen, dass nicht davon gesprochen werden kann, dass eine bestimmte Farbe die ein und dieselbe Atemfrequenz hervorruft, aber dass die verschiedenen Reihenfolgen der Farbreize eine signifikant unterschiedliche Wirkung auf die Atemfrequenz haben.

6.3 Respiratorische Sinusarrhythmie: Reaktionen auf die Farbreize

In diesem Abschnitt soll die dritte Forschungsfrage beantwortet werden:

3. Sind anhand der respiratorischen Sinusarrhythmie Reaktionen auf die Farbreize zu erkennen? Dafür wird sich die respiratorische Sinusarrhythmie (RSA) der Teilnehmenden während der Reizdarbietungen angeschaut. Ein höherer Wert zeigt dabei eine höhere parasympathische Aktivität des vegetativen Nervensystems und ein geringerer weniger parasympathische Aktivität an.

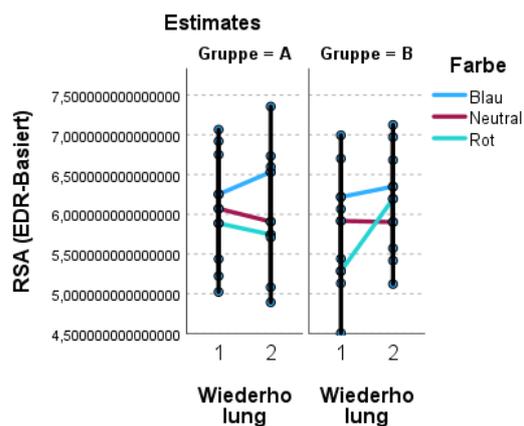
6.3.1 Detaillierte Ergebnisse

Ergebnisse im Überblick:

- Tendenziell sind RSA-Werte bei Rot geringer als bei Blau (nicht signifikant).
- Wiederholung 1 zeigt einen größeren Unterschied zwischen Blau und Rot als Wiederholung 2.
- Gruppe B hat tendenziell eine geringere RSA (nicht signifikant).
- Gruppenunterschied ist bei Rot 1 am größten.
- Gruppe B: Rot 1 hat eine signifikant geringere RSA als Rot 2 (0,004).
- Gruppe B: Bei Rot 1 ist die RSA marginal geringer als bei Blau 1 (0,067).
- Vagotoniker haben beim Blau signifikant höhere RSA als Sympathotoniker (0,039).
- Vagotoniker haben beim Neutral marginal signifikant höhere RSA als Sympathotoniker (0,057).
- Um 11 Uhr ist beim Blau die RSA signifikant höher als beim Rot (0,044).
- Um 11 Uhr ist beim Blau die RSA marginal signifikant höher als beim Neutral (0,071).

Zwischen den Farben gibt es bei dem Indikator der RSA kaum Signifikanzen. Rot hat tendenziell geringere RSA-Werte als Blau, was aber nicht signifikant ist. Tendenziell zeigen diese beiden Farben in der ersten Wiederholung den größten Unterschied im Vergleich zu anderen Farben, jedoch ist auch dieses Ergebnis nicht signifikant. Auch der Gruppenunterschied zeigt nicht so deutliche Ergebnisse, wie sie bei der Atemfrequenz vorzufinden sind: Gruppe B hat eine nicht signifikant aber tendenziell geringere RSA.

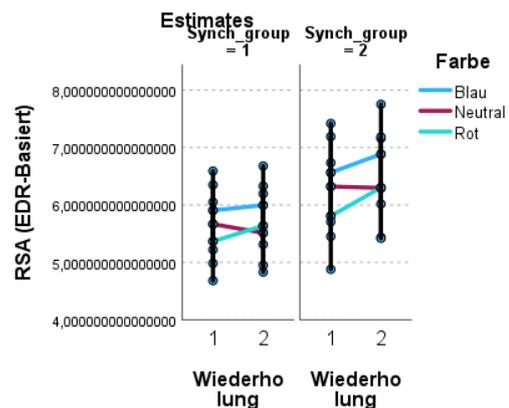
Die Gruppen unterscheiden sich im Vergleich zu den anderen Farbwiederholungen am meisten beim Rot 1 voneinander, jedoch liegt auch hier keine Signifikanz vor. Innerhalb der Gruppe B haben die Teilnehmenden beim Rot 1 marginal signifikant (0,067) geringere Werte als beim Blau 1. Rot 1 und Rot 2 unterscheiden sich deutlich signifikant (0,004) voneinander, wobei beim Rot 1 die geringeren RSA-Werte gemessen worden sind. Innerhalb der Gruppe A können keinerlei Signifikanzen zwischen den Farben oder Wiederholungen festgestellt werden. In Abbildung 49 ist die dazugehörige Graphik zu sehen.



Stetige Einflussvariablen sind auf folgende Werte festgelegt: BMI = 23,4485, RESPHz = ,2078

Abbildung 49: RSA: Gruppe*Farbe*Wiederholung

Quelle: Eigene Darstellung mithilfe der Software SPSS



Stetige Einflussvariablen sind auf folgende Werte festgelegt: BMI = 23,4485, RESPHz = ,2078

Abbildung 50: RSA: Synch_group*Farbe*Wiederholung

Quelle: Eigene Darstellung mithilfe der Software SPSS

Die Vagotoniker haben insgesamt eine signifikant höhere RSA als die Sympathotoniker, was besonders durch das Blau ausgelöst wird (siehe Abbildung 50). Genauer dazu wird in Abschnitt 6.5. dargestellt. Der Messzeitpunkt spielt bei der RSA ebenfalls eine Rolle, was auch in Abschnitt 6.5 dargestellt wird. Die unabhängige Variable des Geschlechts beeinflusst die RSA nicht relevant, was mit der Tatsache übereinstimmt, dass sich die Geschlechter gleichmäßig auf die beiden vegetativen Typen aufteilen.

6.3.2 Beantwortung der 3. Forschungsfrage

Anhand der RSA sind nur Reaktionen auf die Farbreize zu erkennen, wenn der Gruppen- und Wiederholungsunterschied, der vegetative Typ und der Messzeitpunkt angeschaut werden. Die Höhe der RSA wird hier als Indikator für die parasympathische Aktivität des Körpers angesehen.

Anhand des Wiederholungsunterschieds beim Rot in der Gruppe B spiegeln sich die subjektiven Einschätzungen der Teilnehmenden wider, bei dem sie angegeben hatten, sich aufgeregter bei Rot 1 und ruhiger bei Rot 2 zu fühlen. Ebenso ist in dieser Gruppe die Tendenz zu beobachten, dass Blau 1 einen größeren parasympathischen Einfluss auf die Teilnehmenden hat als Rot 1. Gruppe A zeigt keine derartigen Reaktionen.

Der Unterschied zwischen Blau und Rot ist bei der ersten Wiederholung größer als bei der zweiten Wiederholung.

6.4 Herzratenvariabilität: Reaktionen auf die Farbreize

In diesem Abschnitt soll die vierte Forschungsfrage beantwortet werden:

4. Sind anhand der Parameter der Herzratenvariabilität Reaktionen auf die Farbreize zu erkennen?

Dafür werden die zeitbasierten, frequenzbasierten und nichtlinearen Parameter betrachtet.

6.4.1 Zeitbasierte Parameter – Detaillierte Ergebnisse

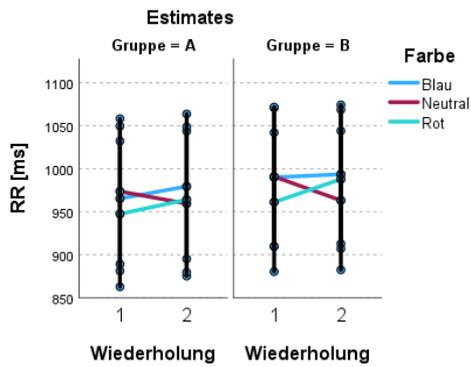
An dieser Stelle werden die zeitbasierten Parameter „RR“, „SDNN“ und „RMSSD“ analysiert. Der RR-Wert gibt die Abstände zweier aufeinanderfolgender Herzschläge in ms an und je höher dieser Wert ist, desto größer ist der Abstand und desto langsamer ist die Herzfrequenz. Der SDNN-Wert indiziert tendenziell die sympathische Aktivität des vegetativen Nervensystems und ist ein Maß für die Größe der HRV. Der RMSSD-Wert zeigt die parasympathische Aktivität an.

a) RR

Ergebnisse im Überblick:

- Beim Rot liegen tendenziell schnellere Herzfrequenzen vor als beim Blau und Neutral.
- Beim Rot 1 sind marginal signifikant (0,097) schnellere Herzfrequenzen als beim Neutral 1.
- Gruppe B: Bei Rot 1 sind signifikant (0,024) schneller Herzfrequenzen als bei Rot 2.
- Gruppe B: Bei Neutral 1 sind signifikant (0,019) langsamere Herzfrequenzen als bei Neutral 2.
- Vagotoniker haben insgesamt tendenziell geringere Herzfrequenzen als die Sympathotoniker.
- Sympathotoniker haben bei Rot 1 signifikant (0,030) schnellere Herzfrequenz als bei Neutral 1.
- Weibliche Teilnehmerinnen haben beim Rot signifikant schnellere Herzfrequenz als beim Blau.

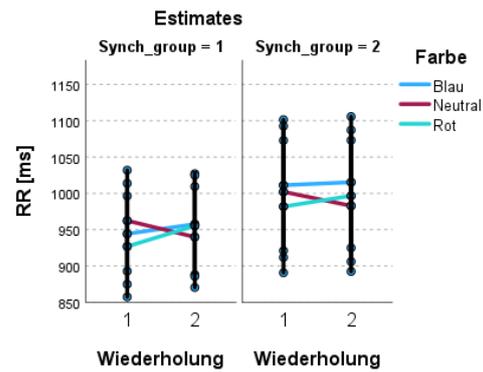
Wenn man die Unterschiede der Herzfrequenz zwischen den Farben unabhängig der Gruppen und Wiederholungen betrachtet, ist es auch hier nicht möglich, eine Signifikanz festzustellen. Es ist jedoch beim Berücksichtigen dieser Komponenten zu sehen, dass beim Rot tendenziell schnellere Herzfrequenzen vorliegen als beim Blau. Neutral reiht sich dazwischen ein. Dabei erweist sich, dass beim Rot 1 marginal signifikant (0,097) schnellere Herzfrequenzen vorliegen als beim Neutral 1. Dies spricht wieder dafür, dass sich das subjektive Empfinden bezüglich des Rot 1 in den physiologischen Parametern widerspiegelt. Signifikant wird es aber erst, wenn man die Wiederholungen miteinander vergleicht und nur die Gruppe B betrachtet: Dabei ist festzustellen, dass Rot 1 signifikant (0,024) schnellere Herzfrequenzen aufweist als Rot 2 und Neutral 1 signifikant (0,019) langsamere Herzfrequenzen zeigt als Neutral 2. Hierdurch wird wieder der subjektiv empfundene Unterschied zwischen Rot 1 und Rot 2 bestätigt.



Stetige Einflussvariablen sind auf folgende Werte festgelegt: BMI = 23,4485, RESPhz = ,2078

Abbildung 51: RR: Gruppe*Farbe* Wiederholung

Quelle: Eigene Darstellung mithilfe der Software SPSS



Stetige Einflussvariablen sind auf folgende Werte festgelegt: BMI = 23,4485, RESPhz = ,2078

Abbildung 52: RR: Synch_group*Farbe*Wiederholung

Quelle: Eigene Darstellung mithilfe der Software SPSS

Wenn man sich die gesamte Messdauer der Gruppe B anschaut (siehe Abbildung 51) fällt auf, dass die größten Herzfrequenzunterschiede zwischen Rot 1 und Rot 2 (Verlangsamung) und zwischen Blau 2 und Neutral 2 (Zunahme) vorzufinden sind. Der Unterschied zwischen Neutral 1 und Neutral 2 spielt insofern nicht direkt eine Rolle, da die beiden Phasen im Versuchsablauf nicht aufeinander folgen. Rot 2, Neutral 1 und Blau 1 und Blau 2 haben etwa gleichschnelle Frequenzen, was darauf hinweist, dass der erste Farbreiz (Rot 1) und das Neutral 2, was auf das Blau gefolgt ist, Grund für eine Erhöhung der Herzfrequenz sein könnten. Da jedoch, wie bei der Atemfrequenz, keiner Farbe eine bestimmte Herzfrequenz zugeordnet werden kann, sind auch hier die Ergebnisse als das Resultat der Abfolge der verschiedenen Lichtreize anzusehen. Das ist besonders daran zu sehen, dass beim Neutral 1 nach dem Rot 2 die Herzfrequenz gleichbleibt und beim Neutral 2 nach dem Blau 2 die Herzfrequenz deutlich ansteigt. Dies lässt die Vermutung zu, dass die Reaktion der Herzfrequenz von dem davorliegenden Farbreiz abhängt und es scheint, dass das Neutral nach dem Blau anregender auf die Herzfrequenz wirkt, als nach dem Rot.

Die Vagotoniker haben zwar nicht signifikant, aber über alle Farben höhere RR-Werte als die Sympathotoniker (siehe Abbildung 52), also eine langsamere Herzfrequenz. Dies bestätigt noch einmal den Zusammenhang zwischen der Herzfrequenz und der RSA, bzw. den beiden vegetativen Typen. Die Sympathotoniker weisen zudem ein weiteres signifikantes Ergebnis auf, welches in Abschnitt 6.5 dargestellt wird.

Insgesamt ist bei der Herzfrequenz ein signifikantes Ergebnis beim Messzeitpunkt zu sehen, was ebenfalls in Abschnitt 6.5 dargelegt wird.

Zudem ist das biologische Geschlecht bei der Analyse dieses Parameters für einen signifikanten Unterschied (0,038) in der Herzfrequenz zwischen Blau und Rot verantwortlich. Bei den weiblichen Teilnehmerinnen ist die Herzfrequenz beim Rot über beide Wiederholungen signifikant schneller als beim Blau. Dies ist bei den männlichen Probanden nicht zu beobachten.

b) SDNN

Ergebnisse im Überblick:

- Gruppe B hat tendenziell höhere Werte als Gruppe A.
- Vagotoniker haben insgesamt marginal höhere (0,075) Werte als die Sympathotoniker.
- Vagotoniker haben beim Blau signifikant (0,020) höhere Werte als die Sympathotoniker.

Zwischen den Farben sind bei diesem Parameter keine signifikanten Unterschiede ermittelt worden, weder durch das Betrachten der Wiederholungen noch durch den Gruppenvergleich. Tendenziell, aber nicht signifikant, hat Gruppe B höhere SDNN-Werte als die Gruppe A, was auf mehr sympathische Aktivität bei der Gruppe B hindeutet. Dies passt in das Bild, was die bisherigen Ergebnisse gezeigt haben. Jedoch scheint die SDNN, kaum signifikante Ergebnisse für diesen Versuch zu liefern.

Das einzige signifikante Ergebnis bei diesem Parameter ist bei der Unterscheidung der beiden vegetativen Typen ermittelt worden, welches in Abschnitt 6.5 dargelegt wird.

Insgesamt liefert dieser Parameter fast keine signifikanten und besonders aussagekräftigen Ergebnisse, die gut in das bisherige Bild der Auswertung eingeordnet werden können.

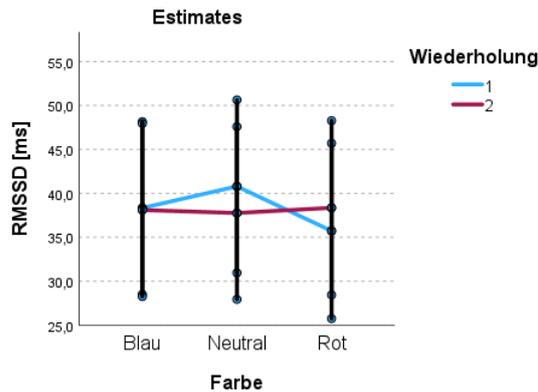
c) RMSSD

Ergebnisse im Überblick:

- Gruppe B: bei Rot 2 ist der Wert marginal signifikant (0,060) höher als bei Rot 1.
- Unterschiede zwischen den Farben sind bei der 1. Wiederholung größer als bei der 2.
- Am wenigsten unterscheiden sich Blau 1 und Blau 2 voneinander.
- Tendenziell zeigt die Gruppe B insgesamt höhere Werte als die Gruppe A.

Zwischen den Farben gibt es, ohne die Wiederholungen und Gruppen zu betrachten, wieder keine Signifikanzen zu sehen. Wenn nur die Wiederholung in Bezug auf die Farbe betrachtet wird, ist dies ebenso nicht der Fall, doch kann tendenziell gesehen werden, dass sich Rot 1 von Rot 2 und Neutral 1 von Neutral 2 deutlicher unterscheiden als Blau 1 von Blau 2 (siehe Abbildung 53). Nimmt man nun noch die Komponente der Gruppe hinzu, ist bei Gruppe B ein marginal signifikanter Unterschied (0,060) zwischen Rot 1 und Rot 2 vorzufinden, wobei der Wert bei der zweiten Wiederholung größer ist (siehe Abbildung 54). Insgesamt sind hier wieder stärkere Unterschiede zwischen den Farben in der ersten Wiederholung im Vergleich zur zweiten Wiederholung zu erkennen, bei der das Bild sehr homogen erscheint. Tendenziell sieht es hier so aus, als ob Gruppe B insgesamt höhere RMSSD-Werte aufweist als Gruppe A, auch wenn dies nicht signifikant ist. Bemerkenswert ist, dass hier der geringste Unterschied zwischen den Gruppen beim Rot 1 besteht, was in Anbetracht der bisherigen Ergebnisse neu ist.

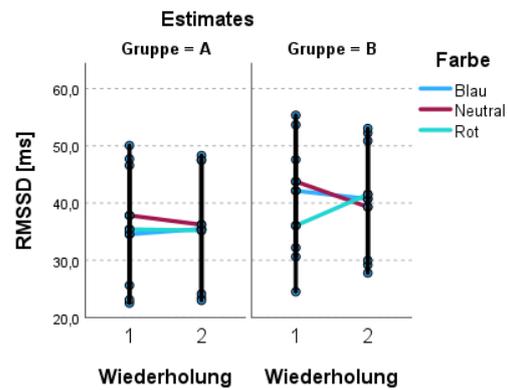
Das Geschlecht hat keinen signifikanten Einfluss auf die Ergebnisse des RMSSD, wobei den Signifikanzwerten zufolge tendenziell eher das biologische Geschlecht des Mannes eine Rolle spielt als das der Frau.



Stetige Einflussvariablen sind auf folgende Werte festgelegt: BMI = 23,4485, RESPHz = ,2078

Abbildung 53: RMSSD: Farbe*Wiederholung

Quelle: Eigene Darstellung mithilfe der Software SPSS



Stetige Einflussvariablen sind auf folgende Werte festgelegt: BMI = 23,4485, RESPHz = ,2078

Abbildung 54: RMSSD: Gruppe*Farbe*Wiederholung

Quelle: Eigene Darstellung mithilfe der Software SPSS

Insgesamt kann der RMSSD-Wert der Auswertung ebenfalls keine signifikanten Ergebnisse hinzufügen, reiht sich aber mit seinen Tendenzen in die bisherigen Ergebnisse ein, indem sich bei Gruppe B Rot 1 und Rot 2 am deutlichsten voneinander unterscheiden. Eine neue Komponente bringt er damit hinein, indem der geringste Unterschied zwischen den Gruppen A und B beim Rot 1 liegt. Dies hat es bis hierhin noch nicht gegeben. Da er eher für die parasympathische Aktivität des vegetativen Nervensystems steht, kann das zeigen, dass beim Rot 1 die sympathische Reaktion so sehr überwiegt, dass bei dieser Farbdarbietung kaum Unterschiede zwischen den beiden Gruppen in der parasympathischen Aktivität gemessen worden sind.

6.4.2 Frequenzbasierte Parameter – Detaillierte Ergebnisse

Im Frequenzbereich können, wie in Abschnitt 2.3.3.b erwähnt, verschiedene Frequenzbänder angeschaut werden. Für diesen Versuch sind die hohen Frequenzen (HF-Band) zwischen 0,15 und 0,4 Hz und die tiefen Frequenzen (LF-Band) im Bereich zwischen 0,04 Hz und 0,15 Hz analysiert worden. Dabei weisen höhere HF-Werte auf eine höhere parasympathische Aktivität hin.

a) LF

Ergebnisse im Überblick:

- Gruppe B: Tendenziell ist der größte Wiederholungsunterschied zwischen Blau 1 und Blau 2.
- Gruppe B: Tendenziell ist der größte Farbunterschied zwischen Blau 1 und Rot 1 (Blau höherer Wert).
- Gruppe A: Tendenziell ist der größte Unterschied zwischen Blau 2 und Rot 2 (Blau höherer Wert).
- Vagotoniker haben beim Blau signifikant (0,002) höhere Werte als die Sympathotoniker.

Bei den Farben sind keine Signifikanzen zu erkennen, auch nicht, wenn die Wiederholung und Gruppe in die Analyse mit einbezogen werden. Tendenziell ist der größte Unterschied bei Gruppe B zwischen Blau 1 und Blau 2 zu finden (0,114), wobei der LF-Wert bei Blau 1 höher als bei Blau 2 ist. Zwischen den Farben ist tendenziell bei der Gruppe A der größte Unterschied zwischen Blau 2 und Rot 2 (0,194) (0,205) und bei Gruppe B zwischen Blau 1 und Rot 1, wobei bei Blau jeweils der höhere Wert gemessen worden ist. Die anderen Vergleiche zeigen deutlich höhere Signifikanzwerte (geringere Signifikanz). Das einzige signifikante Ergebnis liefert bei diesem Parameter die Unterscheidung der vegetativen Typen, was genauer in Abschnitt 6.5 dargelegt wird.

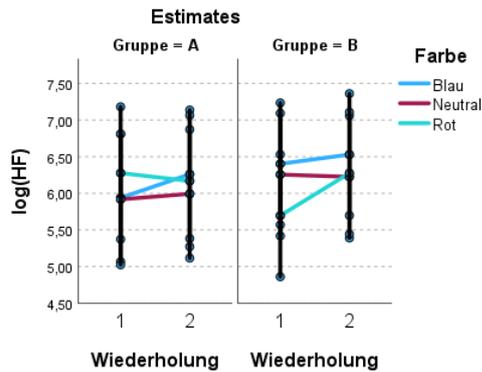
b) HF

Ergebnisse im Überblick:

- Gruppe B: Tendenziell ist der größte Farbunterschied zwischen Blau 1 und Rot 1 (Blau höherer Wert).
- Gruppe B: Wiederholungsunterschied: Rot 1 hat signifikant (0,031) geringere Werte als Rot 2.
- Größter Gruppenunterschied ist tendenziell beim Rot 1.
- Geringster Gruppenunterschied ist beim Neutral.
- Vagotoniker haben beim Rot 2 marginal (0,069) höhere Werte als beim Rot 1.
- Vagotoniker zeigen beim Blau und Neutral tendenziell höhere Werte als Sympathotoniker – beim Rot nicht.
- Vagotoniker zeigen tendenziell mehr Wiederholungs- und Farbunterschiede als Sympathotoniker.

Bei diesem vegetativen Parameter ist, auch wenn nicht signifikant, der größte Unterschied zwischen den Farben in der ersten Wiederholung bei Gruppe B zu sehen. Zwischen Rot 1 und Blau 1 liegt dort der größte Unterschied (0,126), wobei Blau 1 die höheren HF-Werte zeigt. Die Gruppe B zeigt jedoch auch eine Signifikanz, die zwischen den beiden Wiederholungen liegt, und zwar sind beim Rot 1 signifikant geringere (0,031) HF-Werte als beim Rot 2 zu sehen. D.h. dass die parasympathische Aktivität, also grob gesagt, die körperliche Entspannung beim Rot 2 zunimmt, was zu den bisherigen Ergebnissen passt. Bei Gruppe A ist dies nicht zu beobachten und der Wert ist bei ihnen in der ersten Wiederholung bereits etwa so hoch wie bei Gruppe B in der zweiten Wiederholung. Folglich ist im Vergleich zu den anderen der größte Unterschied zwischen den beiden Gruppen tendenziell beim Rot 1 zu erkennen, jedoch ist dieser nicht signifikant (0,228). All dies ist in Abbildung 55 nachzuvollziehen. Ebenso ist dort zu erkennen, dass der geringste Unterschied bei beiden Gruppen zwischen Neutral 1 und Neutral 2 liegt.

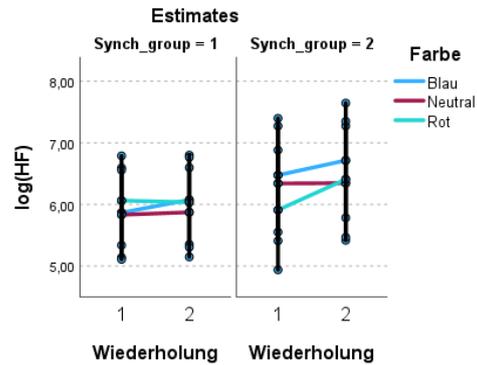
Die Unterscheidung der vegetativen Typen spielt bei diesem Wert eine Rolle, wobei die Vagotoniker tendenziell höhere HF-Werte als die Sympathotoniker zeigen, was auf eine höhere parasympathische Aktivität hinweist (siehe Abbildung 56). Ebenso kann anhand der Abbildung 56 auch gesehen werden, dass es bei den Vagotonikern insgesamt mehr Unterschiede zwischen den Farben und Wiederholungen gibt als bei den Sympathotonikern. Weiteres dazu wird in Abschnitt 6.5 beschrieben.



Stetige Einflussvariablen sind auf folgende Werte festgelegt: BMI = 23,4485, RESPHz = ,2078

Abbildung 55: HF: Gruppe*Farbe*Wiederholung

Quelle: Eigene Darstellung mithilfe der Software SPSS



Stetige Einflussvariablen sind auf folgende Werte festgelegt: BMI = 23,4485, RESPHz = ,2078

Abbildung 56: HF: Gruppe*Farbe*Wiederholung

Quelle: Eigene Darstellung mithilfe der Software SPSS

Das biologische Geschlecht hat keinen Einfluss auf diesen Wert.

Insgesamt ist bei den HF-Werten der starke Unterschied zwischen Rot 1 und Rot 2 wieder bei Gruppe B zu erkennen und nicht bei Gruppe A. Dabei wird die parasympathische Aktivität bei Rot 2 höher, also kehrt dort mehr Entspannung im körperlichen System ein.

Zudem sei hinzuzufügen, dass beim Vergleich der Abbildung 50 (RSA) mit der Abbildung 56 (HF), die dieselbe Interaktion („Gruppe“, „Farbe“ und „Wiederholung“) zeigen, ein sehr ähnliches Muster zwischen den Farben und Wiederholungen bei Gruppe B zu erkennen ist. Diese Ähnlichkeit weist noch einmal deutlich darauf hin, dass beide Parameter Indikatoren für die parasympathische Aktivität des Körpers sind.

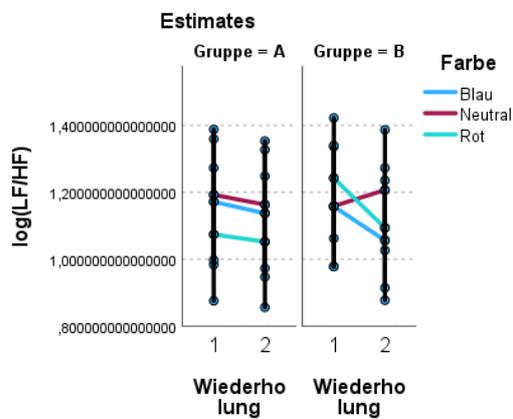
c) LF/HF

Ergebnisse im Überblick:

- Allgemein sind in der zweiten Wiederholung geringere Werte als in der ersten zu sehen.
- Zwischen Rot 1 und Rot 2 ist der Wiederholungsunterschied am größten und marginal signifikant.
- Gruppe B: Rot 1 hat signifikant (0,035) höhere Werte als Rot 2.
- Vagotoniker: Rot 1 zeigt signifikant (0,004) höhere Werte als Rot 2.

In der zweiten Wiederholung sind marginal (0,093) geringere Werte als in der ersten Wiederholung zu sehen. Dies wird v.a. durch den Unterschied zwischen Rot 1 und Rot 2 (0,085) und Blau 1 und Blau 2 (0,170) ausgelöst. Beim Betrachten der Gruppe B wird der Unterschied zwischen Rot 1 und Rot 2 signifikant (0,035), wobei beim Rot 1 höhere Werte vorzufinden sind (siehe Abbildung 57).

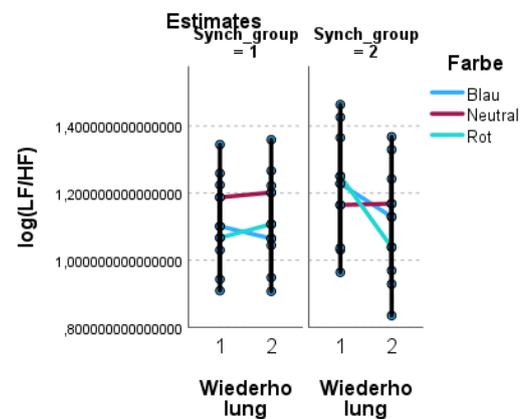
Außerdem zeigen die Vagotoniker signifikant höhere (0,004) Werte beim Rot 1 als beim Rot 2 (siehe Abbildung 58). Bei den Sympathotonikern ist dieser Unterschied nicht zu sehen.



Stetige Einflussvariablen sind auf folgende Werte festgelegt: BMI = 23,4485, RESPHz = ,2078

Abbildung 57: LF/HF: Gruppe*Farbe*Wiederholung

Quelle: Eigene Darstellung mithilfe der Software SPSS



Stetige Einflussvariablen sind auf folgende Werte festgelegt: BMI = 23,4485, RESPHz = ,2078

Abbildung 58: LF/HF: Synchron_group*Farbe*Wiederholung

Quelle: Eigene Darstellung mithilfe der Software SPSS

Insgesamt fällt bei diesen Ergebnissen auf, dass sich der schon häufig beschriebene Unterschied zwischen Rot 1 und Rot 2 gezeigt hat und dass der Wert bei der Gruppe B und den Vagotonikern vom Rot 1 zum Rot 2 signifikant abnimmt. Dies bedeutet, dass der HF-Anteil, also der parasympathische Anteil, beim zweiten Rot deutlich höher ist als beim ersten. Das ordnet sich in die bisherigen Ergebnisse ein.

6.4.3 Nichtlineare Parameter

Alle Graphiken der Ergebnisse des SD1 gleichen denen der RMSSD, indem alle Unterschiede zwischen Farben, Wiederholungen und vegetativen Typen dieselben Resultate geliefert haben. Der einzige Wert, der mit 0,049 signifikanter als beim RMSSD ist, ist der zwischen Rot 1 und Rot 2 bei Gruppe B. Ansonsten korrelieren die Ergebnisse vollständig mit denen der RMSSD und daher werden sie hier nicht noch einmal aufgeführt.

Das Gleiche gilt für den SD2-Wert, dessen Ergebnisse sich komplett mit denen des SDNN decken und aus diesem Grund hier nicht weiter aufgeführt werden.

An dieser Korrelation zwischen den Parametern ist zu sehen, dass manche Ergebnisse der HRV nur Ergänzungen sind, die nicht immer neue Erkenntnisse liefern.

6.4.4 Beantwortung der 4. Forschungsfrage

Insgesamt lässt sich sagen, dass anhand der Parameter der HRV Reaktionen auf die Farbreize zu erkennen sind, wobei jedoch bei der HRV-Analyse nicht alle Parameter aussagekräftige Ergebnisse liefern, wozu u.a. die SDNN und das LF-Band gehören.

Allgemein ist zu sehen, dass sich der subjektiv wahrgenommene Unterschied zwischen Rot 1 und Rot 2 in den Parametern widerspiegelt, die parasympathische Indikatoren sind. Daher ist zu sehen, dass dieser Versuch eher parasympathische als sympathische Reaktionen im Körper hervorrufen. Das heißt im Umkehrschluss, dass hieran nicht unbedingt zu erkennen ist, dass Rot 1 mehr Anregung im Körper verursacht, sondern dass bei Rot 2 die Versuchsteilnehmer entspannter und ruhiger werden als bei Rot 1. Demnach werden die subjektiven Einschätzungen nur zu einer Hälfte bestätigt. Dem zu ergänzen sei jedoch, dass die Herzfrequenz beim Rot insgesamt tendenziell schneller als beim Blau und Neutral gewesen ist, was wiederum auf eine erhöhte Erregung hinweisen könnte. Dieser Unterschied zwischen Rot 1 und Rot 2 ist durchgehend nur bei der Versuchsgruppe B, die Rot als erstes präsentiert bekommen hat und bei den Vagotonikern, die tendenziell eher ein parasympathisch ausgerichtetes vegetatives System besitzen, zu erkennen.

Neben dem Unterschied zwischen Rot 1 und Rot 2, ist bei den meisten Parameter auch der Unterschied zwischen Blau 1 und Blau 2 größer als der zwischen Neutral 1 und Neutral 2. Die Herzfrequenz bildet dabei wieder eine Ausnahme, bei der sich bei der Gruppe B neben den Rotwiederholungen auch Neutral 1 und 2 signifikant voneinander unterscheiden.

Die Farbunterschiede sind insgesamt tendenziell in der ersten Wiederholung größer als in der zweiten. Bei den SDNN und RMSSD-Werten zeigt die Gruppe B tendenziell höhere Werte als die Gruppe A.

Die SDNN und LF-Werte, die insgesamt kaum signifikante Ergebnisse aufweisen, zeigen nur bei der Unterscheidung der vegetativen Typen signifikante Ergebnisse.

Durch das biologische Geschlecht hat es kaum signifikanten Einfluss gegeben. Das neben den subjektiven Einschätzungen einzige, deutliche physiologische Ergebnis ist bei der Herzfrequenz zu sehen, bei der die weiblichen Probandinnen bei Rot eine signifikant schnellere Herzfrequenz haben als beim Blau. Bei den männlichen Probanden ist dieser Unterschied nicht zu erkennen.

6.5 Weitere Erkenntnisse

Im Verlaufe der Ergebnisauswertung können durch weitere Einflusskomponenten, zusätzliche signifikante Ergebnisse herausgefunden werden. Auch wenn sie schon teilweise in den vorher dargelegten Ergebnissen erwähnt worden sind, werden hier der Messzeitpunkt, das biologische Geschlecht und der vegetative Typ einmal anschaulich dargestellt.

Es ist ersichtlich, dass der **Messzeitpunkt** bei der Wirkung von Rot und Blau auch eine Rolle spielt. Dabei ergeben sich folgende Ergebnisse:

- RESP: Um 11 Uhr ist die Atemfrequenz bei Rot (0,011) geringere als um 10 Uhr.
- RSA: Um 11 Uhr wirkt Blau signifikant (0,044) parasympathischer als Rot.
- RR: Um 11 Uhr ist die Herzfrequenz beim Blau signifikant (0,036) langsamer als um 10 Uhr.

An dieser Auflistung ist zu erkennen, dass um 11 Uhr geringere Atem- und Herzfrequenzen als um 10 Uhr gemessen worden sind. Das Ergebnis bei der RSA zeigt, dass ein signifikanter Unterschied zwischen Rot und Blau, ohne die Betrachtung der Wiederholung, gemessen werden kann, doch dass dies nur zum Vorschein kommt, wenn man die beiden Messzeitpunkte voneinander unterscheidet. Gemäß den bisherigen Ergebnissen wirkt der blaue Lichtreiz parasympathischer als der rote. Mögliche Erklärungen hierfür sind in Abschnitt 7.1 zu finden.

Die Betrachtung der beiden angegebenen **biologischen Geschlechter** hat ebenfalls interessante Ergebnisse geliefert:

- Valence: Weibliche Teilnehmende sind bei der Darbietung des Rots unzufriedener als männliche.
- Valence: Weibliche Teilnehmende fühlen sich bei Rot signifikant unzufriedener als bei Blau und Neutral.
- Arousal: Männliche Teilnehmende fühlen sich bei Rot angespannter als bei Neutral.
- Arousal: Weibliche Teilnehmenden fühlen sich bei Rot angespannter als bei Neutral und bei Blau.
- RR: Weibliche Teilnehmende haben beim Rot eine signifikant schnellere Herzfrequenz als beim Blau.

Anhand der Unterschiede beim biologischen Geschlecht ist zu sehen, dass die weiblichen Teilnehmerinnen sich ihren subjektiven Bewertungen zufolge insgesamt unzufriedener und angespannter als die männlichen gefühlt haben. Außerdem ist bei den weiblichen ein signifikanter Unterschied zwischen Blau und Rot ermittelt worden, welcher darauf hinweist, dass das Rot anregender als Blau wirkt.

Zudem wird hier noch einmal übersichtlich der **vegetative Typ** betrachtet, bei dem sich folgende Ergebnisse ergeben haben:

- SAM: Tendenziell sind Vagotoniker eher unzufriedener und angespannter als die Sympathotoniker.
- SAM: Arousal: Vagotoniker empfinden bei Rot 1 fast signifikant (0,057) mehr Anspannung als bei Blau 1 – Sympathotoniker zeigen dies nicht.
- Atemfrequenz: Vagotoniker haben beim Rot eine signifikant (0,05) geringere Frequenz als Sympathotoniker.
- Atemfrequenz: Vagotoniker haben signifikant (0,024) geringere Frequenz beim Rot 1 als beim Blau 1.
- RSA: Beim Blau haben Vagotoniker signifikant (0,039) höhere RSA als Sympathotoniker, beim Neutral marginal signifikant (0,057) und beim Rot nicht.
- RR: Sympathotoniker haben beim Rot 1 signifikant (0,030) schnellere Herzfrequenz als beim Neutral 1.
- RMSSD: Vagotoniker haben beim Blau (0,073) und Neutral (0,077) marginal signifikant höhere Werte als Sympathotoniker.
- SDNN: Vagotoniker haben beim Blau signifikant (0,020) höhere Werte als die Sympathotoniker und insgesamt über alle Farben marginal höhere (0,075).

- LF: Vagotoniker haben beim Blau signifikant (0,002) höhere Werte als die Sympathotoniker.
- HF: Vagotoniker haben beim Rot 2 marginal (0,069) höhere Werte als beim Rot 1.
- HF: Vagotoniker haben beim Blau und Neutral tendenziell höhere Werte als Sympathotoniker – beim Rot nicht.
- LF/HF: Vagotoniker haben signifikant (0,004) höhere Werte beim Rot 1 als beim Rot 2 – Sympathotoniker zeigen dies nicht.

An den detaillierten Ergebnissen der vegetativen Typen ist zu erkennen, dass die Unterschiede zwischen den beiden Gruppen besonders beim Blau und beim Neutral zu sehen sind. Beim Rot haben sie bei allen Indikatoren, außer bei der Atemfrequenz, etwa gleichhohe Werte.

Außerdem ist zu sehen, dass nur die Vagotoniker zwischen den beiden Rotwiederholungen Unterschiede zeigen (Atemfrequenz und LF/HF) und die Sympathotoniker nicht. Diese zeigen bloß bei der Herzfrequenz (RR) zwischen Rot 1 und Neutral 1 einen Unterschied.

Genauere Erklärungsansätze dazu sind in Abschnitt 7.1 zu finden.

6.6 Beantwortung der Hauptfragestellung

Inwieweit haben die beiden Lichtreize Rot und Blau unter diesen Versuchsbedingungen eine Wirkung auf den Körper und das Wohlbefinden des Menschen?

Durch die vorangegangenen Forschungsfragen ist zu sehen, dass sich besonders die unterschiedliche Wirkung von Rot 1 und Rot 2 herauskristallisiert. Dabei wirkt Rot 2 parasympathischer als Rot 1.

Außerdem ist durch das einzelne Betrachten der Gruppen, vegetativen Typen, Messzeitpunkte und Geschlechter die Tendenz zu sehen, dass Blau einen parasympathischeren Einfluss als Rot hat. Sowohl subjektive Einschätzungen als auch die physiologischen Parameter bestätigen dies.

Insgesamt zeigt die Gruppe A, die zuerst Blau präsentiert bekommen hat, keine signifikanten Ergebnisse. Hingegen sind fast alle signifikanten Farb- und Wiederholungsunterschiede bei der Gruppe B zustande gekommen. Zusammen mit der Beobachtung, dass die Atemfrequenz und die Herzfrequenz stark von der Darbietungsreihenfolge abhängige Effekte zeigen, wird deutlich, dass die Darbietungsreihenfolge einen dominanten Einfluss auf die Wirkung der Farbreize hat.

Insgesamt zeigen die Messparameter, dass dieser Versuch eher die parasympathisch indizierenden Parameter anspricht als die sympathischen. Außerdem ist festzuhalten, dass nur signifikante Unterschiede zwischen den Farben Blau und Rot ermittelt werden können, wenn die Darbietungsreihenfolge, die Messwiederholungen, der vegetative Typ und die unabhängigen Variablen des Geschlechts und des Messzeitpunkts berücksichtigt werden.

6.7 Vergleich mit weiteren Forschungsergebnissen

Abschließend werden diese Ergebnisse mit denen aus dem Versuch von Steer-Reeh und mit in Abschnitt 2.4.2 genannten Resultaten anderer Forschungsstudien verglichen. In diesem Zusammenhang werden die 5. Und 6. Forschungsfrage beantwortet:

5. Werden die Ergebnisse von Steer-Reeh teilweise oder vollständig bestätigt?
6. Werden Ergebnisse anderer Forschungsstudien teilweise oder vollständig bestätigt?

6.7.1 Beantwortung der 5. Forschungsfrage

5. Werden die Ergebnisse von Steer-Reeh teilweise oder vollständig bestätigt?

Wie in Abschnitt 2.4.2 und der Einleitung dargelegt, ergeben die Versuche von Steer-Reeh (2012) sympathische Reaktionen des vegetativen Nervensystems auf die Darbietung des roten Lichtreizes und parasympathische bei der der Präsentation des blauen Lichtreizes.

In dem hier vorliegenden Versuch wird dies durch die Ergebnisse der RSA und der SAM-Befragungen und weiterer Tendenzen bei anderen Parametern zur Hälfte bestätigt, in dem bei den Befragungen bei Blau 1 mehr Ruhe und bei Rot 1 mehr Anspannung angegeben worden sind und bei der RSA die parasympathische Aktivität bei Blau 1 tendenziell höher als bei Rot 1 ist. Die RSA ist jedoch nur ein Indikator für die parasympathische Aktivität und nicht gleichzeitig auch für die sympathische, weshalb die Ergebnisse von Steer-Reeh nur zu einer Hälfte bestätigt werden können: Bei Rot 1 ist zwar die parasympathische Aktivität geringer als bei Blau 1, aber es kann keine Aussage darüber getroffen werden, wie sich die sympathische Aktivität verhält. Dies wird dadurch bestätigt, dass die sympathisch indizierenden Parameter, wie die SDNN und das LF-Band, keine signifikanten Ergebnisse bei diesem Farbunterschied liefern. Außerdem ist anzumerken, dass dieser Unterschied nur zwischen den ersten Wiederholungen den beiden Farben (Rot 1 und Blau 1) zu erkennen ist. D.h., dass dieser Unterschied nur in der ersten Minute der Darbietung erfasst worden ist und nicht beim Betrachten beider Wiederholungen zusammen (3 min) oder bei den zweiten Wiederholungen (die letzten 2 min). Außerdem betrifft dieser Farbunterschied nur die Versuchsteilnehmenden, die der Gruppe B angehören.

Zudem kann die bei Steer-Reeh ermittelte erhöhte Atemfrequenz während der Rotdarbietung durch diese Ergebnisse nicht bestätigt werden. Stattdessen sind Tendenzen zu erkennen, die das Gegenteil zeigen.

6.7.2 Beantwortung der 6. Forschungsfrage

6. Werden Ergebnisse anderer Forschungsstudien teilweise oder vollständig bestätigt?

Die Ergebnisse der Studie von Modi et al. (2019), die ergeben hat, dass Rot sympathischen Einfluss hat und Blau keine statistisch signifikanten Ergebnisse liefert, werden hier insoweit bestätigt, dass die Wiederholungsunterschiede bei Rot deutlich signifikanter sind, als die beim Blau. Jedoch hat auch Blau, z.B. bei der RSA, einen höheren Einfluss als Rot, da Blau parasympathischer wirkt als Rot. D.h., dass das Ergebnis von Modi et al. (2019) nur teilweise und abhängig von den hier untersuchten Parametern bestätigt werden kann.

In der Studie von Choi et al. (2011) ist ein Abfall der parasympathischen Aktivität durch die Darbietung des roten Lichtreizes bei den depressiv und ängstlich eingeordneten Personen gemessen worden. Derselbe Lichtreiz hat bei den Personen, die nicht in diese Gruppen eingeordnet worden sind, keinen Einfluss auf die parasympathische Aktivität gehabt (vgl. Choi et al., 2011, S. 86). Dieses Ergebnis wird insofern durch den hier vorliegenden Versuch bestätigt, als dass bei den Teilnehmenden, die der Gruppe B angehören, beim Rot 1 die parasympathische Aktivität im Vergleich zum Blau 1 tendenziell geringer gewesen ist. In der Gruppe A sind keine signifikanten Ergebnisse ermittelt worden. Hier ist zwar nicht zwischen depressiv-ängstlichen und nicht depressiv-ängstlichen Personen unterschieden worden, jedoch ist durch die SAM-Befragung ermittelt worden, dass die Teilnehmenden der Gruppe A über die gesamte Messdauer fast signifikant (0,053) zufriedener als die der Gruppe B gewesen sind. Wenn nun angenommen wird, dass der durch die SAM-Befragung ermittelte Zufriedenheitsgrad mit dem Depressivitäts- und Ängstlichkeitsgrad aus der Studie von Choi et al. (2011) korreliert, werden diese Ergebnisse bestätigt. Dies eröffnet ein neues Interpretationsfeld, bei dem die körperlichen Reaktionen nicht nur von den Farbreizen, sondern auch vom emotionalen Zustand der Versuchsteilnehmenden abhängen könnten. Die Studie von Choi et al. (2011) zeigt hohe Relevanz auf, da 92 gesunde Menschen teilgenommen haben.

Bei der Studie von Litscher et al. (2013), in der neben der HRV auch die Temperaturveränderungen an der Stirn und Nase gemessen worden sind (vgl. Litscher et al., 2013, S. 2), kam heraus, dass blaues Licht insgesamt einen stärkeren Einfluss auf die Reaktionen des autonomen Nervensystems hat als rotes Licht. Dies widerspricht den Ergebnissen von Modi et al. (2019), wobei hier erwähnt sei, dass bei dieser Studie nur 7 Versuchspersonen teilgenommen haben.

Abschließend sei zu erwähnen, dass die Forschungsergebnisse, die hier als Vergleich herangezogen werden, unter anderen Versuchsbedingungen ermittelt worden sind und dementsprechend auch keine identischen Ergebnisse zu erwarten gewesen sind. Trotzdem ist hier eine mögliche Korrelation mit den Ergebnissen von Choi et al. (2011) zu sehen, welche verdeutlichen könnten, dass auch bei diesem Versuch der emotionale Zustand der Versuchspersonen die Wirkung von Lichtreizen erheblich beeinflussen kann.

7 Diskussion

Im Folgenden werden Erklärungsansätze für die vorliegenden Ergebnisse dieses Versuchs dargelegt, wobei nicht auf alle Ergebnisse im Detail eingegangen werden kann. Daraufhin wird diese Forschungsarbeit mit ihren Ergebnissen in Hinblick auf das Versuchsdesign, die Rahmenbedingungen, die Eignung der Indikatoren für die Messergebnisse und die Auswertungsmethoden reflektiert.

7.1 Erklärungsansätze für die Ergebnisse

Beleuchtung

Auf die subjektiven Empfindungen hat der rote Farbreiz im Vergleich zum neutralen und dem blauen den größten Einfluss gehabt. Nun könnte man einerseits begründen, dass dies allein an dem Farbton des Rots liegt, welcher stärkere subjektive Empfindungen als Blau und Neutral auslöst, jedoch sollten auch die Werte der lichttechnischen Messungen nicht außer Acht gelassen werden: Rot hat bei der Beleuchtungsstärke und der Leuchtdichte geringere Werte als Neutral, aber deutlich höhere als Blau gehabt. Wenn man nun davon ausgeht, dass diese lichttechnischen Werte Einfluss auf die Ansprechbarkeit der subjektiven Empfindungen haben, kann vermutet werden, dass einerseits Farben mehr Wirkung auf subjektive Empfindungen als Weißtöne haben und andererseits eine höhere Leuchtdichte für mehr subjektive Wirkung sorgt. Dies sollte bei den folgenden Erklärungsansätzen der vorliegenden Ergebnisse bedacht werden.

Darbietungsreihenfolge, Atem- und Herzfrequenz und Adaptationsvorgänge

Das Rot, dessen Leuchtdichte höher als die des Blaus ist, hat sich möglicherweise auf die Unzufriedenheit der Versuchspersonen über die gesamte Messdauer ausgewirkt: Die Versuchsgruppe, die zuerst den blauen und später den roten Farbreiz dargeboten bekommen hat (Gruppe A), hat sich zufriedener als die Gruppe B gefühlt, die Rot als erstes und später Blau präsentiert bekommen haben.

Dieser Gruppenunterschied ist für alle analysierten Messparameter relevant, u.a. für die Atemfrequenz, die bei der Gruppe B signifikant höher als bei der Gruppe A ist. Hierdurch ist zu anzunehmen, dass eine erhöhte Unzufriedenheit mit einer höheren Atemfrequenz zusammenhängen könnte.

Die Atemfrequenz und die Herzfrequenz zeigen stark von der Darbietungsreihenfolge abhängige Effekte, weil sie die wenigen Indikatoren sind, die Signifikanzen bei den neutralen Wiederholungen aufweisen. Es fällt bei ihnen auf, dass es keine spezifischen Atem- und Herzfrequenzen bei einer bestimmten Farbe gibt, sondern dass ihre Höhe anscheinend durch die vorherigen Lichtsituationen beeinflusst wird. Deshalb unterscheiden sich die Ergebnisse der Gruppe A und B möglicherweise so deutlich voneinander. Bei der Atemfrequenz unterschieden sich die beiden besonders beim Neutral 1, sodass darauf geschlossen werden kann, dass zwei gleiche Weißtöne durch den vorherigen Farbreiz visuell beeinflusst werden, was auf die chromatische Adaptation zurückzuführen sein könnte. Dadurch, dass nicht das Rot und Blau an sich zu diesem signifikanten Unterschied zwischen den beiden Gruppen im Neutral 1 führen, kann zudem vermutet werden, dass die Atemfrequenz besonders auf eine Umstellung von einer Farbe zum Neutral reagiert. Es könnte aber auch sein, dass die Atemfrequenz erst nach einer gewissen Zeit Effekte auf eine Farbe zeigt und ein Farbreiz die Atmung über einen längeren Zeitraum

beeinflusst. Für letzteres spricht, dass sich die weniger parasymphatische Wirkung des Rots nicht in der Atemfrequenz widerspiegelt hat (sie ist beim Rot tendenziell langsamer als beim Blau). Ebenso bestätigten sich bei der Atemfrequenz auch nicht die subjektiv wahrgenommenen Unterschiede zwischen Rot 1 und Rot 2.

Die Herzfrequenz hingegen stützt jedoch die bisherige Beobachtung der weniger parasymphatischen Wirkung des Rots, da sie beim Rot im Vergleich zum Blau und Neutral tendenziell am schnellsten ist.

Die insgesamt festgestellte erhebliche Abhängigkeit der Ergebnisse von der Darbietungsreihenfolge könnte, wie schon in Abschnitt 6.7.2 dargelegt, durch eine erhöhte Ansprechbarkeit der Gruppe B erklärt werden, da diese über den gesamten Messzeitraum unzufriedener gewesen ist, was wiederum mit der vorangestellten Darbietung des Rots zusammenhängen könnte. Ein weiterer Grund, dass Gruppe A bei Rot kaum signifikante Ergebnisse zeigt, könnte dafür sein, dass der Überraschungsmoment bei dieser Gruppe geringer ist, da sie mit dem zuerst gezeigten Blau schon einmal einen Farbwechsel erlebt hat und dass der danach folgende Wechsel auf Rot weniger überraschend gekommen ist als bei der Gruppe B. Außerdem könnte es denkbar sein, dass der spätere Darbietungszeitpunkt des Rots bei der Gruppe A dafür gesorgt hat, dass sie bis dorthin bereits müder oder entspannter gewesen ist als die Gruppe B, die das Rot am Anfang des Versuchs dargeboten bekommen hat.

Unterschied von Rot 1 und Rot 2 – Adaptationsvorgänge

Bei der Gruppe B stellt sich ein deutlicher Unterschied zwischen Rot 1 und Rot 2 heraus, der bei den meisten Indikatoren vorzufinden ist: Bei Rot 1 fühlen sich die Teilnehmenden unzufriedener und angespannter, weisen schnellere Herzfrequenzen auf und haben geringere RSA-, HF- und RMSSD-Werte als bei Rot 2. All diese Werte zeigen, dass bei Rot 2 die parasymphatische Aktivität größer als beim Rot 1 ist und dass diese mit einer schnelleren Herzfrequenz, größerer Zufriedenheit und geringerer Anspannung einhergeht. Die subjektiven Einschätzungen korrelieren hier also mit den physiologischen Messergebnissen. Auf physiologischer Ebene könnte dies durch die Adaptationsfähigkeit des Auges erklärt werden, welches sich einerseits in der Helligkeit adaptiert und sich damit an die höhere Leuchtdichte des Rots mit der Zeit der Darbietungsdauer gewöhnt hat und sich andererseits chromatisch adaptiert hat, wodurch das Rot 2 mit der Zeit oranger und weniger intensiv als das Rot 1 erschienen ist.

Zwischen Blau 1 und Blau 2 ist der starke Unterschied in den Messergebnissen nicht zu erkennen, was daran liegen könnte, dass das Blau eine deutlich geringere Leuchtdichte aufweist und sich deshalb das Auge nicht so stark an die Helligkeit adaptieren müssen. Zwar ist auch hier eine chromatische Adaptation durch die Teilnehmenden bemerkt worden, doch anscheinend hat diese beim Blau keinen ausschlaggebenden Einfluss auf die subjektiven Empfindungen und körperlichen Indikatoren. Diese Erklärung wird dadurch gestützt, dass die Teilnehmenden zurückgemeldet haben, dass das Rot 1 sehr hell gewesen sei und manche Teilnehmenden im ersten Moment geblendet habe. Ein anderer Grund dafür, dass sich das Blau 1 und Blau 2 nicht so stark unterscheiden, könnte im Farbton des Blaus liegen, welcher laut den Rückmeldungen nicht so anregend wie das Rot gewirkt hat und für mehr subjektiv empfundene Entspannung als das Rot gesorgt hat. Wenn nun der Reiz des Blau 1 nicht so anregend gewirkt hat, kann demnach der Unterschied zu dem durch die Adaptationsvorgänge weniger intensiv erscheinenden Blau 2 nicht mehr so groß sein, wie zwischen Rot 1 und Rot 2.

Insgesamt ist festzuhalten, dass die chromatische Adaptation bei diesem Versuch eine entscheidende Rolle spielt und direkt die subjektiven Einschätzungen und körperlichen Reaktionen beeinflusst hat. Diese Beobachtung wird dadurch gestützt, dass es zwischen den Farben insgesamt in der ersten Wiederholung (Rot 1 und Blau 1) mehr signifikante Ergebnisse als in der zweiten Wiederholung gibt.

Geschlecht und subjektive Einschätzungen

Das Geschlecht spielt eine signifikante Rolle bei den subjektiven Bewertungen und der Herzfrequenz. Weibliche Teilnehmerinnen haben sich insgesamt eher als angespannter und unzufriedener als männliche eingeschätzt und haben mehr subjektive Unterschiede zwischen den Farben wahrgenommen. Außerdem haben die weiblichen Probandinnen bei Rot eine signifikant schnellere Herzfrequenz als bei Blau. Die männlichen Versuchsteilnehmer zeigen diesen Unterschied nicht. Aus diesen beiden Ergebnissen lässt sich bestätigend zu den vorherigen Vermutungen aus Abschnitt 6.7.2 mutmaßen, dass eine erhöhte Angespanntheit und Unzufriedenheit die Probandinnen ansprechbarer auf die Unterschiede zwischen den beiden Farben machen könnten, welches sich neben den subjektiven Einschätzungen auch an dem physiologischen Parameter der Herzfrequenz zeigt.

Insgesamt müssen jedoch die Ergebnisse der subjektiven Bewertung mit Vorsicht betrachtet werden, da sie subjektiv sind und die weiblichen Probandinnen möglicherweise im Allgemeinen aus der Sozialisierung heraus dazu tendieren könnten, ihr Wohlbefinden ein wenig unzufriedener und angespannter anzugeben als männliche.

Vegetativer Typ

Vagotoniker haben per Definition insgesamt eine höhere RSA und eine geringere Atem- und Herzfrequenz als die Sympathotoniker, was durch die vorliegenden Ergebnisse bestätigt wird. Der rote Lichtreiz hat über fast alle Parameter auf beide vegetativen Typen einen gleichhohen Einfluss, hingegen ist der Unterschied zwischen den beiden Typen beim blauen und neutralen am größten. Bei der RSA z.B. haben die Vagotoniker beim Blau eine signifikant und beim Neutral eine marginale höhere RSA als die Sympathotoniker. Das heißt, dass das Blau und Neutral auf die durch ihr Nervensystem bereits parasympathisch beeinflussten Versuchsteilnehmenden parasympathischer wirken, als auf die sympathisch konstituierten. Dies könnte daran liegen, dass die Vagotoniker schneller und einfacher in einen parasympathischen Zustand gelangen können als die Sympathotoniker. Dies wird bestätigt durch die RMSSD-Werte, bei denen die Vagotoniker bei Blau und Neutral marginal höhere Werte zeigen als die Sympathotoniker. Bei den sympathisch indizierenden Parametern der SDNN und des LF-Bands weisen die Vagotoniker jedoch ebenfalls höhere Werte vor als die Sympathotoniker, was auf höhere sympathische Aktivität bei der Blaupräsentation hinweist. Dies widerspricht auf den ersten Blick dem zuvor genannten Ergebnis, jedoch verhalten sich die vegetativen Anteile des Nervensystems nicht immer antagonistisch zueinander. Somit ist hier festzustellen, dass die Vagotoniker bei Blau sowohl höhere parasympathische als auch sympathische Aktivität als die Sympathotoniker und damit eine allgemeine Erhöhung der vegetativen Aktivität aufweisen. So lässt sich sagen, dass sie bei Blau eine höhere HRV haben als die Sympathotoniker, was ein Indikator für erhöhte parasympathische Aktivität ist. Dem ist hinzuzufügen, dass die Vagotoniker insgesamt mehr Unterschiede zwischen den Farbwiederholungen und Farben als die Sympathotoniker zeigen und der bereits oben begründete Wiederholungsunter-

schied zwischen Rot 1 und Rot 2 nur bei diesem vegetativen Typ im HF-Band zu beobachten ist. All diese Beobachtungen könnten darauf hindeuten, dass sie sensibler auf die Lichtreizunterschiede reagieren als die Sympathotoniker.

Das zuletzt genannte Ergebnis, bei dem Rot 2 bei den Vagotonikern einen höheren HF-Wert hat als Rot 1, zeigt auch hier wieder die stärkere parasympathische Wirkung des Rot 2 im Vergleich zum Rot 1. Das Ergebnis von LF/HF, bei dem dieser Wert beim Rot 1 höher als beim Rot 2 ist, unterstützt das Ergebnis des HF-Bands. Hier lässt sich vermuten, dass der erhöhte Wert des Bruches durch den erhöhten Wert im HF-Band ausgelöst wird und nicht durch das LF-Band, da das LF-Band bezüglich dieser Thematik kein signifikantes Ergebnis geliefert hat. Dies ist ein Hinweis darauf, dass beim Rot 2 die parasympathische Aktivität steigt und nicht, dass beim Rot 1 die sympathische Aktivität steigt.

Doch nicht bei allen Parametern zeigen nur die Vagotoniker signifikante Ergebnisse zwischen den Farbwiederholungen. Auch bei den Sympathotonikern ist dies einmal vorgekommen: Bei der Herzfrequenz (RR) zeigen die Sympathotoniker zwischen Rot 1 und Neutral 1 eine Signifikanz, bei der die Herzfrequenz beim Rot 1 schneller als beim Neutral 1 ist. Dies muss jedoch kein Beweis für eine gleichhohe Ansprechbarkeit der Sympathotoniker im Vergleich zu den Vagotonikern sein, sondern kann auch dadurch begründet sein, dass sie grundsätzlich per Definition eine höhere Herzfrequenz und damit auch mehr Spielraum in der Veränderung der Herzfrequenz haben. Die schnellere Herzfrequenz beim Rot bestätigt wieder die insgesamt festgestellte Tendenz des anregend wirkenden Rots.

Außerdem könnte der etwa gleichhohe Einfluss des Rots (auch bei der RSA) auf beide vegetative Typen zeigen, dass es in seiner Wirkung im Vergleich zu den anderen Farben so stark ist, dass es keinen Unterschied macht, welcher vegetative Typ diesem Reiz ausgesetzt ist. Bei der Atemfrequenz jedoch gibt es einen signifikanten Unterschied zwischen den beiden vegetativen Typen beim Rot, wobei die Vagotoniker eine signifikant geringere Atemfrequenz aufweisen. Dies zeigt, dass sie auch beim Rot ihrem vegetativen Typen entsprechende Reaktionen zeigen können.

Insgesamt hat sich eine Parallele zu der Unterteilung in die beiden Gruppen A und B gezeigt: Die Vagotoniker haben sich, wie die Gruppe B, insgesamt unzufriedener und angespannter gefühlt als die Sympathotoniker und insgesamt mehr Anspannung bei Rot 1 als bei Blau 1 wahrgenommen (Arousal). Dies könnte wieder beweisen, dass die stärkere Unzufriedenheit und Angespanntheit zu einer stärkeren Ansprechbarkeit auf die Reize führen.

Final ist festzuhalten, dass die Unterscheidung der vegetativen Typen wichtig sein kann, um zu verstehen, warum Menschen unterschiedlich auf denselben Lichtreiz reagieren.

Messzeitpunkt

Der Messzeitpunkt spielt bei der Atem- und Herzfrequenz eine signifikante Rolle: Die Atemfrequenz ist bei Rot um 11 Uhr signifikant geringer als um 10 Uhr und die Herzfrequenz bei Blau um 11 Uhr signifikant geringer als um 10 Uhr. Dies könnte einerseits zeigen, dass die beiden Parameter um 11 Uhr allgemein tendenziell geringer als um 10 Uhr sind oder andererseits ein zufällig entstandenes Ergebnis sein. Auf zweiteres weist hin, dass es einmal die Farbe Rot und einmal die Farbe Blau betrifft und dass dies in den Gesamtkontext schwer einzuordnen ist und es deshalb keine Erklärung dafür gibt. Ersteres könnte ein Hinweis darauf sein, dass die spätere Uhrzeit näher an der Mittagszeit liegt und deshalb für mehr Müdigkeit sorgt, mit der beide genannten Parameter sinken. Dies könnte zudem auch durch die bis

dahin erhöhte Raumtemperatur unterstützt worden sein, die bei den Versuchspersonen um 11 Uhr etwas höher als bei denen um 10 Uhr gewesen ist.

Das dritte Ergebnis in Bezug auf den Messzeitpunkt betrifft die RSA, bei der das Blau um 11 Uhr signifikant parasympathischer wirkt als das Rot. Dies könnte einerseits wieder zeigen, dass das Blau mehr parasympathischen Einfluss als das Rot hat und andererseits, dass die eventuell müderer Versuchsteilnehmenden um 11 Uhr, durch ihre Müdigkeit leichter parasympathisch auf den blauen Lichtreiz ansprechbar gewesen sind. So wie die Vagotoniker eventuell ebenfalls leichter parasympathisch auf den blauen Lichtreiz ansprechbar gewesen sind (s.o.).

Ein parasympathisch ansprechender Versuch

Bei den Ergebnissen der HRV-Parametern stellt sich heraus, dass für diesen Versuch nicht alle ein aussagekräftiges Ergebnis in Bezug auf Farbunterschiede liefern, wozu u.a. die SDNN und das LF-Band gehören. Zudem zeigen die Vagotoniker insgesamt deutlich mehr signifikante Ergebnisse als die Sympathotoniker. Diese Tatsachen sind ein Hinweis darauf, dass dieser Versuch die Versuchsteilnehmenden insgesamt eher parasympathisch als sympathisch anspricht. Man kann auch sagen, dass der Vagotonus bei diesem Versuchsdesign der Vermittler der Effekte ist.

Dies bedeutet schließlich für folgendes Beispiel, dass bei Gruppe B das Rot weniger entspannend und parasympathisch wirkt als das Blau, aber nicht, dass es sympathischer und anregender wirkt. Auch wenn sich der Parasympathikus und Sympathikus meistens antagonistisch zueinander verhalten, muss die Aussage, dass das Rot sympathischer und anregender wirkt, mit Vorsicht betrachtet werden. Denn um das mit Sicherheit sagen zu können, hätten die sympathisch indizierenden Parameter der HRV deutlich signifikantere Ergebnisse beim Rot zeigen müssen. Ein Hinweis auf das sympathisch wirkende Rot könnte jedoch das Ergebnis bei den Sympathotonikern sein, die eine erhöhte Herzfrequenz beim Rot 1 im Vergleich zum Neutral 1 zeigen.

Unterschied zu den Ergebnissen von Steer-Reeh

Abweichungen zu den Ergebnissen von Steer-Reeh können u.a. durch das veränderte Versuchsdesign zustande gekommen sein. Es gibt Unterschiede im Aufbau des Raums, in der Höhe der Leuchtdichte, in dem Versuchsdesign und in der Leuchtmittelwahl. Außerdem sind bei diesem Versuch alle Farbreize bei ein und demselben Versuchsdurchlauf dargeboten worden, hingegen die Teilnehmenden bei dem Versuch von Steer-Reeh an zwei verschiedenen Tagen den beiden Lichtreizen ausgesetzt worden sind. Der Vorteil ihres Versuchsdesign ist, dass die Wahrnehmung des dargebotenen Farbreizes nicht von den vorher dargebotenen Farbreizen abhängt (chromatische Adaptation). Ein Nachteil ist hingegen, dass die Versuchsteilnehmenden an zwei verschiedenen Tagen unterschiedliche Voraussetzungen, wie die psychische und körperliche Befindlichkeit, mitbringen, wodurch die Ergebnisse stark beeinflusst werden können.

Zusammenfassung

Insgesamt ist festzuhalten, dass die zuvor beschriebenen Komponenten berücksichtigt werden müssen, um signifikante Ergebnisse in den Farbunterschieden zu ermitteln. Bei dieser genauen Betrachtung sind eindeutige Hinweise darauf zu erkennen, dass das blaue Szenario einen höheren parasympathischen

Einfluss als das rote hat und dass die Darbietungsreihenfolge eine große Rolle spielt. Ebenso liefern meistens nur die ersten Farbwiederholungen, die eine Minute angedauert haben, Signifikanzen, sodass davon ausgegangen werden kann, dass dieses Versuchsdesign nur Kurzzeiteffekte von bis zu einer Minute aufzeigen kann. Die naheliegendste Begründung dafür liegt in der chromatischen Adaptation, die den Beschreibungen der Versuchspersonen zufolge bereits nach ca. einer Minute so stark wahrnehmbar gewesen ist, dass sie die Farbwirkung deutlich abgeschwächt hat.

Anhand des Unterschieds zwischen Rot 1 und Rot 2 ist die direkte Verbindung der Reizwahrnehmung mit den Emotionen und körperlichen Reaktionen zu beobachten. Sie beginnt bei der reinen Reizempfindung mitsamt den Adaptationsmechanismen, geht über die Interpretation und die Verbindung mit Assoziationen und führt schließlich zu körperlichen Reaktionen.

Die Unterscheidung in Geschlechter und die vegetativen Typen zeigt, wie unterschiedlich verschieden konstituierte Menschen auf dieselben Lichtreize reagieren. Außerdem hätten ohne sie einige signifikante Ergebnisse nicht entdeckt werden können.

Abschließend sei noch einmal auf das neu eröffnete Interpretationsfeld hinzuweisen, bei dem die körperlichen Reaktionen nicht nur von den Farbreizen, sondern auch von dem emotionalen Zustand der Versuchsteilnehmenden abhängen könnten. Dies würde zur in Abschnitt 2.2.3 beschriebenen Komplexität der neuronalen Vorgänge der Reizwahrnehmung und Verarbeitung im menschlichen Gehirn und Körper passen.

7.2 Reflexion dieser Forschungsarbeit

Die vorliegenden Ergebnisse sind in Anbetracht der vorliegenden Rahmenbedingungen zu reflektieren. Im Folgenden werden die Eignung des Versuchsdesigns und die verwendeten Indikatoren und Auswertungsmethoden bewertet.

7.2.1 Eignung des Versuchsdesigns

Räumlichkeit und äußere Bedingungen

Dieser Versuch hat kontrollierbare Versuchsbedingungen geschaffen, unter denen die Wirkung von farbigem Licht auf den Menschen untersucht wird. Die Aufmerksamkeit der Teilnehmenden sollte dabei stets auf der Farbfläche liegen und so wenig wie möglich von dem umgebenden Raum abgelenkt werden. Durch die klare Ausleuchtung, die den Fokus auf die Darbietungsfläche gelegt hat, ist dies weitestgehend gewährleistet worden. Doch ist anzumerken, dass der Raum aus Molton-Wänden bestanden hat und somit ein künstliches Szenario erstellt worden ist. Dies könnte Teilnehmende insoweit beeinflussen, als dass sie sich während der Reizdarbietungen gefragt haben, wie der Raum und die Darbietungsfläche aufgebaut sind. Dies hat ihre Aufmerksamkeit unter Umständen von der Darbietungsfläche ablenken können.

Durch die Menge an weißem Molton, der vor den Fenstern des Raumes gehangen hat und durch die direkte Angrenzung des Raumes an einen Flur, ist es schwierig gewesen den Versuchsraum zu lüften. Somit ist mit der Zeit die Luft dort schlechter geworden. Zudem haben die Leuchten, v.a. die Tageslicht-

leuchte, den Raum im Laufe der Zeit noch weiter erhitzt. Aus diesem Grund haben die Versuchspersonen um 11 Uhr leicht andere Versuchsbedingungen als die um 10 Uhr gehabt.

Zudem hat sich die Oberflächenstruktur der diffusen Folie mit den Tagen etwas aufgelöst und es haben sich Muster auf der Darbietungsfläche gebildet. Dies hat zu Wahrnehmungsveränderungen (sich bewegendes Muster während des Farbreizes) bei den Teilnehmenden geführt, die sie ebenfalls von dem eigentlichen Reiz abgelenkt haben könnten. Dadurch hat sich die Reizfläche in ihrem Aussehen beispielsweise an Versuchstag 10 im Vergleich zum ersten Versuchstag unterschieden.

Ablauf

Jede Versuchsperson hat weitestgehend denselben Versuchsablauf durchlaufen, wobei es kaum zu Ausnahmen gekommen ist. Der einzige Punkt, der bei allen leicht unterschiedlich gewesen ist, ist die Dauer der SAM-Befragung, da sie abhängig von den subjektiven Wahrnehmungen der Teilnehmenden ist. Dies bedeutet, dass manche Teilnehmenden einem Farbreiz, wenn auch nur indirekt (nicht direkt hineinschauend), länger ausgesetzt gewesen sind als andere. Dies könnte eventuell die körperlichen und subjektiven Auswirkungen beeinflusst haben, hat aber auch den Vorteil mit sich gebracht, mehr Informationen über die subjektiven Empfindungen und Wahrnehmungen der Farbreize der Versuchspersonen zu gewinnen.

Die Darbietungsdauer des Neutrals von 1:30 min ist sehr wichtig gewesen, da den Aussagen der Teilnehmenden zufolge in dieser Zeit die gewünschte chromatische Adaptation hin zu einem Weiß stattfinden konnte. Eine Person hat geschildert, dass innerhalb dieser Zeit das zuerst orange wirkende Neutral nach dem Blau mit der Zeit als Warmweiß und das zuerst cyan wirkende Weiß nach dem Rot mit der Zeit als Kaltweiß wahrgenommen worden ist. Es ist wichtig gewesen, den Teilnehmenden diese Zeit für die chromatische Adaptation zu geben. Es zeigt aber auch, dass aufgrund des vorherigen Farbtons nicht dasselbe Neutralweiß wahrgenommen werden kann. Dies verdeutlicht noch einmal mehr, warum die Darbietungsreihenfolge bei diesem Versuch von so starker Relevanz ist. Um die subjektive Wahrnehmung der beiden Weißtöne noch näher aneinander zu bringen, wäre es folglich notwendig gewesen, diese Phase noch etwas länger beizubehalten (z.B. bis zu 2 min), doch ist nicht sicher, ob dies eine Wirkung gezeigt hätte, da die Wahrnehmung des Farbtons immer in Referenz zu einem anderen Lichtreiz (hier dem vorherigen) steht.

Da der Versuch nicht auf die Wirkung des neutralen Lichtreizes ausgelegt gewesen ist, sollte dieser im Vergleich zu den Farbreizen nicht besonders auffällig sein und keine intensive Wahrnehmungserfahrung bieten. Dies ist den Ergebnissen und Rückmeldungen zufolge gelungen.

Aufgrund der chromatischen Adaptation und Helligkeitsadaptation hätte wohlmöglich eine Darbietungsdauer von einer Minute pro blauem und rotem Farbreiz gereicht, da in den meisten Messungen zu sehen ist, dass nur die ersten Farbwiederholungen signifikante Farbunterschiede zeigen. Dementsprechend ist es umso wichtiger gewesen, die Wiederholungen bei der Auswertung zu unterscheiden.

Für die kürzere Darbietungszeit spricht ebenso, dass einige Teilnehmende mit der Zeit ermüdet sind und das starre Geradeaus-Schauen mit der Zeit als anstrengend empfunden haben. Dies kann die körperlichen Messungen beeinflussen und eine Ermüdung sollte wenn möglich für weitere ähnliche Versuche vermieden werden.

Die Phase des gesteuerten Atmens hat sich insofern gelohnt, dass das vegetative Merkmal der Vagotoniker und Sympathotoniker ermittelt werden konnte. Zu kritisieren ist jedoch, dass die einminütige Neutraldarbietung nach der Phase möglicherweise nicht ausgereicht hat, um die Personen wieder in ihren normalen Atemrhythmus zu bringen. Denn einige Teilnehmende haben das Ende des gesteuerten Atmens als stressig empfunden und sich möglicherweise innerhalb einer Minute noch nicht davon erholt.

Unabhängige Variablen

Wie schon in Abschnitt 3.2.3 beschrieben, sind der rote und der blaue Lichtreiz weder Bestrahlungs- noch Beleuchtungsstärkegleich zueinander eingestellt worden. Dies hat zur Folge gehabt, dass das Rot den Teilnehmenden deutlich heller erschienen ist als das Blau. Dies hat die Reizwahrnehmung und somit die subjektiven Bewertungen und höchstwahrscheinlich auch die physiologischen Messparameter beeinflusst. Für einen nächsten Versuch sollten diese Einstellungen erneut überdacht werden und eventuell mit einer Beleuchtungsstärkegleichheit gearbeitet werden, da wie es scheint, die wahrgenommene Intensität des Rots einen deutlichen Einfluss auf die hier verwendeten Messparameter hat.

Anhand der Ergebnisse ist zu sehen, dass es sehr wichtig ist, die unabhängigen Variablen des Geschlechts, des Messzeitpunkts, der Gruppen A und B und der vegetativen Typen in die Auswertung einzuschließen. Dies zeigt sich besonders an der Unterscheidung der Gruppen A und B ohne diese es kaum signifikante Ergebnisse gäbe, da die Darbietungsreihenfolge eine solch große Rolle spielt. Ohne das Einbeziehen der beiden Gruppen in die Auswertung, hätten sie sich gegenseitig so ausgeglichen, dass sich kaum signifikante Ergebnisse gezeigt hätten.

Diese unabhängigen Variablen sind bei diesem Versuch insgesamt gleichmäßig zueinander verteilt (siehe Abschnitt 4.3) worden, was ein sehr kontrolliertes Versuchsdesign ermöglicht hat. Dies ist erst einmal als positiv zu bewerten, könnte aber auch ein Grund für weniger signifikante Ergebnisse gewesen sein.

Außerdem würden wohlmöglich mehr Versuchspersonen zu signifikanteren Ergebnissen führen, da an einigen Stellen durch marginale Signifikanzen nur Tendenzen ermittelt worden sind. Es ist jedoch auch denkbar, dass dadurch manche Signifikanzen abgeschwächt werden würden.

Zusammenfassung

Insgesamt ist festzuhalten, dass das Versuchsdesign einen geeigneten Grundstein für die Untersuchung von farbigen Lichtreizen auf den Körper bietet, jedoch können bei den Themen der Darbietungsdauer, der Räumlichkeit, dem Messzeitpunkt, den Einstellungen der Beleuchtungsstärken und der Menge an Versuchspersonen noch Optimierungen vorgenommen werden. Diese würden wohlmöglich zu mehr signifikanten Ergebnissen führen.

7.2.2 Eignung der Indikatoren und Auswertungsmethoden

An dieser Stelle wird die Eignung einiger verwendeter Indikatoren und die für sie verwendeten Auswertungsmethoden diskutiert. Dabei werden die Subjektive Bewertung, die RSA, die Unterscheidung der vegetativen Typen, die HRV-Parameter und weitere unabhängige Variablen betrachtet. Ebenso werden die nicht in der Auswertung berücksichtigten Ergebnisse noch einmal dargelegt, die Funktion des „Cardio Secur Pro 12“-Systems bewertet und die Auswertungskomplexität reflektiert.

Subjektive Bewertung

Da die Reizwahrnehmung, wie in Abschnitt 2.2.3 dargelegt, auf neuronalen Vorgängen des Gehirns beruht und deshalb das Sehen immer mit einer Interpretation und subjektiven Bewertung der Sehenden einhergeht, bietet die SAM-Befragungsmethode und die Notizzeile eine gute Möglichkeit, diese zusätzlich zu den physiologischen Parametern zu erfassen. So können Zusammenhänge besser verstanden und die physiologischen Ergebnisse in den Gesamtkontext eingeordnet werden. Der Vorteil der SAM-Befragungsmethode ist zudem, dass sie die subjektiven Wahrnehmungen einfach und schnell in Werte umwandelt, die wiederum statistisch ausgewertet werden können. Diese beiden Vorteile sind bei der Notizzeile nicht gegeben. Sie bietet jedoch wertvolle Informationen über die subjektive Reizwahrnehmung und ihre Wirkung. Durch sie wird erst der Grund des deutlichen Unterschieds zwischen Rot 1 und Rot 2 deutlich. Ebenfalls wird durch sie erfasst, dass Vorerfahrungen und Assoziationen bei der Reizwahrnehmung einen Einfluss haben können und wie eng Reiz, Emotion, Wahrnehmung und körperliches Empfinden miteinander verbunden sind.

An dieser Stelle sei noch einmal darauf hingewiesen, dass die SAM-Befragung, die ebenfalls auf den Eingangsfragebögen zu finden ist, nicht in die Auswertung mit einbezogen worden ist. Damit hätte im Falle der weiblichen Teilnehmerinnen möglicherweise aufgeklärt werden können, ob ihre verstärkte Unzufriedenheit und Angespanntheit bereits vor den Farbreizen von ihnen angegeben worden sind oder ob diese direkt mit den Farbreizen in Zusammenhang gestanden haben. Dadurch hätte geklärt werden können, ob die weiblichen Teilnehmerinnen sich allgemein als unzufriedener und angespannter bewerten oder ob sie tatsächlich anders auf die Farbreize als die männlichen reagieren.

Insgesamt müssen jedoch die gegebenen Antworten bei der SAM-Befragung mit Vorsicht betrachtet werden, da sie subjektiv sind und deshalb die daraus resultierenden Werte nicht direkt mit den Werten anderer Personen vergleichbar sind. So muss der Vergleich zwischen den Antworten der Farbphasen zuerst immer bei jeder einzelnen Person betrachtet werden und erst danach das daraus folgende Ergebnis mit denen der anderen verglichen werden.

RSA

Die Erfassung der RSA beruht auf einer speziellen Auswertungsmethode, die händisch in Kubios durchgeführt worden ist, da sie in der Software nicht als Parameter angegeben wird. Dabei beruht der RSA-Wert auf der vorhandenen Atemfrequenz der Teilnehmenden. Es ist für die Ermittlung des vegetativen Typs davon ausgegangen worden, dass der vorgegebene Atemrhythmus von den Teilnehmenden weitestgehend eingehalten wird. Für die Ermittlung der RSA in den Farbphasen wird sich auf einen EDR-Algorithmus der Kubios-Software berufen, der die aktuelle Atemfrequenz berechnet. Dieser hängt wiederum von dem in der Software eingestellten Kanal und von der eingestellten Stärke der „Beat correc-

tion“ ab. Bei diesem Versuch ist für alle Teilnehmenden der gleiche Kanal 1 verwendet worden, doch die Stärke der „Beat correction“ hat bei einer Versuchsperson von „Automatic correction“ auf „Threshold (strong)“ eingestellt werden müssen, da ihre Ergebnisse keine gute Qualität gezeigt haben. Diese Einstellung hat die EDR deutlich beeinflusst. Das zeigt, dass die RSA von dem Algorithmus der Software abhängt und es keine vollständige Sicherheit dafür gibt, ob die ermittelte Atemfrequenz auch wirklich der tatsächlichen der Versuchsperson entspricht. Dies ist bei den Ergebnissen der RSA zu berücksichtigen.

Vegetativer Typ

Bei der Einordnung der vegetativen Typen ist ebenfalls zu berücksichtigen, dass diese zwei Gruppen anhand eines Mittelwertes getrennt worden sind (siehe Abschnitt 5.1.3). Dieser ist durch die vorliegenden Mittelwerte der Teilnehmenden festgelegt worden. Oberhalb dieses Mittelwertes sind sie den Vagotonikern und unterhalb den Sympathotonikern zugeordnet worden. Dies bedeutet, dass manche Teilnehmenden auch nah an diesem Mittelwert gelegen haben und somit auch beinahe der anderen vegetativen Gruppe hätten zugeordnet werden können. Dies ist bei den Ergebnissen der vegetativen Typen zu berücksichtigen.

Insgesamt hat es sich gelohnt, die vegetativen Typen zu unterscheiden, da es bei Parametern wie beim LF-Band ansonsten keine signifikanten Ergebnisse gegeben hätte. Des Weiteren kann auf Grundlage dieses Versuchs der Frage nachgegangen werden, inwieweit die Vagotoniker ansprechbarer auf unterschiedliche Farblichtreize sind als Sympathotoniker. Dies könnte auch auf höheren Ebenen betrachtet werden, indem untersucht wird, inwieweit die Vagotoniker auch allgemein ansprechbarer auf unterschiedliche äußere Bedingungen sind als Sympathotoniker.

Cardio Secur Pro 12-System

Die EKG-Messung im Allgemeinen ist die Grundlage für die Messung der HRV-Parameter, daher ist es wichtig, dass sie mit einem System untersucht wird, welches einwandfrei funktioniert. Leider hat es bei diesem Versuch bei der EKG-Aufzeichnung einige Probleme gegeben. Dabei ist v.a. die Zeitzählung der App „Cardio Secur Pro“ anzusprechen, die die Sekunden schneller zählt als eine gewöhnliche Uhr. Dies hat die Versuchsdurchführung komplizierter gestaltet und für leichte Messunsicherheiten gesorgt. Wenn die Versuchsleitung im Vorhinein um diesen Zeitversatz weiß (so wie in diesem Versuch), kann sie die Ergebnisse dementsprechend einordnen, doch wenn sie es nicht weiß, kommt sie zu Ergebnissen, die, für diesen Versuch, um bis zu 20 s abweichen. Bei diesem Versuchsdesign hat es keine Rolle gespielt, ob die Farbphase eine Sekunde früher oder später begonnen hat, aber 20 s wären schon eine zu deutliche Verschiebung, die die Versuchsergebnisse beeinflussen würden. Insgesamt lässt sich sagen, dass sich das verwendete System für diesen Zweck eignet, jedoch bei der App Verbesserungen in der Genauigkeit der Zeitzählung notwendig sind, um qualitativ gute Ergebnisse zu erhalten.

HRV-Parameter

Für die Diskussion über die Eignung der Ergebnisse der HRV-Parameter können Ausführungen von Gernot Ernst herangezogen werden, der sich dieser Thematik ausführlich angenommen hat: Auch wenn die Interpretation der HRV-Messergebnisse komplex ist und es weiterhin neue Erkenntnisse zu ihr gibt,

ist sie laut Ernst (2017) aus einer systemwissenschaftlichen Perspektive ein hochentwickeltes und relevantes Instrument für wissenschaftliche und klinische Erkenntnisse. Gemäß Ernst liegt jedoch ein großes Problem darin, dass in der Erforschung der HRV-Parameter und ihrer Bedeutung Studien herangezogen werden, die die HRV als Analyseparameter verwenden, sie aber nicht als zentrale Hauptfragestellung beinhalten (vgl. Ernst, 2017, S. 8). So kommt es vor, dass die HRV-Parameter laienhaft als Indikatoren für bestimmte Auswirkungen interpretiert werden. Er fordert mehr Studien, die diese Parameter als zentralen Gegenstand beinhalten und sie nicht nur als Mittel zum Zweck verwenden. Insgesamt sollten daher HRV-Ergebnisse immer im Zusammenhang mit dem Gesundheitszustand, dem Alter, dem Geschlecht, dem BMI und dem sozialen Hintergrund der Versuchspersonen gesehen werden (vgl. ebd.).

In dieser Studie dienen die HRV-Parameter ebenfalls nur als Mittel zum Zweck. Deshalb muss die Interpretation dieser HRV-Ergebnisse mit Vorsicht betrachtet und vor dem Hintergrund der Komplexität der Mechanismen des Körpers kritisch reflektiert werden. Positiv zu vermerken ist hier jedoch, dass die meisten von Ernst geforderten Zusammenhänge in diesem Versuch betrachtet worden sind. Außerdem sind in diesem Versuch weitere Parameter, wie die subjektiven Bewertungen, die Atemfrequenz und die RSA erfasst worden, die zusätzliche wichtige Informationen zu den HRV-Parametern liefern.

Insgesamt zeigt sich, dass nicht alle HRV-Parameter besonders aussagekräftig für diesen Versuch sind. Dies ist keine Besonderheit, sondern nur ein Zeichen dafür, dass viele Parameter verschiedene Ergebnisse liefern und ein Versuchsdesign nicht unbedingt alle Parameter anspricht, sondern nur einige von ihnen. In diesem Versuch waren die parasympathisch indizierenden Parameter sensitiver für die vorliegenden experimentellen Faktoren als die sympathisch indizierenden.

Unabhängige Variablen

Aus den vorangegangenen Gründen ist umso wichtiger all diese unabhängigen Variablen in der Auswertung zu berücksichtigen. So hat sich neben der Gruppenunterscheidung (Gruppe A und Gruppe B) auch die Unterscheidung der Messwiederholungen gelohnt, da insgesamt oft keine signifikanten Ergebnisse im Farbunterschied liegen, aber in der ersten Wiederholung Farbunterschiede zu erkennen sind. Auch zwischen den Wiederholungen einer Farbe gibt es somit einen großen und wichtigen Unterschied zwischen Rot 1 und Rot 2, der ohne diese Unterscheidung nicht zu sehen ist.

Insgesamt lässt sich sagen, dass in diesem Versuch viele unabhängige Variablen berücksichtigt worden sind, die wichtig für diesen Versuch sind. Dadurch werden wichtige Einflussfaktoren wie die Darbietungsreihenfolge und der Messzeitpunkt ersichtlich und können in folgenden Versuchen berücksichtigt werden. Des Weiteren sind die im Eingangsfragebogen erfassten unabhängigen Variablen des Alters, der Zyklusphase, der derzeitigen Schmerzempfindung, des Hungergefühls, der Ausführung von Entspannungstechniken und von Sport und das Vorwissen zu Lichtwirkungen aus Gründen des Umfangs nicht bei der Auswertung berücksichtigt worden. All diese Daten sind jedoch erhoben worden und könnten weiter untersucht werden.

Nicht verwendete Indikatoren

Zusätzlich zu den zuvor genannten Variablen und der SAM-Befragung des Eingangsfragebogens sind bei der Auswertung ebenso alle durch die EKG-Daten ermittelten Indikatoren der Phase des gesteuerten Atmens (außer die RSA) und der des darauffolgenden Neutrals aufgrund des Umfangs und der Funktionsart von „SPSS Statistics“ nicht berücksichtigt worden. Diese Ergebnisse könnten Erkenntnisse zu der Wirkung der Phase des gesteuerten Atmens liefern und inwieweit sie den darauffolgenden Versuch beeinflussen.

Auswertungskomplexität

An den vorangegangenen Ausführungen ist zu erkennen, dass für diese Auswertung deutlich mehr Zeit notwendig gewesen wäre. Ebenso wäre dabei eine Zusammenarbeit mehrerer Personen eine Hilfe gewesen. Prof. Dr. Jürgen Lorenz hat bei der Auswertung mittels SPSS und auch bei der Erläuterung der Ergebnisse aus medizinischer Sicht unterstützen können, doch bei der Verbindung aller Einzelergebnisse und dem Herausstellen aller auffälligen Tendenzen hätte es mit mehreren Personen wahrscheinlich noch mehr oder klarere Ergebnisse geben können. Außerdem ist die Auswertung mithilfe von „SPSS Statistics“ sehr komplex. Dort könnten neben der Untersuchung weiterer Interaktionen zwischen den Variablen noch genauer auf die Relevanz der Kovariaten eingegangen werden. Insgesamt ist es sinnvoll gewesen, die Kovariaten in der SPSS-Auswertung zu berücksichtigen, da sie auf viele Indikatoren einen signifikanten Einfluss gehabt haben. Jedoch ist aufgrund der Komplexität nicht die Zeit dazu gewesen, jeden Indikator bei jeder Interaktion auf den Einfluss der Kovariaten zu untersuchen. Deshalb hat eine grobe Schätzung über die Ergebnisse zu dem Schluss geführt, dass diese hier verwendeten Kovariaten Sinn ergeben. Der BMI hat als Kovariate schließlich einen signifikanten Einfluss auf Atemfrequenz, RSA, SDNN, RMSSD und LF- und HF-Band gehabt und die Atemfrequenz hat als Kovariate einen Einfluss auf RSA, SDNN, RMSSD und LF- und HF-Band gehabt. Das Geschlecht hat ebenfalls einen signifikanten Einfluss gehabt, welcher bereits in den Ergebnissen erläutert worden ist.

Außerdem hätte man die Kovariaten auch noch auf ihren Mittelwert zentrieren und schauen können, ob dies auf die Ergebnisse einen neuen signifikanten Einfluss hat. Dafür hätte man von dem jeweiligen Messwert den Mittelwert abziehen müssen.

Alles in allem lässt sich festhalten, dass die Auswertung und Interpretation der Ergebnisse durch die Zusammenarbeit mehrerer Personen noch genauer hätte durchgeführt werden können und dadurch die Aussagekraft eventuell hätte gesteigert und abgesichert werden können.

Zusammenfassung

Insgesamt lässt sich sagen, dass die verwendeten Messinstrumente und -Methoden für dieses Versuchsdesign geeignet gewesen sind. Jedoch ist festzustellen, dass es wichtig ist, in die Auswertung alle möglichen Merkmale und Rahmenbedingungen, die die Ergebnisse beeinflussen könnten, mit einzubeziehen und die Farbreize auf diese Aspekte hin zu analysieren. Alle verwendeten Indikatoren und Messinstrumente sollten auf ihre Genauigkeit überprüft werden und die Ergebnisse immer auf ihrer Grundlage reflektiert werden. Dies betrifft in diesem Versuch besonders die Bestimmung der RSA und die des vegetativen Typen. Ebenso sollten die HRV-Parameter richtig bzw. mit fachkenntlichem Wissen inter-

pretiert werden. Durch die hohe Komplexität des Versuches, dem Mangel an Zeit für die Auswertung und die geringe Personenanzahl, die diese durchgeführt hat, sind höchstwahrscheinlich noch nicht alle hier möglichen Ergebnisse und Resultate dargelegt.

8 Fazit und Ausblick

Bei diesem Versuch ist es besonders wichtig gewesen, in die Auswertung so viele Einflussfaktoren wie möglich einzubeziehen: Messzeitpunkt, Messwiederholung, Darbietungsreihenfolge, Geschlecht und vegetativer Typ. Dabei ist herausgefunden worden, dass der verwendete blaue Lichtreiz tendenziell mehr parasympathische Aktivität im vegetativen Nervensystem auslöst als der rote. Außerdem wirkt die zweite Wiederholung des Rots parasympathischer als die erste. Beide Ergebnisse zeigt hauptsächlich die Gruppe, die Rot als erstes und Blau als zweites dargeboten bekommen hat, woran deutlich wird, dass die Darbietungsreihenfolge eine wichtige Rolle spielt. Ohne die genannten Einflussfaktoren wäre es zu keinen signifikanten Ergebnissen gekommen. Dieses Versuchsdesign hat insgesamt eher parasympathische als sympathische Reaktionen im Körper der Versuchspersonen ausgelöst.

Die vorliegenden Versuchsergebnisse bestätigen teilweise die Ergebnisse von Steer-Reeh (2012). Ebenso können Ähnlichkeiten zu den Ergebnissen von Choi et al. (2011) erkannt werden, indem es Hinweise darauf gibt, dass die emotionale Verfassung der Versuchspersonen ihre Ansprechbarkeit auf die unterschiedlichen Farbreize beeinflussen kann.

Insgesamt ist festzuhalten, dass dieses Versuchsdesign ein geeignetes Mittel sein kann, um die Wirkung von farbigen Lichtreizen auf den Körper zu untersuchen. Für zukünftige darauf aufbauende Versuche sollte es jedoch in den Themen der Darbietungsdauer, der Räumlichkeit, dem Messzeitpunkt, der Einstellungen der Beleuchtungsstärken und der Menge an Versuchspersonen noch Optimierungen geben, die sich an den Vorschlägen aus dem Abschnitt 7.2. orientieren können. Wichtig wäre es, dabei weiterhin die lichttechnisch eingestellten Parameter genau zu erfassen. Aufgrund der sensiblen Reaktionen des Körpers ist es des Weiteren essenziell, so viele physiologische Eigenschaften wie möglich von den Versuchsteilnehmenden aufzunehmen und bei der Auswertung zu berücksichtigen, um ein Ergebnis zu ermitteln, welches in dem Kontext der Versuchspersonen und der gesamten Forschung zur Wirkung von farbigem Licht eingeordnet werden kann. Dazu gehört auch die vegetative Konstitution der Versuchspersonen, die die Stärke der Ansprechbarkeit auf die Farbreize zu modulieren scheint. Durch diese Berücksichtigungen könnte deutlicher werden, inwieweit die gewählten Farben auch unabhängig von den individuellen Konstitutionen der Versuchspersonen auf ihre eigene Art und Weise wirken.

Zudem ist an dem vorliegenden Versuchsdesign deutlich geworden, dass die Reizwahrnehmung sehr komplex ist und es nicht möglich ist, die reine ungetönte Reizempfindung durch solch ein Versuchsdesign zu messen, da sie immer unter dem Einfluss von der Wahrnehmung mitsamt der Interpretation und dem Einfluss von Assoziationen und Vorerfahrungen steht. Um die ungetönte Reizempfindung und die Zapfenaktivitäten direkt messen zu können, bräuchte es andere Verfahren, die es schaffen diese beiden Felder zu trennen.

Alles in allem können diese Ergebnisse der aktuellen Forschung dienen, die die Wirkung von farbigen Lichtreizen untersucht, indem sie tendenzielle Wirkungen der Lichtfarben Blau und Rot aufzeigen und wichtige Kriterien darlegen, die die Wirkung dieser beiden Lichtfarben beeinflussen. Es benötigt jedoch noch weiterer Forschung, um die dargelegten Zusammenhänge zu überprüfen und im besten Fall zu bestätigen. Für eine weitere Forschung ist ein interdisziplinäres Arbeiten wichtig, da die Interpretation der medizinischen Ergebnisse unter fachkenntlichem Wissen durchgeführt werden sollte und gleichzeitig die lichttechnischen Bedingungen fachkenntlich entwickelt werden sollten. Dabei böte eine höhere Anzahl an Personen, die die Auswertung durchführen, die Möglichkeit, mehr Zusammenhänge zwischen den Einzelergebnissen zu erkennen und ein umfassenderes Ergebnis zu erhalten. Außerdem würde die Erhöhung der Versuchspersonenanzahl für mehr Aussagekraft und möglicherweise mehr Signifikanz in den Ergebnissen sorgen.

9 Literaturverzeichnis

- Annen, E. (2017). Kommunikations-Wirkungen von Farben sind vielfältig, vielschichtig und nie eindeutig. *Marketing Review St. Gallen*, 2(2), 62–75. https://www.researchgate.net/profile/Emil-Annen/publication/329124864_Kommunikations-Wirkungen_von_Farben_sind_vielfaltig_vielschichtig_und_nie_eindeutig/links/5bf6b435299bf1124fe625ca/Kommunikations-Wirkungen-von-Farben-sind-vielfaeltig-vielschichtig-und-nie-eindeutig.pdf
- Baer, R., Barfuss, M. & Seifert, D. (2020). *Beleuchtungstechnik: Grundlagen* (5. Aufl.). Huss-Medien GmbH.
- Berntson, G. G., Bigger, J. T., Eckberg, D. L., Grossman, P [P.], Kaufmann, P. G., Malik, M., Nagaraja, H. N., Porges, S. W., Saul, J. P., Stone, P. H. & van der Molen, M. W. (1997). Heart rate variability: origins, methods, and interpretive caveats. *Psychophysiology*, 34(6), 623–648. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8986.1997.tb02140.x>
- Choi, C.-J., Kim, K.-S., Kim, C.-M., Kim, S.-H. & Choi, W.-S. (2011). Reactivity of heart rate variability after exposure to colored lights in healthy adults with symptoms of anxiety and depression. *International journal of psychophysiology : official journal of the International Organization of Psychophysiology*, 79(2), 83–88. <https://doi.org/10.1016/j.ijpsycho.2010.09.011>
- Elation. (2023a). *KL Fresnel 6 FC PO*. <https://www.elationlighting.com/kl-fresnel-6-fc-po>
- Elation. (2023b, 12. Juni). *KL PANEL*. <https://www.elationlighting.com/kl-panel>
- Ernst, G. (2017). Heart-Rate Variability-More than Heart Beats? *Frontiers in public health*, 5, 1–12. <https://doi.org/10.3389/fpubh.2017.00240>
- Goldstein, E. B. (2015). *Wahrnehmungspsychologie: Der Grundkurs* (9. Auflage). *Lehrbuch*. Springer. http://deposit.d-nb.de/cgi-bin/dokserv?id=4682124&prov=M&dok_var=1&dok_ext=htm
- Grossman, P [Paul] & Taylor, E. W. (2007). Toward understanding respiratory sinus arrhythmia: relations to cardiac vagal tone, evolution and biobehavioral functions. *Biological psychology*, 74(2), 263–285. <https://doi.org/10.1016/j.biopsycho.2005.11.014>
- Holick, M. F. (2004). Sunlight and vitamin D for bone health and prevention of autoimmune diseases, cancers, and cardiovascular disease. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 80(6), 1678S–1688S. [https://academic.oup.com/ajcn/article/80/6/1678S/4690512?gca=80%2F6%2F1678S&gca=80%2F6%2F1717S&gca=80%2F6%2F1721S&sendit=Get%20All%20Checked%20Abstract\(s\)](https://academic.oup.com/ajcn/article/80/6/1678S/4690512?gca=80%2F6%2F1678S&gca=80%2F6%2F1717S&gca=80%2F6%2F1721S&sendit=Get%20All%20Checked%20Abstract(s))
- Laborde, S., Mosley, E. & Thayer, J. F. (2017). Heart Rate Variability and Cardiac Vagal Tone in Psychophysiological Research -: Recommendations for Experiment Planning, Data Analysis, and Data Reporting. *Frontiers in psychology*, 8(213), 1–18. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2017.00213>
- Liedtke, C. (2022). *Farbtemperatur und Farbwiedergabe. Vorlesung Farbmetrik*.
- Litscher, D., Wang, L., Gaischek, I. & Litscher, G. (2013). The influence of new colored light stimulation methods on heart rate variability, temperature, and well-being: results of a pilot study in humans. *Evidence-based complementary and alternative medicine : eCAM*, 2013, 1–8. <https://doi.org/10.1155/2013/674183>

- Loe, D. L., Mansfield, K. P. & Rowlands, E. (1994). Appearance of lit environment and its relevance in lighting design: Experimental study. *Sage Journals*, 26(3), 119–133. <https://journals.sagepub.com/doi/epdf/10.1177/096032719402600301>
- Lübbe, E. (2013). *Farbempfindung, Farbbeschreibung und Farbmessung: Eine Formel für Farbsättigung*. PRAXIS. Springer Fachmedien Wiesbaden. <https://doi.org/10.1007/978-3-8348-2228-4>
- Modi, P., Jha, K., Kumar, Y., Kumar, T., Singh, R. & Mishra, A. (2019). The effect of short-term exposure to red and blue light on the autonomic tone of the individuals with newly diagnosed essential hypertension. *Journal of family medicine and primary care*, 8(1), 14–21. https://doi.org/10.4103/jfmpc.jfmpc_375_18
- Morris, J. D. (1995). Observations: SAM: The Self-Assessment Manikin Response - Observations: An Efficient Cross-Cultural Measurement of Emotional. *Journal of advertising research*, 35(6), 63–68. <http://64.85.8.165/wp-content/uploads/2020/02/observations.pdf>
- Mueller, J. (2014). *Handbuch der Lichttechnik Formeln, Tabellen und Praxiswissen: Know-how für Film, Fernsehen, Theater, Veranstaltungen und Events* (5. Aufl.). PPVMedien.
- Neitz, M. & Neitz, J. (2000). Molecular genetics of color vision and color vision defects. *Archives of ophthalmology (Chicago, Ill. : 1960)*, 118(5), 691–700. <https://doi.org/10.1001/archopht.118.5.691>
- OCULUS. (2023). *Sehtestgerät für Arbeitsmediziner: OCULUS Binoptometer 4P* &nbps;- OCULUS Optikgeräte GmbH. <https://www.oculus.de/de/produkte/binoptometer-4p/?highlights>
- Hoffmann-La Roche. (2003). *Roche Lexikon - Medizin* (5. Aufl.). Urban & Fischer. <https://ebookcentral.proquest.com/lib/kxp/detail.action?docID=1722595>
- Rosenthal, N. E., Sack, D. A., Skwerer, R. G., Jacobsen, F. M. & Wehr, T. A. (1988). Phototherapy for Seasonal Affective Disorder. *Journal of Biological Rhythms*, 3(2), 101–120. <https://journals.sagepub.com/doi/epdf/10.1177/074873048800300202>
- Russell, J. A. & Mehrabian, A. (1977). Evidence for a Three-Factor Theory of Emotions. *Journal of Research in Personality*, 11, 273–294.
- Schäfer, A. & Kratky, K. W. (2006). The effect of colored illumination on heart rate variability. *Forschende Komplementarmedizin (2006)*, 13(3), 167–173. <https://doi.org/10.1159/000092644>
- Schandry, R. (2016). *Biologische Psychologie* (4. Aufl.). Beltz Verlag.
- Shaffer, F. & Ginsberg, J. P. (2017). An Overview of Heart Rate Variability Metrics and Norms. *Frontiers in public health*, 5, Artikel 258, 1–17. <https://doi.org/10.3389/fpubh.2017.00258>
- Shaffer, F., McCraty, R. & Zerr, C. L. (2014). A healthy heart is not a metronome: an integrative review of the heart's anatomy and heart rate variability. *Frontiers in psychology*, 5, 1–19. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2014.01040>
- Steer-Reeh, A. (2012). *Wirkung von farbigem Licht auf die Herzfrequenzvariabilität und den Puls-Atem-Quotienten gesunder Probanden* [Dissertation]. Eberhard Karls Universität, Tübingen. https://ub01.uni-tuebingen.de/xmlui/bitstream/handle/10900/46007/pdf/Dissertation_Farblicht_Finalversion_2012_08_30.pdf?sequence=1&isAllowed=y

- Tarvainen, M. P., Niskanen, J.-P., Lipponen, J. A., Ranta-Aho, P. O. & Karjalainen, P. A. (2014). Kubios HRV--heart rate variability analysis software. *Computer methods and programs in biomedicine*, 113(1), 210–220. <https://doi.org/10.1016/j.cmpb.2013.07.024>
- Trepel, M. (2022). *Neuroanatomie* (8. Aufl.). Elsevier GmbH.
- Ueberschaer, A. (2017). *Lichtfarbe in der Straßenbeleuchtung* [Dissertation, Technische Universität Ilmenau]. K10plus. <https://core.ac.uk/download/pdf/224746527.pdf>
- Zhang, T., Du, X., Gu, Y., Dong, Y., Zhang, W., Yuan, Z., Huang, X., Zou, C., Zhou, Y., Liu, Z., Tao, H., Yang, L., Wu, G., Hogenesch, J. B., Zhou, C. J., Zhou, F. & Xu, Y. (2022). Analysis of Diurnal Variations in Heart Rate: Potential Applications for Chronobiology and Cardiovascular Medicine. *Frontiers in physiology*, 13, Artikel 835198, 1–12. <https://doi.org/10.3389/fphys.2022.835198>

Anhang

Anhangsverzeichnis

Anhang 1: Geräte und Software.....	100
Anhang 2: Lichtpult-Einstellungen.....	101
<i>KL-Panel</i>	101
<i>KL-Fresnel</i>	101
Anhang 3: Beleuchtungs-/Bestrahlungsstärke.....	102
<i>Jeti Specbos Messpositionen</i>	102
<i>Jeti Specbos Messwerte</i>	102
Anhang 4: Leuchtdichte.....	104
<i>Leuchtdichtebild Neutral (logarithmisch)</i>	104
<i>Grauwertbildschnitt Blau</i>	104
<i>Leuchtdichtebilder linear</i>	105
Rot.....	105
Blau.....	106
Neutral.....	106
Anhang 5: Leuchten-Spektren.....	107
<i>Tageslicht-Leuchte</i>	107
<i>Fresnel-Spektren</i>	108
Rot.....	108
Blau.....	109
Neutral.....	109
<i>Diffuse Folie</i>	110
Anhang 6: Normfarbwerte.....	110
<i>Auf dem Fenster</i>	110
<i>Außerhalb des Fensters</i>	111
Anhang 7: Durchführung.....	112
<i>Zeitprotokoll und diffuse Folie</i>	112
Anhang 8: Datenblätter Leuchten.....	112
<i>Elation KL-Panel</i>	112
Allgemein.....	113
Farbreize.....	114
<i>Arri Daylight Compact 1200 HMI</i>	117
<i>Elation KL-Fresnel 6 FC</i>	118

Anhang 9: Formales und Fragebögen.....	119
<i>Aufklärungsbogen</i>	119
<i>Einverständniserklärung</i>	121
<i>Eingangsfragebogen</i>	122
<i>SAM-Fragebogen</i>	125

Anhang 1: Geräte und Software

Tabelle 13: Geräte und Seriennummern

Geräte	Seriennummern(n)
Elation KL-Fresnel 6 FC	228500013 & 228500032
Arri Daylight Compact 1200 HMI	3513000009210
Elation KL-Panel	230881116 & 230881154
MA Lighting dot2 Core	35102013606-0
Jeti Specbos 1201	1510424
Konica Minolta LS-110	75623021
Canon EOS 650D	063052004774
Canon-Objektiv	14369951
Oculus Binoptometer 4P	35102023422-0
Cardio Secur Pro 12	MM2440
iPad Pro (10,5 Zoll)	DMPVN3G0HP51
Software	Version
JETI LiVal	7.2.0
LMK Labsoft	22.3.17
Kubios HRV Premium	3.5.0
IBM SPSS Statistics	29.0.0.0 (241)
Binoptometer 4P	6.08r19
Apps	
Cardio Secur Pro	3.8.1.B3361
Breathing Rhythm	
Random Number Generator	2.4.8

Quelle: Eigene Darstellung

Anhang 2: Lichtpult-Einstellungen

KL-Panel

Tabella 14: KL-Panel: Einstellungen im Lichtpult

Farbreiz	Dimmerstufe (100% = keine Dimmung)	Bunnton (Hue)	Buntheit (Sat ¹)	Helligkeit (Br ²)
Rot	100 %	0,2	100 %	100 %
Blau	80 %	242,6	100 %	100 %
Neutral	68 %	166,3	18,7 %	100 %

Quelle: Eigene Darstellung

KL-Fresnel

Tabella 15: KL-Fresnel: Einstellungen im Lichtpult

Farbreiz (Panel)	Dimmer (Lichtstrom)	Bunnton (Hue)	Buntheit (Sat)	Helligkeit (Br)
Rot	44%	65,1	25,4%	100%
Blau	44%	161,9	10,7%	100%
Neutral	55%	60,7	23,2%	100%

Quelle: Eigene Darstellung

¹ Saturation

² Brightness

Anhang 3: Beleuchtungs-/Bestrahlungsstärke

Jeti Specbos Messpositionen

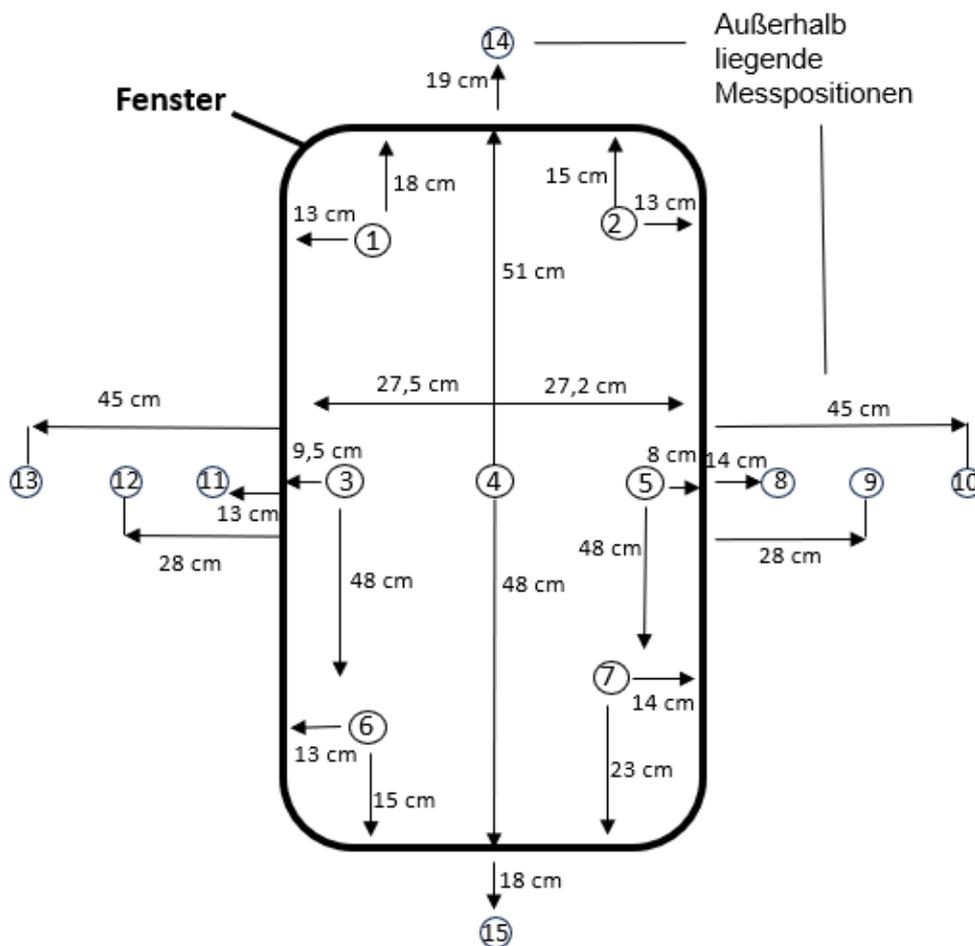


Abbildung 59: Messpositionen Jeti Specbos

Quelle: Eigene Darstellung

Jeti Specbos Messwerte

Tabelle 16: Leucht-/Strahlendichte: Messwerte

Szenario	Position	Leuchtdichte L_v in cd/m^2	Strahlendichte L_e in $\text{W/ (sr}\cdot\text{m}^2)$
Rot	1	303	1,64
Blau	1	140	2,92
Neutral	1	501	1,66
Rot	2	341	1,85
Blau	2	157	3,26
Neutral	2	566	1,87
Rot	3	435	2,36
Blau	3	193	4,22
Neutral	3	725	2,38

Rot	4	413	2,22
Blau	4	177	3,89
Neutral	4	677	2,23
Rot	5	440	2,39
Blau	5	195	4,26
Neutral	5	738	2,44
Rot	6	137	0,74
Blau	6	65,2	1,32
Neutral	6	227	0,76
Rot	7	166	0,90
Blau	7	79,2	1,58
Neutral	7	273	0,91
Rot	8	15,81	0,059
Blau	8	14,91	0,076
Rot	9	14,43	0,050
Blau	9	14,68	0,062
Rot	10	13,72	0,047
Blau	10	14,34	0,056
Rot	11	14,58	0,053
Blau	11	14,16	0,068
Rot	12	12,99	0,044
Blau	12	13,34	0,054
Rot	13	12,68	0,043
Blau	13	13,33	0,051
Rot	14	16,18	0,057
Blau	14	16,16	0,071
Rot	15	10,2	0,036
Blau	15	10,38	0,044

Quelle: Eigene Darstellung

Anhang 4: Leuchtdichte

Leuchtdichtebild Neutral (logarithmisch)

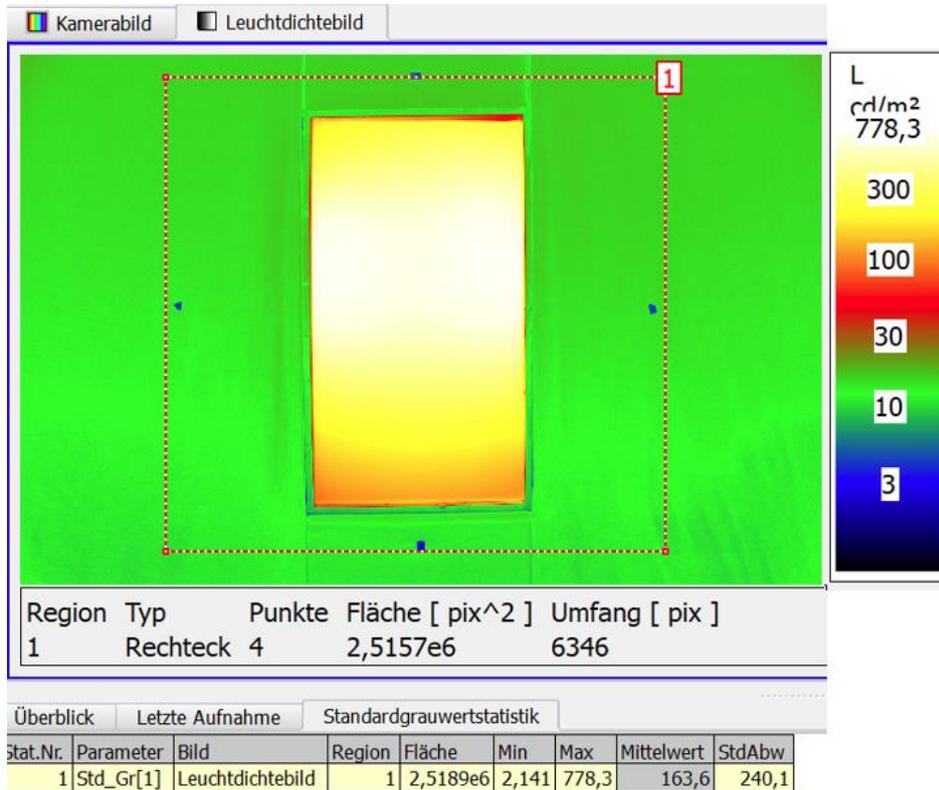


Abbildung 60: Leuchtdichtebild Neutral: Blende f6.3; Belichtungszeit 1/50

Quelle: Eigene Darstellung mithilfe der Software LMK Labsoft

Grauwertbildschnitt Blau

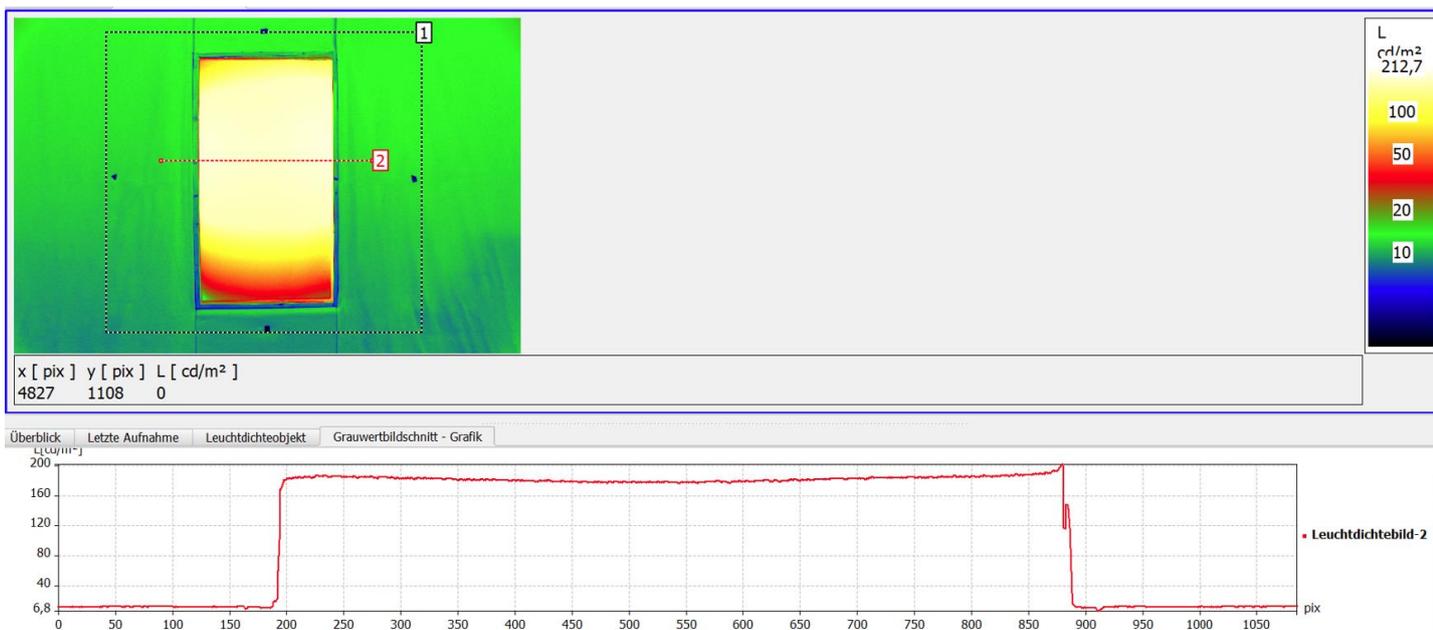


Abbildung 61: Grauwertbildschnitt Blau: f6.3; 1/20; Maximum bei 212,7 cd/m²

Quelle: Eigene Darstellung mithilfe der Software LMK Labsoft

Leuchtdichtebilder linear

Rot

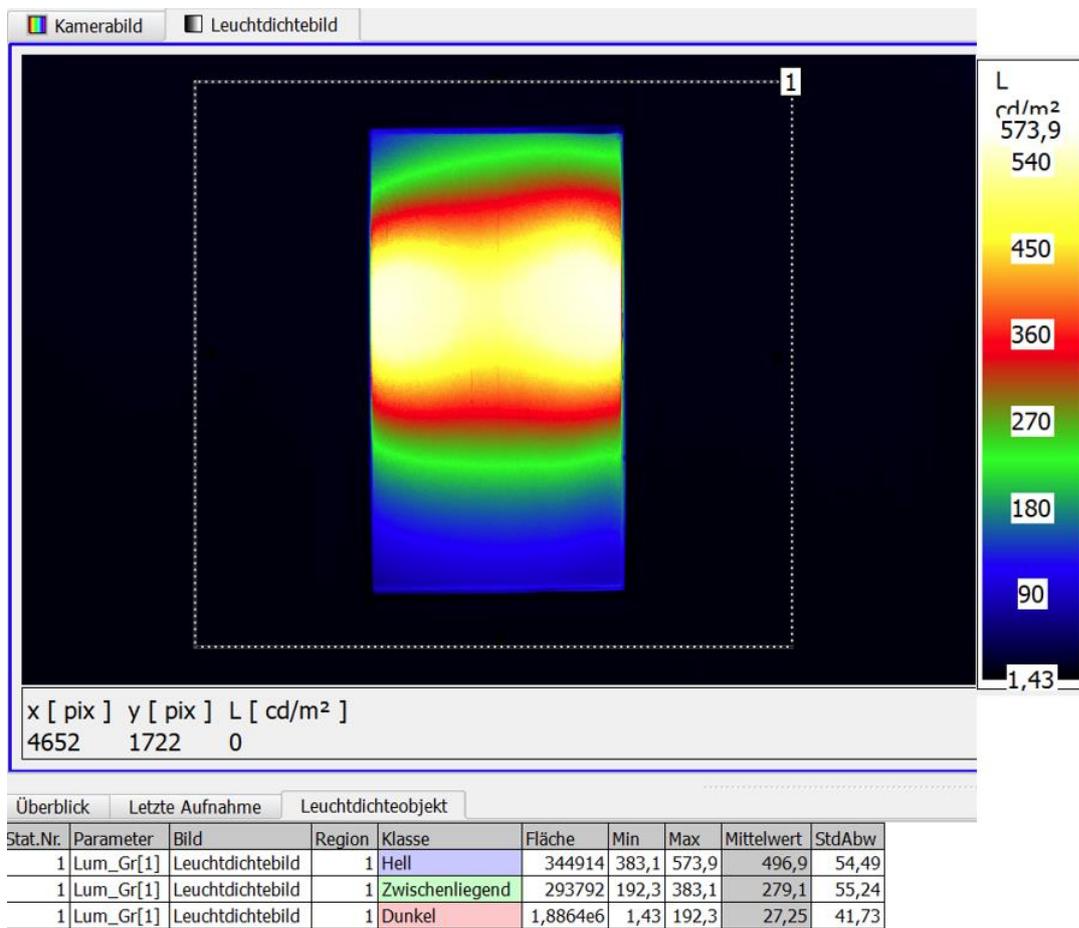


Abbildung 62: Leuchtdichtebild Rot: linear; Blende f6.3; Belichtungszeit 1/50

Quelle: Eigene Darstellung mithilfe der Software LMK Labsoft

Blau

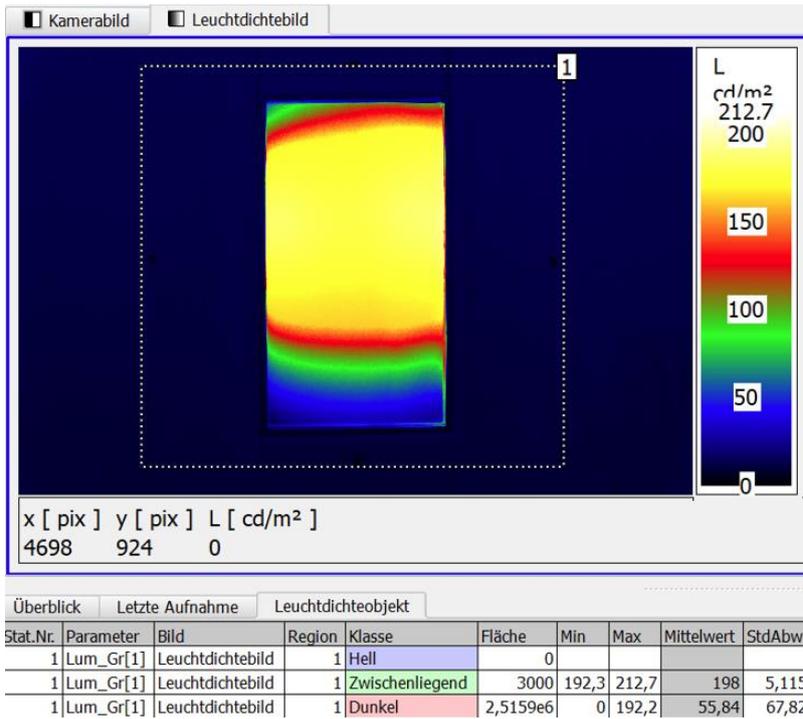


Abbildung 63: Leuchtdichtebild Blau: linear; Blende f6.3; Belichtungszeit 1/20

Quelle: Eigene Darstellung mithilfe der Software LMK Labsoft

Neutral

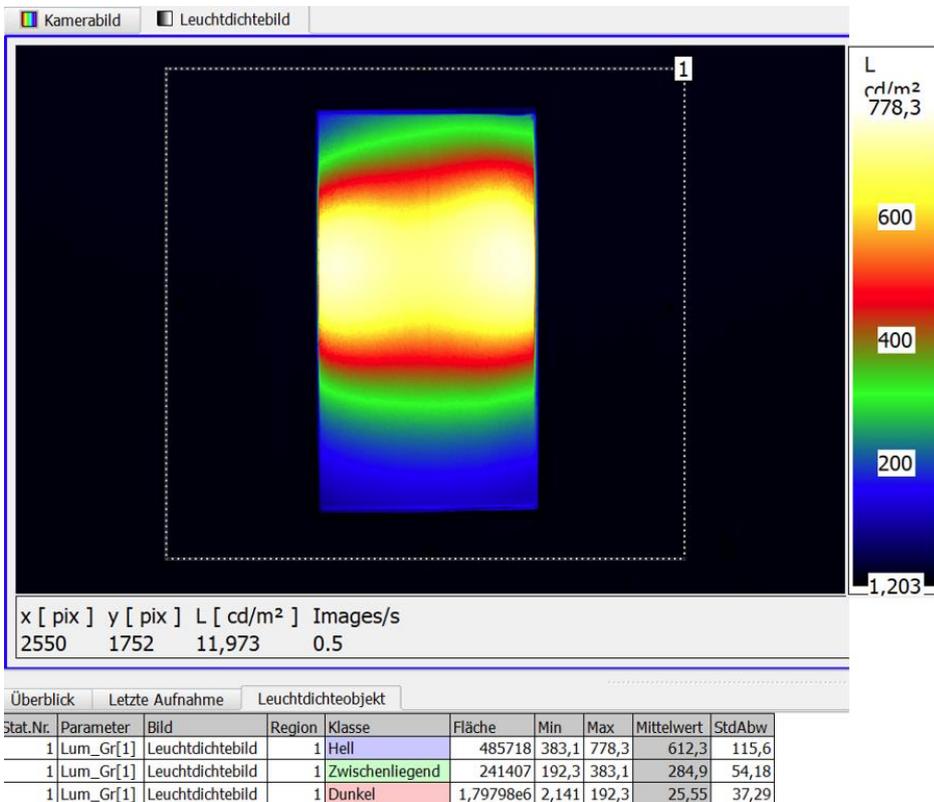


Abbildung 64: Leuchtdichtebild Neutral: linear; Blende f6.3; Belichtungszeit 1/50

Quelle: Eigene Darstellung mithilfe der Software LMK Labsoft

Anhang 5: Leuchten-Spektren

Tageslicht-Leuchte

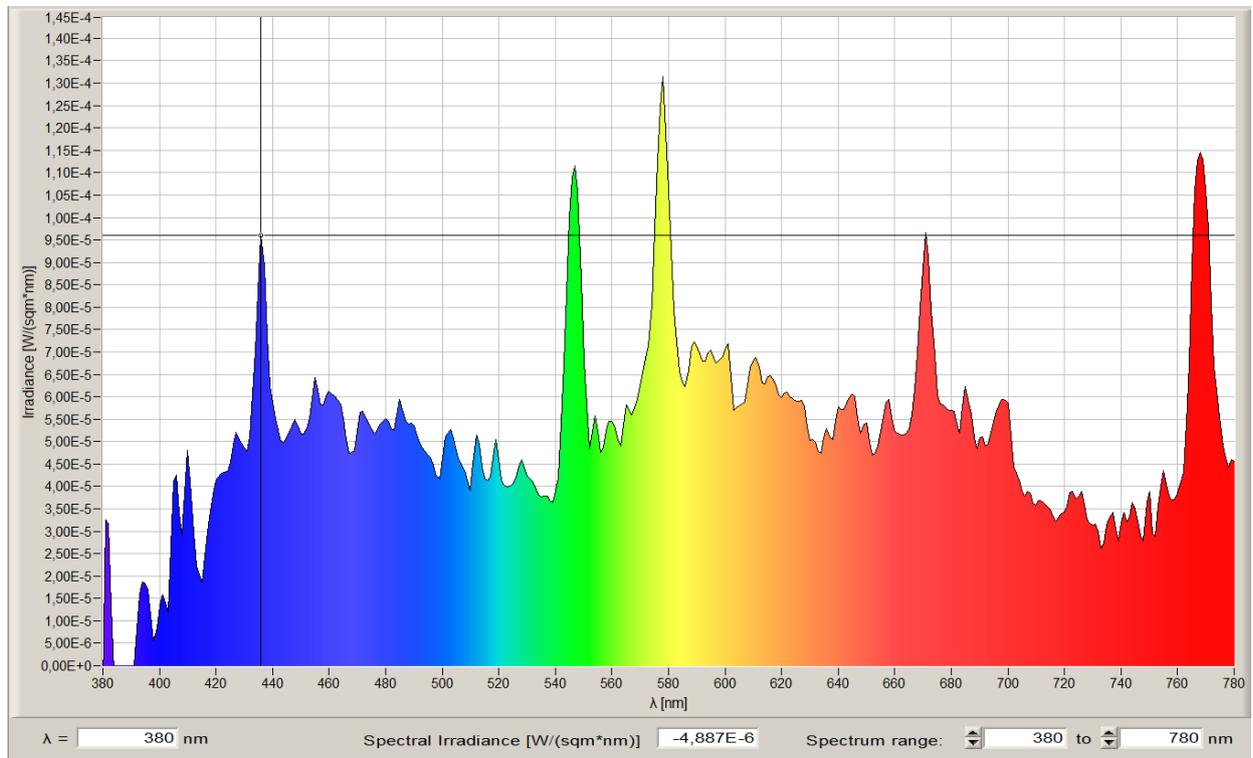


Abbildung 65: Spektrum Tageslichtleuchte

Quelle: Eigene Darstellung mit der Software JETI LiVal

Fresnel-Spektren

Rot

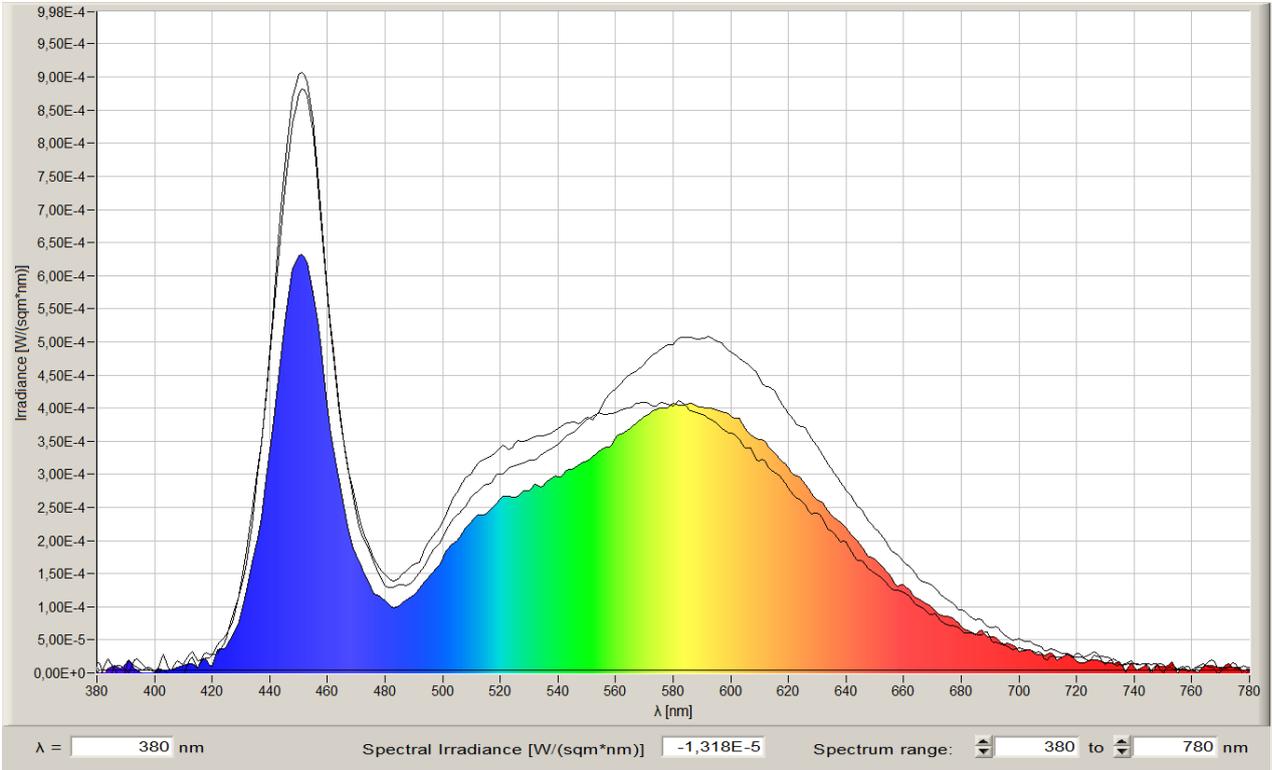


Abbildung 66: Fresnel-Spektrum Rot

Quelle: eigene Darstellung mithilfe der Software JETI LiVal

Blau

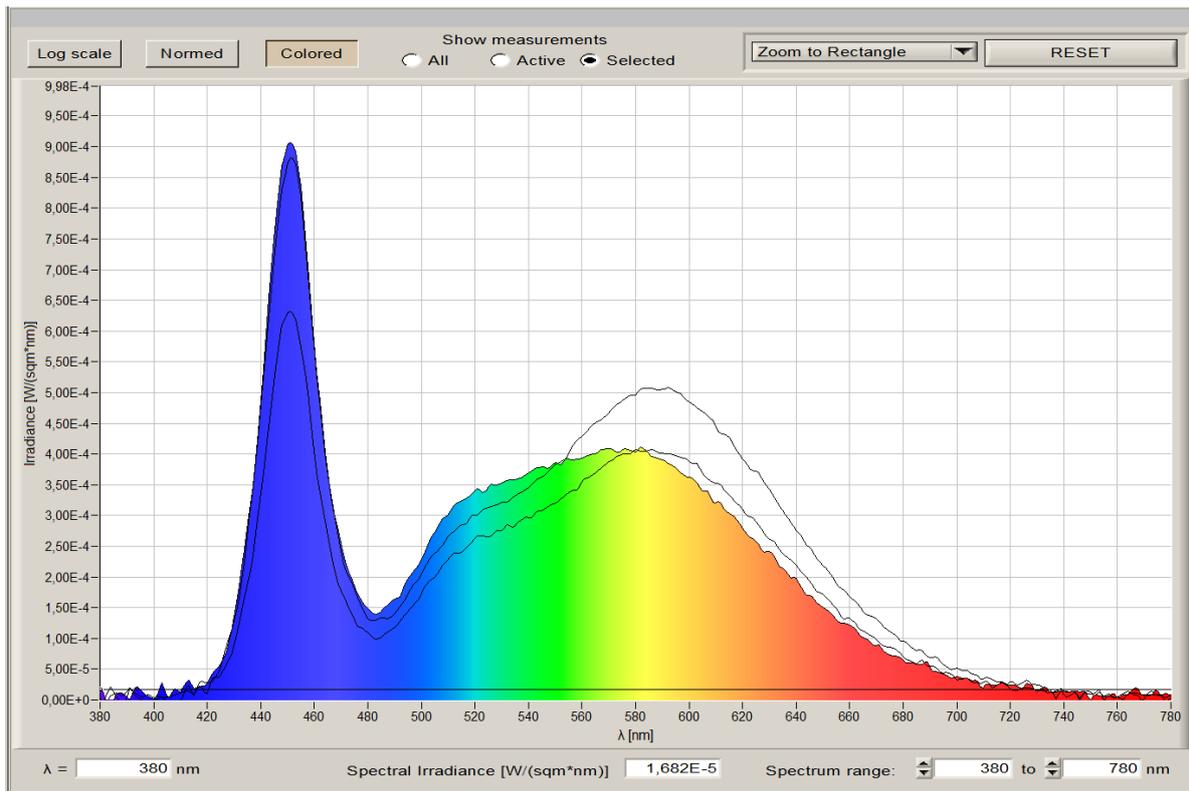


Abbildung 67: Fresnel-Spektrum Blau

Quelle: eigene Darstellung mithilfe der Software JETI LiVal

Neutral

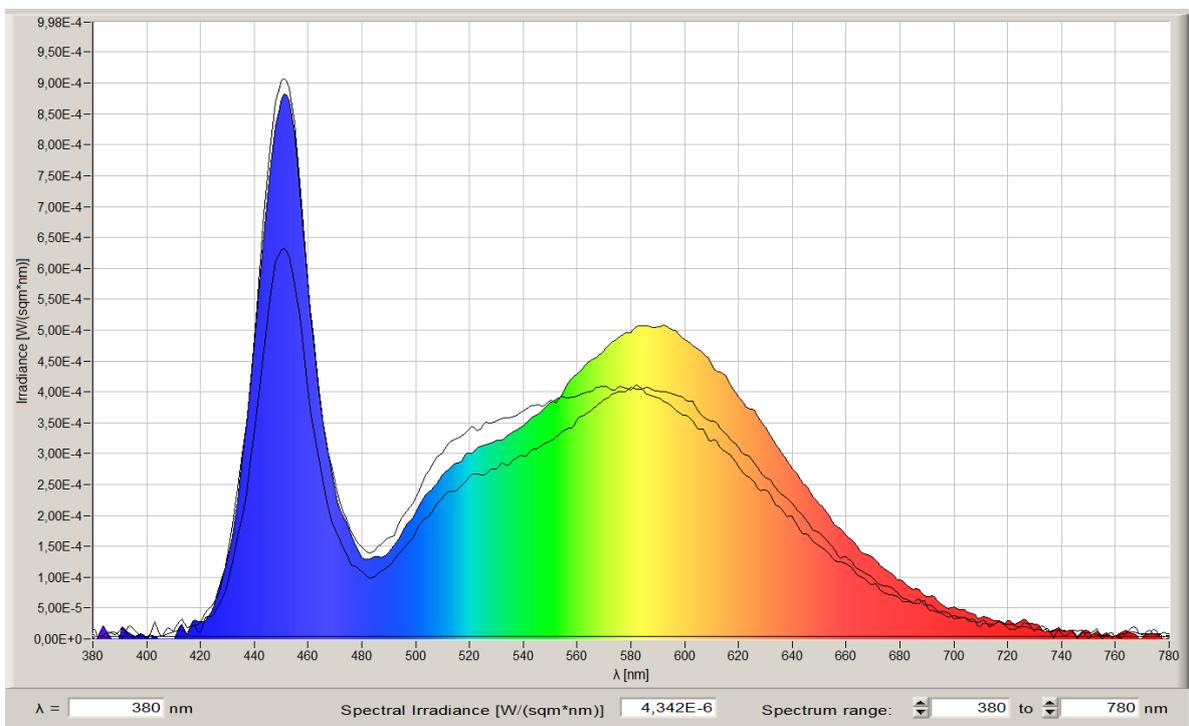


Abbildung 68: Fresnel-Spektrum Neutral

Quelle: eigene Darstellung mithilfe der Software JETI LiVal

Diffuse Folie

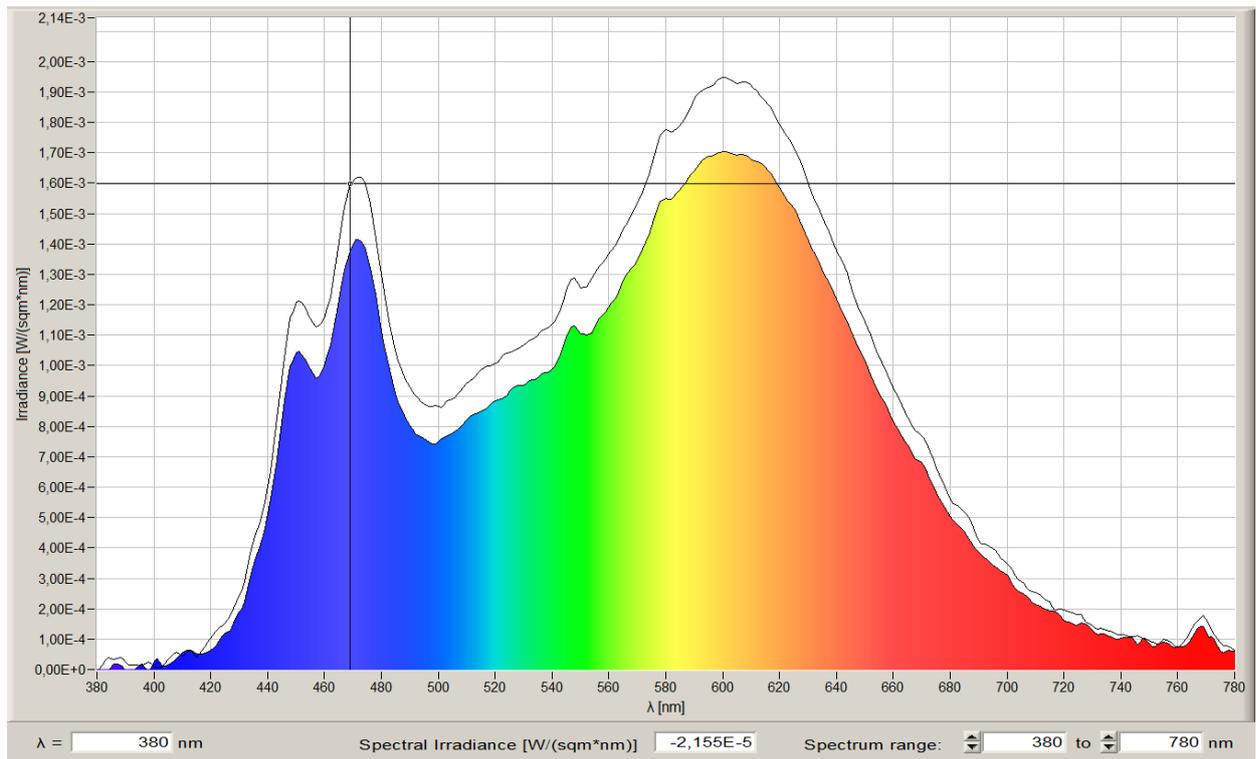


Abbildung 69: Spektrum diffuse Folie: mit und ohne Folie (Weißlicht)

Quelle: eigene Darstellung mithilfe der Software JETI LiVal

Anhang 6: Normfarbwerte

Auf dem Fenster

Tabelle 17: Normfarbwerte: Messpositionen 1-7

Position 1	Blau	Neutral	Rot		Position 2	Blau	Neutral	Rot
X (2°)	596,6	531,8	672,2		X (2°)	667,3	601,9	754,5
Y (2°)	139,7	500,8	303,3		Y (2°)	157,3	565,8	341,3
Z (2°)	3058	328,3	16,6		Z (2°)	3409	373,7	22,3
Position 3	Blau	Neutral	Rot		Position 4	Blau	Neutral	Rot
X (2°)	859,8	769,7	976,2		X (2°)	795,4	720,3	925,9
Y (2°)	192,6	724,8	434,9		Y (2°)	176,9	677,3	413,1
Z (2°)	4456	468,4	12,5		Z (2°)	4112	438,9	15,2

Position 5	Blau	Neutral	Rot		Position 6	Blau	Neutral	Rot
X (2°)	868,8	785,5	985,5		X (2°)	269,7	241,8	301,5
Y (2°)	194,5	738,4	439,8		Y (2°)	65,2	227,2	137,1
Z (2°)	4490	483,9	18,1		Z (2°)	1370	148,6	8,41
Position 7	Blau	Neutral	Rot					
X (2°)	322,7	290	362,4					
Y (2°)	79,1	272,6	165,6					
Z (2°)	1633	180,8	13,6					

Quelle: Eigene Darstellung

Außerhalb des Fensters

Tabelle 18: Normfarbwerte: Messpositionen 8-15

Position 8	Blau	Rot		Position 9	Blau	Rot		Position 10	Blau	Rot
X (2°)	19,7	20,6		X (2°)	17,2	17,1		X (2°)	15,7	15,5
Y (2°)	14,9	15,8		Y (2°)	14,7	14,4		Y (2°)	14,3	13,7
Z (2°)	48,1	11,4		Z (2°)	33,2	11,7		Z (2°)	25,9	11,7
Position 11	Blau	Rot		Position 12	Blau	Rot		Position 13	Blau	Rot
X (2°)	18	18,4		X (2°)	15,1	15		X (2°)	14,6	14,3
Y (2°)	14,2	14,6		Y (2°)	13,3	13		Y (2°)	13,3	12,7
Z (2°)	41	10,9		Z (2°)	27,1	10,9		Z (2°)	24	10,8
Position 14	Blau	Rot		Position 15	Blau	Rot				
X (2°)	19,3	19,5		X (2°)	12,1	12,1				
Y (2°)	16,2	16,2		Y (2°)	10,4	10,2				
Z (2°)	39,5	13,1		Z (2°)	23,5	8,19				

Quelle: Eigene Darstellung

Anhang 7: Durchführung

Zeitprotokoll und diffuse Folie

Zeitprotokoll Nr.: 93813		1min: 1:18
Paced Breathing Start:	16 Sek	2min: 2:15
u Ende:	8:17	3min: 3:21
		4min: 4:23
		5min: 5:23
		6min: 6:24
		7min: 7:25
(pad + Steppuhr stoppen, reset, Go again) ↓ +56		
55 Sek 1. SAM: 0:55 - 1:25	00:56 3A 1:27	
Blaulicht-Beginn: 1:26	9:20 10:00	
1min 2. SAM: 2:26 - 2:46	1:28 +1	
2min 3. SAM: 4:46 - 5:08	10:01 1:01	
Neutral-Beginn: 5:09	2:29 20 2:49	
	11:02 11:22	
	4:51 23 5:14 2:02	
	18:24 13:47	
	5:15 +1	
	13:48	
		Ende: 5:21
(pad + Steppuhr stoppen, reset, Go again) ↓ +1:21		
1:20 4. SAM: 1:20 - 1:43	1:21 24 1:45	
Rotlicht-Beginn: 1:44	15:05 15:30	
1min 5. SAM: 2:44 - 3:08	1:46 +1	
2min 6. SAM: 5:08 - 5:32	15:40 1:01	
Neutral-Beginn: 5:33	2:47 21 3:14	
1:30 7. SAM: 7:03 - 7:27	16:41 21 17:14	
Stopp-Ende: 7:35 / 42	5:14 23 5:37	
	19:08 19:31	
	5:38 +1	
	19:32 1:33	
	2:11 23 7:34	
	21:05 21:28	
		Ende: 7:38
		Garant: 21

Abbildung 70: Zeitprotokoll – Beispiel

Quelle: Eigene Darstellung



Abbildung 71: Diffuse Folie mit Muster

Quelle: Eigene Darstellung

Anhang 8: Datenblätter Leuchten

Elation KL-Panel

Allgemein

(Elation, 2023b)

SPECIFICATIONS

SOURCE

6-in-1 (Red, Green, Blue, White, Lime, Cyan) Full Spectrum LED Array
50,000 Hour Average LED Life*

*Test lab conditions. May vary depending on several factors including but not limited to: Environmental Conditions, Power/Voltage, Usage Patterns (On-Off Cycling), Control and Dimming.

PHOTOMETRIC DATA

Up to 24,000 Total Lumen Output
Diffuser Beam Angle 101°
Diffuser Field Angle 159.4°
No Diffuser Beam Angle 111°
No Diffuser Field Angle 155.4°

EFFECTS

Variable CCT 2000K - 10000K
Green-Shift Adjustment
Virtual Gel Library
Variable 16-bit Dimming Curve Modes
High Speed Electronic Shutter and Strobe
Remote Adjustable LED Refresh Rate Frequency (900Hz-25KHz)

CONTROL / CONNECTIONS

9 DMX Channel Modes
3 Manual Adjustment Encoders
4 Button Control Panel and OLED Menu Display
DMX, RDM, Art-Net, sACN Protocol Support
E-Fly Internal Extended Range Wireless DMX Transceiver
Locking 5pin XLR Connector In/Out
Locking IP65 Power Connector In/Out
USB Connection (Firmware Updates, External 5V Power for Accessories)
4pin XLR External Battery Connection (battery not included)
With Wire Digital Communication Network
Junior Pin Adaptor #7050001062

SIZE / WEIGHT

Length: 20.8" (528mm)
Width: 5.5" (140mm)
Height: 12.2" (310mm)
Height (with yoke): 16.3" (415.2mm)
Weight: 28.6 lbs (13 kg)
Weight (without barndoor): 23.2 lbs (10.52 kg)
Weight (junior pin): 1.02 lbs (0.46kg)

ELECTRICAL / THERMAL

AC 100-240V - 50/60Hz
24-36 VDC (battery operation - battery not included)
Max Power Consumption 295W
14°F to 113°F (-10°C to 45°C)
BTU/hr (+/- 10%) 1005.95

APPROVALS / RATINGS

CE | cETLus | IP20

Specifications and documentation subject to change without notice.

Farbreize
Neutral (3200K)



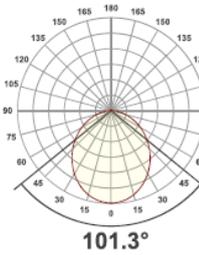
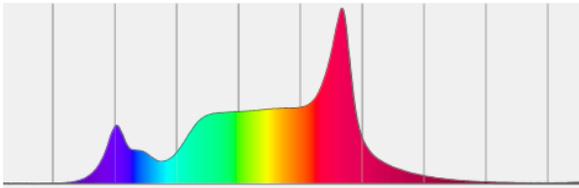
KL PANEL (3200K)



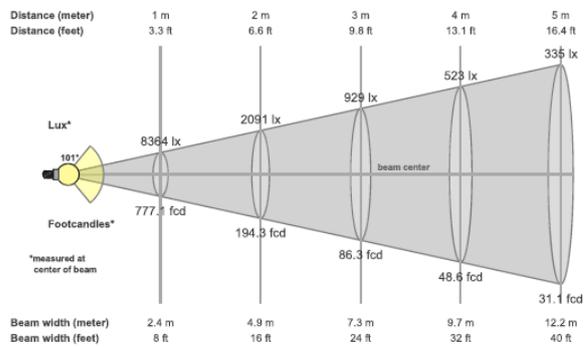
Total Lumen Output: 21741 lm
Color Temperature: 3241 K
CRI: 95.9
TLCI: 90
TM30: 92.8
CQS: 93.6
Measurement Date: 7/15/2020

Voltage: 110 V, Current: 2.36 A
Power: 255.7 W
Efficacy: 85 Lumen/Watt

Spectral distribution
Dominant Wavelength 582



Beam details



Beam angles

Beam angle 50%	Field angle 10%	Cutoff angle 2,5%
101.3°	159.3°	174.3°

Beam intensities

Peak intensity	Int. ratio in 120° cone	Int. ratio in 90° cone
8368 cd	78.5%	55.0%

Beam Intensities from 1-20m

M	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
FT	3.3	6.6	9.8	13.1	16.4	19.7	23	26.2	29.5	32.8	36.1	39.4	42.7	45.9	49.2	52.5	55.8	59.1	62.3	65.6
LX	8364	2091	929	523	335	232	171	131	103	84	69	58	49	43	37	33	29	26	23	21
FC	777.1	194.3	86.3	48.6	31.1	21.6	15.9	12.1	9.6	7.8	6.4	5.4	4.6	4	3.5	3	2.7	2.4	2.2	1.9



KL PANEL (Red)



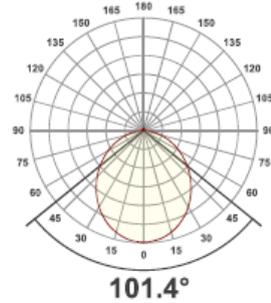
Total Lumen Output: 3115 lm

Voltage: 115 V, Current: 0.756 A

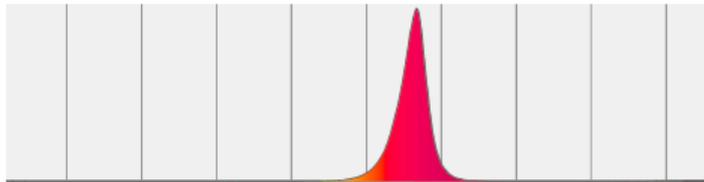
Power: 83.3 W

Efficacy: 37 Lumen/Watt

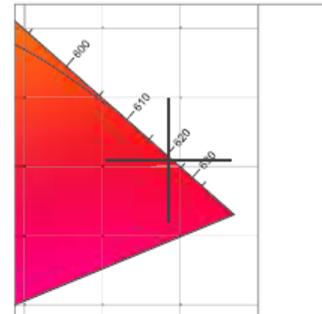
Measurement Date: 7/1/2020



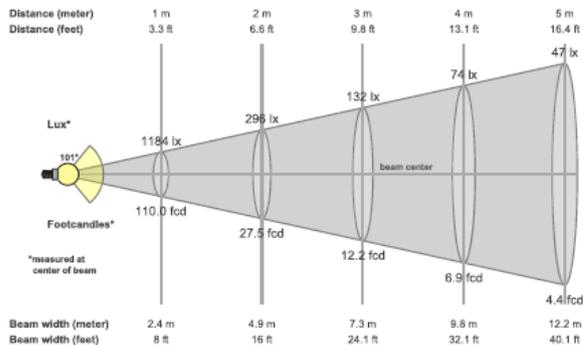
Spectral distribution



Dominant Wavelength	Color coordinate cie 1931 x	Color coordinate cie 1931 y	Color coordinate u	Color coordinate v
nm				
622	0.693	0.305	0.526	0.347



Beam details



Beam angles

Beam angle 50%	Field angle 10%	Cutoff angle 2,5%
101.4°	159.4°	175.2°

Beam intensities

Peak intensity	Int. ratio in 120° cone	Int. ratio in 90° cone
1185 cd	77.8%	54.5%

Beam Intensities from 1-20m

M	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
FT	3.3	6.6	9.8	13.1	16.4	19.7	23	26.2	29.5	32.8	36.1	39.4	42.7	45.9	49.2	52.5	55.8	59.1	62.3	65.6
LX	1184	296	132	74	47	33	24	19	15	12	10	8	7	6	5	5	4	4	3	3
FC	110	27.5	12.2	6.9	4.4	3.1	2.2	1.7	1.4	1.1	0.9	0.8	0.7	0.6	0.5	0.4	0.4	0.3	0.3	0.3



KL PANEL (Blue)



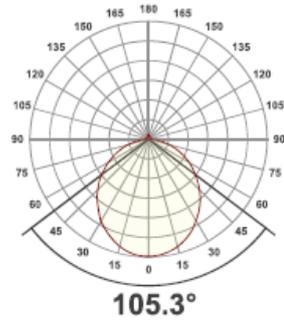
Total Lumen Output: 1684 lm

Voltage: 114 V, Current: 0.826 A

Power: 92.6 W

Efficacy: 18 Lumen/Watt

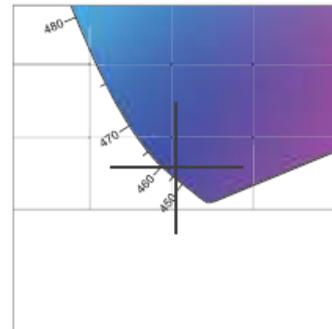
Measurement Date: 7/1/2020



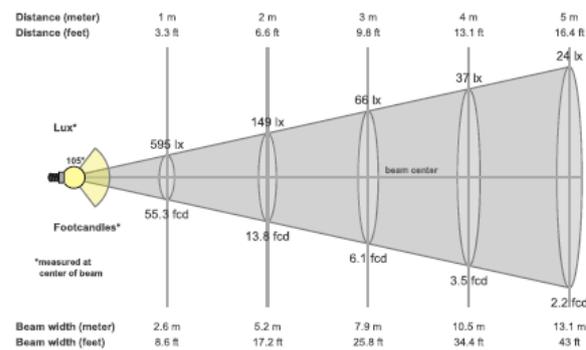
Spectral distribution



Dominant Wavelength	Color coordinate cie 1931 x	Color coordinate cie 1931 y	Color coordinate u	Color coordinate v
nm	x	y	u	v
456	0.153	0.029	0.201	0.057



Beam details



Beam angles

Beam angle 50%	Field angle 10%	Cutoff angle 2,5%
105.3°	162.7°	360°

Beam intensities

Peak intensity	Int. ratio in 120° cone	Int. ratio in 90° cone
595 cd	74.5%	51.6%

Beam Intensities from 1-20m

M	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
FT	3.3	6.6	9.8	13.1	16.4	19.7	23	26.2	29.5	32.8	36.1	39.4	42.7	45.9	49.2	52.5	55.8	59.1	62.3	65.6
LX	595	149	66	37	24	17	12	9	7	6	5	4	4	3	3	2	2	2	2	1
FC	55.3	13.8	6.1	3.5	2.2	1.5	1.1	0.9	0.7	0.6	0.5	0.4	0.3	0.3	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.1

Arri Daylight Compact 1200 HMI

Da diese Leuchte aktuell nicht mehr von ARRI verkauft wird, stellen sie auch keine Datenblätter mehr zur Verfügung. Folgend sind die einzigen technischen Daten aufgelistet, die unter diesem Link <https://hirewl.com/wp-content/uploads/2019/05/ARRI4KHMIFRESNELCOMPACT.pdf> zu finden waren.

Technische Daten / Technical Data:

Type	t_o	t_a	Gewicht/ Weight			
Compact 575	170°C	45°C	7,5 kg	0,5 m	5 m	± 90°
Compact 1200	220°C	45°C	9,0 kg	1 m	6 m	± 90°
Compact 2500	160°C	45°C	14,8 kg	1 m	8 m	± 90°
Compact 4000	180°C	45°C	21,5 kg	1 m	10 m	± 90°
Nomenklatur / Technical Terms						
t_o	= maximale äußere Leuchtentemperatur im Beharrungszustand / maximum surface temperature					
t_a	= maximale Umgebungstemperatur / maximum ambient temperature					
	= minimaler Abstand zu brennbaren Werkstoffen / minimum distance to flammable objects					
	= minimaler Abstand zu angestrahlten Flächen / minimum distance to illuminated areas					
	= Schwenkbereich / tilting angle					

Elation KL-Fresnel 6 FC

(Elation, 2023a)

SPECIFICATIONS

SOURCE

6500K RGBMA LED Engine

50,000 Hour Average LED Life*

*May vary depending on several factors including but not limited to:

Environmental Conditions, Power/Voltage, Usage Patterns (On-Off Cycling), Control and Dimming.

PHOTOMETRIC DATA

8,000 Total Lumen Output

CRI 92.2

Zoom Range 10° - 32°

Beam Angle 9.7° - 32.2°

Field Angle 18.7° - 49.3°

EFFECTS

Motorized Zoom

Electronic Dimmer and Strobe

Variable 16-bit Dimming Modes and Curves

COLOR

RGBMA Color Array

CMY Emulation

Variable CCT 2,400K - 8,500K

Green/Magenta Shift

Virtual Gel Swatch Book

CONTROL / CONNECTIONS

6 DMX Channel Modes (1 to 18 channels)

Manual and DMX Controlled Dimmer, Color and Zoom

Direct Access Encoder

4 Button Control Panel, LED Display

RDM (Remote Device Management)

3/5pin DMX and IP65 Locking Power In/Out Connection

SIZE / WEIGHT

Length: 13.5" (344mm)

Width: 11" (280.6mm)

Vertical Height: 23" (584mm)

Weight: 18.5 lbs. (8.4kg)

ELECTRICAL / THERMAL

AC 100-240V - 50/60Hz

219W Max Power Consumption

5°F to 113°F (-15°C to 45°C)

INCLUDED ITEMS

Gel Frame

Rotating 8-leaf Barn Doors

Junior Pin (1 1/8" - 28mm)

Locking Power Cable

APPROVALS / RATINGS

(pending) CE | cETLus | IP20

Specifications and documentation are subject to change without notice.

Anhang 9: Formales und Fragebögen

Aufklärungsbogen

Bachelorarbeit Lone Marleen Schindler

HAW Hamburg, Medientechnik, Lichtlabor

Versuchsleitung: Lone Marleen Schindler

Forschungsarbeit **„Lichtreize und ihre Wirkung“**

Aufklärungsbogen

In dieser Forschungsarbeit werden Lichtreize auf ihre Wirkung untersucht. Das Ziel ist es, die Forschung in diesem noch weitestgehend unerforschten Fachgebiet voranzubringen und die daraus folgenden Daten genau zu erfassen.

Die Herzratenvariabilität und die respiratorische Sinusarrhythmie werden mittels CardioSecure (EKG) erfasst und mit der Kubios-Software ausgewertet.

Ablauf

Bevor der Versuch starten kann, wird ein Fragebogen ausgefüllt, ein kurzer Farbsehtüchtigkeitstest durchgeführt und das EKG angelegt.

Bei dem Versuch wird der/die Proband*in zwei verschiedenfarbigen Lichtreizen für jeweils 3 Minuten ausgesetzt. In der Zeit wird die Reaktion des vegetativen Nervensystems mittels EKG erfasst.

Dafür werden vor Versuchsbeginn 4 Elektroden an den Körper angebracht, was, wenn erwünscht, mit Erklärung selbstständig von dem/der Proband*in durchgeführt werden kann.

Dann wird es eine 8-minütige Phase geben, in der der/die Proband*in einem durch Audiotöne vorgegebenen Atemrhythmus folgen soll. Danach darf der/die Proband*in für den weiteren Versuchsablauf in seinem/ihrer eigenen Rhythmus weiteratmen.

Daraufhin werden nach kurzer Zeit zwei Lichtreize jeweils einzeln für je 3 Minuten frontal vor dem/der Proband*in dargeboten. Vorher, in der Mitte und am Ende eines Farbreizes, wird mit der SAM-Befragungsmethode kurz die Befindlichkeit abgefragt. Zwischen den beiden Lichtreizen gibt es eine 1:30-minütige neutrale Phase mit einer weiteren Abfrage. Dann folgt der nächste Reiz mit demselben Prozedere. Nach erneuter neutraler Phase und einer kurzen Abfrage ist der Versuch beendet.

Während des gesamten Versuches wird der/die Proband*in dazu angehalten, nach vorn zuzuschauen und sich nicht zur Versuchsleiterin umzudrehen.

Für die Befragung während des Versuchs sind keine Vorkenntnisse notwendig. Die Antwort sollte spontan gegeben werden, es gibt kein „Richtig“ oder „Falsch“.

Nach dem Versuch folgt ein kurzes offenes Gespräch, um dem/der Proband*in für Anmerkungen oder Fragen Raum zugeben.

Datenschutz und Rechte

Das Ausfüllen des Fragebogens sowie das Teilnehmen an diesem Versuch geschehen freiwillig.

Das Abbrechen des Versuches und das Verweigern des Ausfüllens der Daten sind dem/der Proband*in zu jedem Zeitpunkt des Versuchs möglich, ohne dadurch negative Konsequenzen zu

tragen. Keine der Fragen im Fragebogen sowie die Fragen während des Versuchs sind willkürlich gestellt. Sie dienen dem Interesse der genauen Ergebnisauswertung und werden nicht in ihrer ursprünglich zusammenhängenden Form veröffentlicht.

Die Daten und Messergebnisse des/der Proband*in werden ab dem Zeitpunkt der Versuchsdurchführung anonym behandelt und dienen lediglich diesem Versuch und dessen Auswertung. Die Anonymität wird dadurch gewährleistet, dass zu Beginn eine 5-stellige Zufallszahl generiert wird und der Name und die E-Mail- Adresse des/der Proband*in aus der Anmeldeliste gelöscht werden. Ab diesem Zeitpunkt sind die Versuchsergebnisse dem/der Proband*in nicht mehr zuzuordnen. Nach dem Versuch ist es jederzeit möglich, Kontakt über die oben genannte E-Mail- Adresse herzustellen und Fragen bezüglich Unklarheiten oder Ähnlichem zu stellen.

Der/Die Proband*in hat das Recht, die Einwilligung zur Weiterverarbeitung seiner/ihrer Daten während des Versuchs zu widerrufen. Anschließend können sie durch die Anonymität nicht mehr der Person zugeordnet und somit auch nicht mehr widerrufen werden.

Die erhobenen anonymen EKG-Daten werden zu Forschungszwecken Herrn Prof. Dr. Lorenz aus der Fakultät Life Sciences (Department Medizintechnik) zur Verfügung gestellt.

Es ist eine Veröffentlichung der aus diesen Versuchen resultierenden Bachelorarbeit geplant.

Wichtig:

Bei folgenden Kriterien werden Sie von diesem Versuch leider ausgeschlossen, bitte vergewissern Sie sich, dass Sie sich keiner der aufgeführten Punkte zuordnen können:

- Atemwegserkrankungen
- Herz-/Kreislaufkrankungen
- Hypertonie (Bluthochdruck)
- Schwangerschaft
- Farbsehschwäche
- Regelmäßiges Einnehmen von Medikamenten, die...
 - auf das Herz-/Kreislaufsystem einwirken
 - auf das Atemsystem einwirken
 - die Wahrnehmung verändern

Die letzte Mahlzeit sollte mindestens eine Stunde zurückliegen und keine schwere gewesen sein.

Einverständniserklärung

Bachelorarbeit Lone Marleen Schindler

HAW Hamburg, Medientechnik, Lichtlabor

Versuchsleitung: Lone Marleen Schindler
[REDACTED]

Forschungsarbeit „Lichtreize und ihre Wirkung“

Einverständniserklärung

Versuchsteilnehmer*in:

Datum der Aufklärung über den Versuch:

Hiermit bestätige ich, dass ich über den Sinn und Zweck, den Versuchsablauf und die Art der Weiterverarbeitung meiner Daten informiert worden bin. Ich hatte die Möglichkeit, Fragen zu stellen, welche mir umfassend und verständlich beantwortet worden sind. Ebenso bestätige ich, dass die aufgeführten Ausschlusskriterien nicht auf mich zutreffen und ich der geeigneten Versuchsgruppe angehöre.

Ich wurde darüber aufgeklärt, dass die Teilnahme an diesem Versuch freiwillig geschieht und ich ihn jederzeit, ohne Begründung und negative Konsequenzen davon zu tragen, abbrechen kann.

Ich bin mit der Durchführung dieses Versuches einverstanden.

- Ich möchte die aus dieser Reihe von Versuchen resultierende Bachelorarbeit als PDF per E-Mail zugesendet bekommen. E-Mail-Adresse: _____

Hamburg, den

Versuchsteilnehmer*in
(Unterschrift)

Versuchsleitung
(Unterschrift)

Eingangsfragebogen

Bachelorarbeit Lone Marleen Schindler

HAW Hamburg, Medientechnik, Lichtlabor

Versuchsleitung: Lone Marleen Schindler

Forschungsarbeit „Lichtreize und ihre Wirkung“

Fragebogen

Nr. (Von Versuchsleitung auszufüllen):

Bitte zutreffende Felder ankreuzen/eintragen

Sie haben jeder Zeit das Recht Fragen auszulassen und die Informationen nicht anzugeben. Jede Angabe ist für die Versuchsleitung jedoch ein hilfreicher Schritt für eine bessere Auswertung.

Alter:

Körpergröße:

Gewicht:

Biologisches Geschlecht:

- Weiblich
- Männlich
- Frau-zu-Mann-transsexuell/transident
- Mann-zu-Frau- transexuell/transident
- Intersexuell/zwischen Geschlechtlich
- Meine Einordnung ist hier nicht zu finden, meine ist: _____
- Keine Angabe

Erkrankungen:

- Atemwegserkrankung
- Hypertonie (Bluthochdruck)
- Herz-/ Kreislaufkrankung
- Keine der genannten

Regelmäßige Einnahme von Medikamenten:

- Keine
- Inhalationsmedikamente gegen Asthma

- Antihypertensiver gegen Bluthochdruck
- Ovulationshemmer (Antibabypille, Etonogestrel-Implantat, Hormonspirale, Minipille oder Vaginalring)
- Hormonelle Substanzen: Schilddrüsenhormone, Hormonersatztherapie, Antihormontherapie
- Drogen
- Andere, aber keine der genannten

Wenn Sie unter dem (natürlichen) Einfluss weiblicher Hormone stehen:

- Sind Sie aktuell schwanger?
 - Ja
 - Nein
- In welcher Zyklusphase befinden Sie sich? (bitte ein Kreuz auf dem Balken setzen)



- Keine Ahnung
- Keine Angabe

Haben Sie zurzeit körperliche Schmerzen? (Bitte zutreffenden Smiley ankreuzen)



Wie ist Ihr Hungergefühl in diesem Moment? (bitte ankreuzen)

-
- Sehr hungrig Hungrig Mittel Satt Zu viel gegessen

Üben Sie regelmäßig Entspannungstechniken aus (z.B. Meditation, Atemübungen, Yoga,...)?

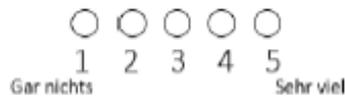
- Ja
- Manchmal
- Nein

Üben Sie Sport aus?

- Aktuell:
 - Gar nicht
 - manchmal
 - Regelmäßig, nämlich _____ mal pro Woche:
 - Leistungssport

- In der Vergangenheit (aber jetzt nicht mehr):
 - mehrere Jahre lang regelmäßig
 - Leistungssport
 - Trifft beides nicht zu

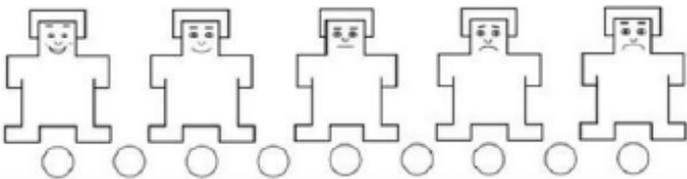
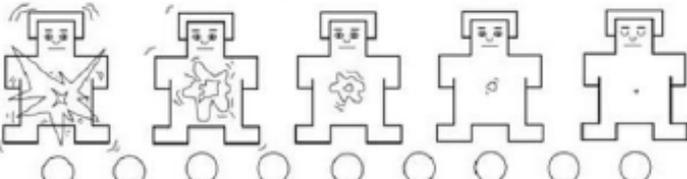
Haben Sie Vorwissen zur Wirkung von farbigem Licht auf den menschlichen Körper und/oder auf seine Emotionen? (bitte ankreuzen)



- Wenn angekreuzte Zahl größer als 1 ist:
Aus welchem Kontext haben Sie dieses Vorwissen?
(kurze Stichpunkte genügen)

.....
.....
.....

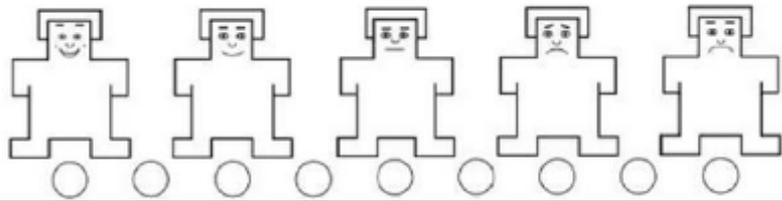
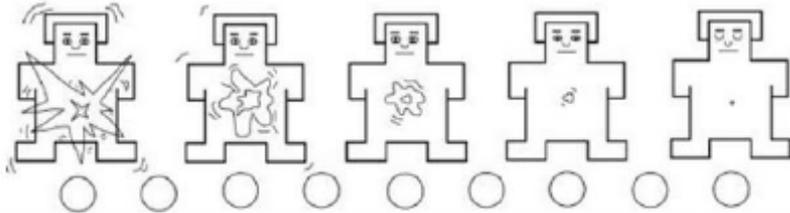
Wie fühlen Sie sich gerade? (Bitte ein Kreuz in einen Kreis pro Zeile setzen)

Ich fühle mich gut		Ich fühle mich schlecht
Ich fühle mich angespannt		Ich fühle mich ruhig

SAM-Fragebogen

Wie fühlen Sie sich gerade?

(1 Kreuz pro Zeile)

Ich fühle mich gut		Ich fühle mich schlecht
Ich fühle mich angespannt		Ich fühle mich ruhig

Auffälligkeiten? (Stichworte)

.....

.....

.....

von Versuchsleitung auszufüllen:

Nr.

Unternr.:

Notiz:

Ethikkommissionsvotum



Ethikkommission

30.03.2023

Ethikantrag 2023-04

„Psychophysiologische Indikatoren der Wirkung von verschiedenfarbigen Lichtreizen - Eine experimentelle Studie an gesunden Versuchspersonen zum Einfluss von roten und blauen Lichtreizen auf die Herzratenvariabilität und auf die Entstehung weiterer subjektiver Reaktionen“

vom 15.03.2023

Antragstellerin: Lone Schindler, BA-Studentin
Betreuerin: Prof. Carolin Liedke

Sehr geehrte Frau Schindler,

das o.g. Vorhaben wurde nach Prüfung durch die Ethikkommission als grundsätzlich „ethisch unbedenklich“ bewertet.

Mit freundlichen Grüßen



Dr. Christiane Stange (Koordination Ethikkommission)

Eigenständigkeitserklärung

Hiermit versichere ich, dass ich die vorliegende Bachelorarbeit mit dem Titel:

Psychophysiologische Indikatoren der Wirkung von verschiedenfarbigen Lichtreizen –

Eine experimentelle Studie an gesunden Versuchspersonen zum Einfluss von roten und blauen Lichtreizen auf die Atemfrequenz, die respiratorische Sinusarrhythmie, die Herzratenvariabilität und auf die Entstehung weiterer subjektiver Reaktionen

selbständig und nur mit den angegebenen Hilfsmitteln verfasst habe. Alle Passagen, die ich wörtlich aus der Literatur oder aus anderen Quellen wie z. B. Internetseiten übernommen habe, habe ich deutlich als Zitat mit Angabe der Quelle kenntlich gemacht.

20.09.2023

Datum



Unterschrift