

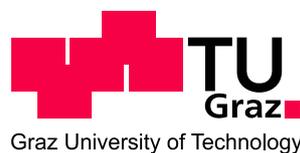
**Birgit Schulz**

# **Wirkung chromatischer Lichträume im Kontext der Architektur**

## **Dissertation**

zur Erlangung des akademischen Grades  
Doktorin der technischen Wissenschaften

Doktoratsstudium der technischen Wissenschaften  
Architektur



**Technische Universität Graz**

Betreuerin:

Univ.-Prof. Mag. arch. Mag. art. Irmgard Frank  
Institut für Raumgestaltung

2. Gutachter:

a.o.Univ.-Prof. Dr.phil. Maximilian Moser  
Medizinische Universität Graz, Institut für Physiologie  
Human Research Institut für Gesundheitstechnologie  
und Präventionsforschung GmbH, Weiz

Graz, April 2013

## Danksagung

Mein besonderer Dank gilt Frau Univ.-Prof. Mag.arch. Mag.art. Irmgard Frank für ihre freundschaftliche Motivation und beharrliche Unterstützung bei der Fertigstellung meiner Arbeit sowie Herrn a.o. Univ.-Prof. Dr.phil. Maximilian Moser für seine Begleitung im Bereich der Physiologie, der Bereitstellung von Infrastruktur und der Förderung des Austausches mit den Mitarbeiter(inne)n des Human Research Instituts für Gesundheitstechnologie und Präventionsforschung in Weiz. Hier gilt mein besonderer Dank Herrn Dr. Vincent Grote für seine kontinuierliche wissenschaftliche Beratung.

Ein weiteres Dankeschön ergeht an

DI Matthias Frühwirth und Dr. Alexander Avian, das Team des Human Research Instituts für Gesundheitstechnologie und Präventionsforschung in Weiz für die technische Unterstützung der Versuchsreihe,

Prof. Dr. Gernot Pottlacher und DI Peter Dehoff für ihre Diskussionsbereitschaft, Paul Pritz und Nermin Kuloglija, die Mitarbeiter des Raum & Lichtlabors des Instituts für Raumgestaltung und allen Teilnehmer(inne)n und dem Lehrpersonal der Versuchsreihen der TU Graz, Fakultät für Architektur und der HTL Baden – Malerschule Leesdorf, meine Freunde für ihre Anregungen und den Ansporn, die Arbeit zu beenden, und nicht zuletzt danke ich meinen Eltern für ihr Vertrauen und ihre unermüdliche Unterstützung.

## **EIDESSTATTLICHE ERKLÄRUNG**

Ich erkläre an Eides statt, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig verfasst, andere als die angegebenen Quellen/Hilfsmittel nicht benutzt und die den benutzten Quellen wörtlich und inhaltlich entnommene Stellen als solche kenntlich gemacht habe.

Graz, am .....

(Unterschrift)

Englische Fassung:

## **STATUTORY DECLARATION**

I declare that I have authored this thesis independently, that I have not used other than the declared sources / resources, and that I have explicitly marked all material which has been quoted either literally or by content from the used sources.

.....  
date (signature)

## Zusammenfassung

Ziel dieser Arbeit war es zu überprüfen, ob sich chromatische Lichtexposition in räumlichen Situationen auf den Menschen auswirken kann. Es wurde die Wirkungsweise von Licht auf Befinden und Raumwahrnehmung von verschiedenen Seiten betrachtet und systematisch untersucht, ausgehend von extrem chromatischen Lichtsituationen bis hin zur Untersuchung verschiedener Lichtfarben. Für die Präsentation der Lichtsituationen wurde der Maßstab des Menschen herangezogen und in 1:1 aufgebauten Mock-up-Räumen untersucht. Anhand von drei Studien wurden unterschiedliche Stimuli der Umwelt und der psychophysischen Ebene der Wahrnehmung und die damit einhergehende physiologische Bewertung in einem interdisziplinären Architekturkontext betrachtet. Es wurde versucht, einen Einblick in die Gesamtzusammenhänge des persönlichen Erlebens von Licht und des Einflusses auf die Wahrnehmung von Raum zu geben.

Die erste Studie fand in der Gruppe statt und beschäftigt sich mit den Grundlagen der Wahrnehmung von Körperfarben und der Befindlichkeit der Studienteilnehmer(innen). In sechs chromatischen und einem weißen Lichtraum, mit einer Expositionszeit von 90 Minuten, wurden Fragebögen beantwortet und Farbkärtchen zugeordnet. Da sich ein allgemeiner Einfluss der Studienteilnehmer(innen) auf die chromatische Lichtexposition zeigte, wurde die zweite Studie um die Messung der körperlichen Reaktionen der Herzratenvariabilität erweitert. In sechs chromatischen Lichträumen mit einer Expositionszeit von acht Minuten wurden die Befindlichkeit und die Raumwahrnehmung von Architekturmodellen anhand von Fragebögen und einer semantischen Bewertung abgefragt. Die Befragung der Studienteilnehmer(innen) wurde individuell durchgeführt. Die dritte Studie beschäftigt sich mit einer anwendungsorientierten Fragestellung im Shopkontext. Abgefragt wurden Raumwahrnehmung und Atmosphäre in unterschiedlichen Lichtfarben und Lichtverteilungen im Raum. Zusätzlich sollte eine physiologische Messung Aufschluss über körperliche Reaktionen der Herzratenvariabilität geben.

Bei der Zusammenführung der Daten aus dem psychologischen und physiologischen Teil der Studie bestätigte sich die Annahme, dass chromatisches Licht individuell auf den Menschen wirkt. Die vertretene Selbstverständlichkeit von Farbdesigner(inne)n, Blau würde beruhigend und Rot aktivierend wirken, ist zumindest im Bereich von Licht nicht mehr eindeutig nachvollziehbar und hat demnach keine allgemeine Gültigkeit. Die Ergebnisse zeigen, dass es unterschiedliche Farb-Lichttypen gibt, welche nicht so einfach zu generalisieren sind.

Im Bereich der Forschung von chromatischem Licht in Realräumen sind wenige Studien im architektonischen Kontext bekannt. Da farbiges Licht eine große Präsenz in der Architektur haben kann, verlangt es gerade deshalb, bei einer sich schnell entwickelnden Lichttechnologie und einem immer größer werdenden Einsatzgebiet von chromatischem Licht im Architekturalltag, nach Folgeuntersuchungen in diesem Feld.

*Schlagwörter: Architektur, Beleuchtung, chromatisches Licht, Raumwahrnehmung, Befinden, HRV*

## Summary

The aim of this project was to find out whether or not people are affected by exposure to chromatic light. The effect of light on people's states of mind and spatial perception was examined from various perspectives and systematically investigated, starting from situations of extreme chromatic light and ranging to the examination of different colour temperatures. The human scale was used for the presentation of the light situations and examined 1:1 in mock-up spaces. Different stimuli from the environment and the psychophysical level of perception and the resulting physiological evaluation were examined in an interdisciplinary architectural context on the basis of three studies. It was attempted to gain insights into the overall context of the personal experience of light and its influence on the perception of space.

The first study took place in a group and dealt with the basics of the perception of colours of objects and the thus induced states of mind of the participants in the study. In a room with six different chromatic light installations and one white light installation, with an exposure time of 90 minutes per light installation, questionnaires were answered and colour cards allocated. Since the study participants appeared to be generally influenced by exposure to chromatic light, the second study was extended to include measurements of the physiological reactions of heart rate variability. In a room containing six chromatic light scenes an exposure time of eight minutes, questions about induced state of mind and spatial perception of architectural models were asked by means of questionnaires and a semantic evaluation. Study participants were questioned individually. The third study deals with asking application-oriented questions in the context of a shop. Questions regarding spatial perception and atmosphere under lights of different colour temperature and the distribution of light in the room were asked. Additionally, a physiological measurement was carried out to provide information about the physiological reactions of heart rate variability.

Merging the data from the psychological and physiological parts of the study confirmed the assumption that chromatic light affects people individually. The implicit assumption among colour designers that blue has a calming effect and red an activating effect cannot be clearly reproduced – at least for light – and is thus not generally valid. The results show that there are different coloured-light personalities about which it is not easy to generalise.

Only few studies on chromatic light in real spaces in an architectural context have been carried out. Since coloured light has a big importance in architecture, and taken that light technology is developing quickly and the field of application of chromatic light in day to day architecture is constantly increasing, follow-up studies in this field are definitely called for.

*Key words: Architecture, lighting, chromatic light, spatial perception, state of mind, HRV*

## Inhalt

<b>Einleitung</b>	<b>8</b>
<b>A Licht – Raum – Mensch</b>	<b>10</b>
Licht räumlich erlebt	10
Licht, Psyche und Körper	17
Psychophysische Messung der Wahrnehmung	23
Aufbau der Arbeit	29
<b>B Wirkung von chromatischem Licht in räumlichen Situationen</b>	<b>32</b>
<b>1 Einfluss von chromatischem Licht in räumlichen Situationen auf Befindlichkeit und subjektive Helligkeitsempfindung von Schüler(inne)n</b>	<b>32</b>
Fragestellungen und Hypothesen	33
Methode	33
Versuchsdesign und Planung	33
Mess-, Gruppierungsgrößen und statistische Verfahren	33
Versuchspersonen – Stichprobe	35
Untersuchungsmaterial	35
Beschreibung der Raum-Lightsituation und Prüfmittel	40
Versuchsdurchführung	43
Ergebnisse	44
Einfluss chromatischer Lichtexposition auf die Befindlichkeit	44
Funktionale Aspekte zur subjektiven Wahrnehmung von Körperfarben in chromatischen Lichträumen (Sortier Task)	47
<b>2 Einfluss von chromatischem Licht in räumlichen Situationen auf Befindlichkeit und subjektive Farbempfindung von Studierenden</b>	<b>51</b>
Fragestellungen und Hypothesen	51
Methode	52
Versuchsdesign und Planung	52
Mess-, Gruppierungsgrößen und statistische Verfahren	53
Versuchspersonen – Stichprobe	54
Untersuchungsmaterial	55
Beschreibung der Raum-Lightsituation und Prüfmittel	59
Versuchsdurchführung	64
Ergebnisse	66
Einfluss chromatischer Lichtexposition auf die Befindlichkeit	67
Einfluss chromatischer Lichtexposition auf die subjektive semantische Bewertung von Architekturmodellen	71
Einfluss chromatischer Lichtexposition auf die kardial vegetative Aktivierung der Herzratenvariabilität	76
Berücksichtigung der Zusammenhänge von Befindlichkeitsreaktionen und HRV-Indikatoren in chromatischen Lichtexpositionen	79

<b>C</b>	<b>Wirkung von weißem Licht in räumlichen Situationen</b>	<b>84</b>
	<b>3</b>	
	<b><i>Einfluss von weißem Licht auf Raumwirkung und kardial vegetative Aktivierung im Raumkontext einer Shopsituation</i></b>	<b>86</b>
	Fragestellungen und Hypothesen	86
	Methode	88
	Versuchsdesign und Planung	88
	Mess-, Gruppierungsgrößen und statistische Verfahren	88
	Versuchspersonen – Stichprobe	89
	Untersuchungsmaterial	89
	Beschreibung der Raumsituation und Prüfmittel	91
	Beschreibung der Lichtsituationen	94
	Versuchsdurchführung	99
	Ergebnisse	101
	Einfluss weißer Lichtexposition auf die Einschätzung der Atmosphäre im Raumkontext	102
	Einfluss weißer Lichtexposition auf die subjektive semantische Bewertung im Raumkontext	106
	Einfluss weißer Lichtexposition auf die kardial vegetative Aktivierung der Herzratenvariabilität	108
	<b><i>Kurze Zusammenfassung der Ergebnisse der drei Versuchsreihen</i></b>	<b>110</b>
<b>D</b>	<b>Interpretation zentraler Ergebnisse</b>	<b>111</b>
	Anhang	118
	Literatur	140

## Einleitung

In der Architektur wird der Fokus meist auf die Gestalt des Raumes gerichtet, das Thema von elektrischem Licht und dessen Beziehung zu Raum und Mensch wird oftmals vernachlässigt. Häufig stehen Messkriterien wie z. B. Beleuchtungsstärke, Leuchtdichteverteilung, Blendung, Lichtausbeute und Effizienz im Vordergrund der Betrachtung und der Raum spielt kaum eine Rolle. Hier sollte Licht nicht nur auf die Technik reduziert, sondern vielmehr als Werkzeug für die Gestaltung herangezogen werden. Idealerweise ist der Fokus in der Lichtplanung auf die Lichtqualität im Raumkontext gerichtet. Das Visuelle spielt hier bei der Beurteilung von Raum eine wesentliche Rolle. Dies wird besonders in der Architektur bei der Gestaltung von Raum sichtbar, wo bewusst z. B. mit Farben, Oberflächen und Materialien Raum inszeniert wird und Licht als wesentlicher Akteur für die Charakteristik eines Raumes in Erscheinung tritt.

Im Bereich von Architektur und Gestaltung von Innenbereichen wird farbiges Licht oft in öffentlichen Gebäuden zur Produktion von Erlebnis- und Kommunikationsräumen, aber auch in der Gestaltung von Wellnessbereichen angewandt. In der Kunst geht es meist um das Thema der Grenzerfahrung, welche wiederum von der Wissenschaft im Bereich des Ganzfelderlebnisses untersucht wird.

Beschäftigt man sich mit chromatischen Lichträumen, bleibt Farbe sehr schwer fassbar, sie wird individuell wahrgenommen und durch sie werden – abhängig vom Betrachter – sehr oft emotionale und ästhetische Assoziationen hervorgerufen. Schon ein Farbakzent kann die Atmosphäre im Raum positiv bzw. negativ verändern. Sie ist „[...] eine an diesem Ort gestaltete, einmalige Atmosphäre“ (Meisenheimer 2004: 23), die mit bestimmten Formen, Materialien, Licht-Farb-Kompositionen hergestellt wurde und nur an diesem Ort verankert ist. Für Meisenheimer besitzt jegliches räumliche Umfeld Atmosphäre. Die verschiedenen wissenschaftlichen Studien beziehen sich meist auf die Betrachtung eines Forschungsbereichs, themenübergreifend wird kaum gearbeitet. Wichtig wäre jedoch eine Sichtweise, welche die Gesamtzusammenhänge beschreibt und somit den Menschen mit seiner Befindlichkeit im jeweiligen Raum mit einbezieht.

Wie verändert sich aber anhand von extrem chromatischem Licht die Wahrnehmung? Was passiert z. B., wenn in Räumen farbiges Licht verwendet wird und dies über Minuten oder sogar über Stunden andauert? In diesem Bereich ist die psychologische und physiologische Wirkung ein oft vernachlässigter Bereich in der Architektur. Hier sind einige relevante Komponenten aufzuzählen: die physikalische Zusammensetzung von Licht; die visuelle Wahrnehmung über das Auge; der Effekt auf den Menschen, welcher psychologische und physiologische Effekte beinhaltet.

Im Zusammenspiel von Licht und Raum in einem bestimmten sozialen Kontext können nun subjektive Faktoren wie Stimmung, Gefühl und Emotion wesentlich die Beurteilung von Raumsituationen beeinflussen. Wir sind uns bewusst, dass unser visuelles System stark von Licht beeinflusst ist, jedoch wirkt Licht auch unbewusst auf unseren Körper wie z. B. auf unsere Stimmung und Befindlichkeit, sogar ein Überangebot an „Farb“-Reizen (Reizüberflutung) kann den Menschen beeinflussen. Die Sinnesorgane und die Erwartung an den Raum vermitteln dem

Raumnutzer eine oftmals zusätzliche unbewusste Komponente des Raumes. Hier haben Lichtfarben<sup>1</sup> einen besonders großen Einfluss auf das Befinden des Menschen und die Atmosphäre im Raum. Bereits im Tageslicht enthaltene Rot- und Blauanteile beeinflussen unseren Körper. Am Morgen fördert der Blauanteil im Tageslicht die Bildung von Cortisol, was die Aktivierung des Körpers bedeutet, und abends bei Sonnenuntergang führt der Rotanteil zur Bildung von Melatonin, das zu Müdigkeit führt. Durch die unterschiedliche spektrale Zusammensetzung der Lichtfarben des Tageslichts wie auch des künstlichen Lichts wird nicht nur unser Schlaf-Wach-Rhythmus (Cajochen 2007; Wirz-Justice, Fournier 2010) beeinflusst, sondern z. B. auch unser Befinden, unsere Stimmung (Küller u. a. 2006) und unsere Gesundheit. In diesem Bereich gibt es Studien über den Zusammenhang von Nachtschichtarbeit und Brustkrebsrisiko aufgrund der Unterdrückung von Melatonin (Bonde u. a. 2012).

Ein potenzielles Wirkungsmodell (vgl. Abb. 1) soll die Zusammenhänge der Experimente dieser Arbeit aufzeigen. Die Konzentration bei der Messung der Wahrnehmung liegt auf zwei Untersuchungsebenen, der psychophysischen und der physiologischen Ebene. Der psychophysische Zugang bezieht sich auf die Beziehung zwischen physikalischen Eigenschaften eines Stimulus und den wahrgenommenen Antworten auf diesen (Goldstein 2007). Der physiologische Zugang bezieht sich auf die Wahrnehmung und die Stimuli aus der Umgebung. Gemeinsam unter Einbeziehung kognitiver Wahrnehmungseinflüsse, wie z. B. Wissen, Erinnerungen und Erwartungen von Menschen, äußere Umwelteinflüsse, Gesundheitszustand und Vorbefinden, werden in dieser Arbeit die Studienteilnehmer(innen) im räumlichen Kontext der Wirkung von Licht auf ihre Wahrnehmung, ihr Befinden und die Aktivierung in weißer und chromatischer Lichtexposition untersucht. Zusätzlich folgt eine Bewertung von Atmosphäre und Raumeindruck. Die einzelnen Komponenten der Untersuchungen führen zu einem Raumerlebnis, das Ziel von Gestaltung in der Architektur ist. Um einen stärkeren Bezug für die Betrachtung eines Gesamtzusammenhangs von Raum und Licht herzustellen, wurde mit Versuchsaufbauten im Maßstab 1:1 gearbeitet. Dies ist in der Forschung zur Wirkung von Licht ein noch wenig beschrittener Pfad.

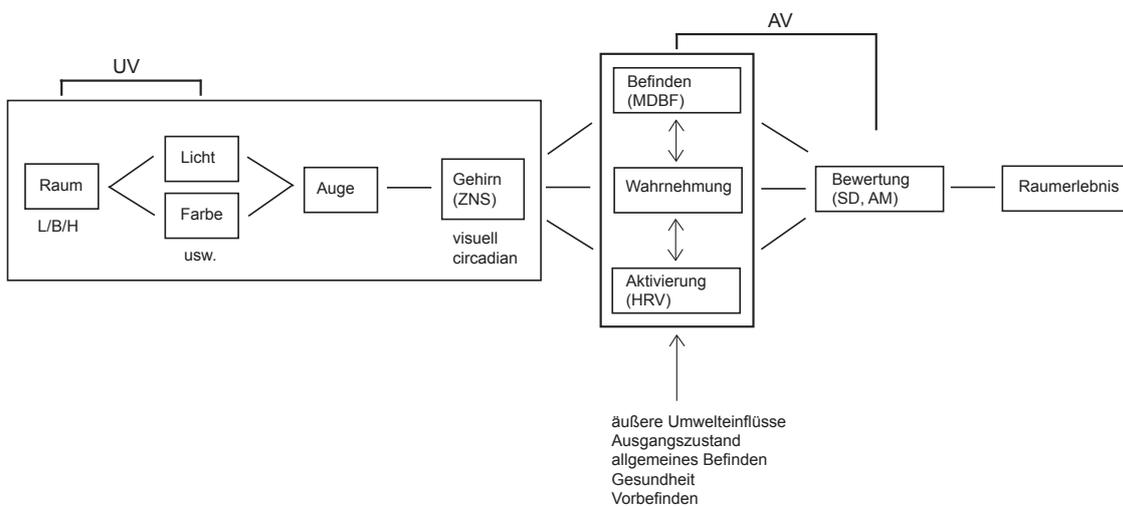


Abbildung 1: Potenzielles Wirkungsmodell „Raumerlebnis“

<sup>1</sup> Die Lichtfarbe von Lampen wird in Kelvin (Farbtemperatur) angegeben und lässt sich in drei Gruppen einteilen: Warmweiß (ww) < 3300 K; Neutralweiß (nw) 3300–5300 K; Tageslichtweiß (tw) > 5300 K (licht.de 2013).

Die in dieser Arbeit angeführten Studien sollen die Weitläufigkeit und Relevanz des Themas Licht aufzeigen. Beginnend mit der Anwendung im architektonischen Kontext, über die Kunst bis hin zu wissenschaftlich medizinischen Studien. Bei dieser Vielfalt an Disziplinen und Studien, die sich mit dem Thema Licht auseinandersetzen, wird hier explizit ein Teil herausgegriffen, um diesen interdisziplinär zu betrachten.

In einer sich scheinbar immer schneller bewegenden Zeit und in einer nach Aufmerksamkeit ringenden Umgebung mit zunehmender Beleuchtung aller unserer Lebensräume, die Gebäude und Städte transformiert, untersucht diese Arbeit im Umfeld von Architektur und Kunst, wie sich chromatische und weiße Lichträume auf den Menschen auswirken können.

## **Licht – Raum – Mensch**

Zur Einführung in das Thema der Wirkung von Licht im räumlichen Kontext und dessen Wirkung auf den Menschen wird vorab auf ein paar Grundbegriffe und Grundlagen zum Thema eingegangen, um die Zusammenhänge in einem interdisziplinären Forschungsfeld von Architektur, Physiologie und Psychologie aufzuzeigen.

Aufgrund unterschiedlicher Sichtweisen verschiedener Disziplinen ist es oftmals bei der Arbeit mit Licht, Farbe und Material der Fall, dass jeder einzelne Teil für sich betrachtet wird, ohne auf das Zusammenspiel der verschiedenen Komponenten im Raum zu achten. In diesem Fall hat der/die Architekt(in) die spezielle Kompetenz, Gesamtzusammenhänge in der Betrachtung von Raum zu erkennen. So können die einzelnen Teile durch die Architektur in einen Zusammenhang gebracht und Raum kann umfassend gedacht werden.

### ***Licht räumlich erlebt***

#### **Aspekte zum architektonischen Raum**

Raum und Raumwirkung werden von jedem Menschen individuell erlebt. Jede Disziplin, wie z. B. in der Architektur, Philosophie oder Kunst, hat ihren eigenen Zugang und der Mensch hat je nach Wirkungsfeld unterschiedliche Vorstellungen von Raum. Der Raumbegriff ist ein interdisziplinär verwendeter Begriff. Geht es bei Architekt Meisenheimer z. B. um den Raum als einen geometrischen Ort, so wird dieser nicht erlebt, sondern gedacht: *„Er ist ohne Inhalte im Sinne von Wahrnehmung, Erinnerung und Einfärbung des Gefühls. Er bezeichnet nichts als eine Position in einem gedachten Raum, dessen Struktur auf wenige räumliche Merkmale beschränkt ist.“* (Meisenheimer 2004: 33). Es wird ganz klar zwischen gebauten Dingen und architektonischem Raum unterschieden. Die gebauten Dinge sind für ihn Baukörper, die physikalisch beschreibbar sind, sie werden von außen betrachtet und nehmen eine fixe Stelle im Raum ein. Spricht man von architektonischen Räumen, so sind diese zwar künstlich hergestellt, jedoch von innen erlebbar. Sie sind Erlebnisräume und nicht objektiv und physikalisch bestimmbar, sie umgeben den Nutzer und werden Teil seiner Vorstellung. Geht es um den Erlebnisraum, so ist der architektonische Raum gemeint, der subjektive und objektive Strukturen enthält und stets handlungsbezogen ist. Durch den Erlebnisvorgang entstehen

atmosphärische Eindrücke, die aus verschiedenen Empfindungen bestehen, sie beschreiben die gestaltete einmalige Atmosphäre an diesem architektonischen Ort (Meisenheimer 2004: 23). Das Erleben von Raum spielt in der Architektur eine wesentliche Rolle, da der Nutzer ständig in Interaktion mit dem Lichtraum steht. Der Philosoph O. F. Bollnow beschreibt den Begriff des „erlebten Raumes“ als „[...] nichts Seelisches, nicht bloß Erlebtes oder Vorgestelltes oder gar Eingebildetes, sondern etwas Wirkliches: der wirkliche konkrete Raum, in dem sich unser Leben abspielt.“ (Bollnow 1997: 19–22). Er versteht darunter das zwischen Menschen und Raum bestehende Verhältnis. Im Gegensatz dazu beschreibt er das „Raumerlebnis“ als etwas, das rein psychisch zu betrachten ist. Da der Raum stark an den in ihm lebenden Menschen gebunden ist, erscheint dieser für jeden unterschiedlich und verändert sich für den Einzelnen je nach momentaner Stimmung und Verfassung. Diese Veränderungen „im“ Menschen ergeben somit eine Änderung des erlebten Raumes. Eine große Rolle bei der Betrachtung des visuellen Gesamteindrucks von Raum spielt das Licht. Diese sich verändernden Lichtsituationen tragen wesentlich zum Erleben der räumlichen Situation bei und vermitteln dadurch eine bestimmte Stimmung. Ein mit Licht durchfluteter Raum ist für uns klar und übersichtlich, er dehnt sich vor uns aus. Wir sehen in ihm z. B. eine Perspektive, einen Horizont und können Entfernungen einschätzen; er ist ständig mit Farben und unterschiedlichen Helligkeiten ausgefüllt. Mit wenig Licht jedoch verändert sich die Sichtbarkeit der Dinge im Raum. Der Raum selbst verändert seinen Charakter und wird oft als geheimnisvoll oder unsichtbar wahrgenommen. Die Dinge verschwinden in der Dunkelheit und Auge und Wahrnehmung müssen sich an die Gegebenheiten anpassen. Als Folge der veränderten Lichtbedingungen ändert sich auch der erlebte Raum in seiner Erscheinung. Die wechselnden atmosphärischen Verhältnisse haben Einfluss auf den Stimmungscharakter des Raumes und des menschlichen Gemüts. Zusätzlich verändern unterschiedliche Farben in Kombination mit Licht den Raumeindruck, sie lassen ihn z. B. eng oder weit, hell oder dunkel bzw. warm oder kalt erscheinen (Bollnow 1997).

Ein weiterer Aspekt des Raumes ist das Verhältnis von Tag- und Nachtraum, wie er bei Bollnow beschrieben wird. Im Dunkel der Nacht verändert sich die Sichtbarkeit der Dinge im Raum. Der Raum umhüllt uns und wird zu etwas geheimnisvoll Unsichtbarem; er verändert seinen Charakter (Bollnow 1997: 213–226). Die Dinge verschwinden in der Dunkelheit und es müssen sich Sehgewohnheiten und Wahrnehmung an die Gegebenheiten anpassen.

Durch das Kunstlicht transformiert sich nicht nur der Nachtraum, sondern auch der Tagraum. Aktivitäten werden bis spät in die Nacht möglich. Der Rhythmus des Menschen und seine Gewohnheiten verändern sich bzw. passen sich den „neuen“ Möglichkeiten an. Dadurch verwandelt sich der Nachtraum teilweise in einen künstlichen Tagraum.

Alexander Gosztonyi spricht im Vorwort seines Buches *Der Raum*, Band 1 (Gosztonyi 1976: 34–51), grundsätzlich von drei übergeordneten Raumanalysen: der philosophischen (Sinnespsychologie, Phänomenologie), der geometrischen und der mathematisch-physikalischen. Diese Raumanalysen führen zu je einem Bild des Raumes (obwohl sich alle drei auf denselben Raum beziehen). Sie erscheinen uns aber trotzdem unterschiedlich. Was Raum ist und wie er gesehen wird, kann also nicht so einfach erörtert werden. Deshalb werden ein paar

Teilaspekte von Raumcharakteristika kurz aufgezeigt, die für diese Arbeit in weiterer Folge von Bedeutung sind.

Der Erlebnisraum, ist der Raum, in dem man sich bewegt, er wird zum Großteil von unbewussten Handlungen, Wahrnehmungen und Erfahrungen bestimmt und ist Grundlage von weiteren Raumerfahrungen und Raumerlebnissen. Der Aktionsraum ist eine Erweiterung des Erlebnisraumes. Durch bewusste Aktionen, wie der Eigenbewegung, erfährt der Mensch den Raum. Im Wahrnehmungsraum befinden sich unterschiedliche Arten von Wahrnehmungen. Er ist die Summe der sinnlichen Raumerfahrungen und auch die durch Bewegung gemachten Erfahrungen werden in ihm aufgenommen. Es geht vor allem um den Rauminhalt. Der Raum kann nie als Ganzes wahrgenommen werden und beschränkt sich deshalb auf einzelne Teile, Inhalte, Schichten oder Sphären des Raumes. Die Basis des Wahrnehmungsraumes bildet der Sinnesraum, welcher sich aus den Erfahrungen einzelner Sinne zusammensetzt. Er kann auf verschiedene Sinne bezogen werden wie z. B. auf den Sehraum, Hörraum, Tastraum, Nahraum oder den Fernraum. Der Sinnesraum ermöglicht unter anderem eine Übersicht in der räumlichen Wahrnehmung. Zuletzt ist noch der Vorstellungsraum zu nennen, der für die reproduzierbare Vorstellung räumlicher Gebilde verantwortlich ist. Um Raum zu interpretieren, werden eine ergänzende Vorstellung, vorhandenes Wissen, Erinnerungen und Assoziationen benötigt (Gosztanyi 1976: 34–51).

Wenn man sich diese Raumcharakteristika ansieht, erscheint es jedoch nicht sinnvoll, Raum in Kategorien einzuteilen, denn in der Architektur liegt der Fokus auf der Betrachtung von Raum im Gesamtzusammenhang.

### **Gestaltung von Lichträumen**

Im Bereich der Gestaltung von extrem farbigen Lichträumen sei als ein Zugang die Bühnengestaltung im Theater (Szenographie) angeführt. Als Beispiel wäre Robert Wilson zu nennen, der durch seine Kompositionen von extremen Licht- und Farbakzenten die gesteigerte Aufmerksamkeit des Publikums evoziert, um sie aus der Alltagswelt zu entführen. Für ihn stellt Theater eine Erfahrung dar, „[...] und Erfahrungen sind Denkweisen. Man erfährt etwas nicht nur mit dem Geist, sondern auch mit dem Körper: Ich werde bewegt, ich bin berührt, ich spüre etwas.“ (Moldoveanu 2001). Seine Inszenierung von Samuel Becketts *Oh Les Beaux Jours*, 2010 am Landestheater Niederösterreich in St. Pölten, könnte als ein signifikantes Beispiel dafür genannt werden.

Im Grenzbereich von Architektur und Kunst gibt es einige Arbeiten, die sich mit der Schaffung von Erlebnis- und Kommunikationsräumen in öffentlichen Gebäuden beschäftigen. Eine davon ist die Lichtinstallation von Keith Sonnier für die Zentrale der Münchner Rückversicherung (Baumschlager & Eberle 2002) mit dem Titel *Verbindung RotBlauGelb*. Hier versucht der Künstler die fensterlosen Gänge zwischen dem Hauptgebäude und dem Geschäftsgebäude im Untergeschoss der Versicherung für die Mitarbeiter(innen) mit Hilfe von chromatischem Licht angenehmer und abwechslungsreicher zu gestalten.

Bei der Gestaltung von Innenräumen in der Architektur wird extrem chromatisches Licht jedoch vorwiegend als Akzent angewandt, ähnlich wie bei Körperfarben. Chromatische Lichtsituationen

werden oft in Besprechungsräumen eingesetzt, um die Kommunikation der Mitarbeiter(innen) zu fördern und damit die Entscheidungsfindung zu beschleunigen. Beim Projekt der Ärztekammer in Berlin, 2005, können sich die Mitarbeiter an ihrem Arbeitsplatz sogar ihr individuelles „Wohlfühllicht“ zusammenstellen (Selux 2011). Die Beleuchtung in den Büros ist eine Kombination aus indirektem und direktem Licht, wobei der direkte Anteil, der auf die Arbeitsfläche trifft, weiß und dimmbar ist. Der indirekte Anteil erlaubt zusätzlich die Einstellung unterschiedlicher chromatischer Lichtfarben, bis hin zur Wahl verschiedener Tageslichtverläufe für die Raumbeleuchtung. Durch die Möglichkeit der freien Wahl der Lichtsituation im Büro kann zusätzlich die Leistungsfähigkeit der Mitarbeiter(innen) unterstützt werden. Untersuchungen von Bornstein zur Beurteilung von monochromatischem Licht bestätigen hierbei bestimmte Farbvorlieben (Bornstein 1975).

Im Bereich von Wellness und Therapie wird vielfach versucht, sich die Entspannungszustände in ganzfeldähnlichen Räumen zunutze zu machen. Dies wurde im Samadhi Bad im Museum der Wahrnehmung in Graz (MUWA Museum der Wahrnehmung 2013) umgesetzt: Hier floatet man geschützt vor visuellen und akustischen Einflüssen im Salzwasser und kann seine ganz „individuelle Wahrnehmungswelt“ erleben. Berichten zufolge hatten Besucher ganzfeldähnliche Erlebnisse. Farbige Licht wird in vielen möglichen Varianten in Wellnessbereichen ein- und erfolgreich umgesetzt. Ein Beispiel ist der Alpha Sphere, ein Raum mit blauem Licht in der Therme Loipersdorf (Loipersdorf 2013), in dem auf speziellen Liegen eine Kombination aus Licht und Wärme die Entspannung steigern soll. Auch die Anwendung von farbigem Licht in Saunen und Schwimmbädern soll das Wohlbefinden fördern. Diese Anwendungen sind jedoch kritisch zu hinterfragen, da in den meisten Fällen sehr schnelle Farbwechsel stattfinden. Ob hier noch entspannungsähnliche Zustände aufgrund von Farblicht zustande kommen können, ist fraglich. Zu tiefen Entspannungszuständen kann hingegen die Simulation des Ganzfeldes (Monocrom 2013) führen. Hier befindet sich die Person z. B. nur mit dem Kopf in einem „Dome“, einer helmartigen Kugel mit einem Durchmesser von 0,4 m. Die Farbprojektionen werden durch ein monochromatisches Spektrum mit enger Bandbreite erzeugt und dauern durchschnittlich zehn Minuten.

Auch eine Kunstinstallation von Anish Kapoor *Imagined Monochrome* 2009 im Kunstmuseum Wolfsburg wäre hier zu erwähnen. Diese ist mit einer weißen Lichtdecke ausgestattet: nur mit weißem Licht und weißen Wänden. Der Museumsbesucher befindet sich dabei in liegender Position auf einem Tisch unter der Lichtprojektion. Durch eine zehnminütige „Farbmassage“ an Schulter, Nacken und Kopf durch einen Masseur, wird versucht die Sinne (multisensorisch) anzusprechen. Bei geschlossenen Augen werden je nach Berührung des Masseurs verschiedene monochrome Farbfelder sichtbar. Hier stellt sich die Frage, wo sich die Grenze zwischen Kunst und Lichttherapie befindet. Bei verschiedenen Arten der visuellen Stimulation können unterschiedliche Reaktionen hervorgerufen werden. In totaler Finsternis stellt sich nach der Adaption der Dunkelheit, wie bei Gur berichtet (Gur 1989), eine Art Eigengrau ein und bei extremer Helligkeit, wie bei der Installation von Anish Kapoor, werden Farbfelder sichtbar. Mit Farbprojektionen beschäftigte sich bereits Nicolas Schöffer in einer seiner frühen Arbeiten und entwickelte einen Apparat, der durch Farbprojektionen einen entspannenden Effekt

erzeugen sollte. Er nannte ihn *Relaxation including Apparatus* und meldete sogar dafür 1969 ein Patent an (Schöffler 1969). Auch Frieling beschreibt in seinem Buch *Gesetz der Farben* eine Studie mit Versuchspersonen zum Thema Farblicht. Er untersuchte psychologische und physiologische Reaktionen auf chromatische Lichtsituation: Die Personen mussten direkt in eine Lichtquelle sehen oder wurden angestrahlt. Bei den Beobachtungen wirkte Rot stimulierend, und der Puls nahm zu. Gelb führte zu Anspannung, löste aber und erhöhte zugleich die Motorik. Violettblau/Blau wurde als angenehm eingeschätzt, erhöhte die innere Reaktivität und wurde als konzentrationsfördernd eingestuft. Grünes Licht wirkte ausgleichend (Frieling 1990). Angaben zu den genauen Wellenlängen der Lichtfarben fehlen jedoch.

### **Von der Kunst zur Wissenschaft**

Bei der Suche nach einer Einteilung von Lichträumen könnte man diese grundsätzlich in Zeit und Intensität kategorisieren. Betreffend die Zeit-Komponente sind spontane kurzzeitige oder längere Aufenthalte (Raumerlebnisse) in Räumen gemeint. Die Intensität wiederum beschreibt ein gewisses Maß an Helligkeit, das unser Auge bzw. auch unser Körper empfindet. In jedem Fall ist durch Licht ein äußerer Reiz gegeben, welcher eine innere Reaktion zur Folge hat. Beispiele zur Arbeit mit hohen Lichtintensitäten zwischen Architektur und Kunst sind bei Philippe Rahm (Philippe Rahm architects 2013) zu finden, der sein Arbeitsfeld von der Architektur bis zur Physiologie (Centre for Chronobiology. Psychiatric University Clinics Basel 2013) erweitert hat. Eine seiner ersten Arbeiten in diesem Bereich ist das *Hormonarium*, welches er auf der Architekturbienale in Venedig 2002 für den Schweizer Pavillon kreiert hat. Es ist ein öffentlicher Platz, an dem er alpines Klima mit einer Beleuchtungsstärke von 5000 bis 10000 lx erzeugt. Mit Hilfe der Beleuchtung wird bei abnehmendem Sauerstofflevel die Ausschüttung von Melatonin verhindert, dies bedeutet die Unterdrückung von Müdigkeit und somit eine Aktivierung des Körpers. Ein weiteres Projekt heißt *Diurnisme*, Paris 2007. Hier erzeugt er untertags eine künstliche Nacht mit orange-gelbem Licht, einer Wellenlänge von über 570 nm. Dadurch verändert sich der Melatoninrhythmus und der Körper nimmt diesen Raum als echte Nacht wahr.

Ein Projekt, in dem sich Architektur und Physiologie treffen, ist der Entwurf des *Split time cafe* in Graz, 2007. Dieses Projekt ist als Café konzipiert und besteht aus drei Räumen: Der erste Raum ist mit transparentem Glas ausgestattet, das für den Einfall von natürlichem Licht steht. Der zweite mit gelbem Glas, dessen Wellenlänge das Sinken des Melatoninspiegels im Körper verhindern soll. So wird eine physiologische Nacht produziert, während es Tag ist. Der dritte Raum wirkt aufgrund des blauen Glases aktivierend und blockiert die Sekretion von Melatonin im Körper.

Extrem niedrige Lichtintensitäten<sup>2</sup> verwendet James Turrell in seinen Arbeiten und bewegt sich dabei an den menschlichen Wahrnehmungsgrenzen, was mit der zeitlichen Anpassung und somit der Adaption des Auges zu tun hat. Er versucht bewusst in seinen Installationen die Raumgrenzen auszuschalten. Die Faszination Licht führte mich vor Jahren zu einer seiner Ausstellungen ins Sprengel Museum Hannover, bei der ich zum ersten Mal ein Werk aus der

---

<sup>2</sup> „In den Arbeiten von James Turrell werden Lichtintensitäten von ca. 2–3 cd/m<sup>2</sup> verwendet.“ Gespräch mit Torsten Braun von „die Lichtplaner“ zum Thema James Turrell am 18.01.2012 in Graz.

Serie „Space Division Constructions“ *Slow Dissolve*, 1989, sah. Um zur Installation zu gelangen, bewegte man sich zuerst durch einen völlig dunklen Gang, damit sich das Auge den Helligkeitsverhältnissen anpassen konnte. Am Ende des Ganges öffnete sich ein Raum, an dessen gegenüberliegender Seite sich ein extrem farbiges, scheinbar gemaltes rechteckiges „Bild“ befand. Nach einiger Zeit des Verweilens und Betrachtens näherte ich mich der Bildfläche. Die Wahrnehmung veränderte sich langsam und ein Blick durch die „Lichtfläche“ öffnete die Sicht auf das Dahinter. James Turrell hatte den Raum für diese Installation in zwei Bereiche geteilt, in einen Betrachtungsraum (*viewing chambers*), der die Hälfte des Raumes bezeichnet, in der man sich physisch befindet, und den Wahrnehmungsraum (*sensing space*), der mit diffusem Farblicht ausgeleuchtet ist, der Bereich hinter der „Bildfläche“. Die Wände der Installation sind in reinem Weiß gestrichen, um das eintretende Licht zu reflektieren (Rotondi u. a. 1999). Diese Installation war ein besonderes visuelles Erlebnis, das sich im Grenzbereich der Sinne bewegte. In früheren Werken Turrells befinden sich die Betrachter selbst im Sensing Space, sitzen darin oder es gibt mehrere Räume, durch die man sich hindurchbewegen kann. Diese Arbeiten beschäftigen sich mit dem Aspekt des Ganzfeldes, welche Turrell u. a. 1968/69 innerhalb des Art and Technology Programs des Los Angeles County Museum of Art in gemeinsamer Zusammenarbeit mit dem Künstler Robert Irwin und dem Wahrnehmungspsychologen Dr. Ed Wortz untersucht hat. In diesem Projekt wurden unter extremen Bedingungen die Veränderungen von optischen und akustischen Sinneswahrnehmungen erforscht. Wortz beschreibt das Ganzfeld folgendermaßen: „[...] a Ganz field is a visual field in which there are no objects you can take hold of with your eye. It's a complete 360° field, or at least has to include total peripheral vision, and it's entirely homogeneous in color, white in our case. Its unique feature is that it appears to be light filled. That is, light appears to have substance in the Ganz field.“ (Tuchman 1971: 136–137). Er spricht über einen unendlichen Raum, dessen größte Faszination es ist, bei wechselnden Lichtlevels das Ganzfeld verschwinden und wieder auftauchen zu lassen. Inspiriert durch diese Arbeit entstanden weitere Projekte Turrells zur Annäherung an das Ganzfeld wie *City of Arhirit*, 1976, ein Beispiel einer Kunstinstallation in gebauten Räumen, in der die Besucher vier extrem farbige Lichträume durchqueren mussten. Die Situationen waren dermaßen irritierend, dass die Besucher in ihrem Gleichgewicht gestört wurden und sie auf Händen und Knien durch die Ausstellung krochen oder sogar hinfielen. Ein ähnliches Erlebnis ist auch in der Natur vorzufinden, wenn man z. B. auf einem Gletscher unterwegs ist und plötzlich der Nebel einfällt, kann es durch das Zusammenspiel von Schnee, Sonne und Nebel ebenfalls zu einer Orientierungslosigkeit aufgrund von zu wenig Kontrasten kommen. Mit diesem Effekt spielt auch die Lichtkünstlerin Ann Veronica Janssen in ihren Arbeiten. Sie führt bewusst eine Veränderung der Wahrnehmung hervor. Bei einer Annäherung an das Ganzfelderlebnis ist es schwierig sich zu bewegen. Um den Besuchern seiner Installationen aber trotzdem zu ermöglichen, die Extremerfahrung eines Ganzfeldes zu erleben, kreierte Turrell in weiterer Folge in der Serie „Perceptual Cells“ eine kontrollierte Laborsituation. Hier wurden die Personen in liegender Form mit dem ganzen Körper für 15 Minuten in einen Tank in Kugelform geschoben – Installation *Gasworks* 1993 (Rotondi u. a. 1999). Eine weitere Möglichkeit, das Ganzfeld zu erleben, bietet

eine Kabine namens *Header*, 1991. Die Kabine hat die Größe einer Telefonzelle und umschließt beim Eintreten den Kopf mit einer Kuppel. Hier ist man zeitlich ungebunden und die Licht- und Farbsituation kann selbst eingestellt werden.

Wie man an diesen Beispielen sieht, spielen beim Erleben des Ganzfeldes die Zeit und das physische Erleben eine wesentliche Rolle. Es braucht Zeit, sich an die Lichtsituationen im Raum anzupassen, um danach Veränderungen wahrnehmen zu können.

Zusammenfassend können drei verschiedene Arten des Ganzfelderlebnisses erkannt werden:

– der gesamte Körper befindet sich im Ganzfeld, – nur der Kopf, – nur die Augen werden isoliert dem Farberlebnis ausgesetzt.

Forschungen in diesem Bereich haben sich mit der Betrachtung von monochromen Ganzfeldern beschäftigt. Verwendet wurde dazu monochromatisches Licht mit einer Bandbreite von 15 nm, vergleichbar mit LEDs. Es konnten dabei drei wellenlängenabhängige Phänomene beobachtet werden: – das Feld wird achromatisch; – der Helligkeitseindruck verändert sich bei längerem Aufenthalt in farbigen Lichtsituationen; – das Feld verblasst und wird mit der Zeit dunkel bis nebelig grau und es tritt das Gefühl einer zusätzlichen Dunkelheit beim Ausschalten des Lichts auf. Durch diesen Vorgang konnte abhängig von Wellenlänge und Beleuchtungsstärke eine Anpassungszeit von 10–162 sec festgestellt werden. Bei kurzen Wellenlängen (460 nm), Blau, dauerte die Entsättigung länger als bei langen Wellenlängen (620 nm), Rot (Gur 1989). Cohen (Cohen 1957) beschreibt eine Zeit von drei Minuten und die Untersuchungen von Knau (Knau, Spillmann 1997) mit weißem Licht sprechen von fünf bis sieben Minuten der Anpassung. Bei den Untersuchungen sind Beleuchtungsstärken und Wellenlängen unterschiedlich, sodass ein Vergleich schwierig wird.

In seiner räumlichen Anwendung ist das Ganzfeld als Großraumvariante, wie am Beispiel der Lichträume von James Turrell, oder als Minimalvariante möglich. In letzterer ist die Komprimierung des Raumes fast nicht wahrnehmbar.

Künstler produzieren bewusst extreme Erlebnisse. Sie sind am Medium Licht interessiert, weil es auf Körper und Geist wirkt. Auch Olafur Eliasson bewies dies bei seiner Rauminstallation *The Weather Project* in der Turbinenhalle der Tate Modern in London im Jahr 2003. Er irritierte die Besucher(innen) bewusst durch die Montage einer riesigen Spiegeldecke. Nebel und monochromatische Lichtquellen dienten zur Simulation einer bestimmten Wettersituation im Innenraum. Vermittels der Eingrenzung des Spektrums reduzierte der Künstler die Wahrnehmung der Besucher(innen) auf eine zweifarbige Umgebung. Durch die monochromatische Lichtquelle konnte nur noch zwischen hell und dunkel differenziert werden.

## Licht, Psyche und Körper

### Aspekte zur Wahrnehmungspsychologie

Zur Beschreibung der Zusammenhänge und Begrifflichkeiten aus der Wahrnehmungspsychologie wird in diesem Kapitel der Wahrnehmungsprozess beschrieben. Aufbauend darauf wird näher auf das Sehen und die Farbwahrnehmung des Menschen eingegangen.

Wahrnehmung ist ein Zusammenspiel aus reizgesteuerter Verarbeitung. Gemeint ist damit das Abbild auf den Rezeptoren und die wissensbasierte Verarbeitung, die auf der Erfahrung einer Person beruht. Von Goldstein wird sie als das „[...] Endergebnis komplexer Vorgänge ‚hinter den Kulissen‘“ (Goldstein 2007: 3) beschrieben. Der Wahrnehmungsprozess (perceptual process) kann als Abfolge von Einzelschritten betrachtet werden. In folgendem Diagramm (vgl. Abb. 2) ist er als Kreis dargestellt, welcher einen dynamischen Prozess mit ständigen Änderungen beschreibt, der keinen Anfang- bzw. Endpunkt besitzt.

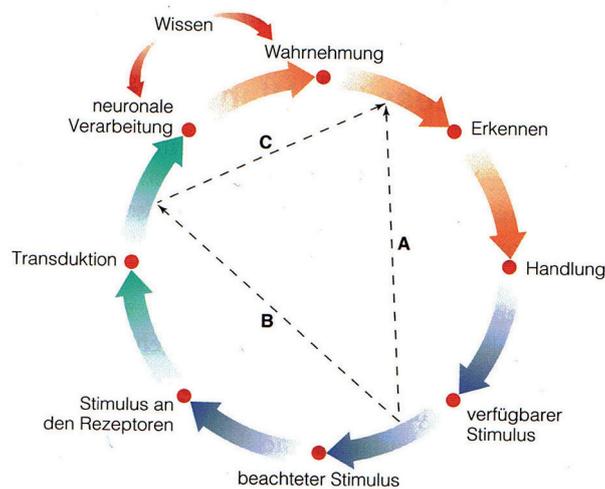


Abbildung 2: Der Wahrnehmungsprozess (Goldstein 2007: 4)

Beginnend mit dem verfügbaren Stimulus, welcher alle Dinge betrifft, die wir in unserer Umwelt wahrnehmen können, wird unsere Aufmerksamkeit auf einen bestimmten Gegenstand gelenkt. Kommt die Aufmerksamkeit ins Zentrum der Betrachtung, nennt man dies Beachteter Stimulus. Dieser kann sich aber jederzeit verändern, wenn sich die Aufmerksamkeit an einen anderen Ort verlagert.

Durch die Betrachtung des Stimulus entsteht ein Abbild auf der Retina des Betrachters. Dieses Abbild wird durch den Prozess der Transduktion, welche die Transformation einer Energieform in eine andere beschreibt, in elektrische Signale an den Rezeptoren umgewandelt. Diese Signale aktivieren Neuronen im Gehirn, die durch neuronale Bahnen (Nervenbahnen) miteinander vernetzt sind. Dieser Vorgang wird als neuronale Verarbeitung bezeichnet. Durch diesen Vorgang entsteht die Wahrnehmung; sie ist eine sensorische Erfahrung, die bewusst erlebt wird und sich über das Gehirn in die Erfahrung des Sehens transformiert. Es folgt das Erkennen, das uns befähigt z. B. Objekten Bedeutungen zuzuordnen, sowie die Handlung, die unsere

motorischen Aktivitäten umfasst. Außerhalb des Diagramms kommt noch das Wissen dazu, das alle Arten von Informationen beinhaltet, die der Wahrnehmende mitbringt.

Die Wahrnehmungserfahrung des Sehens beruht auf der Eigenschaft des Lichts, Objekte erst dann zu sehen, wenn diese durch Licht in unser Auge reflektiert werden. Licht dient uns als Stimulus zum Sehen. Es wird von verschiedenen Objekten im Raum reflektiert und durch z. B. Oberflächen von Objekten strukturiert. Verändert der Betrachter seinen Blickwinkel erhält er neue Informationen zum Stimulus. Ausgehend vom Raum im Zusammenspiel mit dem Akteur Licht, durch den Farben und Materialien sichtbar werden, gelangen optische Reize, die von Stäbchen und Zapfen aufgenommen werden, über den Sehnerv im Auge ins Sehzentrum des Gehirns (Zentrales Nervensystem). Dort entstehen die Bilder der Umwelt. Das Auge<sup>3</sup> fokussiert Abbildungen und transformiert diese in elektrische Signale der visuellen Rezeptoren (Goldstein 2007: 30).

Für die Lichtwahrnehmung ist nicht nur der visuelle Pfad – wie gerade beschrieben – zuständig, sondern auch der biologische (vgl. Abb. 3). Neben den beiden Fotorezeptoren, den Stäbchen und den Zapfen<sup>4</sup>, gibt es einen dritten Rezeptor in der Netzhaut, der für die circadiane Rhythmik zuständig ist (Cajochen 2007; Rea u. a. 2010). Es handelt sich hier um über die Netzhaut verteilte Ganglienzellen, welche die visuellen Informationen ins Gehirn weiterleiten. Sie regeln die Körperregulation, z. B. Körpertemperatur, Verdauung, Stimmung, Schlaf (Fördergemeinschaft Gutes Licht 2010). Der biologische Pfad wird im Rahmen dieser Arbeit nicht weiter verfolgt.

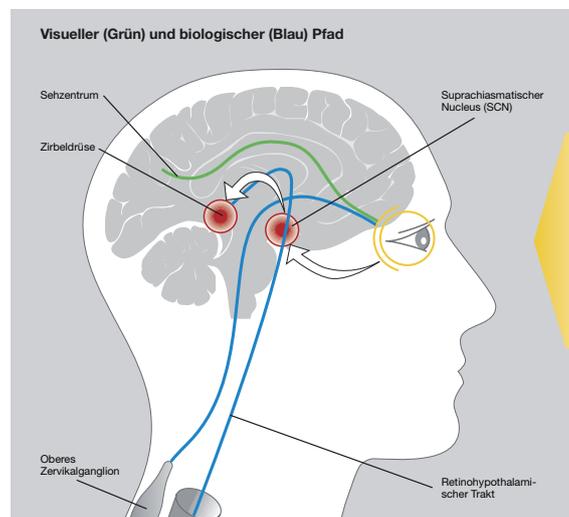


Abbildung 3: Visuelle und biologische Wirkung von Licht auf den Menschen (Fördergemeinschaft Gutes Licht 2010: 12)

<sup>3</sup> Wir sehen innerhalb des Frequenzbandes des elektromagnetischen Spektrums, also eine Wellenlänge zwischen ca. 380 und 780 nm. Die Wellenlänge beschreibt die Energie innerhalb des Spektrums.

<sup>4</sup> Die Stäbchen sind Organe für das Nachtsehen (skotopisches Sehen) bei geringen Leuchtdichten  $v'(\lambda)$ . Sind sie allein tätig, ist das Auge dunkeladaptiert. Die Zapfen sind für das Tagessehen (photopisches Sehen) zuständig; sie haben eine wesentlich geringere Empfindlichkeit  $v(\lambda)$  und übernehmen das Sehen bei größeren Helligkeiten. Sie sind auch zuständig für die Farbempfindung. Sind sie allein tätig, ist das Auge helladaptiert. Wenn Stäbchen und Zapfen gleichzeitig arbeiten, spricht man von Dämmerungssehen (mesopisches Sehen) mit Leuchtdichten von 0,1–30  $\text{cd/m}^2$  (Richter 1981).

Oftmals ist es schwierig, sich in Räumen mit schwachen Beleuchtungsverhältnissen zu orientieren. Befindet man sich jedoch über längere Zeit in diesem Raum, lassen sich Konturen wahrnehmen. Dieser Prozess nennt sich Dunkeladaption und beschreibt die Zunahme von Lichtempfindlichkeit in der Dunkelheit. Die Schwelle für die Empfindlichkeit des Sehens von Lichtreizen wird durch die spektrale Hellempfindlichkeitskurve des menschlichen Auges beschrieben (vgl. Abb. 4). Diese  $v(\lambda)$ -Kurve wurde für einen Normalbeobachter mit einem Gesichtsfeld von  $2^\circ$ , dessen größte Empfindlichkeit im Bereich der Zapfen bei 555 nm im gelbgrünen Spektralbereich liegt, von der internationalen Beleuchtungskommission (CIE) standardisiert. Bei einem Gesichtsfeld von  $10^\circ$  erhöht sich die relative Empfindlichkeit im Blau-Grün-Bereich. Sie gilt für das helladaptierte Auge mit einer Adaptionseleuchtdichte von  $>10^2 \text{ cd/m}^2$  für das Sehen am Tag. Das Nachtsehen im skotopischen Bereich wird von der  $v'(\lambda)$ -Kurve für das dunkeladaptierte Auge im Bereich der Stäbchen beschrieben, seine größte Empfindlichkeit liegt bei 507 nm im kurzwelligen-blauen Spektralbereich. Die Adaptionseleuchtdichte beträgt  $<10^{-5} \text{ cd/m}^2$ . Zusätzlich gibt es die circadiane Wirkungskurve  $c(\lambda)$ , welche die circadiane Wirkung von Empfängern im Auge beschreibt. Sie befinden sich auf der Netzhaut und steuern Prozesse im menschlichen Organismus. Sie tragen jedoch nicht zum Sehen bei (Gall 2007).

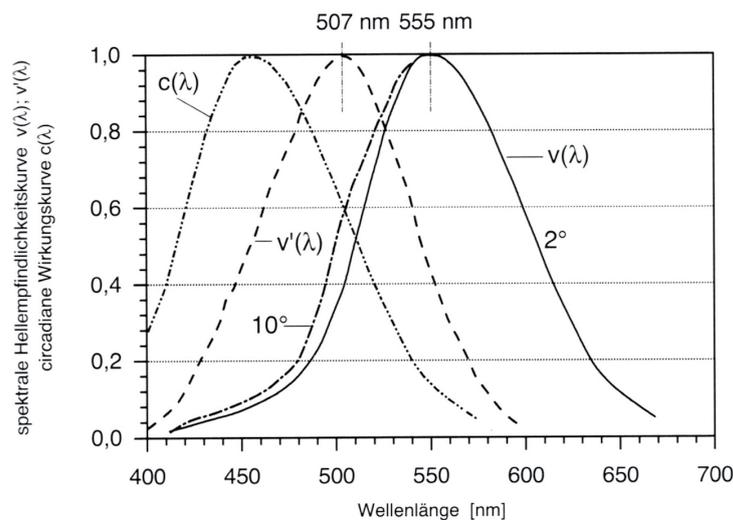


Abbildung 4: Spektrale Hellempfindlichkeits-Kurven des menschlichen Auges und circadiane Wirkungsfunktion (Gall 2007)

Für das vorliegende Projekt ist es wichtig, die Zusammenhänge auf wahrnehmungspsychologischer Ebene zu verstehen.

Die Untersuchung der Wahrnehmung findet auf zwei Untersuchungsebenen statt:

- *Psychophysische Ebene – Stimuli in der Umwelt – Stimulus → Wahrnehmung*
- *Physiologische Ebene – physiologische Prozesse im Körper – Stimulus → Physiologie → Wahrnehmung*

Die psychophysische Untersuchungsebene beschreibt den Stimulus-Wahrnehmung-Zusammenhang „[...] wie die Wahrnehmung einer Person mit der Stimulation in der Umwelt zusammenhängt“ (Goldstein 2007: 9). Die physiologische Untersuchungsebene beschreibt, wie die Wahrnehmung mit physiologischen Prozessen im Menschen zusammenhängt. Sowohl die psychophysische als auch die physiologische Ebene der Untersuchung werden von kognitiven Wahrnehmungseinflüssen wie dem Wissen, Erinnerungen und Erwartungen von Menschen beeinflusst. Bei der Messung zur Wahrnehmung konzentriert sich der psychophysische Zugang auf die „[...] Beziehung zwischen physikalischen Eigenschaften von Stimuli und den perceptuellen Antworten auf diese Stimuli“ (Goldstein 2007: 12).

### **Begrifflichkeiten zur Farbempfindung**

In diesem Abschnitt werden einige relevante Begrifflichkeiten aus dem Bereich der Farbempfindung und Farbmetriek abgehandelt:

Manfred Richter beschreibt in *Einführung in die Farbmetriek* Farbe als einen komplizierten biologischen Vorgang, der durch die Strahlung hervorgerufen wird: „*Farbe ist eine Sinnesempfindung, die im Regelfall von der Strahlung ausgelöst wird, die von den (selbstleuchtenden oder beleuchteten nichtselbstleuchtenden) Körpern in das Auge gelangt und hier von spezifischen Sinneszellen in Nervenerregung umgewandelt wird, die ihrerseits zum Gehirn geleitet und dort als Farbe ins Bewusstsein des Menschen tritt.*“ (Richter 1981: 7)

Die Farbwahrnehmung beschreibt den Zusammenhang unserer Wahrnehmung mit bestimmten physikalischen Eigenschaften des Lichts. Die wahrgenommenen Farben stehen in Beziehung mit der jeweiligen Wellenlänge im sichtbaren Spektrum des Lichts. Durch sie werden die Farben eines Materials bestimmt. Zum Beispiel wird die Unterscheidung von Objekten vor einem bestimmten Hintergrund und schnelleres Erkennen von Objekten durch die Farbwahrnehmung erleichtert. Befindet man sich über längere Zeit in chromatischem Licht, passt das Auge seine Empfindlichkeit an die jeweilige Wellenlänge an, um auch die Farbwahrnehmung annähernd konstant zu halten. Aufgrund der Farbkonstanz nimmt das visuelle System Farben von Materialien unter verschiedenen Lichtbedingungen als relativ konstant wahr (Goldstein 2007: 173).

Der Farbreiz ist die physikalische Ursache der Farbempfindung, wenn Strahlung direkt auf das Auge bzw. die Netzhaut trifft. Sie ist eine physikalisch messbare Größe (Lübbe 2012). Nicht ganz einfach ist das Messen von Farbe als Sinneserlebnis. Als Messinstrument dazu dient uns das menschliche Auge. Es kann die Gleichheit zwischen zwei Farbempfindungen feststellen. Dies ermöglicht die Messung von Farben. Farbunterschiede werden durch drei Arten von Zapfen in verschiedenen Wellenlängenbereichen des menschlichen Auges bewertet: S-, M- und L-Zapfen. S beschreibt den kurzwelligen Bereich, M den mittelwelligen und L den langwelligen Bereich des Spektrums (Lübbe 2012; Richter 1981). Bei der Verlagerung des Sehens von Zapfen zu Stäbchen steigt bei der Dunkeladaptation die Empfindlichkeit für kurzwelliges Licht. Dies wird auch als Purkinje-Effekt bezeichnet. Zu beobachten ist dieser Effekt anhand der Farbempfindlichkeit z. B. von Blau und Rot. Betrachtet man die Helligkeit dieser Farben unter

Tageslicht und vergleicht sie dann unter geringen Lichtverhältnissen, stellt man fest, dass das blaue Farbfeld heller erscheint als unter Tageslichtbedingungen. Die wahrgenommenen Farben stehen mit der entsprechenden Wellenlänge des Spektrums in Beziehung. Hier unterscheidet man zwischen chromatischen Farben oder auch Farb- bzw. Bunttönen, wenn eine Wellenlänge dominiert und somit stärker reflektiert wird. Sind die Reflexionen über das gesamte Spektrum gleichmäßig verteilt, spricht man von achromatischen Farben, dabei sind keine Farbtöne enthalten (Goldstein 2007: 156).

## **Studien**

In der Medizin findet Licht in der Psychotherapie Anwendung. Bei der Lichttherapie wird chromatisches Licht z. B. für die Behandlung von Akne angewendet (Papageorgiou u. a. 2000) und gegen Winterdepression (Gagné u. a. 2011; Glickman u. a. 2006; Golden u. a. 2005; Rechlin 1995). Für die Behandlung von Personen mit Winterdepression, auch SAD (seasonal affective disorder) genannt, geht es hauptsächlich um die Projektion von Licht auf das Auge. Im herkömmlichen Sinne wird weißes Licht mit extremen Intensitäten auf einer Fläche von ca. 50 x 30 cm verwendet. Als Standard ist eine Beleuchtungsstärke von 10000 lx üblich, bei einem Abstand von ca. 20 cm zum Gerät, welche die SAD Patient(inn)en jeden Morgen nach dem Aufwachen für 30 bis 60 Minuten anwenden. In neuen Studien wird nach einer idealen Wellenlängenkombination für die Therapie gesucht. Eine Studie (Glickman u. a. 2006) beschäftigte sich z. B. mit der Wirksamkeit von kurzen Wellenlängen der LED-Technologie. Beim Vergleich von kurzen (468 nm, 607  $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ ) mit langen Wellenlängen (654 nm, 34  $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ ) ergab sich bei den kurzen Wellenlängen ein signifikant besseres Ergebnis, welches sogar vergleichbar mit dem von weißem Licht war. Die Symptome von SAD konnten nachweislich reduziert werden. Eine weitere Studie (Gagné u. a. 2011) untersuchte die Empfindlichkeit der Stäbchen unter weißem Therapielicht, angereichert mit blauem Licht. Hier zeigte sich bereits nach kurzer Zeit eine Reduzierung der Lichtempfindlichkeit in blauer Lichtfarbe.

Von regelbarem Aufwachlicht mit der Möglichkeit zur Simulation von Sonnenaufgang und Dämmerung (0 bis 250 lx) bis hin zum „Energy Light“ sind bereits viele „medizinische“ Produkte auf dem Markt, die auch bei gesunden Menschen für bessere Stimmung und Wohlbefinden sorgen sollen. Diese Angaben sind wichtig für einen Überblick des Themas, aber es wird in dieser Arbeit nicht ausführlich darauf eingegangen.

Zum Thema von chromatischem Licht in Zusammenhang mit der Messung von Herzratenvariabilität (HRV) (Moser u. a. 1994; Pumprla u. a. 2002) sind nur wenige Studien bekannt. Choi (Choi u. a. 2011) untersuchte die Herzratenvariabilität und das emotionale Befinden von Personen mit Angst- und Depressionssymptomen und Personen ohne diese Symptome. Für seine Studien benutzte er weißes, rotes und blaues Leuchtstofflampenlicht. Die parasympathische Aktivität nahm bei der Gruppe mit Symptomen von Angst und Depression bei Rot zu, blieb aber unverändert bei gesunden Personen. Schäfer (Schäfer, Kratky 2006) untersuchte blaues, grünes und rotes Leuchtstofflampenlicht. Dazu wurde ein Lichtkasten bestückt mit vier farbigen Leuchtstofflampen, einer Länge von 120 cm und einer Beleuchtungsstärke von ca. 700 lx, verwendet. Er konnte bestätigen, dass farbiges Licht die Herzratenvariabilität

innerhalb von Minuten beeinflussen kann und dass die Auswirkungen einzelner Farben durch HRV-Analysen unterschieden werden können.

Auch unser biologischer Rhythmus, unsere „innere Uhr“, wird von Licht beeinflusst, wie z. B. der 24-Stunden-Rhythmus Tag/Nacht, hell/dunkel oder der Wach-Schlaf-Rhythmus (Moser u. a. 2006). Dieser Zusammenhang ist ein Aspekt der Chronobiologie (Blatter, Cajochen 2007; Moser u. a. 2006), der bereits seit einiger Zeit in den Forschungsbereich von Architektur und Lichtplanung einfließt (Wirz-Justice, Fournier 2010). Chronobiologische Studien beschäftigen sich nicht nur mit weißem Licht (Cajochen 2007; Jung u. a. 2010), sondern auch mit chromatischem Licht. Hier wird z. B. eine Studie mit Studienteilnehmer(inne)n beschrieben, deren Augen mit einer Brille bedeckt und beleuchtet wurden. Hier zeigten sich Reaktionen bei Herzrate und Körperoberflächentemperatur auf kurzwelliges Licht (460 nm) am späten Abend (Cajochen u. a. 2005). Vandewalle (Vandewalle u. a. 2007) machte Versuche zur Hirnaktivität von Studienteilnehmer(inne)n im 3T MR-Scanner: Eine Lichtquelle mit beweglichem Filterrad für drei monochromatische Situationen, violett (430 nm), blau (473 nm) und grün (527 nm) wurde 3 cm vor dem Auge platziert. Es stellte sich u. a. heraus, dass durch kurze Wellenlängen die Hirnaktivität ansteigt.

Die Sehwohnheiten von Menschen verändern sich aufgrund ihres Alters, sodass in manchen Situationen die Beleuchtungsstärken verdoppelt bzw. sogar verdreifacht werden müssen, um die gleiche Beleuchtungssituation herzustellen wie bei jungen Menschen (Schierz 2011). Im chromatischen Bereich des Lichts untersucht Laufer die psychophysiologischen Effekte von blauem und rotem Leuchtstofflampenlicht auf Menschen im Alter zwischen 66 und 84 Jahren. Die psychologische Messung der subjektiven Gefühle ergab für blaues Licht, dass es als signifikant aktivierender und unangenehmer als rotes Licht empfunden wurde. Die EKG-Messungen ergaben eine leichte Erhöhung der parasympathischen Modulation bei rotem Licht, bei blauem kam es zu einer leichten Abnahme der sympathischen Modulation (Laufer u. a. 2009).

Studien mit chromatischem Licht in räumlichen Situationen in Zusammenhang mit Herzratenmessungen gibt es nur wenige. In diesen Bereich fällt eine Studie von Varkevisser. Er macht Versuche in einem Mock-up-Raum mit einer Allgemeinbeleuchtung durch Leuchtstofflampen mit einer Farbtemperatur von 3000 K und einer beleuchteten Wand mit vier farbigen LED-Kombinationen (Cyan=Blau+Grün, Magenta=Blau+Rot, Gelb=Rot+Grün, Weiß=Rot+Grün+Blau) und zwei verschiedenen Beleuchtungsstärkeniveaus von 45 lx und 195 lx am Auge. Untersucht wurde die Wirkung von „Ambient Light“ auf das momentane Wohlbefinden und eventuelle unbewusste physiologische Einflüsse. Im Vergleich mit normaler Bürobeleuchtung riefen die eingesetzten Farben generell negativere Gefühle hervor. Gelb und Magenta sorgten für negativere Stimmung als Cyan und Weiß. Die Ergebnisse wurden auch durch die HRV-Messungen unterstützt (Varkevisser u. a. 2011).

Auch im Bereich von Studien mit weißem Licht und Farbtemperatur ist nur wenig Aussagekräftiges in Zusammenhang mit HRV-Messung bekannt.

Um den Einfluss von Beleuchtungsstärke und Farbtemperatur auf das autonome und zentrale Nervensystem zu untersuchen, kamen z. B. bei einer Studie von Noguchi Farbtemperaturen von 3000 K und 5000 K mit Beleuchtungsstärken von 30 lx und 150 lx zur Anwendung. Das Resultat zeigte keinen Effekt der Beleuchtungsstärke auf die HRV, jedoch bei niedriger Farbtemperatur einen leichten Abfall der Aktivität des zentralen Nervensystems. Die Autoren empfehlen deshalb die Anwendung von niedrigen Farbtemperaturen in Schlafräumen oder für Räume, in denen niedrige physiologische Aktivität gewünscht ist (Noguchi, Sakaguchi 1999). Die Bewertung des physiologischen Effekts von Beleuchtungssituationen untersucht Sugimoto mit Leuchtstofflampen in fünf Beleuchtungsniveaus von 180 lx bis 1800 lx und einer Farbtemperatur von 2800 K und 5000 K. Die Resultate zeigten eine minimale physiologische Wirkung bei einer Beleuchtungsstärke von 500 lx bis 600 lx mit 2800 K und 5000 K. Die Wirkung erhöhte sich bzw. fiel ab bei einer höheren bzw. niedrigeren Beleuchtungsstärke. Es wurde deutlich, dass durch den psychologischen Effekt von Licht die physiologische Wirkung beeinflusst wird (Sugimoto u. a. 2001).

### ***Psychophysische Messung der Wahrnehmung***

Die psychophysische Messung der Wahrnehmung bezieht sich auf den Zusammenhang zwischen den physikalischen Eigenschaften (UV) eines Stimuli und den perzeptuellen Antworten (AV) auf diesen. Die physikalischen Eigenschaften von Licht und Farbe werden mit Hilfe von Messgeräten, wie in folgendem Text beispielhaft beschrieben, gemessen. Zur Messung des Einflusses von Licht auf den Menschen ist die Methode des Fragebogens die gebräuchlichste.

#### **Unabhängige Variablen (UV)**

Für die Messung der physikalischen Eigenschaften von Licht und Farben kommen Dreibereichsgeräte zur Anwendung, wie z. B. in dieser Arbeit mit der Bezeichnung Chroma Meter CS-200 der Firma Konica Minolta (Konica Minolta Sensing Europe, B. V. 2013). Dieses Messgerät misst mit 40 Photosensoren, welche die Farbempfindlichkeit entsprechend dem menschlichen Auge berechnen, ausgehend von der Spektralwertkurve CIE 1931. Es kann der 2°-Standard-Beobachter und der 10°-Standard-Beobachter für Objektmessungen ausgewählt werden. Die Farbempfindlichkeit wird gemessen und anhand der Tristimulus-Werte (XYZ für Rot, Grün und Blau) in z. B.  $L_v u' v'$  konvertiert, die dominante Wellenlänge wird berechnet. Leuchtdichteniveaus sind zwischen  $0,01 \text{ cd/m}^2$  bis  $20\,000\,000 \text{ cd/m}^2$  (Messwinkel  $0,1^\circ$ ) möglich. Gemessen werden können alle Arten von Lichtquellen wie z. B. LEDs, Ampeln, LCDs und Objektfarben (Konica, Minolta 2005). Eine weitere Möglichkeit ist die Verwendung eines Spekto-Radiometers wie z. B. der Jeti Specbos 1211 (JETI Technische Instrumente GmbH 2012). Dieses Gerät stellt das Leuchtspektrum im Messbereich von 350 bis 1000 nm dar, zusätzlich können Beleuchtungsstärken von 2 bis 10 000 lx gemessen werden. Zur Darstellung der gemessenen Farborte werden CIE-Farbtafeln herangezogen. In diesem Projekt kommt die Farbtafel CIE 1976 (CIELUV) zur Anwendung. Dieser Farbraum wurde 1976 von der CIE angenommen und beschreibt Farben in empfindungsmäßiger Gleichabständigkeit. Innerhalb

eines rechtwinkligen Koordinatensystems  $u' v'$  zeigt diese Fläche alle reellen Farben anhand von Farborten. Es wird sowohl Licht- als auch Körperfarbe, welche aber nur eine kleine Fläche in Anspruch nimmt, abgebildet. Der Farbraum ist eine lineare Transformation der Normfarbwerte X, Y und Z. Die additive Mischung wird in diesem Diagramm auf einer Geraden dargestellt. Die Form des Diagramms ist gekrümmt, sie zeigt die Wellenlängen der Farben von Spektrallicht (380 bis 780 nm) und wird durch eine Gerade, die Purpurgerade, geschlossen. Innerhalb des Diagramms befindet sich der Plancksche Kurvenzug, er zeigt den Ort der Farbtemperatur von weißem Licht. Anhand von Messgeräten kann mit einem Gesichtsfeld von  $2^\circ$  gemessen werden, um sicherzugehen, dass nur reines Farbsehen bewertet wird, ohne Stäbchensehen. In der Praxis jedoch werden Farben selten in einem so kleinen Gesichtswinkel betrachtet, bevorzugt wird ein wesentlich größerer Winkel. Für praxisnähere Beobachtungsbedingungen dient deshalb ein Gesichtsfeld von  $10^\circ$  (Lübbe 2012; Richter 1981).

### **Abhängige Variablen (AV)**

Zur Messung des Einflusses von Licht auf den Menschen wären neben der gebräuchlichsten Methode des Fragebogens z. B. Interviews eine weitere Möglichkeit. In jedem Fall braucht es standardisierte Vorlagen, um zu aussagekräftigen Ergebnissen zu gelangen.

Befinden, Stimmungen und Emotionen haben Einfluss auf unser tägliches Leben und unser Wohlbefinden. Da es nicht ganz einfach ist, diese Begriffe genau abzugrenzen, wird kurz näher darauf eingegangen. In der Psychologie ist die Stimmungsforschung schon seit langem ein zentrales Thema wie z. B. in der Sozial-, Persönlichkeits-, Gesundheits- und in der klinischen Psychologie. Die Begriffe Stimmung und Emotion werden hier in vielen Forschungsarbeiten als synonym benutzt und werden auch durch ähnliche Komponenten charakterisiert. Der Unterschied besteht darin, dass Stimmungen länger andauern und weniger intensiv sind als Emotionen (Wild, Möller 2009). Die meisten Menschen können über ihre Stimmungen berichten, wie z. B. ob man gut oder schlecht gelaunt ist, oft werden sie von Gefühlen wie z. B. von Hunger und Durst abgegrenzt (Schimmack 1999). Emotionen dauern zeitlich kürzer an und sind stärker an Intensität, z. B. Angst, Ärger und Freude. Im Lehrbuch zur Psychologie wird Emotion folgendermaßen definiert: *„Emotionen sind dynamische Prozesse, die von konkreten Ereignissen ausgelöst werden.“* (Betsch u. a. 2010: 124) Ein Teil des emotionalen Erlebens sind auch Gefühle, lt. Definition bezeichnen sie *„[...] die Reaktion auf einen Stimulus, die als mehr oder minder angenehme (positive) oder unangenehme (negative) Empfindung von der Person erlebt wird.“* (Betsch u. a. 2010: 124)

Auf das Thema der Befindlichkeit wird in dieser Arbeit näher eingegangen, sie bezeichnet den aktuellen psychischen Zustand eines Individuums, das innere Erleben und Empfinden welches im Hintergrund unseres Bewusstseins abläuft (Steyer u. a. 1997).

Für Architektur und Design ist der Zusammenhang von Raumeindruck und Befinden eine wesentliche Komponente für die Planung und Gestaltung von Räumen. Da es sehr schwierig ist, die subjektiven Gefühle, Emotionen, Stimmungen und subjektives Erleben zu messen, wird bei psychologischen Experimenten häufig die Methode des Fragebogens verwendet. Hier gibt

es verschiedene Möglichkeiten der Befragung. Die Messungen können z. B. über Ratingskalen, Zeichnungen schematischer menschlicher Figuren oder Gesichter als wortlose Variante der Befragung oder auch in Form eines semantischen Differentials, welches in dieser Arbeit zur Anwendung kam, dargestellt werden.

Beispielhaft werden nun drei der gebräuchlichsten Fragebögen vorgestellt:

Zur Einschätzung des subjektiven Befindens wird im deutschen Sprachgebrauch häufig die „Eigenschaftswörterliste EWL 60 S“ (Janke, Debus 1996) verwendet. Diese Liste, besteht aus 60 Adjektiven, die in Gruppen zu je vier Adjektiven eingeteilt werden, welche sechs Untersuchungsbereichen zugeordnet sind. Diese Bereiche sind leistungsbezogene Aktivität, allgemeine Desaktivität, Extraversion/Introversion, allgemeines Wohlbefinden, emotionale Gereiztheit und Angst/Depression. Auf einer vierstufigen Ratingskala kreuzen die Versuchspersonen die Antwort an, die am ehesten für sie zutrifft (1 „gar nicht“ bis 4 „stark“). Durch diesen Fragebogen kann ein Befindlichkeitsprofil über die Erfassung des aktuellen Befindens der Studienteilnehmer(innen) erstellt werden. Zur Anwendung kam dieser Fragebogen als Kurzform z. B. bei einer Studie zur Untersuchung unterschiedlicher Lampentypologien (Schulz u. a. 2011). Er wurde zur Erfassung und zum Vergleich möglicher Auswirkungen unterschiedlicher Beleuchtungssituationen auf Studienteilnehmer(innen) im Raumkontext einer Shopsituation eingesetzt. Diese Studie diente als Vorstudie zur in Abschnitt über „weißes Licht“ vorgestellten Studie welche vom Institut für Raumgestaltung an der TU Graz unter der Projektleitung der Autorin dieser Arbeit durchgeführt wurde.

Eine weitere Möglichkeit, die momentane Befindlichkeit von Studienteilnehmer(inne)n zu erheben, ist der „Mehrdimensionale Befindlichkeitsfragebogen“, er wird auch als MDBF bezeichnet (Steyer u. a. 1997). Hier wird die Befindlichkeit anhand einer fünfstufigen Skala von 1 „überhaupt nicht“ und 5 „sehr“ mit 24 bipolaren Adjektiven von den Studienteilnehmer(inne)n beurteilt. Diese Items werden für die Auswertung in bipolare Skalen Gute-Schlechte Stimmung, Wachheit-Müdigkeit und Ruhe-Unruhe eingeteilt. Der MDBF wurde in dieser Arbeit für die Studien mit chromatischem Licht verwendet.

Eine wortlose Variante ist das „SAM – Self assessment manikin“ (Bradley, Lang 1994). Hier wird anhand von großen oder kleinen Gesichtern mit freundlichem oder weniger freundlichem Gesichtsausdruck die momentane subjektive Befindlichkeit erhoben. Diese hier vorgestellten Fragebögen basieren auf einer Selbstbeurteilung der Untersuchungsteilnehmer(innen).

Eine Möglichkeit für die Beurteilung der assoziativen Bedeutung von verschiedenen Begriffen, Objekten oder Emotionen in unterschiedlichen Kontexten bietet das semantische Differential (Osgood 1957) oder auch Polaritätenprofil (Hofstätter 1966). Hier wird anhand von 20 bis 30 bipolaren Adjektiven auf einer meist siebenstufigen Ratingskala z. B. ein Produkt beurteilt. Aus diesen Beurteilungen resultieren Polaritätenprofile, welche miteinander verglichen werden können. Es kann jedoch auch der Zusammenhang der Adjektive über eine Faktorenanalyse bestimmt und auf zwei bis drei Dimensionen zusammengefasst werden. Houser beschreibt in seinem Paper (Houser, Tiller 2003) zur Beurteilung von Beleuchtungssituationen eventuelle Nachteile bei der Verwendung des semantischen Differentials. Seiner Meinung nach sollte

diese Methode nicht als einzige verwendet werden, da man keine darunterliegenden Dimensionen finden kann, die nicht in den Worten beinhaltet sind.

Dass die Interaktion von Lichtmenge und Lichtfarbe wesentlich für den empfundenen Raumeindruck ist, untersuchte bereits Kruithof. Er stellte einen Zusammenhang zwischen Lichtfarbe und Beleuchtungsstärke her (Fleischer 2001; Kruithof 1941). Eine Studie von Davis über den Zusammenhang von Farbtemperatur, Beleuchtungsstärke und die Kruithofsche Kurve kann dies jedoch nicht unterstützen (Davis, Ginthner 1990). Mit der Wirkung von Farbtemperatur auf den Menschen beschäftigt sich auch eine Studie von Mills. Er untersucht Wohlbefinden und Arbeitsleistung anhand von Fragebögen und stellt fest, dass hohe Farbtemperaturen in der Praxis zur Verbesserung der Situation von Wohlbefinden und Produktivität beitragen können. Es sind jedoch weitere Arbeiten in diesem Bereich nötig, um aussagekräftige Ergebnisse zu erhalten (Mills u. a. 2007).

Ein praktisches Beispiel für eine Studie in einer kontrollierten Raumsituation wurde von Takahashi mit einer Gruppe von 160 Studierenden untersucht. Vorgegeben war eine Beleuchtungsstärke von 440 lx und die Lichtsituationen rot, grün, blau, gelb und weiß. Jede(r) Studienteilnehmer(in) bekam zwei Lichtsituationen präsentiert (weiß plus eine farbige Lichtsituation), in denen sie jeweils drei Aufgabenstellungen – zur Einschätzung des Einflusses von physischem und mentalem Befinden, zur Einschätzung der Zeit, zum Eindruck des farbigen Lichts – mit Hilfe eines semantischen Differentials erfüllten. Es ergaben sich keine Signifikanzen zwischen Farbe/Zeit, Farbe/Müdigkeit, wohl aber zwischen den Farben und den Faktoren des semantischen Differentials. Rotes Licht wurde als am wenigsten beruhigend, aber am meisten aufheiternd beurteilt, blaues Licht machte einen frischen Eindruck (Takahashi 2005). In einer Folgestudie wurde farbiges Licht in Zusammenhang mit der Beurteilung des emotionalen Ausdrucks untersucht, die Studienteilnehmer(innen) bekamen unter den Lichtsituationen rot, blau und weiß eine Konversation zwischen einem Mann und einer Frau auf Tonband vorgespielt. Die Ergebnisse zeigten, dass farbiges Licht Einfluss auf die Einschätzung unserer Gefühle haben kann. In der roten Situation tendierten die Studienteilnehmer(inne)n dazu, die „Sprecher“ emotionaler einzuschätzen als unter weißem oder blauem Licht. Blau schwächte die Einschätzungen eher ab (Takahashi 2009). Dieses Beispiel zeigt den Zusammenhang von Emotion und Farbe, was aber in dieser Arbeit nicht weiter behandelt wurde.

Eine weitere Studie (Boyce u. a. 2006) wurde zur Vermittlung eines besseren Verständnisses der Zusammenhänge und Einflüsse von Beleuchtungssituationen auf den Menschen durchgeführt. Anhand einer kontrollierten Bürosituation am Arbeitsplatz gibt die „*linked mechanisms map*“ Aufschluss über die Zusammenhänge von Beleuchtungssituationen: Sie beschreibt, dass bei Änderung von Beleuchtungssituationen (*luminous conditions*) die visuelle Fähigkeit (*visual capability*), der visuelle Komfort (*visual comfort*) und das Beurteilungsvermögen (*appraisal*) von Studienteilnehmer(inne)n beeinträchtigt werden können. Diese Komponenten beeinflussen sich über die Zeit gegenseitig. So können z. B. unbehagliche Lichtsituationen mit der Zeit die Urteilskraft und die visuellen Fähigkeiten herabsetzen, welche wiederum die Arbeitsleistung

(*task performance*) beeinflussen. So hat der visuelle Komfort eine indirekte Wirkung auf Vorliebe, Stimmungslage, Gesundheit und Wohlbefinden. Die Untersuchungen wurden mit 181 Teilnehmer(inne)n durchgeführt und fanden anhand von Aufgabenstellungen und Fragebögen statt. Eine Folgestudie (Veitch u. a. 2008) mit 151 Teilnehmer(inne)n untersuchte „*linked mechanisms*“, die den Einfluss von Beleuchtungssituationen auf Gesundheit, Wohlbefinden und Arbeitsleistung untersuchten. Bezugnehmend auf das Modell von Boyce beschäftigt sich die vorliegende Arbeit mit den Teilbereichen Stimmung, visuelle Fähigkeit und visuellem Komfort.

Wahrnehmung, kognitive Bewertung und emotionale Reaktionen werden durch das Zusammenspiel von Raum und Licht ausgelöst. Im Bereich der Bewertung von Raum (vgl. Wirkungsmodell Abb. 1) wird noch nach geeigneten objektiven psychometrischen Methoden gesucht, da bis jetzt nur wenige für den Einsatz im Zusammenhang mit Raum bekannt sind.

Da nicht nur das Rationale, sondern auch das Kognitive bewertet wird, spielt das Befinden eine wesentliche Rolle. Hier sind nur wenige Methoden zur Messung des Befindens im Raumkontext bekannt.

### **Vergleichbarkeit von Studien**

Versucht man Studien im Bereich von chromatischem Licht zu vergleichen, treten einige Unschlüssigkeiten in den technischen Angaben auf. Ein Teil konzentriert sich auf den Vergleich der Energie, ein anderer wiederum beschäftigt sich mit dem visuellen System des Menschen und gibt die spektrale Hellempfindlichkeit des menschlichen Auges  $v(\lambda)$  an. Auch Werte des circadianen Wirkungsfaktors werden herangezogen.

Im Bereich des Ganzfeldes konzentrierte sich Gur (Gur 1989) konsequent auf die Angaben radiometrischer Werte {Energiewerte:  $L_e [W/(sr \cdot m^2)]$ }, die bei zehn unterschiedlichen untersuchten Wellenlängen (monochromatisches Licht 14 nm Bandbreite) bei 1000 W Xenon Licht sehr gut vergleichbar waren. Die Angaben von Cajochen (Cajochen u. a. 2005) beziehen sich ebenfalls auf radiometrische Werte (460 nm, 12,1  $\mu W/cm^2$  und 550 nm, 10,5  $\mu W/cm^2$ ). Glickman (Glickman u. a. 2006) untersuchte in der Lichttherapie SAD-Patienten mit weißem Leuchtstofflampenlicht 4200 K, blauen (468 nm, 607  $\mu W/cm^2$ ) und roten (654 nm, 34  $\mu W/cm^2$ ) LEDs. Er macht Angaben zu radiometrischen und photometrischen Werten. Betrachtet man die Verhältnisse zueinander, sind die Werte der Beleuchtungsstärke des blauen Lichts ca. 20mal höher als die von rotem Licht. Bei den Ergebnissen schneidet blaues Licht sehr gut ab. Choi (Choi u. a. 2011) benutzte für seine Studie weißes, rotes und blaues Leuchtstofflampenlicht. Seine Angaben beziehen sich auf photometrische und radiometrische Werte. Jedoch sind diese Werte im Vergleich zu den anderen Studien sehr niedrig. Schäfer untersuchte blaues, grünes und rotes Leuchtstofflampenlicht, das bei den Untersuchungen konstant bei 700 lx gehalten wurde (Schäfer, Kratky 2006). Laufer wiederum beschäftigte sich mit psychophysiologischen Effekten von blauem und rotem Leuchtstofflampenlicht auf ältere Menschen (Laufer u. a. 2009). Er hält die Beleuchtungsstärke (photometrischer Wert) konstant auf 300 lx.

Vergleicht man all diese Werte, kommt man schnell zum Schluss, dass hier in den Angaben der Untersuchungen noch keine Einigkeit besteht. Bei diesen Beispielen kann man von drei Arten

der Präsentation von Licht sprechen. Ein Teil beschäftigt sich direkt mit dem Einfluss von Licht auf das Auge und versucht diesen zu isolieren, z. B. mit einer Brille oder mit Ping-Pongbällen. Im Großteil der anderen Studien wird ein Lichtkasten in verschiedenen Abmessungen verwendet. Hier sitzen die Studienteilnehmer(innen) direkt vor der Lichtquelle in einer Entfernung zwischen 60 und 150 cm. Einige wenige Studien beschäftigen sich mit dem Einfluss von Raumambiente auf den Menschen.

Wie man an diesen Beispielen sehen kann, ist ein Vergleich der Studien untereinander schwierig bis unmöglich, da die angegebenen Werte sehr unterschiedlich sind. Ein Teil der Studien bezieht sich auf photometrische Werte der Leuchtdichte  $L$  ( $\text{cd}/\text{m}^2$ ) und der Beleuchtungsstärke  $E$  ( $\text{lx}$ ), der andere Teil auf radiometrische/energetische Werte der Strahldichte  $L_e$  [ $\text{W}/(\text{sr}\cdot\text{m}^2)$ ] und der Bestrahlungsstärke  $E_e$  ( $\text{W}/\text{m}^2$ ).

Eine weitere Möglichkeit ist die Angabe von circadianen Werten wie dem circadianen Wirkungsfaktor<sup>5</sup> der das Verhältnis circadianer und visueller Wirkung von Licht beschreibt. Sie wird verwendet zur Angabe der Melatoninsuppression welche über spezielle lichtempfindliche Neuronen in der Netzhaut des menschlichen Auges gesteuert werden (Gall, Lapuente 2002). Einen weiteren Ansatz zur Erfassung dieser messtechnischen Größen beschreibt Rea (Rea u. a. 2010).

Ein weiteres Problem beim Vergleich von Studien betrifft die Auswahl der Versuchspersonen bzw. Gruppen wie z. B. in Gruppen mit persönlichen Präferenzen oder physiologischen Unterschieden – eine Kategorisierung, die für eine spätere Vergleichbarkeit von Studien von Relevanz ist.

---

<sup>5</sup> Circadian Action Factor:  $a_{cv}$  = circadiane Lichtwirkung/visuelle Helligkeitswirkung

## Aufbau der Arbeit

Diese Arbeit richtet ihren Fokus darauf, das Befinden der Studienteilnehmer(innen) und die Reaktionen auf das Erlebte in extrem chromatischen Lichtsituationen und weißen Lichträumen über einen gewissen Zeitraum zu beobachten. Während dieser Zeit befinden sich die Studienteilnehmer(innen) nicht in einer entspannten Therapiesituation, da diese Studie sich nicht mit Lichttherapie beschäftigt, sondern erfüllen verschiedene Aufgaben, wie z. B. die Beurteilung von Architekturmodellen.

Die Verwendung von chromatischem Licht für Beleuchtungszwecke beeinflusst die visuelle Wahrnehmung nach systematischen Gesetzmäßigkeiten, z. B. Eindruck von Farbe oder Objektgröße. In diesem Bereich werden zusätzlich funktionelle Aspekte der Farbwahrnehmung des visuellen Systems abgefragt, zum besseren Verständnis der Thematik für die Planung in Architektur und Design. Abschließend wird eine Studie vorgestellt, welche mit weißem Licht und unterschiedlichen Lichtfarben im Shopkontext durchgeführt wurde. Bei den drei Versuchsreihen geht es um eine interdisziplinäre Betrachtung des Einflusses von Licht auf Studienteilnehmer(innen) in räumlichen Situationen im Architekturkontext und um die Veränderung ihrer individuellen visuellen Wahrnehmung.

Physikalisch lassen sich diese Studien im CIE-Diagramm 1976 zusammenfassen. Abgefragt werden zu Beginn Lichtbedingungen am Rande des Diagramms, dies bedeutet intensive Farbigkeit, und Beleuchtungssituationen, die sich am Planckschen Kurvenzug befinden, mit weißem Licht (vgl. Abb. 5).

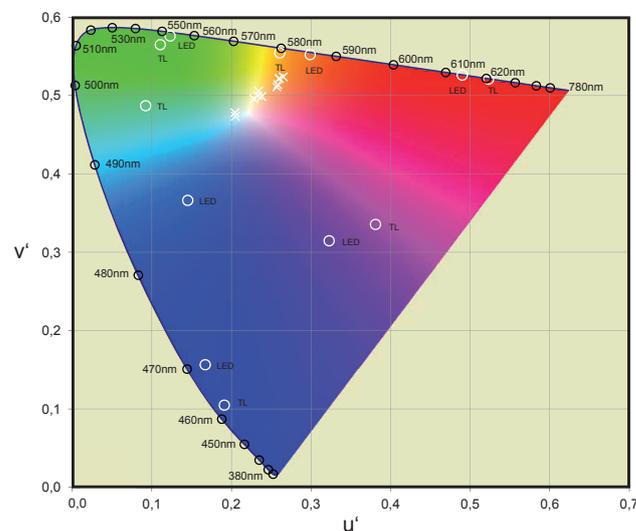


Abbildung 5: Übersicht der Farborte aus den drei Studien, dargestellt im CIE Diagramm 1976  $u'v'$

Ausgangspunkt für den empirischen Teil dieser Arbeit ist die Fragestellung:

„Kann weiße bzw. chromatische Lichtexposition in räumlichen Situationen den Menschen beeinflussen?“

In dieser Arbeit werden die Zusammenhänge von Lichteinwirkung und Befinden des Menschen näher betrachtet. Anhand vorangehender Recherchen und aufgestellter Hypothesen wird, aufbauend auf den drei Studien über empirische Methoden, die Auswirkung und Möglichkeit von weißem und chromatischem Licht auf Befinden und Wahrnehmung aufgezeigt.

Die Arbeit lässt sich wie folgt einteilen:

- Wirkung von chromatischem Licht in räumlichen Situationen
  - 1 Einfluss von chromatischem Licht in räumlichen Situationen auf Befindlichkeit und subjektive Helligkeitsempfindung von Schülern
  - 2 Einfluss von chromatischem Licht in räumlichen Situationen auf Befindlichkeit und subjektive Farbempfindung von Studierenden
- Wirkung von weißem Licht in räumlichen Situationen
  - Einfluss von weißem Licht auf Raumwirkung und kardial vegetative Aktivierung im Raumkontext einer Shopsituation

Die Untersuchungen zur Wirkung von chromatischem Licht in räumlichen Situationen finden in extrem chromatischen Lichtbedingungen statt, um die Auseinandersetzung mit Farbe und Licht durch den Aufenthalt im Farbraum nochmals zu überhöhen. Es wurden zwei unterschiedliche Berufsgruppen von Studienteilnehmer(inne)n für die Versuchsreihen ausgewählt, welche sich in ihrer fach einschlägigen Ausbildung mit Farbe (*Studie 1*) bzw. mit Raum (*Studie 2*) beschäftigen. In beiden Studien wird die Befindlichkeit untersucht.

Studie 1 wurde mit Schüler(innen) im Ausbildungszweig „Farbe und Gestaltung“ durchgeführt und beschäftigte sich zusätzlich mit dem Einfluss von chromatischem Licht auf die Farbwahl von Körperfarben. In der Untersuchung wurde bewusst ein längerer Zeitraum, 90 Minuten, für die Lichtexposition gewählt, da im Bereich des Lichttreatments Lichtexpositionen von 30 bis 60 min gebräuchlich sind. Es wurden gestalterische Arbeiten in sitzender Tätigkeit in der Gruppe durchgeführt. Zur Raumbelichtung wurden Leuchtstofflampen mit Filterfolien verwendet, die an der Decke angebracht waren.

In Studie 2 wird anhand einer psychophysiologischen Methode die kardial vegetative Aktivierung (HRV) gemessen und der Raumeindruck von Architekturmodellen abgefragt. Diese Untersuchung wurde sitzend und individuell von Architekturstudent(inn)en durchgeführt. Für diese Untersuchung wurde die Zeit der Lichtexposition auf acht Minuten reduziert. Die indirekte Raumbelichtung wurde mittels LED-Leuchten, die am Boden befestigt waren, bewerkstelligt.

Studie 3 beschäftigt sich mit der „Wirkung von weißem Licht in räumlichen Situationen“. Untersucht wird der Einfluss von weißem Licht auf Raumwirkung und kardial vegetative Aktivierung im Kontext einer Shopsituation. Durchgeführt wurde diese Studie individuell in einem Mock-up-Raum, welcher als Shop für Bekleidung ausgestattet war. Die Teilnehmer(innen) der Studie konnten sich frei im Raum bewegen. Präsentiert wurden weiße Lichtsituationen in verschiedenen Lichtfarben und Lichtverteilungen. Abgefragt wurde der subjektive Raumeindruck und die Atmosphäre des Raumes mittels Fragebogen, eine psychophysiologische Messung gab

Aufschluss über die kardial vegetative Aktivierung. Der Fokus dieser Studie lag auf den Interaktionen der Studienteilnehmer(innen) zwischen Beleuchtungssituationen und den dadurch entstandenen Raumatmosphären und Stimmungslagen.

Die Thematik von chromatischem Licht wird in verschiedenen Bereichen, wie in der Psychologie, Kunst, Arbeitsmedizin, Architektur..., behandelt. Bekannt ist eigentlich nicht sehr viel. Wie man aus den vorangehenden Recherchen sehen kann, gibt es unterschiedliche Meinungen und Studien zur biologischen Wirkung von chromatischem Licht. Auch die Beschreibung der Zusammenhänge von Architektur und Psychologie in realen Räumen sind selten, obwohl eine Veränderung von z. B. der Lichtsituation bereits einen Effekt auf die Psyche haben kann. Noch ist kein klares Bild zu dieser Problematik vorhanden. Deshalb wird diese Arbeit durch eine empirische Herangehensweise ergänzt, um einen Ansatz für den gezielten Einsatz von chromatischem Licht im Architekturkontext zu zeigen. Dazu werden Experimente mit Schüler(inne)n und Studierenden durchgeführt (vgl. Tab. 1), auf welche in den nachfolgenden Kapiteln näher eingegangen wird. Durch diese Arbeit können sich Erkenntnisse und neue Strategien im Umgang mit weißem und chromatischem Licht in der Architektur ergeben.

*Tabelle 1: Übersicht der durchgeführten Studien und Beobachtungen in chromatischen und weißen Lichträumen*

<b>Studie</b>	<b>Beleuchtung (UV)</b>	<b>Psychologische Beobachtungen (AV)</b>		<b>Physiologische Beobachtungen (AV)</b>
1	Chromatisch	Befinden (MDBF)	Subjektive Helligkeitswahrnehmung	
2		Befinden (MDBF)	Raumeindruck (SD)	HRV
3	Weiß	Atmosphäre (AM)	Raumeindruck (SD)	HRV

## **Wirkung von chromatischem Licht in räumlichen Situationen**

Seit der Existenz der LED haben sich die Möglichkeiten des Einsatzes von chromatischem Licht im Innen- und Außenbereich ständig erweitert. Chromatisches Licht ist nun in extremen Intensitäten einsetzbar und weißes Licht kann in verschiedenen Farbtemperaturen gewählt werden, und das nicht nur statisch, sondern es kann auch spontan verändert werden, um sich neuen Anforderungen anzupassen. Die Palette an möglichen Lichtfarben in verschiedenen Wellenlängenbereichen wird immer größer und auch in vermehrter Zahl angewendet. Der erlebte Raum verändert sich und beginnt sich aufgrund des vermehrten Einsatzes von farbigem Licht zu transformieren. Chromatisches Licht wird als Effektbeleuchtung, in Kunstinstallationen, Architekturbeleuchtung, als Wohlfühllicht in Wellnessbereichen, in der Medizin, in der Gastronomie usw. eingesetzt. Durch das Zusammenspiel verschieden wahrgenommener Einflüsse aus der Umwelt wird die Raumsituation beurteilt, oftmals wird die Farbwirkung von Licht unterschätzt, so kann durch den Einsatz von chromatischem oder weißem Licht vielfach die Stimmung positiv beeinflusst werden. Jedoch auch das Gegenteil ist bei unbedachtem Einsatz möglich.

### ***Einfluss von chromatischem Licht in räumlichen Situationen auf Befindlichkeit und subjektive Helligkeitsempfindung von Schüler(inne)n***

Das Wissen, wie sich Körperfarben unter verschiedenen Lichtbedingungen verhalten, ist von besonderer Bedeutung für Architekt(inn)en, Farbgestalter(innen) und Maler(innen) in der praktischen Anwendung. Da die gebaute Umgebung durch Architekt(inn)en und Farbgestalter(innen) stark beeinflusst wird, sollte bereits in der Ausbildung auf die Wirkung von Licht und Farbe eingegangen werden, um das Bewusstsein für die Zusammenhänge zu schärfen. In dieser ersten Versuchsreihe wird untersucht, ob chromatische Lichtexposition bei längerem Aufenthalt in Räumlichkeiten die Befindlichkeit von Studienteilnehmer(inne)n beeinflussen kann und wie sich die subjektive Farbempfindung bei der Auswahl von Körperfarben verändert. Zur Anwendung kommt ein Fragebogen zur Befindlichkeit (MDBF) und eine Aufgabenstellung, in welcher funktionale Aspekte verschiedener achromatischer und chromatischer Farbsamples abgefragt werden. Chromatische Lichtexposition beeinflusst die visuelle Funktion des Sehapparates und verursacht dadurch unterschiedliche Helligkeitseffekte. D. h. Körperfarben werden abhängig von der Lichtbedingung als unterschiedlich hell empfunden. Diese Unterschiede zwischen wahrgenommenen und gemessenen Helligkeitseffekten sollen quantifiziert und verglichen werden.

Die Versuchsreihe gliedert sich in zwei Teilbereiche:

1. Psychologische Beobachtungen: Einfluss chromatischer Lichtexposition auf die Befindlichkeit
2. Visuelle Beobachtungen: Einfluss chromatischer Lichtexposition auf funktionale Aspekte der Farbwahrnehmung von Körperfarben

## Fragestellungen und Hypothesen

Hauptfragestellung:

*Wirkt sich chromatische Lichtexposition auf Befindlichkeit und funktionale Aspekte der Farbwahrnehmung von Körperfarben aus?*

### **Einfluss chromatischer Lichtexposition auf die Befindlichkeit**

Hypothese 1: *Chromatische Raum-Lichtexposition beeinflusst bei einem Aufenthalt von 90 Minuten die Befindlichkeit der Studienteilnehmer(innen).*

### **Einfluss chromatischer Lichtexposition auf funktionale Aspekte der Farbwahrnehmung von Körperfarben**

Hypothese 2: *Chromatische Raum-Lichtexposition hat Einfluss auf die subjektive Wahrnehmung von Körperfarben.*

## Methoden

### **Versuchsdesign und Planung**

Die Untersuchung fand in einem Klassenzimmer der Höheren technischen Lehranstalt mit dem Ausbildungszweig „Farbe und Gestaltung“ in Baden/Leesdorf statt. Die Untersuchung wurde während sieben Wochen durchgeführt. Den Studienteilnehmer(inne)n wurde gruppenweise wöchentlich eine chromatische Lichtbedingung präsentiert. Insgesamt nahmen an der Versuchsreihe 37 Schüler(innen) teil (vgl. Tab. 2).

Bei der Untersuchung der momentanen Befindlichkeit (s. S. 44) handelte es sich um ein 1 x 7 Design und bei der Untersuchung der subjektiven Wahrnehmung von Körperfarben (s. S. 47) um ein 7 x 4 Design.

*Tabelle 2: unabhängige Variablen und Verteilung der Studienteilnehmer(innen)*

UV 1	Lichtsituation
UV 2	Körperfarbe
N	37

### **Mess-, Gruppierungsgrößen und statistische Verfahren**

**Unabhängige Variablen:** = Gruppengröße; UV

Die unabhängigen Variablen der Lichtsituationen sind 7-fach gestuft: in sechs chromatische Lichtsituationen und weißes Licht. Die Körperfarben sind 16-fach gestuft. Die Untersuchungsteilnehmer(innen) hielten sich insgesamt 90 Minuten in jeder Lichtbedingung auf.

UV1: Lichtsituation (7-fach gestuft; s. Tab. 7)

UV 1.1: Chromatisches Licht (CL: 6-fach gestuft)

1.1.1 Blau

1.1.2 Cyan

1.1.3 Grün

1.1.4 Gelb

1.1.5 Rot

1.1.6 Magenta

UV 1.2: Weißes Licht (WL)

UV2: Körperfarbe (16-fach gestuft; s. Tab. 5, 6)

UV 2.1: Chromatische Körperfarbe (CK: 4-fach gestuft)

2.1.1 Gelb

2.1.2 Rot

2.1.3 Blau

2.1.4 Grün

UV 2.2: Achromatische Körperfarbe (AK: 12-fach gestuft)

2.2.1 bis 2.2.12 Grau (hell bis dunkel)

**Abhängige Variablen**<sup>6</sup> (AV Messgrößen):

Anhand der abhängigen Variablen sollen die Auswirkungen von chromatischen Lichtsituationen auf Befinden und subjektive Helligkeitswahrnehmung von Körperfarben erhoben werden. In den folgenden Tabellen (vgl. Tab. 3, 4) befindet sich eine Übersicht des vorliegenden Versuchs:

AV1: Befinden (MDBF Fragebogen: 3 Befindensdimensionen: Skala WH, RU, GS)

AV2: Subjektive Wahrnehmung von Körperfarben (Sortiertask)

*Tabelle 3: Versuchsdesign Befinden (N = 37)*

AV 1: Befinden	UV 1: Lichtsituation; 7	CL 1-6; WL
	UV 2: vorher/nachher	CL 1-6; WL

Einfaktorielle univariate Varianzanalyse [(M)ANOVA] für Messwiederholungen (vorher/nachher);

*Tabelle 4: Versuchsplan subjektive Helligkeitswahrnehmung (N = 37)*

AV 2: subjektive Helligkeitswahrnehmung	UV 1: Lichtsituation; 7-fach gestuft	CL 1-6; WL
	UV 2: Körperfarbe, 16-fach gestuft	CK 1-4; AK 1-12

Vergleichende deskriptive Darstellung

<sup>6</sup> Skalenniveau: AV1 metrisch, AV2 ordinal

## Versuchspersonen – Stichprobe

Die Studienteilnehmer(innen) waren Schüler(innen) einer Höheren technischen Lehranstalt mit dem Ausbildungszweig „Farbe und Gestaltung“ in Baden/Leesdorf. Die gemeinsame Voraussetzung der Schüler(innen) ist das Interesse an Farbe und die eventuellen Erfahrungswerte durch den ständigen Umgang mit Körperfarbe. Bereits in der Ausbildung von Farbgestalter(inne)n hat die Interaktion von chromatischem Licht und Körperfarbe besondere Bedeutung, da die Möglichkeit besteht, unter chromatischen Lichtbedingungen zu arbeiten. Aus diesem Grund wurde für die Versuchsreihe eine Gruppe von Farbgestaltern(innen) in Ausbildung gewählt. Von dieser Gruppe kann mit einer Treffsicherheit zur Farbwahl ausgegangen werden. Die Studie fand im Rahmen der Lehrveranstaltung „Form und Farbe“ und „Design und Farbe“ statt.

Von 46 Studienteilnehmer(inne)n konnten 37 ausgewertet werden. Die verwertbare Stichprobe bestand aus 37 Schüler(inne)n (60 Prozent Frauen, 40 Prozent Männer) zwischen 15 und 25 Jahren ( $MW = 18$ ,  $SD \pm 2,2$  Jahre) und wurde im Sommersemester 2009 von 5. Mai bis 23. Juni während sieben Wochen durchgeführt. Den Studienteilnehmer(inne)n wurden vor Beginn der Versuchsreihe die Ishihara Farbtafeln bei natürlichen Lichtbedingungen vorgelegt, um eventuelle Farbsinnstörungen auszuschließen. Der Farbfehlsichtigkeitstest nach Ishihara besteht aus 14 Farbtafeln, die es ermöglichen, den Farbsinn zu überprüfen, durch Sie können angeborene Sehstörungen im Rot-Grünbereich festgestellt werden (Ishihara 1980). Es musste keine Versuchsperson aufgrund einer Farbfehlsichtigkeit ausgeschlossen werden.

## Untersuchungsmaterial

Vor Beginn der Studie wurde von den Studienteilnehmer(inne)n eine Einverständniserklärung zur Information über den Zweck der Studie, die Verwendung der Daten und den Ablauf der Studie unterzeichnet. Ebenso wurde über den Schutz der Daten aufgeklärt und es wurden die Ishihara Farbtafeln vorgelegt. Im Anschluss waren von den Studienteilnehmer(inne)n Fragebögen auszufüllen und Aufgabenstellungen zu bearbeiten, auf welche in weiterer Folge näher eingegangen wird.

## Auswahl der Körperfarben

Die Körperfarben für die Versuchsreihe wurden aus dem NCS System (vgl. Abb. 6) und dem StoC System (vgl. Abb. 7) ausgewählt.

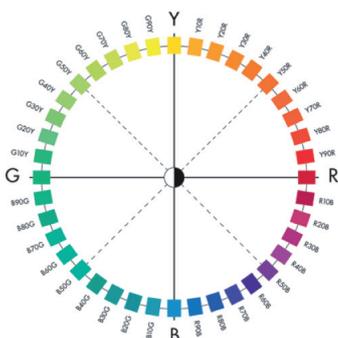


Abbildung 6: NCS System „der Farbkreis“

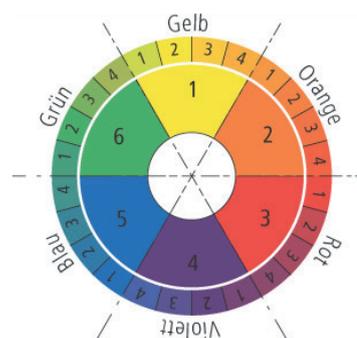


Abbildung 7: StoColor System

### ***Das NCS Farbsystem***

Das NCS System, auch Natural Colour System, besteht aus 1950 standardisierten Farben, die aus den zehn Millionen Farben des NCS Farbraums ausgewählt wurden. Sie ergeben eine repräsentative Verteilung im sichtbaren Farbspektrum. Das NCS System ist in sechs Elementarfarben eingeteilt: Gelb, Rot, Grün, Blau, Weiß und Schwarz. Die anderen Farben können so durch ihre visuelle Ähnlichkeit miteinander verglichen und beschrieben werden. Der Farbraum ist dreidimensional als Doppelkegel aufgebaut und kann zweidimensional, horizontal in den Farbkreis und vertikal in das Farbdreieck, eingeteilt werden. Der Farbkreis teilt den Doppelkegel in der Mitte. Hier sind die vier bunten Elementarfarben positioniert und die weiteren Bunttöne; z. B. Y40R bedeutet ein Gelb (60 Prozent) mit 40 Prozent Rotanteil. Reine Grautöne haben Nuancenbezeichnungen und enthalten keine Bunttöne. Sie verlaufen von Weiß nach Schwarz in der Mitte des Doppelkegels z. B. 8000N für neutral und 80 Prozent Schwarzanteil, der Rest von 20 Prozent ist der Weißanteil. Die Angaben der Zahlen für den Farbcode beziehen sich auf die Empfindung des Menschen. Dieses Farbsystem ist Standard in Schweden und wurde 1981 (Hard, Sivik 1981) entwickelt (NCS Colour AB 2013). In dieser Studie dient das NCS System als Standard zur Vergleichbarkeit mit weiteren wissenschaftlichen Studien.

### ***Das StoColor System***

Grundlage für das StoC Systems ist die visuelle Wahrnehmung des Menschen. Das System gliedert sich in sechs Wahrnehmungsbereiche: die Farben Gelb, Orange, Rot, Violett, Blau und Grün. Jeder dieser Teile ist in fünf Farbtonreihen eingeteilt: eine hellklare, zwei Verhüllungsreihen, eine Schattenreihe und eine dunkelklare Reihe. Insgesamt ergeben sich 800 Farbtöne, davon sind 28 grau. Es wird im Handwerksbereich sehr häufig verwendet (Sto 2013).

### ***Die Farbauswahl***

Für die Aufgabenstellung wurden insgesamt 16 Farbtöne ausgewählt (vgl. Abb. 8): 12 Grautönen mit Reflexionswerten zwischen 5 und 75 Prozent aus dem StoColor System (vgl. Anhang Tab. 34) und die vier elementaren Bunttöne (vgl. Anhang Tab. 35) aus dem NCS System. Diese Auswahl wurde getroffen, da diese Farbtöne die reinsten zur Verfügung stehenden Farben angeben. Für eine bessere Vergleichbarkeit der Angaben wurden die Farben aus dem StoColor System auch in NCS Codes angegeben und mit Hilfe eines Farbmessgerätes gemessen (vgl. Tab. 5, 6).

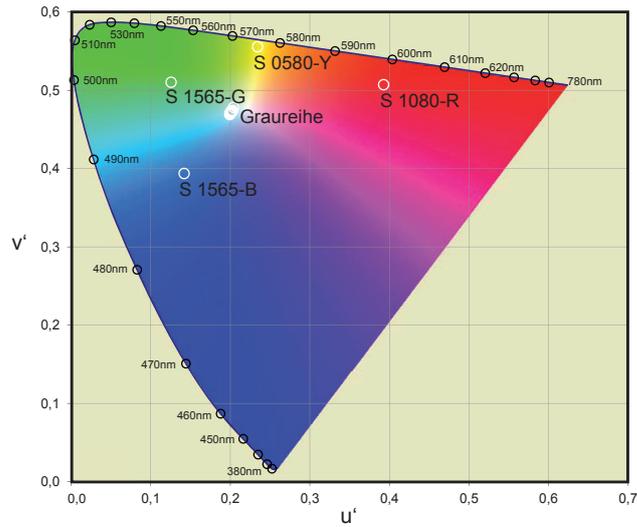


Abbildung 8: Auswahl der Körperfarben, dargestellt im CIE Diagramm 1976  $u'v'$

Tabelle 5: Messwerte zu den vier Bunttönen aus dem NCS System gemessen unter kontinuierlichem Lichtspektrum\*

Sample	Farbcode	Messwerte				
		Wellenlänge	Excitation Purity	Leuchtdichte	CIE System 1976	
	NCS	nm	%	cd/m <sup>2</sup>	u'	v'
13	S 0580-Y	575,92	87,90	282,83	0,2341	0,5556
14	S 1080-R	614,52	67,41	62,26	0,3925	0,5072
15	S 1565-B	482,23	27,26	80,10	0,1418	0,3938
16	S 1565-G	509,65	54,85	93,52	0,1254	0,5103

\*Halogenstrahler

Tabelle 6: Messwerte zu den 12 Samples der Graureihe gemessen unter kontinuierlichem Lichtspektrum\*

Sample	Farbcode	Messwerte				
		Wellenlänge	Excitation Purity	Leuchtdichte	CIE System 1976	
	NCS	nm	%	cd/m <sup>2</sup>	u'	v'
1	S 1002-Y	528,25	2,08	283,76	0,2039	0,4782
2	S 1500-N	495,81	3,29	248,88	0,2022	0,4738
3	S 2000-N	496,69	3,14	215,44	0,2023	0,4741
4	S 3000-N	493,24	4,25	163,84	0,2010	0,4726
5	S 4000-N	492,29	4,73	126,75	0,2005	0,4719
6	S 4502-G	491,34	5,11	105,35	0,2003	0,4712
7	S 5500-N	492,86	4,78	87,73	0,2001	0,4722
8	S 6000-N	490,62	5,65	67,51	0,1996	0,4705
9	S 6502-B	489,03	6,52	50,84	0,1991	0,4690
10	S 7500-N	492,73	4,85	42,50	0,2000	0,4721
11	S 8000-N	490,46	5,49	29,27	0,2001	0,4705
12	S 8500-N	494,55	3,73	21,51	0,2016	0,4733

\*Halogenstrahler

## Der Mehrdimensionale Befindlichkeitsfragebogen (MDBF)

Das Messinstrument des mehrdimensionalen Befindlichkeitsfragebogens (Steyer u. a. 1997) wird zur Erfassung der aktuellen „psychischen Befindlichkeit“ von Studienteilnehmer(inne)n verwendet, umgangssprachlich auch als „aktuelle Stimmungslage“ bezeichnet. Dazu werden drei bipolare Dimensionen erfasst: Gute – Schlechte Stimmung (GS), Wachheit – Müdigkeit (WM) und Ruhe – Unruhe (RU). Der Fragebogen kann in Einzelsitzungen oder auch in Gruppen vorgelegt werden und ist für Jugendliche und Erwachsene geeignet. Er ist vielseitig einsetzbar, wie z. B. in der Grundlagenforschung, Emotionspsychologie und Gesundheitspsychologie. Die ursprünglichen statistischen Analysen des MDBF Fragebogens waren Teil eines Stimmungsfragebogens der insgesamt viermal im Abstand von drei Wochen mit 503 Studienteilnehmer(inne)n durchgeführt wurde.

Zum besseren Verständniss der Abgrenzung des Begriffs der „Befindlichkeit“ wird die Definition in der Handanweisung zum Befindlichkeitsfragebogen sehr verständlich erklärt: *„Unter Befindlichkeit verstehen wir den aktuellen psychischen Zustand eines Individuums, der sich in Abgrenzung von anderen psychischen Eigenschaften wie folgt charakterisieren lässt: Befindlichkeit kennzeichnet das aktuelle, ins Bewusstsein gerückte innere Erleben und Empfinden eines Individuums. Wird die Aufmerksamkeit auf sie gerichtet, ist sie erlebnismäßig repräsentiert, [...]“* (Steyer u. a. 1997: 4), im Gegensatz dazu sind Gefühle z. B. auf spezifische, kognitiv repräsentierte Objekte wie Personen oder Dinge gerichtet: *„Die aktuelle Befindlichkeit charakterisiert eine Person in einer Situation (Anastasi 1983). Sie ist eine Momentaufnahme in einem relativ trägen, multivariablen Prozess, der normalerweise im Hintergrund unseres Bewusstseins abläuft. Dieser Prozess spiegelt sich im Erleben, Verhalten, Gestik, Mimik, physiologischen und biochemischen Variablen wider. [...]“* (Steyer u. a. 1997: 4). Es ist von Bedeutung, zwischen einem kontinuierlichen Prozess und einem aktuellen Zustand zu unterscheiden und sich z. B von Gefühlen und Motiven abzugrenzen. Der Fragebogen zur „psychischen Befindlichkeit“ wird mittels 24 Items in drei bipolare Skalen eingeteilt. Auf einer fünfstufigen Skala zwischen 1 „überhaupt nicht“ und 5 „sehr“ werden diese von den Studienteilnehmer(inne)n beurteilt.

Skala GS: Gute – Schlechte Stimmung, z. B. zufrieden, gut

Skala WM: Wachheit – Müdigkeit, z. B. ausgeruht, munter

Skala RU: Ruhe – Unruhe, z. B. gelassen, ruhelos

Interpretiert wird ein hoher Skalenwert bei der Skala GS als positive Stimmungslage, bei der Skala WM deuten sie auf wache, ausgeruhte Personen hin und bei der Skala RU bedeuten sie, dass der/die Studienteilnehmer(in) sich innerlich ruhig und gelassen fühlt. Niedrige Skalenwerte bedeuten das Gegenteil.

Eine Voraussetzung für die Erhebung der Daten ist, dass der/die Studienteilnehmer(in) interessiert an der Erhebung der eigenen psychischen Befindlichkeit ist. Dann können die Skalenwerte des MDBF Fragebogens als zuverlässige Indikatoren für die Befindlichkeit angesehen werden.

## Aufgabenstellung

Im Zentrum dieser Studie steht die subjektive Wahrnehmung von Körperfarben in verschiedenen chromatischen Lichtexpositionen. Die Aufgabenstellung für die Studienteilnehmer(innen) war folgende: „Helligkeit. Ordnen Sie die Ihnen vorliegenden chromatischen und achromatischen Farbkärtchen nach ihrer wahrgenommenen Helligkeit. Beginnen Sie mit dem hellsten Farbton bis zum dunkelsten Ton (von oben nach unten).“ (vgl. Abb. 9). Vorgegeben waren zwölf achromatische Farbkärtchen in unterschiedlichen Graustufen mit einem Reflexionsfaktor von 5 bis 75 Prozent. Zusätzlich wurden vier chromatische Farbkärtchen aus dem NCS System ausgewählt: S 0580-Y, S 1080-R, S 1565-B, S 1565-G. Die vorliegenden chromatischen und achromatischen Farbkärtchen wurden nach ihrer wahrgenommenen Helligkeit sortiert. Das hellste Farbkärtchen sollte bis zum Dunkelsten, in einer Reihe von oben nach unten sortiert werden. Dieser Sortiervorgang wurde von den Studienteilnehmer(inne)n unter sieben verschiedenen chromatischen Lichtexpositionen durchgeführt.

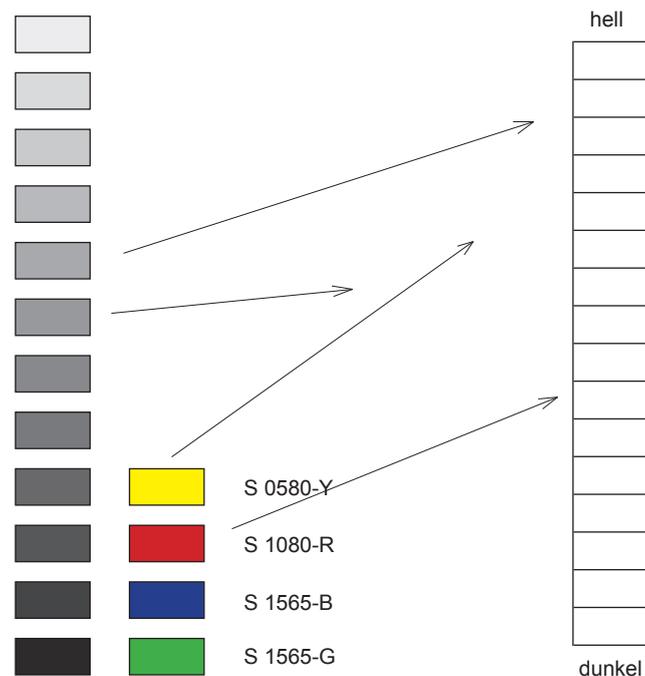


Abbildung 9: Aufgabenstellung zur subjektiven Wahrnehmung von Körperfarben unter chromatischer Lichtexposition (Sortier Task)

## Beschreibung der Raum-Lichtsituation und Prüfmittel

Die Untersuchung fand in einem Klassenzimmer der Höheren technischen Lehranstalt mit dem Ausbildungszeit „Farbe und Gestaltung“ in Baden/Leesdorf statt. Dieser Raum ist mit sieben verschiedenen Lichtsituationen ausgestattet und wurde eigens für Versuche zur Interaktion von Licht und Körperfarben von der Autorin dieser Arbeit konzipiert (vgl. Abb. 10, 11, 12). Für Versuchszwecke kann der Raum völlig verdunkelt werden. Das Klassenzimmer besitzt drei Kastenfenster mit der Möglichkeit zur Verdunkelung, eine Türe und eine Lichtdecke mit 120 Leuchtstofflampen T26/58W. Die Abmessungen des Raumes sind 8,1 x 5,8 m mit einer Raumhöhe von 2,8 m. Die im Raum befindlichen Fenster wurden für den Versuch komplett verdunkelt. Die Wände und Decke sind weiß gestrichen, der Fußboden anthrazitgrau. Die Einrichtung besteht aus einer üblichen Klassenzimmerausstattung mit zehn Tischen und 20 Stühlen aus hellem Holz. Die Lichtdecke ist für die Demonstration von sechs unterschiedlichen Lichtsituationen ausgestattet. Es befinden sich jeweils 20 Leuchtstofflampen in den Lichtfarben Tageslichtweiß (6500 K), Warmweiß (3000 K) und Neutralweiß (4000 K) mit einer Farbwiedergabe von 90 Prozent und den Farben Rot, Grün und Blau an der Decke.

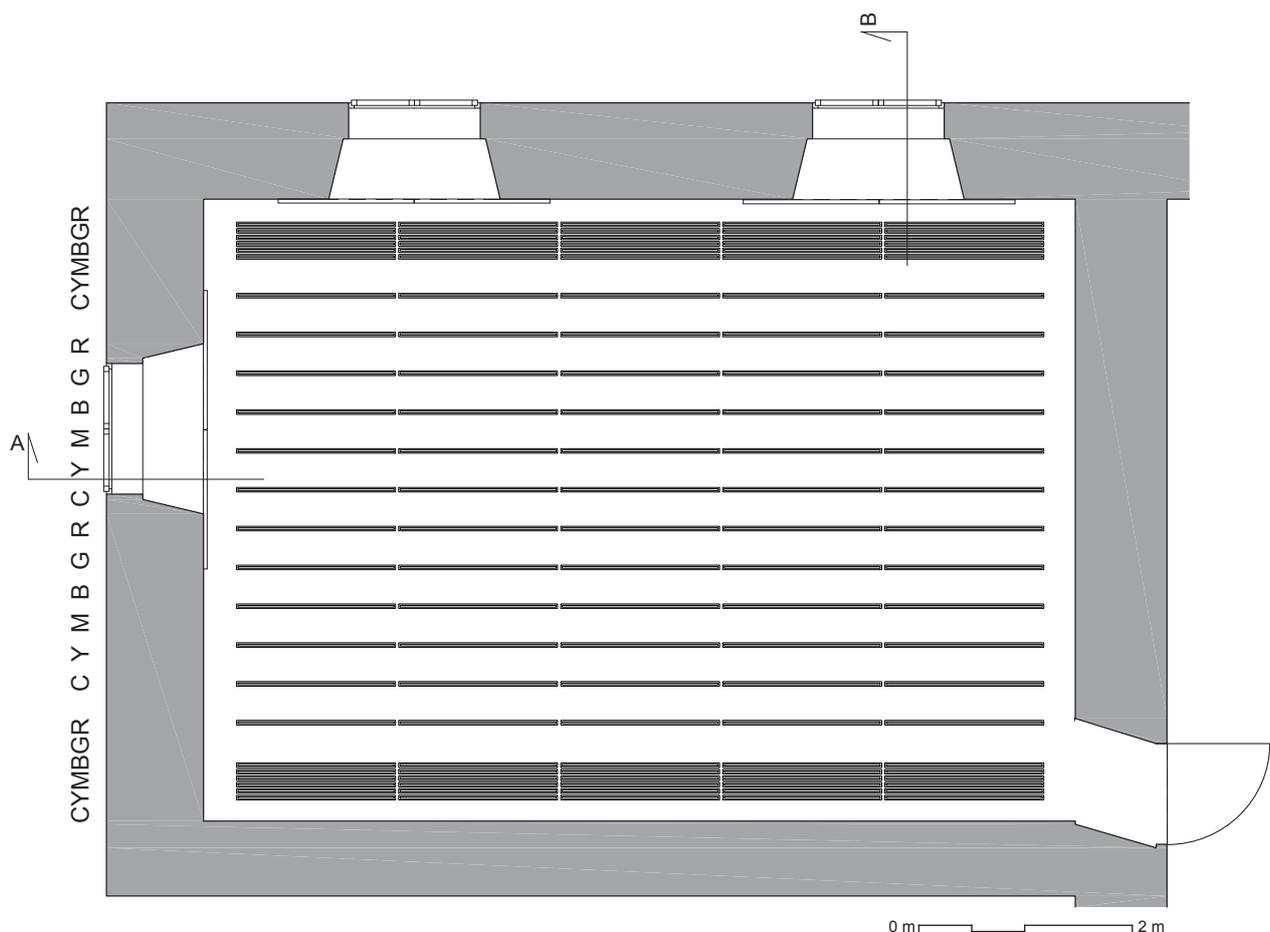


Abbildung 10: Versuchsraum: Lichtdecke 8,1 x 5,8 m

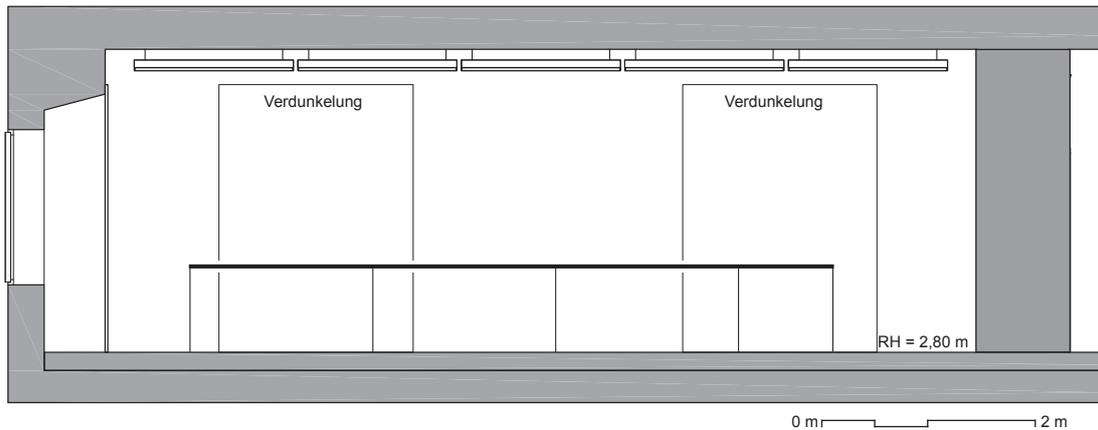


Abbildung 11: Versuchsraum: Schnitt A

Die sieben Beleuchtungssituationen, welche im Versuch zur Anwendung kamen, waren Tageslichtweiß: 500 lx, Gelb: 630 lx, Grün: 400 lx, Cyan: max.380 lx, Blau: max. 91 lx, Magenta: max.37 lx und Rot: 180 lx. Für die Erzeugung der Farben Cyan, Magenta und Gelb wurden die entsprechenden Filterfolien der komplementären<sup>7</sup> Farborte (vgl. Tab. 7) der bereits vorhandenen Lichtfarben Rot, Grün und Blau ausgewählt. Die Farborte sind im CIE Diagramm 1976 u'v' in Abb. 13 dargestellt, die spektrale Zusammensetzung der sieben chromatischen Lichtsituationen zeigt Abb. 14.

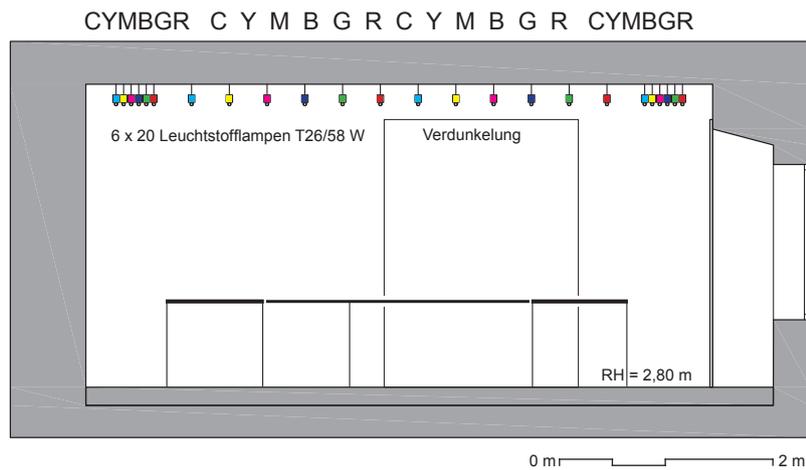


Abbildung 12: Versuchsraum: Schnitt B

<sup>7</sup> Komplementär- oder auch Kompensativfarben sind zwei Farbreize die additiv gemischt Weiß ergeben, also das volle Spektrum einer Lichtquelle (Richter 1981).

Tabelle 7: Farborte der chromatischen Lichtsituation und der Farbfilter für die komplementären Farborte

Chromatische Lichtsituationen*		Komplementärfarben	Farbort: <sup>8</sup> CIE Diagramm 1976	
		Farbfilter	u'	v'
Blau	67BU/Zumtobel	-	0,1909	0,1050
Gelb	930 + Filter	Rosco/Spring yellow 100	0,2605	0,5546
Grün	66GN/Zumtobel	-	0,1104	0,5651
Magenta	940 + Filter	Rosco/Mauve 126	0,3809	0,3357
Rot	60RD/Zumtobel	-	0,4899	0,5262
Cyan	965 + Filter	Rosco/Jade 323	0,0920	0,4872
Weiß	965	-	0,2043	0,4783

\* 7 x 20 Stück Leuchtstofflampen T26/58 W

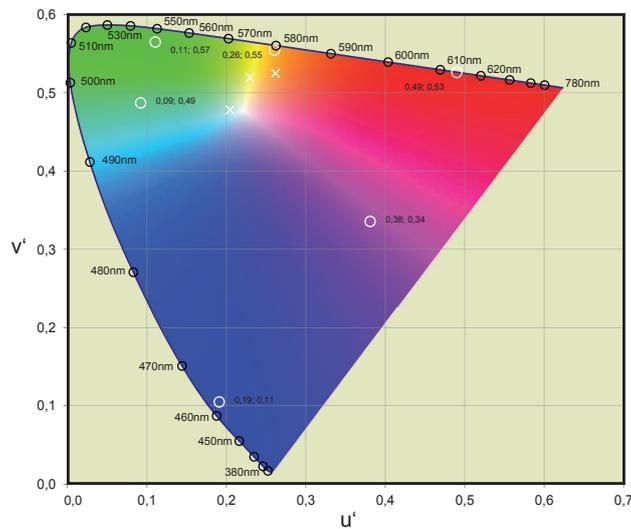


Abbildung 13: Farborte der chromatischen Lichtbedingungen, dargestellt im CIE Diagramm 1976 u'v'

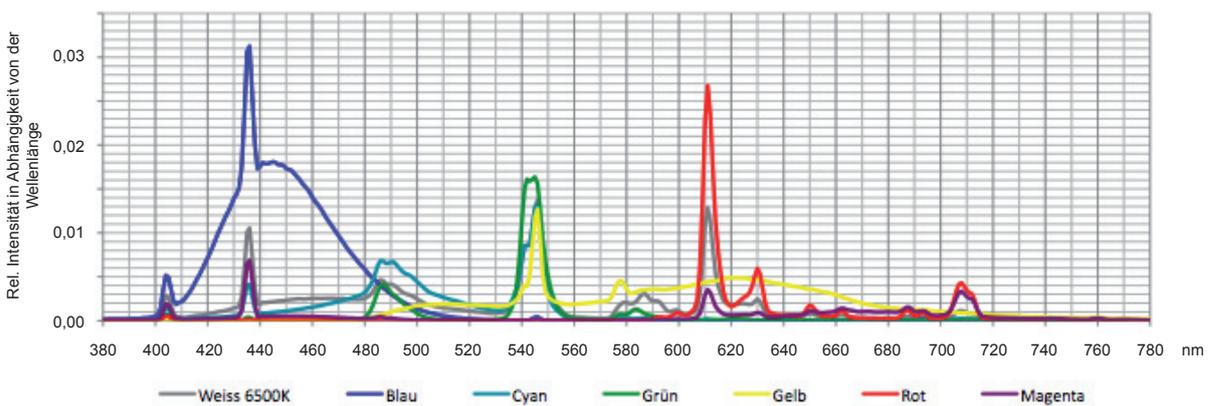


Abbildung 14: Spektrale Zusammensetzung der sieben chromatischen Lichtsituationen

<sup>8</sup> Messgerät: Chroma Meter CS-200 der Firma Konica Minolta

## Versuchsdurchführung

Im Kontext der Gestaltung von Raum soll die Farbwahl von Körperfarben in chromatischen Lichträumen von Studienteilnehmer(inne)n durch praktische Anwendung überprüft werden. Während sieben Wochen (vgl. Tab. 9) wurden sieben Lichtsituationen in einem Klassenzimmer der HTL Baden getestet. Die Lichtsituationen wurden wöchentlich gewechselt. Die absolvierten Übungen fanden in der Gruppe statt. Die Schüler(innen) hatten alle den gleichen Ablauf (vgl. Tab. 8) und hielten sich über eine Periode von 90 Minuten in der jeweiligen chromatischen Lichtsituation auf. Vor dem Start jeder Lichtsituation wurde den Studienteilnehmer(inne)n die Aufgabenstellung erklärt, ausgegeben und eine schriftliche Einverständniserklärung (vgl. Anhang) unterzeichnet. Die Versuchsreihe begann mit einem Fragebogen zur momentanen Befindlichkeit der Studienteilnehmer(innen) in weißer Lichtexposition und Fragen zu Alter und Geschlecht. Es folgten 90 Minuten in chromatischer Lichtexposition (Beispiel vgl. Abb. 15) mit der Aufgabenstellungen zur Reihung von Farbkärtchen, dafür standen den Studienteilnehmer(inne)n 16 Farbkärtchen zur Verfügung. Abschließend wurde das momentane Befinden unter chromatischer Lichtexposition nochmals evaluiert und die Aufgabenstellungen eingesammelt.



Abbildung 15: Raumsituation am Beispiel von zwei chromatischen Lichtsituationen

Tabelle 8: Ablauf der Untersuchung

Zeitpunkt	Zeitlicher Ablauf der Untersuchung	Dauer	Lichtsituation
1	Begrüßung, Einverständniserklärung	3 min	weiß
2	Fragebogen MDBF	5 min	weiß
3	Aufgabenstellung	90 min	chromatisch
4	Fragebogen MDBF	5 min	chromatisch
5	Abgabe der Aufgabenstellung, Verabschiedung	3 min	chromatisch
	Gesamtdauer	106 min	

Tabelle 9: zeitlicher Untersuchungsablauf und Farbabfolge der sieben Lichtsituationen mit Angabe der Beleuchtungsstärken

Lichtsituation	6500 K	Magenta	Blau	Grün	Gelb	Rot	Cyan
Beleuchtungsstärke*	500	37 max.	91 max.	400	630	180	380 max.
Datum	5.5.2009	12.5.2009	19.5.2009	26.5.2009	9.6.2009	16.6.2009	23.6.2009
Woche	1	2	3	4	5	6	7

\* empfindungsmäßig gleicher Buntton/Helligkeit nach Abney (Richter 1981)

## Ergebnisse

In folgendem Abschnitt werden die Ergebnisse der Versuchsreihe beschrieben und anhand von Tabellen und Abbildungen dargestellt. Die signifikanten Ergebnisse wurden in vier Stufen eingeteilt: (\*)  $p < .10$  = tendenziell signifikant; \*  $p < .05$  = signifikant; \*\*  $p < .01$  = sehr signifikant; \*\*\*  $p < .001$  = hochsignifikant.

Der Ergebnisteil besteht aus zwei Studien:

1. Einfluss chromatischer Lichtexposition auf die Befindlichkeit
2. Funktionale Aspekte zur subjektiven Wahrnehmung von Körperfarben in chromatischen Lichträumen

Ergebnisse zu 1)

### Einfluss chromatischer Lichtexposition auf die Befindlichkeit (MDBF)

Hypothese 1: *Chromatische Raum-Lichtexposition beeinflusst bei einem Aufenthalt von 90 Minuten die Befindlichkeit von Studienteilnehmer(inne)n im Vergleich zu weißem Licht.*

Für die Auswertung der Analyse des Befindlichkeitsfragebogens wurde eine multivariate Varianzanalyse lt. Manual (Steyer u. a. 1997) für jede einzelne chromatische Lichtbedingung im Vergleich zur weißen Lichtbedingung gerechnet. Die Signifikanzen wurden in vier Stufen eingeteilt. Als Referenz zum Vergleich des momentanen Befindens in chromatischem Licht wurde die weiße Lichtsituation als Referenzbedingung eingeführt.

Die gewählten sieben Lichtbedingungen bestehen aus sechs chromatischen und einer weißen Lichtsituation. Von Interesse war, die chromatischen Lichtsituationen (CL) der weißen Lichtsituation (WL) gegenüberzustellen, wodurch v. a. signifikante Wechselwirkungen dargestellt werden<sup>9</sup>:

In chromatischer Lichtsituation zeigt sich im Vergleich zu weißem Licht bei Cyan, Gelb und Grün ein Einfluss auf das momentane Befinden. Bei differenzierter univariater Betrachtung der Innersubjekteffekte ist ein Haupteffekt der Lichtfarbe auf der Skala „Wachheit – Müdigkeit“ (vgl. Abb. 16) ablesbar: Cyan zeigt allgemein (vorher/nachher) ein höheres Ausmaß an Wachheit als bei der Bedingung mit weißem Licht. Auf der Skala „Ruhe – Unruhe“ bleibt die Stimmung der Studienteilnehmer(innen) in den Lichtsituationen Cyan, Gelb und Grün gleich (vgl. Abb. 17, 18, 19). Im Vergleich wurden die Schüler(innen) in der Lichtsituation mit WL unruhiger. Betrachtet man die Skala „Gute Stimmung – schlechte Stimmung“, nimmt die gute Stimmung bei grünem Licht leicht zu bzw. bleibt gleich (vgl. Abb. 20). Unter WL nimmt die gute Stimmung der Studienteilnehmer(innen) ab. Allgemein zeigt sich, dass „Ruhe“ und „Gute Stimmung“ unter WL im Vergleich zu CL abnehmen und die „Wachheit“ zunimmt.

<sup>9</sup> Es konnte eine Wirkung von Licht festgestellt werden. Aufgrund der Lichtexposition bzw. der Versuchsabfolge zeigte sich eine signifikante Wechselwirkung vorher/nachher. Auf eine Darstellung der signifikanten Unterschiede wird jedoch verzichtet, da sich diese Studie auf WL vs. CL konzentriert und nicht auf den generellen Einfluss von Licht.

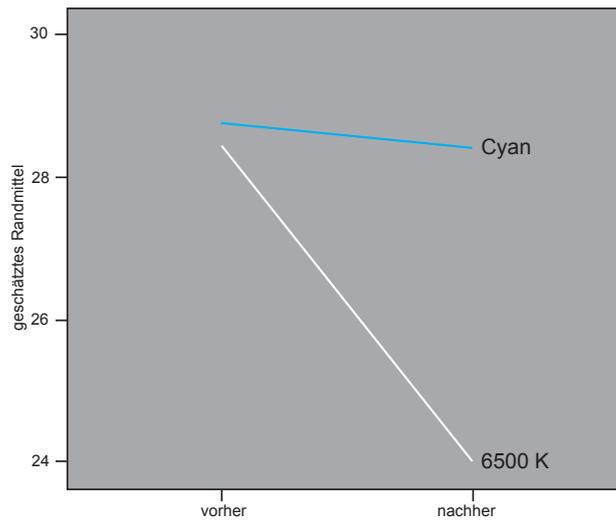


Abbildung 16: Skala Wachheit – Müdigkeit (WM); Haupteffekt: WL vs. Cyan:  $F=5.272$ ;  $p=.029^*$

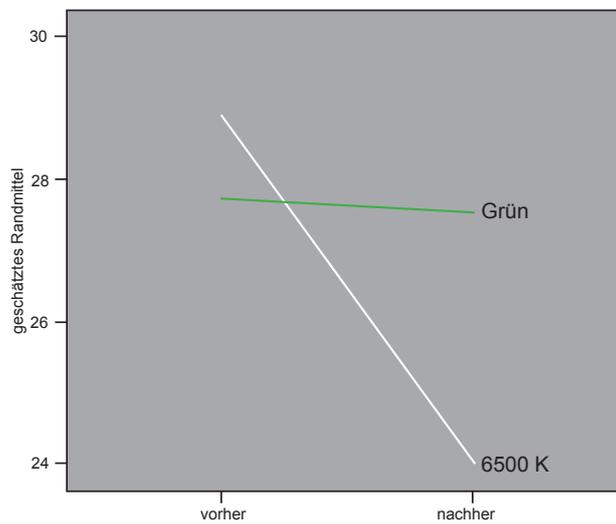


Abbildung 17: Skala Ruhe – Unruhe (RU); Wechselwirkung WL vs. Cyan:  $F=7.512$ ;  $p=.012^*$

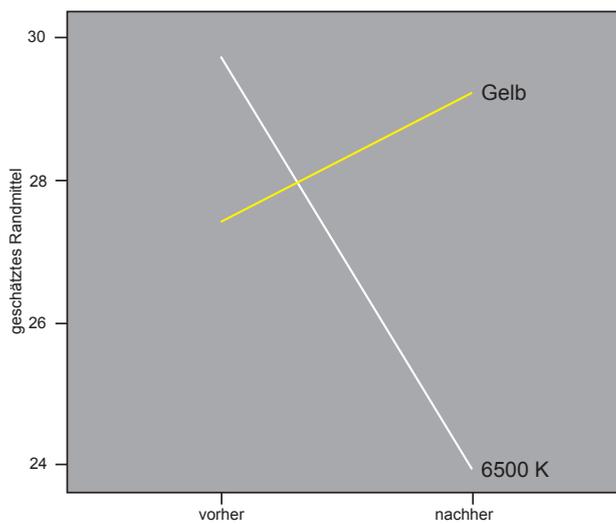


Abbildung 18: Skala Ruhe – Unruhe (RU); Wechselwirkung WL vs. Grün:  $F=10.612$ ;  $p=.003^{**}$

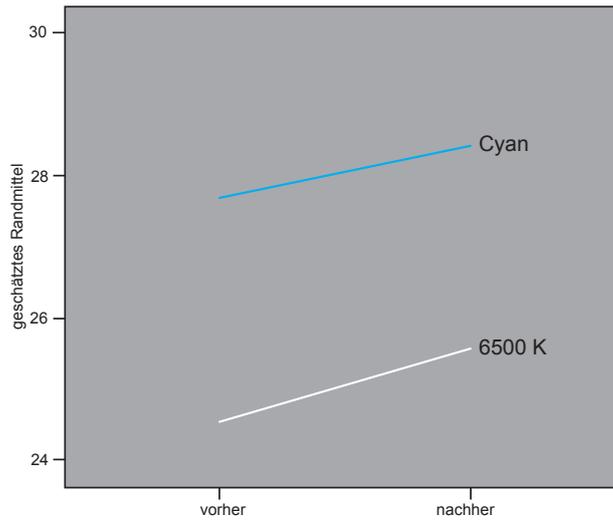


Abbildung 19: Skala Ruhe – Unruhe (RU); Wechselwirkung WL vs. Gelb:  $F=21.298$ ;  $p=.000^{***}$

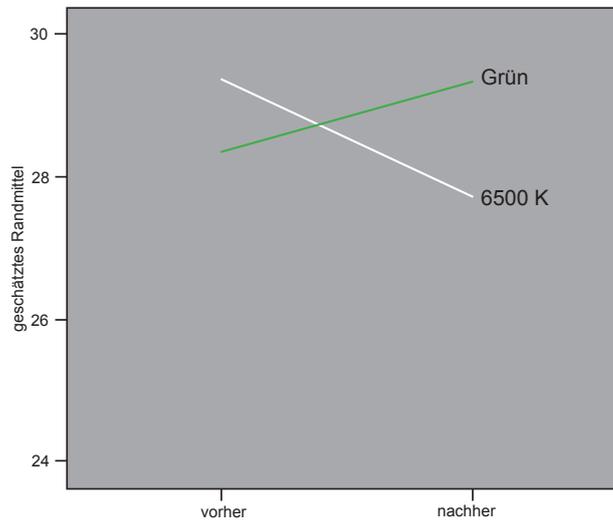


Abbildung 20: Skala Gute Stimmung – Schlechte Stimmung (GS); Wechselwirkung WL vs. Grün:  $F=4.934$ ;  $p=.033^*$

Ergebnisse zu 2)

### **Funktionale Aspekte zur subjektiven Wahrnehmung von Körperfarben in chromatischen Lichträumen (Sortier Task)**

Hypothese 2: *Chromatische Raum-Lichtexposition hat Einfluss auf die subjektive Wahrnehmung von Körperfarben.*

Für die Auswertung dieser Übung wurden die Reflexionswerte jedes Farbkärtchens unter den sechs chromatischen Lichtsituation und der Weißen gemessen (vgl. Tab. 10), verglichen und anschließend den subjektiven Einschätzungen der Studienteilnehmer(innen) gegenübergestellt. Zum Zweck des Vergleichs der gemessenen Helligkeitswerte der Farbkärtchen in sechs chromatischen Lichtexpositionen diente weißes Leuchtstofflampenlicht mit 6500 K als Referenzlichtsituation. Den Farbkärtchen unter der Referenzlichtbedingung mit WL wurden die Farbkärtchen unter den sechs chromatischen Lichtsituationen (vgl. Anhang Tab. 36-42) gegenübergestellt. Hier kann bereits ein wesentlicher Einfluss der chromatischen Lichtbedingung auf Körperfarben festgestellt werden (vgl. Abb. 21).

Beim Vergleich der gemessenen Helligkeitswerte der Farbkärtchen mit den subjektiven Einschätzungen der Studienteilnehmer(innen) zeigte sich, dass die Graureihe in der Reihenfolge von hell nach dunkel konstant richtig eingestuft wurde. Die Positionierung der in die achromatische Graureihe einsortierten chromatischen Farbkärtchen variierte systematisch. Bei gleicher Beleuchtungssituation und gleichen Farbkärtchen (z. B. gelbe Lichtsituation und gelbes Farbkärtchen) wurde der Farbton subjektiv dunkler eingeschätzt als die gemessenen Helligkeitswerte. Beim Vergleich der Farbkärtchen in komplementärer Beleuchtungssituation (z. B. gelbes Farbkärtchen und blaue Lichtsituation) ergab sich eine gute Übereinstimmung. Im Allgemeinen konnte festgestellt werden, dass die gelben Farbkärtchen in allen Lichtsituationen mit minimalen Abweichungen gut eingestuft wurden. Die grünen Farbkärtchen wiesen die größten Unterschiede innerhalb der chromatischen Lichtbedingungen auf und wurden subjektiv zu dunkel eingeschätzt (vgl. Abb. 22, 23).

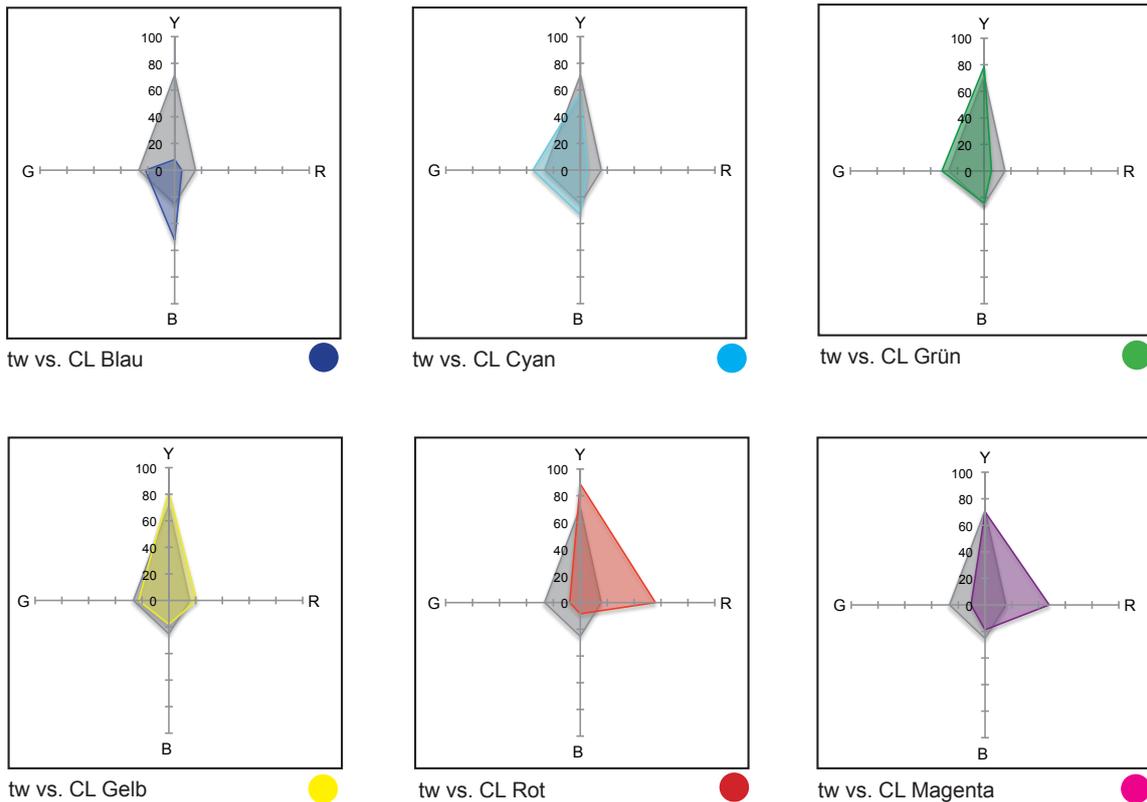


Abbildung 21: Vergleich der gemessenen Helligkeitswerte chromatischer Farbkärtchen (Gelb Rot, Grün, Blau) unter weißer (WL) und chromatischer Lichtsituation (CL)

Tabelle 10: Messung der Reflexionswerte (Y) in weißer und chromatischer Lichtsituation

Sample	NCS System	Lichtsituation / Messwerte Y <sup>8</sup>						
		6500 K	Blau	Cyan	Grün	Gelb	Rot	Magenta
1	S 1002-Y	74,67	68,66	74,75	75,67	74,91	73,72	72,4
2	S 1500-N	66,02	63,13	66,41	66,66	65,76	62,99	63,85
3	S 2000-N	56,91	54,83	57,34	57,55	57,21	54,46	55,34
4	S 3000-N	44,52	43,67	45,24	44,76	44,13	42,01	42,94
5	S 4000-N	34,3	33,75	34,52	34,06	33,62	31,99	32,62
6	S 4502-G	28,15	27,98	28,71	28,26	27,76	26,32	27,43
7	S 5500-N	23,64	23,23	24,04	23,4	23,19	22,05	22,57
8	S 6000-N	17,79	18,22	18,28	17,95	17,64	16,75	17,24
9	S 6502-B	13,58	13,81	13,64	13,38	13,19	12,37	12,65
10	S 7500-N	11,04	11,07	11,15	11,14	10,86	10,36	10,16
11	S 8000-N	7,62	7,85	7,91	7,7	7,59	7,23	7,57
12	S 8500-N	5,3	5,17	5,34	5,13	5,27	4,95	4,81
13	S 1565-B	25,27	52,37	33,47	24,32	17,97	8,38	18,71
14	S 0580-Y	71,17	7,95	58,26	78,75	81,72	88,76	70,13
15	S 1565-G	26,51	21,62	35,33	31,59	22,62	7,83	10,5
16	S 1080-R	15,55	5,32	5,25	5,48	20,74	55,86	47,97

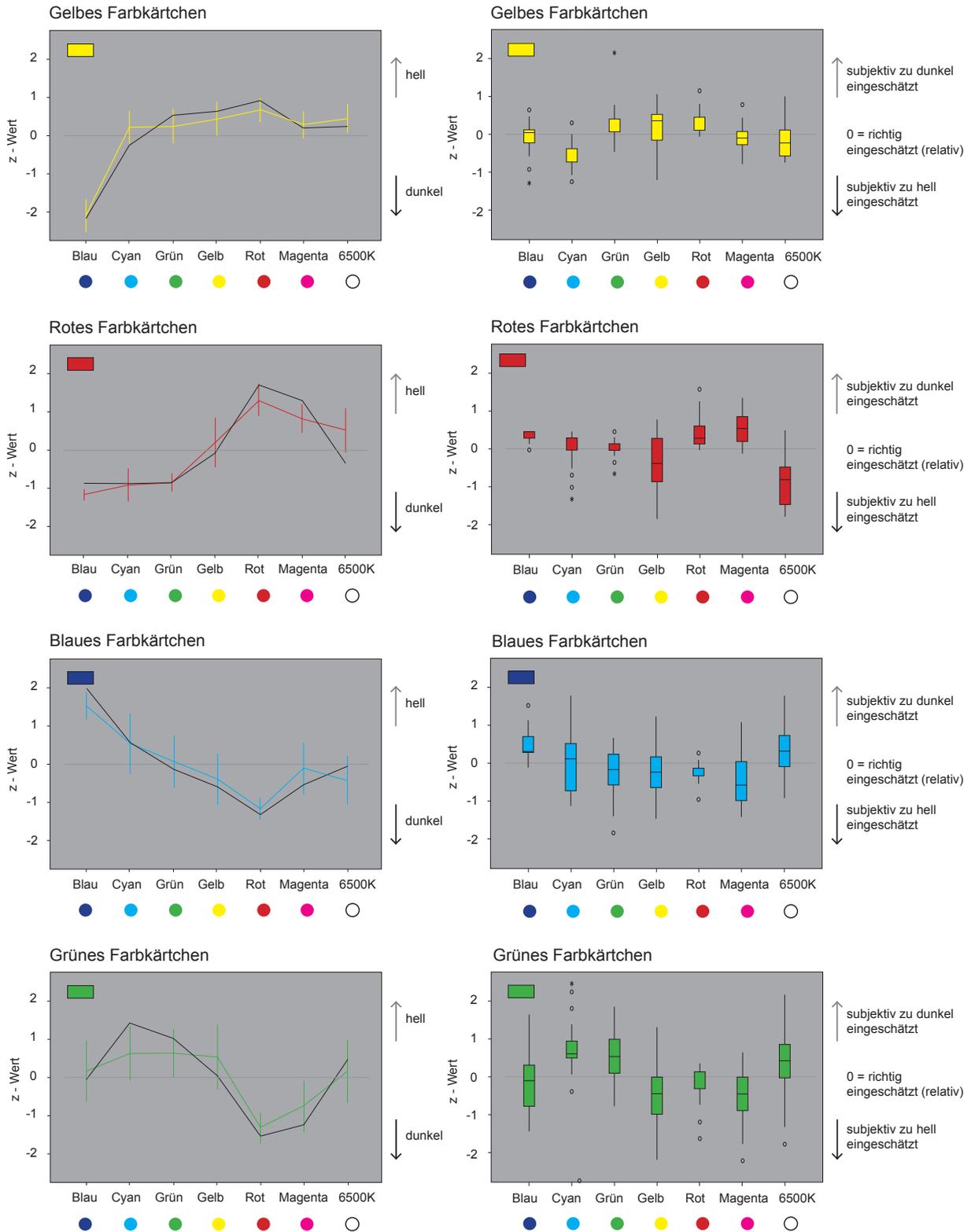


Abbildung 22 linke Spalte: Vergleich der eingeschätzten Helligkeit (farbige Linie) der vier chromatischen Farbkärtchen unter sieben Lichtbedingungen mit gemessenen relativen Helligkeitswerten (schwarze Linie).

Abbildung 23 rechte Spalte: z-Wertdifferenz der gemessenen Werte minus der eingeschätzten Werte der Farbkärtchen unter sieben Lichtbedingungen.

## Zusammenfassung:

Hypothese 1 – „*Chromatische Raum-Lichtexposition beeinflusst, bei einem Aufenthalt von 90 Minuten die Befindlichkeit von Studienteilnehmer(inne)n im Vergleich zu weißem Licht*“ – wurde bestätigt.

Hypothese 2 – „*Chromatische Raum-Lichtexposition hat Einfluss auf die subjektive Wahrnehmung von Körperfarben*“ – wurde bestätigt.

Die Ergebnisse zeigen, dass die chromatische Lichtexposition allgemein einen Einfluss auf das psychische Befinden von Studienteilnehmer(inne)n hat.

Betrachtet man nur die weiße Lichtsituation, so erhöhte sich auf der Skala „Wachheit – Müdigkeit“ die Wachheit nach der Exposition mit weißem Licht (vgl. Abb. 16). Die weiße Lichtsituation liegt im Bereich von Tageslichtweiß (6500 K), d. h. die verwendeten Leuchtstofflampen enthalten einen hohen spektralen Anteil an blauer Lichtfarbe. Studien in diesem Bereich beschreiben eine erhöhte Wachheit von Personen in Lichtexpositionen mit erhöhtem spektralem Blauanteil (z. B. Cajochen 2007). Dies bestätigt auch diese Studie. Bei Skala „Ruhe – Unruhe“ (vgl. Abb. 17, 18, 19) und Skala „Gute Stimmung – Schlechte Stimmung“ (vgl. Abb. 20) nahmen Ruhe und gute Stimmung ab, dies könnte auf den allgemeinen Einfluss der Studiensituation zurückzuführen sein.

Beim Vergleich der chromatischen Lichtbedingungen mit der weißen Lichtbedingung zeigten sich bei Cyan, Grün und Gelb signifikante Unterschiede:

Die Skala „Wachheit – Müdigkeit“ zeigte bei Cyan ein höheres Maß an Wachheit (vgl. Abb. 16). Auf der Skala „Ruhe – Unruhe“ blieben die Studienteilnehmer(innen) in Lichtexposition mit Cyan, Grün und Gelb annähernd gleich (vgl. Abb. 17, 18) und auf der Skala „Gute Stimmung – Schlechte Stimmung“ nahm die Stimmung leicht zu bzw. blieb gleich (vgl. Abb. 20).

Zusammenfassend könnte man sagen, dass Ruhe und gute Stimmung unter weißem Licht abnehmen und die Wachheit zunimmt.

Es zeigte sich ebenfalls, dass chromatische Lichtexposition die subjektive Wahrnehmung von Körperfarben beeinflusst. In dieser Studie bedeutete dies für die Studienteilnehmer(innen) Auswirkungen auf die Positionierung von Farbkärtchen nach ihrer subjektiv wahrgenommenen Helligkeit. Generell wurden die achromatischen Farbkärtchen von hell nach dunkel richtig eingestuft, und die chromatischen Farbkärtchen variierten systematisch bei der Einschätzung der Studienteilnehmer(innen).

Aus praktischer Sicht zeigte das Farb-Lichtexperiment die zu erwartenden funktionalen Grenzen im visuellen Bereich des Sehens auf, die diese Thematik mit sich bringt. Im Allgemeinen bestätigte diese Studie den erwarteten Einfluss von chromatischem Licht auf Oberflächenfarbe und bot für die Studienteilnehmer(innen) eine praxisnahe Gestaltungshilfe für Farbgestaltungen und Beschriftungen von Gebäuden unter chromatischen Lichtbedingungen. Die an der Versuchsreihe teilnehmenden Schüler(innen) erhielten ein Verständnis über die Zusammenhänge von chromatischem Licht und Körperfarbe. Sie können ihre gewonnenen Erfahrungen in diesem Bereich in der Praxis, dem Farbdesign künftig besser anwenden.

## ***Einfluss von chromatischem Licht in räumlichen Situationen auf Befindlichkeit und subjektive Farbempfindung von Studierenden***

In der ersten Versuchsreihe wurde untersucht, ob chromatische Lichtexposition bei längerem Aufenthalt in Räumlichkeiten die Befindlichkeit von Studienteilnehmer(inne)n beeinflussen kann und wie sich die subjektive Farbempfindung bei der Auswahl von Körperfarben verändert. Es zeigten sich signifikante Ergebnisse des momentanen Befindens zwischen der Situation vor und nach dem Versuch unter chromatischer Lichtexposition, welches einen Einfluss der Studienteilnehmer(innen) bestätigte.

Im folgenden Teil der Arbeit soll nun die Befindlichkeit der Studienteilnehmer(innen) in kurzer Lichtexposition untersucht werden. Dazu wird ein Fragebogen zur Befindlichkeit (MDBF) der Studienteilnehmer(innen) verwendet, der bereits im Vorversuch zur Anwendung kam. Zusätzlich kommt eine psychophysiologische Messmethode zum Einsatz, bei der die Herzratenvariabilität (HRV) gemessen wird. Diese dient dazu, eventuelle Zusammenhänge von chromatischem Licht auf Körper<sup>10</sup> und Befinden zu untersuchen. Unterstützt wurde diese Untersuchung durch das Institut für Human Research, mit einem EKG-Messgerät (ChronoCord) und der Berechnung der HRV-Indizes mit Hilfe von Matlab nach Task Force (Task Force of the ESC and NASPE 1996). Während des Versuchs wurden die Studienteilnehmer(innen)<sup>11</sup> nach ihrem subjektiven Farbempfinden von Architekturmodellen in chromatischen Lichtbedingungen befragt. Da sich aufgrund der veränderten Lichtbedingungen der Sehapparat auf die Gegebenheiten einstellt, wird vermutet, dass dadurch unsere Stimmung, welche die Wahrnehmung wesentlich bestimmt, stark beeinflusst wird. Diese subjektiven Veränderungen sollen anhand eines Raumeindrucksprofils (s. S. 56) aufgezeigt und miteinander verglichen werden.

Diese Versuchsreihe besteht aus drei Teilbereichen:

1. Psychologische Beobachtungen: Einfluss chromatischer Lichtexposition auf die Befindlichkeit.
2. Visuelle Beobachtungen: Einfluss chromatischer Lichtexposition auf die subjektive semantische Bewertung von Architekturmodellen.
3. Physiologische Beobachtung: Einfluss chromatischer Lichtexposition auf die kardial vegetative Aktivierung der Herzratenvariabilität.

### **Fragestellungen und Hypothesen**

Hauptfragestellung:

*Wirkt sich chromatische Lichtexposition auf die Befindlichkeit, die subjektive semantische Bewertung von Architekturmodellen und die kardial vegetative Aktivierung von Studienteilnehmer(inne)n aus?*

<sup>10</sup> Aktivierungsprozesse im Körper

<sup>11</sup> Architekturstudierende und Architekt(inn)en

### **Einfluss chromatischer Lichtexposition auf die Befindlichkeit.**

Hypothese 1: *Chromatische Raumbelichtung beeinflusst, bei einem kurzen Aufenthalt (acht Minuten) die Befindlichkeit von Studienteilnehmer(inne)n.*

### **Einfluss chromatischer Lichtexposition auf die subjektive semantische Bewertung von Architekturmodellen.**

Hypothese 2: *Chromatisches Licht hat einen Einfluss auf die Beurteilung des Raumeindrucks von Architekturmodellen.*

### **Einfluss chromatischer Lichtexposition auf die kardial vegetative Aktivierung der Herzratenvariabilität.**

Zeigt sich aufgrund chromatischer Lichtexposition ein Einfluss auf die HRV?

Hypothese 3.1: *Es zeigen sich Unterschiede in der kardial vegetativen Aktivierung (HRV) in Abhängigkeit mit der chromatischen Lichtexposition.*

Reagieren die Studienteilnehmer(inne)n einheitlich auf chromatisches Licht?

Hypothese 3.2: *Die Reaktionen auf HRV und Befinden der Studienteilnehmer(inne)n auf chromatisches Licht sind individuell unterschiedlich.*

falls Hypothese 3.2 zutrifft:

Hypothese 3.3: *Die Studienteilnehmer(inne)n können in spezifische Gruppen von Respondern eingeteilt werden. In Abhängigkeit von der mittleren Befindens-(Ruhe-)Reaktion auf chromatische Lichtexpositionen ergeben sich unterschiedliche Ausprägungen in den HRV-Kennwerten.*

## **Methode**

### **Versuchsdesign und Planung**

Die Untersuchung fand in einem eigens für das Experiment aufgebauten Raum im Büro des Raum & Lichtlabors des Instituts für Raumgestaltung der TU Graz statt. Hier wurden bei denselben Personen unter sechs verschiedenen chromatischen Lichtbedingungen, drei Untersuchungen durchgeführt: Bei der semantischen Untersuchung zur Raumcharakteristik von Architekturmodellen handelte es sich um ein abhängiges 6 x 3 Design mit einer Messwiederholung (vgl. Tab. 12), bei der Untersuchung der momentanen Befindlichkeit war es ein 1 x 8 Design (vgl. Tab. 13) und die Messungen zur Herzratenvariabilität ein 1 x 7 Design

(vgl. Tab. 14). Die Abfolge für das chromatische Licht wurde vorprogrammiert und randomisiert (vgl. Anhang Tab. 43, 44), um Reihenfolgeeffekte zu minimieren. Die Untersuchung fand in zwei zeitlichen Abläufen statt. Die Stichproben wurden zusammengefasst. Insgesamt nahmen an der Versuchsreihe 56 Personen teil (vgl. Tab. 11).

*Tabelle 11: unabhängige Variablen und Verteilung der Studienteilnehmer(innen)*

UV 1	Lichtsituation
UV 2	Architekturmodell
N	56 (54 listenweis gültig)

## Mess-, Gruppierungsgrößen und statistische Verfahren

**Unabhängige Variablen:** = Gruppengröße; UV

Die unabhängigen Variablen der Lichtsituationen sind 8-fach gestuft: in sechs chromatische Lichtsituationen, weißes Licht und „kein Licht“. Die Architekturmodelle sind 4-fach gestuft. Die Untersuchungsteilnehmer hielten sich insgesamt acht Minuten in jeder Lichtbedingung auf.

UV1: Lichtsituation<sup>12</sup>

UV 1.1: Chromatisches Licht CL: (6-fach gestuft)

1.1.1 Blau

1.1.2 Cyan

1.1.3 Grün

1.1.4 Gelb

1.1.5 Rot

1.1.6 Magenta

UV 1.2: Weißes Licht (WL)

UV 1.3: Kein Licht

UV2: Architekturmodell (M; 4-fach gestuft)

UV 2.1: M 1

UV 2.2: M 2

UV 2.3: M 3

UV 2.4: M 4

Modell 1 wird in der zweiten Versuchsreihe durch Modell 4 ersetzt (vgl. Tab. 15).

**Abhängige Variablen**<sup>13</sup> (AV Messgrößen):

Anhand der abhängigen Variablen sollen die Auswirkungen von chromatischen Lichtsituationen auf Befinden, Herzratenvariabilität und die subjektive semantische Bewertung von Architekturmodellen erhoben werden. In den folgenden Tabellen befindet sich eine Übersicht des vorliegenden Versuchs:

<sup>12</sup> CL Messwerte vgl. Tabelle 18: Messwerte zu den sechs Beleuchtungssituationen im Versuchsraum

<sup>13</sup> Skalenniveau: AV1 ordinal, AV2 metrisch, AV3 metrisch

AV1: semantische Bewertung von Architekturmodellen (20 Adjektivpaare; Ratingskala 1–7)

AV2: Befinden (MDBF Fragebogen: 3 Befindensdimensionen: Skala WH, RU, GS)

AV3: HRV (Herzratenvariabilität: 14 HRV Kennwerte)

*Tabelle 12: Versuchsplan semantische Bewertung (N = 32 bzw. 22)\**

AV 1: semantische Bewertung	UV 1: Lichtsituation; 6-fach gestuft	CL 1–6
	UV 2: Architekturmodell: Erste Stichprobe	M 1–3
	UV 2: Architekturmodell: Zweite Stichprobe	M 2–4

\* das erste Subsample von 32 Studienteilnehmer(inne)n beurteilte Modell 1,2,3, wobei ein zweites Subsample von 22 Personen Modell 2,3,4 beurteilte (vgl. Abb. 24)  
Zweifaktorielle Varianzanalyse (ANOVA) für Messwiederholungen (Modell bzw. Modell und Lichtsituation)

*Tabelle 13: Versuchsplan Befinden (N = 54)*

AV 2: Befinden	UV 1: Lichtsituation; 8-fach gestuft	CL 1–6; WL; „kein Licht“
----------------	--------------------------------------	-----------------------------

Einfaktorielle univariate Varianzanalyse (ANOVA) für Messwiederholungen (Messwiederholungsfaktor CL); 2-malige Testung mit nur CL bzw. mit WL und „kein Licht“.

*Tabelle 14: Versuchsplan HRV (N = 54)*

AV 3: HRV	UV 1: Lichtsituation; 7-fach gestuft	CL 1–6; „kein Licht“
-----------	--------------------------------------	-------------------------

Einfaktorielle univariate Varianzanalyse (ANOVA) für Messwiederholungen (Messwiederholungsfaktor CL); 2-malige Testung mit nur CL bzw. inkl. „kein Licht“.

## Versuchspersonen – Stichprobe

An diesem Versuch, der in zwei Teilen stattfand, nahmen insgesamt 56 Personen teil. Die Studienteilnehmer(innen) der ersten Versuchsreihe waren eine noch unerfahrene Gruppe von Architekturstudierenden der Technischen Universität Graz, Fakultät für Architektur, aus dem ersten Studienjahr Architektur 2009/10. Die Studie fand im Rahmen der Lehrveranstaltung „Gestalten und Entwerfen“ statt. Die erste Stichprobe bestand aus 19 weiblichen und 13 männlichen Studierenden zwischen 18 und 26 Jahren (MW = 22,12, SD = 6,5) und wurde im Sommersemester 2009/10 von 10. Mai bis 24. Juni 2010 während sieben Wochen durchgeführt. Die zweite Stichprobe fand im Wintersemester 2010/11, von 18. November bis 16. Dezember 2010 mit einer Gruppe von Architekturstudierenden am Ende ihres Studiums und mit Architekt(inn)en statt, einer Gruppe von Studienteilnehmer(inne)n, die bereits eine Sichtweise für Architektur und Raum entwickelt hat. Teilgenommen haben 9 weibliche und 13 männliche Personen im Alter zwischen 21 und 56 Jahren (MW = 28,95; SD = 9,06). Insgesamt nahmen 56 Personen an der Studie teil, 28 weibliche und 26 männliche im Alter zwischen 18 und 56 Jahren (MW = 24,78; SD = 8,24). Aus dieser Stichprobe wurden zwei Studienteilnehmer(inne)n aufgrund fehlerhafter Dateneingabe von der Untersuchung ausgeschlossen. Somit blieben für die Hauptuntersuchung 54 Personen.

## **Untersuchungsmaterial**

Vor Beginn der Studie wurde die Farbsichtigkeit der Studienteilnehmer(innen) mit dem Farbfehlsichtigkeitstest nach Ishihara überprüft, um eine eventuelle Farbsinnstörung auszuschließen (Ishihara 1980). Es mussten keine Studienteilnehmer(innen) aufgrund einer Farbfehlsichtigkeit ausgeschlossen werden. Eine schriftlich zu unterzeichnende Einverständniserklärung diente zur Information über den Zweck der Studie, die Verwendung der Daten und den Ablauf der Studie. Ebenso wurden sie über den Schutz der Daten aufgeklärt. Die Erklärung wurde von den Studienteilnehmer(inne)n unterschrieben und der ChronoCord angelegt. Im Anschluss waren von den Studienteilnehmer(inne)n Fragebögen auszufüllen, auf welche in weiterer Folge näher eingegangen wird.

## **Architekturmodelle**

Die Architekturmodelle für die Versuchsreihe entstanden in der Lehrveranstaltung „Gestalten und Entwerfen“ im Sommersemester 2009/10. Die Aufgabenstellung für die Studierenden lautete ein „Modell für ein Adjektiv“ zu bauen. Als Entwurfsgrundlage wurden die Adjektive „intim“, „fett“ und „zart“ ausgewählt, jeder Studierende bekam ein Adjektiv zugeteilt. Diese Adjektive wurden ausgewählt um möglichst große räumliche Unterschiede zwischen Größe, Dynamik und Raumstruktur für das vorliegende Experiment zu erreichen. Für den Modellbau gab es die Vorgabe eines maximalen Volumens von  $27 \text{ cm}^3$ , ausgehend von einem Würfel mit den Abmessungen  $30 \times 30 \times 30 \text{ cm}$  im Maßstab 1:10. Dazu wurde weißer Karton für den Modellbau verwendet. Für jedes Adjektiv wurden zehn Architekturmodelle entworfen. Nach Abgabe der Modelle wurden die am besten zutreffenden Adjektive zu den Entwürfen von den Studierenden evaluiert und für die Versuchsreihe ausgewählt.

In der zweiten Stichprobe wurde Modell 1 durch Modell 4 ersetzt, da durch seine Form und die Lage des Objektes im Versuchsraum in Kombination mit chromatischem Licht ein Effekt entstanden war. Das Objekt begann sich aufgrund seiner Form lt. Rückmeldungen von Studienteilnehmer(inne)n und Beobachtungen der Versuchsleiterin nach längerer Betrachtung mit dem Hintergrund zu verschmelzen. Eine derartige Interaktion zwischen Form und Lichtfarbe war für den Versuch nicht erwünscht.

Die entstandenen Architekturmodelle (vgl. Abb. 24) können wie folgt beschrieben werden: Modell 1 mit dem Entwurfsthema „zart“ könnte als amorphe, geschwungene, organische Form beschrieben werden. Modell 2 mit dem Entwurfsthema „intim“ wird als geometrische, klare, geradlinige Form beschrieben, dessen Seitenkanten leicht geöffnet sind. Modell 3 mit dem Entwurfsthema „fett“ ist eine amorphe, rundliche, geschlossene Form mit Einblicken. Modell 4 ist eine Verschneidung aus drei gleich großen Würfeln und kann als geometrische Form bezeichnet werden (vgl. Tab. 15).

Tabelle 15: Übersicht der Architekturmodelle

Nr.	Größe	Stichprobe 1	Stichprobe 2
1	37/32/22 cm; 26 cm <sup>3</sup>	N=32	-
2	29/29/29 cm; 24,4 cm <sup>3</sup>	N=32	N=22
3	43/30/22 cm; 28,4 cm <sup>3</sup>	N=32	N=22
4	19/36/36 cm; 24,6 cm <sup>3</sup>	-	N=22

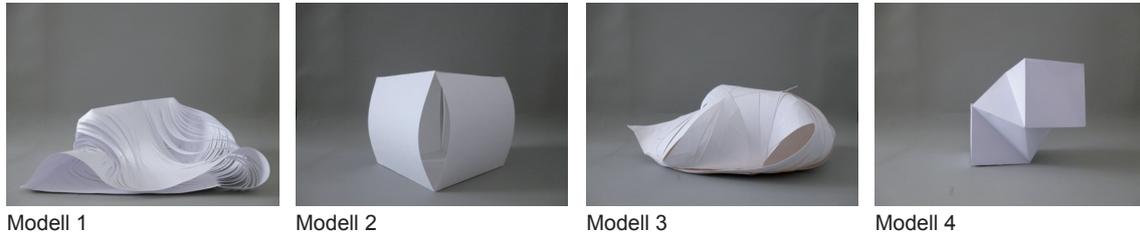


Abbildung 24: Architekturmodelle im Versuchsraum

## Der Mehrdimensionale Befindlichkeitsfragebogen (MDBF)

(s. S. 38)

### „Das Raumeindrucksprofil“ – Semantisches Differential

Das Semantische Differential ist eine Methode zur Messung von konnotativen Bedeutungen bzw. affektiven Qualitäten beliebiger Objekte und Begriffe (Bortz, Döring 2006). Es wurde von Osgood entwickelt und von Hofstätter (1957, 1977) für den deutschen Sprachraum adaptiert. Hier wird es als Polaritätenprofil oder Eindrucksdifferential bezeichnet. Ein Semantisches Differential besteht aus einer meist siebenstufigen Ratingskala mit bipolaren Adjektiven, welche sich innerhalb der Skala gegenüberstehen. Diese 20 bis 30 gegenpoligen Adjektive dienen zur Beurteilung und Einstufung eines Objekts oder Begriffs, z. B. „verspielt vs. ernst“. Aus den Beurteilungen der Studienteilnehmer(innen) entstehen Polaritätenprofile, die so miteinander verglichen werden können. Anhand einer Korrelationsrechnung lässt sich genau deren Ähnlichkeit bestimmen. Durch eine Faktorenanalyse der Adjektivpaare ergeben sich meist zwei bis vier Dimensionen, welche die genauen Zusammenhänge der Adjektive im „semantischen Raum“ beschreiben. In der Regel kommt ein dreidimensionales System mit den Dimensionen „Evaluation“ (Bewertung), „Potency“ (Macht) und „Activity“ (Aktivität) zur Anwendung, es wird auch als „EPA Struktur“ bezeichnet (Bortz, Döring 2006: 184–186).

Diese Technik wird nicht nur in psycholinguistischen Fragestellungen eingesetzt, sondern auch sehr oft in der empirischen Sozialforschung und in vielen Bereichen der psychologischen Forschung (Feger u. a. 1983: 155–221). Die Anwendung ist sehr vielfältig und kann auch speziell auf einen Kontext zugeschnitten werden (Franke, Bortz 1972). Von dieser Herangehensweise ausgehend untersuchte ein Forschungsvorhaben der Technischen Universität in Dresden 2006 die „Höhenwahrnehmung von Gebäuden“ (Kahl u. a. 2006). Das Ergebnis bestätigte, dass sich das semantische Differential als gutes Instrument zur Erfassung von Gebäudeeindrücken eignet.

Lt. Bortz, Döring (2006) „Forschungsmethoden und Evaluation“, erfassen kontextspezifische Polaritätenprofile erstrangig die denotativen Beziehungen von Objekten und führen deshalb zu anderen Ergebnissen als universelle Semantische Differentiale. Dies führte in der Forschung zur Diskussion, welche Art von Semantischem Differential vorzuziehen sei. Beispiele für die praktische Anwendung des Semantischen Differentials finden sich z. B. bei Rittelmeyer. Hier beurteilten ca. 200 Schüler und 100 Studierende ihre Klassen-, Seminarräume und Schulgebäude anhand von Bildern (Rittelmeyer 1994). Beispielsweise wird auch für die Grundlagenermittlung von Material und Farbplanungen die Methode des Semantischen Differentials vorgeschlagen (Meerwein u. a. 2007). Hier dient es zur Abklärung räumlicher Anmutungsqualitäten<sup>14</sup> und zur Erhebung von Ist-Zuständen und Zielvorstellungen von Farbplanungen.

### **Erstellung des Raumeindrucksprofils**

Um eine möglichst genaue Beschreibung der Modelle in den chromatischen Lichtsituationen zu erreichen, wurde ein konzeptspezifisches Polaritätenprofil erstellt. Dafür wurden 20 gegensätzliche Adjektivpaare ausgewählt (vgl. Tab. 16), welche Raum denotativ<sup>15</sup> beurteilen. Die bipolaren Adjektive wurden einem Skalensatz von (Hofstätter 1966) und (Reik, Skrandies 2006) entnommen (vgl. Anhang Tab. 46, 47). Es sollte ein Instrument für die Charakterisierung des Raumeindrucks von Architekturmodellen entstehen. Im Vordergrund für die Auswahl der bipolaren Adjektivpaare stand die Beschreibung von Architekturmodellen, die in künstlich erlebten Lichtsituationen evaluiert werden sollten. Wichtig war es, die Hauptbedeutung der Adjektive hervorzuheben. Aus diesem Grund wurden nur denotative Adjektive für die Kurzform ausgewählt und die eher unklaren Beschreibungen für die Architekturmodelle weggekürzt. Die Langform des Semantischen Differenzials ist konnotativ. Die für die Kurzform verwendeten Adjektivpaare stammen aus einem architektonischen Vokabular und können für die Beschreibung eines „Raumes“ herangezogen werden<sup>16</sup>.

---

<sup>14</sup> „Anmutungsqualität bezieht sich auf die psychologische Beziehung zwischen Mensch und Raum, auf das psychische, gefühlsmäßige Erleben des Raumes.“ (Meerwein u. a. 2007: 64)

<sup>15</sup> „Denotative Bedeutung bezeichnet die Verknüpfung von Vorstellungsbild (Image) und sprachlichem Zeichen. (Mit Bezug auf Staats 1968, wird denotative Bedeutung als der auf ein sprachliches Zeichen konditionierbare Teil der sensorischen ‚Reaktion‘ auf das (bezeichnete) Objekt aufgefasst). Insofern besteht zwischen der Dimension abstrakt/konkret und der denotativen Bedeutung von Zeichen ein enger Zusammenhang: abstrakte Wörter, d.h. solche ohne bezeichnete Objekte im Unterschied zu konkreten Wörtern, rufen keine Vorstellungsbilder hervor und weisen mithin keine denotative Bedeutung auf.“ (Feger u. a. 1983: 166)

<sup>16</sup> Für die bipolaren Adjektivpaare wurde eine Faktorenanalyse gerechnet. Jedoch war diese zu wenig aussagekräftig für die Beschreibung des Raumeindrucks. Da die einzelnen Adjektivpaare die Architekturmodelle besonders gut charakterisieren, wurde jedes für sich spezifisch betrachtet.

Tabelle 16: Auswahl der bipolaren Adjektivpaare aus den Skalen nach (Hofstätter 1966) und (Reik, Skrandies 2006).

1	verschwommen	klar	11	wild	sanft
2	großzügig	sparsam	12	leise	laut
3	verspielt	ernst	13	schnell	langsam
4	zurückhaltend	offen	14	klein	groß
5	kühl	gefühlvoll	15	schwer	leicht
6	friedlich	aggressiv	16	still	geräuschvoll
7	zerfahren	geordnet	17	bewegt	ruhig
8	nüchtern	verträumt	18	lebhaft	träge
9	streng	nachgiebig	19	freundlich	unfreundlich
10	robust	zart	20	kalt	warm

Originalskalen siehe Anhang

### Psychophysiologische Messungen – Die Herzratenvariabilität

Im Folgenden werden einige Grundbegriffe<sup>17</sup> und grundlegende physiologische Zusammenhänge beschrieben, um die physiologischen Prozesse im menschlichen Organismus und die Interpretation der HRV-Kennwerte verständlicher zu machen.

Das autonome Nervensystem reguliert die Funktionen, auf die wir bewusst kaum Einfluss nehmen können, z. B. Herzrätigkeit, Blutdruck, Atemtiefe, Atemfrequenz, Thermoreaktion, sensorische Eindrücke. Es steht in enger Verbindung mit dem Limbischen System, einem Areal im Großhirn, welches für die Vermittlung von Emotionen und Gefühlen zuständig ist. Eine Änderung der Herzfrequenz begleitet fast jeden Wechsel von physischen und psychischen Eindrücken. Sie ist häufig ein kardiovaskulärer Indikator für Beanspruchung und Erholung. Für Änderungen der Herzfrequenz sind sympathische und parasympathische Einflüsse verantwortlich. Der Sympathikus erhöht im Allgemeinen die Leistungsbereitschaft des Organismus. Wenn er dominiert, ist z. B. die Atem-Herzfrequenz erhöht, die Pupillen sind geweitet und der Großteil des Blutes strömt in Muskulatur, Gehirn und Lunge. Dies bedeutet eine erhöhte momentane Leistungsfähigkeit des Organismus. Der parasympathische Einfluss dominiert, wenn der Organismus auf Ruhe eingestellt ist, z. B. wenn sich die Herz-Kreislauf-aktivität verlangsamt.

Bei der Messung des autonomen Nervensystems ist die Herzrate eine der wichtigsten Größen eines komplexen Netzwerks an dem Herz, Kreislauf, Atmung, Temperatur, Stoffwechsel und psychomentele Einflüsse beteiligt sind. Für die Beschreibung der Aktivität des autonomen Nervensystems wird die Momentanherzrate analysiert. Die Erregungsabläufe im Herz werden mit einem Elektrokardiogramm (EKG) aufgezeichnet und die darin enthaltenen „Zacken“ zu Intervallen mit einer bestimmten Dauer zusammengefasst. Die empfohlene Mindestdauer für die Auswertung einer Messung beträgt fünf Minuten. Von den Werten, die vom Messgerät gemessen werden können, wurden für die statistischen Auswertungen 14 Parameter (AV) ausgewählt und für die Auswertung herangezogen. Diese Daten beschreiben das kardial vegetative System.

<sup>17</sup> „Die Psychophysiologie ist der Zusammenhang zwischen menschlichem Verhalten unter Einbeziehung der physiologischen Reaktionsebenen.“ (Gramann, Schandry 2009)

Die Parameter der HRV-Kennwerte können in Frequenz- und Zeitbereichen berechnet werden. Für die Frequenzanalyse wird der Herzschlag in Abschnitte unterteilt und durch eine Fouriertransformation vom Zeitbereich in den Frequenzbereich gebracht. Durch die Transformation wird das gesamte Signal in Sinusschwingungen zerlegt und gibt die Frequenzanteile wieder. Diese Frequenzbereiche unterteilen sich in low frequency (LF), high frequency (HF), very low frequency (VLF) Bereiche und eine Gesamtvariabilität (TOT). Die HRV-Parameter<sup>18</sup> können somit inhaltlich grob nach ihrer physiologischen Bedeutung eingeteilt werden. Sie bestehen aus Basiswerten (Herzrate bzw. RR-Intervalle und Atemfrequenz), Erholungswerten/vagotonen Werten (lnHFrr, lnHFhf, SD1, logRSA), Aktivierungswerten/sympathischen Kennwerten (lnLFrr, lnVLF, VQ), koordinativen Kennwerten (QPA) und Werten für die Gesamtvariabilität (TOT, SDNN, SD2) (Grote u. a. 2011; Task Force of the ESC and NASPE 1996).

### **Das Messgerät – Der ChronoCord**

Das Messgerät erstellt ein einkanaliges Langzeit-EKG des/der Untersuchungsteilnehmer(in)s und bietet eine nicht invasive Methode zur Messung der Herzratenvariabilität. Das Gerät hat die Größe einer Zigarettenschachtel und kann am Gürtel befestigt werden. Drei Klebeelektroden werden jeweils an Brust und Oberkörper des/der Studienteilnehmer(in)s angebracht. Dabei werden die Herzfrequenz und atemungskorrelierte Parameter aufgezeichnet. Durch die Messwerte können Stress- und Erholungsphasen ermittelt werden. Es kann weiters Aufschluss über Aktivitätslevel und Regenerationsfähigkeit im zeitlichen Verlauf einer Person geben. Aktuelle Einsatzgebiete des Gerätes sind Arbeitsmedizin, Sport, Schlafforschung, Gesundheitsvorsorge, Präventivmedizin, Stressdiagnostik und Lichtforschung (Grote u. a. 2011).

### **Beschreibung der Raum-Lightsituation und Prüfmittel**

Der Büroraum, in dem der Versuch stattfand, hat zwei Kastenfenster (1,50 x 3,30 m) mit der Möglichkeit zur Verdunkelung, eine Türe, und ein Fenster mit Blick in das Raum & Lichtlabor. Die Abmessungen des Raumes sind 6,75 x 5,45 m mit einer Höhe von 4,20 m (+0,22 m Stichbogen). Die Einrichtung besteht aus vier Schiebekästen, zwei Schreibtischen und zwei Bürostühlen. Für die Studienteilnehmer(innen) stand zusätzlich ein Tisch mit Sessel zum Anlegen der Klebeelektroden und Ausfüllen der Fragebögen zur Verfügung. Die Raumbelichtung besteht aus vier abgependelten Rasterleuchten (vgl. Tab. 17) bestückt mit Leuchtstofflampen, deren Farbtemperatur 4000 K beträgt. Zusätzlich gelangt durch zwei Fenster natürliches Tageslicht in den Büroraum, ein Fenster wurde verdunkelt, um für die Studienteilnehmer(innen) eine ungestörte Situation herzustellen. Die durchschnittlich gemessene Beleuchtungsstärke am Tisch der Studienteilnehmer(innen) betrug 500 lx (bewölkter Himmel).

---

<sup>18</sup> Detaillierte Beschreibung der HRV-Parameter siehe Anhang.

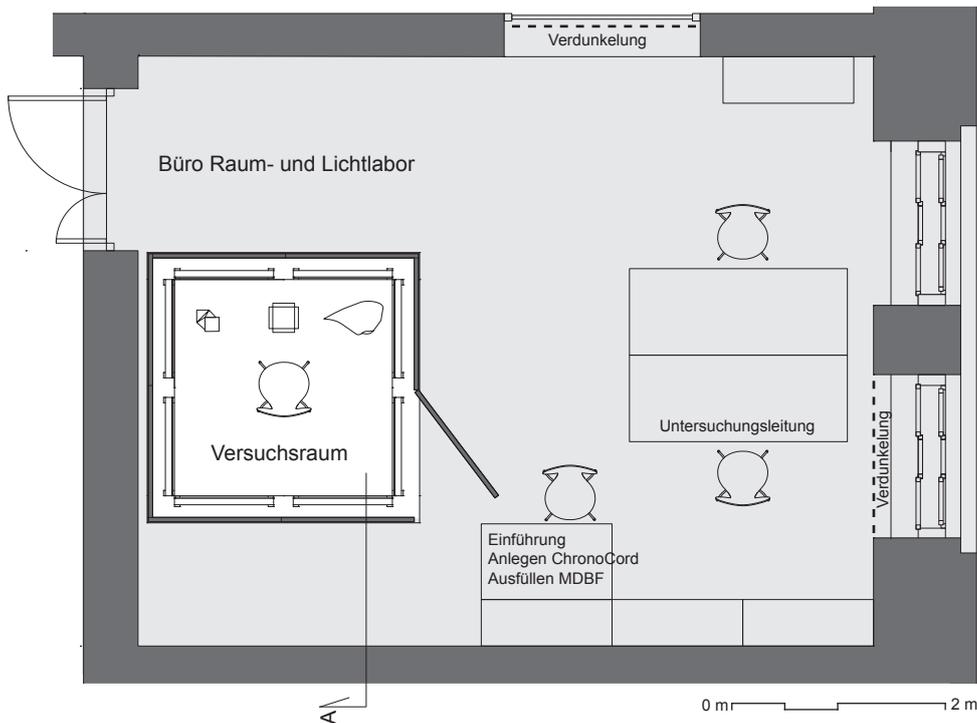


Abbildung 25: Grundriss: Raumsituation mit Versuchsraum

Der Versuchsraum mit den Außenmaßen von 2,50 x 2,50 m und einer Höhe von 2,50 m ist durch eine Türe betret- und verschließbar und befindet sich innerhalb des Büros. Der Versuchsraum wurde mit acht RGB-LED Leuchten (vgl. Tab. 17) für die Herstellung der sechs chromatischen Lichtbedingungen ausgestattet. Um eine gleichmäßige Ausleuchtung zu erreichen, wurden jeweils zwei Leuchten pro Wand am Boden befestigt. Die Einrichtung bestand aus einem Podest mit 10 cm Höhe, einem Sessel und drei Architekturmodellen, die in einer Höhe von 70 cm (ab Podest gemessen) mit einem Nylonfaden von der Decke abgehängt waren. Fußboden, Wände und Decke waren mit weißer Innendispersion gestrichen. Für die Erzeugung der chromatischen Lichtbedingungen (Blau, Cyan, Grün, Gelb, Rot, und Magenta) wurde das mögliche Maximum der LED-Strahler verwendet (vgl. Tab. 19), gemessen wurden die lichttechnischen Werte und ihre Verhältnisse zueinander (vgl. Tab. 18, 20). Die Farborte sind im CIE Diagramm 1976 u'v' in Abb. 27 dargestellt, die spektrale Zusammensetzung der sieben chromatischen Lichtsituationen zeigt Abb. 28. Die Abfolge der chromatischen Lichtbedingungen wurde für die Studienteilnehmer(innen) randomisiert.

Tabelle 17: Technische Beschreibung der Leuchten

Bürobeleuchtung allgemein	Beleuchtung im Versuchsraum
Zumtobel Rasterleuchte abgependelt 4 Stück Miral T16 FAL Raster Weiß mit je 2 x 49 W T16 Leuchtstofflampe: Master TL5 49 W/840 H0 Philips	XAL Außenleuchten 8 Stück STILA 915 LED RGB symmetrisch, Aluminium mit je 30 x 1,1W 2 x 3 DMX ADR. 110-240V LEDs mit Linsenoptik und Ausstrahlwinkel 6 x 25° Steuerung über DMX Interface Länge: 915 mm

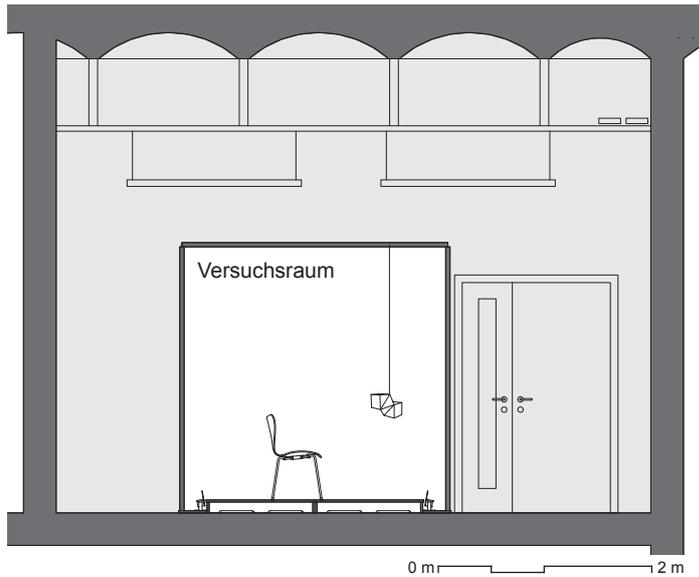


Abbildung 26: Schnitt A: Raumsituation mit Versuchsraum

Tabelle 18: Messwerte zu den sechs Beleuchtungssituationen im Versuchsraum

Chromatische Lichtsituation <sup>19</sup>	CIE System 1931	CIE System 1976		Wellenlänge nm	Excitation Purity (%)	
		x	y			u'
1 Blau	0,1431	0,0597	0,1669	0,1566	458,88	98,64
2 Cyan	0,1861	0,2092	0,1449	0,3664	472,97	64,04
3 Grün	0,314	0,6546	0,1228	0,5761	544,86	92,13
4 Gelb	0,5429	0,446	0,2988	0,5524	582,2	96,67
5 Rot	0,6922	0,3065	0,523	0,5211	628,35	99,62
6 Magenta	0,3263	0,1415	0,3226	0,3148	549,63	78,34

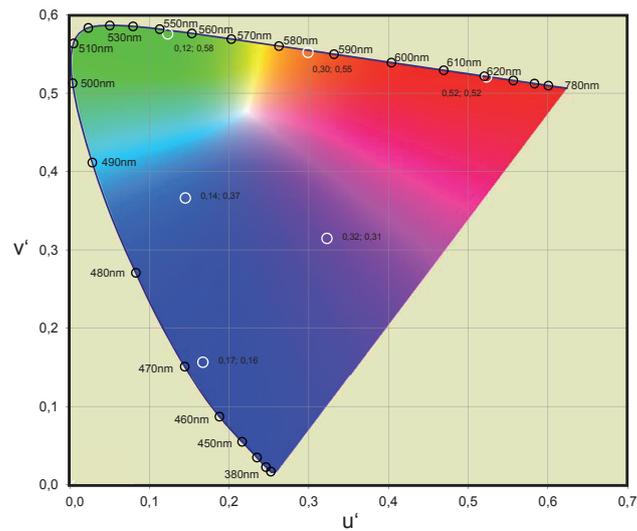


Abbildung 27: Farborte der sechs chromatischen Lichtbedingungen im Versuchsraum, dargestellt im CIE Diagramm 1976  $u'v'$

<sup>19</sup> Messinstrument: Chromameter CS-200; Messpunkt: h=121 cm, von rechts 111cm.

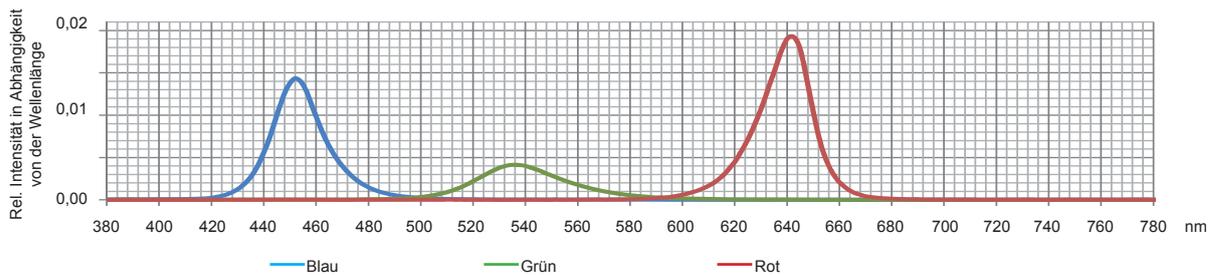


Abbildung 28: Spektrale Energieverteilung der Leuchte STILA 915 LED RGB

### Auswirkungen einer Messgröße auf chromatisches Licht

Um die Einflussgröße der Helligkeit zu überprüfen, wurden die radiometrischen, photometrischen und circadianen Messgrößen herangezogen. Ein Zusammenhang zwischen den gemessenen Werten und der HRV (vgl. Tab. 19, 20, 21) wurden überprüft. Eine Berechnung des Zusammenhanges von Befindlichkeit und Helligkeit war nicht notwendig, da z. B. die chromatischen Lichtsituationen Blau und Gelb auf den Skalen annähernd gleich bewertet wurden und deshalb kein Unterschied erkennbar war. Die Auswertung der Daten zwischen HRV und Helligkeit ergaben wenig Zusammenhang. Auch bei näherer Betrachtung der Tageszeiten, welche als lichtsensitiv gelten, ließ sich kein Zusammenhang belegen.

Tabelle 19: Radiometrische, photometrische und circadiane Messwerte im Versuchsraum

Chromatische Lichtsituation <sup>20</sup>		Radiometrisch (energetisch)		Photometrisch $v(\lambda)$ (visuell)		Circadian $c(\lambda)$	
		Le [W/(sr*m <sup>2</sup> )]	Ee [W/m <sup>2</sup> ]	Lv [cd/m <sup>2</sup> ]	Ev [lx]	Eec [W/m <sup>2</sup> ]	$a_{cv}$
1	Blau	0,37	1,27	14,94	52,50	1,201	15,627
2	Cyan	0,56	1,90	121,80	422,00	1,322	2,141
3	Grün	0,18	0,63	106,50	366,00	0,118	0,221
4	Gelb	0,70	2,38	184,40	620,00	0,119	0,132
5	Rot	0,50	1,76	72,24	253,00	0,001	0,004
6	Magenta	0,88	3,04	89,41	309,00	1,208	2,667

L= Leuchtdichte; E= Beleuchtungsstärke;  $a_{cv}$  = Circadian Action Factor; Le (380 - 780nm); Ee (350 - 1000nm)

<sup>20</sup> Messinstrument: Spectro-Radiometer (JETI specbos 1211)

Tabelle 20: Abstimmung der lichttechnischen Messwerte und ihre Verhältnisse zueinander im Versuchsraum

Chromatische Lichtsituation		Energetische Abstimmung	v(λ) Abstimmung	c(λ) Abstimmung
1	Blau	2,0	1,0	1201
2	Cyan	3,0	8,0	1322
3	Grün	1,0	7,0	118
4	Gelb	3,8	11,8	119
5	Rot	2,8	4,8	1
6	Magenta	4,8	5,9	1208

Reihung der lichttechnischen Werte nach energetischer, visueller und circadianer Abstimmung

Tabelle 21: Abhängigkeit von Helligkeit und HRV-Berechnung der Gesamtwerte (Korrelationen nach Spearman)

HRV			Radiometrisch (energetisch)	Photometrisch v(λ) (visuell)	Circadian c (λ)	acv
Vagus	lnHFrr	Korrelationskoeffizient	-.035	-.033	-.005	-.004
		p-Wert	.531	.526	.924	.946
	logRSarr	Korrelationskoeffizient	-.034	-.023	.004	.013
		p-Wert	.541	.660	.940	.811
	pp8*	Korrelationskoeffizient	-.037	-.097	-.011	.011
		p-Wert	.502	<b>.058<sup>(*)</sup></b>	.846	.850
	SD1	Korrelationskoeffizient	-.024	-.028	.013	.018
		p-Wert	.663	.592	.812	.749
Vagus / Sympathikus	lnLFrr	Korrelationskoeffizient	.002	-.018	.031	.019
		p-Wert	.971	.726	.579	.734
Sympathikus	HR	Korrelationskoeffizient	.008	.024	-.015	-.019
		p-Wert	.892	.640	.790	.729
	lnVLFrr	Korrelationskoeffizient	.107	-.001	.072	.012
		p-Wert	<b>.055<sup>(*)</sup></b>	.981	.193	.831
	RR	Korrelationskoeffizient	-.008	-.024	.015	.019
		p-Wert	.892	.640	.790	.729
	SD2	Korrelationskoeffizient	-.013	-.041	.033	.038
		p-Wert	.819	.426	.555	.494
	VQrr	Korrelationskoeffizient	.071	.039	.058	.023
		p-Wert	.202	.447	.296	.673
Regulativ / Atmung	ATMFrSa	Korrelationskoeffizient	-.041	.128	.025	.053
		p-Wert	.462	<b>.013<sup>**</sup></b>	.651	.343
	QPArSa	Korrelationskoeffizient	.030	-.071	-.033	-.056
		p-Wert	.592	.167	.555	.316
Gesamt Variabilität	lnTOTrr	Korrelationskoeffizient	.053	-.009	.052	.011
		p-Wert	.343	.865	.348	.838
	SDNN	Korrelationskoeffizient	-.013	-.035	.034	.034
		p-Wert	.822	.495	.548	.544

\* Circadian Action Factor: acv = circadiane Lichtwirkung/visuelle Helligkeitwirkung (Gall, Lapuente 2002)

## Versuchsdurchführung

Der Versuch wurde im Büro des Raum & Lichtlaborlabors, Institut für Raumgestaltung der TU Graz durchgeführt. Die erste Stichprobe fand mit 36 Studienteilnehmer(inne)n im Zeitraum von 10. Mai bis 24. Juni 2010 statt, die zweite Stichprobe mit 20 Studienteilnehmer(inne)n von 18. November bis 16. Dezember 2010.

Zu Beginn der Versuchsreihe wurde die Farbsichtigkeit der/die Studienteilnehmer(in) vorab mit Hilfe der Ishihara Farbtafeln überprüft (Ishihara 1980), um eine ev. Farbfehlsichtigkeit auszuschließen. Es musste keine Versuchsperson ausgeschlossen werden. Vor dem Start des Versuchs wurden den Studienteilnehmer(inne)n die Vorbedingungen zum Experiment erklärt und eine schriftliche Einverständniserklärung (vgl. Anhang) unterschrieben. Weiters wurden die Klebeelektroden für den ChronoCord angelegt, die zur Messung der Herzratenvariabilität während des gesamten Versuchs dienten. Die Versuchsreihe startete mit einem Befindlichkeitsfragebogen zur Auskunft über das momentane Befinden der Studienteilnehmer(innen), und Fragen zu Alter und Geschlecht. Es folgten acht Minuten im Versuchsraum in einer chromatischen Lichtsituation, in der die Studienteilnehmer(innen) drei Modelle mit folgender Aufgabenstellung anhand angeführter Eigenschaften charakterisierten: *„Stellen Sie sich vor, Sie befinden sich in diesem Objekt, und charakterisieren Sie den Raum anhand der angeführten Eigenschaften.“* Danach wurde außerhalb des Versuchsraumes ein Fragebogen zur Befindlichkeit nach der Farblichtsituation ausgefüllt. Dazu stand ein Zeitfenster von drei Minuten zur Verfügung. Diese Abfolge fand in drei verschiedenen chromatischen Lichtsituationen statt. Es folgten zehn Minuten Entspannung im Versuchsraum ohne Licht. Anschließend fand eine weitere Abfolge mit drei chromatischen Lichtsituationen statt. Der Versuch dauerte insgesamt 100 Minuten. Der Aufenthalt im Farblichttraum wurde von jedem/r Studienteilnehmer(in) einzeln erlebt. Ablauf und Aufgabenstellungen waren gleich, nur die Farbreihenfolge wurde variiert. Erst am Ende des Versuchs wurden den Studienteilnehmer(inne)n die Klebeelektroden wieder abgenommen.

**Tabelle 22: Ablauf der Untersuchung**

<b>Zeitpunkt</b>	<b>Zeitlicher Ablauf der Untersuchung</b>	<b>Dauer</b>	<b>Raum</b>	<b>Lichtsituation</b>
1	Begrüßung, Einverständniserklärung, Anlegen der Elektroden/HRV Messung	5 min	Außen	weiß
2	Fragebogen MDBF	3 min	Außen	weiß
3	Semantisches Differential: Bewertung von drei Architekturmodellen*	8 min	Innen	chromatisch
4	Fragebogen MDBF	3 min	Außen	weiß
5	Semantisches Differential: Bewertung von drei Architekturmodellen*	8 min	Innen	chromatisch
6	Fragebogen MDBF	3 min	Außen	weiß
7	Semantisches Differential: Bewertung von drei Architekturmodellen*	8 min	Innen	chromatisch
8	Fragebogen MDBF	3 min	Außen	weiß
9	Entspannung / Referenz	15 min	Innen	Kein Licht
10	Fragebogen MDBF	3 min	Außen	weiß
11	Semantisches Differential: Bewertung von drei Architekturmodellen*	8 min	Innen	chromatisch
12	Fragebogen MDBF	3 min	Außen	weiß
13	Semantisches Differential: Bewertung von drei Architekturmodellen*	8 min	Innen	chromatisch
14	Fragebogen MDBF	3 min	Außen	weiß
15	Semantisches Differential: Bewertung von drei Architekturmodellen*	8 min	Innen	chromatisch
16	Fragebogen MDBF	3 min	Außen	weiß
17	Nachbesprechung, Ablegen der Elektroden/HRV Messung, Verabschiedung	8 min	Außen	weiß
	Gesamtdauer	100 min		

\* Reihenfolge der Architekturmodelle siehe Tab. 15.

## Ergebnisse

In folgendem Abschnitt werden die Ergebnisse der Versuchsreihe beschrieben und anhand von Tabellen und Abbildungen dargestellt. Die signifikanten Ergebnisse wurden in vier Stufen eingeteilt: (\*)  $p < .10$  = tendenziell signifikant; \*  $p < .05$  = signifikant; \*\*  $p < .01$  = sehr signifikant; \*\*\*  $p < .001$  = hochsignifikant.

Der Ergebnisteil besteht aus vier Teilen:

1. Einfluss chromatischer Lichtexposition auf die Befindlichkeit (MDBF)
2. Einfluss chromatischer Lichtexposition auf die subjektive semantische Bewertung von Architekturmodellen (Raumeindruck)
3. Einfluss chromatischer Lichtexposition auf die kardial vegetative Aktivierung der Herzratenvariabilität (HRV)
4. Berücksichtigung der Zusammenhänge von Befindlichkeitsreaktionen (MDBF) und HRV-Indikatoren in chromatischer Lichtexposition (MDBF + HRV)

Für die Auswertung der Analyse des Befindlichkeitsfragebogens wurde eine multivariate Varianzanalyse lt. Manual (Steyer u. a. 1997) gerechnet. Die sieben Faktorstufen, bestehend aus sechs chromatischen Lichtsituationen und „kein Licht“ wurden, jede einzeln, durch einen Post-Hoc-Test (LSD) miteinander verglichen.

Für die Auswertung der Testergebnisse aus der bipolaren Ratingskala des Raumeindrucksprofils wurden zuerst beide Stichproben zusammenfassend, und in einem weiteren Schritt jede Stichprobe für sich, betrachtet. Die aus den Beurteilungen der Studienteilnehmer(innen) entstehenden Polaritätenprofile konnten so für jede chromatische Lichtsituation miteinander verglichen werden.

Zur statistischen Auswertung der Ergebnisse aus der HRV-Messung wurden 14 Parameter herangezogen, welche die kardial vegetative Aktivierung beschreiben. Diese bestehen aus Basiswerten (Herzrate bzw. RR-Intervalle und Atemfrequenz), Erholungswerten/vagotonen Werten (lnHFrr, lnHFhf, SD1, logRSA), Aktivierungswerten/sympathischen Kennwerten (lnLFrr, VQ, lnVLF), koordinativen Kennwerten (QPA) und Werten für die Gesamtvariabilität (TOT, SDNN, SD2).

Abschließend wurden die Zusammenhänge von Befindlichkeitsreaktionen und HRV-Indikatoren in chromatischen Lichtexpositionen berücksichtigt. Ausgewählt wurden für die Berechnung nur jene Messgrößen aus Befinden und HRV, welche potentielle Reaktionen auf Licht zeigten.

Ergebnisse zu 1)

### **Einfluss chromatischer Lichtexposition auf die Befindlichkeit.**

Hypothese 1: *Chromatische Raumbelichtung beeinflusst bei einem kurzen Aufenthalt (acht Minuten) die Stimmung/Befindlichkeit von Studienteilnehmer(inne)n.*

Für die Auswertung der Analyse des Befindlichkeitsfragebogens wurde eine multivariate Varianzanalyse gerechnet. Die Signifikanzen wurden in vier Stufen eingeteilt. Bei den gewählten sieben Faktorstufen (bestehend aus den sechs chromatischen Lichtsituationen und „kein Licht“), hat die Lichtsituation allgemein einen signifikanten Einfluss auf das momentane Befinden (N = 50; MANOVA für Messwiederholungen:  $F_{\text{multivariat}}=2.36$ ,  $p=.016^*$ ). Bei differenzierter (univariater = ANOVA) Betrachtung der Innersubjekteffekte zeigt sich ein Effekt der Lichtsituationen auf der Skala „Wachheit – Müdigkeit“ ( $F=4.596$ ,  $p=.000^{**}$ ) und der Skala „Ruhe – Unruhe“ ( $F=3.603$ ,  $p=.001^{**}$ ), aber nicht auf die Skala „Gute Stimmung – Schlechte Stimmung“ ( $F=1.607$ ,  $p=.132$ ).

Als Referenz zum Vergleich des Befindens in chromatischen Lichtbedingungen wurde „kein Licht“ als Kontrollbedingung eingeführt. Die Annahme, dass bei der Bedingung „kein Licht“ die subjektive Wachheit markant niedriger ausgeprägt ist, wurde im Post-Hoc-Test für alle chromatischen Lichtbedingungen bestätigt [„kein Licht“ vs. Gelb ( $p=.000^{***}$ ); „kein Licht“ vs. Grün ( $p=.001^{**}$ ); „kein Licht“ vs. Cyan ( $p=.000^{***}$ ); „kein Licht“ vs. Blau ( $p=.001^{**}$ ); „kein Licht“ vs. Magenta ( $p=.003^{**}$ ); „kein Licht“ vs. Rot ( $p=.001^{**}$ )] (vgl. Abb. 29). Die subjektive Wachheit steigt beim Vergleich mit der Stimmung unter „kein Licht“ signifikant an, wobei Gelb und Cyan deskriptiv die höchste Wachheitsausprägung zeigen. Vor allem bei der Bedingung „kein Licht“ ist die subjektive Wachheit markant niedriger ausgeprägt. Die Studienteilnehmer(innen) fühlten sich eher müde und schläfrig, aber auch am ruhigsten. Auf der Skala RU wirkte sich die Lichtsituation Blau ähnlich auf die Studienteilnehmer(innen) aus. Sie unterschied sich v. a. von Magenta ( $p=.005^{**}$ ) und Rot ( $p=.026^*$ ) [„kein Licht“ vs. Gelb ( $p=.045^*$ ); „kein Licht“ vs. Cyan ( $p=.038^*$ ); „kein Licht“ vs. Magenta ( $p=.001^{**}$ ); „kein Licht“ vs. Rot ( $p=.003^{**}$ )] (vgl. Abb. 30). Bei Betrachtung der Skala GS ist unter „kein Licht“ und blauem Licht die Stimmung gleichbleibend gut. Sie wird jedoch schlechter unter magentafarbenem Licht (Magenta vs. „kein Licht“  $p=.043^*$ ; Magenta vs. Blau  $p=.044^*$ ) und rotem Licht (Rot vs. „kein Licht“  $p=.078^{(*)}$ , Rot vs. Blau  $p=.084^{(*)}$ ) (vgl. Abb. 31).

Durch einen Post-Hoc-Test (LSD) wurden die einzelnen Lichtsituationen miteinander verglichen. Dabei zeigten sich signifikante Unterschiede<sup>21</sup> zwischen den Lichtfarben ( $p<.05$ ):

<sup>21</sup> z-Werte transformiert: 0 = wie Referenzstichprobe; 1 = eine Standardabweichung.  
z-Transformation siehe Referenzwerte lt. Manual MDBF (N = 503), (Steyer u. a. 1997)

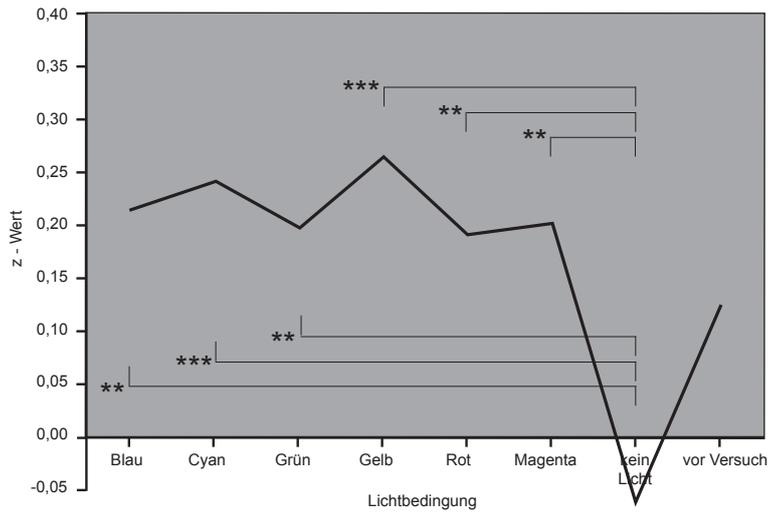


Abbildung 29: Skala Wachheit – Müdigkeit (WM)

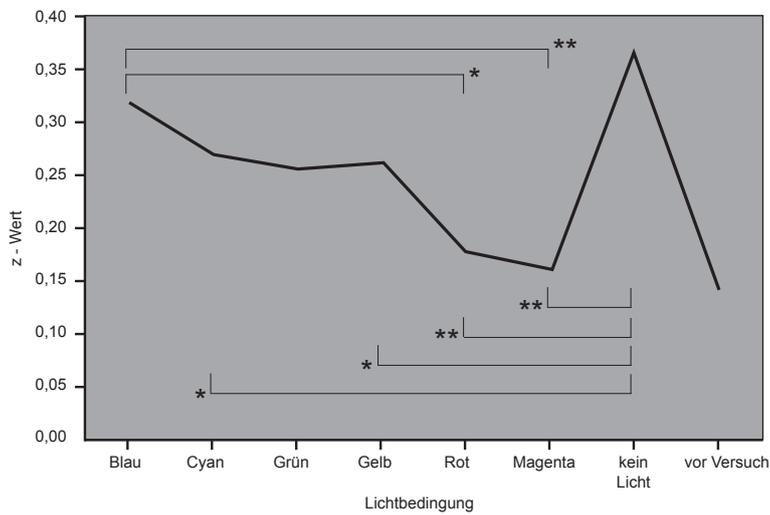


Abbildung 30: Skala Ruhe – Unruhe (RU)

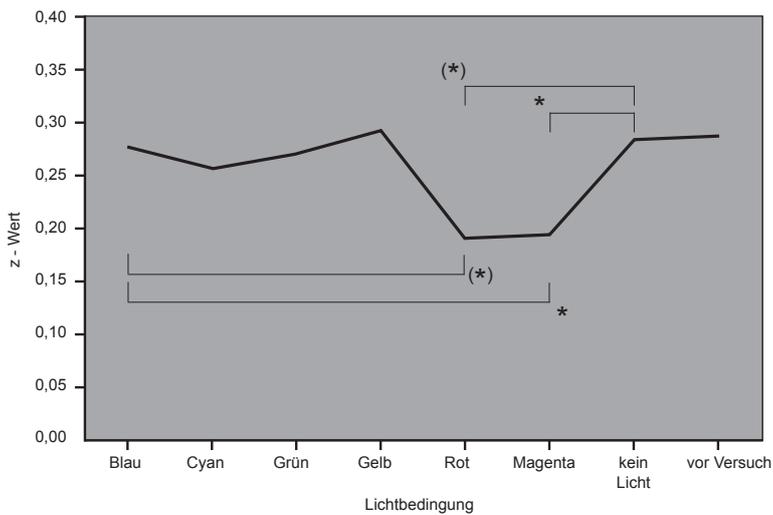


Abbildung 31: Skala Gute Stimmung – Schlechte Stimmung (GS)

Konzentriert man sich im Berechnungsmodell auf die sechs chromatischen Lichtsituationen als Faktorstufen, zeigen sich bei multivariater Analyse keine signifikanten Befindensunterschiede ( $F_{\text{multivariat}}=1.527$ ,  $p=.146$ ). Bei differenzierter univariater Betrachtung wird die Skala „Ruhe – Unruhe“ jedoch tendenziell signifikant ( $F=1.973$ ;  $p=.083^{(*)}$ ). Wogegen sie auf der Befindensskala „Wachheit – Müdigkeit“ und „Gute Stimmung – Schlechte Stimmung“ nicht zwischen den einzelnen chromatischen Lichtsituationen differenzieren.

Durch den Post-Hoc-Test (LSD) wurden die einzelnen Lichtsituationen in der Skala RU miteinander verglichen (vgl. Abb. 32). Dabei hat sich gezeigt, dass die blaue Lichtsituation beruhigender als Magenta ( $p=.017^*$ ) und Rot ( $p=.006^{**}$ ; mittlere Differenz:  $-0,15$ ) auf die Studienteilnehmer(innen) wirkten.

Auch bei der Überprüfung der Differenzwerte zu „kein Licht“ bleibt das Ruheempfinden unter chromatischer Lichtexposition konsistent (vgl. Abb. 33). Die Lichtfarbe Blau (vs. Rot  $p=.017^*$  und vs. Magenta  $p=.006^{**}$ ) sticht hier als besonders beruhigend hervor.

In Abbildung 32 und 33 bedeuten positive (+) Werte, dass die Studienteilnehmer(innen) innerlich ruhiger und gelassener waren, als beim Vergleichswert, bzw. bei negativen (-) Werten unruhiger, angespannter und nervöser waren.

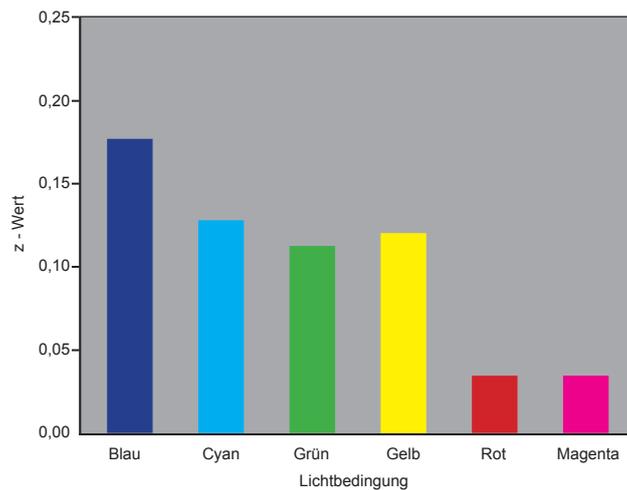


Abbildung 32: Skala „Ruhe – Unruhe“ (RU); Differenz zu „Stimmung vor Versuch“ unter WL

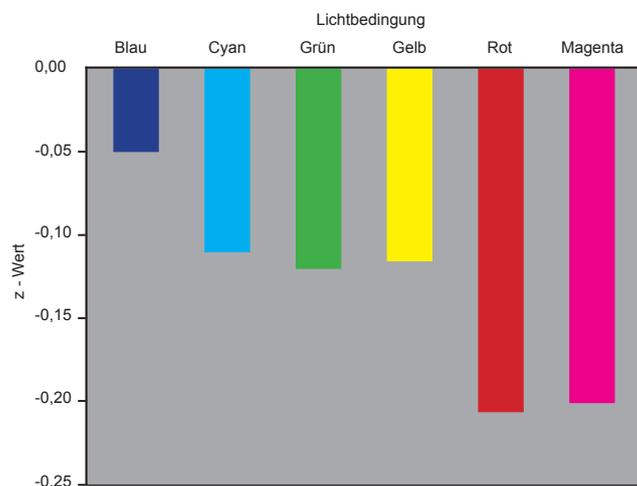


Abbildung 33: Skala „Ruhe – Unruhe“ (RU); RU-Differenz zu „kein Licht“

**Zusammenfassung:**

Hypothese 1 – „*Chromatische Raumbelichtung beeinflusst, bei einem kurzen Aufenthalt (acht Minuten), die Stimmung/Befindlichkeit von Studienteilnehmer(inne)n.*“ – hat sich bestätigt.

Die Ergebnisse zeigen, dass die chromatische Lichtexposition allgemein einen Einfluss auf das psychische Befinden von Studienteilnehmer(inne)n hat. Bei detaillierter Betrachtung wird auf der Skala „Wachheit – Müdigkeit“ ein klarer Unterschied zwischen „kein Licht“ und den chromatischen Lichtsituationen sichtbar. Dabei wurde „kein Licht“ als Referenzwert eingeführt. In der Situation „kein Licht“ fanden keine Modellbeurteilungen statt, sondern die Studienteilnehmer(innen) sollten sich entspannen. Durch diese Situation konnte der Referenzwert klar bestätigt werden: Das Ergebnis zeigt eine hohe Ausprägung in den chromatischen Lichtbedingungen und eine niedrige Ausprägung bezüglich der Wachheit bei „kein Licht“. Eine weitere Erklärung für dieses Ergebnis wären auch die unterschiedlichen Helligkeitsverhältnisse zwischen „kein Licht“ und chromatischem Licht, die bei den Studienteilnehmer(inne)n zu erhöhter Wachheit führten.

Auf der Skala „Ruhe – Unruhe“ zeigt sich ebenfalls sehr gut der Einfluss der chromatischen Lichtexposition: „kein Licht“ als Referenzwert wurde als besonders beruhigend eingestuft. Das Ergebnis ist hier deshalb von besonderem Interesse, da sich die Studienteilnehmer(innen) unter blauer Lichtexposition innerlich ruhiger und gelassener fühlten als mit überwiegendem Rotanteil.

Ergebnisse zu 2)

## **Einfluss chromatischer Lichtexposition auf die subjektive semantische Bewertung von Architekturmodellen**

Hypothese 2: *Chromatisches Licht hat einen Einfluss auf die Beurteilung des Raumeindrucks von Architekturmodellen.*

Zur Auswertung der Testergebnisse aus der bipolaren Ratingskala des Raumeindrucksprofils wurden zu Beginn beide Stichproben zusammenfassend betrachtet. Bei der Beurteilung der Bewertungsmodelle in chromatischen Beleuchtungssituationen wurde ein Unterschied in der Beurteilung der verschiedenen Beleuchtungssituationen festgestellt ( $F=6.42$ ;  $p=.00$ ). Die Beurteilungen von Rot und Gelb vs. Blau und Cyan hoben sich dabei besonders ab:

Rot vs. Blau ( $p=.000^{***}$ ), Rot vs. Cyan ( $p=.000^{***}$ ), Rot vs. Grün ( $p=.005^{**}$ ), Rot vs. Magenta ( $p=.046^*$ ); Gelb vs. Blau ( $p=.000^{***}$ ), Gelb vs. Cyan ( $p=.002^{**}$ ), Gelb vs. Grün ( $p=.029^*$ ); Blau vs. Magenta ( $p=.001^{**}$ ), Blau vs. Grün ( $p=.019^*$ );

Beim Vergleich der Modelle (vgl. Abb. 24) unterschieden sich diese signifikant ( $F=61.23$ ;  $p=.000^{***}$ ): Modell 1 vs. Modell 2 ( $p=.000^{***}$ ), Modell 1 vs. Modell 3 ( $p=.048^*$ ), Modell 1 vs. Modell 4 ( $p=.000^{***}$ ); Modell 2 vs. Modell 3 ( $p=.000^{***}$ ), Modell 2 vs. Modell 4 ( $p=.000^{***}$ ); Modell 3 vs. Modell 4 ( $p=.001^{**}$ ). Eine Wechselwirkung zwischen Modell und chromatischer Lichtexposition konnte dabei nicht eindeutig festgestellt werden ( $F=1.67$ ;  $p=0.14$ ).

Im zweiten Schritt der Auswertung wurde Stichprobe 1 und 2 getrennt betrachtet. Um eine bessere Vergleichbarkeit aller in diesem Versuch verwendeten Modelle zu erhalten, wurde die Lichtsituation Blau und Architekturmodell 2 als Referenzmodell für die Anordnung der Itempaare aus dem Raumeindrucksprofil ausgewählt. Auf dieses Architekturmodell fiel die Wahl, da es in beiden Versuchsreihen vorkommt und eine klare geometrische Form aufweist. Die ursprüngliche Reihenfolge der Wortpaare wurde nach den Ergebnissen von Architekturmodell 2 sortiert. Somit entstand eine Linie, die mit den anderen Profilen leichter vergleichbar wurde (vgl. Anhang Abb. 57).

Die einzelnen Modelle können nun aufgrund ihres Profilverlaufes mit Adjektiven beschrieben und verglichen werden. Wortpaare (vgl. Tab. 16) mit ähnlicher semantischer Beurteilung zeigen konsistente Beurteilungsergebnisse (vgl. Abb. 34):

In der *ersten Stichprobe* wird *Modell 1* aufgrund der Lage des Profildiagramms in der Grafik als zerfahren, bewegt, lebhaft, verspielt und verträumt beschrieben. Die Wortpaare verschwommen/klar ( $F=12.451$ ,  $p=.000^{***}$ ), freundlich/unfreundlich ( $F=2.117$ ,  $p=.065^{(*)}$ ), kühl/gefühlvoll ( $F=8.882$ ,  $p=.000^{***}$ ) und kalt/warm ( $F=8.974$ ,  $p=.000^{***}$ ) zeigten eine indifferente mittlere Bewertung (d.h. kaum Änderungen in der Lage des Profilverlaufs vgl. Abb. 34). Die Einwirkung von chromatischem Licht auf die Beurteilung der Architekturmodelle zeigte hier einen eindeutigen Einfluss. Die Wortpaare kalt/warm und kühl/gefühlvoll sind in ihrer semantischen Beurteilung kaum zu unterscheiden. Sie beschreiben die Modellbeurteilungen in den Lichtsituationen Blau, Grün und Cyan als kalt bzw. kühl und Rot und Gelb als warm bzw. gefühlvoll.

Kalt/warm: Rot vs. Blau ( $p=.000^{***}$ ), Rot vs. Cyan ( $p=.000^{***}$ ), Rot vs. Grün ( $p=.001^{**}$ ), Rot vs. Magenta ( $p=.003^{**}$ ); Gelb vs. Blau ( $p=.001^{**}$ ), Gelb vs. Cyan ( $p=.000^{***}$ ); Blau vs. Magenta ( $p=.044^{*}$ ); Cyan vs. Magenta ( $p=.008^{**}$ ), Cyan vs. Grün ( $p=.026^{*}$ ), kühl/gefühlvoll: Rot vs. Blau ( $p=.000^{***}$ ), Rot vs. Cyan ( $p=.000^{***}$ ), Rot vs. Grün ( $p=.006^{**}$ ), Rot vs. Magenta ( $p=.089^{(*)}$ ); Gelb vs. Blau ( $p=.000^{**}$ ), Gelb vs. Cyan ( $p=.000^{***}$ ), Gelb vs. Grün ( $p=.043^{*}$ ); Blau vs. Magenta ( $p=.001^{**}$ ), Blau vs. Grün ( $p=.022^{*}$ ), Blau vs. Gelb ( $p=.000^{***}$ ); Cyan vs. Magenta ( $p=.002^{**}$ ), Cyan vs. Grün ( $p=.035^{*}$ ).

Im Profilverlauf war bei diesen Lichtsituationen die Beurteilung der Modelle nahezu parallel, was auf den Einfluss der Lichtfarbe zurückzuführen ist. Die Lichtfarbe Magenta zeigt keine konsistenten Einflüsse auf die Beurteilung des Objektes, da die Ergebnisse sehr stark voneinander abweichen und deshalb eine indifferente Auswirkung auf die Objektbewertung hat.

*Modell 2* wird im Profildiagramm der *ersten Stichprobe* als geordnet, ruhig, träge, ernst, kühl und eher nüchtern beschrieben. Die Wortpaare verschwommen/klar ( $F=2.419$ ,  $p=.037^{*}$ ) und kalt/warm ( $F=6.522$ ,  $p=.000^{***}$ ) und kühl/gefühlvoll ( $F=5.580$ ,  $p=.000^{***}$ ) zeigten eine indifferente mittlere Bewertung (d.h. kaum Änderungen in der Lage des Profilverlaufs). Die Einwirkung von chromatischem Licht auf die Beurteilung der Architekturmodelle zeigte einen eindeutigen Einfluss. Die Farben Blau, Grün und Cyan werden als kalt bzw. kühl und Rot und Gelb als warm bzw. gefühlvoll beschrieben:

Kalt/warm: Rot vs. Blau ( $p=.000^{***}$ ), Rot vs. Cyan ( $p=.000^{***}$ ), Rot vs. Grün ( $p=.000^{***}$ ), Rot vs. Magenta ( $p=.001^{**}$ ), Rot vs. Gelb ( $p=.015$ ); Gelb vs. Blau ( $p=.052^{(*)}$ ), Gelb vs. Cyan ( $p=.008^{**}$ ); Kühl/gefühlvoll: Rot vs. Blau ( $p=.000^{***}$ ), Rot vs. Cyan ( $p=.000^{***}$ ), Rot vs. Grün ( $p=.009^{**}$ ), Rot vs. Magenta ( $p=.005^{**}$ ), Rot vs. Gelb ( $p=.023^{*}$ ); Gelb vs. Blau ( $p=.040^{*}$ ), Gelb vs. Cyan ( $p=.022^{*}$ ); Blau vs. Grün ( $p=.075^{(*)}$ ); Cyan vs. Grün ( $p=.043^{*}$ ), Cyan vs. Gelb ( $p=.022^{*}$ ), Cyan vs. Magenta ( $p=.084^{(*)}$ ).

Im Profilverlauf war bei diesen Lichtsituationen die Beurteilung der Architekturmodelle wiederum nahezu parallel. Der Einfluss der Lichtfarbe könnte darauf zurückgeführt werden. Betreffend der Lichtfarbe Magenta zeigen sich die gleichen Ergebnisse wie bei Architekturmodell 1.

In der *ergänzten Stichprobe* wird *Modell 2* als geordnet, ruhig, träge, ernst, kühl und eher nüchtern beschrieben. Hier bestätigt sich der zentrale Einfluss von chromatischem Licht: Blau, Grün und Cyan wurden als kalt bzw. kühl und Rot und Gelb als warm bzw. gefühlvoll bestätigt: Kalt/warm ( $F=6.405$ ,  $p=.000^{***}$ ): Rot vs. Blau ( $p=.001^{**}$ ), Rot vs. Cyan ( $p=.000^{***}$ ), Rot vs. Grün ( $p=.002^{**}$ ); Gelb vs. Cyan ( $p=.010^{*}$ ); Magenta vs. Blau ( $p=.003^{**}$ ), Magenta vs. Grün ( $p=.008^{**}$ ); Kühl/gefühlvoll ( $F=3.383$ ,  $p=.007^{**}$ ): Rot vs. Blau ( $p=.072^{(*)}$ ), Rot vs. Cyan ( $p=.003^{**}$ ); Gelb vs. Blau ( $p=.058^{(*)}$ ), Gelb vs. Cyan ( $p=.003^{**}$ ), Gelb vs. Grün ( $p=.078^{(*)}$ ); Magenta vs. Blau ( $p=.059^{(*)}$ ), Magenta vs. Cyan ( $p=.003^{**}$ ), Magenta vs. Grün ( $p=.080^{(*)}$ ).

*Modell 3* wird im Profildiagramm der *ersten Stichprobe* als zerfahren, bewegt, lebhaft, verspielt und verträumt beschrieben. Die Wortpaare verschwommen/klar ( $F=1.888$ ,  $p=.098^{(*)}$ ), kalt/warm ( $F=8.204$ ,  $p=.000^{***}$ ) und kühl/gefühlvoll ( $F=3.535$ ,  $p=.004^{**}$ ) zeigten eine indifferente mittlere

Bewertung (d.h. kaum Änderungen in der Lage des Profilverlaufs). Die Einwirkung von chromatischem Licht auf die Beurteilung der Modelle zeigte einen eindeutigen Einfluss. Die Farben Blau, Grün und Cyan werden als kalt/kühl und Rot und Gelb als warm/gefühlvoll beschrieben:

Kalt/warm: Rot vs. Blau ( $p=.001^{**}$ ), Rot vs. Cyan ( $p=.000^{***}$ ), Rot vs. Grün ( $p=.012^{*}$ );

Gelb vs. Blau ( $p=.005^{**}$ ), Gelb vs. Cyan ( $p=.000^{***}$ ), Gelb vs. Grün ( $p=.041^{*}$ );

Cyan vs. Magenta ( $p=.000^{***}$ ), Cyan vs. Blau ( $p=0,035^{*}$ ), Cyan vs. Grün ( $p=.004$ );

Kühl/gefühlvoll: Rot vs. Blau ( $p=.028^{*}$ ), Rot vs. Cyan ( $p=.001^{**}$ ); Gelb vs. Blau ( $p=.021^{*}$ ),

Gelb vs. Cyan ( $p=.001^{**}$ ); Cyan vs. Grün ( $p=.032^{*}$ ), Cyan vs. Magenta ( $p=.009^{**}$ ).

Im Profilverlauf war bei diesen Lichtsituationen die Beurteilung der Architekturmodelle nahezu parallel, was auf den Einfluss der Lichtfarbe zurückzuführen ist. Betreffend der Lichtfarbe Magenta zeigen sich die gleichen Ergebnisse wie bei Architekturmodell 1.

In der *ergänzten Stichprobe* werden auch die Aussagen für Architekturmodell 3 bestätigt. Es wurde ebenfalls als zerfahren, bewegt, lebhaft, verspielt und verträumt beschrieben. Hier bestätigt sich der zentrale Einfluss von chromatischem Licht. Die Farben Blau, Grün und Cyan wurden als kalt bzw. kühl und Rot und Gelb als warm bzw. gefühlvoll bestätigt:

Kalt/warm ( $F=11.277$ ,  $p=.000^{***}$ ): Rot vs. Blau ( $p=.000^{**}$ ), Rot vs. Cyan ( $p=.000^{***}$ ),

Rot vs. Grün ( $p=.000^{***}$ ); Gelb vs. Blau ( $p=.000^{***}$ ), Gelb vs. Cyan ( $p=.000^{***}$ ), Gelb vs. Grün ( $p=.001^{**}$ ); Magenta vs. Blau ( $p=.001^{**}$ ), Magenta vs. Cyan ( $p=.000^{***}$ ), Magenta vs. Grün ( $p=.002^{**}$ );

Kühl/gefühlvoll ( $F=5.929$ ,  $p=.000^{***}$ ): Rot vs. Blau ( $p=.002^{**}$ ), Rot vs. Cyan ( $p=.000^{***}$ );

Gelb vs. Blau ( $p=.000^{***}$ ), Gelb vs. Cyan ( $p=.000^{***}$ ), Gelb vs. Grün ( $p=.019^{*}$ );

Magenta vs. Blau ( $p=.009^{**}$ ), Magenta vs. Cyan ( $p=.002^{**}$ ).

In der *ergänzten Stichprobe* war *Architekturmodell 4*, welches das Architekturmodell 1 aus der ersten Stichprobe ersetzte, für die Studienteilnehmer(innen) schwer einschätzbar und wies auch keine Veränderung in den Profilverläufen auf. Die Wortpaare verschwommen/klar ( $F=4.204$ ,  $p=.001^{**}$ ), kühl/gefühlvoll ( $F=7.859$ ,  $p=.000^{***}$ ) und kalt/warm ( $F=10.751$ ,  $p=.000^{***}$ ) zeigten eine indifferente mittlere Bewertung (d.h. kaum Änderungen in der Lage des Profilverlaufs). Die Einwirkung von chromatischem Licht auf die Beurteilung der Architekturmodelle zeigte einen eindeutigen Einfluss. Die Aussage die Farben Blau, Grün und Cyan als kalt bzw. kühl und Rot und Gelb als warm bzw. gefühlvoll zu bezeichnen wurde auch hier bestätigt:

Kalt/warm: Rot vs. Blau ( $p=.000^{**}$ ), Rot vs. Cyan ( $p=.000^{***}$ ), Rot vs. Grün ( $p=.000^{***}$ ),

Rot vs. Magenta ( $p=.000^{***}$ ); Gelb vs. Blau ( $p=.000^{***}$ ), Gelb vs. Cyan ( $p=.000^{***}$ ),

Gelb vs. Grün ( $p=.004^{**}$ ), Gelb vs. Magenta ( $p=.002^{**}$ );

Kühl/gefühlvoll: Rot vs. Blau ( $p=.000^{***}$ ), Rot vs. Cyan ( $p=.000^{***}$ ), Rot vs. Grün ( $p=.002^{**}$ );

Gelb vs. Blau ( $p=.000^{***}$ ), Gelb vs. Cyan ( $p=.000^{***}$ ), Gelb vs. Grün ( $p=.001^{**}$ ),

Gelb vs. Magenta ( $p=.042^{*}$ ); Magenta vs. Blau ( $p=.015^{*}$ ), Magenta vs. Cyan ( $p=.026^{*}$ ).

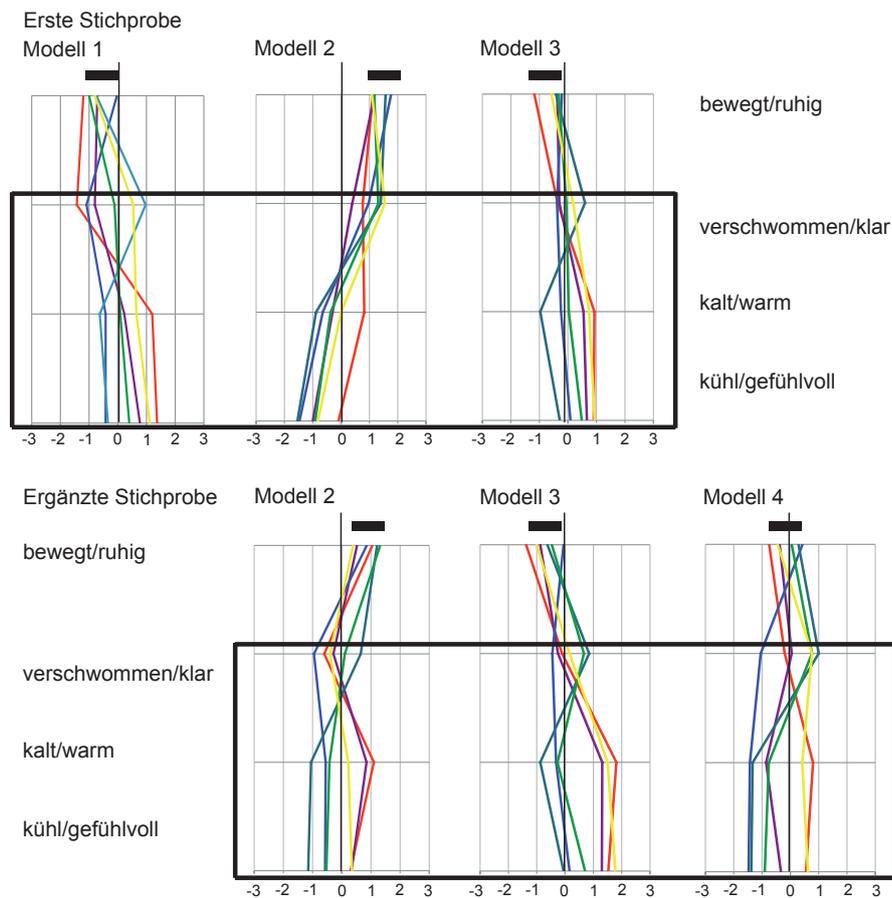


Abbildung 34: Ausgewählte Wortpaare zur Beschreibung der Modellcharakteristik und des Farbunterschieds

### Zusammenfassung:

Hypothese 2 – „Chromatisches Licht hat einen Einfluss auf die Beurteilung des Raumeindrucks von Architekturmodellen“ – bestätigte sich teilweise.

Bei der Beurteilung von Architekturmodellen in chromatischen Lichtsituationen können anhand des Raumeindrucksprofils charakteristische Aussagen zur subjektiven semantischen Bedeutung getroffen werden. Von den vorliegenden bipolaren Adjektiven gibt es Itempaare, die besser für die Beschreibung von Architekturmodellen geeignet sind, und andere, die sich sehr gut eignen, um das Zusammenspiel von chromatischer Lichtsituation und Architekturmodell zu beschreiben. Dabei zeigt sich, dass die Beurteilungen der Studienteilnehmer(innen) innerhalb der Beurteilung der jeweiligen Architekturmodelle konsistent ausfallen, d. h. die Studienteilnehmer(innen) beurteilen die einzelnen Modellcharakteristiken ähnlich. Auf diese wird jedoch in dieser Arbeit nicht näher eingegangen, da der Schwerpunkt dieser Studie chromatisches Licht ist. Stellvertretend für die Beurteilung der Modellcharakteristik steht in Abb. 34 das Wortpaar „bewegt/ruhig“.

Es bestätigt sich, dass chromatisches Licht bei der Beurteilung von Architekturmodellen eine wesentliche Rolle spielt. Interessant war, welches der Adjektivpaare es erlaubt, unter chromatischer Lichtexposition die Wahrnehmung der Architekturmodelle am besten zu differenzieren. Deshalb wurden diejenigen Gegensatzpaare herausgesucht, welche die größten

Differenzen unter den Farben aufwiesen. Global betrachtet hat chromatisches Licht einen bedeutenden Einfluss für die Beurteilung der Charakteristiken von Architekturmodellen. Dies zeigt sich im Speziellen bei drei Adjektivpaaren, die auf die unterschiedlichen Wirkungen von Lichtfarben hinweisen: verschwommen/klar, kalt/warm und kühl/gefühlvoll. Hier besitzen die Lichtfarben in den Profilverläufen die gleiche Reihenfolge (bis auf wenige Ausnahmen). Es zeigt sich, dass die Architekturmodelle unter chromatischer Lichtexposition bei den Farben Blau und Cyan als kalt bzw. kühl bezeichnet wurden und unter Gelb und Rot als warm bzw. gefühlvoll. Als verschwommen wurden die Farben Blau und Rot bezeichnet, als klar Grün und Cyan. Die Lichtfarbe Magenta zeigt bei der Beurteilung keine konsistenten Einflüsse. Dies könnte darauf zurückzuführen sein, dass sie eine Mischfarbe aus roter und blauer Lichtfarbe ist und deshalb für die Studienteilnehmer(innen) schwer fassbar.

Gegensätze zwischen warmen und kalten Farben sind ablesbar, speziell in der zweiten Stichprobe.

### **Empfehlungen für weitere Studien:**

Da nur drei Itempaare auf chromatisches Licht angesprochen haben, stellt sich die Frage, warum bestimmte Items von chromatischem Licht besonders beeinflusst werden und andere nicht. Eine Annahme wäre, dass die Erfahrung/Elerntes und der kulturelle Hintergrund der Studienteilnehmer(innen) in Bezug auf Farbe bei der Beurteilung der Architekturmodelle eine Rolle gespielt haben.

Für eine Weiterbearbeitung dieser Versuchsreihe könnten diese Erkenntnisse eine Grundlage bieten, um Adjektivpaare für die Bewertung von chromatischen Lichtsituationen und Architekturmodellen zu untersuchen.

Ein Nebenaspekt für eine Weiterbearbeitung wäre die aufgrund der Aufteilung von Stichprobe eins und zwei gestellte Frage, ob Studienanfänger(innen) (Stichprobe 1) und Studierende am Ende ihres Studiums und Architekt(inn)en (Stichprobe 2) die Architekturmodelle in chromatischer Lichtexposition unterschiedlich bewerten. Der Unterschied könnte durch den Altersunterschied der Studienteilnehmer(innen) erklärbar sein. Eine weitere Vermutung wäre, dass Studierende am Ende ihres Studiums und Architekt(inn)en bereits größere Erfahrungen in der Bewertung von Raum haben und deshalb die Abweichung zu den Studienanfänger(inne)n in der Beurteilung zustande kam. Für eine genauere Aussage zu diesem Thema ist eine größere Anzahl von Studienteilnehmer(inne)n nötig. Eine detaillierte Betrachtung dieses Themas ist nicht Teil dieser Arbeit, jedoch findet sich Literatur zur unterschiedlichen Beurteilung von Experten und Laien in der Architektur in (Rambow 2000).

Ergebnisse zu 3)

### **Einfluss chromatischer Lichtexposition auf die kardial vegetative Aktivierung der Herzratenvariabilität**

Hypothese 3.1: *Es zeigen sich Unterschiede in der kardial vegetativen Aktivierung (HRV) in Abhängigkeit von der chromatischen Lichtexposition.*

Für die Auswertung der Ergebnisse aus der HRV-Messung werden für die statistischen Auswertungen 14 Parameter herangezogen, die die kardial vegetative Aktivierung (Herzkreislaufsystem) beschreiben.

Bei den Ergebnissen zur Herzratenvariabilität ist es von Bedeutung, ob der/die Studienteilnehmer(in) künstlichem Licht ausgesetzt ist oder nicht. Durch die Kunstlichtexposition wird der Organismus aktiviert, die Herzrate ist höher. Dies bedeutet auch eine Reduktion des Vagustonus, wobei die Gesamtvariabilität höher ist.

In der kardial vegetativen Aktivierung zeigt sich ein Unterschied zwischen „kein Licht“ (Dunkelheit) und den chromatischen Lichtbedingungen (vgl. Tab. 23): in der Atmung (ATMF:  $F=6.23$ ,  $p=.000^{***}$ ), der patern predominance (pp8:  $F=2.919$ ,  $p=.009^{**}$ ) und beim Puls-Atem-Quotienten<sup>22</sup> (QPArSa:  $F=2.806$ ,  $p=.011^*$ ).

Die Atemfrequenz (ATMF) ist im Schnitt in der Bedingung „kein Licht“ ( $MW = 14,86 \pm 2,77$ ) 1,5 Atemzüge niedriger als in den Farblichtbedingungen ( $MW = 16,41 \pm 2,85$ ), wobei die blaue Lichtbedingung durch die höchste mittlere ATMF gekennzeichnet ist ( $MW = 16,85 \pm 2,61 \text{ min}^{-1}$ ) und sich auch von Rot ( $p=.029^*$ ) und Magenta ( $p=.045^*$ ) im Post-Hoc-Test unterscheidet. Dementsprechend zeigt sich auch der QPArSa unter „kein Licht“ höher ( $MW = 5,20 \pm 1,74$ ) (Herzschlag auf 1 Atemzug) als unter der chromatischen Lichtbedingung. Der Wert pp8, welcher die atmungsbezogenen Schwankungen wiedergibt (Bettermann u. a. 1999), zeigt einen höheren Wert unter „kein Licht“ ( $MW = 3,95 \pm 2,18$ ) als unter chromatischer Lichtexposition ( $MW = 3,32 \pm 1,48$ ).

Die Herzrate (HR) zeigt Unterschiede zwischen „kein Licht“, rotem ( $F= -1,981$ ;  $p=.039^*$ ) und gelbem Licht ( $F= -1,726$ ;  $p=.040^*$ ), welches die Herzrate beschleunigt. Ebenso wie der vagotone Kennwert pp8 zeigt die lnHFrr einen signifikanten Unterschied zwischen „kein Licht“ und blauem ( $F=.211$ ;  $p=.032^*$ ), magentafarbenem ( $F=.204$ ;  $p=.037^*$ ) und gelbem ( $F=.203$ ;  $p=.020^*$ ) Licht. Dabei zeigt „kein Licht“ eine höhere Ausprägung in den vagotonen Kennwerten. Die Maße der Gesamtvariabilität in der HRV wie lnTOTrr ( $F=1.401$ ,  $p=.214$ ) und SDNN ( $F=1.733$ ,  $p=.113$ ) zeigen höhere Ausprägungen der Bedingungen „kein Licht“ im Vergleich zu Grün und Rot in den Einzelvergleichen (Post-Hoc LSD-Test).

lnTOTrr: „kein Licht“ vs. Grün ( $p=.013^*$ ), „kein Licht“ vs. Rot ( $p=.044^*$ ), „kein Licht“ vs. Blau ( $p=.026^*$ ); SDNN: „kein Licht“ vs. Grün ( $p=.009^{**}$ ), „kein Licht“ vs. Rot ( $p=.014^*$ ), „kein Licht“ vs. Magenta ( $p=.048^*$ ).

<sup>22</sup> ALM/Messwiederholung ANOVA (N = 54), UV = Licht 7-fach gestuft;

Sympathikotone Kennwerte wie SD2 (F=1.607, p=.145) und VLFhf (F=1.71, p=.118) zeigen ebenfalls höhere Werte in der Bedingung „kein Licht“, vor allem im Vergleich zur Farbe Grün (p=.039\*) und den Vergleichen Grün vs. Cyan (p=.039\*), Grün vs. Magenta (p=.015\*), Grün vs. Gelb (p=.001\*\*). Auch in der Durchblutungsrhythmik (VLFrr: F=2.109, p=.052<sup>(\*)</sup>) unterscheiden sich die Farben Grün vs. Magenta (p=.018\*) und Grün vs. Gelb (p=.003\*\*) signifikant im Post-Hoc-Test, da Grün die niedrigsten Ausprägungen hat.

Tabelle 23: Lichtsensitive HRV-Kennwerte

	HRV	Chromatisches Licht inkl. „kein Licht“						
		kein Licht <sup>23</sup>	CL <sup>24</sup>	Diff. <sup>25</sup>	SD	F	p-Werte	Post-Hoc
<b>Vagus</b>	InHFrr	6,06	5,89	-0,17	1,10	1,40	0,213 (*)	„kein Licht“ zu Blau, Magenta und Gelb
	logRSArr	1,35	1,33	-0,02	0,24	0,68	0,66	n. s.
	pp8*	3,95	3,32	-0,63	1,70	2,92	0,009**	„kein Licht“ zu Grün, Blau, Magenta, Rot und Gelb
	SD1**	29,46	27,44	-2,02	16,00	0,90	0,50	n. s.
<b>Vagus / Sympathikus</b>	InLFrr	6,98	6,84	-0,14	0,90	0,68	0,67	n. s.
<b>Sympathikus</b>	HR	73,55	75,17	1,62	10,00	1,25	0,282 (*)	„kein Licht“ zu Rot und Gelb
	InVLFrr	7,23	7,05	-0,18	0,85	2,11	0,052 (*)	„kein Licht“ zu Grün; Grün zu Magenta; Gelb zu Grün; Gelb zu Rot
	RR	835,69	813,05	-22,64	120,0	1,98	0,068 (*)	„kein Licht“ zu Rot und Gelb
	SD2	88,05	80,46	-7,59	33,00	1,61	0,145 (*)	„kein Licht“ zu Grün und Rot
	VQrr	0,91	0,96	0,04	0,70	0,48	0,82	n. s.
<b>Regulativ / Atmung</b>	ATMFrsa	14,86	16,35	1,49	3,00	6,23	0,000***	„kein Licht“ zu alle; Blau zu Magenta; Blau zu Rot
	QPArsa	5,20	4,80	-0,40	1,60	2,81	0,011*	„kein Licht“ zu Grün, Blau, Magenta und Gelb
<b>Gesamt Variabilität</b>	InTOTrr	8,07	7,92	-0,16	0,85	1,40	0,214 (*)	„kein Licht“ zu Grün, Blau und Rot
	SDNN	66,04	60,24	-5,80	25,00	1,73	0,113 (*)	„kein Licht“ zu Grün, Magenta und Rot

<sup>23</sup> Kein Licht: mittlere Ausprägung

<sup>24</sup> CL (Chromatisches Licht): mittlere Ausprägung

<sup>25</sup> Diff. (Differenz): Chromatisches Licht – Kein Licht

Bei der Betrachtung ausschließlich der chromatischen Lichtbedingungen (vgl. Tab. 24) zeigen sich nur marginal Unterschiede in der kardial vegetativen Aktivierung:

ATMFr<sub>sa</sub> (F=1.12, p=.35): Blau vs. Magenta (p=.029\*) und Blau vs. Rot (p=.045\*); lnVLF<sub>hf</sub> (F=2.24, p=.051\*): Grün vs. Cyan (p=.039\*), Grün vs. Magenta (p=.015\*) und Grün vs. Gelb (p=.001\*\*); lnVLF<sub>rr</sub> (F=1.96, p=.080\*): Grün vs. Magenta (p=.018\*) und Grün vs. Gelb (p=.003\*\*); Gelb vs. Rot (p=.003\*\*).

Tabelle 24: Farbsensitive HRV-Kennwerte

	HRV	Chromatisches Licht								
		Blau	Cyan	Grün	Gelb	Rot	Magenta	F	p-Werte	Post-Hoc
Vagus	lnHF <sub>rr</sub>	5,85	5,87	5,93	5,86	5,91	5,86	0,26	0,93	n. s.
	logRSA <sub>rr</sub>	1,33	1,33	1,34	1,32	1,32	1,32	0,44	0,82	n. s.
	pp8*	3,33	3,33	3,42	3,18	3,41	3,27	0,47	0,80	n. s.
	SD1**	27,88	28,09	27,96	27,47	27,42	26,92	0,33	0,90	n. s.
Vagus / Sympathikus	lnLF <sub>rr</sub>	6,81	6,85	6,82	6,83	6,86	6,88	1,69	0,97	n. s.
Sympathikus	HR	74,59	75,16	74,83	75,28	75,53	75,05	0,34	0,89	n. s.
	lnVLF <sub>rr</sub>	7,04	7,09	6,87	7,22	6,99	7,13	1,96	0,08	Grün zu Magenta; Grün zu Gelb; Gelb zu Rot
	RR	821,9	816,05	815,9	814,98	807,5	813,83	0,68	0,64	n. s.
	SD2	83,96	82,19	78,54	81,62	80,50	81,20	0,59	0,71	n. s.
	VQ <sub>rr</sub>	0,96	0,97	0,89	0,97	0,95	1,02	0,55	0,74	n. s.
Regulativ / Atmung	ATMFr <sub>sa</sub>	16,85	16,23	16,56	16,50	16,07	16,26	1,12	0,35	Blau zu Magenta; Blau zu Rot
	QPA <sub>rsa</sub>	4,57	4,96	4,73	4,72	4,95	4,80	1,41	0,22	n. s.
Gesamt Variabilität	lnTOT <sub>rr</sub>	7,88	7,93	7,84	7,98	7,89	7,95	0,64	0,67	n. s.
	SDNN	62,44	61,56	59,32	61,15	59,97	60,53	0,46	0,81	n. s.

**Zusammenfassung:**

Hypothese 3.1 – „Es zeigen sich Unterschiede in der kardial vegetativen Aktivierung (HRV) in Abhängigkeit mit der chromatischen Lichtexposition.“ – wurde bestätigt.

Zusammenfassend konnte bewiesen werden, dass sowohl chromatisches Licht als auch „kein Licht“ Einfluss auf das kardial vegetative System haben: Die ATMf (Atemfrequenz) wird durch chromatisches Licht erhöht und die Gesamtvariabilität in beiden Ästen des vegetativen Nervensystems (Parasympathikus und Sympathikus) reduziert, was einerseits auf eine höhere kognitive Verarbeitung/Aufmerksamkeit durch die Objektbeurteilung oder durch die aktivierende Wirkung des Lichts im Vergleich zu „kein Licht“ zurückzuführen ist. Dabei konnte kein besonderer Einfluss in der Betrachtung der einzelnen chromatischen Lichtbedingungen festgestellt werden.

Ergebnisse zu 4)

## **Berücksichtigung der Zusammenhänge von Befindlichkeitsreaktionen (MDBF) und HRV-Indikatoren in chromatischen Lichtexpositionen**

Hypothese 3.2: *Die Reaktionen von chromatischem Licht auf HRV und Befinden der Studienteilnehmer(inne)n sind individuell unterschiedlich.*

Hypothese 3.3: *Die Studienteilnehmer(innen) können in spezifische Gruppen von Respondern eingeteilt werden. In Abhängigkeit von der mittleren Befindens-(Ruhe-)Reaktion auf chromatische Lichtexpositionen ergeben sich unterschiedliche Ausprägungen in den HRV-Kennwerten.*

Im Fokus dieser Studie steht die Auswirkung von chromatischen Lichtsituationen auf das Befinden, die semantische Beurteilung und die begleitende kardial vegetativer Aktivierung. Allgemeine psychophysiologische Zusammenhänge oder Fragestellungen sind dabei nicht von primärem Interesse. Daher werden in diesem Abschnitt nur jene Messgrößen aus Befinden und HRV vorgestellt, die eine potentielle Reaktion auf Licht zeigen (vgl. Tab. 24). Folgende Gruppierungsgrößen (UV) wurden daher für die folgende Analyse ausgewählt (vgl. Abb. 35):

- Bei der Auswertung des Befindlichkeitsfragebogens hat sich insbesondere die Skala „Ruhe – Unruhe“ als sensitiv in Bezug auf die Lichtexposition gezeigt. Einerseits wird das momentane Befinden unter chromatischen Lichtsituationen im Vergleich zu der Stimmung vor dem Versuch ( $p=.004$ )<sup>26</sup> und zu der Bedingung „kein Licht“ ( $p=.023$ ) unterschiedlich beeinflusst (vgl. Abb. 30: Skala „Ruhe – Unruhe“; UV1).
- Andererseits zeigt sich unter der Lichtsituation Blau eine stärkere Ruhereaktion im Vergleich zu Rot ( $p=.026^*$ ) und Magenta ( $p=.005^{**}$ ). Das bedeutet, dass innerhalb der chromatischen Lichtsituationen Blau vs. Rot unterschiedliche Auswirkungen auf das Ruheempfinden der Studienteilnehmer(innen) (UV2) verursacht. Aufgrund der vorgefundenen Ergebnisse (Ruheempfinden Blau-Rot) aus dem Befindlichkeitsfragebogen wurde daher entschieden, v. a. die chromatischen Lichtfarben Blau, Rot und Magenta detaillierter zu betrachten. Da Magenta das Ergebnis der Mischung zweier LEDs (Blau und Rot) ist, wurde diese für eine Gruppeneinteilung für statistische Analysen ausgeschlossen und zwei reine Wellenlängen für die weitere Untersuchung herangezogen.

<sup>26</sup> Eine Einteilung des aktuellen Ruheempfindens (Absolutwerte) innerhalb einer chromatischen Lichtsituation zeigte keinen nennenswerten Einfluss auf die Ergebnisse. Bei psychophysiologischen Studien an gesunden Studienteilnehmer(inne)n ist es z. T. bekannt, dass individuelle Änderungen bzw. Reaktionen auf ein Treatment ein größeres Potential haben, die erhaltenen Ergebnisse zu beschreiben, als dies bei „Niveauewerten“ der Fall ist (lt. mündlicher Auskunft Human Research Institut, Weiz vom 18.6.2012).

Als abhängige Variable (Messgrößen, AV) der kardial vegetativen Aktivierung wurden jene HRV-Kennwerte ausgewählt, die sich als farbsensitiv herausgestellt haben. Diese waren in der vorliegenden Laborstudie v. a. die VLF und ATMF (vgl. Tab. 23, 24). So zeigt sich die geringste Atemfrequenz (ATMF) und die höchste VLF-Ausprägung unter der Bedingung „kein Licht“, wobei bei Lichtsituation Blau die Atemfrequenz ansteigt und die VLF abnimmt<sup>27</sup>.

So wurde eine Gruppe nach mittlerer Ruhereaktion unter chromatischer Lichtexposition im Kontrast zur Vorruhe gebildet (Einteilung der Studienteilnehmer(innen), ob sie auf chromatisches Licht reagiert haben (vgl. Abb. 35).

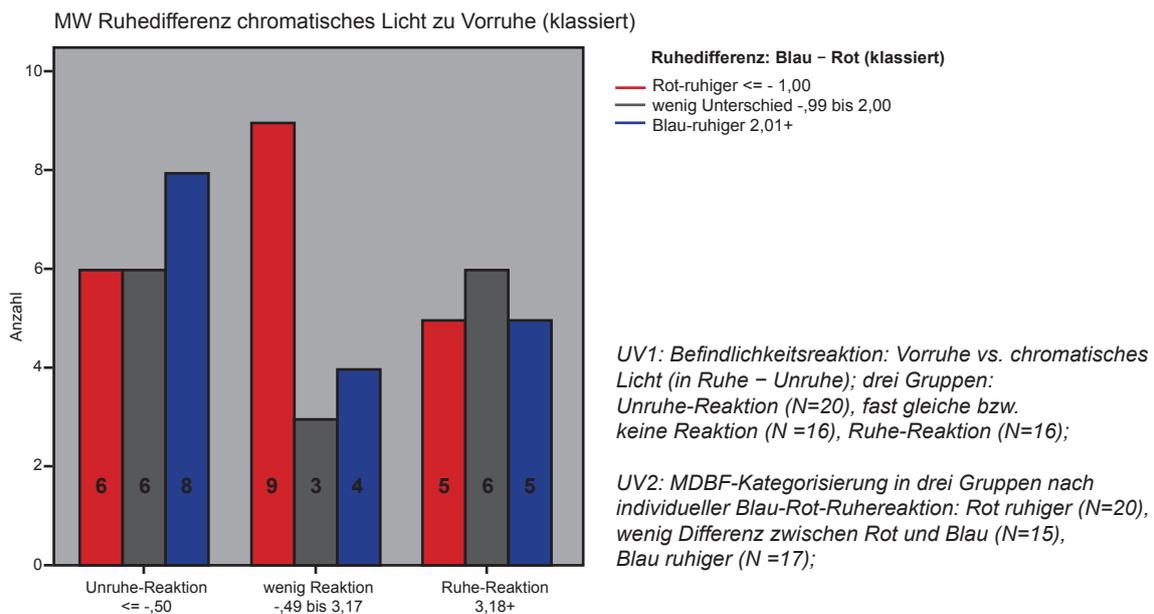


Abbildung 35: MDBF-Gruppierungen (UV1, UV2) – 3 stufig

Es zeigt sich bei univariater Testung, dass Studienteilnehmer(innen), die durch chromatisches Licht allgemein eine stärkere Ruhereaktion (UV1) zeigen, bei Cyan eine niedrigere VLF aufweisen als im Vergleich zu Studienteilnehmer(inne)n, die in Bezug auf chromatisches Licht kaum reagieren oder sich unruhiger fühlen ( $F=3.196$ ;  $p=.050$ ) (vgl. Abb. 36). In Abhängigkeit vom Ruhe-Reaktionstyp zeigen sich unterschiedliche Ausprägungen, die bei Cyan signifikant werden. Bei Gelb hingegen zeigen sich keine Unterschiede. Die allgemeine Ruhereaktion zeigt eine niedrige VLF. Andere HRV-Kennwerte zeigen keine signifikanten Werte.

<sup>27</sup> Allgemein zeigten sich lichtabhängige kardial vegetative Unterschiede (ATMF, VLF, HR, InHFrr, InTOTrr, pp8, QPA, SD2 und SDNN) v. a. farbunspezifisch in allen RGB unter der Bedingung „kein Licht“ (vgl. Tab. 24).

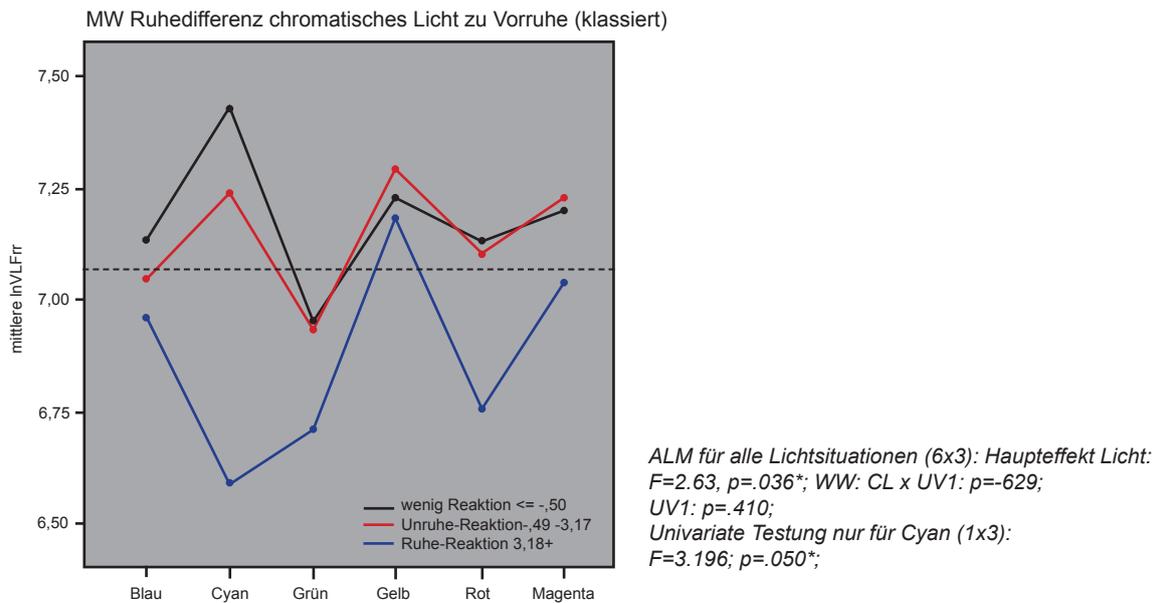
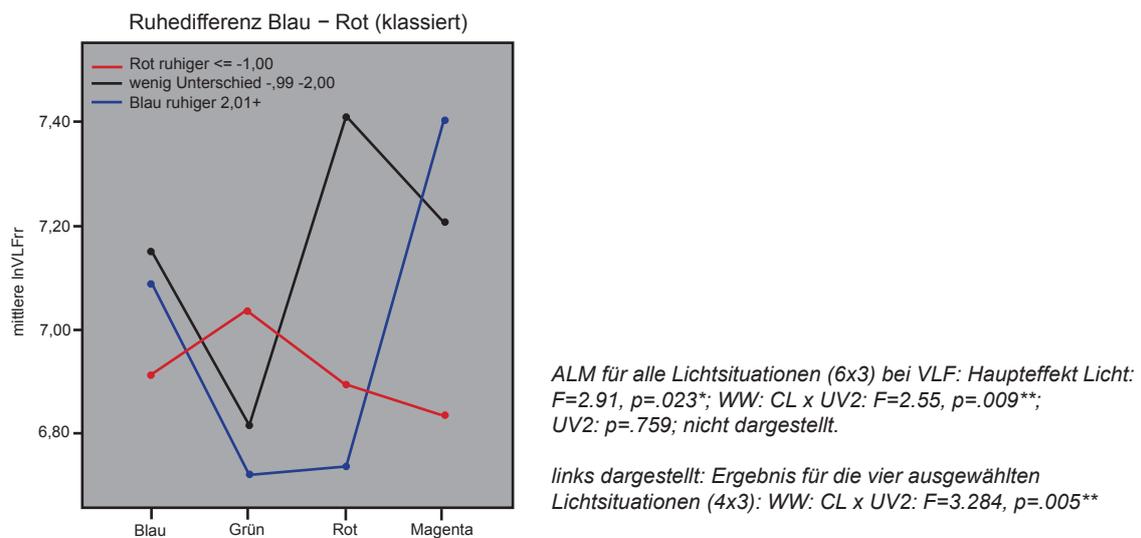
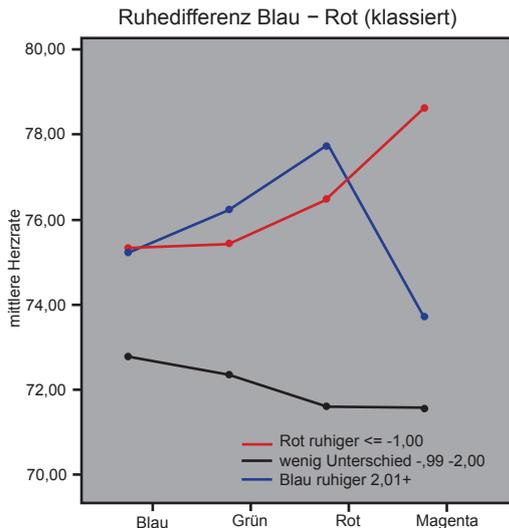


Abbildung 36: Mittlere VLF-Ausprägung in den unterschiedlichen Lichtsituationen in Abhängigkeit von der allgemeinen individuellen Ruhereaktion auf chromatisches Licht (UV1)



Bei der Betrachtung der Ruhedifferenz zwischen Blau und Rot (UV2) zeigt sich, dass einige Studienteilnehmer(innen) bei Blau und andere bei Rot ruhiger reagieren (vgl. Abb. 36, 37, 38). Die Studienteilnehmer(innen) können also in unterschiedliche Gruppen von „Respondern“ eingeteilt werden. Jene Studienteilnehmer(innen), die bei Rot ruhiger reagieren, zeigen einen Anstieg der Herzrate bei Magenta, und bei jenen Personen, die bei Blau ruhiger werden, nimmt die Herzrate bei Magenta ab ( $F=4.23$ ;  $p=.003$ ) und die VLF steigt<sup>28</sup> (vgl. Abb. 38).

<sup>28</sup> Eine höhere VLF ist in unserem Laborversuch eher ein Vitalitätskennwert (ruhige Aufmerksamkeit), da diese mit einer niedrigeren HR einhergeht (Zwischensubjekteffekt: VLF-Kat:  $F=5.74$ ,  $p=.002^{**}$ ).

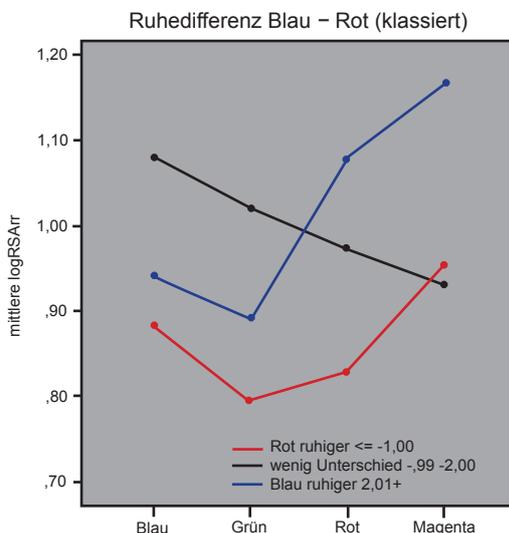


ALM für alle Lichtsituationen (6x3): Haupteffekt Licht:  $p=.874$ ;  
 WW: FL x UV2:  $F=1.87$ ,  $p=.059^*$ ;  
 UV2:  $p=.457$ ; nicht dargestellt.

links dargestellt: Ergebnis für die vier ausgewählten Lichtsituationen (4x3): WW: CL x UV2:  $F=3.404$ ,  $p=.004^{**}$   
 Bei Anwendung dieser Einteilung, zeigt sich in der Herzrate, dass Studienteilnehmer(innen), die keine Präferenz zu Rot oder Blau bezüglich ihrer Ruhereaktion aufweisen, allgemein eine wesentlich niedrigere Herzrate aufweisen.

Abbildung 38: Mittlere Herzrate unter BGRM nach Rot-Blau-Präferenz (UV2).

Die Studienteilnehmer(innen), die bei Rot ruhiger reagieren, zeigen einen Anstieg des logRSArr-Wertes bei Magenta, und bei Personen, die bei Blau ruhiger werden, nimmt der logRSArr Wert bei Magenta ebenfalls zu. Bei Studienteilnehmer(inne)n, die keine Präferenz zu Rot oder Blau bezüglich ihrer Ruhereaktion aufweisen, zeigt sich ein Abfall des logRSArr-Werte bei Magenta (vgl. Abb. 39).



ALM für alle Lichtsituationen (6x3): Haupteffekt Licht:  $p=.879$ ;  
 WW: CL x UV2:  $F=1.503$ ,  $p=.138$ ;  
 UV2:  $p=.983$ ; nicht dargestellt.

links dargestellt: Ergebnis für die vier ausgewählten Lichtsituationen (4x3): WW: FL x UV2:  $F=2.175$ ,  $p=.048^*$

Abbildung 39: Mittlere logRSArr unter BGRM nach Rot-Blau Präferenz (UV2).

Bei der Einteilung nach Ruhereaktion Rot vs. Blau zeigen sich auch bei weiteren HRV-Kennwerten signifikante Wechselwirkungen, die nicht explizit dargestellt werden. Es sind die Werte InVLFrr, HR, logRSArr ausreichend für eine exemplarische Darstellung.

### **Zusammenfassung und Interpretation der Ergebnisse:**

Die Hypothese 3.2 – „Die Reaktionen auf HRV und Befinden der Studienteilnehmer(inne)n auf chromatisches Licht sind individuell unterschiedlich“ – bestätigte sich. Aus diesem Grund kam Hypothese 3.3 zu tragen – „Die Studienteilnehmer(inne)n können in spezifische Gruppen von Respondern eingeteilt werden: In Abhängigkeit von der mittleren Befindens (Ruhe)-Reaktion auf chromatische Lichtexpositionen ergeben sich unterschiedliche Ausprägungen in den HRV-Kennwerten“

Bei den Reaktionen von Befinden und HRV auf chromatische Lichtexposition wurden für diese Untersuchung nur jene Messgrößen ausgewählt, auf welche sich die Studienteilnehmer(innen) lichtsensitiv zeigten. Beim momentanen Befinden war dies die Skala RU. Hier zeigte sich bei Blau eine stärkere Ruhereaktion als bei Rot und Magenta (vgl. Abb. 30). Im Bereich der HRV zeigten sich farbsensitive Reaktionen auf die Kennwerte VLF und ATMF (vgl. Tab. 24). Für die weitere Untersuchung wurden die Studienteilnehmer(innen) in drei Gruppen (UV1) eingeteilt (vgl. Abb. 35): in Studienteilnehmer(innen), die keine bzw. wenig Reaktionen auf chromatisches Licht zeigten, in Studienteilnehmer(innen), die allgemein ruhiger wurden, und solche die unruhig reagierten. Hier teilte sich die Gruppe (UV2) in Personen, die bei blauem Licht ruhiger wurden, Personen, die bei rotem Licht ruhiger wurden, und solche, die wenig Differenz zwischen Rot und Blau aufwiesen. Die somit aufgefundenen Unterschiede innerhalb der chromatischen Lichtbedingungen könnten ev. auf Wechselwirkungen bzw. Persönlichkeitsunterschiede rückführbar sein und für Folgeuntersuchungen bzw. zukünftige Anwendungen im Feld relevant sein bzw. könnten sie unter Umständen inkonsistente Ergebnisse in der Literatur erklären.

Bei der Überprüfung des Zusammenhangs zwischen physiologischen Kennwerten und chromatischer Lichtexposition konnten allgemein keine physiologischen Unterschiede gefunden werden. Zieht man jedoch psychologische Kriterien (MDBF) dazu heran, die Studienteilnehmer(innen) in Gruppen von unterschiedlichen Respondern einzuteilen, so zeigen sich Unterschiede in der kardial vegetativen Aktivierung. Dies führt zu einer detaillierten Sichtweise und könnte erklären, warum es in diesem Bereich der Forschung kaum signifikante Ergebnisse gibt, da sich ohne spezielle Einteilung die Werte herausmitteln.

Da sich die Reaktionen der Studienteilnehmer(innen) auf chromatisches Licht als individuell unterschiedlich herausgestellt haben, wäre es für eine Folgestudie interessant, hier anzusetzen. Der Fokus sollte auf den unterschiedlichen Gruppen von Respondern im Blau- und Rotbereich liegen, d. h. auf Personen, die verschieden auf chromatische Lichtexposition reagieren. Weißes Licht sollte für die Überlegungen in den Versuchsablauf einbezogen werden. Ebenfalls könnte eine Betrachtung der HRV mit Versuchspersonen, die eine Tätigkeit ausführen, und solche, die keine Tätigkeit ausführen, verglichen werden.

## Wirkung von weißem Licht in räumlichen Situationen

In den ersten zwei Studien wurde untersucht, ob chromatische Lichtexposition bei einem Aufenthalt in Räumlichkeiten die Befindlichkeit und die kardial vegetative Aktivierung (HRV) von Studienteilnehmer(inne)n beeinflussen kann. Ergänzend wurden Fragen zu subjektiver Farbeempfindung gestellt. Als Ergebnis der Studien in extrem chromatischen Lichtsituationen hat sich beim Aufenthalt in Räumen ein signifikanter Einfluss auf Studienteilnehmer(innen) gezeigt. Durch diese Ergebnisse ist es in weiterer Folge von Interesse, auch weiße Lichtsituationen in verschiedenen Lichtfarben im Raumkontext als weiteren Aspekt in die Untersuchung einzubeziehen.

Die vorangehenden Studien mit chromatischem Licht waren Grundlage für das Forschungsprojekt „Multisensorisches Licht“ (Schulz u. a. 2011b) und bieten eine geeignete Methode für die Arbeit mit weißem Licht. Das praxisnahe Beispiel einer 1:1 aufgebauten Shopsituation ergänzt die Fragestellung dieser Arbeit um die Untersuchungen mit weißem Licht im Kontext der Architektur. Dieses Projekt entstand aufgrund der Erfahrungen aus den Experimenten mit chromatischem Licht und ist eine Kooperation mit dem Leuchtenhersteller XAL und dem Institut für Raumgestaltung der TU Graz in Zusammenarbeit mit der Karl-Franzens-Universität Graz, Institut für Psychologie, Arbeits-, Organisations- und Umweltpsychologie. Das Projektteam unter der Leitung der Verfasserin dieser Arbeit bestand aus Psycholog(inn)en<sup>29</sup>, Architekt(inn)en<sup>30</sup> und Lichtdesignern<sup>31</sup>.

Das Projekt „Multisensorisches Licht“ besteht aus zwei Teilen, einer Vorstudie (Schulz u. a. 2011a) und einer Hauptstudie (Schulz u. a. 2011b), welche sich mit den Grundlagen und Anwendungen der LED-Technologie in räumlichen Shop-Situationen beschäftigen. Es wird die HID-Technologie der LED-Technologie gegenübergestellt, um die Vor- und Nachteile der Unterschiede spektraler Lichtcharakteristik (Lichtfarbe) und Lichtverteilung im Raumkontext zu prüfen. Die Auswirkungen wurden anhand psychologischer und psychophysiologischer Messungen erhoben. Dadurch konnten Rückschlüsse auf die ideale Raumausleuchtung gezogen werden. Beispielhaft ist die Art der raumbezogenen Lichtforschung mit der Vernetzung von Raum, Licht und Mensch.

Aus dem angeführten Projekt fließen ausgewählte Bereiche in diese Arbeit ein, welche direkt mit den vorangehenden Studien korrelieren und einen direkten Zusammenhang zu Lichtfarbe, Raum und Befinden aufzeigen. Es werden die Unterschiede spektraler Lichtcharakteristik und die Lichtverteilung im Raum näher betrachtet und, versucht über psychophysische und physiologische Methoden Aussagen im Bereich der Gestaltung von Raum zu erhalten. Ermittelt wird der subjektive Raumeindruck (SD)\* (s. S. 106), die Atmosphäre des Raumes (AM)\* (s. S. 102) und die kardial vegetative Aktivierung (HRV)\* (s. S. 108) der Studienteilnehmer(innen) in verschiedenen weißen Lichtbedingungen.

Die statistische Beratung, Versuchsdurchführung und Auswertung der Daten wurde vom Institut für Psychologie der Karl-Franzens Universität Graz durchgeführt.

---

<sup>29</sup> Dr. Paul Jimenez, Karl-Franzens Universität Graz, Institut für Psychologie, Arbeits-, Organisations- und Umweltpsychologie, Elisabeth Denk studentische Projektmitarbeiterin

<sup>30</sup> Dipl. Ing. MA Design Claudia Gerhäuser

<sup>31</sup> DI Markus Reisinger

Übersicht der bearbeiteten Themen im Projekt „Multisensorisches Licht“:

Bewertung mittels Fragebogen:

- Bewertung des Raumeindrucks im Untersuchungsraum (SD)\*
- Bewertung der Atmosphäre im Untersuchungsraum (AM)\*
- Bewertung des Untersuchungsraumes
- Bewertung der Kaufintention für Produkte
- Bewertung der Produkte im Untersuchungsraum
- Bewertung des Lichts im Untersuchungsraum
- Bewertung von Bildern
- Bewertung des ersten Eindrucks

Psychophysiologische Messung:

- Messung der kardial vegetativen Aktivierung der Herzratenvariabilität (HRV)\*

## ***Einfluss von weißem Licht auf Raumwirkung und kardial vegetative***

### ***Aktivierung im Raumkontext einer Shopsituation***

Diese Studie setzt sich mit der Beziehung lichttechnischer und gestalterischer Entscheidungen auseinander. Im Mittelpunkt der Untersuchung stehen von der Raumwahrnehmung abhängige Aspekte. Anhand einer 1:1 als Mock-up aufgebauten Shopsituation für Bekleidung werden Raumsetting, Lichtverteilung und Lichtfarbe bewertet und hinterfragt. Verglichen werden die Lichttechnologie LED und HID mit unterschiedlicher Lichtverteilung im Raum<sup>32</sup> und verschiedenen Farbtemperaturen (3000 K und 4000 K bzw. 4200 K). Der Fokus dieser Studie liegt in der Aufdeckung der Interaktionen zwischen Raumatmosphäre und Stimmungslagen der Studienteilnehmer(innen) aufgrund bestimmter Beleuchtungssituationen.

Zur Einschätzung der Atmosphäre des Raumes wird der Fragebogen „Atmosphere Metrics“ (Vogels 2008) als Grundlage herangezogen, da durch diesen die affektive Wirkung eines Raumes eingeschätzt werden kann. Eine Bewertung des Raumeindrucks (SD) erfolgte ebenfalls anhand eines Fragebogens mit bipolaren Adjektiven (vgl. Tab. 16). Zusätzlich zur Methode des Fragebogens wurde eine psycho-physiologische Messung der kardial vegetativen Aktivierung der Herzratenvariabilität (HRV) der Studienteilnehmer(innen) vorgenommen (vgl. Tab. 32, 33). Explorativ werden den acht Lichtszenen der Studie im Versuchsraum zwei Lichtszenen im Vorraum des Versuchsraumes gegenübergestellt.

Diese Versuchsreihe kann in zwei Teilbereiche eingeteilt werden:

1. Visuelle Beobachtungen:
  - Einfluss weißer Lichtexposition auf die Bewertung der Atmosphäre des Raumes
  - Einfluss weißer Lichtexposition auf die Bewertung des Raumeindrucks des Untersuchungsraumes
2. Physiologische Beobachtung:
  - Einfluss weißer Lichtexposition auf die kardial vegetative Aktivierung der Herzratenvariabilität

### **Fragestellungen und Hypothesen**

Die Hauptfragestellung soll die Bewertung des Raumeindrucks, die Bewertung der Atmosphäre und die kardial vegetative Aktivierung der Studienteilnehmer(innen) in Bezug auf verschiedene Lichtverteilungen und Farbtemperaturen der Lichttechnologie LED und HID untersuchen.

Hauptfragestellung:

*Wirkt sich weiße Lichtexposition auf die Einschätzung der Atmosphäre des Raumes, die subjektive semantische Bewertung der Shopsituation und die kardial vegetative Aktivierung von Studienteilnehmer(inne)n aus?*

<sup>32</sup> Lichtverteilung: objektorientiert, raumorientiert, semiraumorientiert

## **Einfluss weißer Lichtexposition auf die Einschätzung der Atmosphäre des Raumes**

Hypothese 1: *Weißer Lichtexposition beeinflusst die Einschätzung der Atmosphäre des Raumes.*

Hypothese 1.1: *Lichtverteilung: Die vier Varianten der Lichtverteilung (LED/objektorientiert, HID/semiraumorientiert, LED/raumorientiert und HID/raumorientiert) unterscheiden sich bei der Einschätzung der Atmosphäre des Raumes.*

Hypothese 1.2: *Farbtemperatur: Die Lichtfarben Warmweiß und Neutralweiß unterscheiden sich bei der Einschätzung der Atmosphäre des Raumes.*

Hypothese 1.3: *Wechselwirkung Lichtverteilung mit Farbtemperatur: Die Wirkung der Lichtverteilung (LED/objektorientiert, HID/semiraumorientiert, LED/raumorientiert und HID/raumorientiert) auf die Einschätzung der Atmosphäre des Raumes ist abhängig von der Farbtemperatur.*

Hypothese 1.4: *Farbtemperatur: Die Lichtfarben Warmweiß und Tageslichtweiß unterscheiden sich bei der Einschätzung der Atmosphäre im Vorraum.*

## **Einfluss weißer Lichtexposition auf die subjektive semantische Bewertung im Raumkontext**

Hypothese 2: *Weißer Lichtexposition hat Einfluss auf die Beurteilung des Raumeindrucks einer Shopsituation im Raumkontext.*

Hypothese 2.1: *Raumeindruck: Die acht angebotenen Lichtsituationen unterscheiden sich in der subjektiven Bewertung des Raumes.*

Hypothese 2.2: *Farbtemperatur: Die Lichtfarben Warmweiß und Neutralweiß unterscheiden sich in der subjektiven Bewertung des Raumes.*

## **Einfluss weißer Lichtexposition auf die kardial vegetative Aktivierung der Herzratenvariabilität**

Hypothese 3: *Es zeigen sich Unterschiede in der kardial vegetativen Aktivierung in Abhängigkeit mit der weißen Lichtexposition.*

## Methode

### Versuchsdesign und Planung

In dieser Studie wurde ein 4 x 2 Design mit Messwiederholung verwendet (vgl. Tab. 25) bestehend aus zwei unabhängigen Variablen (vgl. Tab. 26), der Lichtsituation (Farbtemperatur und Lichtverteilung) und der Raumsituation des Shops. Zu den abhängigen Variablen zählen die Bewertung des Raumeindrucks des Untersuchungsraumes mittels bipolarer Adjektive, die Bewertung der Atmosphäre des Untersuchungsraumes und die kardial vegetative Aktivierung. Insgesamt nahmen an der Versuchsreihe 64 Personen teil.

Tabelle 25: Untersuchungsdesign 4 x 2 von Lichtverteilung und Lichtfarbe inkl. Aufteilung der Studienteilnehmer(innen)

		Lichtverteilung (UV 2)			
		LED objektorientiert	HID semiraumorientiert	LED raumorientiert	HID raumorientiert
Lichtfarbe (UV 1)	Warmweiß	32	32	32	32
	Neutralweiß	32	32	32	32
		64	64	64	64

Tabelle 26: unabhängige Variablen und Verteilung der Studienteilnehmer(innen)

UV 1	Lichtfarbe
UV 2	Lichtverteilung
N	68 (64 listenweise gültig)

### Mess-, Gruppierungsgrößen und statistische Verfahren

#### Unabhängige Variablen (Gruppengröße; UV):

Die unabhängigen Variablen sind in Farbtemperatur (Lichtfarbe) und Lichtverteilung eingeteilt. Die Farbtemperatur ist 2-fach gestuft: in 3000 K (Warmweiß) und 4000 K (Neutralweiß). Die Lichtverteilung ist 4-fach gestuft: LED/objektorientiert, LED/raumorientiert, HID/semiraumorientiert und HID/raumorientiert.

UV 1: Farbtemperatur im Untersuchungsraum (FT: 2-fach gestuft; s. Tab. 31)

- 1.1 3000 K (Warmweiß)
- 1.2 4000 K (Neutralweiß)

UV 2: Lichtverteilung im Untersuchungsraum (LV: 4-fach gestuft; s. Tab. 30)

- 2.1 LED/objektorientiert
- 2.2 LED/raumorientiert
- 2.3 HID/semiraumorientiert
- 2.4 HID/raumorientiert

### **Abhängige Variablen**<sup>33</sup> (AV Messgrößen):

Anhand der abhängigen Variablen soll die Auswirkung der weißen Lichtsituationen auf die semantische Bewertung des Raumeindrucks einer Shopsituation, die Einschätzung der Atmosphäre des Raumes und der kardial vegetativen Aktivierung erfolgen. In den folgenden Tabellen (vgl. Tab. 27, 28, 29) findet sich eine Übersicht des vorliegenden Versuchs:

- AV1: Semantische Bewertung des Raumeindrucks einer Shopsituation  
(20 Adjektivpaare; Ratingskala 1 – 7)
- AV2: Bewertung der Atmosphäre des Raumes (AM)
- AV3: Kardial vegetative Aktivierung  
(Herzratenvariabilität: 14 HRV-Kennwerte)

*Tabelle 27: Versuchsplan semantische Bewertung (N = 64)*

AV 1: semantische Bewertung	UV 1: Farbtemperatur; 2-fach gestuft	FT 1 – 2
	UV 2: Lichtverteilung; 4-fach gestuft	LV 1 – 4

*Tabelle 28: Versuchsplan Atmosphäre (N = 64)*

AV 2: Einschätzung der Atmosphäre des Raumes	UV 1: Farbtemperatur; 2-fach gestuft	FT 1 – 2
	UV 2: Lichtverteilung; 4-fach gestuft	LV 1 – 4

*Tabelle 29: Versuchsplan HRV (N = 64)*

AV 3: HRV	UV 1: Farbtemperatur; 2-fach gestuft	FT 1 – 2
	UV 2: Lichtverteilung; 4-fach gestuft	LV 1 – 4

### **Versuchspersonen – Stichprobe**

An diesem Versuch nahmen insgesamt 68 Personen teil. Für die Berechnung der Ergebnisse wurden 64 Studienteilnehmer(innen) herangezogen. Die Stichprobe bestand aus 42 weiblichen und 22 männlichen Studienteilnehmer(inne)n im Alter zwischen 19 und 36 Jahren (MW = 23,45). Der Großteil der Studienteilnehmer(innen) waren Studierende, davon 32,8 Prozent aus der Studienrichtung Psychologie. Der Rest der Stichprobe setzte sich gleichmäßig aus anderen Studiengängen zusammen.

### **Untersuchungsmaterial**

Der Untersuchungsablauf bestand aus drei Teilen: Zu Beginn erhielten die Studienteilnehmer(innen) eine standardisierte Anweisung, welche Einblick in die Thematik der Studie und die zu erwartenden Bewertungssituationen gab. Danach wurde der ChronoCord angelegt, auf Funktion überprüft und eine Einverständniserklärung im Vorraum des „Shops“ ausgefüllt und unterzeichnet. Im zweiten Teil, dem Hauptteil der Studie, wurden die Befragungen durchgeführt, auf welche in weiterer Folge näher eingegangen wird. Der letzte Abschnitt bestand aus dem Abschluss der Untersuchung und einem Debriefing der Studienteilnehmer(innen). Nach dem Ausfüllen des letzten Fragebogens wurden die Elektroden des ChronoCord entfernt.

<sup>33</sup> Skalenniveau: AV1 ordinal, AV2 metrisch, AV3 metrisch

## „Das Raumeindrucksprofil“ – Semantisches Differential

Der Raumeindruck wird durch einen Fragebogen beurteilt und die Daten in einem Profildiagramm veranschaulicht. Mithilfe einer neunstufigen bipolaren Rating Skala beurteilen Studienteilnehmer(innen) den Raumeindruck anhand von 20 Adjektivpaaren (vgl. Tab. 16). Ziel ist es, anhand von Adjektiven die Raum-Lichtsituation zu beurteilen. Die Adjektive zur Erstellung des Raumeindrucksprofils wurden bereits für die Charakterisierung des Raumeindrucks von Architekturmodellen in chromatischen Lichtsituationen verwendet (s. S. 56).

## Einschätzung der Atmosphäre des Raumes

Zur Einschätzung der Atmosphäre des Raumes wird der Fragebogen „Atmosphere Metrics“ von Vogels (2008) verwendet, er beurteilt die Atmosphäre einer Umgebung. Dieser Fragebogen wurde aus dem Niederländischen übersetzt und beinhaltet 40 Adjektive, welche die aktuelle Umgebung (Atmosphäre) beschreiben. Anhand einer siebenstufigen Ratingskala werden die Antworten angekreuzt, die am ehesten zutreffen (1 = überhaupt nicht bis 7 = völlig). Für diese Studie wurde eine verkürzte Version verwendet. Sie umfasst 16 Adjektive, welche in der Vorstudie zum Projekt „Multisensorisches Licht“ (Schulz u. a. 2011a) über eine studienbezogene Faktorenbildung bestätigt wurden. Die ursprünglichen Adjektive von Vogels werden den vier Bereichen Gemütlichkeit, Lebhaftigkeit, Gespanntheit und Distanziertheit zugeteilt. In der verkürzten Version (vgl. Anhang) werden für die Bildung eines Faktors die vier Items verwendet, die am höchsten auf den jeweiligen Faktor laden. Es ergeben sich folgende vier Bereiche in Abweichung zu Vogels (2008):

- *Gemütlichkeit* (Bsp.: „Ich empfinde den Raum gemütlich.“);
- *Negative emotionale Beurteilung* (Bsp.: „Ich empfinde den Raum beklemmend.“);
- *Dynamik* (Bsp.: „Ich empfinde den Raum stimulierend.“);
- *Sachlichkeit* (Bsp.: „Ich empfinde den Raum lethargisch.“).

Den vier Faktoren werden jeweils vier Items zugeordnet:

- *Gemütlichkeit*: *geborgen, gemütlich, gesellig und fröhlich,*
- *Negative emotionale Beurteilung*: *beklemmend, angespannt, düster und feindlich,*
- *Dynamik*: *inspirierend, erholsam, stimulierend und zugänglich,*
- *Sachlichkeit*: *ruhig, geräumig, langweilig und lethargisch.*

## Psychophysiologische Messungen – Die Herzratenvariabilität

s. S. 58.

## Beschreibung der Raumsituation und Prüfmittel

Die Studie fand in den Räumlichkeiten des Raum & Lichtlabors des Instituts für Raumgestaltung der Technischen Universität Graz statt (vgl. Abb. 40). Hier wurde exemplarisch ein Shop für Bekleidung aufgebaut dessen Raumcharakter und Ausstattung sehr reduziert gestaltet wurde, um eine konzentrierte Untersuchung der Lichtszenen zu ermöglichen. In dieser Studie wurden nur die Lichtszenen variiert und keine Veränderungen am räumlichen Setting vorgenommen. Geschmack und Vorlieben sollten so wenig wie möglich beeinflusst werden.



Abbildung 40: Versuchsraum zum Zeitpunkt der Hauptstudie

Der Versuchsraum wurde als Raum-im-Rauminstallation im Raum & Lichtlabor der TU Graz aufgebaut. Dieses Raum & Lichtlabor besitzt eine Höhe von 5,50 m und ist über eine Galerie zu betreten. An der Südseite befinden sich vier Kastenfenster mit einer Brüstungshöhe von 2 m, welche für diese Versuchszwecke völlig verdunkelt wurden. Der Raum bietet die technischen Gegebenheiten zur Arbeit mit Theater und Bühnentechnik. Zusätzlich ist er durch einen Lift behindertengerecht ausgestattet. Die Wände und Decken des Hauptraumes sind weiß gestrichen und haben einen bräunlichen Linoleumfußboden. Die Galerie besteht aus einem Stahlgeländer, das in einem grünen Farbton gestrichen ist. Der Fußboden wurde mit grauem PVC verlegt.

Der Versuchsraum wird über einen mit Leichtbauwänden abgetrennten Vorraum betreten. Dieser ist reinweiß gestrichen und mit warmweißen und tageslichtweißen Leuchtstofflampen ausgestattet, welche in der Studie abwechslungsweise verwendet wurden. Für das Ausfüllen der Fragebögen stand den Studienteilnehmer(inne)n in diesem Bereich ein Tisch mit Sessel zur Verfügung (vgl. Abb. 41, 42).

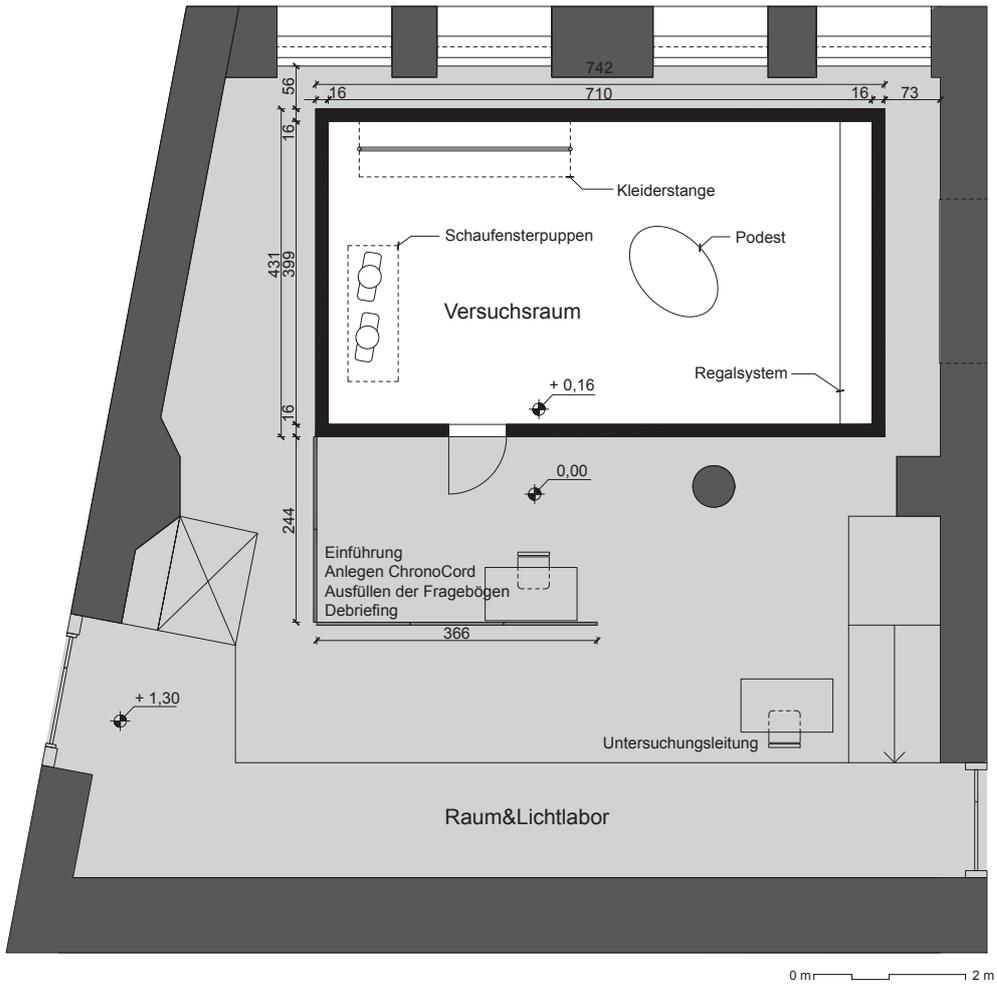


Abbildung 41: Grundriss Raum & Lichtlabor und Versuchsraum

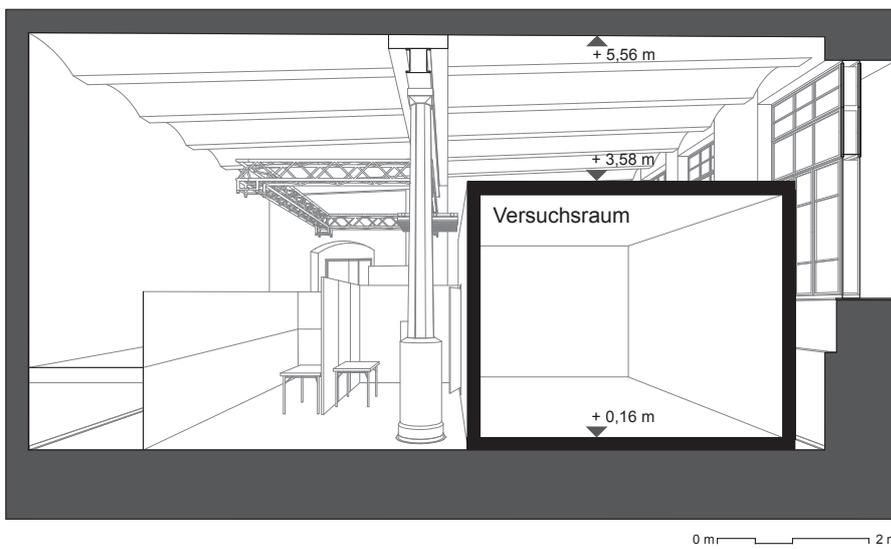


Abbildung 42: Schnitt durch Raum & Lichtlabor und Versuchsraum

Der Versuchsraum ist tageslichtunabhängig, nach außen abgeschlossen und hat einen rechteckigen Grundriss mit den Innenabmessungen von 4 x 7 m und einer Höhe von 3,10 m. Als Zugang dient eine Türe, welche sich an der Längsseite des Raumes befindet. Es gibt keine weiteren Öffnungen. Die Wände sind reinweiß gestrichen (Reflexionsgrad 87 %) und der Fußboden mit einem dunkelgrauen Teppich ausgelegt (Reflexionsgrad 5 %).

Der Raum lässt sich in fünf Bereiche einteilen (vgl. Abb. 43): Bereich A befindet sich gegenüber der Türe und besteht aus einer an der Wand montierten Kleiderstange bestückt mit unterschiedlich farbiger Bekleidung. Die Bekleidung wurde passend für die Zielgruppe der Studienteilnehmer(innen) im Bereich der Young Fashion gewählt. Oberhalb der Kleiderstange befanden sich zwei Werbeplakate. Bereich B befindet sich rechts von der Eingangstüre des Raumes. Diese Wand erstreckt sich über die gesamte Raumbreite. In weißen Regalen sind Jeans in verschiedenen Farbnuancen in Stapeln aufgelegt. Bereich C ist eine ovale Präsentationsfläche, bestückt mit verschiedenfarbigen T-Shirts. Im Bereich D des Raumes befinden sich zwei für die Zielgruppe abgestimmte Schaufensterpuppen, bekleidet mit junger sportiver Mode. Präsentiert wird eine männliche und eine weibliche Puppe, um geschlechterspezifische Beeinflussungen im Versuchsverlauf auszuschließen. Raumbereich E zeigt eine weiße Wand, welche weder Bekleidung noch Dekoration aufweist, sie befindet sich rechts neben der Türe auf der Längsseite.

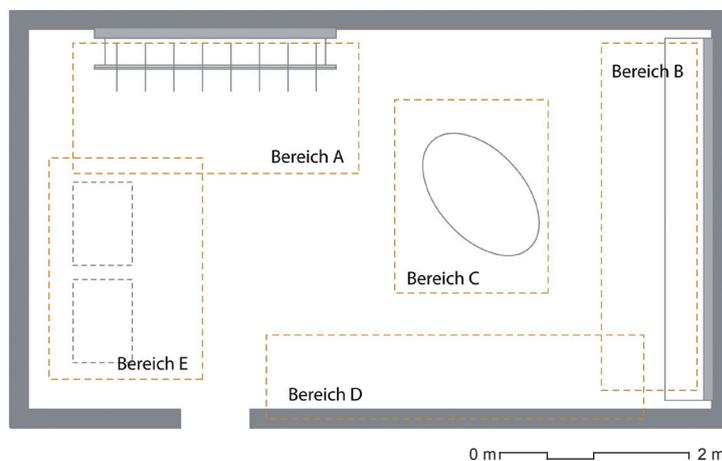


Abbildung 43: Raumbereiche des Versuchsraums

Die präsentierten Kleidungsstücke sind von namhaften Marken im Bereich Young Fashion und haben sportiven, jungen Charakter. Sie kommen aus dem mittleren Preissegment und sind auf die Zielgruppe von Jugendlichen zwischen 18 und 30 Jahren abgestimmt.

## Beschreibung der Lichtsituationen

Zur Gestaltung eines realitätsnahen Versuchsaufbaues wurde bei der lichttechnischen Ausstattung bewusst auf Standardleuchten aus dem Shopbereich zurückgegriffen. Die Leuchten im Versuchsraum wurden gleichmäßig im Raster an der Decke, montiert um unterschiedlich vergleichbare Ausleuchtungen des Raumes zu erhalten (vgl. Abb. 44). Insgesamt wurden acht verschiedene Lichtszenen installiert (vgl. Tab. 30), wobei der Vorraum mit zwei Lichtszenen ausgestattet wurde. Die einzelnen Lichtszenen im Versuchsraum zeigen Unterschiede in der Lichtverteilung, der Farbtemperatur und der spektralen Zusammensetzung (vgl. Abb. 45, 46). Der Vorraum unterscheidet sich bezüglich der Farbtemperatur.

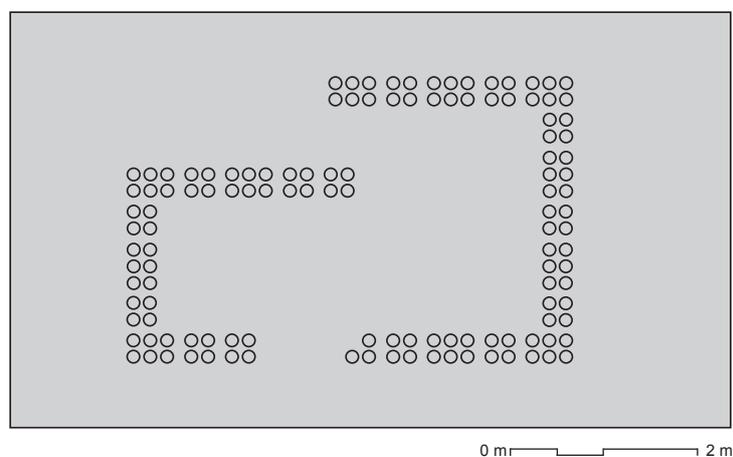


Abbildung 44: Draufsicht des Versuchsraums mit Leuchtenpositionierung

Durch den Einsatz von HID- oder LED-Technologie zeigen sich Unterschiede in der spektralen Verteilung und durch die verschiedenen Ausrichtungen der Reflektoren (Spot und Flood) kann die Lichtverteilung als raumorientiert oder objektorientiert dargestellt werden. Eine weitere Variante ist die semiraumorientierte Lichtverteilung im Raum. Diese wird erreicht durch gleiche Lichtleistung mit reduzierter Lampenanzahl in der HID-Technologie in zwei verschiedenen Lichtfarben. Die Lichtmenge ist bei allen gezeigten Lichtszenen gleich. Eingestellt wurden acht verschiedene Lichtszenen, vier mit warmweißem Licht (Low, Hsw, Lrw, Hrw) und vier mit neutralweißem Licht (Lon, Hsn, Lrn, Hrn) (vgl. Tab. 30).

Tabelle 30: Eingestellte Lichtszenen (Warmweiß, Neutralweiß)

		Low	Hsw	Lrw	Hrw
Warmweiß	Spektrale Verteilung	LED	HID	LED	HID
	Lichtverteilung im Raum	objektorientiert	semiraumorientiert (Minimum an Leuchten)	raumorientiert	raumorientiert
	Farbtemperatur	3000 K	3000 K	3000 K	3000 K
		Lon	Hsn	Lrn	Hrn
Neutralweiß	Spektrale Verteilung	LED	HID	LED	HID
	Lichtverteilung im Raum	objektorientiert	semiraumorientiert (Minimum an Leuchten)	raumorientiert	raumorientiert
	Farbtemperatur	4000 K	4200 K	4000 K	4000 K

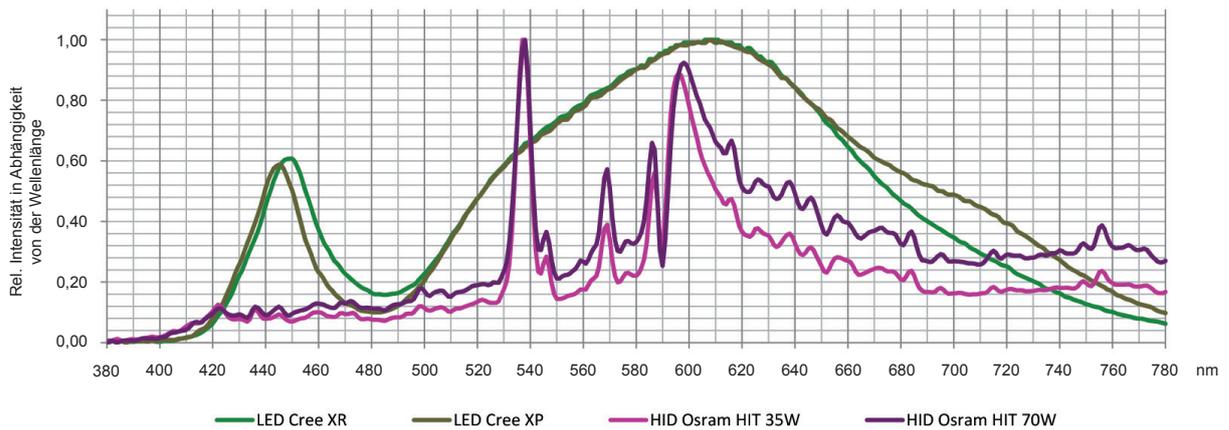


Abbildung 45: Spektrale Energieverteilung der warmweißen Lichtszenen

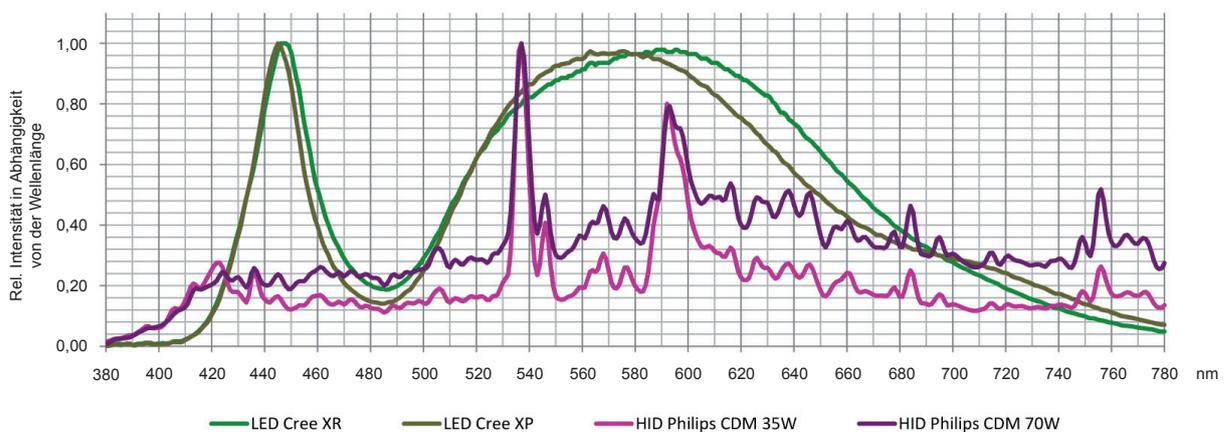


Abbildung 46: Spektrale Energieverteilung der neutralweißen Lichtszenen

Für die Studie werden im Versuchsraum acht Lichtszenen (vgl. Abb. 48) in zwei verschiedenen Farbtemperaturen installiert, um die Einflüsse der Lichtfarbe genauer zu betrachten. Zum Einsatz kommen warmweiße Lichtszenen mit 3000 K und neutralweiße Lichtszenen von 4000 K bis 4200 K. Bei den Lichtszenen der warmweißen HIDs wurden UV-Filter (90 % Transmission) verwendet, bei den neutralweißen HIDs Sicherheitsglas (91 % Transmission). Der Vorraum wird mit Leuchtstofflampen mit den Lichtfarben Warmweiß mit 3000 K und Tageslichtweiß mit 6500 K ausgeleuchtet (vgl. Tab. 51).

Es kamen Lichtszenen mit verschiedenen Lichtverteilungen zum Einsatz. Erreicht wurden diese Lichtverteilungen durch den Einsatz von einzelausrichtbaren Deckenstrahlern (vgl. Abb. 47) mit verschiedenen Optiken (engem bzw. weitem Ausstrahlwinkel). Vier bis sechs Deckenstrahler bildeten eine Systemeinheit.

Folgende Deckenstrahler kamen im Versuchsraum zur Anwendung (vgl. Abb. 47):

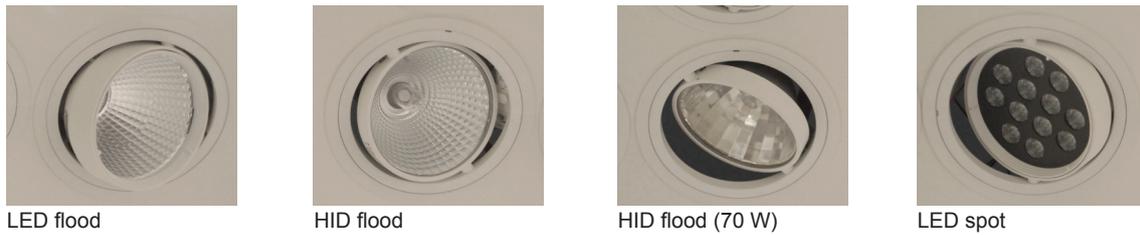


Abbildung 47: LED- bzw. HID-Deckenstrahler im Versuchsraum

Rein technisch unterscheiden sich die verwendeten LED-Spots durch ihre regelmäßig angeordneten Lichtpunkte von den HID-Spots. Diese haben einen zentral angeordneten Lichtpunkt mit Reflektor.

Beschreibung der installierten Lichtszenen (vgl. Tab. 31):

- **Objektorientierte Lichtszenen:**  
Verwendet werden Leuchten mit einem engen Ausstrahlwinkel. Das Licht wird gebündelt und direkt auf die Produkte gerichtet und die hervorgehobenen Elemente werden betont.
- **Raumorientierte Lichtszenen:**  
Dafür werden Leuchten mit einem weiten Ausstrahlwinkel verwendet. Für die Beleuchtung der Wände wird das Licht so ausgerichtet, dass es sich gleichmäßig im Raum verteilt. Diese Art der Beleuchtung wird auch als Allgemeinbeleuchtung bezeichnet.
- **Semiraumorientierte Lichtszenen:**  
Diese Variante der Ausleuchtung wird als raumorientiert bezeichnet. Auch hier werden die Wände beleuchtet und das Licht wird gleichmäßig im Raum verteilt. Der Unterschied liegt darin, dass für die Lichtszenen ein Minimum an Leuchten mit gleichbleibender Lichtleistung verwendet wurde.



Lichtszene objektorientiert, ww, LED



Lichtszene objektorientiert, nw, LED



Lichtszene semiraumorientiert, ww, HID



Lichtszene semiraumorientiert, nw, HID



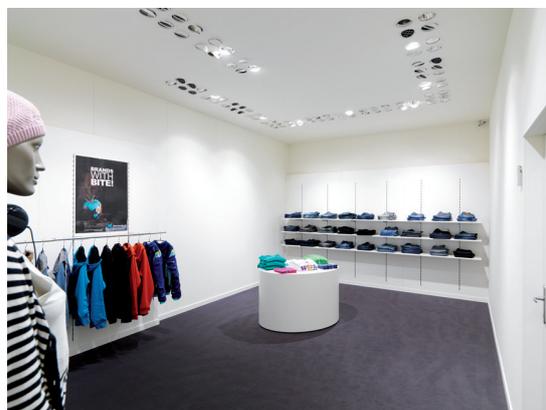
Lichtszene raumorientiert, ww, LED



Lichtszene raumorientiert, nw, LED



Lichtszene raumorientiert, ww, HID



Lichtszene raumorientiert, nw, HID

Abbildung 48: Übersicht der acht installierten Lichtszenen

*Tabelle 31: Übersicht der Lampen und Optiken im Versuchsraum*

Low: warmweiß, objektorientierte Ausleuchtung mit LED-Lampen	Hsw: warmweiß, semiraumorientierte Ausleuchtung mit HID-Lampen (Minimum an Leuchten)
Leuchtentyp: Sasso 150 K Lampentyp: LED Cree XR-E Q2 Leistung: 12 x 2,35W (700mA) Lichtstrom: 1560 lm (hot) Farbtemperatur: 3000 K (bin7D) Spot: 20° 23 Stück	Leuchtentyp: Sasso 150 K Lampentyp: HID Osram HIT-CRI Leistung: 70 W Lichtstrom: 7300 lm Farbtemperatur: 3000 K Reflektor: Flood 36° UV Filterglas 8 Stück
Lrw: warmweiß, raumorientierte Ausleuchtung mit LED-Lampen	Hrw: warmweiß, raumorientierte Ausleuchtung mit HID-Lampen
Leuchtentyp: Sasso 150 K Lampentyp: LED Cree XP-G Q5 Leistung: 16 x 3,4 W (1050mA) Lichtstrom: 3700 lm (hot) Farbtemperatur: 3000 K (bin7A3) Reflektor: Flood 36° 14 Stück	Leuchtentyp: Sasso 150 K Lampentyp: HID Osram HIT-CRI Leistung: 35 W Lichtstrom: 3500 lm Farbtemperatur: 3000 K Reflektor: Flood 36° UV Filterglas 14 Stück
Lon: neutralweiß, objektorientierte Ausleuchtung mit LED-Lampen	Lsw: neutralweiß, semiraumorientierte Ausleuchtung mit HID-Lampen (Minimum an Leuchten)
Leuchtentyp: Sasso 150 K Lampentyp: LED Cree XR-E Q3 Leistung: 12 x 2,35 W (700mA) Lichtstrom: 1660 lm (hot) Farbtemperatur: 4200 K (bin5A) Spot: 20° 23 Stück	Leuchtentyp: Sasso 150 K Lampentyp: HID Philips CDM-T Leistung: 70 W Lichtstrom: 6600 lm Farbtemperatur: 4200 K Reflektor: Flood 36° Sicherheitsglas 8 Stück
Lrn: neutralweiß, raumorientierte Ausleuchtung mit LED-Lampen	Lsn: neutralweiß, raumorientierte Ausleuchtung mit HID-Lampen
Leuchtentyp: Sasso 150 K Lampentyp: LED Cree XP-G R4 Leistung: 16 x 3,4 W (1050mA) Lichtstrom: 4500 lm (hot) Farbtemperatur: 4200 K (bin5A3) Reflektor: Flood 36° 14 Stück	Leuchtentyp: Sasso 150 K Lampentyp: HID Philips CDM-T Leistung: 35 W Lichtstrom: 3300 lm Farbtemperatur: 4200 K Reflektor: Flood 36° Sicherheitsglas 14 Stück

Da Raum und Licht in ihrer Wirkung nicht getrennt betrachtet werden sollten, wurden zur Beschreibung der realen Raumsituation Messwerte eingeholt (vgl. Anhang). Es wurde die tatsächliche Beleuchtungsstärke ermittelt und die Farbtemperatur gemessen. Für die Messung des Farbortes wurden sechs achromatische und sechs chromatische Felder des ColorChecker Classic<sup>34</sup> für die warmweiße und die neutralweiße Lichtsituation gemessen und im CIE Diagramm  $u'v'$  1976 getrennt dargestellt bei einem Normalbeobachter von  $10^\circ$  (vgl. Abb. 49).

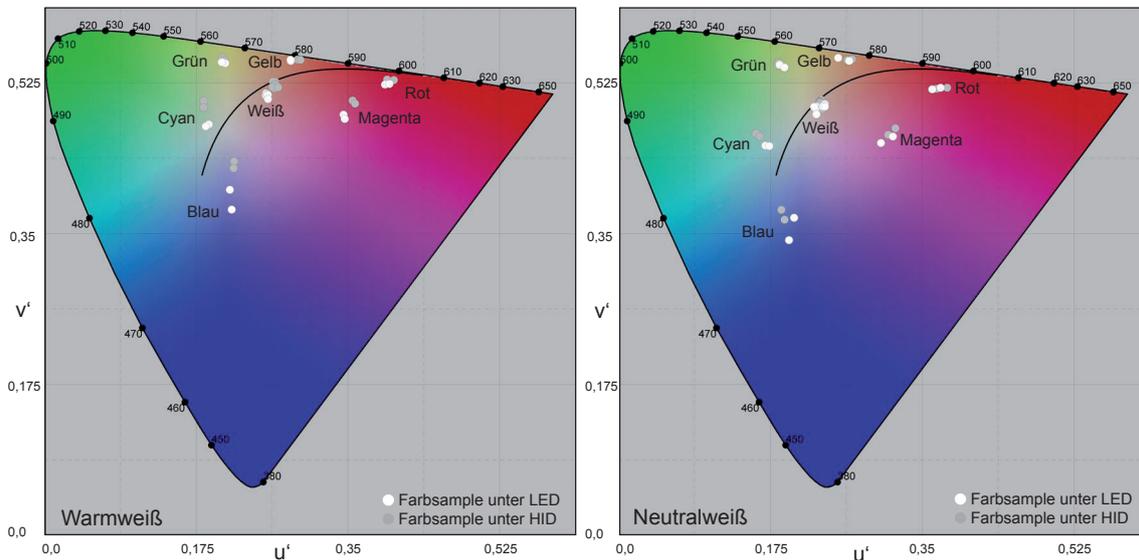


Abbildung 49: Farborte im Farbraum CIE  $u'v'$  1976. li: Lichtszenen ww; re: Lichtszenen nw.

## Versuchsdurchführung

Die Untersuchung wurde im Mock-up des Versuchsraumes und im Vorraum zu diesem durchgeführt. Die Studienteilnehmer(innen) starteten mit einer Lichtsituation im Vorraum, um danach unterschiedliche Lichtszenen im Shop zu durchlaufen (detaillierter Untersuchungsablauf siehe Anhang Abb. 60). Im Shop selbst bestand für die Teilnehmer(innen) der Studie völlige Bewegungsfreiheit, das Berühren von Kleidungsstücken war jedoch untersagt. Betrachtet wurde die Lichttechnologie HID und LED, die in unterschiedlichen Lichtverteilungen eingeteilt war. Den Studienteilnehmer(inne)n wurden vier Lichtvarianten im Messwiederholungsdesign präsentiert LED/objektorientiert, HID/semiraumorientiert, LED/raumorientiert und HID/raumorientiert, welche systematisch variiert wurden, um Positionseffekte auszuschließen (Bortz, Döring 2006; Lüer 1987). Ein weiterer Teil der Studie erfasste den Einfluss der Farbtemperatur. Die Einteilung der Studienteilnehmer(innen) erfolgte in zwei zufällige Gruppen. Einer Gruppe wurden vier warmweiße Lichtvarianten vorgegeben, der anderen vier neutralweiße. Der Vorraum des Shops wurde einer Hälfte der Studienteilnehmer(innen) in warmweißem Licht ( $N = 30$ ) präsentiert, der anderen Hälfte in tageslichtweißem Licht ( $N = 34$ ). Um äußere Einflüsse der Untersuchung auszuschließen, wurden die Situationen konstant gehalten. Hier kann von einer störungsfreien Situation ausgegangen werden, da während der Untersuchung nur die Untersuchungsleitung und ein/e Studienteilnehmer(in) anwesend waren.

<sup>34</sup> Die Farbkontrolltafel des ColorChecker Classic wurde als Referenz zur Farbkontrolle von Materialien und Körperfarben herangezogen. Sie ermöglicht eine konstante Vergleichbarkeit der Farborte in verschiedenen Lichtfarben.

Die Untersuchung begann mit der Begrüßung der Studienteilnehmer(innen) und einer standardisierten Instruktion. Diese bestand aus dem Ablauf des Versuchs und einer Erklärung zur Thematik der Studie. Die Studienteilnehmer(innen) wurden auch darauf hingewiesen, das Mobiltelefon abzuschalten.

Danach nahmen die Studienteilnehmer(innen) im Vorraum des Shops Platz, um eine Einverständniserklärung auszufüllen. Zusätzlich wurden sie über die Installation von Videokameras zur Aufzeichnung der Aktivitäten im Shop informiert und die Funktion des ChronoCord zur Messung der Herzratenvariabilität wurde erklärt. Am Oberkörper von jedem/r Studienteilnehmer(in) wurden drei Elektroden angebracht und das Gerät an der Kleidung befestigt. Der ChronoCord wurde vor Beginn der Befragung durch den/die Studienteilnehmer(in) getestet, da diese(r) während des Versuchs Zeitmarker zu setzen hatte, welche für die Auswertung der HRV-Daten hilfreich sind.

Der Hauptteil der Studie begann mit dem Ausfüllen des ersten Fragebogens im Vorraum, danach wurde der Shop kurz beschrieben und das Zeitsignal (Gong) präsentiert, welches zur zeitlichen Orientierung der Studienteilnehmer(innen) während des Versuchs diente. Nun wurde der Shop für einen kurzen ersten Eindruck betreten und nach Ertönen des Zeitsignals (nach sieben Sekunden) verlassen, um im Vorraum einen Fragebogen zur Bewertung des ersten Eindrucks des Shops auszufüllen. Danach betrat die Versuchsperson erneut den Shop. Innerhalb des Shops konnte sich der Studienteilnehmer(in) nun frei bewegen, es wurden währenddessen Fragebögen ausgefüllt. Nach sieben Minuten ertönte ein Zeitsignal und die Person verließ den Raum, um weitere Fragebögen im Vorraum zum Shop auszufüllen. In dieser Zeit wurden die Lichtbedingungen im Shop verändert. Dieser Vorgang wurde mit allen vier Lichtsituationen wiederholt. Am Ende der Untersuchung wurden die Elektroden des ChronoCord entfernt und die Teilnehmer(innen) erhielten eine kleine Aufwandsentschädigung in Form eines Gutscheins. Die teilnehmenden Psychologie Studierenden konnten sich auf Wunsch einen Untersuchungsschein ausstellen lassen. Bei auftauchenden Fragen wurden die Teilnehmer aufgeklärt und erhielten bei offen bleibenden Fragen nach der Untersuchung ein standardisiertes Debriefing.

## **Explorative Betrachtungen**

### **Versuchsraum und Vorraum des Shops:**

In unterschiedlichen Lichtsituationen werden Raum, Materialien, Farben und ausgestellte Produkte unterschiedlich wahrgenommen. Der Zweck dieser Betrachtung war es, diese Hypothese mit einer weiteren Lichtfarbe zu untersuchen. Darum interessiert es in diesem explorativen Teil der Studie, die Lichtfarbe, Tageslichtweiß, zu untersuchen. Es wird der Unterschied von warmweißen und tageslichtweißen Lichtfarben in der Einschätzung der Atmosphäre des Vorraumes betrachtet. Weiters wird auch der Transfereffekt zwischen dem Vorraum des Shops und dem Shop selbst bei der Bewertung der Atmosphäre untersucht, da eine eventuelle Beeinflussung der Studienteilnehmer(innen) durch den zuvor besuchten Raum nicht auszuschließen ist.

Für diese Betrachtung wurde die Lichtwirkung im Vorraum des Shops mit einbezogen und anhand der Datenanalyse überprüft. Der Vorraum wurde an jedem Tag der Untersuchung abwechselnd in den Lichtfarben tageslichtweiß und warmweiß beleuchtet. Zur Anwendung kamen dabei Leuchtstofflampen. Der Fragebogen „Atmosphere Metrics“ wurde zu neun Messzeitpunkten des Versuchs erhoben, viermal innerhalb des Shops und fünfmal im Vorraum des Shops. Die Atmosphäre wurde zu vier unterschiedlichen Messzeitpunkten erhoben und durch die Untersuchungsteilnehmer bewertet.

## Ergebnisse

Die Ergebnisse der Versuchsreihe können anhand von Tabellen und Abbildungen dargestellt und beschrieben werden. Die signifikanten Ergebnisse wurden in vier Stufen eingeteilt:

(\*)  $p < .10$  = tendenziell signifikant; \*  $p < .05$  = signifikant; \*\*  $p < .01$  = sehr signifikant;

\*\*\* $p < .001$  = hochsignifikant.

Der Ergebnisteil besteht aus drei Teilen:

1. Einfluss weißer Lichtexposition auf die Bewertung der Atmosphäre des Untersuchungsraumes (AM)
2. Einfluss weißer Lichtexposition auf die Bewertung des Raumeindrucks des Untersuchungsraumes (SD)
3. Einfluss weißer Lichtexposition auf die kardial vegetative Aktivierung der Herzratenvariabilität (HRV).

Für die Auswertung der Atmosphäre des Raumes wurden die vier Subskalen, getrennt durch eine zweifaktorielle Varianzanalyse mit Messwiederholung, gerechnet. Zusätzlich wurden explorativ die Bewertungen des Vorraumes und der Transfereffekt zwischen Vorraum des Shops und dem Untersuchungsraum (Shop) betrachtet. Die Atmosphäre wurde innerhalb des Shops und im Vorraum des Shops, zu neun Zeitpunkten abgefragt.

Für die Auswertung der Testergebnisse der bipolaren Ratingskala des Raumeindrucksprofils wurden die Bewertungen im Versuchsraum (Shop) herangezogen. Die aus den Beurteilungen der Studienteilnehmer(innen) entstehenden Polaritätenprofile wurden miteinander verglichen. Zur statistischen Auswertung der Ergebnisse aus der HRV-Messung wurden 14 Parameter herangezogen, welche die kardial vegetative Aktivierung beschreiben, bestehend aus: Basiswerten (Herzrate bzw. RR-Intervalle und Atemfrequenz), Erholungswerten/vagotonen Werten ( $\ln HF_{rr}$ ,  $\ln HF_{hf}$ ,  $SD1$ ,  $\log RSA$ ), Aktivierungswerten/sympathischen Kennwerten ( $\ln LF_{rr}$ ,  $VQ$ ,  $\ln VLF$ ), koordinativen Kennwerten (QPA) und Werten für die Gesamtvariabilität (TOT,  $SDNN$ ,  $SD2$ ).

Ergebnisse zu 1)

## **Einfluss weißer Lichtexposition auf die Einschätzung der Atmosphäre im Raumkontext (AM)**

### **Versuchsraum (Shop):**

Die Hypothese 1.1 – „*Lichtverteilung: Die vier Varianten der Lichtverteilung (LED/objektorientiert, HID/semiraumorientiert, LED/raumorientiert und HID/raumorientiert) unterscheiden sich bei der Einschätzung der Atmosphäre des Raumes/Shop*“ – wurde bestätigt.

Die vier Subskalen (Gemütlichkeit, negative emotionale Bewertung, Dynamik, Sachlichkeit) wurden getrennt durch eine zweifaktorielle Varianzanalyse mit Messwiederholung berechnet: Bei der Bewertung der Atmosphäre des Raumes zeigten der Faktor Gemütlichkeit [F(2.887, 186)=2,694; p<.05], negativen emotionalen Beurteilung [F(2.864, 186)=3.84; p<.05] und der Faktor Dynamik [F(3, 186)=3.588; p<.05] signifikante Ergebnisse bei den unterschiedlichen Lichtverteilungen der LED- bzw. HID-Technologie (objektorientiert, raumorientiert und semiraumorientiert).

Bei genauerer Betrachtung der Lichtverteilungen beim Faktor *Gemütlichkeit* zeigte sich nach einer Post-Hoc-Analyse nach Bonferroni ein signifikanter Unterschied zwischen HID/semiraumorientiert und LED/raumorientiert (F=.159; p=.010) (vgl. Abb. 50). Dabei wurde die HID/semiraumorientierte Lichtverteilung im Vergleich am positivsten eingestuft.

Für den Faktor der *negativen emotionalen Beurteilung* zeigte sich nach einer Post-Hoc-Analyse nach Bonferroni bei LED/objektorientiert und HID/semiraumorientiert (F=.177; p=.010) sowie HID/raumorientiert und HID/semiraumorientiert (F=.139; p=.028) ein signifikanter Unterschied in der Beurteilung (vgl. Abb. 52).

Beim Faktor *Dynamik* zeigte sich LED/raumorientiert und HID/semiraumorientiert (F=.140; p=.009) als signifikant, eine Tendenz wurde bei Lichtvariante HID/raumorientiert und HID/semiraumorientiert (F=.136; p=.058) sichtbar (vgl. Abb. 51).

Hypothese 1.2 – „*Farbtemperatur: Die Lichtfarben warmweiß und neutralweiß unterscheiden sich bei der Einschätzung der Atmosphäre des Raumes/Shop*“ – bestätigte sich nicht.

Hypothese 1.3 – „*Wechselwirkung Lichtverteilung mit Farbtemperatur: Die Wirkung der Lichtverteilung (LED/objektorientiert, HID/semiraumorientiert, LED/raumorientiert und HID/raumorientiert) auf die Einschätzung der Atmosphäre des Raumes/Shop ist abhängig von der Farbtemperatur*“ – bestätigte sich nicht.

Für Unterschiede in der Farbtemperatur und der Wechselwirkung zwischen Farbtemperatur und Lichtvariante wurden keine signifikanten Unterschiede in allen vier Faktoren gefunden.

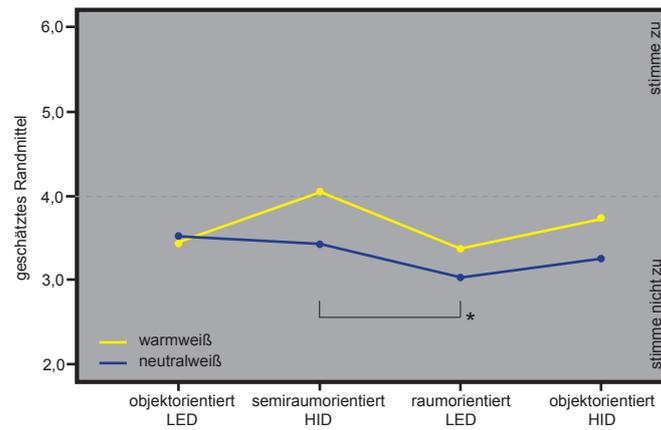


Abbildung 50: Faktor Gemütlichkeit

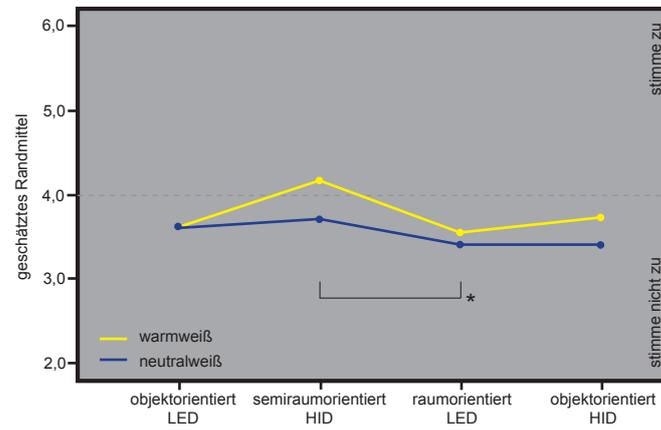


Abbildung 51: Faktor Dynamik

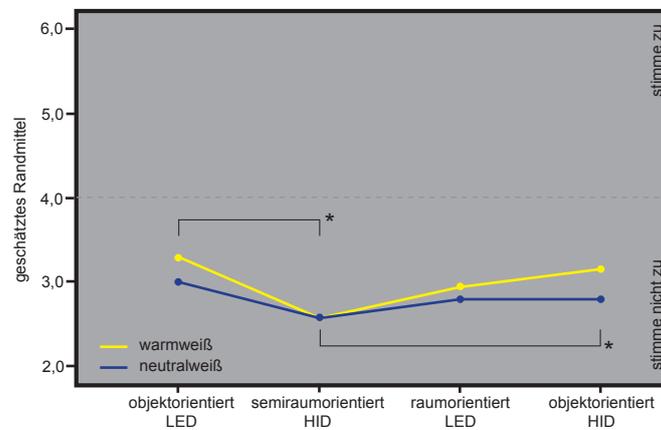


Abbildung 52: Faktor negative emotionale Beurteilung

## Zusammenfassung

Bei der Auswertung des „Atmosphäre Metrics“ hat sich gezeigt, dass die semiraumorientierte Lichtverteilung besser bewertet wurde als die raumorientierte Lichtverteilung. Die semiraumorientierte Lichtverteilung (HID-Technologie) wirkt sich positiv auf die Bewertung der *Gemütlichkeit* des Raumes aus. Sie wurde auch weniger *negativ emotional beurteilt* als die Lichtverteilungen HID/raumorientiert und LED/objektorientiert. Bei der Beurteilung der *Dynamik* zeigten sich tendenzielle Unterschiede zwischen den Lichtverteilungen HID/semiraumorientiert und HID/raumorientiert. HID/semiraumorientiert wird als dynamischer beurteilt.

Bei den Ergebnissen fällt die semiraumorientierte Lichtverteilung besonders auf, da sie eine deutlich bessere Bewertung erhielt als die raumorientierte Variante. Die semiraumorientierte Variante der Ausleuchtung ist uns aus dem Shopbereich vertraut und zeigt Kontraste in der Unterscheidung von Produkt und Fläche auf. Durch diese Spannung entsteht räumliche Tiefe und ein Bezug zum Raum. Diese Variante scheint für den Einsatz im Shopbereich geeignet. Die gleichförmige raumorientierte Lichtverteilung wurde als wenig gemütlich und allgemein negativer beurteilt. Als ebenfalls nicht geeignet erscheint für die Studienteilnehmer(innen) die objektorientierte Lichtverteilung, durch ihre kompromisslose Akzentuierung einzelner Produkte. Sie schwächt die Raumwirkung und wirkt sich scheinbar ungünstig auf die subjektive Einschätzung des Raumes aus.

Sollen im Shopkontext Gemütlichkeit und Dynamik hervorgehoben werden, ist die semiraumorientierte Variante der Lichtverteilung eine Möglichkeit, da sie bei der atmosphärischen Einschätzung des Raumes besser abschneidet, als die restlichen Lichtverteilungen.

Die Hypothese 1.4 – „*Farbtemperatur: Die Lichtfarben warmweiß und tageslichtweiß unterscheiden sich bei der Einschätzung der Atmosphäre im Vorraum*“ – bestätigte sich.

Die Berechnung der Atmosphäre des Vorraums erfolgte, für jede Subskala getrennt, durch vier t-Tests. Die Berechnung des Transfereffekts erfolgte, für jede Subskala getrennt, durch vier zweifaktorielle Varianzanalysen mit Messwiederholung.

Die Auswertung der studienbezogenen Kurzfassung des Fragebogens „Atmosphäre Metrics“ zeigte, dass die Lichtszenen Warmweiß und Tageslichtweiß im Vorraum zum Shop unterschiedlich gemütlich wahrgenommen wurden. Die warmweiße Lichtsituation wurde eindeutig gemüthlicher wahrgenommen als die tageslichtweiße Situation ( $F= 4.128$ ;  $p= .046$ ). Bei der Überprüfung des Transfereffektes der Lichtsituationen des Vorraumes und der Lichtsituationen im Shop konnte ein nachweisbarer Einfluss festgestellt werden. Bezüglich der Einschätzung der Gemütlichkeit zeigte sich ein Unterschied in der Bewertung des Vorraumes in Abhängigkeit zur Lichtfarbe im Innenraum des Shops. Durch eine Post-Hoc-Analyse nach Bonferroni zeigte sich ein signifikanter Unterschied bei einem paarweisen Vergleich der Lichtfarben zwischen Warmweiß und Tageslichtweiß ( $F=5.704$ ;  $p= .020$ ). Jene Personen denen im Shop die warmweiße Lichtfarbe präsentiert wurde, korrigierten die Einschätzung der Atmosphäre des Vorraumes, nachdem sie mit einer warmweißen Lichtfarbe im Shop

konfrontiert worden waren. Ein weiterer nachweisbarer Einfluss der Subskalen wurde nicht festgestellt.

**Zusammenfassung:**

Es ergaben sich signifikante Unterschiede der Lichtfarben im Vorraum. Dies ist auf den großen Unterschied der Farbtemperaturen (2800 K vs. 5800 K) zurückzuführen. Der festgestellte Transfereffekt von innen nach außen zeigt auf, dass Personen nach dem ersten Betreten des Shops in der Lichtfarbe Warmweiß die Bewertung der Atmosphäre revidierten. Jedoch Personen mit tageslichtweißem Licht blieben konstant in ihrer anfänglichen Bewertung. Der Vorraum ist sehr nüchtern gestaltet und kann als kühl beschrieben werden. Aus diesem Grund kann erst durch den Vergleich der Lichtsituation im Inneren des Shops die Bewertung der Atmosphäre korrigiert werden. Diese Auswertungen zeigen, dass Licht Einfluss auf die räumliche Wahrnehmung hat, obwohl sich Licht oftmals an den Grenzen des Unbewussten bewegt. Die Untersuchung legt die Vermutung nahe, dass sich der Außenraum nicht auf die Bewertung des Innenraumes auswirken muss, obwohl es Unterschiede in der Bewertung von Innen- und Außenraum gibt.

Ergebnisse zu 2)

### **Einfluss weißer Lichtexposition auf die subjektive semantische Bewertung im Raumkontext (SD)**

Hypothese 2 – *„Weiße Lichtexposition hat Einfluss auf die Beurteilung des Raumeindrucks einer Shopsituation im Raumkontext“* – bestätigte sich.

Hypothese 2.1 – *„Raumeindruck: Die acht Lichtsituationen im Versuchsraum (Shop) unterscheiden sich in der subjektiven Bewertung des Raumes.“* – bestätigte sich teilweise.

Hypothese 2.2 – *„Farbtemperatur: Die Lichtfarben warmweiß und neutralweiß unterscheiden sich in der subjektiven Bewertung des Raumes.“* – bestätigte sich teilweise.

Der Raumeindruck wurde anhand von 20 bipolaren Adjektiven (vgl. Tab. 16) von den Studienteilnehmer(inne)n eingeschätzt und als Profildiagramm dargestellt. Für den Vergleich der Lichtfarben Warmweiß und Neutralweiß wurden diese für jede Lichtszene einzeln in einem Diagramm dargestellt. In der folgenden Grafik (vgl. Abb. 53) sind exemplarisch sieben Begriffspaare im Vergleich dargestellt. Darunter befinden sich drei Adjektivpaare, welche bereits in der vorhergehenden Studie auf unterschiedliche Wirkungen zwischen chromatischem Licht hinwiesen: verschwommen/klar, kalt/warm und kühl/gefühlvoll. Die Angaben zu den Mittelwerten der Adjektivpaare befinden sich im Anhang.

Die Lage des Profildiagramms für die Lichtsituation „HID/raumorientiert“ zeigt, dass der Raumeindruck in der Lichtfarbe Neutralweiß als geordnet, kühl, kalt und lebhaft bewertet wurde. Die Lichtfarbe Warmweiß wurde als etwas weniger geordnet, gefühlvoller, wärmer und weniger lebhaft als Neutralweiß eingestuft. Das Profil verschiebt sich parallel zu Neutralweiß. Hier ist ein Unterschied in der Bewertung der Lichtfarbe erkennbar.

Die Lichtsituation HID/semiraumorientiert wies ebenfalls einen Unterschied in der Lichtfarbe auf. In den Profilverläufen der Adjektive geordnet, kühl, kalt und lebhaft verhalten sich die Lichtsituationen HID/raumorientiert und HID/semiraumorientiert ähnlich.

In der Lichtsituation LED/raumorientiert ergaben sich lt. Profildiagramm kaum Unterschiede in der Bewertung zwischen warmweißer und neutralweißer Lichtfarbe.

Bei der Lichtsituation LED/objektorientiert kam es zu Abweichungen gegenüber den restlichen Lichtsituationen. Die neutralweiße Lichtsituation wurde im Vergleich zur warmweißen Lichtsituation als scheinbar wärmer wahrgenommen. Der Raumeindruck in neutralweißem Licht wurde als weniger geordnet, gefühlvoller, wärmer und lebhafter bewertet als bei der Bewertung mit warmweißem Licht.

Aus den Untersuchungen kann gefolgert werden, dass die Charakteristik eines Raumes durch unterschiedliche Lichtsituationen verschieden beeinflusst wird.

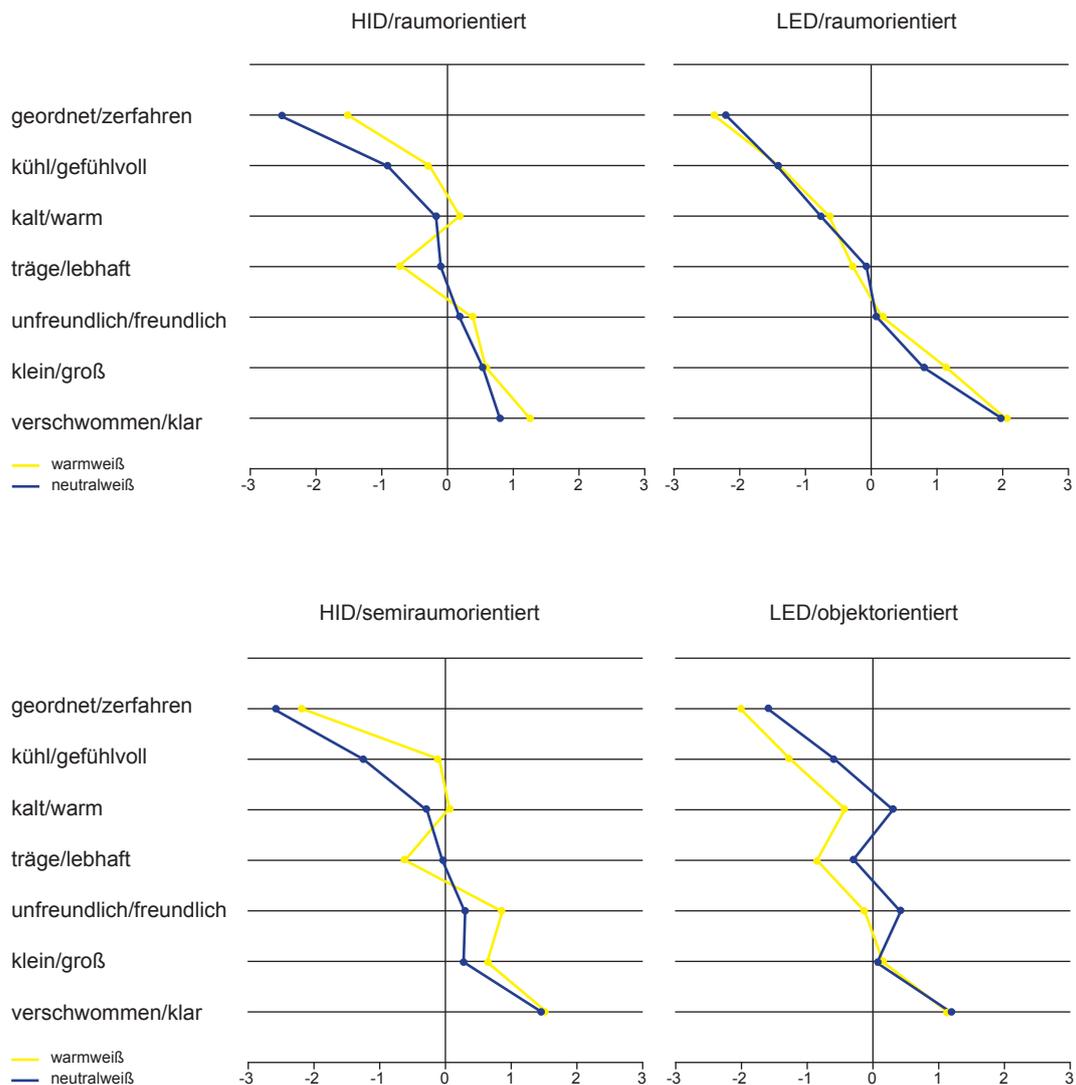


Abbildung 53: Raumeindrucksprofil der acht Lichtszenen

### Zusammenfassung:

Die Lichtszenen HID/raumorientiert und HID/semiraumorientiert wurden mit kleinen Abweichungen gleich beurteilt. In der Bewertung der Lichtszenen mit LED verhielt sich dies nicht konform zu den Lichtszenen mit HID. Bei LED/raumorientiert gab es kaum Unterschiede in der Wahrnehmung der einzelnen Lichtfarben und in der Lichtszene LED/objektorientiert wich die Bewertung von denen der anderen Lichtszenen ab.

Dies könnte ein Hinweis darauf sein, dass Lichtfarben sehr schwer ohne direkten Vergleich zu beurteilen sind. Es zeigte sich auch kein signifikanter Unterschied beim Einfluss der Lichtfarben zwischen Warmweiß und Neutralweiß. Jedoch das Adjektivpaar „lebhaft/träge“ wurde in allen acht Lichtszenen ähnlich beurteilt. Dies könnte ein Hinweis darauf sein, dass die Unterschiede in den Lichtvarianten schwer zu erkennen waren. Bei der Betrachtung der Lichtfarben wird im Profildiagramm sichtbar, dass Neutralweiß in allen acht Lichtszenen immer als lebhafter wahrgenommen wurde als die warmweiße Lichtsituation.

Ergebnisse zu 3)

### **Einfluss weißer Lichtexposition auf die kardial vegetative Aktivierung der Herzratenvariabilität**

Für die Auswertung der Ergebnisse aus der HRV-Messung werden für die statistischen Auswertungen 14 Parameter herangezogen. Sie beschreiben die kardial vegetative Aktivierung (Herzkreislaufsystem). Die Messungen an den Studienteilnehmer(inne)n wurde von Beginn bis Ende der Untersuchung zu allen Testzeitpunkten durchgeführt. Somit konnte die Wirkung der Lichtsituationen auf die kardial vegetative Aktivierung überprüft werden.

Für die Auswertung der Daten im Versuchsraum wurden vier Lichtvarianten und zwei Lichtfarben (Warmweiß, Neutralweiß) herangezogen, und für den Vorraum zum Shop eine Lichtvariante und zwei Lichtfarben (Warmweiß, Tageslichtweiß). Ein Teil der Studienteilnehmer(innen) erlebte im Vorraum des Shops die Lichtfarbe Warmweiß (N = 32), der andere Teil Tageslichtweiß (N = 32). Im Shop wurde einer Hälfte der Studienteilnehmer(innen) Warmweiß (N = 32) präsentiert, der anderen Hälfte Neutralweiß (N = 32).

Hypothese 3 – „Es zeigen sich Unterschiede in der kardial vegetativen Aktivierung (HRV) in Abhängigkeit mit der weißen Lichtexposition (Warmweiß, Neutralweiß, Tageslichtweiß)“ – wurde nicht bestätigt.

**Versuchsraum (Shop):** In der kardial vegetativen Aktivierung zeigte sich zwischen den Lichtvarianten innerhalb des Shops kein signifikanter Unterschied. Auch bei der Betrachtung der weißen Lichtbedingungen Warmweiß vs. Neutralweiß waren keine signifikanten Ergebnisse feststellbar (vgl. Tab. 32).

Tabelle 32: „Shop“ Lichtsensitive HRV-Kennwerte ww vs. nw

	HRV	Weißes Licht				
		ww	nw	Diff.	F	p-Werte
<b>Vagus</b>	InHFrr	5,1	5,014	0,086	0,127	0,723
	logRSarr	1,129	1,112	0,016	0,081	0,778
	pp8*	2,616	2,708	0,093	0,328	0,569
	SD1**	21,157	18,319	2,838	1,457	0,232
<b>Vagus / Sympathikus</b>	InLFrr	6,649	6,705	0,056	0,070	0,793
<b>Sympathikus</b>	HR	85,929	87,084	1,155	0,123	0,727
	InVLFrr	6,783	6,811	0,028	0,022	0,884
	RR	711,687	707,066	4,621	0,031	0,861
	SD2	71,967	70,970	0,997	0,027	0,870
	VQrr	1,549	1,691	0,142	0,746	0,391
<b>Regulativ / Atmung</b>	ATMFrsa	17,764	16,610	1,154	1,394	0,242
	QPArsa	6,071	5,140	0,931	2,491	0,120
<b>Gesamt Variabilität</b>	InTOTrr	7,619	7,640	0,021	0,013	0,910
	SDNN	52,436	51,767	0,669	0,024	0,878

Weißes Licht (WL): mittlere Ausprägung  
Diff. (Differenz): Warmweiß (ww) – Neutralweiß (nw)

**Vorraum zu Shop:** Bei der Betrachtung der vegetativen Aktivierung im Vorraum des Shops ergaben sich keine signifikanten Ergebnisse zwischen den Lichtfarben Warmweiß und Tageslichtweiß (vgl. Tab. 33).

Tabelle 33: „Vorraum zu Shop“ Lichtsensitive HRV-Kennwerte ww vs. tw

	HRV	Weißes Licht				
		ww	tw	Diff.	F	p-Werte
<b>Vagus</b>	InHFrr	5,950	6,086	0,586	0,314	0,577
	logRSArr	1,355	1,384	0,029	0,267	0,607
	pp8*	3,368	3,290	0,078	0,08	0,778
	SD1**	29,830	32,050	2,22	0,358	0,552
<b>Vagus / Sympathikus</b>	InLFrr	6,928	6,954	0,026	0,023	0,881
<b>Sympathikus</b>	HR	76,014	76,157	0,143	0,003	0,96
	InVLFrr	6,943	6,949	0,006	0,002	0,969
	RR	806,816	808,226	1,41	0,002	0,962
	SD2	83,148	85,380	2,232	0,1	0,753
	VQrr	0,977	0,868	0,109	0,462	0,499
<b>Regulativ / Atmung</b>	ATMFrsa	16,757	17,155	0,398	0,201	0,655
	QPArsa	4,844	4,797	0,047	0,013	0,911
<b>Gesamt Variabilität</b>	InTOTrr	7,905	7,937	0,032	0,038	0,847
	SDNN	62,549	64,020	1,471	0,075	0,785

Weißes Licht (WL): mittlere Ausprägung

Diff. (Differenz): Warmweiß (ww) – Tageslichtweiß (tw)

### Zusammenfassung:

Die Ergebnisse der kardial vegetativen Aktivierung gaben keinen Aufschluss des Einflusses von Lichtfarbe auf physiologische Prozesse des Körpers, weder innerhalb des Shops (Warmweiß vs. Neutralweiß) noch im Vorraum (Warmweiß vs. Tageslichtweiß).

Dieses Ergebnis könnte auf einen zu geringen Unterschied in der Farbtemperatur, aber auch durch einen zu geringen Aufenthalt in der Lichtsituation zurückzuführen sein. Es könnte jedoch auch an anderen Parametern liegen wie z. B. an der Raumsituation.

Dieser Aspekt könnte durch ein verändertes Versuchsdesign detaillierter betrachtet werden.

## ***Kurze Zusammenfassung der Ergebnisse der drei Versuchsreihen***

- In der ersten Versuchsreihe (*Studie 1*) wird abgefragt, inwieweit der Mensch in der Lage ist, Farben wahrzunehmen. In der Gruppe werden Auswirkungen einer 90-minütigen Lichtexposition von sechs chromatischen und einer weißen Beleuchtungssituation auf die Befindlichkeit abgefragt – jeweils vor und nach dem Versuch. Während der Zeit in den Lichtbedingungen erhielten die Studienteilnehmer(innen) Übungen zur subjektiven Einschätzung der Helligkeit von Körperfarben. In Zusammenhang mit chromatischem Licht bestätigten sich ein Einfluss der momentanen Befindlichkeit und ein Einfluss auf die subjektive Wahrnehmung von Körperfarben.
- In der zweiten Versuchsreihe, im Hauptexperiment (*Studie 2*), wird die Auswirkung von chromatischem Licht auf die Befindlichkeit näher betrachtet. Die Zeit pro Farbsituation wird auf acht Minuten reduziert, jede/r Studienteilnehmer(in) beurteilt individuell sechs chromatische Lichtsituationen vor und nach jeder Lichtexposition. In diesem Zeitraum unter chromatischen Lichtbedingungen erhalten die Studienteilnehmer(innen) einen Fragebogen zur subjektiven Wahrnehmung des Raumeindrucks von Architekturmodellen. Ergänzend wird eine physiologische Messung der Herzratenvariabilität durchgeführt. Anhand der Architekturmodelle konnte aufgezeigt werden, dass nicht nur die Gestalt Einfluss auf die Raumwahrnehmung hat, sondern auch Licht. Des Weiteren wurde ein Zusammenhang von Licht mit momentanem Befinden und HRV festgestellt.
- Die dritte Versuchsreihe (*Studie 3*) ist ein Anwendungsbeispiel, hier wird ein Mock-up-Raum als Shop für Bekleidung aufgebaut und mit weißem Licht ausgestattet. Getestet werden mittels Fragebogen der subjektive Raumeindruck und die Atmosphäre des Raumes in verschiedenen Lichtfarben und Lichtverteilungen. Zusätzlich wird die Herzratenvariabilität gemessen. Der Fokus dieser Studie liegt auf der Untersuchung des Zusammenhangs von Produktpräsentation und Beleuchtungssituation. Die dabei entstehenden Interaktionen der Wirkung von Licht auf den Menschen, wie z. B. Raumatmosphären und Stimmungslagen, stehen im Vordergrund der Betrachtung. Es bestätigte sich ein Einfluss der Lichtfarbe auf die Studienteilnehmer(innen). Es zeigte sich jedoch, dass die Lichtgestaltung grundsätzlich einen stärkeren Einfluss auf die Raumwahrnehmung hat als die Lichtfarbe des Leuchtmittels.

## Interpretation zentraler Ergebnisse

Im Folgenden werden die zentralen Ergebnisse der drei Studien einzeln betrachtet, hinterfragt und Ansätze für weiterführende Forschungen besprochen:

- Chromatisches Licht (Versuchsreihe / Studie 1 und 2)
- Weißes Licht (Versuchsreihe / Studie 3)
- Ausblick

### **Chromatisches Licht**

Zur Frage, wie sich chromatisches Licht auf die Wahrnehmung von Studienteilnehmer(inne)n auswirken kann, wurden zwei Versuchsreihen in extrem chromatischen Lichträumen durchgeführt. Diese Auswahl wurde bewusst getroffen, um durch intensive Farbreize die Reaktionen auf Befinden und Wahrnehmung bei den Studienteilnehmer(inne)n zu erhöhen.

Die **erste Versuchsreihe** (s. S. 32) beschäftigte sich mit dem Einfluss von chromatischem Licht auf Studienteilnehmer(innen) im Vergleich zu weißem Licht in räumlichen Situationen über eine Zeitspanne von 90 Minuten. Diese Zeitspanne wurde gewählt, da davon ausgegangen werden konnte, dass sich Effekte auf Gemüt und Befinden einstellen. Wie in der Lichttherapie beschrieben, ist eine Expositionszeit von 30 bis 60 Minuten über einen längeren Zeitraum üblich (Glickman u. a. 2006). Es nahmen 46 Schüler(innen) an der Versuchsreihe teil. Die Ergebnisse zum psychischen Befinden (Steyer u. a. 1997) vor und nach dem Versuch zeigen, dass chromatische Lichtexposition allgemein einen Einfluss auf die Studienteilnehmer(innen) hat (s. S. 44). Betrachtet man die weiße Lichtexposition, so erhöht sich die Wachheit (vor vs. nach dem Versuch). Diese Beleuchtungssituation liegt im Bereich von Tageslichtweiß (6500 K), d. h. die verwendeten Leuchtstofflampen enthalten einen hohen spektralen Anteil an blauer Lichtfarbe. Studien in diesem Bereich beschreiben eine erhöhte Wachheit von Personen in Lichtexpositionen mit erhöhtem spektralen Blauanteil (Cajochen 2007; Cajochen u. a. 2005). Dies wird auch durch diese Studie bestätigt. Wenn gute Stimmung und Ruhe abnehmen, könnte dies auf den allgemeinen Einfluss der Studiensituation<sup>35</sup> zurückzuführen sein. Beim Vergleich der chromatischen Lichtbedingungen mit der weißen Lichtbedingung zeigte sich bei Cyan ein erhöhtes Maß an Wachheit. Als gleichbleibend ruhig beurteilten die Studienteilnehmer(innen) die Lichtexposition unter Cyan, Grün und Gelb. Unter diesen Situationen blieb auch die Stimmung gleich.

Zusammenfassend könnte man sagen, dass in dieser Studie Ruhe und gute Stimmung unter weißem Licht abnehmen und die Wachheit zunimmt.

Es zeigte sich ebenfalls, dass chromatische Lichtexposition die subjektive Wahrnehmung von Körperfarben beeinflusst. In dieser Studie bedeutete dies für die Studienteilnehmer(innen) Auswirkungen auf die Positionierung von Farbkärtchen nach ihrer subjektiv wahrgenommenen

---

<sup>35</sup> Der allgemeine Einfluss der Studiensituation könnte z. B. auf die Monotonie der Aufgabenstellung zurückzuführen sein.

Helligkeit (s. S. 47). Generell wurden die achromatischen Farbkärtchen von hell nach dunkel richtig eingestuft. Die chromatischen Farbkärtchen variierten systematisch bei der Einschätzung der Studienteilnehmer(innen).

Aus praktischer Sicht zeigte das Farb-Lichtexperiment die zu erwartenden funktionalen Grenzen im visuellen Bereich des Sehens auf, die diese Thematik mit sich bringt. Im Allgemeinen bestätigte sie den erwarteten Einfluss von chromatischem Licht auf Oberflächenfarbe und bot für die Studienteilnehmer(innen) eine praxisnahe Gestaltungshilfe für Farbgestaltungen und Beschriftungen von Gebäuden unter chromatischen Lichtbedingungen. Die an der Versuchsreihe teilnehmenden Schüler(innen) erhielten ein Verständnis über die Zusammenhänge von chromatischem Licht und Körperfarbe. Sie können ihre gewonnenen Erfahrungen in diesem Bereich in der Praxis, dem Farbdesign, künftig besser anwenden.

In der **zweiten Versuchsreihe** flossen die Aspekte des Einflusses von chromatischem Licht auf das momentane Befinden aus der vorangehenden Studie ein. Die Ergebnisse der ersten Studie wurden repliziert und in anderem Kontext eingesetzt. Abgefragt wurde das Befinden mittels Fragebogen (Steyer u. a. 1997) vor und nach jeder Lichtexposition, welche 8 min dauerte. Zusätzlich zur Methode des Fragebogens wurde eine physiologische Messmethode eingesetzt, welche über die Vorgänge im Körper Aufschluss geben sollte.

Die Ergebnisse zeigen, dass die chromatische Lichtexposition allgemein einen Einfluss auf das psychische Befinden von Studienteilnehmer(inne)n hat (s. S. 67). Bei detaillierter Betrachtung wird auf der Skala „Wachheit – Müdigkeit“ ein klarer Unterschied zwischen „kein Licht“ und den chromatischen Lichtsituationen sichtbar. „Kein Licht“ war als Referenzwert eingeführt worden. In dieser Situation fanden jedoch keine Beurteilungen statt, vielmehr sollten sich die Studienteilnehmer(innen) entspannen. Aus diesem Grund war das Ergebnis, eine hohe Ausprägung in den chromatischen Lichtsituationen und eine niedrige Ausprägung der Wachheit bei „kein Licht“, nicht überraschend, sondern eine Bestätigung des Referenzwertes. Eine weitere Erklärung dafür wären auch die unterschiedlichen Helligkeitsverhältnisse zwischen „kein Licht“ und chromatischem Licht, die bei den Studienteilnehmer(inne)n zu erhöhter Wachheit führten. Auf der Skala „Ruhe – Unruhe“ zeigte sich ebenfalls ein Einfluss der chromatischen Lichtexposition. „Kein Licht“ als Referenzwert wurde als besonders beruhigend eingestuft. Dies war nicht überraschend, sondern bestätigte die Referenz. Von besonderem Interesse war dabei das Ergebnis, dass sich die Studienteilnehmer(innen) unter blauer Lichtexposition innerlich ruhiger und gelassener fühlten als im Gegensatz zu chromatischer Lichtexposition mit überwiegendem Rotanteil.

Bei der Beurteilung von Architekturmodellen in chromatischen Lichtsituationen können anhand des Raumeindrucksprofils charakteristische Aussagen zur subjektiven semantischen Bedeutung getroffen werden (s. S. 71). Von den vorliegenden bipolaren Adjektiven gibt es Itempaare, welche besser für die Beschreibung von Architekturmodellen geeignet sind und andere, die sich sehr gut eignen, um das Zusammenspiel von chromatischer Lichtsituation und Architekturmodell zu beschreiben. Dabei zeigte sich, dass die Architekturmodelle durch die Studienteilnehmer(innen) in der jeweiligen chromatischen Lichtbedingung konsistent beurteilt

wurden, d. h. die Studienteilnehmer(innen) beurteilten die einzelnen Modellcharakteristiken ähnlich. Auf diese wird jedoch in dieser Arbeit nicht näher eingegangen, da der Schwerpunkt dieser Studie chromatisches Licht ist. Stellvertretend für die Beurteilung der Modellcharakteristik steht in Abb. 34 das Wortpaar „bewegt/ruhig“.

Es bestätigte sich, dass chromatisches Licht bei der Beurteilung von Architekturmodellen eine wesentliche Rolle spielt. Interessant war, welches der Adjektivpaare es erlaubt, unter chromatischer Lichtexposition die Wahrnehmung der Modelle am besten zu differenzieren. Deshalb wurden die Gegensatzpaare herausgesucht, die die größten Differenzen unter den Farben aufwiesen. Global betrachtet hat chromatisches Licht einen bedeutenden Einfluss für die Beurteilung der Charakteristiken von Architekturmodellen. Dies zeigt sich im Speziellen bei drei Adjektivpaaren, die auf die unterschiedlichen Wirkungen von Lichtfarben hinweisen: verschwommen/klar, kalt/warm und kühl/gefühlvoll. Hier haben die Lichtfarben in den Profilverläufen die gleiche Reihenfolge bis auf wenige Ausnahmen. Es zeigte sich, dass die Architekturmodelle unter chromatischer Lichtexposition bei den Farben Blau und Cyan als kalt und kühl bezeichnet wurden und unter Gelb und Rot als warm und gefühlvoll. Als verschwommen wurden die Farben Blau und Rot bezeichnet, als klar Grün und Cyan. Die Lichtfarbe Magenta zeigte bei der Beurteilung keine konsistenten Einflüsse. Dies könnte darauf zurückzuführen sein, dass sie eine Mischfarbe aus roter und blauer Lichtfarbe ist und sie deshalb für die Studienteilnehmer(innen) schwer fassbar war.

Bei der kardial vegetativen Aktivierung wurden Einflüsse zwischen chromatischem Licht und „kein Licht“ sichtbar (s. S. 76). Da die Studienteilnehmer(innen) bei „kein Licht“ sich in einer Ruhephase befanden und in chromatischem Licht Architekturmodelle beurteilten, könnte dies auch auf eine höhere kognitive Verarbeitung der Architekturmodelle oder die aktivierende Wirkung von Licht zurückzuführen sein. Betrachtet man die einzelnen Farblichtexpositionen, so zeigt sich bei der Betrachtung von Blau und Rot nur in der Atmung ein Unterschied. Hier ist die ATMF (Atemfrequenz) unter blauer Lichtexposition am höchsten und die VLF (Durchblutungsrhythmik) bei Rot am niedrigsten. Es zeigt sich bei Blau und Rot, dass es zu einer Aktivierung kommen kann, der Grund dafür erschließt sich nicht. Diese widersprüchlichen Ergebnisse könnten ev. ein Hinweis darauf sein, dass die Aktivierung auf unterschiedlichen Ebenen erfolgt, aber dafür gibt es noch keine Theorie, auf die zurückgegriffen werden könnte. Andererseits könnte es aber auch auf unterschiedliche Reaktionstypen auf chromatisches Licht hinweisen. Hier liegt ein Potential für zukünftige Forschungstätigkeit im Bereich Licht.

Bei der Zusammenführung (s. S. 79) der Daten aus den Reaktionen von Befinden und HRV auf chromatische Lichtexposition wurden für diese Untersuchung nur jene Messgrößen ausgewählt, auf welche die Studienteilnehmer(innen) licht-sensitive Reaktionen zeigten. Beim momentanen Befinden war dies die Skala „Ruhe – Unruhe“. Hier zeigte sich bei Blau eine stärkere Ruhereaktion als bei Rot und Magenta. Im Bereich der HRV zeigten sich farbsensitive Reaktionen auf die Kennwerte VLF und ATMF (s. Tab. 24).

Für die weitere Untersuchung wurden die Studienteilnehmer(innen) in drei Gruppen (UV1) eingeteilt: In Studienteilnehmer(innen), die keine bzw. wenig Reaktionen auf chromatisches

Licht zeigten; in Studienteilnehmer(innen), die allgemein ruhiger wurden, und solche, die unruhig reagierten. Hier teilte sich die Gruppe (UV2) in Personen, die bei blauem Licht ruhiger wurden, Personen, die bei rotem Licht ruhiger wurden, und solche, die wenig Differenz zwischen Rot und Blau aufwiesen. Die somit aufgefundenen Unterschiede innerhalb der chromatischen Lichtbedingungen könnten ev. auf Wechselwirkungen bzw. Persönlichkeitsunterschiede rückführbar sein und für Folgeuntersuchungen bzw. zukünftige Anwendungen im Feld relevant sein. Auch könnten unter Umständen inkonsistente Ergebnisse in der Literatur erklärt werden.

Bei der Überprüfung des Zusammenhangs zwischen physiologischen Kennwerten und chromatischer Lichtexposition konnten allgemein keine physiologischen Unterschiede gefunden werden. Zieht man jedoch psychologische Kriterien dazu heran, die Studienteilnehmer(innen) in Gruppen von unterschiedlichen Respondern einzuteilen, so zeigen sich Unterschiede in der kardial vegetativen Aktivierung. Dies führt zu einer detaillierteren Sichtweise und könnte erklären, warum es in diesem Bereich der Forschung kaum signifikante Ergebnisse gibt.

### **Weißes Licht**

Die Untersuchung im Bereich von weißem Licht (s. S. 84) soll auch hier die Zusammenhänge der psychophysischen Ebene und der physiologischen Ebene aufzeigen. Bei dieser anwendungsbezogenen Studie sind die Intensitäten der Lichtfarbe augenscheinlich wesentlich geringer als bei den Studien mit chromatischem Licht. Das bedeutet aber nicht, dass die Ergebnisse weniger aussagekräftig sind, nur weil der Unterschied nicht sofort erkennbar ist. Für diese Untersuchungen wurden die Parameter Lichtfarbe und räumliche Lichtverteilung ausgewählt, da davon ausgegangen wird, dass sie am stärksten das räumliche Setting und somit die Wahrnehmung der Studienteilnehmer(innen) beeinflussen können.

Bei der Beurteilung der Atmosphäre bestätigte sich der studienbezogene Fragebogen „Atmosphäre Metrics“ (AM; Vogels 2008) als gute Möglichkeit, unterschiedliche Lichtsituationen zu beschreiben. Hier wurde z. B. die Lichtvariante mit minimaler Leuchtenanzahl (semiraumorientiert) als gemütlicher beurteilt als die raumorientierte Variante (s. S. 102). Es zeigte sich die Bevorzugung eines spannungsreicher gestalteten Umfelds. In der Beurteilung der Raumatmosphäre zeigte die Lichtfarbe im Versuchsraum (Shop) keinen Einfluss auf die Studienteilnehmer(innen). Dies könnte bedeuten, dass die Unterschiede im visuellen Eindruck der Lichtfarbe Neutralweiß (4000 K) und Warmweiß (2800 K) für die Studienteilnehmer(innen) zu gering waren. Bei der Betrachtung der Lichtfarben im Vorraum des Shops, Warmweiß (2800 K) und Tageslichtweiß (5800 K) war die Differenz der Farbtemperatur wesentlich höher. Hier bestätigte sich diese Annahme. Tageslichtweiß hingegen wurde als wesentlich weniger gemütlich wahrgenommen. Beim Vergleich der Werte Versuchsraum vs. Vorraum zum Shop zeigten sich ebenfalls Auswirkungen in der Bewertung der Atmosphäre durch die Studienteilnehmer(innen). Das bedeutet, dass sich unterschiedliche Raumgestaltungen in der Bewertung auswirken.

In der Bewertung des Raumeindrucks (s. S. 106) im Versuchsraum ergaben sich keine spezifischen Unterschiede beim Einfluss der Lichtfarbe, was den AM bestätigte. Das

Profildiagramm zeigt jedoch, dass die neutralweißen Lichtsituationen als geringfügig lebhafter wahrgenommen wurden.

Die Ergebnisse der kardial vegetativen Aktivierung (s. S. 108) gaben keinen Aufschluss des Einflusses von Lichtfarbe auf physiologische Prozesse des Körpers, weder innerhalb des Shops (Warmweiß vs. Neutralweiß) noch im Vorraum (Warmweiß vs. Tageslichtweiß). Dies könnte von einigen Parametern abhängig sein, wie z. B. vom Shopkontext, eines zu geringen Unterschieds in der Farbtemperatur, eines zu geringen Aufenthalts der Studienteilnehmer(innen) in der jeweiligen Lichtfarbe oder sogar von der Uhrzeit, in der die Lichtexposition stattfand. Diese Aspekte könnten auf der Grundlage des hier durchgeführten Versuchsdesigns weitergeführt und detaillierter betrachtet werden.

Zusammenfassend kann für diese Studie festgehalten werden, dass der Raumbezug grundsätzlich stärkeren Einfluss auf die Studienteilnehmer(innen) zeigte als die Lichtfarbe.

Die Ergebnisse dieser Studie können Architekt(inn)en und Designer(innen), einen Ansatz bieten unterschiedliche Lichtfarben bewusst für die Gestaltung von Raumatmosphäre einzusetzen.

Dies wird in dieser Studie z. B. in Bezug auf die Gemütlichkeit ablesbar. Bei der Auswahl von Lichtverteilung und Farbtemperatur darf aber trotzdem die Auseinandersetzung mit weiteren Wahrnehmungsaspekten, wie im ersten Teil der Arbeit beschrieben, nicht vergessen werden.

Es wird aufgezeigt, dass Licht nicht nur isoliert zu betrachten ist. Als eigenständiges Gestaltungsmittel sollte es für anwendungsorientierte Schlussfolgerungen auch in Zukunft in weiteren Studien raumbezogen untersucht werden.

### **Ausblick**

Durch die Arbeit mit Studierenden im Lichtbereich hat sich bei Raumexperimenten immer wieder die Frage gestellt, wie mit der Kombination Licht & Farbe bewusst und gezielt bei der Gestaltung von Raum umgegangen werden kann und ob es eine Richtlinie für die Anwendung im architektonischen Entwurfsprozess gibt, um bereits frühzeitig diese Thematik zu integrieren. Da Licht als Gestaltungsmittel in der Architektur sehr unbewusst auf den Menschen wirkt, war dies ein Anknüpfungspunkt bzw. Motivation, um einerseits die physiologische Ebene und andererseits die psychophysische Ebene zu untersuchen. Durch Licht und Materialien kann Raum extrem beeinflusst werden, sowohl physiologisch wie auch psychologisch. Dies hat selbst unter normalen Lichtbedingungen seine Relevanz.

Anhand von Befragungen und einer physiologischen Messung der kardial vegetativen Aktivierung konnte überprüft werden, ob die Annahme in der Farbgestaltung „kalte Farben“ (kurzwellig) sind als beruhigend und ‚warme Farben‘ (langwellig) als aktivierend einzustufen“, bei chromatischem Licht zutrifft. Diese Tendenz bestätigte auch ein Studien-Überblick über physiologische Reaktionen auf Farben (z. B. Kaiser 1984). Die vorhandenen Daten wurden jedoch als unzureichend für eine generelle Aussage bewertet.

In der vorliegenden Studie wurde bei der Befragung der Probanden der Raumeindruck von Architekturmodellen in den chromatischen Lichtbedingungen Blau und Cyan als kalt und kühl

und Gelb und Rot als warm und gefühlvoll bezeichnet. Beim momentanen Befinden (Steyer u. a. 1997) fühlten sich die Studienteilnehmer(innen) in der blauen Lichtexposition ruhiger als in der roten. Der psychologische Teil der Arbeit bestätigt somit die genannte Annahme (Kwallek u. a. 1997 2007; Suk, Irtel 2010). Betrachtet man den physiologischen Teil der Arbeit wurden hier zwei Variablen gefunden, welche Unterschiede zeigen. Durch diese Ergebnisse wurde bestätigt, dass chromatisches Licht individuell auf Menschen wirkt. Die vertretene Annahme von Farbdesigner(inne)n, Blau würde beruhigend und Rot aktivierend wirken, ist zumindest im Bereich von Licht nicht mehr eindeutig nachvollziehbar und hat demnach keine allgemeine Gültigkeit. Es wurde der Beweis erbracht, dass es unterschiedliche Farb-Lichttypen gibt, welche nicht so einfach zu generalisieren sind. Richtlinien dazu gibt es aber noch keine.

Bei dieser Art der Betrachtung zeigt sich, dass die Wirkung von chromatischem Licht auf den Menschen nicht zu verallgemeinern ist, sondern sehr individuell auf den Menschen wirkt. Es hat sich bestätigt, dass Farbe ein subjektives Erlebnis ist und sich nur sehr schwer generalisieren lässt. Da farbiges Licht gerade in der Architektur eine große Präsenz haben kann verlangt es bei der sich schnell entwickelnden Lichttechnologie und einem immer größer werdenden Einsatzgebiet von chromatischem Licht im Architekturalltag nach Folgeuntersuchungen in diesem Feld. Für chromatische Raum-Lichtgestaltungen sollte über sinnvolle Gesamtkonzeptionen nachgedacht werden, welche Reizüberflutungen vermeiden und doch Abwechslung bieten. Sieht man sich den vermehrten Einsatz von chromatischem Licht im Architekturalltag an, braucht es in Zukunft Expert(inn)en für den Einsatz von chromatischem Licht.

### ***Empfehlungen für weitere Studien***

Da sich die Reaktionen der Studienteilnehmer(innen) auf chromatisches Licht als individuell unterschiedlich herausgestellt haben, wäre es für eine Folgestudie interessant, hier anzusetzen. Der Fokus sollte dabei auf den unterschiedlichen Gruppen von Respondern im Blau- und Rotbereich liegen, d. h. auf Personen, die verschieden auf chromatische Lichtexposition reagieren. Weißes Licht sollte für die Überlegungen in den Versuchsablauf einbezogen werden. Zusätzlich könnten in der Betrachtung der HRV Versuchspersonen, die eine Tätigkeit ausführen und solche, die keine Tätigkeit ausführen, miteinander verglichen werden. Die Auswahl der Stichprobe sollte sich nicht nur auf Studienteilnehmer(innen) einer Berufs- oder Altersgruppe beschränken, sondern wesentlich breiter gestreut werden, um Allgemeingültigkeit zu erlangen. Bei der Untersuchung von weißem Licht und HRV zeigten sich keine Reaktionen der Studienteilnehmer(innen). Deshalb sollte in einer Folgestudie ein psychologisches Einteilungskriterium gefunden werden, um ev. Responder für die Lichtfarben Warmweiß, Neutralweiß und Tageslichtweiß zu finden. Vielleicht käme dann ein signifikantes Resultat zustande. Bereits Johannes Itten machte am Bauhaus zum Thema „subjektive Farbklänge“ Übungen mit seinen Schüler(inne)n. Er lies Blätter malen, die mit ihren eigenen Farben „optimal harmonisch“ wirken sollten. Dabei ergab sich eine typenbezogene Harmonievorstellung der einzelnen Schüler(innen), welche sich in weiterer Folge auch gruppieren ließen (Küppers 1989). Architektur ist zwar subjektiv, jedoch lassen sich immer bestimmte Gruppierungen finden.

Ist ein bestimmter Reaktionstyp gefunden, könnte dies für die individuelle Nutzung in der Architektur bedeuten, dass ein und derselbe Raum durch das Setzen von Licht unterschiedliche Befindensformen bekommen kann, ohne dass bauliche Eingriffe vorgenommen werden müssten. Man könnte Räume z. B. auf ein bestimmtes Befinden abstimmen und den Körper dadurch gezielt beeinflussen. Eine weitere Variante der Gestaltung von Lichträumen wäre der personalisierte Befindensraum. In Abhängigkeit vom jeweiligen Reaktionstyp könnte die geeignete Raumwirkung für den/die Nutzer/in hergestellt werden.

## **Anhang**

### **Abkürzungsverzeichnis**

AK	achromatische Körperfarbe
ALM	allgemeines lineares Modell
AM	Atmosphere Metrics
AV	abhängige Variable
cd/m <sup>2</sup>	Leuchtdichte
CIE	Commission Internationale de L'eclairage (Internationale Beleuchtungskommission)
CK	chromatische Körperfarbe
CL	Chromatisches Licht
EKG	Elektrokardiogramm
HID	High Intensity Discharge (Hochdruckentladungslampe)
Hrn	HID/raumorientiert neutralweiß
HRV	Herzratenvariabilität
Hsn	HID/semiraumorientiert neutralweiß
Hsw	HID/semiraumorientiert warmweiß
K	Kelvin (Farbtemperatur)
LED	Light Emitting Diode
Lon	LED/objektorientiert neutralweiß
Low	LED/objektorientiert warmweiß
Lrn	LED/raumorientiert neutralweiß
lx	Beleuchtungsstärke
MDBF	Mehrdimensionaler Befindlichkeitsfragebogen
MW	Mittelwert (mean)
n. s.	nicht signifikant
NCS	Natural Colour System
nm	Nanometer
nw	Neutralweiß
p-Wert	Signifikanzwert
SAD	Seasonal affective disorder
SD	Standardabweichung (Standard Deviation)
tw	Tageslichtweiß
UV	Unabhängige Variable
ww	Warmweiß
LSD	Least Significant Difference (kleinster signifikanter Unterschied)
lx	Beleuchtungsstärke
ANOVA	Analysis of Variance (Varianzanalyse)
MANOVA	Multivariate Varianzanalyse

## **Beschreibung der HRV-Kennwerte**

zitiert nach „Methoden der Herzratenvariabilität (HRV), Kennwerte und potenzielle Einsatzmöglichkeiten“, Human Research (Grote u. a. 2011):

### Gebäuchliche Parameter im Zeitbereich sind:

#### **SDNN** [ms]:

Standardabweichung der RR-Intervalle über ein bestimmtes Zeitintervall (i.R. über 24 h bzw. 5 min), ein Maß für die Gesamtvariabilität im Zeitbereich.

#### **rMSSD** [ms]:

die Wurzel aus den gemittelten Quadraten der Differenzen aufeinander folgender RR-Intervalle. Dieser Parameter entspricht vor allem kurzfristigen, d. h. hochfrequenten Schwankungen.

#### **logRSA** [ms]:

Der Median der absoluten Differenzen aufeinander folgender Herzfrequenzwerte misst, ähnlich der HF (siehe unten), vorrangig die raschen, atmungsinduzierten Änderungen, ohne jedoch eine strikte Grenze bei einer bestimmten Frequenz zu ziehen (vgl. Moser u. a. 1995). Die respiratorische Sinusarrhythmie (RSA) ist somit die hochfrequente Variabilität der Herzfrequenz, welche die Stärke der Modulation des Herzrhythmus durch die Atmung widerspiegelt. Sie ist gleichzeitig ein Maß für den Tonus der Vagusaktivität.

#### **QPA** [-]:

Der Puls-Atem-Quotient gibt an, wie oft das Herz während eines Atemzuges schlägt (Verhältnis der Herzschläge zu einem Atmungszyklus).

Bei der Fouriertransformation wird das Signal in eine Summe von Sinuskurven mit unterschiedlichen Frequenzen aufgetrennt und die zeitbasierte in eine frequenzbasierte Betrachtung überführt. Hier geht die Zeitinformation verloren, was zumindest bei stationären Signalen keine Einschränkung darstellt. Dafür wird bei der Analyse eine Kurzzeitbetrachtung in einem definierten, konstanten Zeitfenster notwendig (i. R. fünf Minuten).

### Hierzu hat sich folgende Einteilung der HRV-Kennwerte im Frequenzbereich durchgesetzt:

#### **TOT** (total frequency):

Die Leistung im gesamten Frequenz- bzw. Spektralbereich von 0.033 - 0.5 Hertz (Hz).

#### **HF** (high frequency):

Der HF-Bereich umfasst Schwankungen mit Periodendauern von 2.5 Sekunden bis 7 Sekunden (0.15 - 0.4 Hz). Die Leistung im HF-Band entspricht der Aktivität des Parasympathikus und zeigt hauptsächlich Herzfrequenzvariationen, die auf Modulationen über die Atmung zurückzuführen sind.

#### **LF** (low frequency):

Das LF-Band umfasst den Frequenzbereich von 7 - 25 Sekunden (0.04 - 0.15 Hz). Die Leistung in diesem Band wird sowohl vom Parasympathikus (tiefe Atemzüge) als auch vom Sympathikus beeinflusst. Diese Region wird auch Barorezeptor-bereich genannt, da die Aktivität dieses Rezeptors hier sehr gut widergespiegelt wird. Die niederfrequenten Komponenten der

Herzratenvariabilität korrespondieren mit der Blutdruckrhythmik mit einer Frequenz von ca. 0.1 Hz.

**LF/HF** (vegetativer Quotient, VQ):

Der Quotient aus den beiden vorangehenden Parametern spiegelt das momentane vegetative Aktivierungsniveau des Organismus wieder und ist ein Maß für die „autonome Balance“. Höhere Werte zeigen eine aktive, leistungsorientierte Einstellung des Körpers, tiefe Werte eine auf Erholung ausgerichtete.

**VLF** (very low frequency):

Das VLF-Band entspricht der Leistung im niedrigen Frequenzbereich der Herzschlagabfolgen von 0.0033 - 0.04 Hertz (Hz). Dieses Frequenzband der HRV unterliegt vor allem Einflüssen des sympathischen Nervensystems. In der Literatur wird die VLF-Komponente der HRV mit der Thermoregulation und der peripheren Zirkulation in Verbindung gebracht (Fleisher u. a. 1996), welche ähnliche Schwingungen wie die Durchblutungsrhythmik aufweist. Taylor u. a. (1998) berichten über einen Zusammenhang der VLF-Komponente mit dem Renin-Angiotensin System. Die Rolle der VLF-Komponente wird u.a. auch bei Depressionen bzw. bei erhöhter Morbidität ins Spiel gebracht (z. B. Carney u. a. 2005; Hadase u. a. 2004).

Diese Parameter (Frequenzbändern) werden in der Regel logarithmisch dargestellt.

Als Kennwerte der Lorenz-Plot-Analyse ergeben sich z. B.:

**SD1** (Kurzzeitvariabilität in ms):

Die Streuweite der Punktwolke, ein Maß für die Kurzzeitvariabilität der HRV, welche die Schwankung der direkt aufeinander folgenden RR-Intervalle wiedergibt. Dieser Parameter korreliert insbesondere in Ruhe in hohem Maß mit der Aktivität des Parasympathikus. Indikator für schnelle Änderungen in HR Huikuri u. a. (1996), Nebenachse der Konfidenzellipse im Poincaré-Plot.

**SD2:** (Langzeitvariabilität in ms): Die Länge der Punktwolke ist ein Maß für die Langzeitvariabilität. Dieser Kennwert bildet ähnlich der SDNN die Gesamtaktivität aller an der Steuerung des Herzschlags beteiligten Komponenten ab.

**SD2/SD1** Verhältnis [-]: Eine mögliche Alternative zur Berechnung des vegetativen Quotienten (LF/HF) aus Frequenzdomänenparametern.

**pp8** (pattern predominance): Beschreibt vornehmlich atmungsbezogene Schwankungen und ist daher ein Indikator der vagalen Aktivierung (Bettermann u. a. 1999)

## Wirkung von chromatischem Licht in räumlichen Situationen

- Einfluss von chromatischem Licht in räumlichen Situationen auf Befindlichkeit und subjektive Helligkeitsempfindung

*Tabelle 34: Auswahl der 12 Samples der Graureihe aus dem StoC System und der entsprechenden Farbtöne aus dem NCS System*

Sample	StoC System		NCS System		
	Farbtonnummer	Hellbezugswert <sup>36</sup>	NCS Farbcode	Y <sub>1</sub>	v <sup>37</sup>
1	37 111	73	S 1002-Y	76	0,9
2	37 110	64	S 1500-N	67	0,85
3	37 109	56	S 2000-N	59	0,8
4	37 108	43	S 3000-N	46	0,7
5	37 107	33	S 4000-N	35	0,6
6	37 106	28	S 4502-G	30	0,55
7	37 105	23	S 5500-N	23	0,45
8	37 104	18	S 6000-N	19	0,4
9	37 103	13	S 6502-B	16	0,35
10	37 102	11	S 7500-N	11	0,25
11	37 101	7	S 8000-N	8	0,2
12	37 100	5	S 8500-N	6	0,15

NCS System: Y<sub>1</sub>=fotometrischer Lichtreflexionsfaktor; v = Helligkeit;

*Tabelle 35: Auswahl der vier Bunttöne aus dem NCS System*

Sample	Farbton	NCS System		
		NCS Farbcode	Y <sub>1</sub>	v <sup>37</sup>
13	gelb	S 0580-Y	76	0,9
14	rot	S 1080-R	19	0,4
15	blau	S 1565-B	26	0,5
16	grün	S 1565-G	35	0,6

NCS System: Y<sub>1</sub>=fotometrischer Lichtreflexionsfaktor; v = Helligkeit;

<sup>36</sup> StoC System: Definition Hellbezugswert = Wert der Lichtmenge, die von der Oberfläche reflektiert wird. Gemessen in Prozent: 100 % = weiss, 0 % = schwarz.

<sup>37</sup> NCS System: Farbmuster gleicher Helligkeit findet man auf einer Geraden deren Lage vom Buntton abhängt.

Tabelle 36: Messwerte der achromatischen und chromatischen Farbkärtchen unter Lichtsituation Weiss 6500 K.

Messwerte 6500 K <sup>8</sup>					
Sample	NCS System	Farbort CIE Diagramm u'v' 1976		Wellenlänge	Excitation Purity
	Farbton	u'	v'	nm	%
1	S 1002-Y	0,2121	0,4793	477,45	30,11
2	S 1500-N	0,2101	0,4751	476,98	32,10
3	S 2000-N	0,2100	0,4749	476,97	32,17
4	S 3000-N	0,2088	0,4737	476,95	32,91
5	S 4000-N	0,2082	0,4732	476,99	33,22
6	S 4502-G	0,2078	0,4725	476,92	33,57
7	S 5500-N	0,2079	0,4735	477,1	33,21
8	S 6000-N	0,2072	0,4718	476,9	33,93
9	S 6502-B	0,2068	0,4708	476,8	34,4
10	S 7500-N	0,2077	0,4733	477,1	33,29
11	S 8000-N	0,2074	0,4717	476,84	33,91
12	S 8500-N	0,2090	0,4737	476,92	32,86
13	S 1565-B	0,1464	0,4119	477,05	66,19
14	S 0580-Y	0,2534	0,5535	573,6	74,43
15	S 1565-G	0,1379	0,5163	493,34	40,84
16	S 1080-R	0,3991	0,5046	503,47	55,98

Tabelle 37: Messwerte der achromatischen und chromatischen Farbkärtchen unter Lichtsituation Blau.

Messwerte Lichtsituation BLAU <sup>8</sup>					
Sample	NCS System	Farbort CIE Diagramm u'v' 1976		Wellenlänge	Excitation Purity
	Farbton	u'	v'	nm	%
1	S 1002-Y	0,2082	0,4750	477,34	32,61
2	S 1500-N	0,2118	0,4730	476,24	32,36
3	S 2000-N	0,2114	0,4732	476,34	32,39
4	S 3000-N	0,2118	0,4730	476,23	32,39
5	S 4000-N	0,2117	0,4730	476,26	32,39
6	S 4502-G	0,2118	0,4729	476,22	32,39
7	S 5500-N	0,2112	0,4734	476,42	32,40
8	S 6000-N	0,2134	0,4721	475,74	32,26
9	S 6502-B	0,2128	0,4723	475,89	32,35
10	S 7500-N	0,2126	0,4727	476,01	32,29
11	S 8000-N	0,2137	0,4717	475,61	32,30
12	S 8500-N	0,2126	0,4720	475,89	32,51
13	S 1565-B	0,1989	0,4793	480,05	33,57
14	S 0580-Y	0,1492	0,5159	492,99	36,94
15	S 1565-G	0,1336	0,5173	493,67	42,13
16	S 1080-R	0,2226	0,4681	472,35	31,40

Tabelle 38: Messwerte der achromatischen und chromatischen Farbkärtchen unter Lichtsituation Cyan.

Sample	Messwerte Lichtsituation CYAN <sup>8</sup>				
	NCS System	Farbort CIE Diagramm u'v' 1976		Wellenlänge nm	Excitation Purity %
		Farbton	u'		
1	S 1002-Y	0,2123	0,4779	477,1	30,59
2	S 1500-N	0,2116	0,4747	476,59	31,83
3	S 2000-N	0,2114	0,4748	476,64	31,87
4	S 3000-N	0,2108	0,4737	476,56	32,4
5	S 4000-N	0,2108	0,4737	476,54	32,39
6	S 4502-G	0,2102	0,4731	476,57	32,75
7	S 5500-N	0,2102	0,4732	476,6	32,71
8	S 6000-N	0,2099	0,4726	476,53	33,01
9	S 6502-B	0,2102	0,4714	476,24	33,32
10	S 7500-N	0,2122	0,4741	476,34	31,89
11	S 8000-N	0,2124	0,4714	475,83	32,74
12	S 8500-N	0,2152	0,4723	475,41	31,72
13	S 1565-B	0,1757	0,437	476,58	52,47
14	S 0580-Y	0,2605	0,5485	575,36	63,53
15	S 1565-G	0,1745	0,5117	490,75	29,64
16	S 1080-R	0,2563	0,4659	420,31	25,65

Tabelle 39: Messwerte der achromatischen und chromatischen Farbkärtchen unter Lichtsituation Grün.

Sample	Messwerte Lichtsituation GRÜN <sup>8</sup>				
	NCS System	Farbort CIE Diagramm u'v' 1976		Wellenlänge nm	Excitation Purity %
		Farbton	u'		
1	S 1002-Y	0,2138	0,4781	476,82	30,10
2	S 1500-N	0,2115	0,4755	476,78	31,58
3	S 2000-N	0,2113	0,4756	476,83	31,61
4	S 3000-N	0,2104	0,4745	476,80	32,20
5	S 4000-N	0,2102	0,4741	476,77	32,40
6	S 4502-G	0,2091	0,4731	476,77	33,02
7	S 5500-N	0,2092	0,4730	476,74	33,04
8	S 6000-N	0,2089	0,4725	476,71	33,25
9	S 6502-B	0,2085	0,4717	476,64	33,65
10	S 7500-N	0,2100	0,4756	477,09	31,95
11	S 8000-N	0,2085	0,4712	476,54	33,83
12	S 8500-N	0,2094	0,4760	477,30	31,94
13	S 1565-B	0,1498	0,4050	476,18	66,80
14	S 0580-Y	0,2613	0,5451	575,66	54,68
15	S 1565-G	0,1874	0,4717	480,21	39,18
16	S 1080-R	0,2855	0,4701	571,39	33,11

Tabelle 40: Messwerte der achromatischen und chromatischen Farbkärtchen unter Lichtsituation Gelb.

Messwerte Lichtsituation GELB <sup>6</sup>					
Sample	NCS System	Farbort CIE Diagramm u'v' 1976		Wellenlänge nm	Excitation Purity %
		Farbton	u'		
1	S 1002-Y	0,2125	0,4766	476,79	30,96
2	S 1500-N	0,2101	0,4754	477,03	31,97
3	S 2000-N	0,2101	0,4756	477,09	31,91
4	S 3000-N	0,2083	0,474	477,12	32,95
5	S 4000-N	0,2077	0,4738	477,19	33,12
6	S 4502-G	0,2076	0,474	477,27	33,11
7	S 5500-N	0,2068	0,4723	477,06	33,88
8	S 6000-N	0,2056	0,4706	476,98	34,78
9	S 6502-B	0,2057	0,4724	477,31	34,14
10	S 7500-N	0,2068	0,4724	477,1	33,86
11	S 8000-N	0,2074	0,4736	477,22	33,31
12	S 8500-N	0,2105	0,4776	477,41	31,11
13	S 1565-B	0,1074	0,378	477,39	83,1
14	S 0580-Y	0,2612	0,5366	576,11	32,03
15	S 1565-G	0,119	0,4319	481,04	69,39
16	S 1080-R	0,4019	0,5189	497,47	52,51

Tabelle 41: Messwerte der achromatischen und chromatischen Farbkärtchen unter Lichtsituation Rot

Messwerte Lichtsituation ROT <sup>6</sup>					
Sample	NCS System	Farbort CIE Diagramm u'v' 1976		Wellenlänge nm	Excitation Purity %
		Farbton	u'		
1	S 1002-Y	0,2176	0,4898	478,94	24,91
2	S 1500-N	0,2126	0,4783	477,11	30,36
3	S 2000-N	0,2131	0,4798	477,35	29,71
4	S 3000-N	0,2142	0,4824	477,71	28,49
5	S 4000-N	0,2036	0,4585	475,41	39,13
6	S 4502-G	0,2053	0,4628	475,73	37,37
7	S 5500-N	0,2088	0,4702	476,31	34,08
8	S 6000-N	0,2016	0,4542	475,15	40,93
9	S 6502-B	0,2074	0,4665	475,95	35,64
10	S 7500-N	0,1975	0,4441	474,37	44,97
11	S 8000-N	0,2136	0,48	477,27	29,49
12	S 8500-N	0,1927	0,4346	473,92	48,82
13	S 1565-B	0,1216	0,2729	470,58	94,69
14	S 0580-Y	0,2497	0,5625	573,22	100
15	S 1565-G	0,207	0,4709	476,76	34,31
16	S 1080-R	0,2526	0,5621	573,76	100

Tabelle 42: Messwerte der achromatischen und chromatischen Farbkärtchen unter Lichtsituation Magenta.

Sample	Messwerte Lichtsituation MAGENTA <sup>8</sup>				
	NCS System	Farbort CIE Diagramm u'v' 1976		Wellenlänge nm	Excitation Purity %
		Farbton	u'		
1	S 1002-Y	0,2109	0,4794	477,72	30,41
2	S 1500-N	0,2107	0,4738	476,59	32,39
3	S 2000-N	0,2103	0,4736	476,63	32,56
4	S 3000-N	0,2098	0,4718	476,4	33,3
5	S 4000-N	0,2104	0,4703	476,03	33,62
6	S 4502-G	0,208	0,4709	476,58	34,02
7	S 5500-N	0,2107	0,4701	475,93	33,63
8	S 6000-N	0,2102	0,4669	475,49	34,78
9	S 6502-B	0,2119	0,4654	474,9	34,84
10	S 7500-N	0,2132	0,4678	475,07	33,74
11	S 8000-N	0,209	0,4703	476,3	33,99
12	S 8500-N	0,2157	0,4662	474,03	33,67
13	S 1565-B	0,178	0,3829	471,05	64,78
14	S 0580-Y	0,2278	0,5583	567,68	76,13
15	S 1565-G	0,1671	0,4661	481,36	46,62
16	S 1080-R	0,2324	0,5529	567,56	62,24

**HELLIGKEIT**

Ordnen Sie die Ihnen vorliegenden chromatischen und achromatischen Farbkärtchen nach ihrer wahrgenommenen Helligkeit. Beginnen Sie mit dem hellsten Farbton bis zum dunkelsten Ton (von oben nach unten).

Teilnehmer Nummer: \_\_\_\_\_

Lichtfarbe: W\_R\_G\_B\_C\_M\_Y

Abbildung 54: Aufgabenstellung Sortiertask

# MDBF

Code / Name:

Datum  Alter:  Jahre

Geschlecht: w  m

## Instruktion

Im folgenden finden Sie eine **Liste von Wörtern, die verschiedene Stimmungen beschreiben**.

Bitte gehen Sie die Wörter der Liste nacheinander durch und kreuzen Sie bei jedem Wort das Kästchen an, das die augenblickliche Stärke Ihrer Stimmung am besten beschreibt.

**Ein Beispiel:**

Im Moment fühle ich mich

	überhaupt nicht				sehr
	1	2	3	4	5
wohl	<input type="radio"/>				

Angenommen, Sie würden sich momentan äußerst wohl fühlen, dann würden Sie den Kreis unter der Ziffer 5 ankreuzen

Im Moment fühle ich mich

	überhaupt nicht				sehr
	1	2	3	4	5
wohl	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>

## Bitte beachten Sie dabei folgende Punkte:

- In der Liste sind mehrere Adjektive enthalten, die möglicherweise dieselbe oder eine ähnliche Stimmung beschreiben. Lassen Sie sich dadurch nicht verwirren, und **geben sie Ihre Antwort bei jedem Adjektiv unabhängig davon, wie Sie bei einem anderen Adjektiv geantwortet haben**.
- Beurteilen Sie nur, wie Sie sich **augenblicklich** fühlen, nicht wie Sie sich im allgemeinen oder gelegentlich fühlen.
- Wenn Ihnen die Antwort schwerfallen sollte, geben Sie die Antwort, die am **ehesten** zutrifft.

Geben Sie bitte bei **jedem** Wort ein Urteil ab und lassen Sie keines der Wörter aus.

Abbildung 55: Fragebogen MDBF – Instruktion (Studie 1 und 2)

# MDBF

Code / Name:

Datum  Alter:  Jahre

Geschlecht: w  m

## MDBF-Langform

Uhrzeit

Im Moment  
fühle ich mich

überhaupt nicht  
1 2 3 4 5  
sehr

1. zufrieden
2. ausgeruht
3. ruhelos

Im Moment  
fühle ich mich

überhaupt nicht  
1 2 3 4 5  
sehr

13. schläfrig
14. wohl
15. ausgeglichen

Abbildung 56: Fragebogen MDBF – Langform: Bsp. Adjektivliste (Studie 1 und 2)

- Einfluss von chromatischem Licht in räumlichen Situationen auf Befindlichkeit und subjektive Farbempfindung von Studierenden

*Tabelle 43: Durchlauf 1, variiert: Versuchsperson (VP) 1 bis 35*

VP	Block 1	Kein Licht	Block 2	VP	Block 1	Kein Licht	Block 2
1	bgr		myc	19	ymb		crg
2	rcg		bym	20	ymc		rgb
3	rmg		bcy	21	bgr		ymc
4	gyr		bmc	22	rgc		ymb
5	rcb		ymg	23	mgr		ycb
6	mbr		gyc	24	rgy		cmb
7	ryb		cmg	25	rbc		ygm
8	crm		gby	26	bmr		gcy
9	ycr		mbg	27	rby		mcg
10	rym		gbc	28	crm		ygb
11	cbg		ymr	29	cry		mbg
12	mgb		rcy	30	ymr		gcb
13	ybg		mrc	31	cgb		ymr
14	gmc		ybr	32	gmb		cry
15	gcy		rmb	33	ybg		crm
16	mg y		cbr	34	gcm		bry
17	bmc		ryg	35	gcy		mrb
18	ybc		mgr				

*Tabelle 44: Durchlauf 2, variiert: Versuchsperson (VP) 36 bis 56*

VP	Block 1	Kein Licht	Block 2	VP	Block 1	Kein Licht	Block 2
36	ymg		brc	47	yrb		cgm
37	cbm		rgy	48	mrc		gyb
38	cyb		grm	49	ycr		bm g
39	ybm		gcr	50	rym		gbc
40	cym		gbr	51	gcb		rym
41	bgr		ycm	52	mbg		rcy
42	gcr		ymb	53	ygb		rcm
43	grm		byc	54	mcy		byr
44	yr g		mcb	55	gcy		mbr
45	rcb		ygm	56	ymg		cbr

Tabelle 45: Übersicht der ausgewerteten Daten des MDBF Fragebogens

Lichtsituation	Vergleich	Skala GS	Skala WM	Skala RU
		Gute Stimmung – Schlechte Stimmung	Wachheit - Müdigkeit	Ruhe - Unruhe
<b>Rot (R)</b>	ohne „kein Licht“	Bewirkt eine schlechtere Stimmungslage als Vorruhe	n. s.	Studienteilnehmer(innen) sind innerlich unruhiger als unter Blau
	mit „kein Licht“	n. s.	Studienteilnehmer(innen) sind wacher und ausgeruhter als unter „kein Licht“	Studienteilnehmer(innen) sind innerlich unruhiger als unter „kein Licht“
<b>Gelb (Y)</b>	ohne „kein Licht“	n. s.	n. s.	n. s.
	mit „kein Licht“	n. s.	Studienteilnehmer(innen) sind wacher und ausgeruhter als unter „kein Licht“	Studienteilnehmer(innen) sind innerlich unruhiger als unter „kein Licht“
<b>Grün (G)</b>	ohne „kein Licht“	n. s.	n. s.	n. s.
	mit „kein Licht“	n. s.	Studienteilnehmer(innen) sind wacher und ausgeruhter als unter „kein Licht“	n. s.
<b>Cyan (C)</b>	ohne „kein Licht“	n. s.	n. s.	n. s.
	mit „kein Licht“	n. s.	Wacher und ausgeruhter als unter „kein Licht“	Studienteilnehmer(innen) sind innerlich unruhiger als unter „kein Licht“
<b>Blau (B)</b>	ohne „kein Licht“	Bewirkt eine positivere Stimmungslage als Magenta	n. s.	wirkt beruhigender als rot, Magenta und Vorruhe auf die Studienteilnehmer(inne)n
	mit „kein Licht“	n. s.	Studienteilnehmer(innen) sind wacher und ausgeruhter als unter „kein Licht“	n. s.
<b>Magenta (M)</b>	ohne „kein Licht“	Bewirkt eine schlechtere Stimmungslage als Blau und „kein Licht“	n. s.	Studienteilnehmer(innen) sind innerlich unruhiger als unter Blau
	mit „kein Licht“	Bewirkt eine schlechtere Stimmungslage	Studienteilnehmer(innen) sind wacher und ausgeruhter als unter „kein Licht“	Studienteilnehmer(innen) sind innerlich unruhiger als unter „kein Licht“
<b>„Kein Licht“</b>	---	n. s.	Studienteilnehmer(innen) fühlen sich müder als unter Y,G,C,B,M,R.	Wirkt beruhigender als Y,C,M,R auf die Studienteilnehmer(innen).

n. s. = nicht signifikant

Tabelle 46: Semantisches Differential (Osgood et al. 1957) nach Hofstätter 1966

1	weich	hart	14	zerfahren	geordnet
2	heiter	traurig	15	nüchtern	verträumt
3	verschwommen	klar	16	streng	nachgiebig
4	stark	schwach	17	zurückgezogen	gesellig
5	großzügig	sparsam	18	robust	zart
6	passiv	aktiv	19	vergnügt	missmutig
7	verspielt	ernst	20	wild	sanft
8	zurückhaltend	offen	21	starr	beweglich
9	hilfsbereit	egoistisch	22	leise	laut
10	triebhaft	gehemmt	23	frisch	müde
11	kühl	gefühlvoll	24	unterwürfig	herrisch
12	redselig	verschwiegen	25	gesund	krank
13	friedlich	aggressiv			

Tabelle 47: Semantisches Differential (Reik, Skrandies 2006)

1	unangenehm	angenehm
2	schnell	langsam
3	klein	groß
4	schwer	leicht
5	gut	schlecht
6	still	geräuschvoll
7	bewegt	ruhig
	stark	schwach
8	hässlich	schön
9	lebhaft	träge
	kraftvoll	zart
10	freundlich	unfreundlich

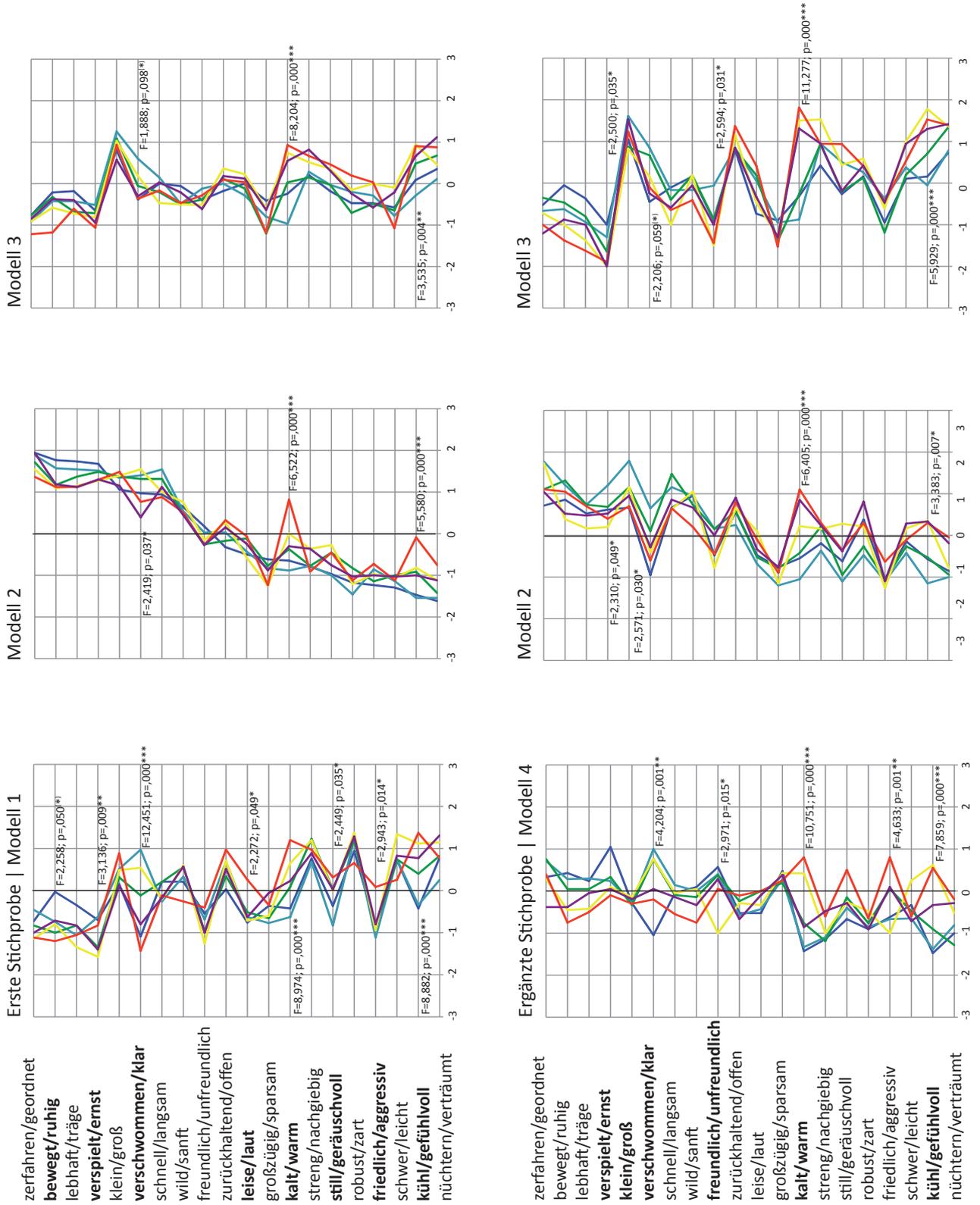


Abbildung 57: Profildigramme Modellbeurteilung in chromatischen Lichtbedingungen mit ANOVA Signifikanztest (Profile sortiert nach Modell 2 Blau)

Tabelle 48: Übersicht der HRV Parameter

	<b>ATMFrSa</b>	Atmung (Frequenz)		
	<b>HR</b>	Herzrate		
HRV-Kennwerte im Frequenzbereich	<b>InHFhf</b>	high frequency	Vagus-Erholung	
	<b>InHFrr</b>	high frequency	Vagus-Erholung	
	<b>InLFhf</b>	low frequency	Sympatikus-Aktivierung	biologische Kosten
	<b>InLFrr</b>	low frequency	Sympatikus-Aktivierung	
	<b>InTOThf</b>	total frequency	HRV-Gesamt	Vitalität
	<b>InTOTrr</b>	total frequency	HRV-Gesamt	
	<b>InVLFhf</b>	very low frequency	Sy/Aktivierung	
	<b>InVLFrr</b>	very low frequency	Sy/Aktivierung	
	VQhf	vegetativer Quotient	LF/HF	Vegetativer Quotient
	VQrr	vegetativer Quotient	LF/HF	
HRV-Kennwerte im Zeitbereich	<b>logRSAhf</b>	respiratorische Sinusarrhythmie	Vagus-Erholung	
	<b>logRSArr</b>	respiratorische Sinusarrhythmie	Vagus-Erholung	
	pp8	pattern predominance	Vagus-Erholung	
	<b>QPArsa</b>	Puls-Atem-Quotient		
	<b>RR</b>	RR-Intervalle		
	rValid	gültige Werte	in%	
	<b>SD1</b>	Kurzzeitvariabilität	Vagus-Erholung (Psy)	
	<b>SD2, SD2</b>	Langzeitvariabilität	Sy/Aktivierung Gesamtaktivität	
	<b>SDNN, SDNN</b>	Standardabweichung der RR-Intervalle	Sy/Aktivierung Gesamtvariabilität	
	Valid	gültige Werte	dichotom/ja-nein	

hf - Herzfrequenz; rr - RR-Intervallen; ln - natürliche Log

Information und Einwilligungserklärung zur Teilnahme an der Studie  
**„Untersuchung von Raumwahrnehmung und Empfindung in farbigen Lichträumen“**

Sehr geehrter Teilnehmer, sehr geehrte Teilnehmerin!

**Ihre Teilnahme an dieser Studie erfolgt freiwillig. Sie können jederzeit ohne Angaben von Gründen aus der Studie ausscheiden. Die Ablehnung der Teilnahme oder ein vorzeitiges Ausscheiden aus dieser Studie hat keine nachteiligen Folgen für ihr weiteres Studium.**

**1. Was ist der Zweck der Studie?**

Der Zweck dieser Studie ist es die Raumwahrnehmung und Empfindung des Menschen in farbigen Lichträumen zu erforschen.

**2. Wie läuft diese Studie ab?**

Diese Studie wird in einem Kubus mit den Abmessungen 3x3x3m im Büro des Raum- und Lichtlabors an der TU-Graz durchgeführt. Es werden ungefähr 45 Personen daran teilnehmen.

Ihre Teilnahme an dieser Studie wird voraussichtlich 2 Stunden (inklusive Erklärungen, Vor- und Nachbereitungen) dauern. Sie bewerten Objekte in diesem Kubus in unterschiedlichen Lichtsituationen, zusätzlich werden Fragebogen zum Befinden ausgefüllt. Während der gesamten Testzeit wird ein EKG mittels Klebeelektroden und eines tragbaren Gerätes aufgezeichnet.

**4. Gibt es Risiken, Beschwerden oder Begleiterscheinungen?**

Allergische Reaktionen auf den Kleber der Elektroden des Heartman können in seltenen Fällen auftreten.

**5. Wann wird die Studie vorzeitig beendet?**

Sie können jederzeit auch ohne Angaben von Gründen, ihre Teilnahmebereitschaft widerrufen und aus der Studie ausscheiden ohne dass Ihnen dadurch irgendwelche Nachteile entstehen.

**6. In welcher Weise werden die im Rahmen dieser Studie gesammelten Daten verwendet?**

Nur die Studienleiterin Dipl. Arch. Birgit Schulz hat Zugang zu vertraulichen Daten in denen Sie namentlich genannt werden.

Die Weitergabe der Daten erfolgt ausschliesslich anonymisiert zu Zwecken der Auswertung und statistischen Bearbeitung und Sie werden ausnahmslos darin nicht namentlich genannt. Auch in etwaigen Veröffentlichungen der Daten dieser Studie werden Sie nicht namentlich genannt.

Beim Umgang mit den Daten werden die Bestimmungen des Datenschutzgesetzes beachtet.

**7. Möglichkeit zur Diskussion weiterer Fragen**

Kontaktperson: Birgit Schulz; b.schulz@tugraz.at

**8. Einwilligungserklärung**

Name des Teilnehmers in Druckbuchstaben: .....

Geb.Datum: ..... Code: .....

Ich erkläre mich bereit, an der Studie **„Untersuchung von Raumwahrnehmung und Empfindung in farbigen Lichträumen“** teilzunehmen.

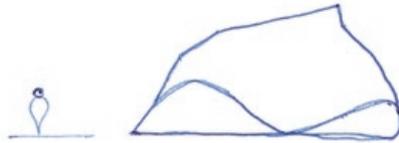
Ich bin von Frau Dipl. Arch. Birgit Schulz ausführlich und verständlich über den Ablauf der Studie aufgeklärt worden. Ich habe darüber hinaus den Text dieser Einwilligungserklärung, die insgesamt diese Seite umfasst, gelesen. Auftretende Fragen wurden mir verständlich und genügend beantwortet. Ich hatte ausreichend Zeit mich zu entscheiden. Ich habe zur Zeit keine weiteren Fragen.

Ich bin damit einverstanden, dass meine im Rahmen dieser Studie ermittelten Daten aufgezeichnet werden.

Datum: .....

Unterschrift der teilnehmenden Person: .....

## ROT



**Objekt 1** Stellen Sie sich vor Sie befinden sich in diesem Objekt und charakterisieren Sie den Raum anhand der angeführten Eigenschaften:

	4	3	2	1	2	3	4	
verschwommen	<input type="radio"/>	klar						
großzügig	<input type="radio"/>	sparsam						
verspielt	<input type="radio"/>	ernst						
zurückhaltend	<input type="radio"/>	offen						
kühl	<input type="radio"/>	gefühlvoll						
friedlich	<input type="radio"/>	aggressiv						
zerfahren	<input type="radio"/>	geordnet						
nüchtern	<input type="radio"/>	veträumt						
streng	<input type="radio"/>	nachgiebig						
robust	<input type="radio"/>	zart						
wild	<input type="radio"/>	sanft						
leise	<input type="radio"/>	laut						
schnell	<input type="radio"/>	langsam						
klein	<input type="radio"/>	groß						
schwer	<input type="radio"/>	leicht						
still	<input type="radio"/>	geräuschvoll						
bewegt	<input type="radio"/>	ruhig						
lebhaft	<input type="radio"/>	träge						
freundlich	<input type="radio"/>	unfreundlich						
kalt	<input type="radio"/>	warm						

Abbildung 59: Bsp. Fragebogen zur Beurteilung der Architekturmodelle (SD), Studie 2

## Wirkung von weißem Licht in räumlichen Situationen

- Einfluss von weißem Licht auf Raumwirkung und kardial vegetative Aktivierung im Raumkontext einer Shopsituation

Am Boden des Versuchsraumes wurde die Beleuchtungsstärke an 27 Punkten im Raster gemessen. Es zeigte sich, dass sich die Ausleuchtung bei den raumorientierten und semiraumorientierten Lichtszenen gleichförmiger im Raum verteilt als die objektorientierte Lichtszene (relative Verteilung: objektorientiert 8,6; raumorientiert 2,5; semiraumorientiert 3,8)

*Tabelle 49: Übersicht der Messwerte der warmweißen Lichtszenen im Versuchsraum*

	Low	Hsw	Lrw	Hrw
Leuchtmittel	LED	HID	LED	HID
Beleuchtungsstärke (gemittelt; am Boden gemessen)	840 lx	1020 lx	1240 lx	880 lx
Max / Min Beleuchtungsstärke (am Boden gemessen)	8,6	3,8	2,6	2,3
Farbtemperatur	2930 K	2845 K	2970 K	2733 K
Farbort (10° Observer)	$u' = 0,258$ $v' = 0,514$	$u' = 0,26$ $v' = 0,522$	$u' = 0,257$ $v' = 0,511$	$u' = 0,265$ $v' = 0,524$

*Tabelle 50: Übersicht der Messwerte der neutralweißen Lichtszenen im Versuchsraum*

	Lon	Hsn	Lrn	Hrn
Leuchtmittel	LED	HID	LED	HID
Beleuchtungsstärke (gemittelt; am Boden gemessen)	900 lx	940 lx	1180 lx	720 lx
Max / Min Beleuchtungsstärke (am Boden gemessen)	8,9	3,2	2,0	1,8
Farbtemperatur	3650 K	3698 K	4055 K	3805 K
Farbort (10° Observer)	$u' = 0,238$ $v' = 0,499$	$u' = 0,234$ $v' = 0,506$	$u' = 0,228$ $v' = 0,496$	$u' = 0,233$ $v' = 0,5$

*Tabelle 51: Übersicht der Messwerte der warmweißen und tageslichtweißen Lichtszenen im Vorraum*

Lichtfarbe	ww	tw
Leuchtmittel	TL 3000 K	TL 6500 K
Farbtemperatur	2854 K	5821 K
Farbort (10° Observer)	$u' = 0,2596$ $v' = 0,5217$	$u' = 0,2048$ $v' = 0,4737$

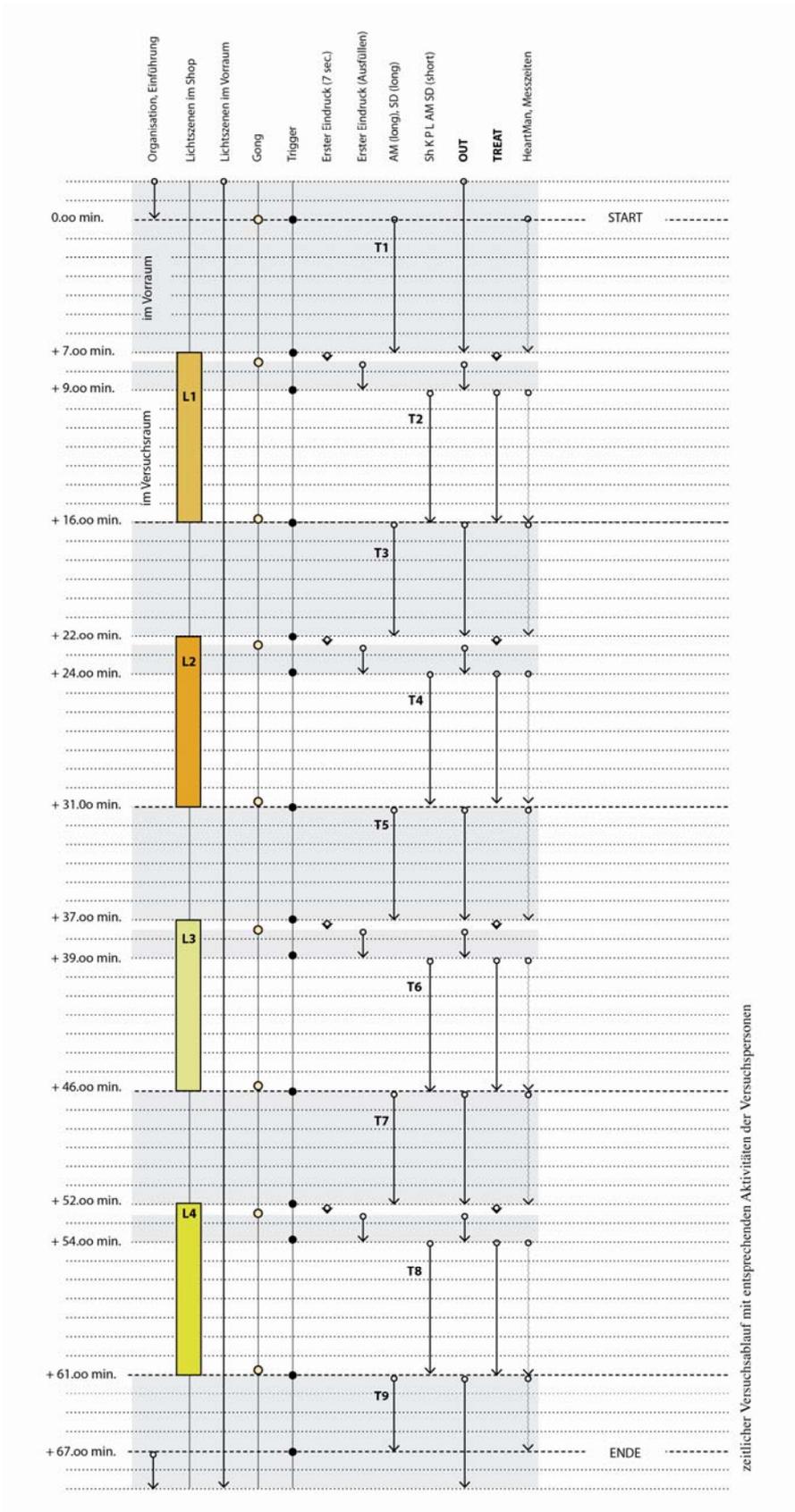


Abbildung 60: Untersuchungsablauf

Tabelle 52: Mittelwerte der Raumeindrucksprofile der acht Lichtszenen

	HID raumorientiert		LED raumorientiert		HID semiraumorientiert		LED objektorientiert	
	nw	ww	nw	ww	nw	ww	nw	ww
geordnet/zerfahren	-2,5161	-1,5937	-2,2500	-2,4375	-2,6333	-2,2187	-1,5937	-2,0000
kühl/gefühlvoll	-0,9032	-0,25	-1,4687	-1,4375	-1,2667	-0,0037	-0,5937	-1,2344
kalt/warm	0,1613	-0,1875	-0,8125	-0,6562	-0,2667	0,0313	0,3438	-0,3906
träge/lebhaft	-0,0968	-0,7188	-0,0938	-0,3125	-0,0333	-0,6250	-0,2813	-0,8125
unfreundlich/freundlich	0,1935	0,4062	0,9625	0,1250	0,3000	0,8750	0,4687	-0,0938
klein/groß	0,5484	0,5938	0,7813	1,1250	0,2667	0,6250	0,0938	0,1875
verschwommen/klar	0,8065	1,2813	2,0000	2,0313	1,5000	1,5625	1,2188	1,1719
nüchtern/verträumt	-1,5806	-0,6875	-1,5000	-1,5937	-1,2667	-0,9062	-0,7812	-1,8281

### Bitte charakterisieren Sie den aktuellen Raum

Charakterisieren Sie anhand der folgenden Eigenschaften den Raum in dem Sie sich befinden. Entscheiden Sie bei jedem Begriff, welcher Eigenschaft der Raum eher entspricht. Kreuzen Sie bitte diejenige Zahl an, die für Sie zutrifft.

	neutral									
	4	3	2	1	0	1	2	3	4	
verschwommen	0	0	0	0	0	0	0	0	0	klar
großzügig	0	0	0	0	0	0	0	0	0	sparsam
verspielt	0	0	0	0	0	0	0	0	0	ernst
zurückhaltend	0	0	0	0	0	0	0	0	0	offen
kühl	0	0	0	0	0	0	0	0	0	gefühlvoll
friedlich	0	0	0	0	0	0	0	0	0	aggressiv
zerfahren	0	0	0	0	0	0	0	0	0	geordnet
nüchtern	0	0	0	0	0	0	0	0	0	verträumt
streng	0	0	0	0	0	0	0	0	0	nachgiebig
robust	0	0	0	0	0	0	0	0	0	zart
wild	0	0	0	0	0	0	0	0	0	sanft
leise	0	0	0	0	0	0	0	0	0	laut
schnell	0	0	0	0	0	0	0	0	0	langsam
klein	0	0	0	0	0	0	0	0	0	groß
schwer	0	0	0	0	0	0	0	0	0	leicht
still	0	0	0	0	0	0	0	0	0	geräuschvoll
bewegt	0	0	0	0	0	0	0	0	0	ruhig
lebhaft	0	0	0	0	0	0	0	0	0	träge
freundlich	0	0	0	0	0	0	0	0	0	unfreundlich
kalt	0	0	0	0	0	0	0	0	0	warm

Abbildung 61: Fragebogen zur Beurteilung der Raumcharakteristik (SD), Studie 3

Code: \_\_\_\_\_

**Architektur**  
Institut für Raumgestaltung



**Institut für Psychologie**  
Arbeits-, Organisations-  
und Umweltpsychologie



**Instruktion:**

Wenn Sie sich gleich im Shop befinden, bleiben Sie bitte am Anfang des Raumes an der Tür stehen, sehen sich um und lassen den Raum auf sich wirken.

Während Sie sich in dem Shop aufhalten, dürfen Sie sich in dem gesamten Shop nach Wunsch bewegen.

Bitte betreten Sie nun den Shop.

## Atmosphäre Metrics (AM)

### Beurteilen Sie den aktuellen Raum

Auf der nächsten Seite finden Sie eine Liste mit Begriffen, anhand der Sie Ihr Empfinden für den Raum in dem Sie sich momentan befinden beschreiben sollen.

Sie können sich auch gerne einmal umdrehen um den Raum besser wahrnehmen zu können.

Gehen Sie alle Wörter der Liste nacheinander durch, und entscheiden Sie sofort bei jedem Begriff, in welchem Maß er Ihrem augenblicklichen Raumempfinden entspricht. Kreuzen Sie bitte diejenige Zahl an, die für Sie zutrifft

Machen Sie bitte ein Kreuz in den Kreis, der Ihrem augenblicklichen Raumempfinden entspricht.

Sie haben sieben Möglichkeiten, zwischen denen Sie sich bei jedem Wort entscheiden sollen.

Entspricht ein Begriff zum Beispiel Ihrem augenblicklichen Raumempfinden „überhaupt nicht“. So machen Sie bitte – wie unten – ein Kreuz in den Kreis hinter „überhaupt nicht“.

überhaupt nicht	neutral	völlig
-3	-1	1
0	0	0
<input checked="" type="checkbox"/>	0	0
3	2	0

Es ist wichtig, dass Sie folgende Punkte beachten:

1. Antworten Sie nur danach, wie Sie den aktuellen Raum empfinden!
2. Entscheiden Sie sich sofort, möglichst schnell, bei jedem Begriff!
3. Fällt die Antwort schwer, so entscheiden Sie sich für die Antwortmöglichkeit, die am ehesten zutreffen könnte!
4. Lassen Sie kein Wort aus!

Abbildung 62: Instruktion zum Fragebogen Atmosphäre Metrics (AM), Studie 3

138

		Beurteilen Sie den aktuellen Raum						
		überhaupt nicht			neutral			völlig
		-3	-2	-1	0	1	2	3
aktiv		0	0	0	0	0	0	0
unpersönlich		0	0	0	0	0	0	0
beängstigend		0	0	0	0	0	0	0
stickig		0	0	0	0	0	0	0
bedrohlich		0	0	0	0	0	0	0
behaglich		0	0	0	0	0	0	0
beklemmend		0	0	0	0	0	0	0
deprimierend		0	0	0	0	0	0	0
viel Energie kostend		0	0	0	0	0	0	0
formal		0	0	0	0	0	0	0
freundlich		0	0	0	0	0	0	0
geborgen		0	0	0	0	0	0	0
gemütlich		0	0	0	0	0	0	0
angespannt		0	0	0	0	0	0	0
gesellig		0	0	0	0	0	0	0
inspirierend		0	0	0	0	0	0	0
intim		0	0	0	0	0	0	0
ruhig		0	0	0	0	0	0	0
düster		0	0	0	0	0	0	0
wohlich		0	0	0	0	0	0	0
kalt		0	0	0	0	0	0	0
lebhaft		0	0	0	0	0	0	0
luxuriös		0	0	0	0	0	0	0
geheimnisvoll		0	0	0	0	0	0	0
ungezwungen		0	0	0	0	0	0	0
ungemütlich		0	0	0	0	0	0	0
unruhig		0	0	0	0	0	0	0
entspannt		0	0	0	0	0	0	0
persönlich		0	0	0	0	0	0	0
romantisch		0	0	0	0	0	0	0
geräumig		0	0	0	0	0	0	0
erholsam		0	0	0	0	0	0	0
langweilig		0	0	0	0	0	0	0
lethargisch		0	0	0	0	0	0	0
stimulierend		0	0	0	0	0	0	0
zugänglich		0	0	0	0	0	0	0
feindlich		0	0	0	0	0	0	0
fröhlich		0	0	0	0	0	0	0
warm		0	0	0	0	0	0	0
sachlich		0	0	0	0	0	0	0

Abbildung 63: Fragebogen Atmosphere Metrics (AM), Studie 3

## Literatur

Anastasi, A. (1983): „Traits, states and situations: A comprehensive view“. In: *H. Wainer & S. Messick (Eds.): Principals of modern psychological measurement*. (Hillsdale, NJ: Erlbaum), S. 345–356.

Betsch, Tilmann; Funke, Joachim; Plessner, Henning (2010): *Allgemeine Psychologie für Bachelor: Denken – Urteilen, Entscheiden, Problemlösen*. (Berlin–Heidelberg: Springer).

Bettermann, H.; Amponsah, H.; Cysarz, D.; u. a. (1999): „Musical rhythms in heart period dynamics – A cross-cultural and interdisciplinary approach to cardiac rhythms“. In: *Am J Physiol*. 277(5) (H1762–H1770).

Blatter, K.; Cajochen, C. (2007): „Circadian rhythms in cognitive performance: Methodological constraints, protocols, theoretical underpinnings“. In: *Physiology and Behavior*. 90 (2–3), S. 196–208.

Bollnow, Otto Friedrich (1997<sup>8</sup>): *Mensch und Raum*. (Stuttgart: Kohlhammer).

Bonde, J.P.; Hansen, J.; Kolstad, H.A. u. a. (2012): „Work at night and breast cancer – report on evidence-based options for preventive actions“. In: *Scandinavian Journal of Work, Environment and Health*. 38 (4), S. 380–390.

Bornstein, Marc H. (1975): „On Light and the Aesthetics of Color: Lumina Kinetic Art“. *Leonardo*. Vol. 8 (No. 3), S. 203–212.

Bortz, Jürgen; Döring, Nicola (2006<sup>4</sup>): *Forschungsmethoden und Evaluation: für Human- und Sozialwissenschaftler*. (Berlin–Heidelberg: Springer).

Bradley, M. M.; Lang, P. J. (1994): „Measuring emotion: the Self-Assessment Manikin and the Semantic Differential“. In: *Journal of Behavioral Therapy and Experimental Psychiatry*. (25), S. 49–59.

Cajochen, C. (2007): „Alerting effects of light“. In: *Sleep Medicine Reviews*. 11 (6), S. 453–464.

Cajochen, C.; Münch, M.; Kobińska, S.; u. a. (2005): „High sensitivity of human melatonin, alertness, thermoregulation, and heart rate to short wavelength light“. In: *Journal of Clinical Endocrinology and Metabolism*. 90 (3), S. 1311–1316.

Carney, R. M.; Blumenthal, J. A.; Freedland, K. E. u. a. (2005): „Low heart rate variability and the effect of depression on post-myocardial infarction mortality“. In: *Arch Intern Med*. (165 (13)), S. 1486–1491.

Centre for Chronobiology. Psychiatric University Clinics Basel (2013): „Chronobiology & Art“. Abgerufen am 02.01.2013 von <http://www.chronobiology.ch/art.html>.

Choi, C.-J.; Kim, K.-S.; Kim, C.-M.; u. a. (2011): „Reactivity of heart rate variability after exposure to colored lights in healthy adults with symptoms of anxiety and depression“. In: *International Journal of Psychophysiology*. 79 (2), S. 83–88.

Cohen, Walter (1957): „Spatial and Textural Characteristics of the Ganzfeld“. *The American Journal of Psychology*. (70, No. 3), S. 403–410.

Davis, Robert G.; Ginthner, Dolores N. (1990): „Correlated color temperature, illuminance level, and the Kruithof curve“. In: *Journal of the Illuminating Engineering Society*. 19 (1), S. 27–38.

Feger, Hubert; Graumann, Carl F.; Heinz, Manfred; u. a. (1983): *Enzyklopädie der Psychologie*. (Kempten, Allgäu: Allgäuer Zeitungsverlag; Göttingen: Verlag für Psychologie, Dr. Hofgrefe, Methodologie und Methoden).

- Fleischer, Susanne Elisabeth (2001): „Die psychologische Wirkung veränderlicher Kunstlichtsituationen auf den Menschen“. (Zürich).
- Fleisher, L. A.; Frank, S. M.; Sessler, D. I.; u. a. (1996): „Thermoregulation and heart rate variability“. In: *Clin Sci (Lond)*. (90 (2)), S. 97–103.
- Fördergemeinschaft Gutes Licht (2010): „Wirkung des Lichts auf den Menschen“. In: *Licht.wissen* (19).
- Franke, J.; Bortz, J. (1972): „Beiträge zur Anwendung der Psychologie auf den Städtebau I: Vorüberlegungen zur Beziehung zwischen Siedlungsgestaltung und Erleben der Wohnumwelt“. In: *Zeitschrift für Experimentelle und Angewandte Psychologie*. (19), S. 76–108.
- Frieling, Heinrich (1990<sup>3</sup>): *Das Gesetz der Farbe*. (Göttingen: Muster-Schmidt).
- Gagné, A. M.; Lévesque, F.; Gagné, P.; u. a. (2011): „Impact of blue vs. red light on retinal response of patients with seasonal affective disorder and healthy controls“. In: *Progress in Neuro-Psychopharmacology and Biological Psychiatry*. 35 (1), S. 227–231.
- Gall, Dietrich; Lapuente, Virginia (2002): „Beleuchtungsrelevante Aspekte bei der Auswahl eines förderlichen Lampenspektrums“. *Licht*. Teil 1: Allgemeine Aspekte bei der Lampenauswahl (7–8/2002), S. 860–871.
- Gall, Friedrich (2007<sup>2</sup>): *Grundlagen der Lichttechnik*. (Ilmenau: Richard Pflaum).
- Glickman, G.; Byrne, B.; Pineda, C.; u. a. (2006): „Light therapy for Seasonal Affective Disorder with blue narrow-band light-emitting diodes (LEDs)“. In: *Biological Psychiatry*. 59 (6), S. 502–507.
- Golden, R. N.; Gaynes, B. N.; Ekstrom, R. D.; u. a. (2005): „The efficacy of light therapy in the treatment of mood disorders: A review and meta-analysis of the evidence“. In: *American Journal of Psychiatry*. 162 (4), S. 656–662.
- Goldstein, E. Bruce (2007<sup>7</sup>): *Wahrnehmungspsychologie: Der Grundkurs*. (Heidelberg: Spektrum Akademischer Verlag).
- Gosztonyi, Alexander (1976): *Der Raum*. (Freiburg i. Br.: Karl Alber).
- Gramann, Klaus; Schandry, Rainer (2009<sup>4</sup>): *Psychophysiologie: Körperliche Indikatoren psychischen Geschehens*. (Weinheim–Basel: Beltz Verlag).
- Grote, Vincent; Frühwirth, Matthias; Dietmar, Messerschmidt; u. a. (2011): *Methoden der Herzratenvariabilität (HRV), Kennwerte und potenzielle Einsatzmöglichkeiten*. (Nr. HRI-3111) (Weiz: HUMAN RESEARCH Institut für Gesundheitstechnologie und Präventionsforschung).
- Gur, M. (1989): „Color and brightness fade-out in the Ganzfeld is wavelength dependent“. In: *Vision Research*. 29 (10), S. 1335–1341.
- Hadase, M.; Azuma, A.; Zen, K.; u. a. (2004): „Very low frequency power of heart rate variability is a powerful predictor of clinical prognosis in patients with congestive heart failure“. In: *Circ J*. (68 (4)), S. 343–347.
- Hard, Anders; Sivik, Lars (1981): „NCS – Natural Color System: A Swedish Standard for Color Notation“. In: *Color Research and Application*. 6 (3), S. 129–138.
- Hofstätter, Peter R. (1966): *Einführung in die Sozialpsychologie*. (Stuttgart: Kröner).
- Houser, K. W.; Tiller, D. K. (2003): „Measuring the subjective response to interior lighting: Paired comparisons and semantic differential scaling“. In: *Lighting Research and Technology*. 35 (3), S. 183–195.

Ishihara, Shinobu (1980): *Ishihara's Tests for Colour-Blindness*. Concise Edition 1985. (Tokyo: Kanehara & Co., LTD. (Medical Book Publisher)).

Janke, W; Debus, G (1996): „EWL 60 S“. In: *Internationale Skalen für Psychiatrie*. (Göttingen: Beltz), S. 43–44.

JETI Technische Instrumente GmbH (2012): „Specbos 1211“. Abgerufen am 02.01.2013 von <http://www.jeti.com/cms/index.php/instruments-55/radiometer/specbos-1211>.

Jung, C. M.; Khalsa, S. B .S.; Scheer, F. A . J. L.; u. a. (2010): „Acute effects of bright light exposure on cortisol levels“. In: *Journal of Biological Rhythms*. 25 (3), S. 208–216.

Kahl, Sabrina; Walter, Franziska; Zinke, Katharina (2006): „Höhenwahrnehmung von Gebäuden: Methoden, Gestaltungsstufen und Expertise“.

Kaiser, Peter K. (1984): „Physiological Response to Color: A Critical Review“. In: *Color Research and Application*. 9 (1), S. 29–36.

Knau, H.; Spillmann, L. (1997): „Brightness fading during Ganzfeld adaptation“. In: *Journal of the Optical Society of America A*. 14 (6), S. 1213–1222.

Konica; Minolta (2005): „Chroma Meter CS-200 Bedienungsanleitung“. Konica Minolta Sensing Europe, B.V. (2013): „CS-200“. Abgerufen am 02.01.2013 von <http://www5.konicaminolta.eu/de/messinstrumente/produkte/displaymesstechnik/leuchtdichteundfarbmessgeraete.html>.

Kruithof, A.A. (1941): „Röhrenlampen mit Leuchtstoffen für allgemeine Beleuchtungszwecke“. In: *Philips Technische Rundschau*. (Nr. 3 (März)) (6. Jg.), S. 65–96.

Küller, R.; Ballal, S.; Laike, T.; u. a. (2006): „The impact of light and colour on psychological mood: A cross-cultural study of indoor work environments“. In: *Ergonomics*. 49 , S. 1496–1507.

Küppers, Harald (1989): *Harmonielehre der Farben; Theoretische Grundlagen der Farbgestaltung*. (Köln: Dumont).

Kwallek, Nancy; Soon, Kokyung; Lewis, Carol M. (2007): „Work Week Productivity, Visual Complexity, and Individual Environmental Sensitivity in Three Offices of Different Color Interiors“. *Color research and application*. (Vol. 32, No. 2), S. 130–143.

Kwallek, Nancy; Woodson, H.; Lewis, Carol M.; u. a. (1997): „Impact of Three Interior Color Schemes on Worker Mood and Performance Relative to Individual Environmental Sensitivity“. *Color research and application*. (Vol. 22, No. 2), S. 121–132.

Laufer, L.; Láng, E.; Izsó, L.; u. a. (2009): „Psychophysiological effects of coloured lighting on older adults“. In: *Lighting Research and Technology*. 41 (4), S. 371–378.

licht.de (2013): „Gu□temerkmal Lichtfarbe“. *licht.de*. Abgerufen am 06.01.2013 von <http://www.licht.de/de/licht-know-how/beleuchtungsqualitaet/lichtfarben/>.

Loipersdorf (2013): „Alpha-Sphäre“. Abgerufen am 02.01.2013 von <http://www.therme.at/lebenstherme/thermenlagune/alpha-sphaere/>.

Lübbe, Eva (2012): *Farbempfindung, Farbbeschreibung und Farbmessung Eine Formel für die Farbsättigung*. (Leipzig: Vieweg+Teubner Verlag; Wiesbaden: Springer Fachmedien).

Lüer, G. (1987): „Allgemeine Experimentelle Psychologie“

Meerwein, Gerhard; Rodeck, Bettina; Mahnke, Frank H. (2007<sup>4</sup>): *Farbe – Kommunikation im Raum*. (Basel u.a.: Birkhäuser).

Meisenheimer, Wolfgang (2004): *Das Denken des Leibes und der architektonische Raum*. (Köln: Verlag der Buchhandlung Walther König).

- Mills, P. R.; Tomkins, S. C.; Schlangen, L. J. M. (2007): „The effect of high correlated colour temperature office lighting on employee wellbeing and work performance“. In: *Journal of Circadian Rhythms* 5.
- Moldoveanu, Mihail (2001): *Komposition, Licht und Farbe in Robert Wilsons neuem Theater. Mit dem Körper denken*. (Stuttgart: Daco-Verlag).
- Monocrom (2013): „Monocrom projector systems“. Abgerufen am 02.01.2013 von <http://www.monocrom.se/>.
- Moser, M.; Frühwirth, M.; Penter, R.; u. a. (2006): „Why life oscillates – From a topographical towards a functional chronobiology“. In: *Cancer Causes and Control*. 17 (4), S. 591–599.
- Moser, M.; Lehofer, M.; Hildebrandt, G.; u. a. (1995): „Phase-and frequency coordination of cardiac and respiratory function“. In: *Biological Rhythm Research*. (26, 1), S. 100–111.
- Moser, Max; Lehofer, Michael; Andrea, Sedminek; u. a. (1994): „Heart Rate Variability as a Prognostic Tool in Cardiology. A Contribution to the Problem From a Theoretical Point of View“. In: *Circulation*. (Vol. 90, No. 2), S. 1078–1082.
- MUWA Museum der Wahrnehmung (2013): „SAMAHDİ – DAS BAD“. Abgerufen am 02.01.2013 von <http://www.muwa.at/samadhi.cfm>.
- NCS Colour AB (2013): „NCS Natural Colour System“. NCS. Abgerufen am 06.01.2013 von <http://www.ncscolour.com/de/ncs/>.
- Noguchi, H.; Sakaguchi, T. (1999): „Effect of illuminance and color temperature on lowering of physiological activity“. In: *Applied human science: journal of physiological anthropology*. 18 (4), S. 117–123.
- Osgood, Charles Egerton (1957): *The measurement of meaning*. (Urbana: University of Illinois Press).
- Papageorgiou, P.; Katsambas, A.; Chu, A. (2000): „Phototherapy with blue (415 nm) and red (660 nm) light in the treatment of acne vulgaris“. *Br J Dermatol*. (142(5)), S. 973–8.
- Philippe Rahm architects (2013): „Philippe Rahm architects“. Abgerufen am 02.01.2013 von <http://www.philipperahm.com/data/>.
- Pumpřrla, J.; Howorka, K.; Groves, D.; u. a. (2002): „Functional assessment of heart rate variability: Physiological basis and practical applications“. In: *International Journal of Cardiology*. 84 (1), S. 1–14.
- Rambow, Riklef (2000<sup>2</sup>): *Experten-Laien-Kommunikation in der Architektur*. (Münster: Waxmann).
- Rea, Mark S.; Figueiro, Mariana G.; Bierman, Andrew; u. a. (2010): „Circadian light“. In: *Journal of Circadian Rhythms*., S. 1–30.
- Rechlin, T. (1995): „Does bright-light therapy influence autonomic heart-rate parameters?“. In: *Journal of Affective Disorders*. 34 (2), S. 131–137.
- Reik, Petra; Skrandies, Wolfgang (2006): „Die affektive Bewertung von imaginierten Gerüchen mit dem semantischen Differential“. *Zeitschrift für Psychologie*. (214 (2)), S. 108–115.
- Richter, Manfred (1981<sup>2</sup>): *Einführung in die Farbmeterik*. (Berlin: Walter de Gruyter & Co.).
- Rittelmeyer, Christian (1994): *Schulbauten positiv gestalten. Wie Schüler Farben und Formen erleben*. (Wiesbaden und Berlin: Bauverlag GmbH).
- Rotondi, Michael; Birnbaum, Daniel; Virilio, Paul; u. a.; Noever, Peter (Hrsg.) (1999): *James Turrell: The Other Horizon*. (Ostfildern: Cantz Verlag).

Schäfer, A.; Kratky, K. W. (2006): „The effect of colored illumination on heart rate variability“. In: *Forschende Komplementarmedizin*. 13 (3), S. 167–173.

Schierz, C. (2011): „Lighting for the elderly: Physiological basics and their consequences“. In: *Light and Engineering*. 19 (2), S. 19–27.

Schimmack, Ulrich (1999): „Strukturmodelle der Stimmung: Rückschau, Rundschau und Ausschau“. *Psychologische Rundschau*. (50. Jg., Heft 2), S. S. 90–97.

Schöffner, Nicolas (1969): „Relaxation inducing apparatus“. United States Patent Office.

Schulz, Birgit; Gerhäuser, Claudia; Jimenez, Paul (2011a): *Untersuchungen unterschiedlicher Lampentypologien und deren mögliche Auswirkungen auf Wohlbefinden und Konsumverhalten in Verkaufsräumen*. (Interner Bericht Nr. D-1151000011) Graz: Institut für Raumgestaltung, Technische Universität Graz.

Schulz, Birgit; Reisinger, Markus; Gerhäuser, Claudia; u. a. (2011b): *Multi-Sensorisches Licht – Beobachtungen zu Empfinden und sensueller Wahrnehmung unterschiedlicher Lichtszenen der LED und HID Technologie im Bereich des Retail Design*. (Interner Bericht Nr. D-1151000012) Graz: Institut für Raumgestaltung, Technische Universität Graz.

Selux (2011): „Projekte“. Abgerufen am von <http://www.selux.eu/projekt/show/634/at/de>.

Steyer, R.; Schwenkmezger, P.; Notz, P.; u. a. (1997): „Der Mehrdimensionale Befindlichkeitsfragebogen (MDBF). Handanweisung.“. Göttingen: Hogrefe.

Sto (2013): „StoColor System“. Abgerufen am 06.01.2013 von [http://www.sto.at/evo/web/sto/43724\\_DE-Service-StoColor\\_System.htm](http://www.sto.at/evo/web/sto/43724_DE-Service-StoColor_System.htm).

Sugimoto, S.; Ikeda, I.; Noguchi, Y. (2001): „Assessment of physiological effect of lighting by spectral analysis of heart rate variability“. In: *Journal of Light and Visual Environment*. 25 (1), S. XVII–XVIII.

Suk, H.-J.; Irtel, H. (2010): „Emotional response to color across media“. In: *Color Research and Application*. 35 (1), S. 64–77.

Takahashi, Shin'ya (2005): „Effects of color lighting on the performance of simple task“. In: *Journal of Human Environmental Studies*. 3 (1), S. 1\_41–1\_46.

Takahashi, Shin'ya (2009): „Effects of Coloured Lighting on Judgement of Emotional Expression“. In: *Colour: Design & Creativity*. 4 (1), S. 1–6.

Task Force of the ESC and NASPE (1996): „Heart rate variability. Standards of measurement, physiological interpretation and clinical use. Task Force of the European Society of Cardiology and the North American Society of Pacing and Electrophysiology“. 17. (*European Heart Journal*), S. 354–381.

Taylor, J. A.; Carr, D. L.; Myers, C. W.; u. a. (1998): „Mechanisms underlying very-low-frequency RR-interval oscillations in humans“. In: *Circulation*. (98(6)), S. 547–555.

Tuchman, Maurice (1971): *A Report on the Art and Technology Program of the Los Angeles County Museum of Art*. (New York: Viking).

Vandewalle, G.; Schmidt, C.; Albouy, G.; u. a. (2007): „Brain responses to violet, blue, and green monochromatic light exposures in humans: Prominent role of blue light and the brainstem“. In: *PLoS ONE*. 2 (11).

Varkevisser, M.; Raymann, R. J. E. M.; Keyson, D. V. (2011): *Nonvisual effects of led coloured ambient lighting on well-being and cardiac reactivity: Preliminary findings*. o.V.

Veitch, J. A.; Newsham, G. R.; Boyce, P. R.; u. a. (2008): „Lighting appraisal, well-being and performance in open-plan offices: A linked mechanisms approach“. In: *Lighting Research and Technology*. 40 (2), S. 133–148.

Vogels, Ingrid (2008): „Atmosphere Metrics: a tool to quantify perceived atmosphere“. In: Grenoble: ambiances.net.

Wild, Elke; Möller, Jens (2009): *Pädagogische Psychologie (Lehrbuch mit Online-Materialien)*. (Berlin Heidelberg: Springer).

Wirz-Justice, Anna; Fournier, Colin (2010): „Light, Health and Wellbeing: Implications from Chronobiology for Architectural Design“. In: *World Health Design*. 3 , S. 44–49.