Entwicklung von Leuchtdichteverteilungs- und Steuerungskonzepten für den Bildschirmarbeitsplatz

Von der Fakultät Bau- und Umweltingenieurwissenschaften der Universität Stuttgart zur Erlangung der Würde eines Doktor-Ingenieurs (Dr.-Ing.) genehmigte Abhandlung

Vorgelegt von
Carolin Hubschneider
aus Filderstadt

Hauptberichter: Prof. Dr.-Ing. Klaus Peter Sedlbauer
Mitberichter: Prof. Dr. habil. Markus Denzler

Tag der mündlichen Prüfung: 18.11.2014

Lehrstuhl für Bauphysik der Universität Stuttgart
2014

Danksagung

An dieser Stelle möchte ich mich bei all denen bedanken die mich bei der Erstellung dieser Arbeit unterstützt haben.

Mein besonderer Dank gilt Herrn Prof. Sedlbauer der mir die Möglichkeit gegeben hat, diese Arbeit unter seiner Leitung durchzuführen. Durch die vielen anregenden Gesprächen und seine fachliche Unterstützung konnte die Arbeit in der vorliegenden Form entstehen. Außerdem danke ich Herrn Prof. Denzler, der mir mit seiner Diskussions- und Hilfsbereitschaft sehr geholfen hat. Bedanken möchte ich mich auch bei Frau Prof. Werth, die durch hilfreiche Anmerkungen und inspirierenden Debatten die Entwicklung der Arbeit mit gestaltet hat.

Des Weiteren gilt mein Dank Herrn Dr. Jan de Boer und Frau Dr. Anna Steidle, die von Seiten des Ingenieurswesen und der Psychologie mit vielen thematischen und wissenschaftlichen Hinweisen sowie konstruktiven Gespräche zum Gelingen dieser Arbeit beigetragen haben. Auch der Abteilung Wärmetechnik des Fraunhofer-Instituts für Bauphysik Stuttgart und dem Lehrstuhl für Bauphysik der Universität Stuttgart möchte ich meinen Dank aussprechen für die vielfältige Unterstützung die ich über die Jahre der Arbeit bekommen habe.

Meinen Mitdoktoranden möchte ich ebenfalls Dank aussprechen für die vielen hilfreichen Gespräche und die moralische Unterstützung in anstrengenden Phasen der Arbeit. Ein weiteres Dankeschön geht an meine Hiwis, welche wesentlich zum Gelingen der durchgeführten Laboruntersuchungen beigetragen haben.

Bei meinen Freunden bedanke ich mich für die Ablenkung und die Aufmunterung in den letzten Jahren. Bei meiner Familie möchte ich mich für den Rückhalt den sie mir gegeben hat bedanken; sie hat mir stets Mut gemacht hat und war immer für mich da. Dank gilt auch meinem Freund, der mich stets motiviert und unterstützt hat und mir eine sehr große Hilfe war.

Inhaltsverzeichnis

Abkürzungsverzeichnis 8
Abstract 9
Zusammenfassung 11
1. Einführung und Motivation 13
2. Methodische Vorgehensweise 15
3. Kenntnisstand auf Basis vorhandener Literatur 19
3.1. Grundlagen 19
3.2. Bauliche Umgebung 21
3.3. Geltendes Regelwerk 24
3.4. Allgemeiner Überblick zu Licht und Leistungsfähigkeit 27
3.5. Leuchtdichteverteilung im Gesichtsfeld 31
3.6. Akzeptanz von Gebäude- und Monitorsteuerung 37
4. Zielsetzung und experimentelles Vorgehen 39
4.1. Bildung von Hypothesen 39
4.2. Experimentelles Vorgehen zur Überprüfung der Hypothesen 41
5. Studie 1 47
5.1. Durchführung 48
5.1.1. Räumlichkeiten 48
5.1.2. Testpersonen 50
5.1.3. Untersuchte Leuchtdichteumgebungen 51
5.1.4. Verwendete Indikatoren zu Leistung, Ermüdung und Empfinden 58
5.1.5. Zeitlicher Ablauf 65
5.2. Auswertung 66
5.2.1. Statistische Herangehensweise 67
5.2.2. Betrachtete Faktoren 72
5.3. Ergebnisse der Varianz- und Regressionsanalyse 74
5.4. Zusammenfassung 99
6. Studie 2 103
6.1. Durchführung 103
6.1.1. Räumlichkeiten 104

6.1.2. Testpersonen 105
6.1.3. Untersuchte Leuchtdichteumgebungen 105
6.1.4. Verwendete Indikatoren zu Leistung, Ermüdung und Empfinden 111
6.1.5. Zeitlicher Ablauf 113
6.2. Auswertung 114
6.3. Ergebnisse der Regressions- und Varianzanalyse 121
6.4. Zusammenfassung 128
7. Entwicklung eines Steuerungsalgorithmus 133
7.1. Zielgröße 133
7.2. Relevante Erkenntnisse der Studien 1 und 2 133
7.3. Monitorsteuerung 134
7.3.1. Leistungsatmosphäre-Steuerung 134
7.3.2. Energie-Steuerung 135
7.3.3. Technische Umsetzung der Steuerung 136
8. Studie 3 143
8.1. Durchführung 143
8.1.1. Räumlichkeiten 144
8.1.2. Sensorik im Raum 145
8.1.3. Testpersonen 146
8.1.4. Untersuchte Steuerungsvarianten 146
8.1.5. Verwendete Indikatoren zu Leistung, Ermüdung und Empfinden 148
8.1.6. Zeitlicher Ablauf 151
8.2. Auswertung 153
8.3. Ergebnisse der Varianzanalyse 155
8.4. Zusammenfassung 167
9. Diskussion 171
9.1. Zusammenfassung der Ergebnisse 171
9.2. Ergebnisse im Kontext bisheriger Untersuchungen 177
9.3. Grenzen der Arbeit 181
10. Ausblick 183
10.1. Umsetzung in die Praxis 183
10.2. Zukünftige Forschungsthemen 185

Literaturverzeichnis 187
Tabellenverzeichnis 201
Abbildungsverzeichnis 205
Anhang A: Kenntnisstand auf Basis vorhandener Literatur 215
Anhang B: Studie 1 - Durchführung 217
Anhang C: Studie 1 - Auswertung und Ergebnis 229
Anhang D: Studie 2 - Durchführung 257
Anhang E: Studie 2 - Auswertung und Ergebnis 265
Anhang F: Algorithmus 285
Anhang G: Studie 3 - Durchführung 289
Anhang H: Studie 3 - Auswertung und Ergebnis 295

Abkürzungsverzeichnis

$A_{25\text{-}34}$	Gruppen der Testpersonen im Alter zwischen 25 und 34 Jahren in Studie 3
AP	Arbeitsplatz
BVA	Buchstabenvergleichs-Aufgabe
DSA	Dominosteinsuch-Aufgabe
EN	Energie-Steuerung der Monitorleuchtdichte
$J_{21\text{-}24}$	Gruppen der Testpersonen im Alter zwischen 21 und 24 Jahren in Studie 3
KLT	Konzentrations-Leistungs-Test
KS	Konstant-Steuerung der Monitorleuchtdichte
LA	Leistungsatmosphäre-Steuerung der Monitorleuchtdichte
L_A	Arbeitsflächenleuchtdichte
LB	Lichtbedingung
L_M	Monitorleuchtdichte
LU	Leuchtdichteumgebung
L_W	Wandabschnittsleuchtdichte
M/A	Leuchtdichteverhältnis zwischen Monitor und Arbeitsfläche
M/W	Leuchtdichteverhältnis zwischen Monitor und Wandabschnitt
Max/Min	Verhältnis der höchsten Leuchtdichte der Leuchtdichteumgebung zur geringsten Leuchtdichte der Leuchtdichteumgebung
MDBF	Mehrdimensionaler Befindlichkeitsfragebogen
ME	Monitoreinstellung
MW	Mittelwert
NPA	Nahpunkt der Akkommodation
SD	Standardabweichung
VLA	Visuelle Leistungsatmosphäre
W/A	Leuchtdichteverhältnis zwischen Wandabschnitt und Arbeitsfläche

Abstract

The luminous environment influences performance, fatigue and perception of the employees in an office environment. Due to the integration of displays into the working world, the viewing direction has considerably changed in comparison to the conventional desk work. Furthermore, the self-illuminating surface of the computer display is an additional element in the luminance environment of office workers.

The aim of this work is to identify which parameters of the visual environment influence employees in offices and could enhance their performance. Among these parameters are:

- the luminance of the display
- the luminance of the desk
- the luminance of the wall behind the display
- the luminance ratios of these elements

In addition, the possibility of creating an algorithm to control the luminance environment on the basis of the obtained data is tested.

In this work, three interconnected studies are conducted. In study 1 six lighting conditions are realized in a laboratory, they differ in terms of luminance values and luminance ratios. Within these conditions three different values of display luminance are used. With different questionnaires and performance tests, the resulting 18 luminance environments are tested for their effect on office workers. It is shown that in addition to the consideration of the luminance values of the individual elements in the field of vision, the analyses of the luminance ratios of these elements and the integration of the display are also very important.

Study 2 aims at a comprehensive investigation of the luminance ratios in the field of vision, the relevant elements are systematically varied and 54 resulting luminance environments are tested. The luminance of the wall behind the display and the luminance ratio between the display and the wall behind the display can be identified as the relevant parameters. Using the optimal luminance ratio between the display and the wall behind the display, two variants of a control algorithm are

created, which regulate the display luminance based on the luminance of the wall behind the display: the performance atmosphere control and the energy control.

The created control variants are tested under daylight conditions in Study 3. First indications can be shown that an adjustment of display luminance on the luminance of wall behind the display can have a positive influence on the employees.

Overall, under typical office luminance conditions the variation of luminance values in the field of vision can affect the employees in terms of different aspects of performance, fatigue and perception. Especially the visual performance atmosphere is sensitive to the variation in the luminance environment. Comparing the luminance of the desk and the wall behind the display, the wall has a greater influence on the office workers. The visual performance atmosphere is optimal at 336 cd/m^2 on the wall behind the display; an uncertainty range from 121 cd/m^2 to 550 cd/m^2 must be taken into account.

For the luminance ratios of the individual elements of the luminance environment, it can be shown that especially the luminance ratio between the display and the wall behind the display influence the employees. The visual performance atmosphere is optimal for a ratio of 1,24/1; an uncertainty range from 0,40/1 to 2,93/1 must be taken into account.

The comparison of the two created control algorithms with a constant display luminance shows results only for subjects that are aged 25 or more. Subjects in older age seem to be more sensitive to changes in the luminance environment. The performance atmosphere control leads to the highest visual performance atmosphere. With this variant of control, the subjects have also the best performance when processing a concentration performance test. The use of the energy control is not recommended, as it leads to increased visual fatigue after performing the tasks and reduced visual performance atmosphere.

Zusammenfassung

Die Lichtumgebung beeinflusst Leistung, Ermüdung und Empfinden am Büroarbeitsplatz. Durch die Integration des Monitors in die Arbeitswelt hat sich einerseits die Blickrichtung im Vergleich zur reinen Schreibtischarbeit geändert, andererseits stellt der Monitor, als selbstleuchtende Fläche, ein weiteres Element der Leuchtdichteumgebung der Nutzer dar.

Ziel der vorliegenden Arbeit ist es zu klären, welche Komponenten des Gesichtsfelds Einfluss auf die Nutzer nehmen und zu einer gesteigerten Leistungsfähigkeit führen. Diese Komponenten sind:

- die Leuchtdichten des Monitors
- die Leuchtdichten der Arbeitsfläche
- die Leuchtdichten des Wandabschnitts hinter dem Monitor
- die Leuchtdichteverhältnisse dieser Flächen

Außerdem wird die Möglichkeit der Erstellung eines Steuerungsalgorithmus auf Basis der gewonnen Daten überprüft.

Innerhalb der Arbeit werden drei aufeinander aufbauende Studien durchgeführt. In Studie 1 werden im Testraum sechs verschiedene Lichtbedingungen hergestellt, welche sich in Leuchtdichteniveau und Verteilung unterschieden. Innerhalb der Lichtbedingungen werden drei verschiedene Monitorleuchtdichten verwendet. Die sich daraus ergebenden 18 Leuchtdichteumgebungen werden mittels verschiedener Fragebögen und Leistungstests bezüglich ihrer Wirkung auf die Nutzer überprüft. Es wird nachgewiesen, dass neben der singulären Betrachtung der Leuchtdichten der Einzelflächen auch die Verhältnisse im Gesichtsfeld und das Miteinbeziehen der Komponente Monitor von großer Wichtigkeit sind.

Studie 2 zielt auf eine möglichst umfassende Untersuchung der Verhältnisse im Gesichtsfeld ab, dazu werden die relevanten Flächen systematisch gegeneinander variiert und 54 resultierende Leuchtdichteumgebungen getestet. Die Wandabschnittsleuchtdichte und das Leuchtdichteverhältnis zwischen Monitor und Wandabschnitt werden als maßgebliche Größen identifiziert. Anhand der optimalen Leuchtdichteverhältnisse zwischen Monitor und Wandabschnitt werden zwei Varianten eines Steuerungsalgorithmus erstellt, welche die Monitorleuchtdichte an-

hand der Wandabschnittsleuchtdichte regulieren: die Leistungsatmosphäre-Steuerung und die Energie-Steuerung.

Die konzipierten Steuerungsvarianten werden in Studie 3 unter realen Tageslichtbedingungen getestet. Es zeigen sich erste Hinweise, dass eine Anpassung der Monitorleuchtdichte an die Wandabschnittsleuchtdichte positiven Einfluss auf die Nutzer nehmen kann.

Insgesamt kann die Variation der Leuchtdichten im Gesichtsfeld auch im moderaten Leuchtdichtebereich des Bürokontextes die Nutzer hinsichtlich verschiedener Maße der Leistung, der Ermüdung und des Empfindens beeinflussen. Besonders die visuelle Leistungsatmosphäre zeigt sich sensitiv gegenüber der Variation der Leuchtdichteumgebung. Betrachtet man die Innenflächen des Raumes so übt die Leuchtdichte des Wandabschnitts hinter dem Monitor einen größeren Einfluss auf die Nutzer aus als die der Arbeitsfläche. Es kann eine für die visuelle Leistungsatmosphäre optimale Wandabschnittsleuchtdichte von 336 cd/m^2 unter Berücksichtigung eines Unsicherheitsbereichs zwischen 121 cd/m^2 und 550 cd/m^2 ermittelt werden.

Bezüglich der Leuchtdichteverhältnisse der einzelnen Flächen der Leuchtdichteumgebung kann gezeigt werden, dass besonders das Leuchtdichteverhältnis zwischen Monitor und Wandabschnitt die Nutzer beeinflusst. Liegt dieses Verhältnis bei 1,24/1 so wird unter Berücksichtigung eines Unsicherheitsbereichs zwischen 0,40/1 bis 2,93/1 eine optimale visuelle Leistungsatmosphäre erreicht.

Der Vergleich der beiden generierten Steuerungsalgorithmen mit einer konstanten Monitorleuchtdichte ergibt lediglich bei Betrachtung der Testpersonen ab 25 Jahren aussagekräftige Ergebnisse. Testpersonen in höherem Alter scheinen sensibler gegenüber Änderungen der Leuchtdichteumgebung zu sein. Die Leistungsatmosphäre-Steuerung führt zur höchsten visuellen Leistungsatmosphäre, außerdem waren die Testpersonen zur höchsten Leistung bei Bearbeitung des Konzentrations-Leistungs-Tests fähig. Vom Einsatz der Energie-Steuerung ist abzuraten, da dieser zu erhöhter visueller Ermüdung nach der Aufgabenbearbeitung und einer verminderten visuellen Leistungsatmosphäre führt.

1. Einführung und Motivation

In Deutschland arbeiten etwa 40 % der Erwerbstätigen in Büros [12], [83], [94]. Neben einer energetisch sinnvollen Gestaltung der Arbeitsplätze ist es auch von Bedeutung einen Ort zu schaffen, an dem die Nutzer sich wohlfühlen, angenehmen Randbedingungen ausgesetzt sind und ihre Leistungsfähigkeit voll ausschöpfen können. Im Laufe der Nutzungsdauer eines Bürogebäudes übersteigen die Gehälter die Betriebs- und Erstellungskosten der Immobilie um ein vielfaches [27]. Um eine hohe Wertschöpfung der Immobilie zu erreichen, ist demnach die nutzerorientierte Gestaltung des Arbeitsplatzes ein entscheidender Aspekt.

Am Büroarbeitsplatz ist die Bildschirmarbeit nicht mehr wegzudenken, bereits zur Jahrtausendwende wurde bei einem Großteil der Büroarbeitsplätze ein Monitor verwendet [138], [154]. Nachdem über viele Jahre die Leuchtdichteumgebung im Büro nur vom Tages- und Kunstlicht geprägt war, stellt heute der Monitor eine weitere Lichtkomponente dar. Sobald die Nutzer den Büroraum betreten, beginnt meist auch die Bildschirmarbeit, welche zu anderen Belastungen führt als herkömmliche Büroarbeit [134]. Im Vergleich zur reinen Schreibtischarbeit hat die Bildschirmarbeit die Blickrichtung im Büro verändert. Heute liegt nicht mehr die horizontale Arbeitsfläche im Fokus, sondern die vertikale Fläche des Monitors. Bedingt durch die neue Blickrichtung ändert sich auch der Sichtbereich der Nutzer. Neben der Arbeitsfläche und der Fläche des Monitors rückt auch der sich hinter dem Monitor befindliche Teil des Raumes ins Gesichtsfeld und ist relevant für das Arbeiten.

Diese Arbeitssituation wird in der Forschung kaum berücksichtigt. Neben der fehlenden Erfassung der Leuchtdichte im gesamten Gesichtsfeld mangelt es auch an einer differenzierten Betrachtung der in diesem Bereich vorhandenen Flächen. In bisherigen Untersuchungen wird meist nur eine der Flächen variiert und die übrigen Flächen nicht dokumentiert. Heute findet bei einem Großteil der durchgeführten Studien die Erfassung der verschiedenen zu erhebenden Maße wie Fragebögen und Tests am Monitor statt, die alleinige Betrachtung der Arbeitsflächenhelligkeit ist nicht mehr aussagekräftig. Ergebnisse ohne Kenntnis der Helligkeiten im gesamten Sichtbereich der Nutzer können nur schwer auf die reale Bildschirmarbeit übertragen werden.

Unter der Annahme von typischen Büroarbeitszeiten erfolgt die Beleuchtung im Büro zu einem Großteil komplett oder teilweise durch Tageslicht. Die bisherigen Erkenntnisse zu Licht und seiner Wirkung auf den Menschen basieren aber meist auf Untersuchungen, welche Kunstlicht verwendet haben. Tageslicht unterscheidet sich von Kunstlicht in Dynamik, erreichtem Helligkeitsbereich, Verteilung und Lichtfarbe. Untersuchungen mit speziellem Augenmerk auf die Eigenschaften von Tageslicht sind demnach wesentlich besser in die Praxis übertragbar.

Im Laufe des Arbeitstages werden in vielen modernen Bürogebäuden die Lichtverhältnisse im Inneren durch verschiedene Formen der Steuerung verändert. Neben der Steuerung der Fassade und des Kunstlichtes anhand von Blendungskennwerten und Mindesthelligkeiten kann auch der Monitor, je nach technischer Ausführung, die Helligkeit an die Lichtumgebung anpassen. Die Nutzerzufriedenheit mit diesen Systemen ist oftmals nicht gegeben, Gründe hierfür könnte die fehlende Passung zur aktuellen Arbeitssituation wie Aufgabenstellung und relevanten physikalische Parametern sein.

Die aufgeführten Aspekte bieten Ansatzpunkte für weitere Forschung. Geklärt werden muss, vor dem Hintergrund der realistischen und aktuellen Arbeitssituation, welche lichttechnischen Parameter insbesondere, welche Flächen im Gesichtsfeld des Menschen einen maßgeblichen Einfluss auf Leistung und Empfinden bei Büroarbeit unter Tageslichtbedingungen haben. Neben der Bestimmung der Einflüsse der Einzelflächen, sind auch die Wechselwirkung dieser Flächen und deren Wirkung auf den Menschen von Belang und sollte näher untersucht werden. Liegen detaillierte Kenntnisse zu den für die Bildschirmarbeit im Büro maßgeblichen Parametern vor, so sollte untersucht werden ob diese Erkenntnisse in einen Steuerungsalgorithmus übertragen werden können um zu einem leistungsoptimierten Arbeitsplatz beizutragen.

2. Methodische Vorgehensweise

Um die Wirkung der Helligkeit verschiedener Komponenten des Gesichtsfelds auf die Nutzer zu untersuchen, werden, nach Recherche des Standes des Wissens, mehrere auf einander aufbauende Studien durchgeführt, um verschiedene aufgestellte Hypothesen zu überprüfen. Im Folgenden werden die einzelnen Schritte zur Bearbeitung der Thematik dargestellt.

Zunächst wird in Kapitel 3 nach der Einführung der für die Arbeit wichtigen Begrifflichkeiten der aktuelle Stand des Wissens hinsichtlich der baulichen Umgebung und der bestehenden Regelungen aufbereitet. Anschließend wird eine Literaturrecherche durchgeführt, deren Schwerpunkt Leistung, Ermüdung und Empfinden am Büro- beziehungsweise Bildschirmarbeitsplatz in Abhängigkeit der Lichtumgebung ist. Es werden die bestehenden Erkenntnisse zum Einfluss der Leuchtdichteverteilung und der Wechselwirkung der Leuchtdichten einzelner Komponenten des Gesichtsfelds aufgearbeitet.

Basierend auf dem Stand des Wissens, werden die zu prüfenden Hypothesen dieser Arbeit in Kapitel 4 formuliert. Das experimentelle Vorgehen zur Überprüfung der aufgestellten Hypothesen wird übergeordnet ebenfalls im Kapitel 4 dargestellt. Zur Erschaffung eines Parameterraums für die durchzuführenden Studien wird ein vereinfachtes Modell des Bildschirmarbeitsplatzes generiert, anhand dessen die maßgeblichen physikalischen Größen vereinfacht, aber ganzheitlich dargestellt werden können. Als Parameter der Leuchtdichteumgebung sind die Leuchtdichten von Wandabschnitt, Arbeitsfläche und Monitor sowie die sich ergebenden Leuchtdichteverhältnisse zwischen Wandabschnitt und Arbeitsfläche, zwischen Monitor und Wandabschnitt, zwischen Monitor und Arbeitsfläche und zwischen maximaler und minimaler Leuchtdichte der Flächen angesetzt. Die Leuchtdichteumgebungen, welche innerhalb der Studien dieser Arbeit untersucht werden, lassen sich auf dieses Modell zurückführen.

Die Studien werden im Messwiederholungsdesign durchgeführt, jede Testperson durchläuft alle zu testenden Leuchtdichteumgebungen. Während der Untersuchungen bearbeiten die Testpersonen verschiedene Fragebögen und Leistungstests, welche verschiedene Aspekte der Bildschirmarbeit wiederspiegeln. Die Studien 1 und 2 werden in einem Testraum durchgeführt, welcher mittels einer fensterseitig angebrachten Lichtwand künstliches Tageslicht bereitstellt. Studie 3 dient der Veri-

fikation der Ergebnisse der Studien 1 und 2 und wird unter realen Tageslichtbedingungen durchgeführt.

Studie 1 wird in Kapitel 5 beschrieben; es werden sechs Lichtbedingungen und drei Monitoreinstellungen untersucht, welche realitätsnah sind und dem Bürokontext entsprechen. Die Analyse der Daten erfolgt mittels Varianz- und Regressionsanalyse. Als Faktoren gehen die Lichtbedingung und die Monitoreinstellung in die Varianzanalyse ein. In der Regressionsanalyse werden die Leuchtdichten von Wandabschnitt, Arbeitsfläche und Monitor sowie die sich ergebenden Leuchtdichteverhältnisse als Prädiktoren hinsichtlich ihres Einflusses auf Leistung, Ermüdung und Empfinden der Testpersonen überprüft. Mit der Studie wird die Relevanz der Thematik in der tatsächlichen Arbeitssituation nachgewiesen. Unter bürotypischen und realitätsnahen Leuchtdichteumgebungen muss der zusätzlichen Betrachtung des Monitors als lichttechnische Komponente große Bedeutung zugemessen werden. Neben den absoluten Flächen im Gesichtsfeld sind auch die sich zwischen den Flächen ergebenden Leuchtdichteverhältnisse zu betrachten. Zusätzlich können auf Basis von Studie 1 die Fragebögen und Leistungsmaße auf die essentiellen reduziert werden um sie in den nachfolgenden Studien gezielt und effektiv einzusetzen.

In Kapitel 6 hat die auf Studie 1 aufbauende Studie 2 zum Ziel, die optimalen Leuchtdichten und Leuchtdichteverhältnisse im Gesichtsfeld zu ermitteln. Dazu wird eine größere Anzahl an Leuchtdichteumgebungen in einem ausgeweiteten Helligkeitsbereich untersucht. Insgesamt werden sechs Stufen der Wandabschnitts-, sechs Stufen der Arbeitsflächen- und drei Stufen der Monitorleuchtdichte miteinander kombiniert. Anschließend werden die absoluten und relativen Parameter der Leuchtdichten im Gesichtsfeld mittels Regressionsanalyse unabhängig voneinander auf ihre Beeinflussung der Nutzer überprüft. Die statistische Auswertung erlaubt eine Hierarchisierung der Einflüsse und eine Bestimmung der optimalen Randbedingungen. Die für die Nutzer entscheidenden physikalischen Stellschrauben im Gesichtsfeld sowie deren optimale Werte werden bestimmt.

Die Erkenntnisse der Studien 1 und 2 werden in Kapitel 7 in zwei Varianten eines Steuerungsalgorithmus zur Anpassung der Leuchtdichten im Gesichtsfeld der Nutzer übertragen. In beiden Varianten wird die Monitorleuchtdichte in Relation zur Wandabschnittsleuchtdichte gesteuert. Die erste Variante der Steuerung hat zum Ziel eine positive visuelle Leistungsatmosphäre zu generieren, die zweite Variante

dient der Energieeinsparung. Ein erster Prototyp zur Realisierung der konzipierten Steuerung wird entwickelt.

Die Überprüfung der entwickelten Steuerungsvarianten bezüglich einer leistungsförderlichen oder energieeinsparenden Wirkung erfolgt in Studie 3 in Kapitel 8. Dazu werden unter realen Tageslichtbedingungen die beiden entwickelten Steuerungsvarianten und eine Kontrollbedingung mit konstanter Monitorleuchtdichte verglichen. Die Testpersonen bearbeiten dabei eine Auswahl der in Studie 1 und 2 verwendeten Maße. Die Auswertung der Studie erfolgt mittels einer Varianzanalyse, als Faktoren gehen die Steuerungsvariante und der Zeitpunkt der Abfrage in die Varianzanalyse ein.

In Kapitel 9 werden zunächst die aufgestellten Hypothesen überprüft. Anschließend werden die Kernergebnisse der Arbeit zusammengestellt und im Kontext bisheriger Untersuchungen diskutiert. In einem weiteren Abschnitt werden die Grenzen der Arbeit wie die an verschiedenen Punkten getroffenen Vereinfachungen aufgezeigt. Verschiedene praktische Umsetzungsmöglichkeiten und Thematiken welche in weiterer Forschung bearbeitet werden sollten werden in Kapitel 10 dargestellt.

3. Kenntnisstand auf Basis vorhandener Literatur

Nachfolgend wird der Kenntnisstand hinsichtlich der baulichen Umgebung und der bisherigen wissenschaftlichen Erkenntnisse zur Wirkung der Lichtumgebung auf den Menschen zusammengestellt. Im Fokus liegt dabei die Wissensarbeit im Büro, deren Anteil bereits 2006 bei etwa 30 % lag und weiterhin steigt [72], [78]. Sie wird folgendermaßen definiert:

Wissensarbeit:

> Eine auf kognitiven Fähigkeiten basierende Tätigkeit mit immateriellem Arbeitsergebnis, deren Wertschöpfung in der Verarbeitung von Informationen, der Kreativität und daraus folgend der Generierung und Kommunikation von Wissen begründet ist [121].

3.1. Grundlagen

In diesem Kapitel werden die nachfolgend verwendeten Begriffe, welche die Lichtumgebung beschreiben zusammengestellt. Unter der Lichtumgebung ist dabei folgendes zu verstehen.

Lichtumgebung:

> Wahrgenommene Umgebung welche die Gesamtheit der lichttechnischen Eigenschaften wie beispielsweise Helligkeit, Lichtverteilung und Lichtfarbe, welche physiogisch und psychologisch auf den Menschen Einfluss nehmen können, beinhaltet [49].

Die für die Arbeit relevanten Einzelgrößen der Lichtumgebung sind nachfolgend definiert.

Helligkeit:

> Merkmal einer Gesichtsempfindung, aufgrund dessen ein Teil des Gesichtsfelds mehr oder weniger Licht auszusenden scheint [49].

Um die Helligkeit zu quantifizieren wird die Leuchtdichte L herangezogen [49].

$$L = \frac{d\Phi}{dA \cdot \cos\vartheta \cdot d\Omega} \qquad [cd/m^2] \qquad (1)$$

- L Leuchtdichte in einer gegebenen Richtung oder in einem gegebenen Punkt einer Oberfläche [cd/m^2]
- $d\Phi$ Lichtstrom, der in einem elementaren Bündel durch den gegebenen Punkt geht und sich in dem Raumwinkel dΩ, der die gegebene Richtung enthält, ausbreitet [lm]
- dA eine Querschnittsfläche dieses Bündels, die den gegebenen Punkt enthält [m^2]
- $d\Omega$ Raumwinkel [sr]
- ϑ der Winkel zwischen der Normalen der Querschnittsfläche und der Richtung des Bündels [Grad]

Bei der Betrachtung von Flächen wird die über eine bestimmte Fläche oder einen bestimmten Raumwinkel gemittelte Leuchtdichte verwendet. Ausgehend von der Leuchtdichte werden die Begriffe Leuchtdichteniveau, Leuchtdichteverteilung und Leuchtdichteverhältnis folgendermaßen definiert.

Leuchtdichteniveau:

Ausprägung beziehungsweise Größe des Wertes der Leuchtdichte.

Räume mit einem hohen Leuchtdichteniveau werden als hell wahrgenommen, Räume mit einem niedrigen Leuchtdichteniveau als dunkel.

Leuchtdichteverteilung:

Zusammensetzung der Ausprägungen der Leuchtdichten im Raum.

Verfügen alle Flächen im Raum über ähnliche Leuchtdichten so besteht eine gleichmäßige Leuchtdichteverteilung. Unterscheiden die vorhandenen Leuchtdichten sich stark ist von einer ungleichmäßigen Leuchtdichteverteilung auszugehen.

Leuchtdichteverhältnis:

Quotient der mittleren Leuchtdichten zweier Flächen.

Die Beleuchtungsstärke stellt eine weitere zentrale Größe der Lichtplanung dar [49].

$$E = \frac{d\Phi}{dA} \qquad [lx] \qquad (2)$$

- E die Beleuchtungsstärke in einem Punkt einer Oberfläche [lx]
- $d\Phi$ Lichtstroms, der auf ein den Punkt enthaltendes Element der Oberfläche auftrifft [lm]
- dA Fläche dieses Elements [m^2]

Ähnlich wie bei der Leuchtdichte wird auch bei der Beleuchtungsstärke bei der Betrachtung von Flächen eine gemittelte Beleuchtungsstärke verwendet. Im Rahmen der Kunstlichtplanung wird der Wartungswert der Beleuchtungsstärke angegeben. Dies ist der Wert, unter den die mittlere Beleuchtungsstärke nicht fallen darf. Beleuchtungssysteme müssen derart ausgelegt sein, dass sie auch bei Verschmutzung und Alterung den Wartungswert der Beleuchtungsstärke nicht unterschreiten.

3.2. Bauliche Umgebung

Nachfolgend werden die technischen Komponenten betrachtet, welche die Lichtumgebung des Büroarbeitsplatzes bestimmen. Je nach Gestaltung können Lichtumgebungen zu einem als angenehm oder unangenehm empfundenen Arbeitsplatz führen [31], [69], [157].

Kunstlicht

Die Beleuchtungsindustrie befindet sich momentan in einer Umbruchsphase. Über Jahrzehnte war die Leuchtstoffröhre das einzige flächendeckend eingesetzte Leuchtmittel im Büro, mittlerweile werden auch neue Technologien wie LEDs verwendet, deren Marktanteil zunimmt [113]. Der Einsatz des künstlichen Lichtes wird schwerpunktmäßig dahingehend dimensioniert, die Vorgabe der DIN EN 12464-1 [48] zu erfüllen, also 500 lx am Arbeitsplatz zu gewährleisten. Je nach Lichtverteilung des Beleuchtungssystems wird ein Teil des Lichtes auch an die Umgebungsflächen wie Wände und Decke projiziert. Im Bestand kann derzeit im Durchschnitt von einem Energiebedarf von etwa 14 kWh/m^2a ausgegangen werden [111].

Tageslicht und Fassadensysteme

Büroarbeitsplätze befinden sich meist weniger als 2 m von der Fassade entfernt [71] und werden hauptsächlich in der Zeit zwischen 7 und 18 Uhr genutzt [51]. Dies führt zu einer häufigen Lichtversorgung durch Tageslicht. Die sich dadurch im Innenraum ergebenden Beleuchtungsstärken liegen teilweise erheblich über denen der künstlichen Beleuchtung [132]. Der Anteil des Gesamtlichtbedarfs, welcher durch das Tageslicht gedeckt werden kann, wird als relative jährliche Nutzbelichtung bezeichnet [41]. Sie fällt je nach Fassadenlösung, eingesetztem Sonnenschutz- oder Blendschutzsystem und Standort unterschiedlich hoch aus und stellt ein Maß für die energetisch nutzbare Tageslichtversorgung dar. Je höher die relative jährliche Nutzbelichtung desto weniger künstliches Licht muss beigesteuert werden [41].

Je nach Tageslichtangebot kann das Zuschalten von künstlichem Licht oder das Reduzieren des einfallenden Tageslichts notwendig sein. Werden die Arbeitsbedingungen durch Blendung verschlechtert, wird ein Sonnen- oder Blendschutzsystem benötigt. Diese Systeme können außenliegend, innenliegend oder auch in den Fenstern integriert sein. Heutzutage beinhalten Sonnen- und Blendschutzsysteme meist lichtlenkende Elemente, mit deren Hilfe zur Blendung führendes Licht weiter in den Raum gelenkt wird und den Raum in seiner Tiefe erhellt. Beim Einsatz von lichtlenkenden Elementen im Sonnenschutz kann eine Nutzbelichtung von 80 % erreicht werden [19], [41].

Computer und Monitor

Aufgrund ihrer selbstleuchtenden Eigenschaften werden Monitore bei der Betrachtung der lichttechnischen Komponenten am Bildschirmarbeitsplatz ebenfalls betrachtet. Im Allgemeinen ist im Büro von Positivdarstellung, also dunkler Schrift auf hellem Hintergrund, auszugehen. Die Negativdarstellung (helle Schrift auf dunklem Hintergrund) wird nur selten verwendet [18]. Der Energiebedarf moderner TFT Monitore, welche heute den Markt dominieren, variiert je nach Größe und erreichter Leuchtdichte. Bei maximaler Leuchtdichte kann bei 19 Zoll von 20 W bis 30 W, bei 30 Zoll von 50 W bis 80 W ausgegangen werden. Wird die Leuchtdichte des Monitors nach unten reguliert, so sinkt der Energiebedarf [44], [129].

Die Monitorleuchtdichte ist abhängig von Leistungsfähigkeit, Alter und Einstellung des Geräts. Zu Beginn der Betriebszeit kann von einer Leuchtdichte von 250 cd/m^2

bis 300 cd/m^2 ausgegangen werden. Nach 2000 Betriebsstunden werden noch etwa 58 % der ursprünglichen Leuchtdichte erreicht [76]. Die Leistungsaufnahme und die Leuchtdichte verschiedener Monitormodelle sind in Anhang A zusammengestellt. Bei 19 Zoll ist mit einem Energiebedarf von 46 kWh/a zu rechnen unter Annahme einer Betriebszeit von 8h an 230 Arbeitstagen.

Gebäude- und Monitorsteuerung

Die Lichtverhältnisse im Innenraum werden nicht nur von Tageslicht, Kunstlicht und Monitor bestimmt, sondern auch von deren Steuerung. Im Rahmen der Gebäudeautomatisierung können Kunstlicht und Fassade gesteuert werden. Die notwenigen Sensoren sind meist an der Decke angebracht und werden auf die Beleuchtungsstärke auf der Arbeitsfläche kalibriert. Es gibt erste Versuche die Sensoren durch eine Kamera zur Leuchtdichterfassung im gesamten Raum zu ersetzen [117].

Tageslichtabhängige Kunstlichtsysteme reduzieren bei ausreichendem Tageslicht das Kunstlicht. Je nach System erfolgt das Abschalten des Kunstlichtes stufenweise oder komplett. Teilweise ist ein automatisches Zuschalten von Kunstlicht bei nicht mehr ausreichendem Tageslicht hinterlegt, teilweise muss dies auch durch die Nutzer erfolgen [50]. Die Steuerung des Kunstlichtes anhand des vorhandenen Tageslichts reduziert den Energiebedarf des Beleuchtungssystems [174].

Wird die Fassade gesteuert, so wird der Blendschutz herabgelassen, sobald eine zu hohe Strahlungsmenge erreicht ist. Bei Unterschreitung einer bestimmten Strahlungsmenge wird er wieder nach oben gefahren. Neben der Verhinderung von Blendung dient dies auch zur Reduktion von Kühlenergie im Sommer. In Kombination mit einem innenliegenden Sonnenschutz für die Heizperiode kann dadurch Energie eingespart werden [99].

Die Monitorleuchtdichte wird bei vielen Laptops und Desktop-PCs bereits heute anhand der Lichtumgebung oder Datum und Uhrzeit gesteuert [61], [127]. Hintergrund dieser Entwicklung ist sowohl der Nutzerkomfort als auch die Energieeinsparung. Die Monitorleuchtdichte orientiert sich dabei an der Lichtumgebung. Die Lichtumgebung wird in Form der Beleuchtungsstärke mit „ambient light sensors“ an deren jeweiliger Position erfasst [144]. Je nach Modell variieren Position und Erfassungsbereichen der Sensoren (siehe Bild 3.1).

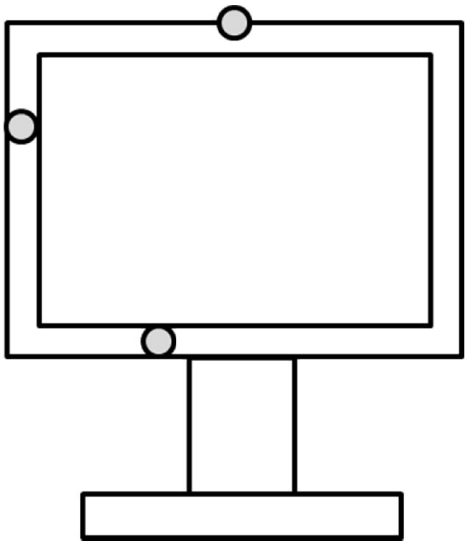


Bild 3.1: Überblick über die möglichen Positionen von Sensoren zur Steuerung der Monitorleuchtdichte.

Die technische Weiterentwicklung der Monitorsteuerung bezieht sich vor allem auf Realisierungsmöglichkeiten, Anbindung an die Schaltkreise des Monitors und die Messvorgang im Sensor, nicht jedoch auf den Erfassungsbereich des Sensors oder auf das Nutzerempfinden.

Ambilight Fernseher

Seit 2004 sind Fernseher unter dem Namen Ambilight auf dem Markt. Sie generieren eine Umgebungsbeleuchtung auf der Wand hinter dem Fernseher, welche sich in Intensität und Farbe dem aktuellen Bild anpasst und so die Umgebung anhand des dargestellten Bildes steuert. Dies führt zu einem Mehrverbrauch an Strom der bei etwa 20 % liegt [35].

3.3. Geltendes Regelwerk

Die Rahmenbedingungen des Arbeitnehmers werden von verschiedenen Richtlinien, Normen und anderen Regelungen bestimmt, welche die allgemeinen Gedanken des Arbeitsschutzes konkretisieren. Nachfolgend sollen die vorhandenen Kennwerte zusammengetragen werden, welche Niveau und Verteilung der Beleuchtung am Bildschirmarbeitsplatz definieren.

Eine zentrale Norm für die Beleuchtung von Büroarbeitsplätzen ist die DIN EN 12464-1 [48]. Für die Nutzung als Büro ist ein Mindestwartungswert der Beleuchtungsstärke von 500 lx am Arbeitsplatz und 300 lx in der unmittelbaren Umgebung gefordert. Es wird auch dargestellt, dass zu hohe Leuchtdichteunterschiede der Raumflächen und daraus resultierende wiederholte Adaptation zur Ermüdung der Augen führen können und deswegen vermieden werden sollen. Um das angestrebte ausgewogene Leuchtdichteverhältnis der Flächen im Raum zu erreichen, wird für Büros eine Beleuchtungsstärke von 75 lx auf der Wand empfohlen. Zusätzlich werden Mindestanforderung an die Blendung durch Kunstlicht, Gleichmäßigkeit der Beleuchtung und Farbwiedergabe gestellt.

Die DIN 5034-1 [46] bezieht sich speziell auf Tageslicht und gibt Mindestanforderungen zum Helligkeitseindruck durch Tageslicht im Innenraum an. Die speziellen Eigenschaften von Tageslicht (seitlicher Lichteinfall) erlauben eine Reduktion, der in DIN EN 12464-1 angegebenen Mindestbeleuchtungsstärke auf das 0,6-fache des angegebenen Wertes. Demnach ist in Büroräumen unter Tageslichtbedingungen bei einer Beleuchtungsstärke von 300 lx auf der Arbeitsfläche das Zuschalten von Kunstlicht noch nicht notwendig. Bei Dunkelheit und wenn die Beleuchtungsstärke durch das Tageslicht unter 300 lx fällt ist diese Reduktion nicht mehr möglich. Diese Minderung wird in der gängigen Planung meist nicht berücksichtigt.

Ergänzend zur DIN EN 12464-1 geht DIN 5035-7 [47] speziell auf Bildschirmarbeitsplätze ein. Auch wenn diese Regelung sich vorwiegend auf Kunstlichtbedingungen bezieht, werden auch Aspekte und Einflüsse von Tageslicht berücksichtigt. Sie gibt an, dass durch eine ausgewogene Leuchtdichteverteilung im Raum Fehlbeanspruchungen vermieden werden können. Die für die verschiedenen Flächen im Raum angegebenen Leuchtdichtebereiche sind in Tabelle 3.1 angegeben. Unterschieden wird in Situationen mit positiver und negativer Polarität der Bildschirmdarstellung. Bei positiver Polarität werden dunkle Zeichen auf hellem Hintergrund dargestellt, bei negativer Polarität werden helle Zeichen auf dunklem Hintergrund dargestellt. Es wird darauf hingewiesen, dass wegen der allgemeinen positiven Wirkung von Tageslicht, tageslichtbedingte höhere Leuchtdichten und größere Unterschiede zwischen den angegebenen Flächen vom Nutzer akzeptiert werden können.

Eine konkret für die Praxis der Bürobeleuchtung anwendbare Planungshilfe ist die BGR 131-2 [21]. Für die Leuchtdichteverteilung im Raum gibt sie an, dass ein an-

genehmes Leuchtdichteverhältnis vorliegt wenn zwischen Arbeitsfeld (beispielsweise Werkstück, Papiervorlage, Monitor) und näherem Umfeld (beispielsweise Werkbank, Arbeitstisch) maximal ein Leuchtdichteverhältnis von etwa 3/1 sowie zwischen Arbeitsfeld und ausgedehnten Flächen der Arbeitsumgebung (beispielsweise Wände) maximal ein Leuchtdichteverhältnis von etwa 10/1 beziehungsweise 1/10 besteht. Die Angaben beziehen sich hierbei auf Kunstlicht. Die gleichen Angaben finden sich auch in der VDI 6011 Blatt 2 [159], eine Anwendung auf Tageslichtverhältnisse ist demnach denkbar.

In der BGI 856 [20] werden unter anderem die in DIN 5035-7 dargelegten zulässigen Leuchtdichtebereiche im Sichtbereich des Menschen um einen empfohlenen Bereich erweitert (siehe Tabelle 3.1). Es wird ebenfalls darauf hingewiesen, dass bei Tageslichtbeteiligung auch höhere Leuchtdichten als angenehm empfunden werden können.

Tabelle 3.1: Übersicht über die zulässigen und empfohlenen Leuchtdichten nach BGI 856 [20] und DIN 5035-7 [47].

Fläche	Leuchtdichten [cd/m^2] der Flächen nach Regelwerk und Polarität					
	BGI 856				DIN 5035-7	
	Zulässig		Empfohlen			
	Positive Polarität	Negative Polarität	Positive Polarität	Negative Polarität	Positive Polarität	Negative Polarität
Decke	10 - 10000	10 - 200	30 - 500	30 - 200	10 - 10000	10 - 200
Wand	10 - 10000	10 - 200	30 - 500	20 - 100	10 - 10000	10 - 200
Wand hinter dem Monitor	10 - 500	10 - 50	30 - 300	20 - 80	10 - 500	10 - 50
Arbeitsfläche	30 - 80	30 - 80	30 - 60	30 - 60	30 - 80	30 - 80
Papiervorlage	100	100	100	100	100	100
Monitor-hintergrund	100	10	100	10	100	10

Die BGI 650 [18] bezieht sich speziell auf das Arbeiten mit Monitoren und gibt an, dass Monitore, welchen zum Einsatz an Arbeitsplätzen nah dem Fenster bestimmt sind, auch bei hohen durch das Fenster einfallenden Beleuchtungsstärken das Unterscheiden von Farben noch ermöglichen müssen. Farben sollen auch bei Beleuchtungsstärken auf dem Monitor zwischen 1500 lx und 2000 lx noch ausreichend abbildbar sein. Es wird auch angegeben, dass es den Nutzern auf einfache

Art und Weise möglich gemacht werden muss, die Leuchtdichte und den Kontrast des Monitors selber einzustellen.

Die genannten Regelungen dienen dazu Mindestanforderungen festzulegen und Randbedingungen zu vermeiden, welche sich negativ auf die Sehleistung auswirken. Die angegebenen Grenzwerte führen jedoch speziell bei den Leuchtdichteverhältnissen zu einem großen zulässigen Bereich, optimale Randbedingungen innerhalb dieser Grenzwerte sind nicht definiert.

3.4. Allgemeiner Überblick zu Licht und Leistungsfähigkeit

Die Lichtumgebung beeinflusst die Leistung des Menschen verschiedenartig und kann in drei Wege eingeteilt werden: den visuelle Weg (Sehleistung), den circadiane Weg (biologische Wirkung) und den perzeptuelle Weg (Wahrnehmung) [24].

Sehleistung

Das Sehen ist ein komplexer Vorgang. Über den optischen Apparat des Auges wird die Umgebung auf die sich in der Netzhaut befindenden Fotorezeptoren projiziert. Dabei werden durch eine Enzymkaskade Potentialänderungen in den Fotorezeptoren hervorgerufen, mit deren Hilfe Signale an die komplex verschalteten nachfolgenden Zellen in der Netzhaut weitergegeben werden. Die Signale werden durch den blinden Fleck an den visuellen Cortex des Gehirns weitergegeben, wo sie zu Bildern verarbeitet werden [116], [137]. Die Sehleistung spielt im Bürokontext eine entscheidende Rolle. Eine Aufgabe kann erst dann ausgeführt werden, wenn sie erkannt wird. Mindern die Umstände die Sehleistung, so ist die Arbeit im Büro eingeschränkt und die Nutzer können ihre potentielle Leistungsfähigkeit nicht ausnutzen.

Die Sehleistung lässt sich nicht als Einzahlkennwert, sondern als Zusammenspiel der Grundfunktionen des menschlichen Auges darstellen. In der Literatur werden unter anderem die Sehschärfe und das Erkennen von Leuchtdichteunterschieden (Unterschiedlichkeitsempfindlichkeit) als Grundfunktionen genannt und stellvertretend für die Sehleistung herangezogen [75], [77]. Die Sehschärfe und die Unterschiedsempfindlichkeit steigen mit zunehmender Leuchtdichte an. Im niedrigen Leuchtdichtebereich ist der Leistungszuwachs durch Erhöhung der Leuchtdichte stärker ausgeprägt, eine starke Abflachung lässt sich ab etwa 100 cd/m^2 erkennen.

Steigt die Umfeldleuchtdichte weiter, so treten ab einem Bereich von 1000 cd/m^2 bis 5000 cd/m^2 Blendungs- und Streulichterscheinungen auf und die Sehleistung lässt nach [75]. Die Sehschärfe ist außerdem vom Kontrast des Sehobjektes abhängig und steigt bis zu einem Kontrast von etwa 8/1 an [22], [169].

Bei der Übertragung der Erkenntnisse aus Laboruntersuchungen auf die reale Büro- und Bildschirmtätigkeit müssen von Seiten der Nutzer und der Sehobjekte verschiedene erschwerende Faktoren berücksichtigt werden. Nicht alle Personen verfügen über voll auskorrigierte Kurz- oder Weitsichtigkeit, visuelle Vorbelastung ist bei ganzen Arbeitstagen zu erwarten, Personen mit höherem Alter und deswegen reduzierter Sehleistung befinden sich am Arbeitsplatz und Kontrastverhältnisse liegen nicht im optimalen Bereich [15], [22], [75], [139], [176].

Biologische Wirkung

Licht hat eine biologische Wirkung auf den Menschen [17], [56]. 1972 konnte nachgewiesen werden, dass zwischen der Netzhaut und dem Hypothalamus eine direkte Verbindung besteht. Der Hypothalamus steuert die vegetativen Funktionen des Körpers. Hier befindet sich auch der zentrale Schrittmacher des menschlichen „Timing Systems“. Er reguliert über andere hypothalamische Zentren die Hormonproduktion, prägt ihnen einen Tagesrhythmus auf und steuert damit den Schlaf-Wach-Rhythmus des Menschen. Durch den Wechsel zwischen Tageslicht und Dunkelheit wird dieser Schrittmacher gestellt. Die Verbindung zwischen Netzhaut und Hypothalamus ist über eine bestimmte Art von Fotorezeptoren möglich. Sie erreichen ihre maximale spektrale Empfindlichkeit im kurzwelligen Bereich (zwischen 440 nm und 500 nm). Durch Aktivieren dieser Fotorezeptoren wird das Hormon Melatonin unterdrückt, Melatonin fördert die Schlafbereitschaft, die Unterdrückung führt zur Aktivierung.

Wahrnehmung

Die perzeptuelle Wirkung des Lichts auf die Leistung ist ein komplexes Zusammenspiel verschiedener Teilzusammenhänge. Die Lichtumgebung kann über verschiedene Mediatoren die Leistung des Menschen beeinflussen. Sie bestimmt die Art, wie die Umgebung sich den Nutzern darstellt. Dies wiederum beeinflusst die Raumwahrnehmung, die Stimmung oder das Wohlbefinden des Menschen. Diese Faktoren bestimmen die Motivation oder die Zufriedenheit am Arbeitsplatz, was

letztendlich die Leistung der Nutzer beeinflussen kann. Nachfolgend wird auf die einzelnen Teilzusammenhänge eingegangen.

Licht → Raumwahrnehmung

In mehreren Studien konnte nachgewiesen werden, dass eine Zunahme der Beleuchtungsstärke oder der Leuchtdichte in der Umgebung einen positiven Einfluss auf die Raumwahrnehmung hat [25], [33], [95], [109], [119]. Auch die Leuchtdichteverteilung bestimmt in verschiedenen Untersuchungen die Raumwahrnehmung. Ein Raum wurde als interessanter und heller bewertet, wenn er über eine ungleichmäßige Leuchtdichteverteilung verfügt [108], [128], [152].

Licht → Stimmung, Motivation und Wohlbefinden

Die Abhängigkeit der Stimmungslage des Menschen von der Lichtumgebung konnte in verschiedenen Studien bestätigt werden, hängt aber auch von dritten Variablen wie beispielsweise dem Geschlecht ab [10], [60], [96], [97]. Da der visuelle Eindruck des Raumes immer im Kontext mit den Erwartungen an den Raum wahrgenommen wird, führte ein geringer Unterschied zwischen Erwartung und Realität zu einer positiven Stimmung [23], [172]. Das Wohlbefinden im Büro zeigte Abhängigkeit von der empfundenen Lichtatmosphäre, wurde sie als angenehm beschrieben, stieg auch das Wohlbefinden [92], [164]. Auch die Motivation der Nutzer im Büroraum konnte durch die Lichtumgebung gesteigert werden [125].

Raumwahrnehmung → Zufriedenheit

Wurde die Raumbeleuchtung als angemessen angesehen beziehungsweise positiv bewertet, so steigerte dies die Zufriedenheit der Nutzer [100], [160], [161], [163], [164]. Der allgemeine Einfluss der Gestaltung der Arbeitsplatzumgebung auf die Leistung des Menschen und dessen Zufriedenheit, kann auch bei Brill et al. gezeigt werden [27].

Wohlbefinden → Leistung

Gesteigertes Wohlbefinden führte zu einer erhöhten Leistungsfähigkeit am Arbeitsplatz [65], [98]. Speziell in Bezug auf Wissensarbeiter konnte gezeigt werden, dass Wohlbefinden am Arbeitsplatz sowohl auf die Einzelproduktivität als auch auf die Teamproduktivität einen positiven Einfluss hatte [81]. In einer anderen Unter-

suchung wurde ein Wohlbefindlichkeitsindex eingeführt, der Aspekte wie die Büroattraktivität beinhaltet, von welchem die Leistung der Arbeitnehmer abhängig war. Ein hoher Wohlbefindlichkeitsindex steigerte die Leistung im Büro [91], [93], [145].

Zufriedenheit → Leistung

Eine zufriedenstellende Büroumgebung und Zufriedenheit unter den Angestellten führte zu gesteigerter Produktivität [64], [102]. Eine positiv wahrgenommene Arbeitsumgebung konnte als Prädiktor für eine hohe Arbeitsleistung angenommen werden [5]. Neben der Zufriedenheit mit der Umgebung ist auch die Zufriedenheit mit der Arbeit ein Faktor, welcher die Leistung im Büro beeinflussen kann. Mehrere Metaanalysen zeigten, dass sich eine hohe Arbeitszufriedenheit positiv auf Leistung und das Gesamtergebnis einer Firma auswirken kann [74], [84], [87]. Dieser Zusammenhang war besonders stark, wenn es sich um komplexe Tätigkeiten handelte [87].

Motivation → Leistung

Neben Wissen und Fähigkeit kann auch die Motivation als ein Teil der Leistung, die das Individuum erbringen kann, angesehen werden [32]. Mit der Motivation steigt auch die erbrachte Leistung [2], [82].

Voraussetzungen zur Leistung am Bildschirmarbeitsplatz

Aus der allgemeinen Zusammenfassung der Wirkungswege des Lichts kann für eine hohe Leistung am Bildschirmarbeitsplatz vorausgesetzt werden, dass die Sehleistung der Nutzer nicht eingeschränkt wird, die Ermüdung während dem Erbringen der Leistung in möglichst geringem Maße auftritt und das Empfinden der Nutzer am Arbeitsplatz positiv ist.

Die Leistung beinhaltet dabei die Sehleistung und die Büroleistung. Unter Büroleistung werden kognitive Leistung wie Konzentration und das Ausführen anspruchsvoller Tätigkeiten verstanden, welche bei der Büroarbeit immer mehr im Vordergrund stehen [149], [155], [168]. Unter der Ermüdung werden die visuelle und die allgemeine Ermüdung verstanden.

Unter Empfinden werden nachfolgend die Wahrnehmungen durch Sinnesorgane wie der Eindruck von Helligkeit und Gemütsbewegungen wie beispielsweise die

Stimmung verstanden [54]. Unter Empfinden fällt auch die Wahrnehmung einer positiven Atmosphäre in welcher die Nutzer sich wohl, motiviert und zufrieden fühlen. Die Atmosphäre ist als die emotionale Bewertung der Umgebung definiert und stellt den Eindruck dar den eine Person von der Umgebung hat. Ein Raum kann beispielsweise eine behagliche oder motivierende Atmosphäre haben. Von der Atmosphäre wird ein Einfluss auf den Zustand des Menschen erwartet wie beispielsweise die Stimmung, sie kann somit Einfluss auf die Leistung der Nutzer nehmen [167]. Neben der Leistung an sich kann die Atmosphäre auch das Arbeitsengagement bedingen, mit steigendem Arbeitsengagement steigt auch die erbrachte Leistung am Arbeitsplatz [9].

Empfinden wird demnach als Sammelbegriff für Wahrnehmung, Gemütsbewegung und dem Eindruck einer visuellen Leistungsatmosphäre definiert

3.5. Leuchtdichteverteilung im Gesichtsfeld

Nachfolgend wird der aktuelle Stand des Wissens zu Leistung, Ermüdung und Empfinden zusammen getragen, welcher direkt auf die Lichtumgebung am Büroarbeitsplatz übertragen werden kann.

In einem Großteil der bisherigen Forschung wird die Lichtumgebung ausschließlich über die Beleuchtungsstärke auf der Arbeitsfläche beschrieben. Der visuelle Eindruck des Raumes wird aber durch den Teil des Raumes bedingt, welcher sich bei normaler Arbeitsblickrichtung im Gesichtsfeld der Nutzer befindet. Das Gesichtsfeld ist der Bereich der Umgebung, der bei gerader Kopfhaltung und ruhenden Augen auf der Netzhaut abgebildet werden kann, siehe dazu Bild 3.2 [147]. Teile des Gesichtsfelds werden von beiden Augen erfasst, der periphere Bereich nur von jeweils einem. Vertikal wird eine Ausdehnung von etwa 130° erreicht (70° bis 80° nach unten, 50° bis 60° nach oben); horizontal werden zu beiden etwa 90° bis 100° erreicht. Bei einer üblichen Büroeinrichtung beinhaltet dieser Bereich neben der Arbeitsfläche auch Monitor- und Hintergrundfläche. Innerhalb des Gesichtsfelds bestehen die Bereiche Ergorama und Panorama, welche jeweils von beiden Augen gleichzeitig erfasst werden [86]. Das Ergorama ist der Bereich in dem Formen wahrgenommen werden können. Ausgehend von der Sehachse erstreckt es sich über einen Raumwinkel von 60°. Das Panorama stellt den Teil des Gesichtsfelds dar in dem Bewegungen wahrgenommen werden können und erstreckt sich über einen Raumwinkel von 120° um die Sehachse.

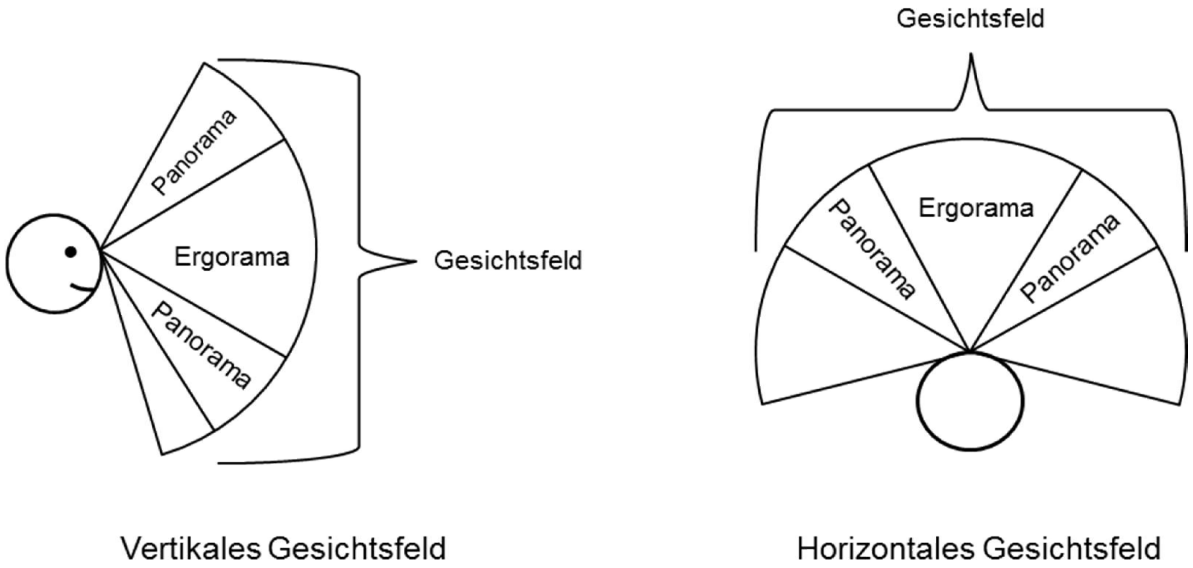


Bild 3.2: Darstellung des Gesichtsfelds, aufgeteilt in Ergorama und Panorama [86], [147].

Je nach Tätigkeit wechselt die Blickrichtung im Gesichtsfeld täglich bis zu 30.000-mal zwischen Monitor und Vorlage, unterschiedliche Leuchtdichten führen dabei zu bis zu 17.000 Pupillenreaktionen. Je größer die Distanz und das Leuchtdichteverhältnis zwischen den Objekten sind, desto größer ist auch die visuelle Anstrengung [28], [112].

Nachfolgend wird eine Literaturrecherche dargestellt, welche den Einfluss der Lichtumgebung des gesamten Gesichtsfelds auf Leistung, Ermüdung und Empfinden (wie in Kapitel 3.4 aufgezeigt) der Nutzer und die bisherigen Erkenntnisse zur Betrachtung verschiedener Komponenten des Gesichtsfelds aufbereitet. Die Ergebnisse dieser Recherche sind nachfolgend in die Themengebiete Leuchtdichteverteilung im gesamten Gesichtsfeld und Leuchtdichteverhältnisse zwischen einzelnen Komponenten des Gesichtsfelds eingeteilt. Betrachtet werden die Komponenten Arbeitsfläche, Monitor und Wand hinter Arbeitsfläche und Monitor.

Leuchtdichteverteilung im Gesichtsfeld

Auf die Bedeutung der kompletten Leuchtdichteumgebung für den Menschen wurde bereits 1954 durch Spencer hingewiesen [146]. Schon damals sollte ein Beleuchtungssystem mit Bedacht auf das gesamte Gesichtsfeld gewählt werden. Um zu vermeiden, dass der Komfort durch zu große Leuchtdichteverhältnisse einge-

schränkt wird, wird seither angegeben, dass im Gesichtsfeld der Nutzer ein Leuchtdichteverhältnis von 1/3 nicht überschreiten werden soll. Diese Angabe findet auch heute noch Anwendung, beispielsweise in der BGR 131-2 [21].

Loe et al. [108] ließen in einer zentralen Studie zur Wirkung der Leuchtdichteverteilung auf verschiedene Aspekte der Raumwirkung 18 Beleuchtungssituationen bewerten. Anschließend wurde der Zusammenhang zwischen den Bewertungen der Testpersonen und dem Leuchtdichteniveau und der Leuchtdichteverteilungen bestimmter Bereiche des Raumes untersucht. Es zeigte sich, dass nicht die Arbeitsfläche den Eindruck des Raums entscheidend bestimmte, sondern die lichttechnischen Kennwerte in einem horizontalen 40° Band im Gesichtfeld der Nutzer, welches die Arbeitsfläche und die Wand im Hintergrund beinhaltete, den stärksten Einfluss auf die Bewertung durch die Testpersonen hatte. Ein Raum wurde als hell bewertet wenn im 40° Band eine hohe Leuchtdichte herrschte. Bei ungleichmäßiger Leuchtdichteverteilung wurde der Raum als interessant bewertet. Nach erneuter Auswertung der Daten konnte nochmals das horizontale Band im Gesichtsfeld der Nutzer als Schlüsselaspekt zu Bewertung des Raumes bestätigt werden [124].

Zusätzlich belegen auch andere Studien die Abhängigkeiten der Raumwahrnehmung von der Leuchtdichteverteilung. So ist davon auszugehen, dass Räume bei uneinheitlicher Leuchtdichteverteilung als heller wahrgenommen werden [3], [152] und zu einer positiven Raumwahrnehmung führen [128]. Bezüglich der Leistung im Büro konnte bei gleichmäßiger Leuchtdichteverteilung die Eignung für die Tätigkeit des Telefonierens aufgezeigt werden [59] eine ungleichmäßige Leuchtdichteverteilung führte zu reduzierte Leistung bei der Bildschirmarbeit [11].

Die reine Betrachtung der Arbeitsfläche im Büro scheint nicht auszureichen, um die Wirkung des Lichtes auf den Menschen vollständig zu erfassen. Speziell bei verschiedenen Aspekten des Empfindens ist zu vermuten, dass die Leuchtdichteverteilung im gesamten Gesichtsfeld im Vordergrund steht. Ungleichmäßige Leuchtdichteverteilungen führen vermutlich zu einer positiven Raumwahrnehmung [3], [124], [128], [152], scheinen sich aber gleichzeitig negativ auf Seh- und Büroleistung auszuwirken [11], [59]. Zur Ermüdung konnten bisher keine Erkenntnisse gewonnen werden.

Leuchtdichteverhältnis zwischen Arbeitsfläche und Monitor

Bisher wurden Untersuchungen durchgeführt in denen die Arbeitsflächenleuchtdichte in Relation zur Leuchtdichte des Monitors eingestellt wurde oder verschiedene Beleuchtungsstärken auf ihre Eignung zur Bildschirmarbeit überprüft wurden.

In einer Untersuchung von Markytan und Gall [110] stellten die Testpersonen für die Monitorleuchtdichten 60 cd/m^2, 110 cd/m^2 und 171 cd/m^2 die optimale Leuchtdichte auf der Tastatur ein. Für 60 cd/m^2 wurden etwa 60 cd/m^2, für 110 cd/m^2 etwa 72 cd/m^2 und für 171 cd/m^2 etwa 95 cd/m^2 eingestellt. Mit zunehmender Monitorleuchtdichte stieg, die als angenehm empfundene Leuchtdichte der Tatstatur.

Newsham et al. [118] präsentierten Testpersonen Computerdarstellung vom Blick auf einen Arbeitsplatz. Die Darstellung bestand aus verschiedenen Flächen, welche teilweise von Testpersonen in ihrer Leuchtdichte verändert werden konnten. Die Monitorleuchtdichte war bei 50 cd/m^2 konstant. Es zeigte sich, dass das Leuchtdichteverhältnis zwischen Monitor und Arbeitsfläche optimaler Weise bei 1,08/1 liegen sollte.

Die Studien welche verschiedene Beleuchtungsstärken hinsichtlich ihrer Eignung für Bildschirmarbeit verglichen haben, lassen sich nicht auf eine gemeinsame Aussage zusammenfassen. In sieben Studien wurden jeweils zwei verschiedene Beleuchtungsstärken untersucht, der untersuchte Bereich umfasste dabei 5 lx bis 550 lx. Bezüglich der Leistung führten beim Vergleich von 200 lx und 450 lx sowie 50 lx und 300 lx jeweils die höhere Beleuchtungsstärke 450 lx und 300 lx zu einer gesteigerten Sehleistung [142], [156]. Beim Vergleich von 20 lx und 340 lx führte die niedrigeren Beleuchtungsstärken von 20 lx zu gesteigerter Sehleistung [106]. Der Vergleich von 20 lx und 340 lx zeigte ebenso, dass 340 lx beliebter war und das Arbeiten weniger anstrengend war [106]. Im Gegensatz dazu führte der Vergleich von 5 lx und 550 lx bei 5 lx zu weniger Kopfschmerzen nach der Aufgabenbearbeitung [13]. Eine Eignung zur Bildschirmarbeit wurde beim Vergleich von 300 lx und 500 lx einmal für 500 lx und einmal für 300 lx festgestellt [59], [110]. Zwei Studien konnten keinen Einfluss der Beleuchtungsstärke nachweisen [80], [114]. Beim Vergleich mehrerer Beleuchtungsstärken auf der Arbeitsfläche zeigte sich in drei weiteren Untersuchungen, dass in einem Untersuchungsbereich von 80 lx bis 1000 lx jeweils eher niedrige bis mittlere Beleuchtungsstärken (200 lx, 200 lx und 500 lx) zur höchsten Sehleistung führten [104], [106], [123].

Die genannten Studien zur Einstellung der Arbeitsflächenleuchtdichte lassen vermuten, dass mit steigender Monitorleuchtdichte eine höhere Arbeitsflächenleuchtdichte als angenehm angesehen wird [110], [118]. Beim Vergleich verschiedener Beleuchtungsstärken scheint es bezüglich der Sehleistung so, dass hohe Beleuchtungsstärken ab 600 lx sich negativ auf die Sehleistung auswirken [104], [106], [123]. Im Bereich unter 600 lx sind nur widersprüchliche Ergebnisse zu finden [59] [106], [110], [142], [156]. Bezüglich der Ermüdung kann anhand der Erkenntnisse zur Anstrengung und zu Kopfschmerzen keine gemeinsame Aussage abgeleitet werden [13], [106]. Die Büroleistung wurde in der Literatur bisher nicht berücksichtigt.

Leuchtdichteverhältnis zwischen Monitor und Wand hinter dem Monitor

Newsham et al. [118] ließen Testpersonen mittels einer Computerdarstellung vom Blick auf einen Arbeitsplatz mit in ihrer Leuchtdichte variablen Teilflächen die optimale Leuchtdichteverteilung entwickeln. Die dargestellte Monitorleuchtdichte lag dabei konstant bei 50 cd/m^2, andere Flächen konnten von der Testperson angepasst werden. Die Testpersonen wählten im Mittel ein Leuchtdichteverhältnis zwischen Monitor und Wand von 1,04/1.

Sheedy et al. [141] untersuchten gezielt die Adaptionsvorgänge bei Blickbewegungen zwischen Monitor mit einer Leuchtdichte von 91 cd/m^2 und Wand hinter dem Monitor. Bei einem "Transient Adaption-Task" (Suchen von bestimmten Dominosteinen auf dem Monitor und auf der Wand) zeigte sich, dass die Leistung der Testpersonen im höherem Alter bei einer Leuchtdichte von 2,4 cd/m^2 auf der Wand im Hintergrund schlechter war als bei Leuchtdichten von 25,4 oder höher. Bei jüngeren Testpersonen war die Leistung bei 2,4 cd/m^2 schlechter als bei 8,9 cd/m^2 und höher. Liegt die Leuchtdichte der Wand zu weit unter der des Monitors, verringert sich die Leistung. Bei der Möglichkeit zur freien Einstellung der Wandleuchtdichte stellten die älteren Testpersonen 62,2 cd/m^2, die jüngeren Testpersonen 86,9 cd/m^2 ein.

Auch andere Untersuchungen zeigten, dass die Sehleistung und die empfundene Eignung für Büroarbeit steigt wenn sich die Monitorleuchtdichte und die Leuchtdichte der umgebenden oder dahinter liegenden Fläche in einem ähnlichen Bereich befinden [6], [16], [62], [158], [166]. Ergänzend dazu ergab sich in einer weiteren

Studie für große untersuchte Unterschiede zwischen Monitorleuchtdichte und der Leuchtdichte der dahinter liegenden Wand die höchste visuelle Ermüdung [177].

Bezüglich der Sehleistung scheinen sich große Leuchtdichteverhältnisse zwischen dem Monitor und der umgebenden oder dahinter liegenden Fläche negativ auszuwirken [6], [62], [141], [166]. Hatten die Testpersonen die Möglichkeit die Fläche hinter der dem Monitor so einzustellen, dass die Leuchtdichte als angenehm empfunden wurde zeigte sich vergleichbares [16], [118], [141], [158]. Für die visuelle Ermüdung deutet sich ein ähnlicher Zusammenhang an [177]. Aus der vorliegenden Literatur kann keine Aussage zur Büroleistung und zur allgemeinen Ermüdung abgeleitet werden.

Leuchtdichteverhältnis zwischen Arbeitsfläche und Wand hinter der Arbeitsfläche

Bisher wurden vier Studien durchgeführt, welche eine gemeinsame Betrachtung der Arbeitsfläche und Hintergrundfläche zum Inhalt hatten. In einer Untersuchung wurden im Mittel ein Leuchtdichteverhältnis zwischen Wand und Arbeitsfläche von 0,52 als bevorzugt eingestellt [153]. In einer anderen Untersuchung wurde festgestellt, dass bei Bildschirmarbeit eine Leuchtdichte auf dem Arbeitsfläche von 40 cd/m^2 bis 65 cd/m^2 und eine Wandleuchtdichte zwischen 20 cd/m^2 und 45 cd/m^2 bevorzugt werden [158]. Für die Beleuchtungsstärke konnte in einer weiteren Untersuchung ein ähnliches Verhältnis ermittelt werden. Für 500 lx, 750 lx und 1000 lx auf der Arbeitsfläche wurden 300 lx, 380 lx und 430 lx auf der Wand als bevorzugt ermittelt [150]. In einer weiteren Studie wurde aufgezeigt, dass die Annäherung der Beleuchtungsstärke auf der Wand an die der Arbeitsfläche als positiv wahrgenommen wurde [179].

Bisher wurden lediglich Studien zum Empfinden durchgeführt. Drei Studien deuten darauf hin, dass Testpersonen es bevorzugen wenn die Leuchtdichte der Wand etwa halb so hoch ist wie die der Arbeitsfläche [150], [153], [158]. Lediglich in einer Studie zeigt sich, dass die Beleuchtungsstärken der betrachteten Flächen in einem ähnlichen Bereich liegen sollen [179]. Bezüglich der Ermüdung und der Leistung wurden keine Untersuchungen durchgeführt.

3.6. Akzeptanz von Gebäude- und Monitorsteuerung

Für die Kunstlicht- und Fassadensteuerung zeigten Galasiu und Veitch [67] in einem Review, dass die Steuerung nur dann akzeptiert wurde, wenn die Systeme einfach zu bedienen waren. Von großer Bedeutung war außerdem, dass die Steuerung umgangen werden kann und die Nutzer selber Kunstlicht zu und abschalten beziehungsweise die Fassade verfahren können. Die Notwendigkeit einer zusätzlichen manuellen Bedienmöglichkeit zeigte sich auch in anderen Untersuchungen [39], [165]. In einer weiteren Studie wurde außerdem gezeigt, dass 45 % der Einstellungen, welche durch eine automatische Jalousiesteuerung vorgenommen wurden, anschließend vom Nutzer korrigiert wurden [133]. Zu Leistung und Ermüdung liegen keine Untersuchungen vor. Die im Moment verwendeten Algorithmen zur Steuerung führen scheinbar nur teilweise zu einer befriedigenden Nutzerakzeptanz.

Auch wenn die Steuerung des Monitors im Bürokontext bereits zum technischen Standard gehört, gibt es keine wissenschaftliche Literatur zur Nutzerakzeptanz oder zu Leistung, Ermüdung und Empfinden unter deren Verwendung. Jedoch werden in zahlreichen Foren Beschwerden gegenüber der Monitorsteuerung geäußert. Es lassen sich verschiedene Hauptproblematiken identifizieren:

- Sensibilität: Sensoren reagieren zu sensibel, jede Wolke führt zu einem Abdunkeln des Monitors.
- Erfassungsbereich: Der Sensor reagiert auf Bewegungen der Nutzer oder vorbeilaufender Personen.
- Stufenweises Abdunkeln: Das Ändern der Leuchtdichte in Stufen wird als unangenehm angesehen.
- Angenommene Leuchtdichte: Der Monitor erscheint zu dunkel.

Bezüglich der Akzeptanz von Ambilight Fernsehern wurden einige Studien durchgeführt. Die Anpassung des fernsehnahen Wandbereichs in Leuchtdichte und Farbe führt im Vergleich zu herkömmlicher Technologie zu geringerer Augenermüdung [14], geringerer Belastung des Gehirns [130] sowie einem erhöhten subjektiven Stresslevel [170]. Die Erkenntnisse zu Ambilight-Fernsehern können nur bedingt angewendet werden, deuten jedoch darauf hin, dass das Abstimmen von Monitor- und Wandleuchtdichte die Nutzer hinsichtlich der Ermüdung beeinflussen kann [14], [130], [170].

4. Zielsetzung und experimentelles Vorgehen

In der bisherigen Forschung wurden einige Aspekte nicht ausreichend bearbeitet. Diese liegen einerseits auf Seiten der untersuchten Lichtumgebungen und andererseits auf Seiten der Anwendbarkeit für die Wissensarbeit im Büro. Diese Aspekte werden nachfolgend dargestellt. Zu jedem Aspekt wurden eine oder mehrere Hypothesen aufgestellt, welche in den einzelnen Studien durch Teilhypothesen konkretisiert und ergänzt werden.

4.1. Bildung von Hypothesen

Integration des Monitors in die Forschung zur Lichtumgebung

Der Monitor nimmt bei Bildschirmarbeit eine zentrale Position im Gesichtsfeld der Nutzer ein. Außerdem beeinflusst er durch seine selbstleuchtenden Eigenschaften deren Lichtumgebung. Dies lässt vermuten, dass auch die Monitorleuchtdichte Leistung, Ermüdung und Empfinden am Arbeitsplatz mit bestimmen kann, siehe dazu Kapitel 3.5.

H1: Neben der lichttechnischen Gestaltung des Raumes nimmt auch die Monitorleuchtdichte in einem bürotypischen Bereich nachweislich Einfluss auf Leistung, Ermüdung und Empfinden am Bildschirmarbeitsplatz.

Fokussierung auf Tageslichtsituationen

Ein Großteil der recherchierten Untersuchungen fand unter Kunstlichtbedingungen statt, teilweise auch unter den für Büroräume vorgesehenen Mindestbeleuchtungsbedingungen, siehe dazu Kapitel 3.5. In der realen Arbeitssituation verbringen die Nutzer einen Großteil ihrer Arbeitszeit unter Tageslichtbedingungen, siehe dazu Kapitel 3.2. Hier ergeben sich in Niveau und Verteilung andere Lichtsituationen, über die die bisherige Forschung wenig aussagt. Die reale Anwendbarkeit der Forschungsergebnisse ist dann gegeben, wenn die untersuchten Situationen den in der Realität anzutreffenden entsprechen.

H2: Unterschiedliche Leuchtdichteniveaus und Leuchtdichteverteilungen, die typisch sind für fassadennahe Bildschirmarbeitsplätze, haben auch innerhalb des durch Normen zulässigen Bereichs Einfluss auf Leistung, Ermüdung und Empfinden der Nutzer.

Kombinierte Betrachtung mehrerer relevanter Flächen

Neben der Arbeitsfläche nehmen auch der Monitor und der Hintergrund hinter der Arbeitsfläche und dem Monitor einen großen Teil des Gesichtsfelds der Nutzer ein. Die Recherche der bisherigen Literatur in Kapitel 3.5 zeigt, dass nur selten mehr als eine Fläche im Gesichtsfeld der Nutzer betrachtet wurde. Die komplette Variation aller Flächen im Gesichtsfeld der Nutzer in einer Studie, unter gleichen Randbedingungen, wurde bisher nicht untersucht. Eine Hierarchisierung der Einflussstärke der Leuchtdichten verschiedener Flächen im Raum oder Aussagen über die Leuchtdichteverhältnisse verschiedener Flächen im Raum können somit nicht getroffen werden. In der vorliegenden Arbeit ist zu überprüfen, welche Komponenten des Gesichtsfelds Einfluss auf die Nutzer am Bildschirmarbeitsplatz nehmen und welche Leuchtdichteniveaus und Leuchtdichteverhältnisse erreicht werden müssen, um optimale Randbedingungen zu generieren.

H3: Das Leuchtdichteniveau verschiedener Flächen im Gesichtsfeld nimmt Einfluss auf die Nutzer; es können Wertebereiche abgeleitet werden, die sich positiv auf Leistung, Ermüdung und Empfinden auswirken.

H4: Die Leuchtdichteverhältnisse im Gesichtsfeld nehmen Einfluss auf die Nutzer; es können Wertebereiche abgeleitet werden, die sich positiv auf Leistung, Ermüdung und Empfinden auswirken.

Steuerungskonzepte am Bildschirmarbeitsplatz

Die Nutzerakzeptanz bisheriger Steuerungsmodelle ist nur teilweise gegeben. Studien zu Fassaden- und Kunstlichtsteuerung sowie diverse Foreneinträge zur Monitorsteuerung deuten in Kapitel 3.6 darauf hin, dass hier Potential zur Steigerung der Nutzerakzeptanz besteht. Zusätzlich wurden bisherige Steuerungsmodelle nicht auf ihre Wirkung bezüglich leistungsrelevanter Parameter überprüft.

Zu untersuchen ist, ob die Lichtumgebung im Büro anhand einer oder mehrerer Führungsgrößen (wie beispielsweise der Arbeitsflächenleuchtdichte) derartig gesteuert werden kann, dass eine für die Nutzer und deren Produktivität vorteilhaftere Umgebung entsteht sowie eine ausreichende Nutzerakzeptanz vorliegt. Im Weiteren sollen auch energetische Aspekte mit berücksichtigt werden, da mögliche

Einsparungspotentiale am Bildschirmarbeitsplatz aufgrund der großen Anzahl an Nutzern Bedeutung haben.

H5: Es kann ein Steuerungsalgorithmus konzipiert werden, welcher Leuchtdichteniveau und Leuchtdichteverteilung anhand einer oder mehrerer Führungsgrößen am Bildschirmarbeitsplatz hinsichtlich einer leistungsförderlichen Wirkung oder Energieeinsparung anpasst.

4.2. Experimentelles Vorgehen zur Überprüfung der Hypothesen

Um die Hypothesen zu überprüfen, wird ein experimentelles Vorgehen gewählt, welches wie in Bild 4.1 dargestellt drei aufeinander aufbauende Studien beinhaltet.

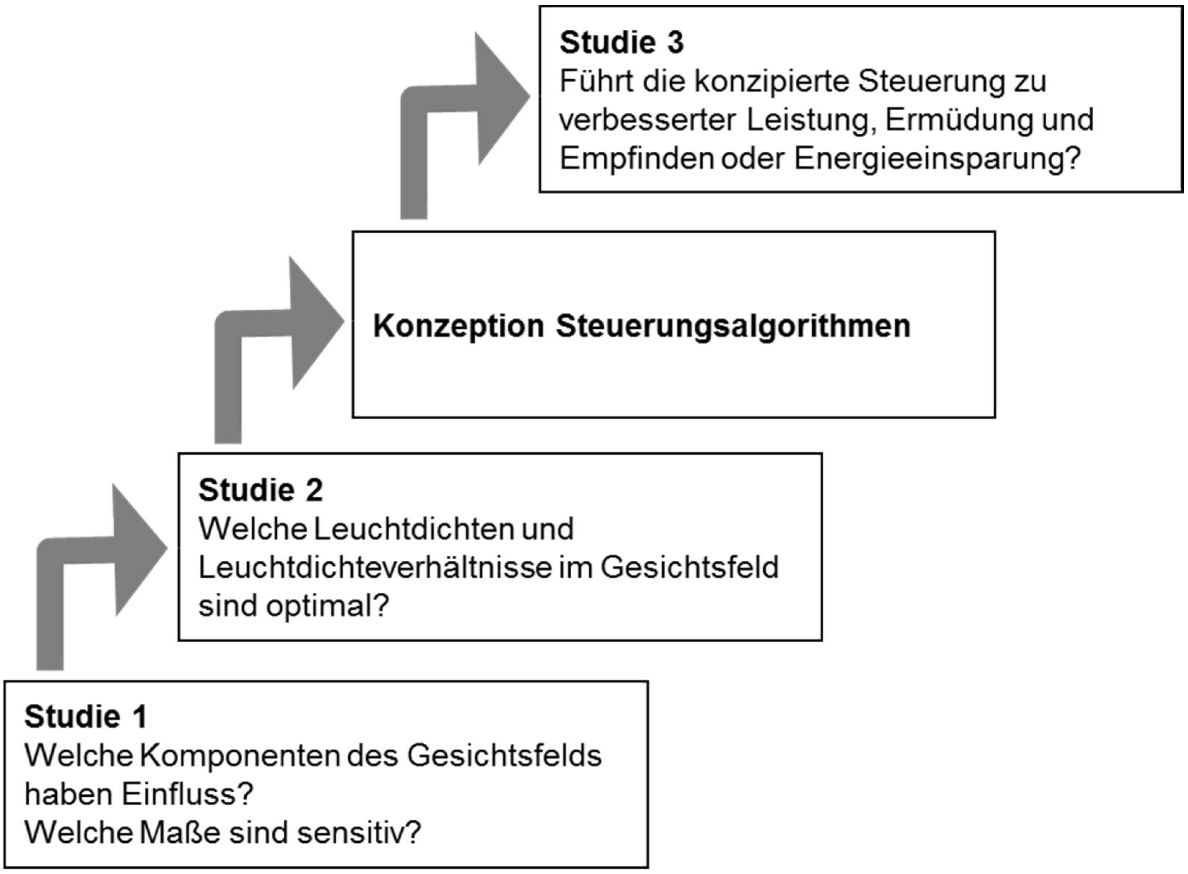


Bild 4.1: Experimenteller Aufbau der Arbeit.

Studie 1 überprüft innerhalb büroähnlicher Randbedingungen, ob eine gemeinsame lichttechnische Betrachtung des Raumes und der Monitoreinstellung sinnvoll ist und welche Parameter der Lichtumgebung die Nutzer beeinflussen. Außerdem sollen sensible Fragebögen und Leistungstests bestimmt werden, welche den Einfluss

der Lichtumgebung nachweisen. Darauf aufbauend wird in Studie 2 der untersuchte physikalische Bereich ausgedehnt, indem eine größere Anzahl und extremere Lichtumgebungen untersucht werden. Es wird eine im Gegensatz zu Studie 1 reduzierte Anzahl an Fragebögen und Leistungstests verwendet. Die Studie soll zeigen, welche Werte-Bereiche der relevanten physikalischen Größen die Nutzer positiv beeinflussen. Mit den Daten der Studien 1 und 2 werden zwei Varianten eines Steuerungsalgorithmus entwickelt, welche in Studie 3 auf einen möglichen Leistungs- oder Energievorteil gegenüber einer statischen Situation getestet werden.

Als Basis für die Studien wird zunächst das Gesichtsfeld im Büroraum in ein vereinfachtes Modell überführt, um einen physikalischen Rahmen für die nachfolgenden Untersuchungen zu schaffen. Das Modell des Bildschirmarbeitsplatzes basiert auf dem durch Loe et al. identifizierten 40° Band, welches in Bild 4.2 dargestellt ist [108].

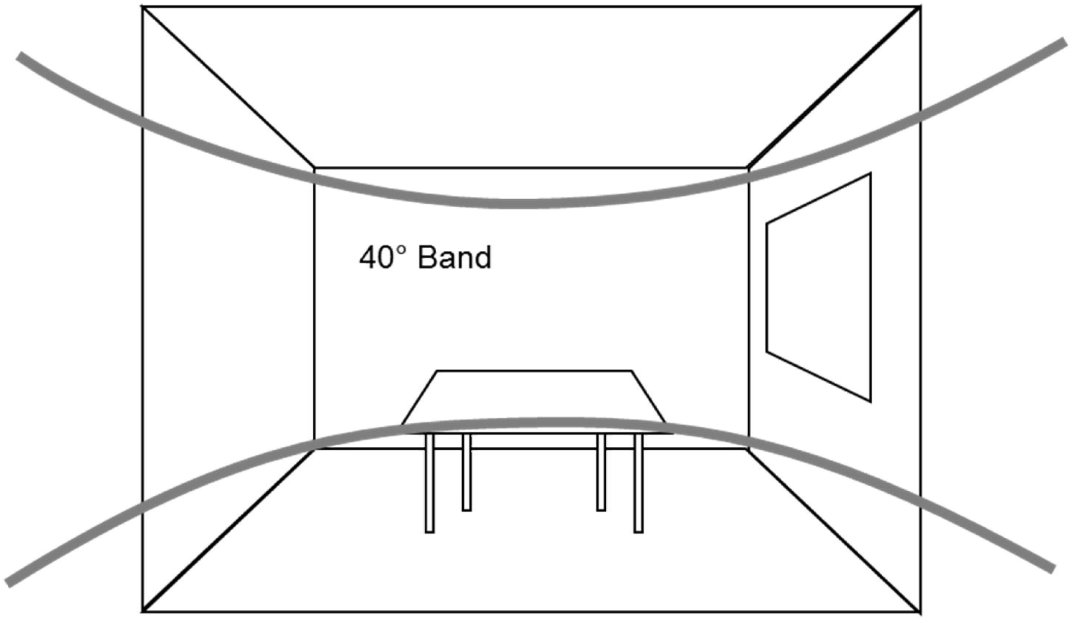


Bild 4.2: Darstellung des für die subjektive Bewertung von Lichtumgebungen relevanten Bereichs der Umgebung nach Loe et al. [108].

Es beinhaltet, wie in Bild 4.3 zu sehen, in vereinfachter Weise die Komponenten des Gesichtsfelds am Bildschirmarbeitsplatz: den Wandabschnitt, die Arbeitsfläche und den Monitor.

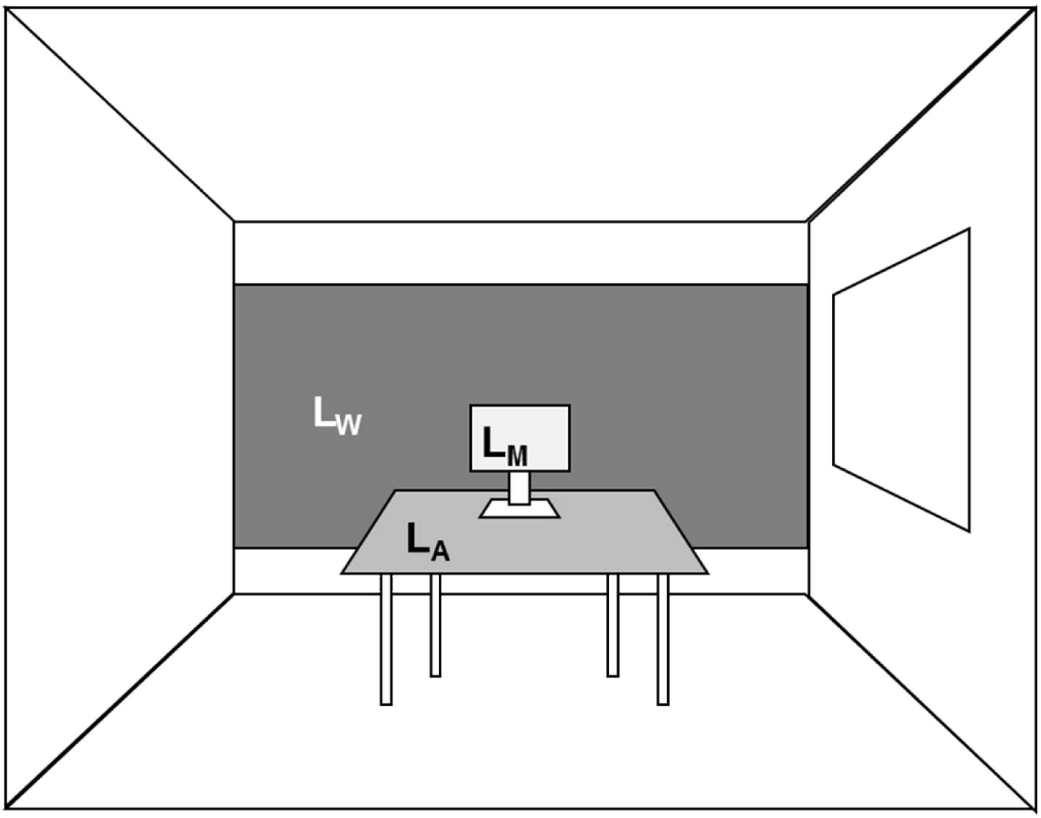


Bild 4.3: Modell des Bildschirmarbeitsplatzes, bestehend aus den Wandabschnitt, Arbeitsfläche und Monitor.

Das Modell wird über 7 Parameter beschrieben, die folgendermaßen definiert sind:

Wandabschnittsleuchtdichte L_W:

Mittlere Leuchtdichte des relevanten Wandabschnitts.

Arbeitsflächenleuchtdichte L_A:

Mittlere Leuchtdichte der relevanten Arbeitsfläche.

Monitorleuchtdichte L_M:

Mittlere Leuchtdichte der relevanten Monitorfläche.

Leuchtdichteverhältnis zwischen Wandabschnitt und Arbeitsfläche W/A:

Quotient aus der Wandabschnittsleuchtdichte L_W und der Arbeitsflächenleuchtdichte L_A.

Leuchtdichteverhältnis zwischen Monitor und Wandabschnitt M/W:

Quotient aus der Monitorleuchtdichte L_M und der Wandabschnittsleuchtdichte L_W.

Leuchtdichteverhältnis zwischen Monitor und Arbeitsfläche M/A:

Quotient aus der Monitorleuchtdichte L_M und der Arbeitsflächenleuchtdichte L_A.

Verhältnisse zwischen maximaler und minimaler Leuchtdichte Max/Min:

Quotient aus der maximalen Leuchtdichte und der minimalen Leuchtdichte der Flächen des Modells.

Die Parameter können in drei absolute und vier relative Parameter eingeteilt werden:

Absolute Parameter:

Leuchtdichten der Komponenten des Modells: L_W, L_A, L_M.

Relative Parameter:

Leuchtdichteverhältnisse zwischen den Komponenten des Modells: W/A, M/W, M/A, Max/Min.

Als Arbeitsfläche wird die Tischfläche angenommen [45], der Wandabschnitt entspricht dem von Loe et al. [108] identifizierten Band, die Monitorfläche wird durch die Monitorgröße und die verwendete Darstellung auf dem Monitor bedingt. Die Maße der jeweiligen Flächen sind in der Beschreibung der einzelnen Studien angegeben.

Die Parameter bilden das in Kapitel 3.5 dargestellte Gesichtsfeld der Nutzer ab. Mit den absoluten Parametern werden die wesentlichen Bereiche im Gesichtsfeld abgedeckt. Die Leuchtdichteverhältnisse erlauben es Tätigkeiten wie beispielsweise dem Abschreiben von Manuskripten und dem damit verbundenen Blickwechsel im Gesichtsfeld physikalische Randbedingungen gegenüber zu stellen.

Für die nachfolgenden Studien werden die Begriffe Lichtbedingung, Leuchtdichteumgebung und Monitoreinstellung eingeführt:

Lichtbedingung LB:

Eine bestimmte Kombination aus Wandabschnittsleuchtdichte L_W und Arbeitsflächenleuchtdichte L_A. Sie beschreibt die lichttechnischen Randbedingungen des Raumes. L_W, L_A und W/A quantifizieren die Lichtbedingung.

Leuchtdichteumgebung LU:

Eine bestimmte Kombination aus Wandabschnittsleuchtdichte L_W, Arbeitsflächenleuchtdichte L_A und Monitorleuchtdichte L_M. Sie beschreibt die lichttechnischen Randbedingungen des Gesichtsfelds. L_W, L_A, L_M, W/A, M/A, M/W und Max/Min quantifizieren die Leuchtdichteumgebung.

Monitoreinstellung ME:

Eindeutig quantifizierte Stufen von L_M.

5. Studie 1

In der bisherigen Forschung wurde der Ansatz einer gemeinsamen Betrachtung von Lichtbedingung und Monitoreinstellung an Büroarbeitsplätzen kaum verfolgt. Zudem bezogen sich viele der bisher durchgeführten Studien auf extreme Lichtumgebungen, welche aufgrund gesetzlicher Vorgaben nicht bürorelevant sind. Die eingesetzten Maße waren oftmals nicht repräsentativ für den Büroalltag, siehe dazu Kapitel 3.5.

Um nachzuweisen, dass in realitätsnahen Situationen die ganzheitliche Betrachtung und Variation aller Parameter der Leuchtdichteumgebung das Potential hat, Leistung, Ermüdung und Empfinden der Nutzer zu beeinflussen, wurde Studie 1 durchgeführt. Sie war von explorativer Natur und diente dazu einen Überblick zu gewinnen und die Potentiale weiterer Studien zur Thematik einzuordnen. Auch die Bestimmung sensibler Maße, welche bürorelevant sind und eine Abhängigkeit von der Leuchtdichteumgebung aufzeigen, sollte innerhalb der Studie erfolgen.

Zu den in Kapitel 4.1 formulierten Hypothesen wurden Teilhypothesen aufgestellt welche durch Studie 1 bearbeitet wurden und einen Beitrag zur Prüfung der übergeordneten Hypothesen leisten. Die Teilhypothese H1.1 sollte erste Hinweise für die Überprüfung der Hypothesen H1, H2, H3 und H4 liefern. Mit der Teilhypothese H1.2 wurde die Hypothese H1 hinsichtlich der Randbedingungen der ersten Studie konkretisiert. H4 wurde durch die Teilhypothese H1.3 an das experimentelle Vorgehen angepasst.

H1.1: Es lassen sich Indikatoren für Leistung, Ermüdung und Empfinden der Nutzer am Bildschirmarbeitsplatz identifizieren, welche durch die Variation der absoluten und relativen Parameter der Leuchtdichteumgebung beeinflusst werden.

H1.2: In Abhängigkeit der Lichtbedingungen wirken sich unterschiedliche Monitoreinstellungen positiv auf Leistung, Ermüdung und Empfinden der Nutzer aus.

H1.3: Die Leuchtdichteverhältnisse zwischen Wandabschnitt, Arbeitsfläche und Monitor haben Einfluss auf Leistung, Ermüdung und Empfinden der Nutzer.

5.1. Durchführung

Die Untersuchung fand zwischen dem 23.05.2012 und dem 15.06.2012 auf dem Gelände des Fraunhofer-Instituts für Bauphysik in Stuttgart statt. Es handelte sich um ein Messwiederholungsdesign, jede Testperson durchlief alle Leuchtdichteumgebungen. Nachfolgend werden Randbedingungen wie Räumlichkeiten, Testpersonen, Leuchtdichteumgebungen, verwendete Maße und der Ablauf der Untersuchung beschrieben.

5.1.1. Räumlichkeiten

Durchgeführt wurde die Studie in einem Testraum mit einer Grundfläche von etwa 44 m^2 (6,6 m x 6,6 m) und eine Höhe von 2,8 m. Die Lichtbedingungen im Inneren konnten über Pendelleuchten und mit Hilfe einer Tageslichtwand hergestellt werden [52], [66]. Die Tageslichtwand (zu sehen in Bild 5.1), welche vor den Fenstern des eigentlichen Raums platziert war, erzeugte mit 108 Strahlern, welche einzeln gedimmt und in der Gruppe vertikal und horizontal gedreht werden konnten, tageslichtähnliche Randbedingungen im Innenraum. Mit einer vor den Strahlern befindlichen Diffusor-Folie konnte ein diffuser, flächiger Lichteindruck im Innenraum erreicht werden, mit einer Farbfolie konnte die Farbtemperatur im Testraum angepasst werden.

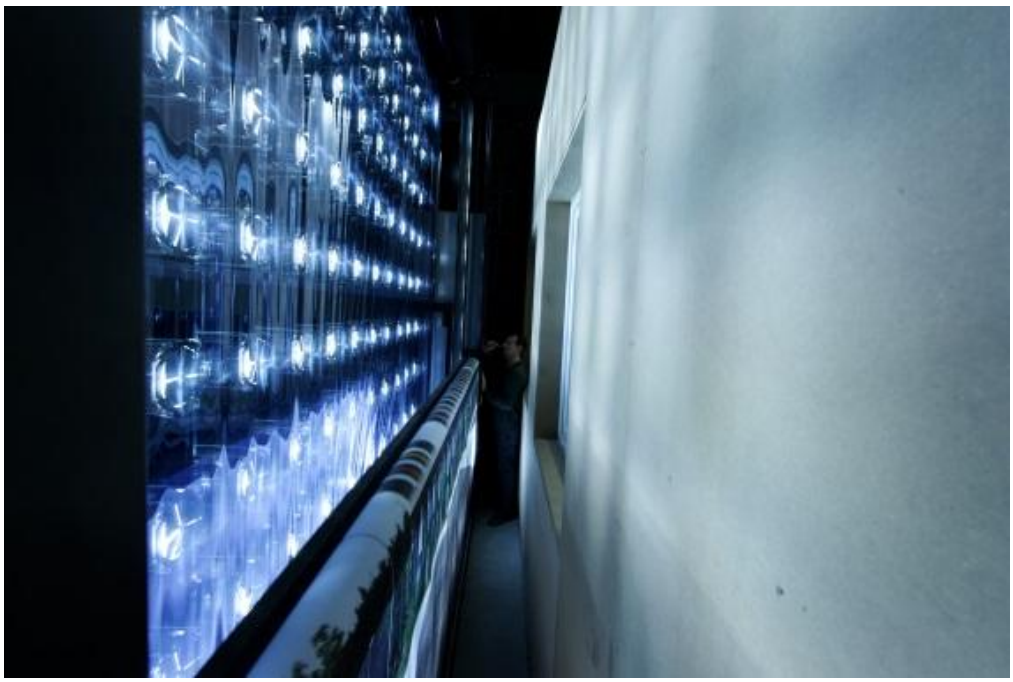


Bild 5.1: Tageslichtwand des Testraums.

Um den Versuch effektiv und zeitsparend durchführen zu können, wurde der Testraum durch einen beigen Vorhang in der Mitte geteilt um zwei Arbeitsplätze zu erhalten. Die beiden Arbeitsplätze (AP 1 und AP 2) sind in Bild 5.2 und Bild 5.3 zu sehen. Die Position relativ zum Fenster war bei beiden Arbeitsplätzen gleich und so gewählt, dass sich das Fenster außerhalb des Panoramas befand, also im äußeren Bereich des Gesichtsfelds, wo es während der Aufgabenbearbeitung nicht wahrgenommen wurde. Aus diesem Grund war der Abstand zwischen den Arbeitsplätzen und der Wand beziehungsweise dem Vorhang unterschiedlich. Der Testraum verfügte über ein umlaufendes, schwarzes Lautsprecherband, welches im relevanten Bereich von AP 1 mit dem Stoff des Vorhangs abgedeckt wurde um einen vergleichbaren Helligkeitseindruck zu erhalten.

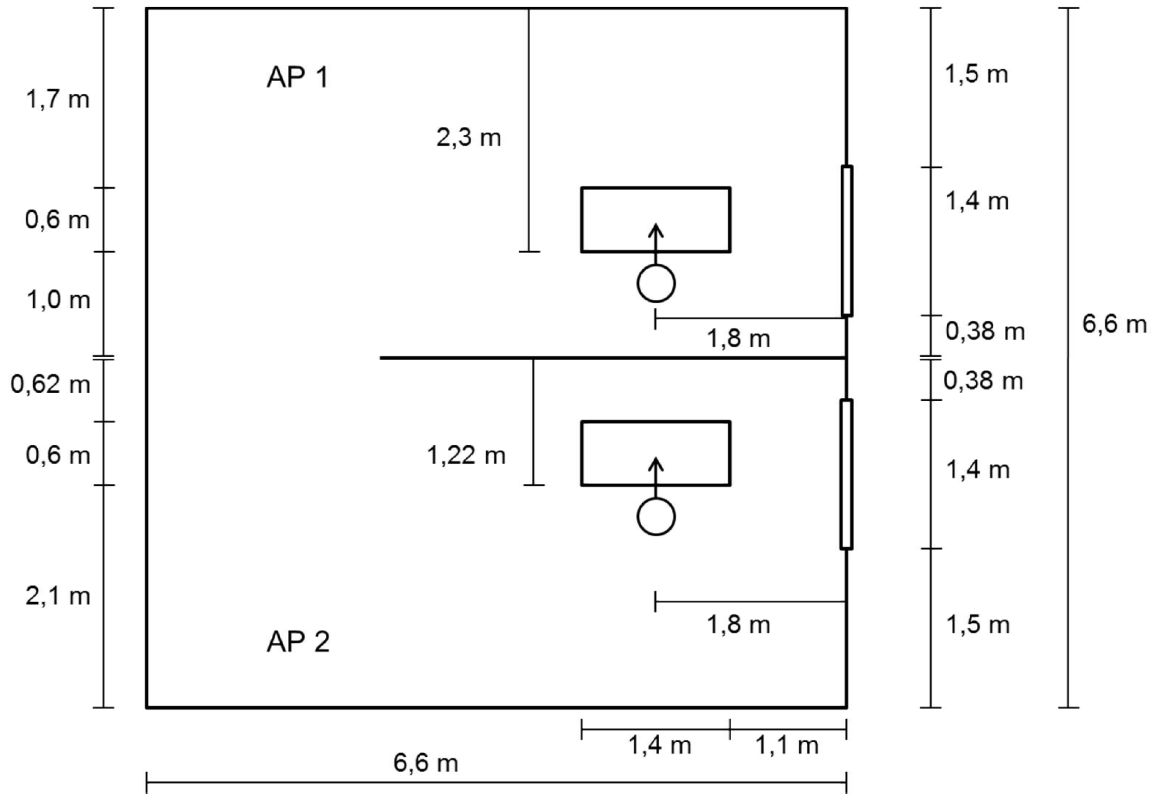


Bild 5.2: Schematischer Grundriss des Testraums und der Arbeitslätze AP 1 und AP 2.

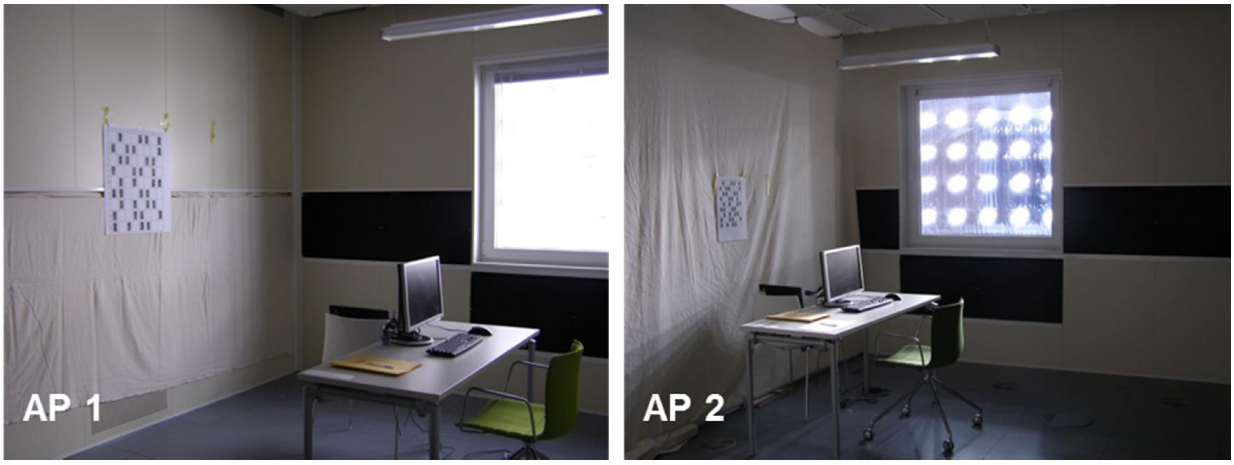


Bild 5.3: Darstellung der Arbeitslätze AP 1 und AP 2.

Beide Arbeitsplätze waren mit Monitor (Samsung Syncmaster 205BW, 20 Zoll), Maus und Tatstatur ausgestattet. Als Rechner wurde jeweils ein Laptop verwendet, an den der Monitor angeschlossen war.

5.1.2. Testpersonen

Insgesamt nahmen 16 Testpersonen an der Studie teil, welche über einen Testpersonen-Pool angeworben und für ihren Aufwand bezahlt wurden. Es handelte sich größtenteils um Studenten. Geschlecht, Mittelwert (MW) und Standardabweichung (SD) des Alters der Testpersonen sind in Tabelle 5.1 angegeben.

Tabelle 5.1: Übersicht über die teilnehmenden Testpersonen.

Anzahl	Geschlecht		Alter			
	m	w	MW	SD	Median	Spannweite
16	9	7	22,44	2,90	22	17 - 28

In bisherigen Untersuchungen wurde als Voraussetzung für die Teilnahme eine Sehschärfe von 0,8 angesetzt [104], [105]. Die Sehschärfe der Testpersonen wurde mittels der Software „Fract“ ermittelt und lag bei allen Teilnehmern über 0,8 [63].

5.1.3. Untersuchte Leuchtdichteumgebungen

Wie in Kapitel 4.2 dargestellt, wird die Leuchtdichteumgebung der Nutzer über L_W, L_A und L_M beschrieben. Zunächst werden Position und Größe der zugrundeliegenden Flächen definiert und anschließend, die zu untersuchenden Leuchtdichteumgebungen zusammengestellt.

Flächendefinition

Für den Wandabschnitt wurden für die beiden Arbeitsplätze unterschiedliche Ausschnitte gewählt, um den unterschiedlichen Abstand von Arbeitsplatz zu Wand und Vorhang zu berücksichtigen (siehe Bild 5.4 und Bild 5.5).

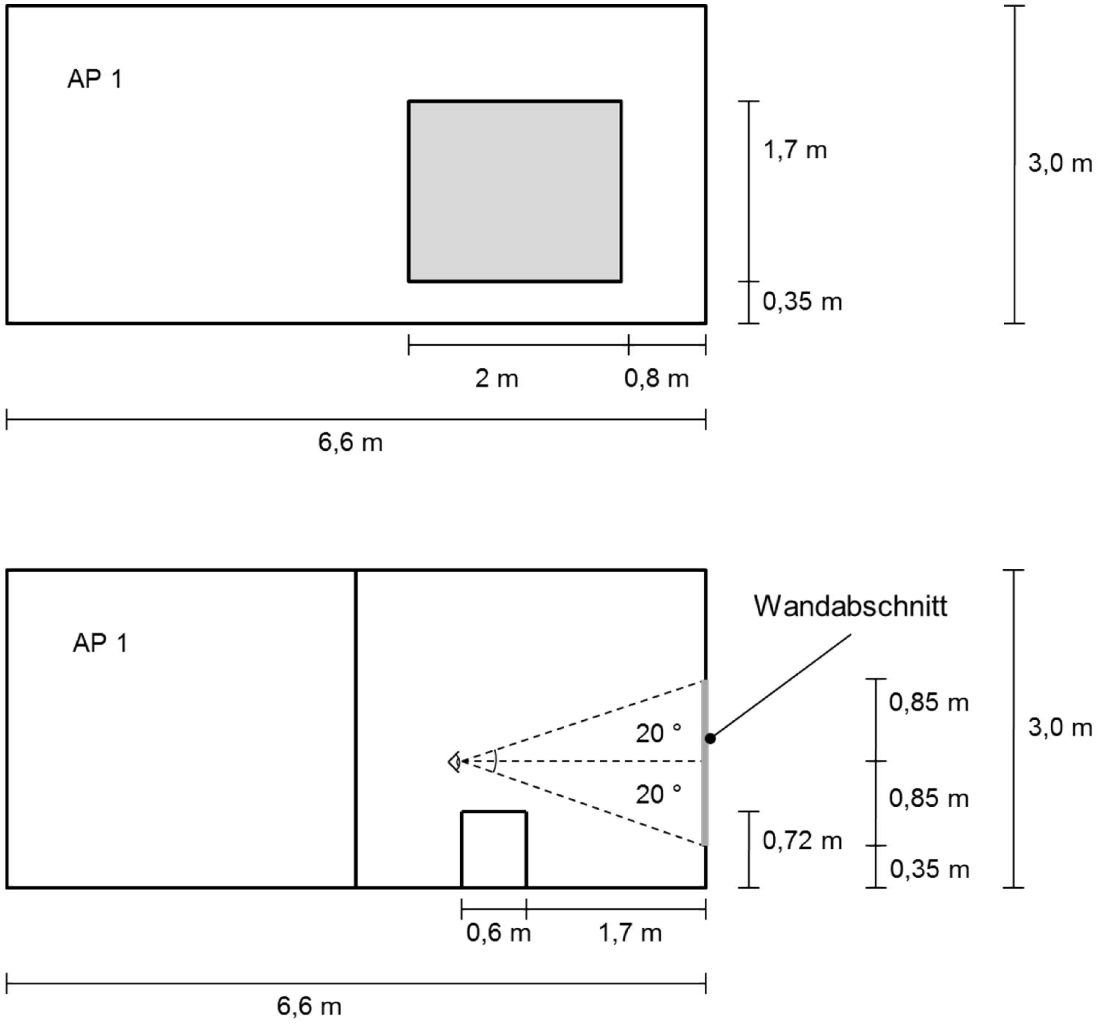


Bild 5.4: Schematische Darstellung des Wandabschnitts von AP 1.

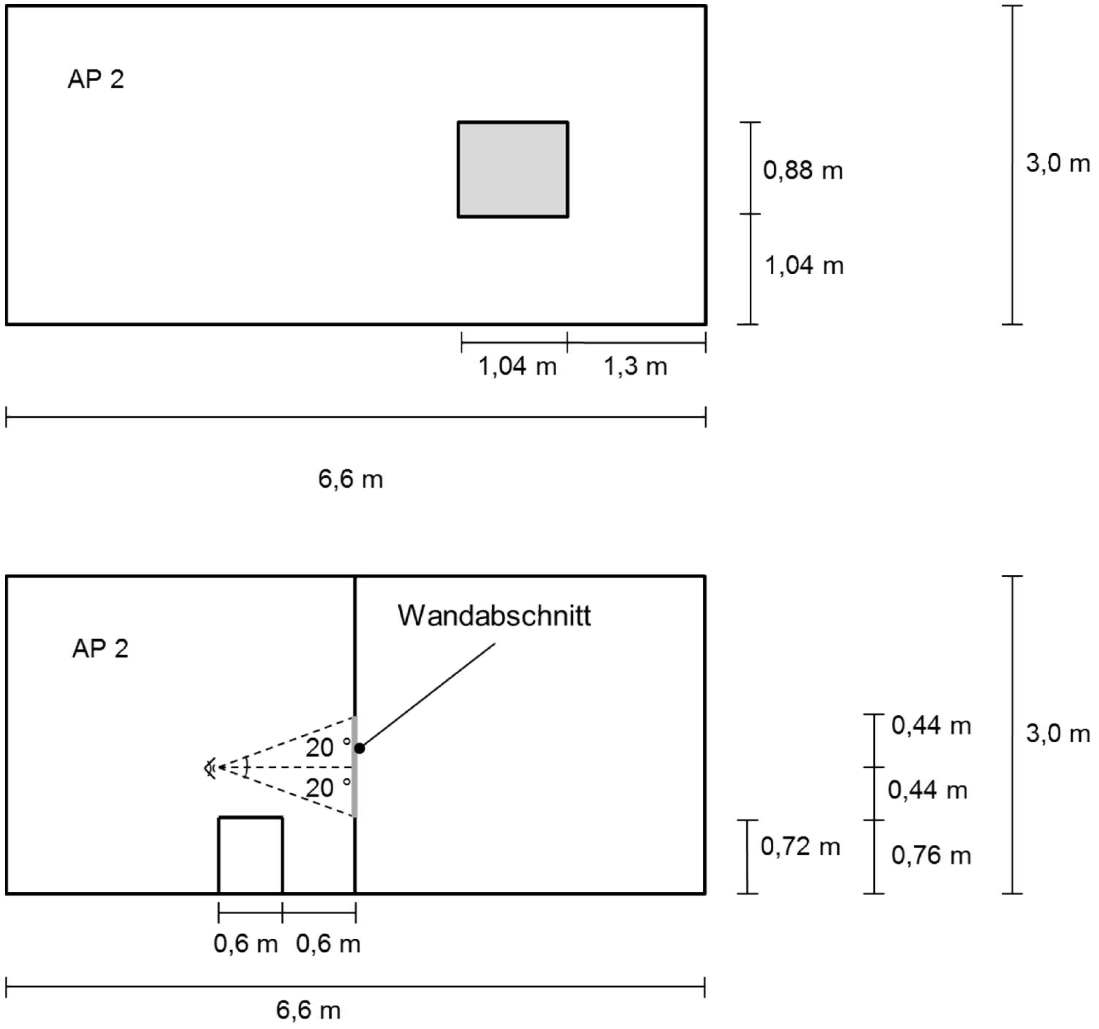


Bild 5.5: Schematische Darstellung des Wandabschnitts von AP 2.

Für beide Plätze sollte der gewählte Wandausschnitt den gleichen Raumwinkel einnehmen und dem von Loe et al. etablierten Band des relevanten Teils des Gesichtsfelds entsprechen [108]. Ausgehend von einer Augenhöhe von 1,2 m [101] beeinflusst jeweils ein Raumwinkel von 20° nach oben und nach unten das menschliche Empfinden. Für den AP 1 ergeben sich als vertikale Ausdehnung 1,7 m, für AP 2 0,88 m. Für AP 1 wurde eine horizontale Ausdehnung des relevanten Wandbereichs von 2 m angesetzt. Für AP 2 ergab sich eine entsprechend skalierte horizontale Ausdehnung auf dem Vorhang von 1,04 m.

Für die Arbeitsfläche wurden jeweils die Ausmaße des verwendeten Tisches (1,4 m x 0,6 m) festgelegt, wie in Bild 5.6 dargestellt.

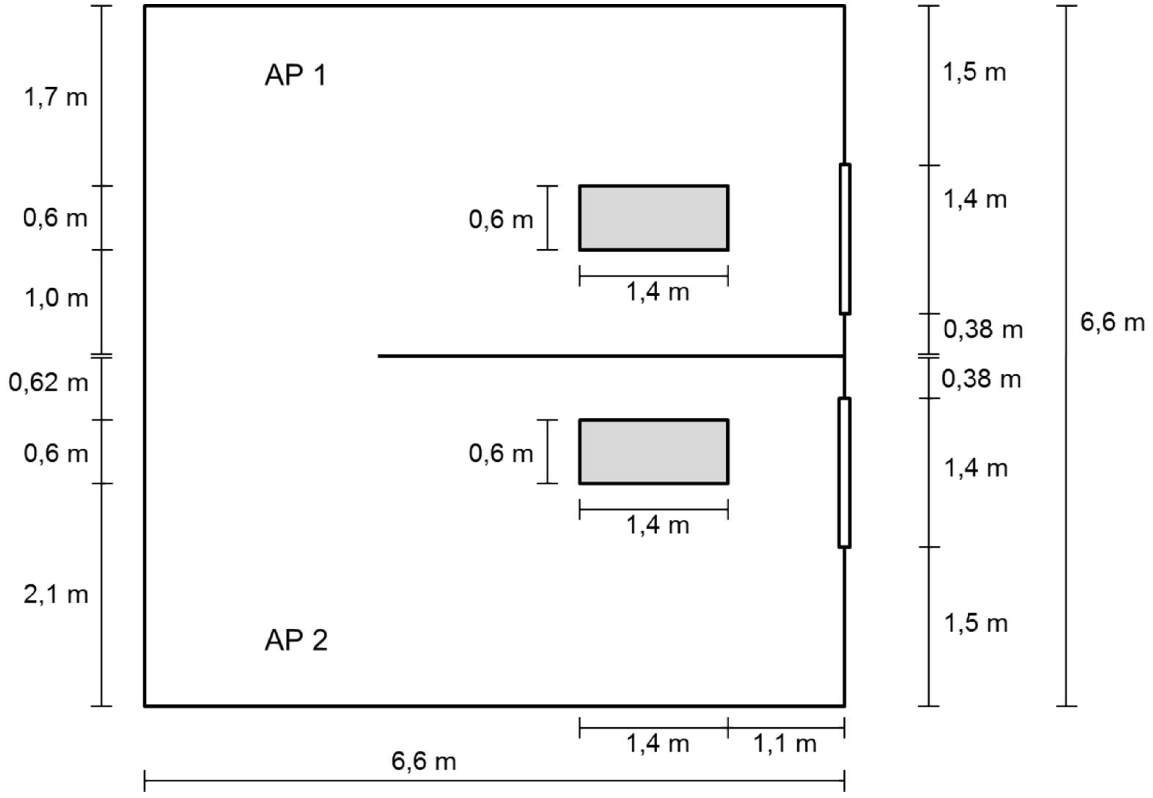


Bild 5.6: Schematische Darstellung der Arbeitsflächen für AP 1 und AP 2.

Bei der Monitorfläche wurde ein 2 cm breiter äußere Rand des Displays vernachlässigt, da das zur Abfrage verwendete Programm einen schwarzen Streifen am Rand zeigte, die angenommene Fläche ist in Bild 5.7 dargestellt.

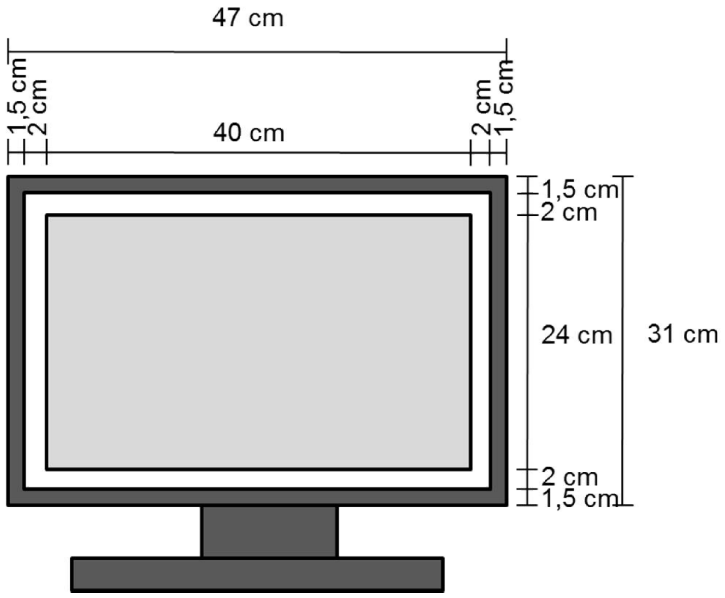


Bild 5.7: Schematische Darstellung der Monitorfläche für AP 1 und AP 2.

L_W und L_M wurden mit einer Leuchtdichtekamera (siehe Anhang B) vermessen und der Mittelwert der jeweiligen Fläche verwendet. Mit einem mittig auf der Arbeitsfläche positioniertem Luxmeter wurde die Beleuchtungsstärke gemessen und anschließend mit dem Reflexionsgrad der Tischoberfläche zur resultierenden Leuchtdichte umgerechnet und als L_A angenommen [68].

Lichtbedingungen

Zur Auswahl der Lichtbedingungen wurden für L_A die Beleuchtungsstärke-Skala der DIN 12464-1 (300 lx, 500 lx, 1000 lx) herangezogen [48]. Mit dem verwendeten Reflexionsgrad ergibt sich für L_A 76 cd/m^2, 127 cd/m^2 und 255 cd/m^2. Untersucht wurden vier Tageslichtbedingungen mit uneingeschränktem Lichteinfall, eine Kunstlichtbedingung und eine Tageslichtbedingung mit einem durch eine Jalousie eingeschränktem Lichteinfall. Die Farbtemperatur der untersuchten Lichtbedingungen lag für die Tageslichtbedingungen bei 9310 K und für die Kunstlichtbedingung bei 4000 K.

Für die Tageslichtbedingungen mit uneingeschränktem Lichteinfall sollten Kombination aus L_W und L_A gewählt werden, welche in natürlichen Bürosituationen mit großer Häufigkeit vorkommen. Um festzustellen welche Lichtbedingungen durch Tageslicht erreicht werden, wurde eine Simulation durchgeführt, siehe dazu Anhang B. Die in Tabelle 5.2 dargestellten möglichen Kombinationen basieren auf dieser Simulation. Die Werte geben das prozentuale Auftreten der jeweiligen Lichtbedingung beispielhaft für die Südausrichtung an.

Tabelle 5.2: Übersicht über die Auftretens-Wahrscheinlichkeit der Lichtbedingungen (Kombinationen von L_W und L_A), beispielhaft für die Südausrichtung.

Anteiliges Auftreten [%] der jeweiligen Bereiche von L_W [cd/m^2]	**Anteiliges Auftreten [%] der jeweiligen Bereiche von L_A [cd/m^2]**											
	$0 < L_A \leq 25$	$25 < L_A \leq 50$	$50 < L_A \leq 75$	$75 < L_A \leq 100$	$100 < L_A \leq 125$	$125 < L_A \leq 150$	$150 < L_A \leq 175$	$175 < L_A \leq 200$	$200 < L_A \leq 225$	$225 < L_A \leq 250$	$250 < L_A \leq 275$	$275 < L_A \leq 300$
$0 < L_W \leq 25$	15	4,1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$25 < L_W \leq 50$	0	2,6	5,3	0,5	0	0	0	0	0	0	0	0
$50 < L_W \leq 75$	0	0	0,6	3,4	3,1	0	0	0	0	0	0	0
$75 < L_W \leq 100$	0	0	0	0,3	2	3,0	1,1	0	0	0	0	0
$100 < L_W \leq 125$	0	0	0,1	0	0,2	1,2	1,8	1,6	0,2	0	0	0
$125 < L_W \leq 150$	0	0	0	0, 1	0	0,3	0,6	1,2	1,7	1,3	0,5	0
$150 < L_W \leq 175$	0	0	0	0	0	0	0,2	0,1	0,7	1,1	1,4	0,4
$175 < L_W \leq 200$	0	0	0	0	0	0	0	0,3	0,4	0, 7	0,8	1,1
$200 < L_W \leq 225$	0	0	0	0	0	0,1	0	0	0,5	0,7	0,7	0,5
$225 < L_W \leq 250$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,1	0
$250 < L_W \leq 275$	0	0	0	0	0	0	0,1	0,1	0	0	0	0,1
$275 < L_W \leq 300$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Den bereits festgelegten Stufen von L_A wurden bestimmte L_Ws zugeordnet. Die Lichtbedingungen 1 (L_A = 76 cd/m^2, L_W = 60 cd/m^2), 3 (L_A = 127 cd/m^2, L_W = 90 cd/m^2), 4 (L_A = 255 cd/m^2, L_W = 130 cd/m^2) und 5 (L_A = 255 cd/m^2 und L_W = 225 cd/m^2), sind in Tabelle 5.2 grau markiert. Bei Lichtbedingung 2 und 6 sollte L_A bei 127 cd/m^2 und 255 cd/m^2 liegen. Für L_W wurden keine Anforderungen gestellt, da dieser Wert nicht unabhängig variiert werden konnte.

Durch Drehen und Dimmen der Strahler wurde die in Anhang B dargestellte bestmögliche Passung zwischen den Zielwerten für die einzelnen Lichtbedingungen und den Realmessungen an den beiden Arbeitsplätzen erreicht. Die maximale Abweichung zwischen Zielwert und Realisierung im Testraum lag bei 31 %. Die hohe Abweichung ist dem Umstand geschuldet, dass zwei Flächen angenähert werden, welche sich gegenseitig beeinflussen. Der Unterschied zwischen den beiden Arbeitsplätzen von maximal 58 % wird durch die eingeschränkte Variabilität der

Lichtwand und der daraus resultierenden nicht symmetrischen Ausrichtung der beiden Arbeitsplätze verursacht. Für die spätere Auswertung werden die teilweise abweichenden Lichtbedingungen für die Arbeitsplätze 1 und 2 gemittelt.

Monitoreinstellungen

Als Monitoreinstellungen wurden drei bürotypische Monitorleuchtdichten gewählt. In DIN 5035-7 aus dem Jahr 2004 wird L_M bei bürotypischer positiver Polarität mit 100 cd/m^2 angegeben [47]. Moderne Monitore haben zu Betriebsbeginn eine Leuchtdichte von 250 cd/m^2 bis 300 cd/m^2, welche auf 145 cd/m^2 bis 174 cd/m^2 absinkt nachdem die Monitore in Benutzung stehen, siehe dazu Kapitel 3.2. Die in der Studie verwendeten Monitore verfügten über eine maximale Leuchtdichte von 190 cd/m^2. Um einen Änderungsbereich von 100 cd/m^2 abzudecken, wurden die untere Grenze bei 90 cd/m^2 und eine mittlere Einstellung bei 140 cd/m^2 gewählt (Tabelle 5.3). Diese Leuchtdichten wurden in einem dunklen Raum erreicht.

Tabelle 5.3: Übersicht über die verwendeten Monitoreinstellungen.

ME	**Leuchtdichte [**cd/m^2**]**
Hell	190
Mittel	140
Dunkel	90

Zusammenfassung der 18 Leuchtdichteumgebungen

Aus den sechs Lichtbedingungen und drei Monitoreinstellungen resultieren 18 Leuchtdichteumgebungen. Mathematisch gesehen ergeben sich die Leuchtdichteverhältnisse der Leuchtdichteumgebung, durch Division der Leuchtdichten der einzelnen Flächen. Diese Quotienten müssen jedoch einer Umformung unterzogen werden, um in physiologisch korrekter Weise die Leuchtdichteverhältnisse zu quantifizieren.

Bei mathematisch korrekter Berechnung der Leuchtdichteverhältnisse, gehen bei Verhältnissen der Art 1/3 oder 1/2 die Information über den physiologisch empfundenen Abstand zwischen diesen beiden Leuchtdichteverhältnissen verloren. Physiologisch entspricht der Abstand zwischen den Verhältnissen 1/3 und 1/2 dem Abstand zwischen den Verhältnissen 3/1 und 2/1. Mathematisch ergibt sich im ers-

ten Fall jedoch ein Abstand von 0,5 - 0,33 = 0,17 und im zweiten Fall ein Abstand von 3 - 2 = 1. Sämtliche Leuchtdichteverhältnisse, bei denen der Zähler kleiner als der Nenner ist, werden auf einen Bereich zwischen 0 und 1 zusammengestaucht.

Um der Physiologie des Sehens gerecht zu werden, wurden die Leuchtdichteverhältnisse derartig umcodiert, dass sie der Skala ..., 1/4, 1/3, 1/2, 1/1, 2/1, 3/1, 4/1, ... zugeordnet wurden. Eine Änderung von beispielsweise 1/3 nach 1/2 sollte als gleichbedeutend angesehen werden wie die Änderung von 3/1 nach 2/1. Dazu wurde die folgende Umformung durchgeführt:

- Ist $Leuchtdichte_1/Leuchtdichte_2 >= 1$, so wird keine Umformung durchgeführt
- Ist $Leuchtdichte_1/Leuchtdichte_2 < 1$, so wird die folgende Umformung wirksam: $(Leuchtdichte_1/Leuchtdichte_2)_{neu} = [(1)/(Leuchtdichte_1/Leuchtdichte_2)]+2$

Das Prinzip der Umformung ist in Tabelle 5.4 dargestellt.

Tabelle 5.4: Prinzip der durchgeführten Umrechnungen zwischen mathematischem und physiologischem Leuchtdichteverhältnis.

Art der Darstellung	**Ausprägung**				
Mathematisches Leuchtdichteverhältnis	0,33	0,50	1	2	3
Physiologisches Leuchtdichteverhältnis	-1	0	1	2	3
Physiologische Zieldarstellung	1/3	1/2	1/1	2/1	3/1

Diese Umformung wurde für die 18 Leuchtdichteumgebungen durchgeführt, in Tabelle 5.5 sind die absoluten Leuchtdichten und die sich ergebenden mathematischen und physiologischen Leuchtdichteverhältnisse der Leuchtdichteumgebung dargestellt. Die Leuchtdichteverteilungen der einzelnen Lichtbedingungen sind in Anhang B dargestellt.

Tabelle 5.5: Zusammenfassung der 18 Leuchtdichteumgebungen.

Bedingung		Absolute Leuchtdichten [cd/m²]			Verhältnisse (mathematisch und physiologisch)						
LB	ME	L_W	L_A	L_M	M/W math.	M/W phys.	W/A math.	W/A phys.	M/A math.	M/A phys.	Max/ Min
1	Hell	66	78	190	2,88	2,88	0,85	0,82	2,44	2,44	2,88
1	Mittel	66	78	140	2,12	2,12	0,85	0,82	1,80	1,79	2,12
1	Dunkel	66	78	90	1,36	1,36	0,85	0,82	1,15	1,15	1,36
2	Hell	51	127	190	3,73	3,73	0,40	-0,50	1,50	1,50	3,73
2	Mittel	51	127	140	2,75	2,75	0,40	-0,50	1,10	1,10	2,75
2	Dunkel	51	127	90	1,77	1,76	0,40	-0,50	0,71	0,59	2,49
3	Hell	102	126	190	1,86	1,86	0,81	0,77	1,51	1,51	1,86
3	Mittel	102	126	140	1,37	1,37	0,81	0,77	1,11	1,11	1,37
3	Dunkel	102	126	90	0,88	0,86	0,81	0,77	0,71	0,59	1,40
4	Hell	156	257	190	1,22	1,22	0,61	0,36	0,74	0,65	1,65
4	Mittel	156	257	140	0,90	0,89	0,61	0,36	0,55	0,15	1,84
4	Dunkel	156	257	90	0,58	0,28	0,61	0,36	0,35	-0,86	2,86
5	Hell	217	238	190	0,88	0,86	0,91	0,90	0,80	0,75	1,25
5	Mittel	217	238	140	0,65	0,46	0,91	0,90	0,59	0,31	1,70
5	Dunkel	217	238	90	0,42	-0,44	0,91	0,90	0,38	-0,63	2,64
6	Hell	93	255	190	2,04	2,04	0,36	-0,78	0,75	0,67	2,74
6	Mittel	93	255	140	1,51	1,51	0,36	-0,78	0,55	0,18	2,74
6	Dunkel	93	255	90	0,97	0,97	0,36	-0,78	0,35	-0,86	2,83

5.1.4. Verwendete Indikatoren zu Leistung, Ermüdung und Empfinden

Innerhalb der Studie bearbeiteten die Testpersonen verschiedene Fragebögen mit mehreren Items (Einzelfragen) und für unterschiedliche Aspekte der Büroarbeit repräsentative Leistungsaufgaben. Insgesamt wurden die Teilgebiete Leistung, Ermüdung und Empfinden betrachtet.

Leistung

Die ausgewählten Maße der Leistung sollten den Tätigkeiten der Bürosituation entsprechen und die Nutzer dazu veranlassen, die gesamte Leuchtdichteumgebung in die Aufgabenbearbeitung mit einzubeziehen. Betrachtet werden die visuelle, kognitive und subjektive Leistung. Die visuelle Leistung ist wie in Kapitel 3.4 dargestellt bei der Büroarbeit als Basisleistung von Bedeutung. Auf-

grund der großen Anzahl der Blickwechsel im Gesichtsfeld [28], [112] sollen Aufgaben verwendet werden, welche zwei der relevanten Bereiche der Leuchtdichteumgebung in Interaktion setzen und die Adaptionsfähigkeit der Nutzer fordern: L_M und L_A sowie L_M und L_W. Die kognitive Leistung in Form der Konzentration stellt ebenfalls einen wichtigen Aspekt bei Büroarbeit dar, so fordert Büroarbeit eine kontinuierlich hohe Konzentration und anspruchsvolle Tätigkeiten stehen immer mehr im Vordergrund [149], [168], [155]. Neben der objektiv erbrachten Leistung sind auch die Motivation und der empfundene Erfolg wichtige Aspekte die Aufschluss über die tatsächliche Leistungsfähigkeit am Arbeitsplatz geben. Bisherige Untersuchungen konnten nachweisen, dass diese Maße in Zusammenhang mit der objektiven Leistung gebracht werden können. So scheinen hohe Motivation [2], [82] und ein hoch eingeschätzter Erfolg [38], [58], [70], [115] Hinweise für eine tatsächlich gute Leistung darzustellen.

Buchstabenvergleichs-Aufgabe

Die Adaptionsvorgänge zwischen L_A und L_M wurden über eine Buchstabenvergleichs-Aufgabe (BVA) berücksichtigt, welche zusätzliche (durch das Abgleichen von Daten) eine standardisierte Arbeitssituation in Büros nachstellt. Die Aufgabe basiert auf dem „numerical verification task“ [131], [162], der bereits in anderen Studien mit Bürokontext verwendet wurde. Den Testpersonen wurden jeweils zwei Spalten mit zu vergleichenden zehnstelligen Buchstabenkombinationen präsentiert. Eine der Spalten wurde auf Papier dargeboten (weißes Papier, schwarze Schrift, A4-Blatt, Schriftgröße 8, Arial), die andere auf dem Monitor. Insgesamt wurden auf einem Bogen 25 Kombinationen verglichen. Je nach vorhandener Übereinstimmung sollten die entsprechende Zeile als richtig oder falsch markiert werden. In den verschiedenen Varianten waren zwischen 0 und 6 Fehler zu finden. Es lagen 18 Parallelversionen vor, welche im Vorfeld mittels einer Vorstudie mit zehn Personen etabliert wurden. Als Leistungsmaße wurden die Bearbeitungszeit und die Anzahl der Fehler herangezogen. Ein Beispiel der Aufgabe ist im Anhang B zu sehen.

Dominosteinsuch-Aufgabe

Die Dominosteinsuch-Aufgabe (DSA) wurde erstmals von Sheedy et al. [141] verwendet und sollte gezielt die Leistung bei ständigem Blickwechsel und Adaptionszwang zwischen Monitor und Wand im Hintergrund abbilden. Während der Aufgabe

wurden den Testpersonen Matrizen mit jeweils 36 Dominosteinen auf dem Monitor und auf dem Wandabschnitt präsentiert. Gleichzeitig wurde jeweils ein einzelner Stein auf dem Monitor dargestellt. Jeder Dominostein bestand aus zwei Hälften die jeweils mit 0 bis 6 Punkten gefüllt waren. Zuerst suchten die Testpersonen diesen einzelnen Stein (in der richtigen Orientierung) auf dem Monitor und gaben dessen Koordinaten ein. Anschließend suchten sie denselben Stein in der Matrix an der Wand. Insgesamt wiederholte sich dies sechsmal mit verschiedenen Dominosteinen. Es lagen 18 Parallelversionen vor, welche im Vorfeld mittels einer Vorstudie mit zehn Personen etabliert wurden, ein Beispiel der Aufgabe ist im Anhang B zu sehen. Als Maß für die Leistung wurde nur die Bearbeitungszeit herangezogen. Fehler wurden nicht analysiert, da sie zu einem Großteil auf Tippfehlern basierten, welche nicht im Fokus der Untersuchung lagen.

Konzentrations-Leistungs-Test

Der Konzentrations-Leistungs-Test (KLT) nach Düker [55] ist ein etabliertes Maß zur Erfassung der Aufmerksamkeit und Konzentrationsleistung. Den Testpersonen wurden dabei zwei dreigliedrige einfache Rechnungen präsentiert, welche Addition und Subtraktion enthielten. Die beiden Teil-Rechnungen wurden separat gelöst und die Ergebnisse in Abhängigkeit von zwei Regeln miteinander verrechnet. War das Ergebnis der ersten Aufgabe größer als das Ergebnis der zweiten Aufgabe, so war das zweite Ergebnis vom ersten abzuziehen. War das Ergebnis der ersten Aufgabe kleiner als das Ergebnis der zweiten Aufgabe, so waren die beiden Ergebnisse zu addieren. Den Testpersonen wurden 18 dieser Rechnungspaare präsentiert, ausreichend Parallelversionen waren vorhanden. Als Maß für die Leistung wurden die Bearbeitungszeit und die Fehlerzahl herangezogen, ein Beispiel der Aufgabe ist in Anhang B zu sehen.

Subjektive Einschätzung zur Aufgabenbearbeitung

Im Anschluss an die einzelnen Aufgaben wurden die Testpersonen jeweils um die Einschätzung ihrer Leistung und ihres Empfinden bei Bearbeitung der Aufgaben gebeten. Es wurden die folgenden Aussagen präsentiert:

- Die Aufgabe war geistig anstrengend für mich.
- Die Aufgabe habe ich erfolgreich abgeschlossen.
- Ich musste hart arbeiten, um die Aufgabe abzuschließen.

- Ich war motiviert während der Bearbeitung der Aufgabe.
- Die Aufgabe hat mich ermüdet.
- Die Aufgabe war schwierig für mich.
- Die Aufgabe hat mir Spaß gemacht.
- Ich schätze meinen Erfolg hoch ein.

Die Testpersonen gaben ihre Einschätzung mittels einer 7-stufigen Skala von „Trifft voll und ganz zu“ bis „Trifft überhaupt nicht zu“ an. Die gewählte Aussagen sind teilweise an den NASA Tlx angelehnt [73].

Ermüdung

Neben der Leistung ist speziell bei der Betrachtung von Bildschirmarbeitsplätzen die allgemeinen und visuelle Ermüdung von Bedeutung [126], [134].

Nahpunkt der Akkommodation

Als physiologisches Maß für die Ermüdung der Augen wurde der Nahpunkt der Akkommodation (NPA) gewählt und beidäugig mit einem Akkommodometer gemessen. Das Akkommodometer wurde den Testpersonen auf die Wangenknochen gesetzt. Sie fixierten die Zeile auf der Tafel des Akkommodometers, welche sie gerade noch lesen konnten, dann zogen sie die Tafel näher an ihre Augen heran, bis die fixierte Zeile unscharf wurde. War dieser Punkt erreicht, schoben die Testpersonen die Tafel von den Augen weg bis die Zeile wieder klar zu lesen war. Der dann erreichte Wert auf der Skala des Akkommodometers wurde notiert. Insgesamt wurde die Messung jeweils fünfmal durchgeführt und der Mittelwert gebildet [176], [177], [180].

Fragebogen zu physischen Seh- und Augenbeschwerden

Zur Erfassung von visuellen Beschwerden wurde der Fragebogen zu Sehbeschwerden und Augenbeschwerden von Heuer et all. verwendet [79] (siehe auch [13], [103]). Verschiedene mögliche Beschwerden mittels wurden mit folgenden Aussagen abgefragt:

- Das Sehen macht mir Schwierigkeiten.
- Ich habe ein komisches Gefühl um die Augen herum.
- Meine Augen sind ermüdet.

- Ich fühle mich benommen.
- Ich fühle mich schwindlig, wenn ich auf den Monitor gucke.
- Ich habe Kopfschmerzen.
- Meine Augenlider sind schwer.
- Meine Augen schmerzen.
- Meine Augen tränen.
- Meine Augen brennen.
- Meine Augenlider sind gereizt.
- Meine Augen jucken.

Die Testpersonen trafen ihre Einschätzung auf einer 7-stufigen Antwortskala. Die Endpunkte der Skala waren mit „trifft überhaupt nicht zu“ und „trifft voll und ganz zu“ beschriftet.

Schläfrigkeit

Zur Erfassung der subjektiven Einschätzung der Wachheit beziehungsweise Schläfrigkeit wurde die Karolinska Schläfrigkeitsskala (KSS) gewählt [4]. Sie weist einen starken Zusammenhang mit physiologischen Messungen der Ermüdung auf und ist ein oft verwendetes Maß zur Messung der Schläfrigkeit bei verschiedenen Lichtsituationen [30], [43], [88], [89]. Die Endpunkte der 9-stufigen Skala waren mit „sehr wach“ (1) und „sehr müde, große Probleme wach zu bleiben, mit dem Schlaf kämpfend“ (9) beschriftet.

Empfinden

Das Empfinden der Testpersonen wurde über die Helligkeitswahrnehmung verschiedener Flächen im Raum, dem Bewerten der visuellen Leistungsatmosphäre sowie Stimmung und Befindlichkeit erfasst. Die visuelle Leistungsatmosphäre wird dabei folgendermaßen definiert:

Visuelle Leistungsatmosphäre:

> Eindruck den die Nutzer bezüglich einer möglichen Motivationssteigerung, der Bereitschaft Weiterzuarbeiten, einer möglichen Leistungssteigerung und eines belastungsfreien Arbeiten von der Lichtumgebung gewinnen.

Je nachdem ob die Nutzer die visuelle Leistungsatmosphäre im Raum als positiv und förderlich oder als negativ und hemmend empfinden kann sie sich positiv oder negativ auf die erbrachte Leistung auswirken, siehe dazu Kapitel 3.4.

Helligkeitseinschätzung

Die Flächen Wand, Arbeitsfläche und Monitor wurden von den Testpersonen hinsichtlich ihrer Helligkeit bewertet:

- Wie schätzen Sie die Helligkeit der Wand vor Ihnen ein?
- Wie schätzen Sie die Helligkeit der Schreibtischoberfläche ein?
- Wie schätzen Sie die Helligkeit des Bildschirms ein?

Zur Bewertung wurde eine 7-stufigen Skala, mit den Endpunkten „zu hell“ und „zu dunkel“, verwendet.

Visuelle Leistungsatmosphäre

Die Testpersonen bewerteten die visuelle Leistungsatmosphäre auf einer 7-stufigen Antwortskala. Die Endpunkte der Skala waren mit „trifft überhaupt nicht zu“ und „trifft voll und ganz zu“ beschriftet. In den einzelnen Items wurde der Bezug auf die Lichtumgebung durch die Formulierung „momentane Kombination von Licht im Raum und Bildschirmhelligkeit“ deutlich gemacht.

- Die momentane Kombination von Licht im Raum und Bildschirmhelligkeit hat meine Motivation gesteigert.
- Die momentane Kombination von Licht im Raum und Bildschirmhelligkeit hat meine Leistung gesteigert.
- Die momentane Kombination von Licht im Raum und Bildschirmhelligkeit hat mich ermüdet.
- Ich würde bei der momentanen Kombination von Licht im Raum und Bildschirmhelligkeit gerne weiterarbeiten.
- Die momentane Kombination von Licht im Raum und Bildschirmhelligkeit blendet mich.

Als Ergänzung zur allgemeinen Frage nach der Ermüdung wurde die Blendung mit einbezogen, da Blendung die Eigenschaft der Lichtumgebung ist welche zu Störungen und größerer Belastung bei der Aufgabenbearbeitung führen kann [24].

Emotionsgitter

Zur Erfassung der Stimmung der Testpersonen wurde das Emotionsgitter nach Russel et al. verwendet [135]. Es deckt zwei Dimensionen des menschlichen Affekts ab: die Wertigkeit des Empfindens (von unangenehm bis angenehm) und das Ausmaß der Aktivierung (von erregt bis schläfrig) (siehe Bild 5.8). Die Testpersonen gaben die Koordinaten ihres aktuellen Empfindens an.

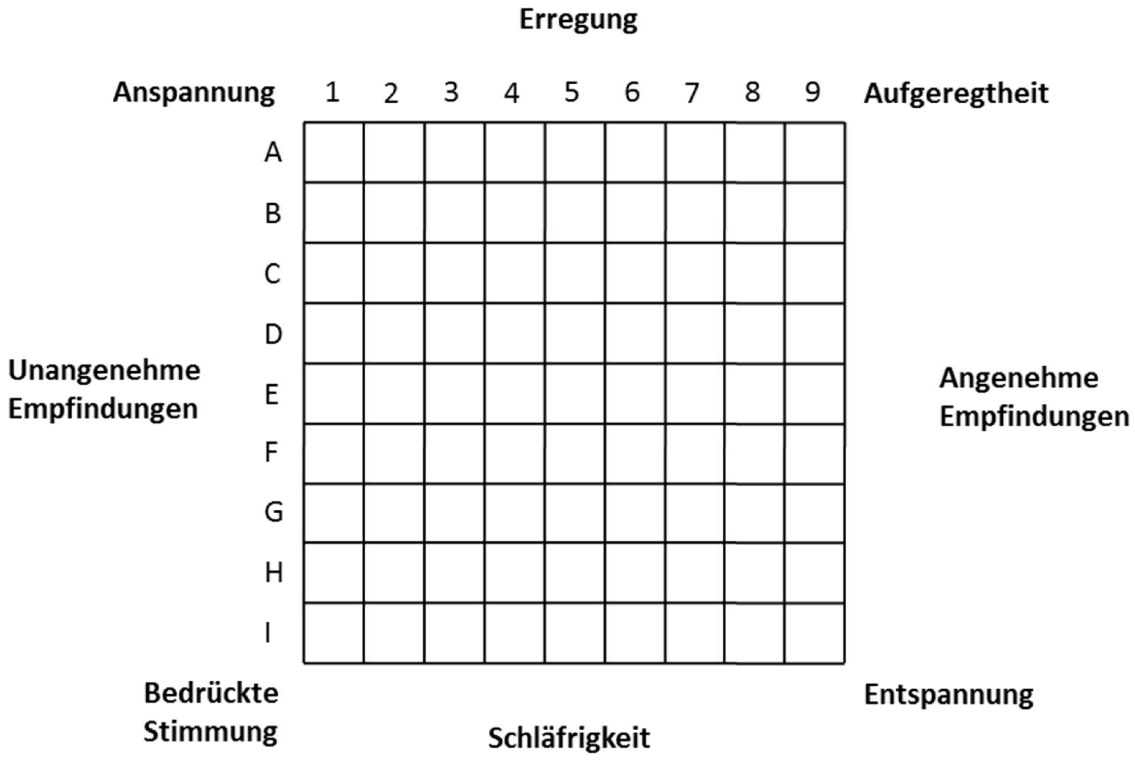


Bild 5.8: Emotionsgitter nach Russel et al. zur Stimmungserfassung [135].

Befindlichkeit

Zur Erfassung der Befindlichkeit der Testpersonen wurde der Mehrdimensionale Befindlichkeitsfragebogen (MDBF) von Steyer et al. herangezogen. Er enthält zwölf Einzelitems welche den drei in Tabelle 5.6 aufgeführten bipolar konzipierte Skalen zuzuordnen sind [148].

Tabelle 5.6: Zuordnung der zwölf Einzelitems im Mehrdimensionalen Befindlichkeitsfragebogen (MDBF) [148].

Gute Stimmung - Schlechte Stimmung	**Wachheit - Müdigkeit**	**Ruhe - Unruhe**
zufrieden	ausgeruht	gelassen
gut	munter	entspannt
schlecht	schlapp	ruhelos
unwohl	müde	unruhig

Die Testpersonen gaben ihre Einschätzung zu verschiedenen Aussagen (wie beispielsweise „Im Moment fühle ich mich zufrieden.“) mittels einer 5-stufigen Antwortskala ab, die Endpunkte der Skala waren mit „überhaupt nicht“ und „sehr“ beschriftet.

5.1.5. Zeitlicher Ablauf

Die Testpersonen nahmen an zwei aufeinanderfolgenden Tagen an der Studie teil. Bei ihrem ersten Erscheinen füllten sie den in Anhang B dargestellten Fragebogen mit allgemeinen Angaben zur Person aus. Täglich wurden drei Lichtbedingungen (mit jeweils drei Monitoreinstellungen) getestet. Zu Beginn jedes Tages wurde eine Trainingseinheit angeboten zur Minimierung von Übungseffekten in den Leistungstests und zur Gewöhnung an die Testumgebung (vergleichbares Vorgehen in [26] und [173]). Um Reihenfolgeeffekte der Lichtbedingungen und Monitoreinstellungen auszuschließen, wurde deren zeitliche Abfolge randomisiert, wie in Anhang B zu sehen.

In jeder Lichtbedingung wurden zunächst die visuelle Ermüdung, Stimmung, allgemeine Ermüdung und Befindlichkeit in einer Baseline-Messung mit mittleren Monitoreinstellung (140 cd/m^2) erfasst. Anschließend bearbeiteten die Testpersonen bei den drei unterschiedlichen Monitoreinstellungen jeweils die Leistungstests und Fragebögen. Der zeitliche Ablauf ist in der Tabelle 5.7 angegeben.

Tabelle 5.7: Zeitlicher Ablauf und Reihenfolge der Leistungstest und Abfragen während einer Lichtbedingung.

LB	Phase / ME	Maß
1	Baseline	Nahpunkt der Akkommodation
		Fragebogen zu Seh- und Augenbeschwerden
		Mehrdimensionaler Befindlichkeitsbogen
		Emotionsgitter
		Karolinska Schläfrigkeitsskala
	ME „Hell“	Buchstabenvergleichs-Aufgabe
		Dominosteinsuch-Aufgabe
		Nahpunkt der Akkommodation
		Fragebogen zu Seh- und Augenbeschwerden
		Subjektiven Leistung Buchstabenvergleichs-Aufgabe und Dominosteinsuch-Aufgabe
		Konzentrations-Leistungs-Test
		Mehrdimensionaler Befindlichkeitsbogen
		Emotionsgitter
		Karolinska Schläfrigkeitsskala
		Subjektiven Leistung Konzentrations-Leistungs-Test
		Visuelle Leistungsatmosphäre
		Helligkeitsbewertung der Flächen im Raum
	ME „Mittel“	… siehe ME „Hell“
	ME „Dunkel“	… siehe ME „Hell“
Pause		
2	… siehe LB 1	
Pause		
3	… siehe LB 1	

5.2. Auswertung

Zur Auswertung wurden verschiedene statistische Verfahren angewendet und die betrachteten Maße reduziert.

5.2.1. Statistische Herangehensweise

Der resultierende Gesamtdatensatz des Messwiederholungsdesigns wurde mittels des Statistik-Programms SPSS verschiedenen statistischen Verfahren unterzogen [85].

Datenreduktion

Die Faktorenstruktur kann mittels einer Hauptkomponentenanalyse mit Varimax-Rotation analysiert werden. Dabei können mehrere Items auf ihre zugrundeliegenden Dimensionen reduziert werden. Die daraus resultierenden Faktoren besitzen eine größere Aussagekraft als die einzelnen Abfragen. Die zu einem Faktor zusammengefassten Einzelitems werden auf ihre innere Konsistenz hin geprüft. Eine Maßzahl dafür ist das Cronbachs Alpha. Dieses kann anhand Tabelle 5.8 interpretiert werden, je höher Alpha, desto besser lassen sich die Einzelitems zusammenfassen [37], [122].

Tabelle 5.8: Interpretation Cronbachs Alpha nach Nunally [122].

Cronbachs Alpha	Bedeutung
> 0,9	Exzellent
> 0,8	Gut
> 0,7	Akzeptabel
> 0,6	Fragwürdig
> 0,5	Schlecht
≤ 0,5	Inakzeptabel

Varianzanalyse

Die Messwiederholungs-Varianzanalyse (ANOVA) ist ein statistisches Verfahren, welches dazu dient, die Unterschiede der Mittelwerte mehrerer Gruppen zu untersuchen, indem die Varianz zwischen den Gruppen und die Varianz innerhalb der einzelnen Gruppen verglichen werden [140].

Zur Auswertung von Studie 1 wurde die mehrstufige Varianzanalyse gewählt. Als erster Faktor ging die Lichtbedingung (mit sechs Stufen), als zweiter Faktor die Monitoreinstellung (mit drei Stufen) in die Analyse ein. Mittels der Varianzanalyse

lässt sich feststellen, ob die Lichtbedingung und die Monitoreinstellung als Haupteffekt einen Einfluss auf das zu untersuchende Maß haben. Des Weiteren kann geklärt werden, ob zwischen den beiden Haupteffekten eine Interaktion besteht, ob beispielsweise die Wirkung des Monitors von der Lichtbedingung beeinflusst werden kann. Die Stärke und Verlässlichkeit des Einflusses, welcher sich durch die Varianzanalyse ergibt, lässt sich anhand verschiedener Kennwerte einordnen: F, p und η_p^2.

F gibt den Quotienten zwischen der Varianz der verschiedenen zu vergleichenden Gruppen und der Varianz innerhalb einer Gruppe an. Ein großes F deutet somit darauf hin, dass die Gruppen sich stark unterscheiden. Angegeben werden bei F auch die Freiheitsgrade. Der erste Freiheitsgrad gibt dabei die Zahl der frei variierbaren Faktorenstufen an (um eins reduzierte Gesamtzahl der untersuchten Faktorenstufen). Für den zweiten Freiheitsgrad wird immer die Anzahl der frei variierbaren Faktorstufen mit der um eins reduzierten Anzahl der Testpersonen multipliziert.

P gibt die Wahrscheinlichkeit dafür an, dass der gefundene Zusammenhang auf Zufall beruht. Bei der Berechnung wird auch die Anzahl der Studienteilnehmer berücksichtigt, je geringer diese ist, desto mehr steigt p an. Im Folgenden werden p-Werte $\leq 0{,}05$ als signifikant bezeichnet. Berichtet werden als Tendenzen auch Zusammenhänge, welche über ein $p \leq 0{,}15$ verfügen, aufgrund der kleinen Stichproben können diese Tendenzen auf tatsächliche Zusammenhänge hinweisen. In anderen Studien zur Wirkung von Licht auf den Menschen wurden ebenfalls Tendenzen berichtet [59]. Vor dem Bericht von p muss zunächst überprüft werden, ob bei der vorliegenden Stichprobe von Sphärizität auszugehen ist. Dies wird mit dem Mauchly-Test auf Sphärizität überprüft. Er prüft ob die Varianzen zwischen den einzelnen Stufen der Faktoren, welche in die Varianzanalyse eingehen homogen sind. Ist dieser Test signifikant, so kann nicht von einer homogenen Varianz ausgegangen werden und es muss ein Korrekturfaktor nach Greenhouse Geisser angewendet werden, was zu einem höheren p-Wert führt. Dies reduziert auch die angegebenen Freiheitsgrade [29].

Da p lediglich die Existenz eines Effekts nachweist jedoch noch nichts über dessen praktische Bedeutsamkeit aussagt, ist auch die Kenngröße η_p^2 bedeutsam [140], [171]. Sie gibt die Effektstärke an und zeigt damit, wie groß der zu erwartende Unterscheid zwischen den Gruppen ist. Ein kleiner Effekt bedeutet, dass die

zu vergleichenden Gruppen sich nur mäßig, eventuell für praktische Anwendungen unwesentlich unterscheiden, ein großer Effekt zeigt an, dass die Gruppen sich in hohem Maß unterscheiden und praktische Interventionen, welche auf den Untersuchungsergebnissen basieren, sich in der realen Anwendung bemerkbar machen. Bei den Effektstärken kann bei $\eta_p^2 = 0{,}01$ von einem kleiner Effekt, bei $\eta_p^2 = 0{,}06$ von einem mittleren Effekt und bei $\eta_p^2 = 0{,}14$ von einem großen Effekt ausgegangen werden [36], [107].

Innerhalb der Varianzanalyse wurde mit der Moderatoranalyse [29] überprüft ob das Alter der Testpersonen den Effekt der Umgebung auf die Testpersonen mit bestimmt. Dazu wurden die Testpersonen in zwei Altersgruppen eingeteilt und der Einfluss der Gruppenzugehörigkeit überprüft.

T-Test

Beim Vergleich zweier Gruppen, beispielsweise zweier Monitoreinstellungen, wird der T-Test herangezogen [140]. Er überprüft, ob sich die Mittelwerte der beiden Gruppen voneinander unterscheiden. Als Kenngrößen ergeben sich t und p. Auf p wurde bereits in eingegangen. T gibt die normierte Mittelwertsdifferenz an und ist somit ein Anhaltspunkt dafür, wie sehr sich die beiden Gruppen unterscheiden. Als Freiheitsgrade wird die um eins reduzierte Anzahl der Testpersonen angegeben.

Regressionsanalyse

Mit der Regressionsanalyse wird der Zusammengang zweier Variablen betrachtet und es kann festgestellt werden wie gut eine Variable durch eine andere vorhersagbar ist [7]. Nachfolgend soll untersucht werden, ob zwischen den Parametern der Leuchtdichteumgebung L_W, L_A, L_M, W/A, M/W, M/A und Max/Min und den Maßen der Studie ein Zusammenhang besteht und ob die Maße über die physikalischen Größen vorhergesagt werden können.

Regressionen können zwischen einem beeinflussenden Parameter (beispielsweise einer physikalischen Größe) und einem vorherzusagendem Maß (beispielsweise der erbrachten Leistung) durchgeführt werden oder zwischen mehreren Eingangsparametern und einem vorherzusagendem Maß. In diesem Fall wird eine schrittweise Regression durchgeführt, dabei werden nacheinander verschiedene

Eingangsparameter auf ihren Mehrwert bei der Vorhersage des vorherzusagenden Maßes überprüft.

Als Kennwerte gehen das Bestimmtheitsmaß R^2 und p aus der Regressionsanalyse hervor. Auf p wurde bereits eingegangen. Das Bestimmtheitsmaß R^2 gibt an, welcher Anteil der Gesamtvarianz der Daten durch die Prädiktoren aufgeklärt werden kann. Es stellt das Verhältnis von erklärter Varianz zu gesamter Varianz dar. Je höher R^2, desto höher die Vorhersagekraft durch die beeinflussenden Parameter. Zur Durchführung der Regressionsanalyse wurden die Daten hinsichtlich verschiedener Punkte umstrukturiert.

Mittelwert der Testpersonen

Als Analyseeinheit wurden die 18 Leuchtdichteumgebungen gewählt, dafür wurden die Bewertungen und Leistungen der 16 Testpersonen in jeder Leuchtdichteumgebung zu einem Mittelwert aggregiert. Vor dieser Aggregation wurde überprüft ob eine ausreichende Urteilerübereinstimmung vorlag, die die Aggregation rechtfertigt. Dafür wurde der Intraklassenkoeffizient in Form des ICC(2,1) für die Bewertung aller Leuchtdichteumgebungen durch alle zufällig gewählten einzelnen Testpersonen berechnet. Je höher der Intraklassenkoeffizient, desto höher die Übereinstimmung der Testpersonen. Es ergab sich ein ICC(2,1) von 0,91. Die Einzelurteile der Testpersonen waren somit zu einem Gesamturteil zusammenfassbar [143], [175].

Auspartialisierung

Bei der Überprüfung möglicher Zusammenhänge zwischen Parametern der Leuchtdichteumgebung und den untersuchten Maßen sollten die Parameter der Leuchtdichteumgebung voneinander unabhängig sein. Versuchstechnisch war es nicht möglich die Leuchtdichteverhältnisse der Leuchtdichteumgebung zu verändern, ohne die absoluten Leuchtdichten zu verändern. Es bestanden Zusammenhänge zwischen den relativen und absoluten Parametern der Leuchtdichteumgebung. Beispielsweise kann ein potentieller Einfluss von M/W auch durch einen reinen Einfluss von L_M oder L_W entstehen.

Zur Analyse des Zusammenhangs zwischen einem bestimmten Leuchtdichteverhältnis der Leuchtdichteumgebung (Einflussparameter) und dem zu untersuchen-

den Maß (Zielmaß), muss das Zielmaß zunächst um den Einfluss der absoluten Parameter der Leuchtdichteumgebung bereinigt werden. Hierzu wurde die Methode des Auspartialisierens angewendet [120]. Dazu wird die Regressionsgleichung zwischen den absoluten Parametern der Leuchtdichteumgebung und dem Zielmaß mit einer schrittweisen Regression berechnet. Anhand dieser Gleichung werden nun die Werte des Zielmaßes berechnet, sie sind also über die absoluten Leuchtdichten vorhergesagt. Anschließend werden diese Werte von den ursprünglichen Werten des Zielmaßes abgezogen. Die restliche Variation / Residuen sind nun um den Einfluss der absoluten Leuchtdichten der Leuchtdichteumgebung bereinigt und können nun auf ihre Abhängigkeit vom Einflussparameter hin untersucht werden. Eventuell bestehende Zusammenhänge sind nun auf den Einfluss des Einflussparameters zurückzuführen. Bei der Bearbeitungszeit kann dieses Vorgehen zu negativen Zeiten für bestimmte Ausprägungen des Einflussparameters führen; dies bedeutet, dass für diese Ausprägung die Bearbeitungszeit um eine gewisse Zeit reduziert wird. Positive Zeitangaben bedeuten, dass mit einer Erhöhung der benötigten Bearbeitungszeit gerechnet werden muss.

Betrachtete Lichtbedingungen

Die untersuchten Lichtbedingungen unterschieden sich in ihrem optischen Eindruck. Da in der Regression die physikalischen Randbedingungen einzeln betrachtet werden und nicht die Lichtbedingungen wurde die Regression einmal auf der Datengrundlage aller Lichtbedingungen durchgeführt und einmal auf der Datengrundlage der - optisch gleichen - Lichtbedingungen 1, 3, 4, und 5.

Betrachtung von Differenzmaßen

Bei der Karolinska Schläfrigkeitsskala, dem Fragebogen zu Seh- und Augenbeschwerden, dem NPA, dem Emotionsgitter und dem MDBF war jeweils die Veränderung durch die Belastung während der Arbeitszeit unter den zu untersuchenden Leuchtdichteumgebungen von Interesse. Aus diesem Grund wurde die jeweilige Differenz zwischen der Messung innerhalb einer Leuchtdichteumgebung und der Baselinemessung zu Beginn jeder Lichtbedingung herangezogen, der Baseline-Wert wurde vom Wert innerhalb der Leuchtdichteumgebung abgezogen.

5.2.2. Betrachtete Faktoren

Für die subjektive Einschätzung bei den verschiedenen Leistungsformen, den Fragebogen zu Seh- und Augenbeschwerden und die Fragen zur visuellen Leistungsatmosphäre wurde jeweils für alle 18 Leuchtdichteumgebungen die Faktorenstruktur analysiert und die Reliabilität der zusammengefassten Faktoren dargestellt. Beispiele der Dimensionsreduzierung sind in Anhang C dargestellt. Die Einzelitems wurden nachfolgend nicht ausgewertet.

Subjektive Einschätzung der Bearbeitung der Leistungsaufgaben

Die Items zur subjektiven Einschätzung der Aufgabenbearbeitung konnten bei allen Leistungsarten auf zwei Faktoren, wie in Tabelle 5.9, dargestellt reduziert werden.

Tabelle 5.9: Dimensionsreduzierung der subjektiven Einschätzung zur Aufgabenbearbeitung auf zwei zugrundeliegende Faktoren.

Faktor	Einzelitems
Anstrengung	Die Aufgabe war geistig anstrengend für mich. Ich musste hart arbeiten, um die Aufgabe abzuschließen. Die Aufgabe hat mich ermüdet. Die Aufgabe war schwierig für mich.
Erfolg	Die Aufgabe habe ich erfolgreich abgeschlossen. Ich war motiviert während der Bearbeitung der Aufgabe. Die Aufgabe hat mir Spaß gemacht. Ich schätze meinen Erfolg hoch ein.

Eine Überprüfung der inneren Konsistenz des Faktors Anstrengung bei der BVA ergab im Mittel für alle 18 Leuchtdichteumgebungen ein Cronbachs Alpha von 0,88 (einzeln betrachtet ergaben sich Alphas zwischen 0,72 und 0,94). Für den Faktor Erfolg bei der BVA ergab sich im Mittel ein Cronbachs Alpha von 0,80 (einzeln betrachtet ergaben sich Alphas zwischen 0,63 und 0,93). Die Konsistenz der generierten Faktoren der BVA kann im Mittel als akzeptabel bis gut bezeichnet werden.

Eine Überprüfung der inneren Konsistenz des Faktors Anstrengung der DSA ergab im Mittel für alle 18 Leuchtdichteumgebungen ein Cronbachs Alpha von 0,91 (ein-

zeln betrachtet ergaben sich Alphas zwischen 0,82 und 0,95). Für den Faktor Erfolg der DSA ergab sich im Mittel ein Cronbachs Alpha von 0,81 (einzeln betrachtet ergaben sich Alphas zwischen 0,71 und 0,90). Die Konsistenz der generierten Faktoren der DSA kann im Mittel als exzellent beziehungsweise. gut bezeichnet werden.

Eine Überprüfung der inneren Konsistenz des Faktors Anstrengung des KLT ergab im Mittel für alle 18 Leuchtdichteumgebungen ein Cronbachs Alpha von 0,90 (einzeln betrachtet ergaben sich Alphas zwischen 0,83 und 0,95). Für den Faktor Erfolg des KLT ergab sich im Mittel ein Cronbachs Alpha von 0,84 (einzeln betrachtet ergaben sich Alphas zwischen 0,70 und 0,94). Die Konsistenz der generierten Faktoren des KLT kann im Mittel als gut bezeichnet werden.

Fragebogen zu Seh- und Augenbeschwerden

Der Fragebogen zu Seh- und Augenbeschwerden konnte nicht eindeutig auf verschiedene Faktoren reduziert werden. Deswegen wurden die Einzelitems zu einem Faktor zusammengefasst. Es ergab sich im Mittel ein Cronbachs Alpha von 0,89 (einzeln betrachtet ergaben sich Alphas zwischen 0,82 und 0,96). Die Konsistenz der generierten Faktoren des Konzentrations-Leistungs-Tests kann im Mittel als gut bezeichnet werden.

Visuelle Leistungsatmosphäre

Innerhalb der Analyse der Faktorenstruktur zeigte sich für die 18 verschiedenen Kombinationen, dass die Motivation, die Leistungsförderung durch den Raum und die Bereitschaft weiterzuarbeiten zu einem Faktor zusammenfassbar waren. Im Folgenden wird dieser Faktor „Visuelle Leistungsatmosphäre“ genannt. Eine Überprüfung der inneren Konsistenz des Faktors ergab im Mittel für alle 18 Leuchtdichteumgebungen ein Cronbachs Alpha von 0,78 (einzeln betrachtet ergaben sich Alphas zwischen 0,28 und 0,95, bei Ausschluss der Passung von 0,28 ergeben sich Alphas zwischen 0,60 und 0,95 der Mittelwert steigt auf 0,81). Die Konsistenz der generierten Faktoren kann im Mittel als akzeptabel (unter Ausschluss der schlechtesten Passung als gut) bezeichnet werden.

5.3. Ergebnisse der Varianz- und Regressionsanalyse

Die vorliegenden Daten wurden einer Moderatoranalyse unterzogen um den Einfluss des Alters auf die Zusammenhänge zwischen Leuchtdichteumgebung und Maße zu überprüfen, siehe dazu Anhang C. Der Einfluss des Alters konnte für die Bearbeitungszeit der BVA und des KLT sowie den empfundenen Erfolg bei der BVA und der DSA nachgewiesen werden. Da Studie 1 von explorativer Natur war und grundsätzliche Zusammenhänge nachgewiesen werden sollten, wurden die nachfolgenden Auswertungen jeweils für alle Testpersonen durchgeführt.

Um die Hypothesen zu überprüfen, wurden für die untersuchten Maße Varianzanalysen mit Lichtbedingung und Monitoreinstellung als Messwiederholungsfaktoren berechnet. Als Faktoren gingen sechs Lichtbedingungen (LB 1 - 6) und drei Monitoreinstellungen (Hell, Mittel, Dunkel) ein. Des Weiteren wurden die untersuchten Maße einer Regressionsanalyse unterzogen. Als physikalische Maße wurden die Parameter der Leuchtdichteumgebung L_W, L_A, L_M, W/A, M/W, M/A und Max/Min in die Analyse mit einbezogen. Die Analyse wurde unter Einschluss aller Lichtbedingungen und unter Ausschluss der Lichtbedingungen 2 und 6 durchgeführt. Die zugrundeliegenden Mittelwerte und Standardabweichungen aller Leuchtdichteumgebungen sind in Anhang C zu finden.

Berichtet werden nur signifikante ($p \leq 0{,}05$) und tendenzielle ($p \leq 0{,}15$) Ergebnisse. Die Auswertung der Maße empfundener Erfolg bei der Aufgabenbearbeitung, Schläfrigkeit, Blendung im Raum, Helligkeitseinschätzung, Emotionsgitter und Befindlichkeit sind in Anhang C dargestellt.

Nach der Darstellung der Ergebnisse werden jeweils die wichtigen Erkenntnisse in einem Fazit zusammengefasst, hier sind auch die Maße aufgeführt deren detaillierte Auswertung im Anhang C zu finden ist.

Buchstabenvergleichs-Aufgabe

Die Bearbeitungszeiten für die verschiedenen Leuchtdichteumgebungen sind in Bild 5.9 dargestellt. Die Monitoreinstellung hat einen signifikanten Einfluss ($F(2,28) = 3{,}23$, $p = 0{,}05$, $\eta_p^2 = 0{,}19$) auf die Bearbeitungszeit. Aufgrund der hohen Effektstärke kann von einer praktischen Relevanz dieser Erkenntnis ausgegangen werden. Nach Mittelung der Lichtbedingungen für die einzelnen Monitoreinstellungen, ergibt sich für ME Mittel (MW = 133,53 sec, SD = 26,67 sec) die schnellste, ME

Dunkel (MW = 135,31 sec, SD = 26,05 sec) die zweitschnellste und ME Hell (MW = 137,43 sec, SD = 29,00 sec) die längste Bearbeitung. Der Unterschied zwischen Mittel und Hell ist signifikant (t(15) = 2,51, p = 0,03), der zwischen Dunkel und Hell tendenziell (t(15) = 1,74, p = 0,10).

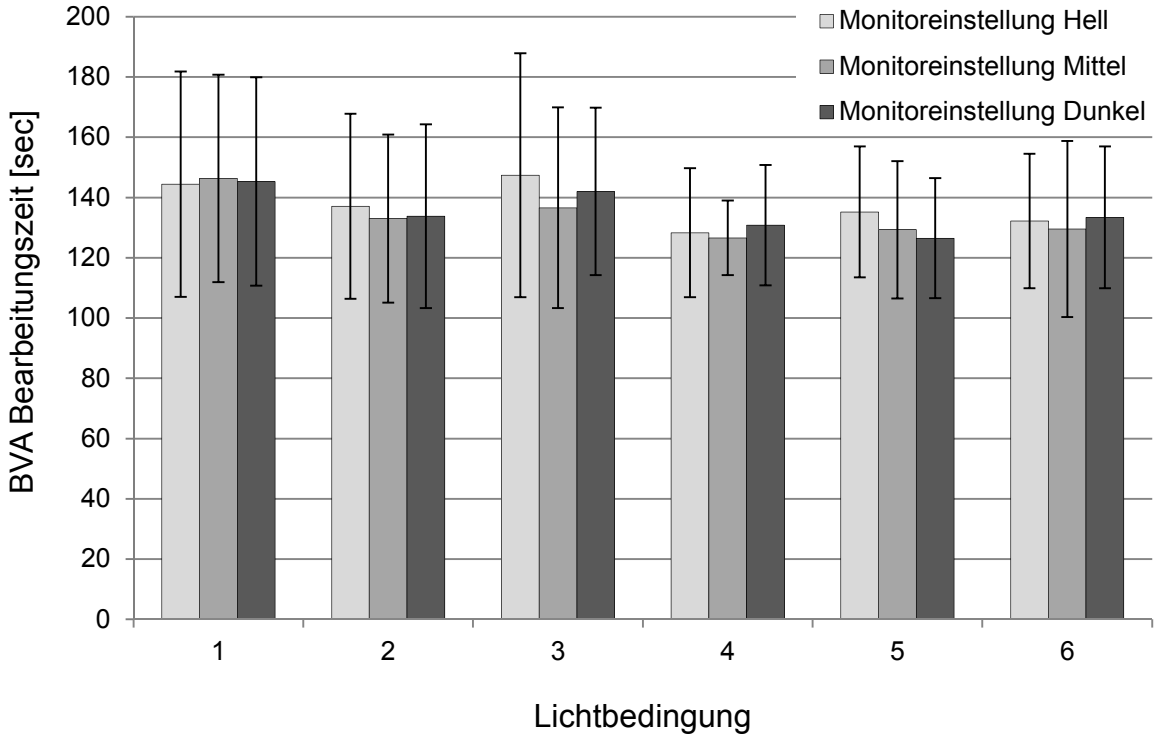


Bild 5.9 Bearbeitungszeit der Buchstabenvergleichs-Aufgabe in Abhängigkeit der Leuchtdichteumgebung. Der Fehlerballen stellt die Standardabweichung dar.

Darüber hinaus zeigt sich eine tendenzielle Interaktion der Lichtbedingung und der Monitoreinstellung bezüglich der Fehlerzahl (F(4,55, 63,66) = 3,73, p = 0,15, η_p^2 = 0,11). Die Fehlerzahl liegt wie in Bild 5.10 zu sehen für LB 5 und LB 6 bei ME Dunkel (MW = 0,69 und 0,56; SD = 1,14 und 0,96) höher als bei ME Hell (MW = 0,25 und 0,25, SD = 0,58 und 1,00) und Mittel (MW = 0,38 und 0,13, SD = 0,72 und 0,34). Für LB 5 sind die Unterschiede signifikant bis tendenziell (Dunkel - Hell: (t(15) = 2,15, p = 0,05), Dunkel - Mittel: (t(15) = 1,58, p = 0,14)), für LB 6 ergibt sich ein tendenzieller Zusammenhang (Mittel - Hell: (t(15) = 1,7, p = 0,11)).

Für LB 5 könnte die hohe L_W und somit der große Unterschied zwischen L_M und L_W ausschlaggebend sein. Bei LB 6 könnte eine eventuelle Blendung durch die Licht-

wand (einzelne Strahler hinter Lamellen) die Ursache für die auftretende Interaktion sein.

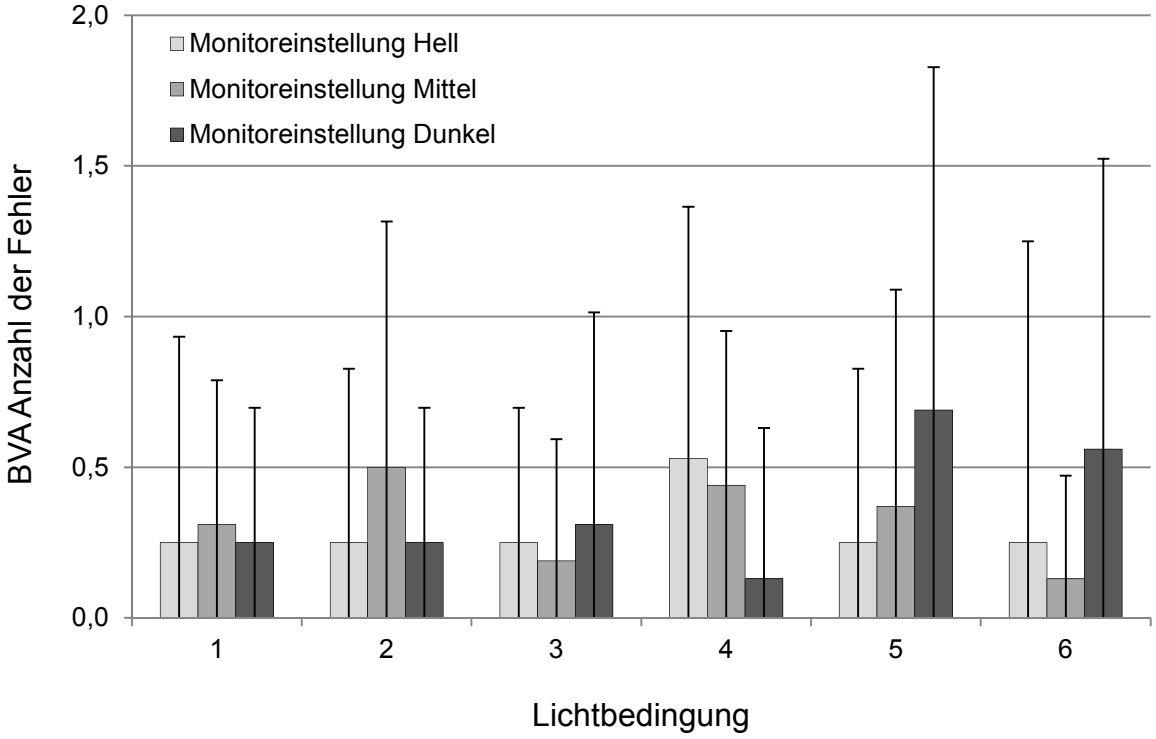


Bild 5.10 Anzahl der Fehler bei der Buchstabenvergleichs-Aufgabe in Abhängigkeit der Leuchtdichteumgebung. Der Fehlerballen stellt die Standardabweichung dar.

Bei der Regressionsanalyse kann auf Basis der Daten aller LBs ein signifikanter Einfluss von L_A ($F(1,16) = 37,14$, $R^2 = 0,70$, $p < 0,01$) und L_W ($F(1,16) = 6,69$, $R^2 = 0,30$, $p = 0,02$) auf die Bearbeitungszeit nachgewiesen werden (Bild 5.11 und Bild 5.12). Bei Ausschluss von LB 2 und LB 6 zeigen ebenfalls L_A ($F(1,10) = 56,12$, $R^2 = 0,85$, $p < 0,01$) und L_W ($F(1,10) = 20,50$, $R^2 = 0,67$, $p < 0,01$) signifikanten Einfluss. Mit zunehmender L_A oder L_W sinkt die Bearbeitungszeit der Testpersonen, der Einfluss von L_A ist dabei stärker ausgeprägt.

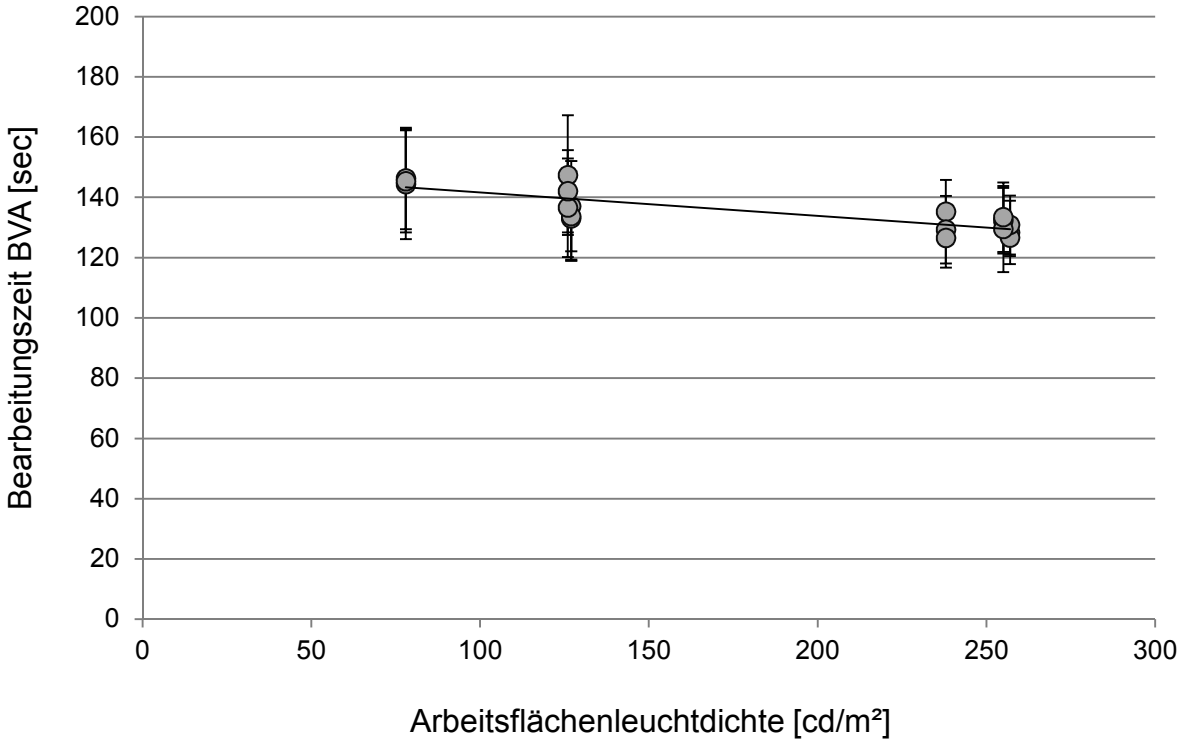


Bild 5.11: Bearbeitungszeit der Buchstabenvergleichs-Aufgabe in Abhängigkeit der Arbeitsflächenleuchtdichte für alle Lichtbedingungen. Der Fehlerbalken zeigt das 95 % Konfidenzintervall des Mittelwerts.

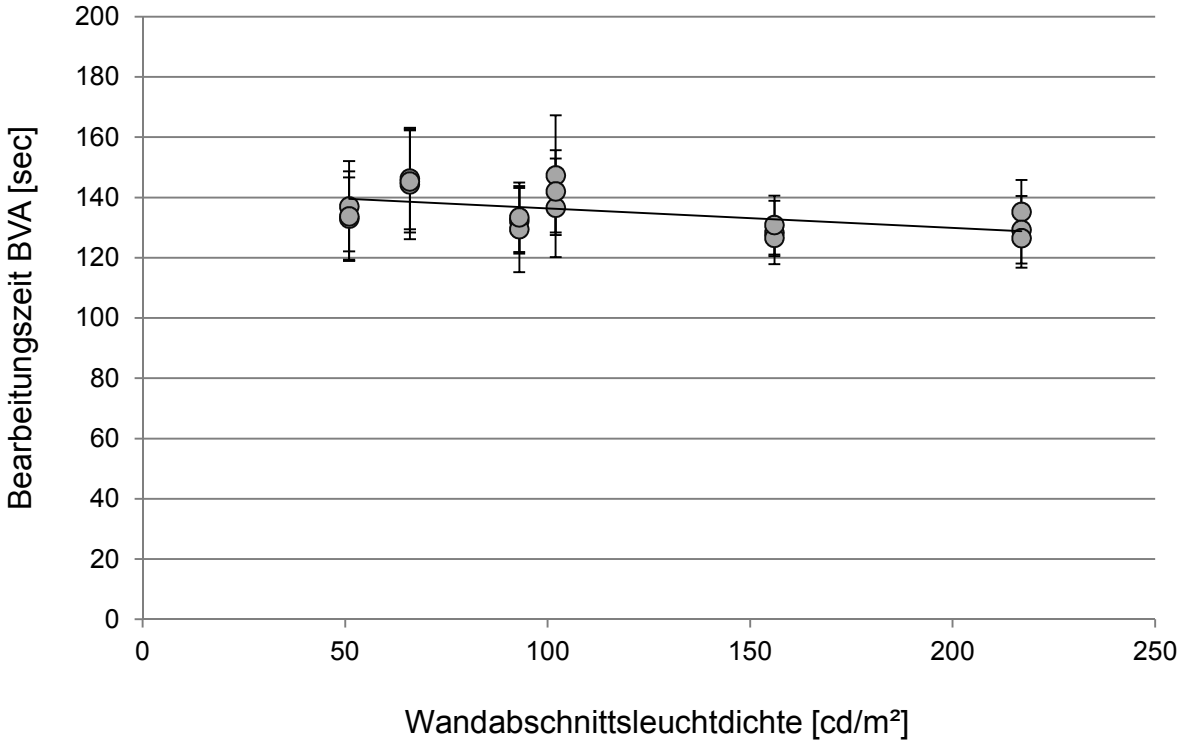


Bild 5.12: Bearbeitungszeit der Buchstabenvergleichs-Aufgabe in Abhängigkeit der Wandabschnittsleuchtdichte für alle Lichtbedingungen. Der Fehlerbalken zeigt das 95 % Konfidenzintervall des Mittelwerts.

Die Parameter der Leuchtdichteumgebung zeigen keinen signifikanten oder tendenziellen Einfluss auf die Anzahl der Fehler.

Buchstabenvergleichs-Aufgabe: Anstrengung

Die empfundene Anstrengung weist eine signifikante Abhängigkeit von der Lichtbedingung ($F(5,75) = 2,45$, $p = 0,04$, $\eta_p^2 = 0,15$) auf, wie in Bild 5.13 zu sehen. Die Testpersonen empfinden die Anstrengung bei der BVA bei LB 4 als besonders gering. Nach der Mittelung der drei Monitoreinstellungen zeigt sich, dass LB 3 (MW = -0,64, SD = 1,02) zu einer signifikant größeren Anstrengung führt als LB 4 (MW = -1,09, SD = 0,93), ($t(15) = 2,32$, $p = 0,04$).

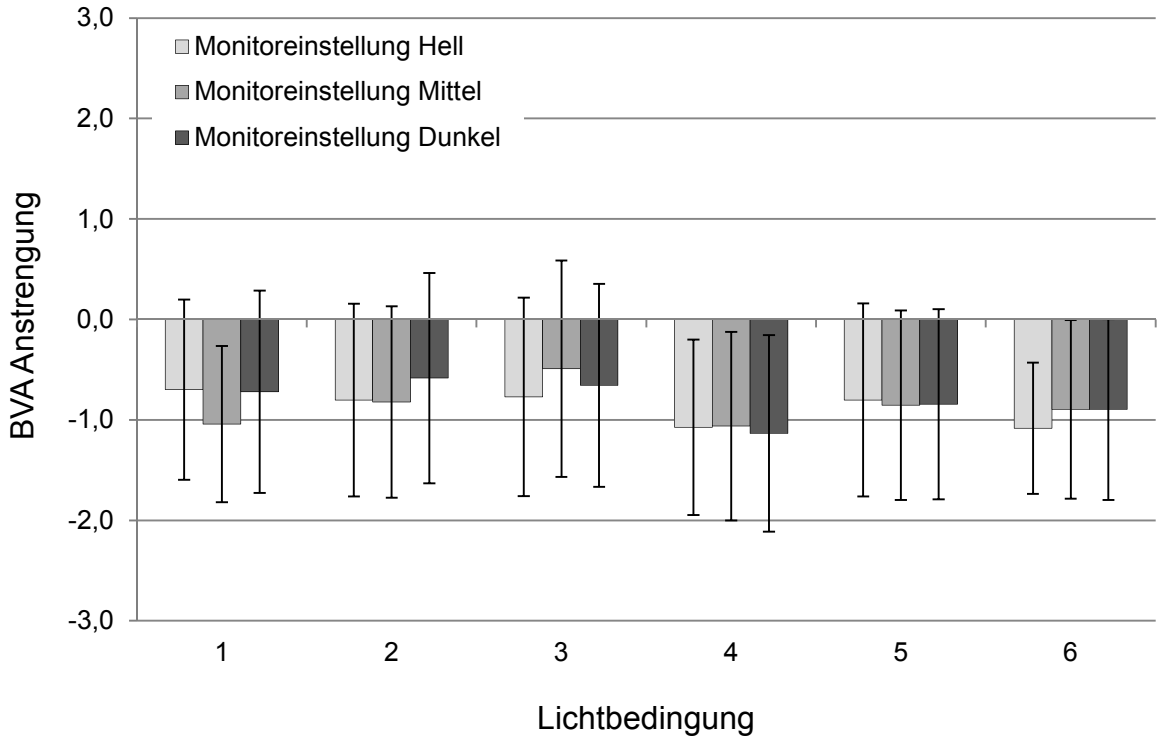


Bild 5.13: Anstrengung bei der Buchstabenvergleichs-Aufgabe in Abhängigkeit der Leuchtdichteumgebung. Der Fehlerballen stellt die Standardabweichung dar.

L_A beeinflusst die Anstrengung bei Bearbeitung der BVA signifikant ($F(1,16) = 8,63$, $R^2 = 0,35$, $p = 0,01$), sie sinkt mit zunehmender L_A, wie in Bild 5.14 zu sehen. Ein solcher tendenzieller Zusammenhang ergibt sich auch unter Ausschuss von LB 2 und LB 6 ($F(1,10) = 4,21$, $R^2 = 0,30$, $p = 0,07$).

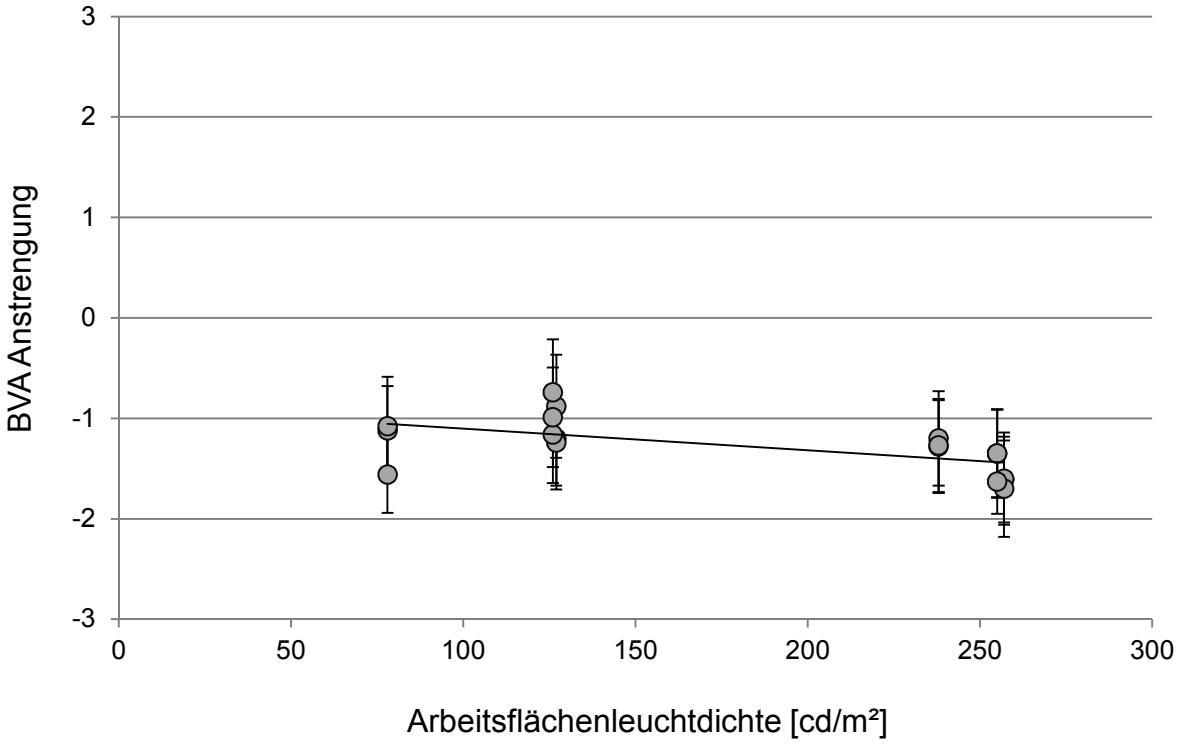


Bild 5.14: Anstrengung bei der Buchstabenvergleichs-Aufgabe in Abhängigkeit der Arbeitsflächenleuchtdichte für alle Lichtbedingungen. Der Fehlerbalken zeigt das 95 % Konfidenzintervall des Mittelwerts.

Dominosteinsuch-Aufgabe

Die Lichtbedingung und Monitoreinstellung zeigen keinen signifikanten oder tendenziellen Einfluss. Unter Ausschluss von LB 2 und LB 6 zeigt sich ein signifikanter Einfluss von L_M ($F(2,9) = 5{,}71$, $R^2 = 0{,}56$, $p = 0{,}03$) auf die Bearbeitungszeit, liegt L_M im Bereich der mittleren Monitoreinstellung bei etwa 140 cd/m^2 so ergeben sich wie in Bild 5.15 zu sehen die kürzesten Bearbeitungszeiten.

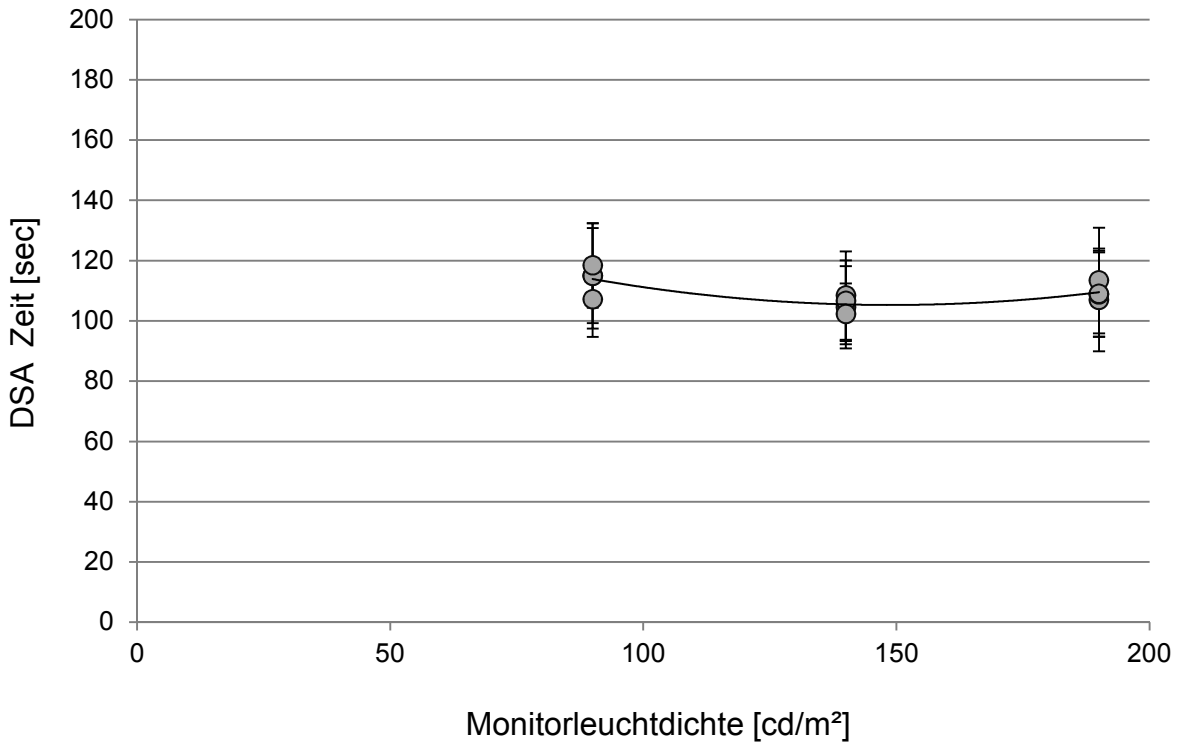


Bild 5.15: Bearbeitungszeit der Dominosteinsuch-Aufgabe in Abhängigkeit der Monitorleuchtdichte für alle Lichtbedingungen. Der Fehlerbalken zeigt das 95 % Konfidenzintervall des Mittelwerts.

Dominosteinsuch-Aufgabe: Anstrengung

Die Lichtbedingung und Monitoreinstellung zeigen keinen signifikanten oder tendenziellen Einfluss. Eine vorhandene tendenzielle Interaktion zwischen Lichtbedingung und Monitoreinstellung ($F(4{,}17, 62{,}53) = 1{,}55$, $p = 0{,}13$, $\eta_p^2 = 0{,}09$) kann nicht erklärt werden. Die Regressionsanalyse zeigt jedoch, dass die Anstrengung bei Aufgabenbearbeitung durch die Parameter der Leuchtdichteumgebung bestimmt wird. So nehmen L_W und L_A Einfluss auf die empfundene Anstrengung. Der signifikante Einfluss von L_W besteht bei Berücksichtigung aller LBs ($F(1,16) = 6{,}03$, $R^2 = 0{,}27$, $p = 0{,}03$), der tendenzielle Einfluss von L_A unter Ausschluss von LB 2 und LB 6 ($F(1,10) = 3{,}86$, $R^2 = 0{,}28$, $p = 0{,}08$). Steigen L_W oder L_A, so verringert sich die Anstrengung bei der Bearbeitung der Aufgabe, wie in Bild 5.16 und Bild 5.17 zu sehen.

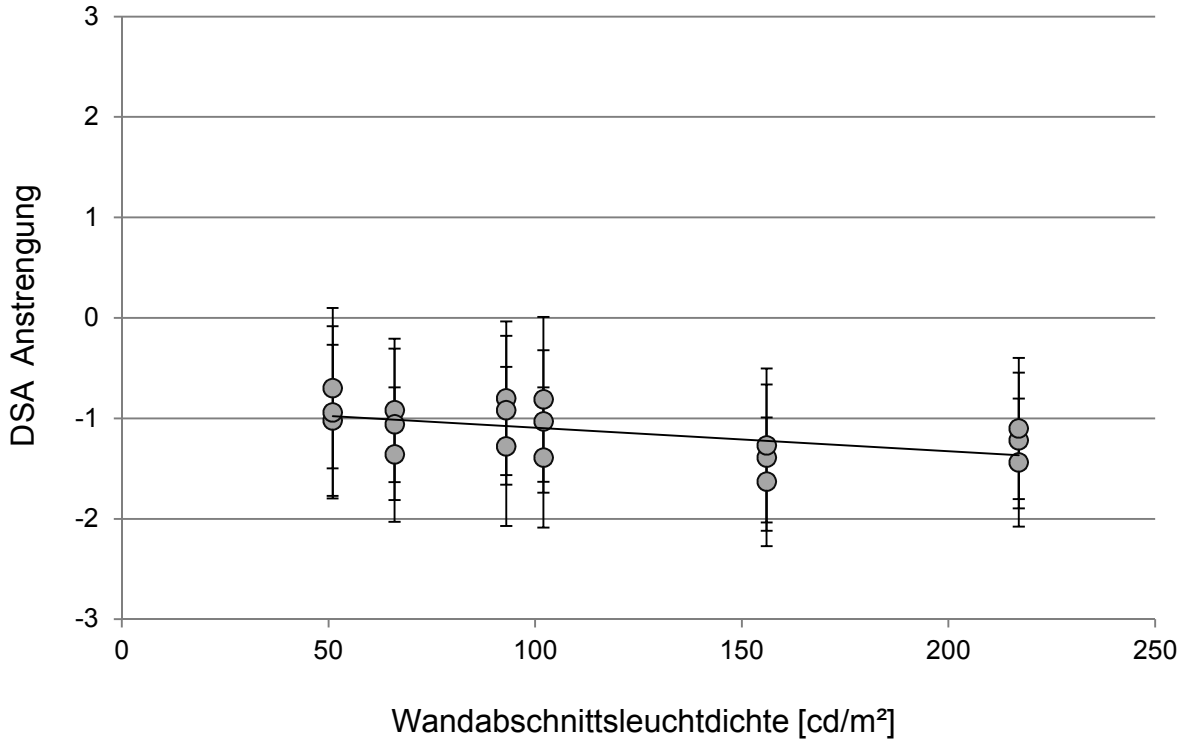


Bild 5.16: Anstrengung bei der Dominosteinsuch-Aufgabe in Abhängigkeit der Wandabschnittsleuchtdichte für alle Lichtbedingungen. Der Fehlerbalken zeigt das 95 % Konfidenzintervall des Mittelwerts.

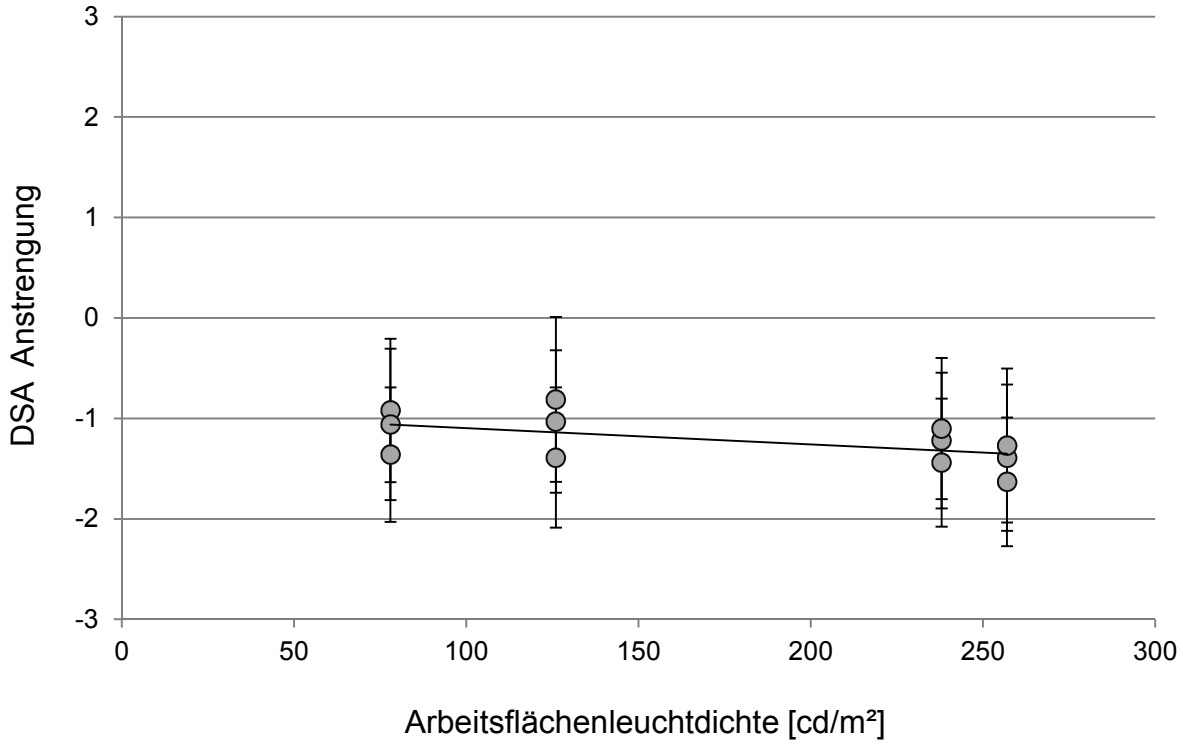


Bild 5.17: Anstrengung bei der Dominosteinsuch-Aufgabe in Abhängigkeit der Arbeitsflächenleuchtdichte bei Ausschluss der Lichtbedingungen 2 und 6. Der Fehlerbalken zeigt das 95 % Konfidenzintervall des Mittelwerts.

Unter Ausschluss von LB 2 und LB 6 kann auch ein tendenzieller Einfluss von W/A ($F(2,9) = 3{,}63$, $R^2 = 0{,}27$, $p = 0{,}09$) und Max/Min ($F(2,9) = 2{,}88$, $R^2 = 0{,}39$, $p = 0{,}11$) nachgewiesen werden. Eine geringe Anstrengung ist zu erwarten, wenn L_W geringer ist als L_A und Max/Min bei 2/1 liegt, wie in Bild 5.18 und Bild 5.19 zu sehen.

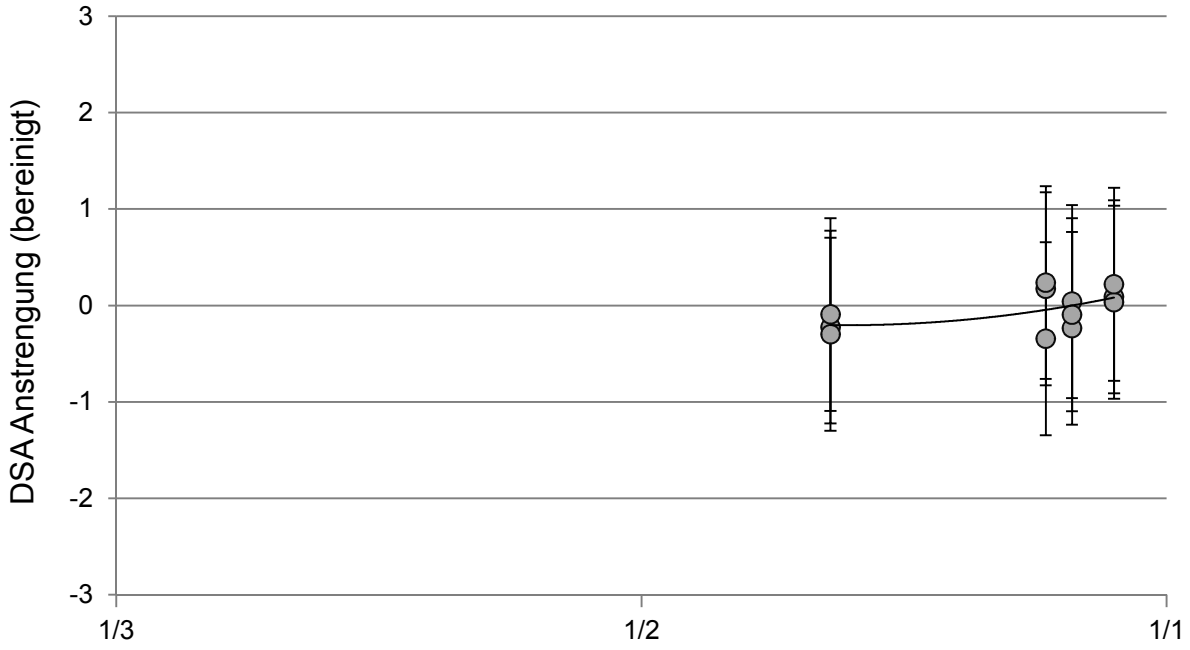


Bild 5.18: Bereinigte Anstrengung bei der Dominosteinsuch-Aufgabe in Abhängigkeit des Leuchtdichteverhältnisses zwischen Wandabschnitt und Arbeitsfläche bei Ausschluss der Lichtbedingungen 2 und 6. Der Fehlerbalken zeigt das 95 % Konfidenzintervall des Mittelwerts.

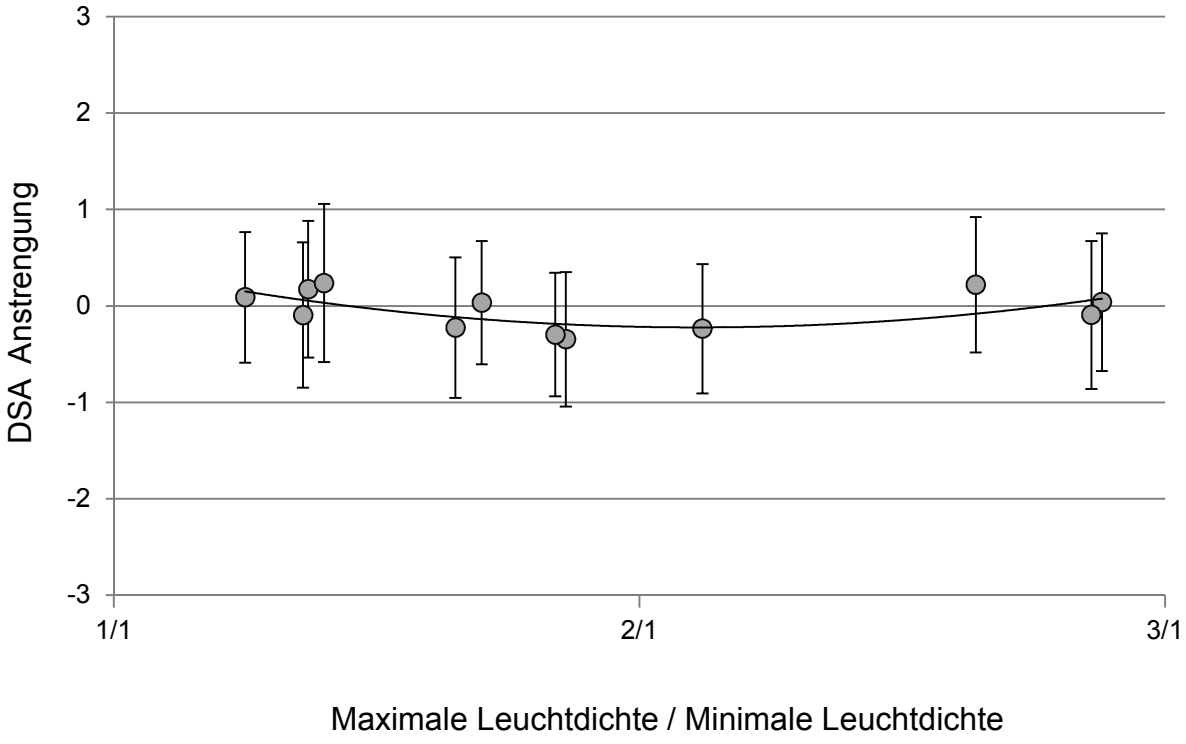


Bild 5.19: Bereinigte Anstrengung bei der Dominosteinsuch-Aufgabe in Abhängigkeit des Verhältnisses zwischen minimaler und maximaler Leuchtdichte der Leuchtdichteumgebung bei Ausschluss der Lichtbedingungen 2 und 6. Der Fehlerbalken zeigt das 95 % Konfidenzintervall des Mittelwerts.

Konzentrations-Leistungs-Test

Die Lichtbedingung und Monitoreinstellung zeigen keinen signifikanten oder tendenziellen Einfluss. Die Parameter der Leuchtdichteumgebung jedoch schon. Die Bearbeitungszeit des KLT wird von L_W bei Berücksichtigung aller LBs ($F(1,16) = 8{,}17$, $R^2 = 0{,}34$, $p = 0{,}01$) signifikant und unter Ausschluss von LB 2 und LB 6 ($F(1,10) = 2{,}95$, $R^2 = 0{,}23$, $p = 0{,}12$) tendenziell beeinflusst. Steigt L_W, so sinkt die Bearbeitungszeit, wie in Bild 5.20 zu sehen.

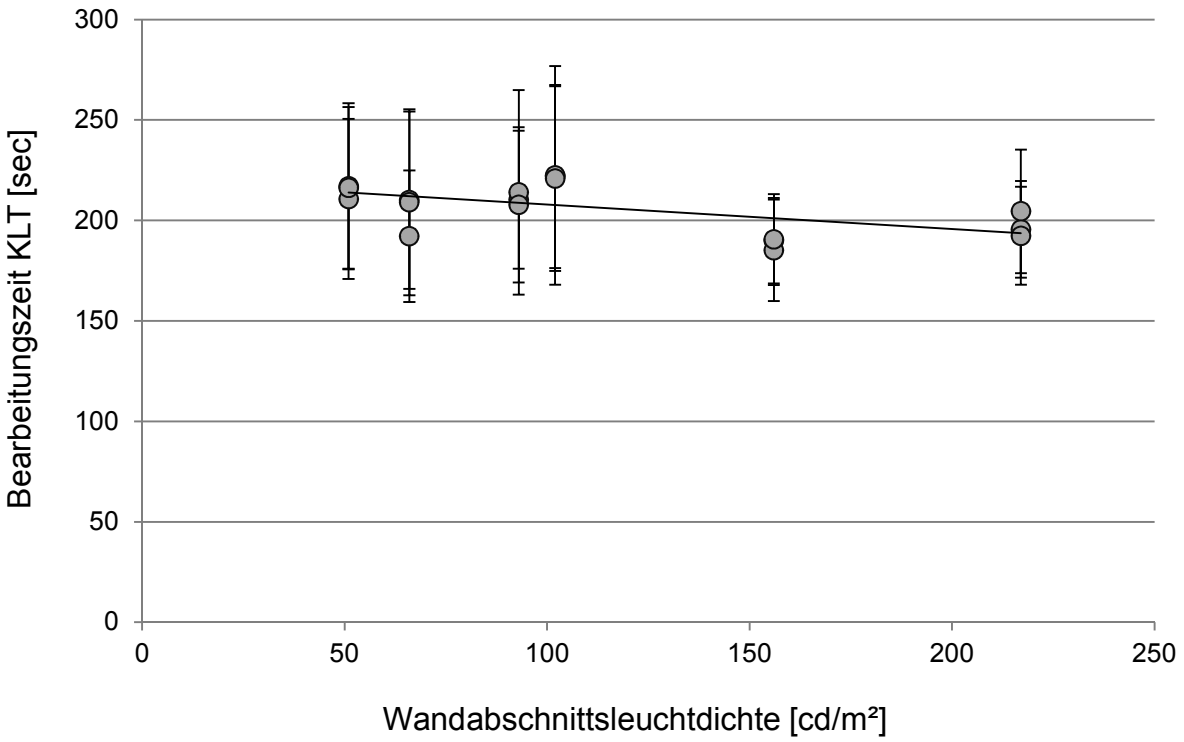


Bild 5.20: Bearbeitungszeit des Konzentrations-Leistungs-Tests in Abhängigkeit der Wandabschnittsleuchtdichte für alle Lichtbedingungen. Der Fehlerbalken zeigt das 95 % Konfidenzintervall des Mittelwerts.

Zusätzlich kann ein signifikanter Einfluss von W/A für alle LBs ($F(2,15) = 9{,}49$, $R^2 = 0{,}56$, $p < 0{,}01$) und unter Ausschluss von LB 2 und LB 6 ($F(2,9) = 5{,}13$, $R^2 = 0{,}53$, $p = 0{,}03$) nachgewiesen werden. Die Bearbeitungszeit der Testpersonen ist am geringsten, wenn W/A in etwa bei 1/2 liegt; der Zusammenhang ist in Bild 5.21 dargestellt.

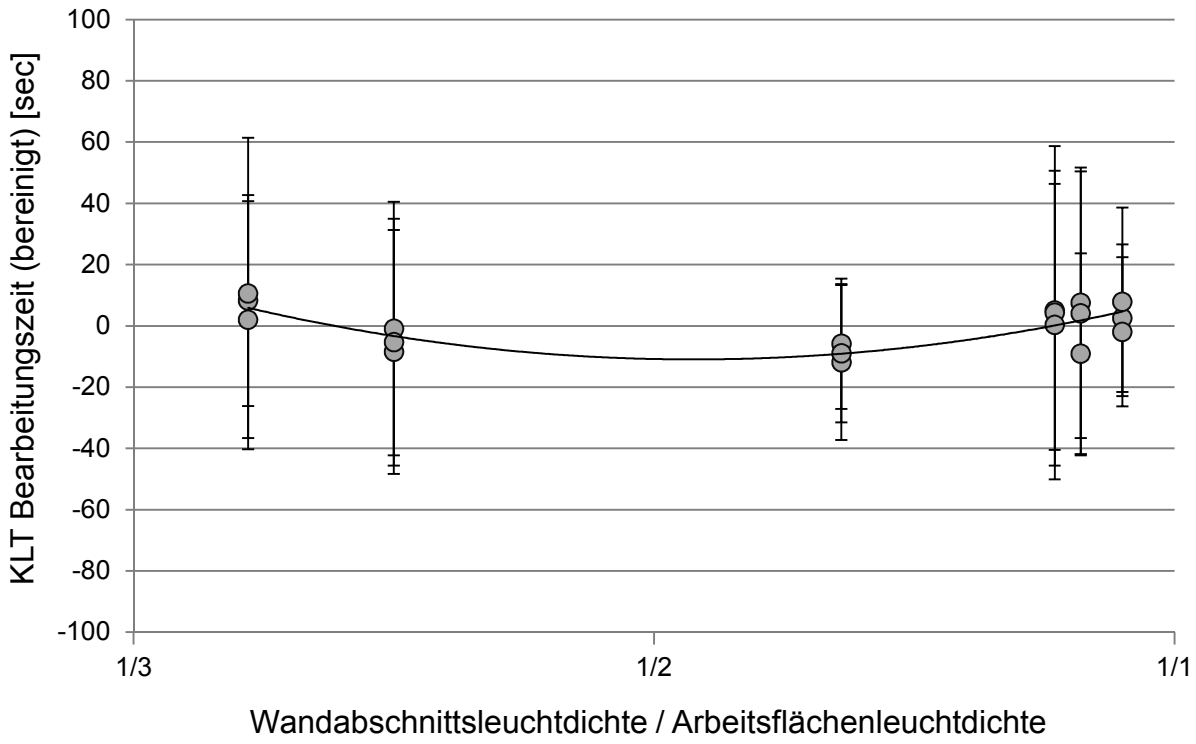


Bild 5.21: Bereinigte Bearbeitungszeit des Konzentrations-Leistungs-Tests in Abhängigkeit des Leuchtdichteverhältnisses zwischen Wandabschnitt und Arbeitsfläche für alle Lichtbedingungen. Der Fehlerbalken zeigt das 95 % Konfidenzintervall des Mittelwerts.

Für die Fehlerzahl ergibt sich eine tendenzielle Abhängigkeit von M/W, welche unter Ausschluss von LB 2 und LB 6 ($F(2,15) = 2,59$, $R^2 = 0,26$, $p = 0,11$) nachgewiesen werden kann. Besonders fehlerhaft wird gearbeitet wenn M/W bei 2/1 liegt, wie in Bild 5.22 zu sehen.

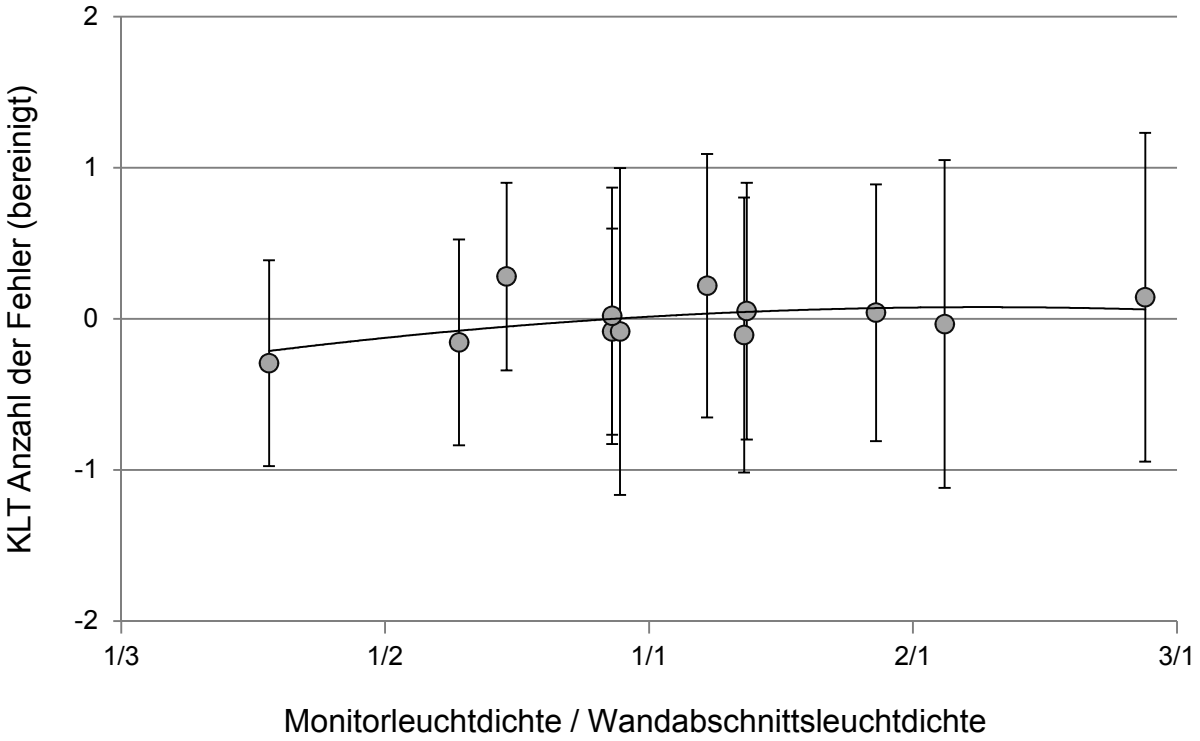


Bild 5.22: Bereinigte Anzahl der Fehler beim Konzentrations-Leistungs-Test in Abhängigkeit des Leuchtdichteverhältnisses zwischen Monitor und Wandabschnitt bei Ausschluss der Lichtbedingungen 2 und 6. Der Fehlerbalken zeigt das 95 % Konfidenzintervall des Mittelwerts.

Konzentrations-Leistungs-Test: Anstrengung

Die Anstrengung bei der Bearbeitung des KLT wird tendenziell durch die Lichtbedingung ($F(5,75) = 1,90$, $p = 0,11$, $\eta_p^2 = 0,11$) beeinflusst, wie in Bild 5.23 zu sehen. Nach Mittelung der Monitoreinstellungen für die einzelnen Lichtbedingungen führt LB 4 (MW = -0,57, SD = 1,69) zur geringsten Anstrengung. Der Vergleich von LB 4 und LB 3 (MW = 0,04, SD = 1,78) ergibt einen signifikanten Unterschied ($t(15) = 2,36$, $p = 0,03$).

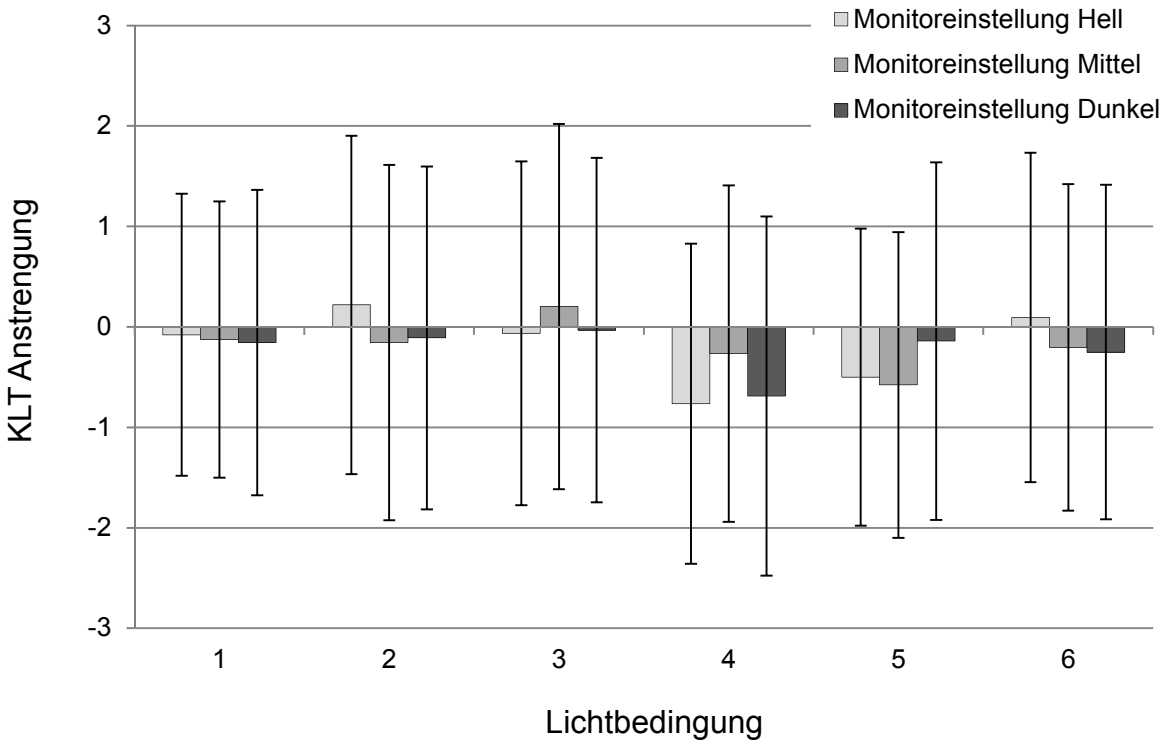


Bild 5.23: Anstrengung beim Konzentrations-Leistungs-Test in Abhängigkeit der Leuchtdichteumgebung. Der Fehlerballen stellt die Standardabweichung dar.

Neben der Lichtbedingung bestimmen auch die Parameter der Leuchtdichteumgebung die empfundene Anstrengung. Sie wird signifikant von L_W und L_A beeinflusst. Dies gilt unter Berücksichtigung aller LBs (L_W: $F(1,16) = 10{,}06$, $R^2 = 0{,}39$, $p < 0{,}01$ und L_A: $F(1,16) = 7{,}36$, $R^2 = 0{,}32$, $p = 0{,}02$) und unter Ausschluss von LB 2 und LB 6 (L_W: $F(1,10) = 5{,}14$, $R^2 = 0{,}34$, $p = 0{,}05$ und L_A: $F(1,10) = 11{,}73$, $R^2 = 0{,}54$, $p < 0{,}01$). Steigen L_W und L_A, so sinkt die Anstrengung wie in Bild 5.24 und Bild 5.25 zu sehen.

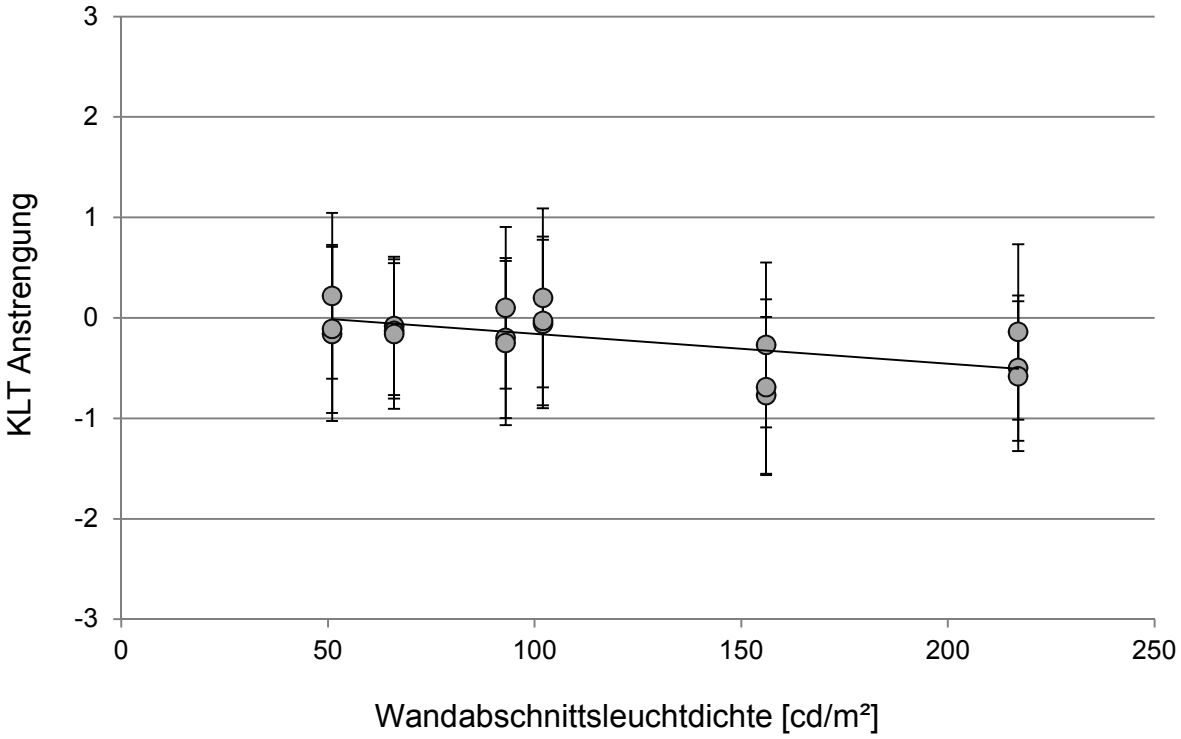


Bild 5.24: Anstrengung beim Konzentrations-Leistungs-Test in Abhängigkeit der Wandabschnittsleuchtdichte für alle Lichtbedingungen. Der Fehlerbalken zeigt das 95 % Konfidenzintervall des Mittelwerts.

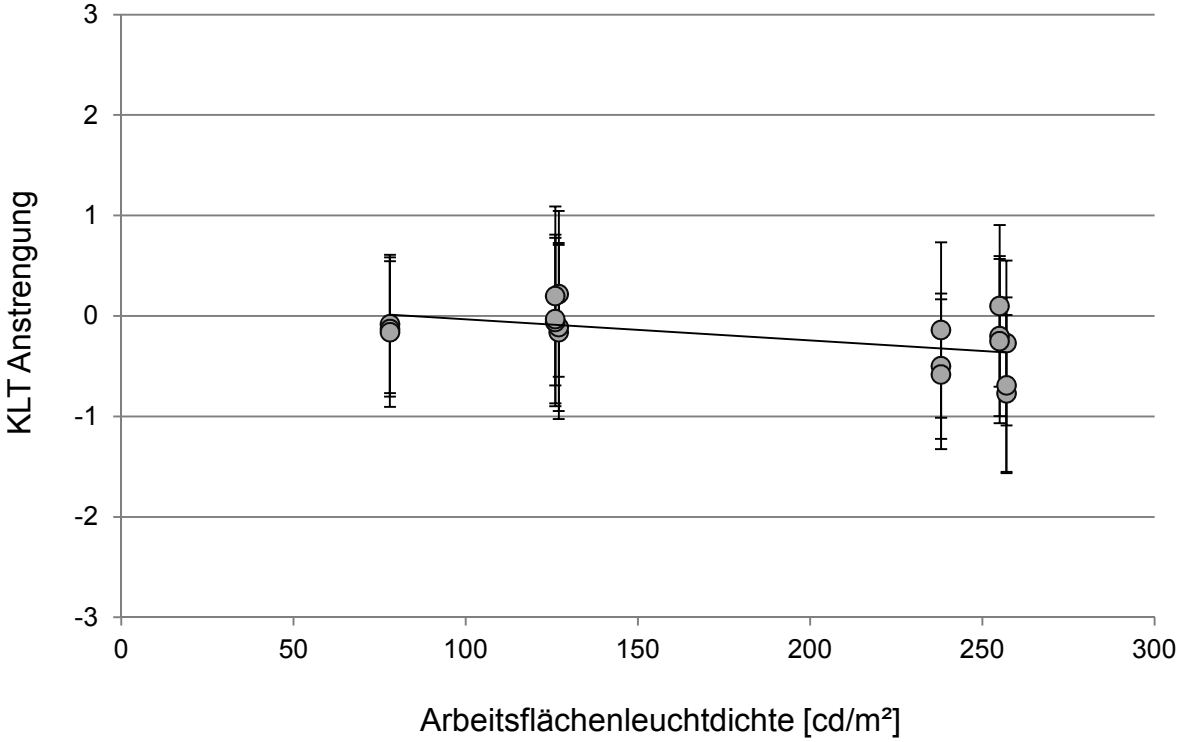


Bild 5.25: Anstrengung beim Konzentrations-Leistungs-Test in Abhängigkeit der Arbeitsflächenleuchtdichte für alle Lichtbedingungen. Der Fehlerbalken zeigt das 95 % Konfidenzintervall des Mittelwerts.

Auch W/A hat unter Verwendung aller Daten einen tendenziellen Einfluss auf die empfundene Anstrengung ($F(2,15) = 2{,}61$, $R^2 = 0{,}26$, $p = 0{,}11$). Die Anstrengung ist besonders gering wenn W/A in etwa bei 1/2 liegt, wie in Bild 5.26 zu sehen.

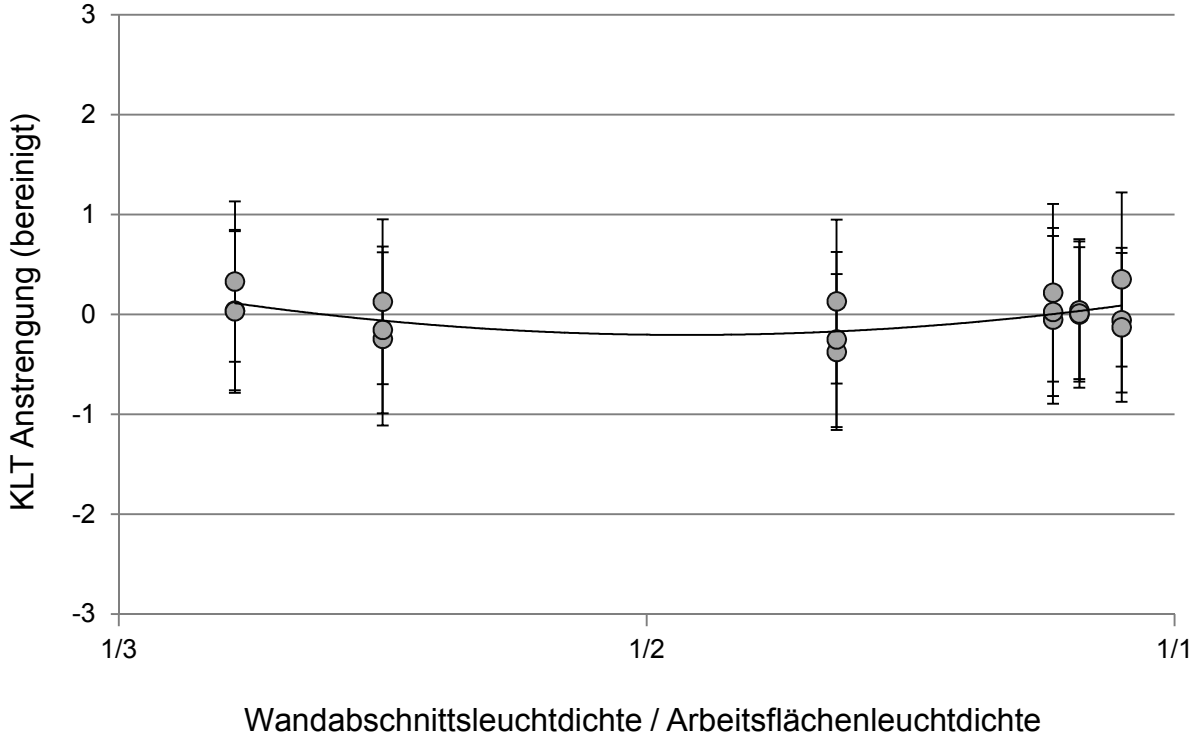


Bild 5.26: Bereinigte Anstrengung beim Konzentrations-Leistungs-Test in Abhängigkeit des Leuchtdichteverhältnisses zwischen Wandabschnitt und Arbeitsfläche für alle Lichtbedingungen. Der Fehlerbalken zeigt das 95 % Konfidenzintervall des Mittelwerts.

Zusammenfassung der Leistungsmaße

- Die Bearbeitungszeit der Buchstabenvergleichs-Aufgabe und des Konzentrations-Leistungs-Tests sinkt bei höheren Leuchtdichten im Raum.
- Neben der gesteigerten Leistung kann auch die Anstrengung beim Erbringen der Leistung durch hohe Leuchtdichten im Raum positiv beeinflusst werden.
- Für die Wandabschnittsleuchtdichte kann sich dieser positive Einfluss für zu hohe Leuchtdichten umdrehen. So kommt es für die höchste untersuchte Wandabschnittsleuchtdichte zu einer Verringerung des selbsteingeschätzten Erfolgs bei der Buchstabenvergleichs-Aufgabe.

- Die mittlere Monitorleuchtdichte führt zur geringeren Bearbeitungszeit bei der Buchstabenvergleichs-Aufgabe, die Effektstärke deutet auf eine praktische Relevanz hin.
- Ein Leuchtdichteverhältnis zwischen Wandabschnitts- und Arbeitsflächenleuchtdichte von etwa 1/2 führt zu höherem Erfolgsempfinden bei der Buchstabenvergleichs-Aufgabe, geringerer Anstrengung und kürzerer Bearbeitungszeit beim Konzentrations-Leistungs-Test.

Nahpunkt der Akkommodation

Die Monitoreinstellung beeinflusst signifikant die Entwicklung des NPAs über die Testdauer, wie in Bild 5.27 zu sehen ($F(2,30) = 4,39$, $p = 0,02$, $\eta_p^2 = 0,23$). Aufgrund der hohen Effektstärke kann vermutet werden, dass die Ermüdung in starkem Maß von der Wahl der Monitoreinstellung abhängig ist.

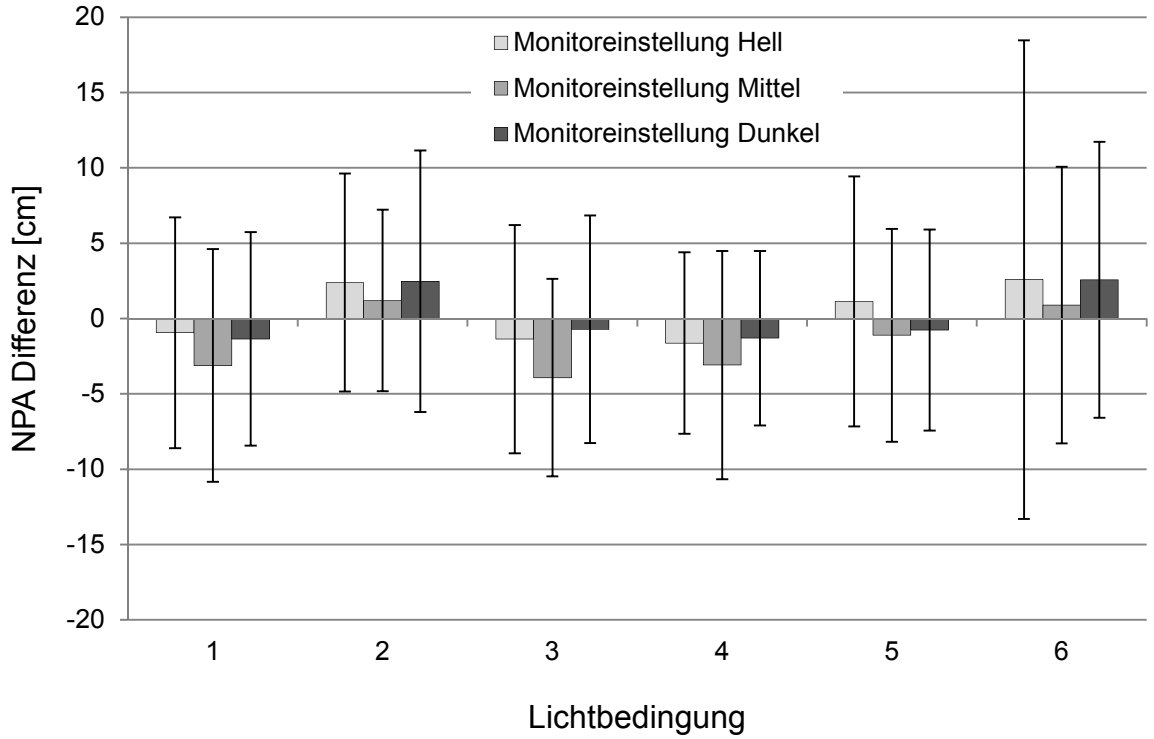


Bild 5.27: Entwicklung des Nahpunkts der Akkommodation in Abhängigkeit der Leuchtdichteumgebung. Der Fehlerballen stellt die Standardabweichung dar.

Die Betrachtung der einzelnen Einstellungen bei Mittelung der Lichtbedingungen zeigt, dass ME Mittel (MW = -1,53 cm, SD = 7,35 cm) sogar zu einer deutlichen Verbesserung des NPAs führt. Dunkel (MW = 0,15 cm, SD = 7,49 cm) und Hell

(MW = 0,36 cm, SD = 8,78 cm) führen nur zu geringen Veränderungen. Der Unterschied zwischen Mittel und Dunkel ($t(15) = 2,33$, $p = 0,03$) beziehungsweise Mittel und Hell ($t(15) = 2,68$, $p = 0,02$) ist signifikant.

Neben der Monitoreinstellung beeinflusst auch W/A den Nahpunkt der Akkommodation. Unter Verwendung aller Daten ist dieser Einfluss signifikant ($F(2,15) = 5,76$, $R^2 = 0,43$, $p = 0,01$) und in Bild 5.28 zu sehen; unter Ausschluss von LB 2 und LB 6 ergibt sich ein tendenzieller Einfluss ($F(2,9) = 2,51$, $R^2 = 0,36$, $p = 0,14$). Liegt W/A bei 1/2 so lässt die visuelle Ermüdung über die Testdauer sogar nach.

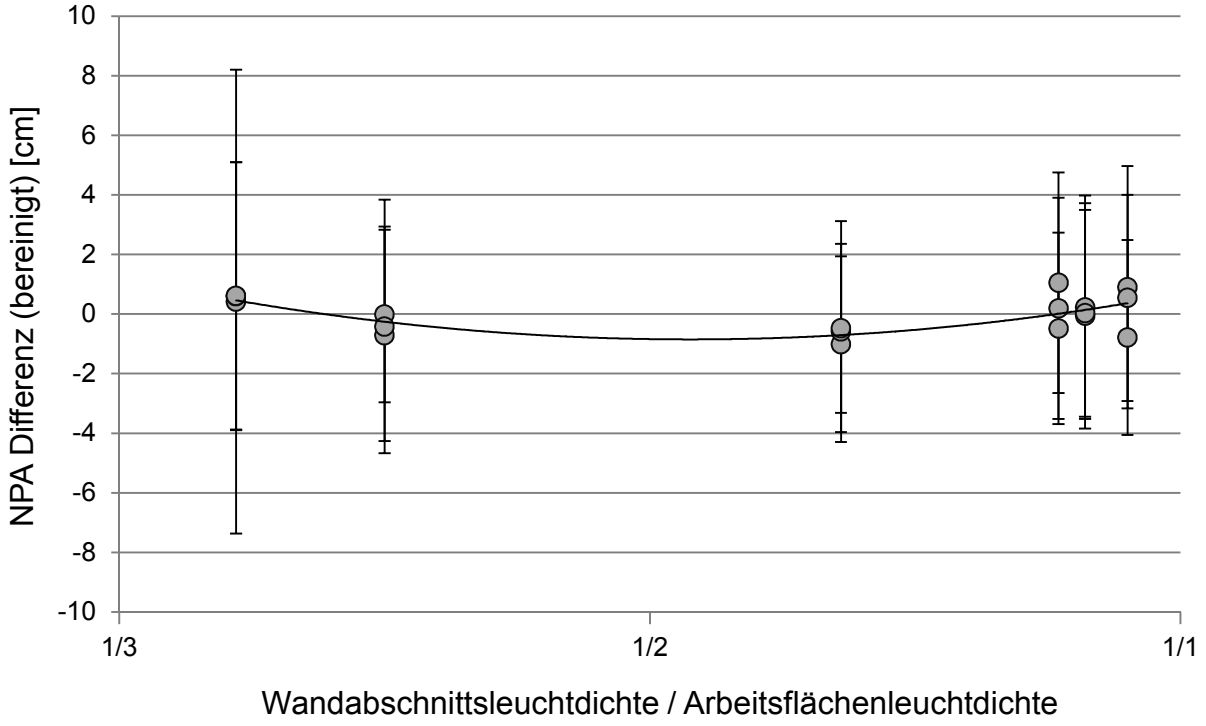


Bild 5.28: Bereinigte Entwicklung des Nahpunkts der Akkommodation in Abhängigkeit des Leuchtdichteverhältnisses zwischen Wandabschnitt und Arbeitsfläche für alle Lichtbedingungen. Der Fehlerbalken zeigt das 95 % Konfidenzintervall des Mittelwerts.

Fragebogen zu Seh- und Augenbeschwerden

Die Lichtbedingung ($F(5,75) = 1,93$, $p = 0,10$, $\eta_p^2 = 0,11$) und die Monitoreinstellung ($F(2,30) = 2,25$, $p = 0,15$, $\eta_p^2 = 0,13$) beeinflussen die Entwicklung der visuellen Ermüdung tendenziell (Bild 5.29). Für die Monitoreinstellung kann von einem eher großen Effekt mir praktischer Relevanz ausgegangen werden. Die Mittelung der Monitore für die einzelnen Lichtbedingungen zeigt in Bild 5.29, dass LB 2 (MW

= 0,48, SD = 0,85) und LB 5 (MW = 0,50, SD = 0,75) die Augen besonders ermüden. Sie zeichnen sich durch ihre extremen L_Ws aus: LB 2 verfügt über die niedrigste, LB 5 über die höchste L_W.

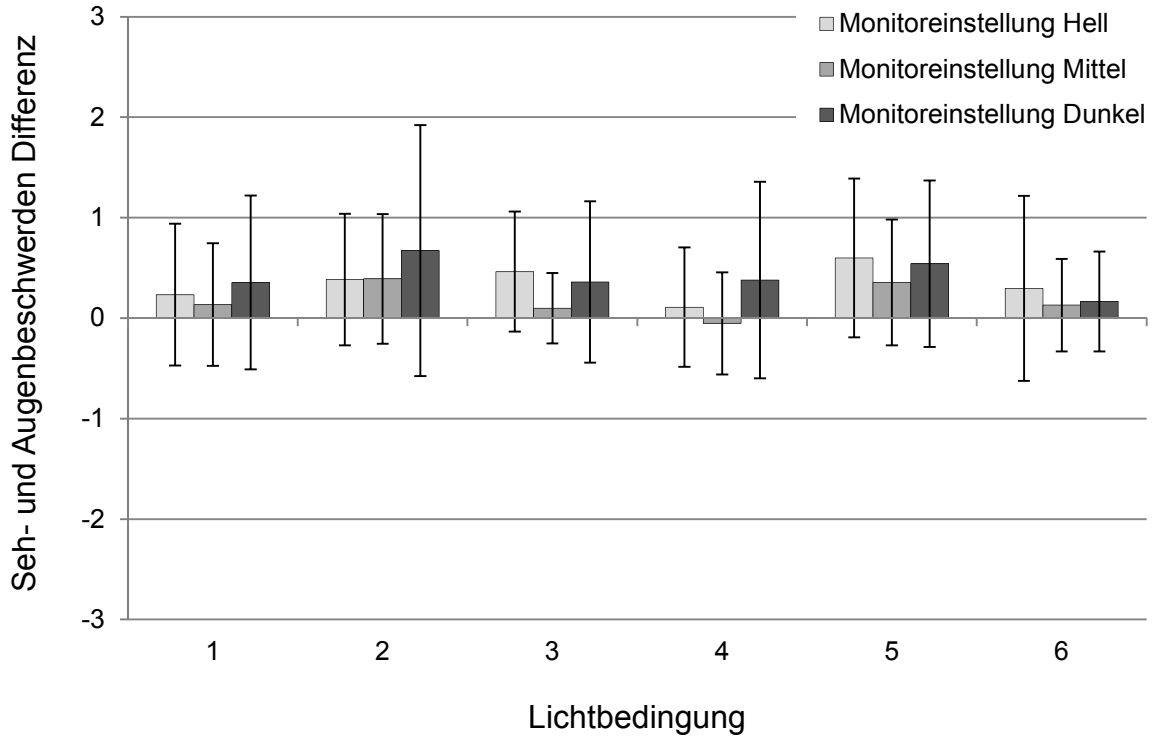


Bild 5.29: Entwicklung der Seh- und Augenbeschwerden in Abhängigkeit der Leuchtdichteumgebung. Der Fehlerballen stellt die Standardabweichung dar.

Nach Mittelung der Lichtbedingungen zum besseren Vergleich der Monitoreinstellung führt ME Mittel (MW = 0,18, SD = 0,53) zu einer geringeren Ermüdung als ME Hell (MW = 0,35, SD = 0,71) und Dunkel (MW = 0,41, SD = 0,87). Diese Unterschiede sind tendenziell ((t(15) = 1,55, p = 0,14) und (t(15) = 1,58, p = 0,14)). Die Parameter der Leuchtdichteumgebung zeigen keinen signifikanten oder tendenziellen Einfluss.

Ermüdung im Raum

Die empfundene Ermüdung bei der jeweiligen Lichtbedingung und Monitoreinstellung ist in Bild 5.30 zu sehen. Es ergibt sich ein tendenzieller Einfluss der Monitoreinstellung ($F(2,30) = 2,85$, $p = 0,07$, $\eta_p^2 = 0,16$), die Effektstärke zeigt, dass die Ermüdung sich je nach Monitoreinstellung in praktisch relevantem Maße unterscheidet. Nach Mittelung der Lichtbedingungen ermüden die Testpersonen bei ME

Dunkel (MW = -0,21, SD = 1,85) signifikant stärker als bei ME Mittel (MW = -0,59, SD = 1,53) (t(15) = 2,42, p = 0,03).

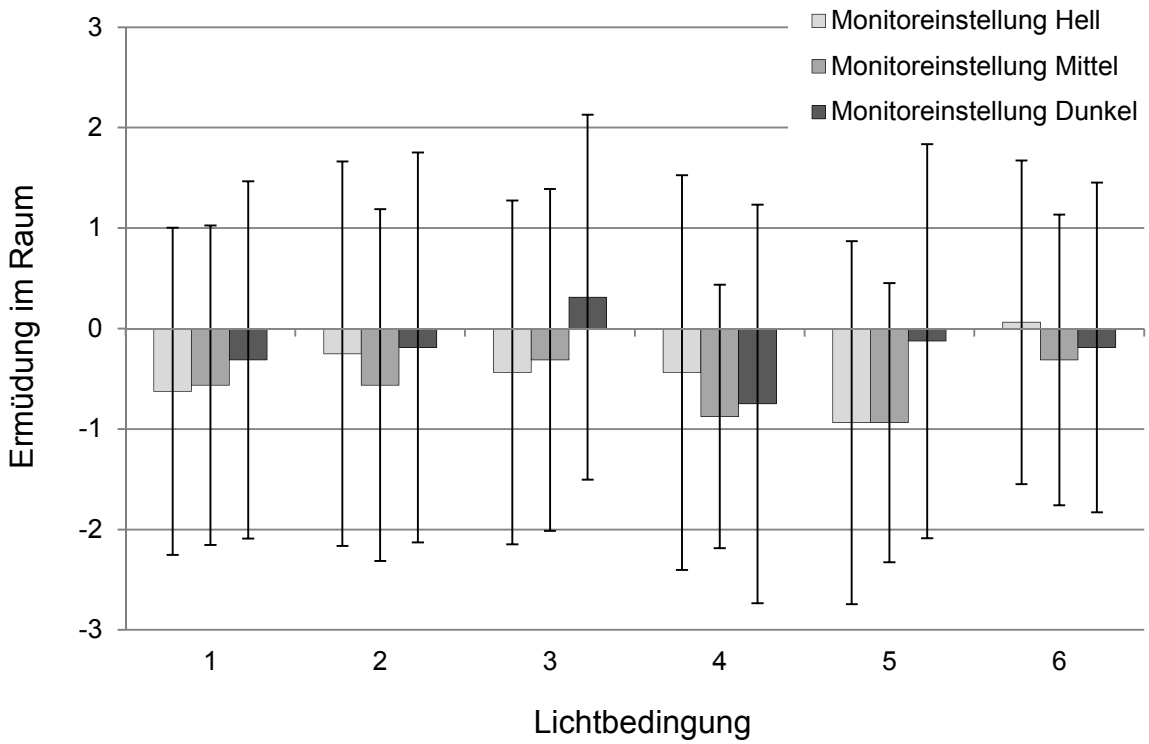


Bild 5.30: Ermüdung im Raum in Abhängigkeit der Leuchtdichteumgebung. Der Fehlerballen stellt die Standardabweichung dar.

Die Parameter der Leuchtdichteumgebung zeigen keinen signifikanten oder tendenziellen Einfluss.

Zusammenfassung der visuellen und allgemeinen Ermüdung

- Eine mittlere Monitorleuchtdichte führt zu geringer Ermüdung. Dies zeigt sich anhand des Nahpunktes der Akkommodation, dem verwendeten Fragebogen zu Seh- und Augenbeschwerden und der Abfrage nach der Ermüdung bei der jeweiligen Lichtbedingung und Monitoreinstellung.
- Die Untersuchung des Nahpunktes der Akkommodation deutet zusätzlich darauf hin, dass bei einem Leuchtdichteverhältnis zwischen Wandabschnitt und Arbeitsflächen von 1/2 die visuelle Ermüdung gering ist.
- Bei Lichtbedingung 2 und 5 ist die visuelle Ermüdung besonders hoch. Dies sind die Lichtbedingungen mit der höchsten und niedrigsten Wandabschnittsleuchtdichte.

- Die Schläfrigkeit verringert sich mit steigender Arbeitsflächen- und Wandabschnittsleuchtdichte, für die Wandabschnittsleuchtdichte dreht sich dieser Trend jedoch um. Dies könnte die Verringerung des selbsteingeschätzten Erfolgs bei der Buchstabenvergleichs-Aufgabe bei der höchsten untersuchten Wandabschnittsleuchtdichte verursachen.

Visuelle Leistungsatmosphäre

Sowohl die Lichtbedingung ($F(5,75) = 1,95$, $p = 0,10$, $\eta_p^2 = 0,12$) als auch die Monitoreinstellung ($F(2,30) = 6,19$, $p < 0,01$, $\eta_p^2 = 0,29$) nehmen tendenziellen beziehungsweise signifikanten Einfluss auf die visuelle Leistungsatmosphäre (Bild 5.31). Die eher hohen Effektstärken bei der Monitoreinstellung und Lichtbedingung deuten auf eine hohe praktische Relevanz der Betrachtung der gesamten Leuchtdichteumgebung hin. Die Zusammenfassung der Monitoreinstellungen zeigt in Bild 5.31, dass LB 5 (MW = 0,36, SD = 1,35) gegenüber den anderen Lichtbedingungen zu einer positiven visuellen Leistungsatmosphäre führt. Gegenüber LB 2 (MW = -0,40, SD = 1,24) ($t(15) = 2,94$, $p = 0,01$) und gegenüber LB 6 (MW = -0,42, SD = 1,30) ($t(15) = 2,45$, $p = 0,03$) ist dieser Unterschied signifikant.

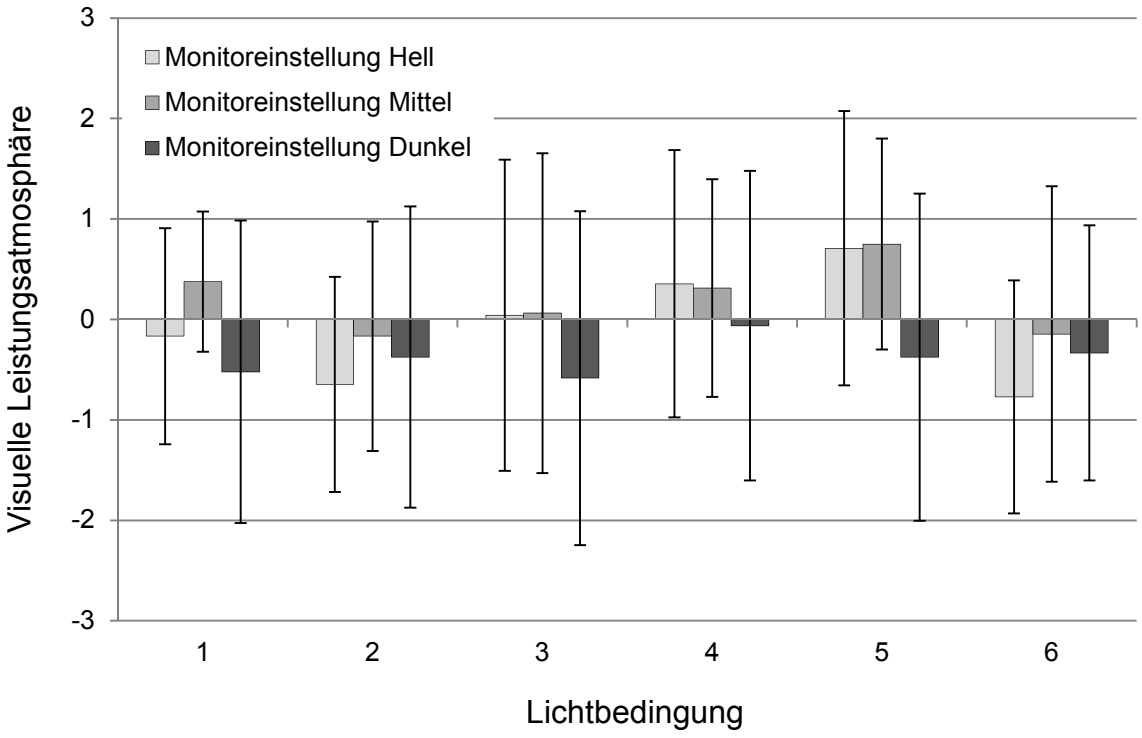


Bild 5.31: Visuelle Leistungsatmosphäre im Raum in Abhängigkeit der Leuchtdichteumgebung. Der Fehlerballen stellt die Standardabweichung dar.

Die Mittelung der Lichtbedingungen ergibt, dass ME Mittel (MW = 0,20, SD = 1,17) gegenüber Hell (MW = -0,08, SD = 1,26) zu einer tendenziell ($t(15) = 1,92$, $p = 0,07$) und gegenüber Dunkel (MW = -0,37, SD = 1,52) zu einer signifikant ($t(15) = 2,73$, $p < 0,01$) positiveren visuellen Leistungsatmosphäre Dunkel führt. Des Weiteren wird die visuelle Leistungsatmosphäre bei ME Hell tendenziell positiver eingeschätzt als bei ME Dunkel ($t(15) = 1,5$, $p = 0,14$).

Die visuelle Leistungsatmosphäre zeigt ebenfalls große Sensibilität gegenüber den Parametern der Leuchtdichteumgebung. So nehmen L_W, L_A, L_M und M/W Einfluss auf die visuelle Leistungsatmosphäre. Der Einfluss von L_W besteht signifikant unter der Berücksichtigung aller LBs ($F(1,16) = 8,30$, $R^2 = 0,34$, $p = 0,01$) und tendenziell unter Ausschluss von LB 2 und LB 6 ($F(1,10) = 2,95$, $R^2 = 0,23$, $p = 0,12$). Mit zunehmender L_W wird die visuelle Leistungsatmosphäre positiver, wie in Bild 5.32 zu sehen.

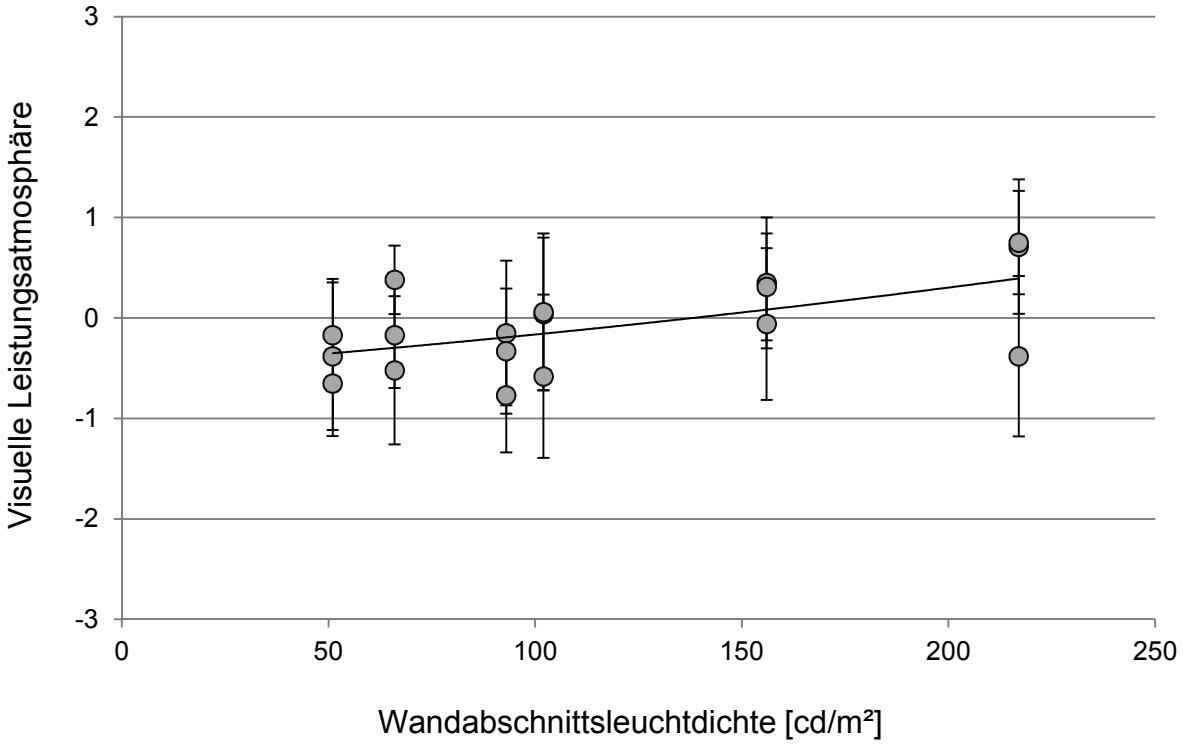


Bild 5.32: Visuelle Leistungsatmosphäre in Abhängigkeit der Wandabschnittsleuchtdichte für alle Lichtbedingungen. Der Fehlerbalken zeigt das 95 % Konfidenzintervall des Mittelwerts.

Auch der Einfluss von L_M besteht tendenziell unter Berücksichtigung aller Lichtbedingungen ($F(2,15) = 3,07$, $R^2 = 0,29$, $p = 0,08$) und signifikant unter Ausschluss

von LB 2 und LB 6 ($F(2,9) = 7{,}04$, $R^2 = 0{,}61$, $p = 0{,}01$), eine mittlere Monitorleuchtdichte führt, wie in Bild 5.33 zu sehen, zu einer positiven visuellen Leistungsatmosphäre.

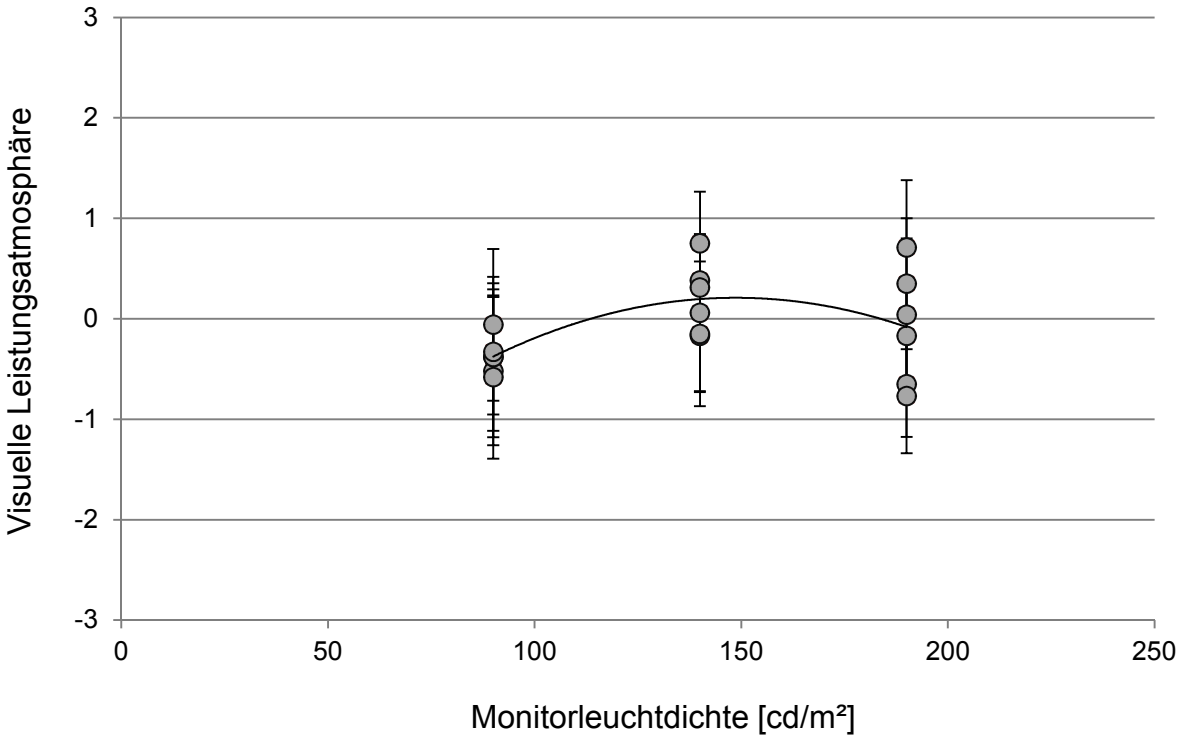


Bild 5.33: Visuelle Leistungsatmosphäre in Abhängigkeit der Monitorleuchtdichte für alle Lichtbedingungen. Der Fehlerbalken zeigt das 95 % Konfidenzintervall des Mittelwerts.

Der tendenzielle Einfluss von L_A ergibt sich unter Ausschluss von LB 2 und LB 6 ($F(1,10) = 2{,}53$, $R^2 = 0{,}20$, $p = 0{,}14$), steigt L_A, so wird auch die visuelle Leistungsatmosphäre positiver, wie in Bild 5.34 zu sehen.

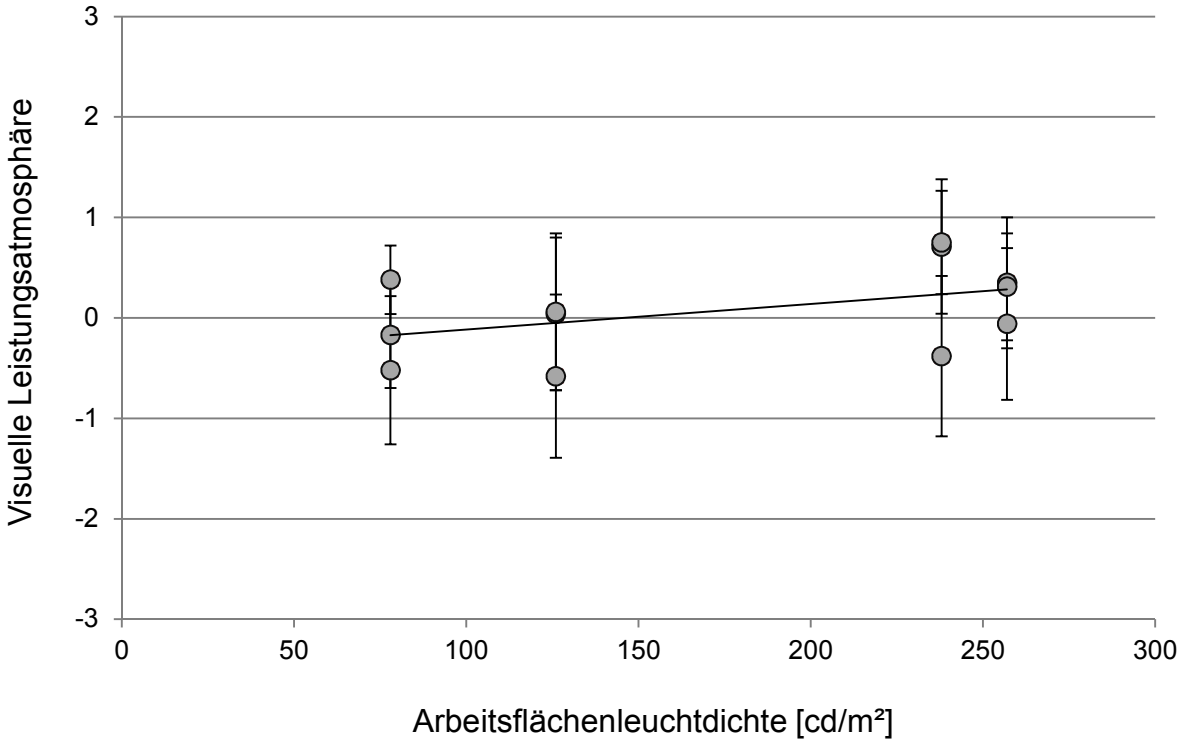


Bild 5.34: Visuelle Leistungsatmosphäre in Abhängigkeit der Arbeitsflächenleuchtdichte bei Ausschluss der Lichtbedingungen 2 und 6. Der Fehlerbalken zeigt das 95 % Konfidenzintervall des Mittelwerts.

M/W zeigt in Bild 5.35 unter Ausschluss von LB 2 und LB 6 tendenziellen Einfluss auf die visuelle Leistungsatmosphäre ($F(2,9) = 2{,}52$, $R^2 = 0{,}36$, $p = 0{,}14$), liegt M/W bei etwa 1,5/1, führt dies zur optimalen visuellen Leistungsatmosphäre.

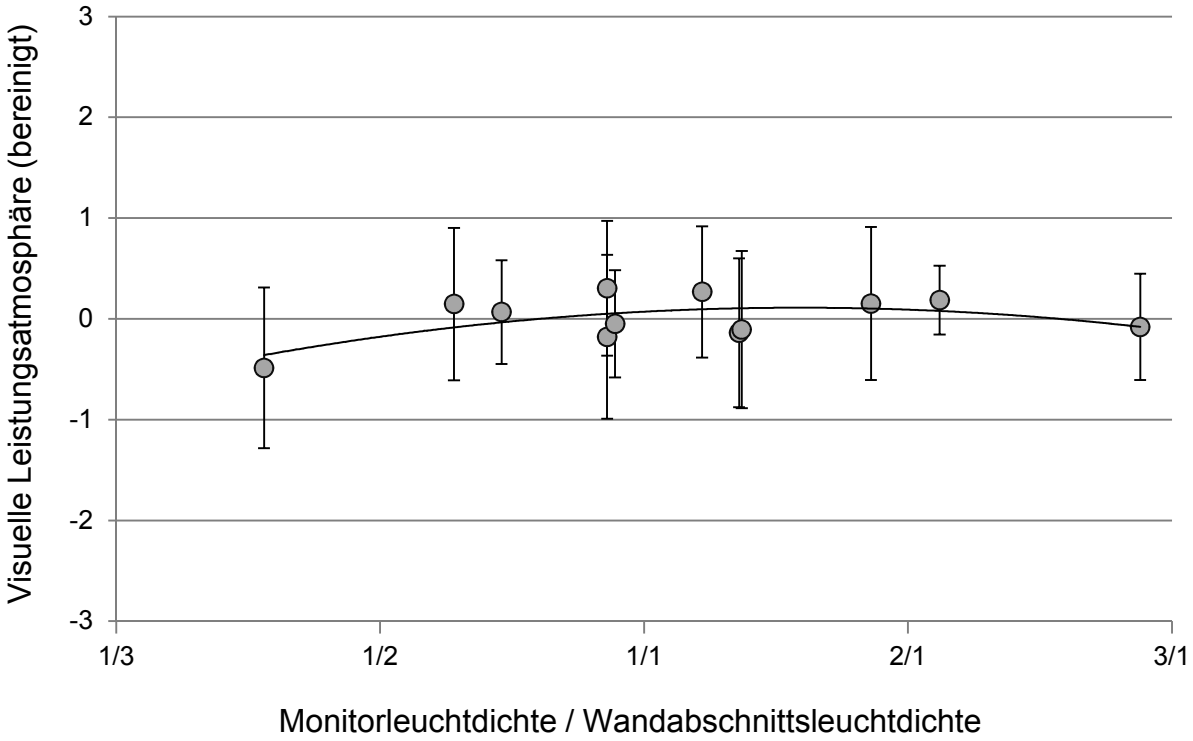


Bild 5.35: Bereinigte visuelle Leistungsatmosphäre in Abhängigkeit des Leuchtdichteverhältnisses zwischen Monitor und Wandabschnitt bei Ausschluss der Lichtbedingungen 2 und 6. Der Fehlerbalken zeigt das 95 % Konfidenzintervall des Mittelwerts.

Zusammenfassung des Empfindens

- Die Helligkeitseinschätzung der verschiedenen Flächen im Raum wird von deren tatsächlicher Leuchtdichte bestimmt.
- Die empfundene Arbeitsflächenhelligkeit ist besonders hoch, wenn das Leuchtdichteverhältnis zwischen Monitor und Arbeitsfläche bei etwa 1/1 liegt.
- Mit steigender Wandabschnitts- und Arbeitsflächenleuchtdichte wird die visuelle Leistungsatmosphäre positiver, dies entspricht den Ergebnissen für die tatsächlich erbrachte Leistung.
- Die visuelle Leistungsatmosphäre ist bei mittlerer Monitoreinstellung am positivsten, die Effektstärke deutet auf eine praktische Relevanz hin.
- Liegt das Leuchtdichteverhältnis zwischen Monitor und Wandabschnitt bei etwa 1,5/1, so ist die visuelle Leistungsatmosphäre besonders positiv.
- Die Testpersonen fühlen sich bei steigender Wandabschnittsleuchtdichte wacher und erregter, dieses Ergebnis unterstützt die Resultate der allgemeinen Ermüdung.

- Als besonders angenehm beschrieben die Testpersonen ihren Zustand bei einem Leuchtdichteverhältnis zwischen Wandabschnitt und Arbeitsfläche von 1/2.
- Liegt das Leuchtdichteverhältnis zwischen Wandabschnitt und Arbeitsfläche bei 1/2, ist die Blendung am geringsten.
- Die Lichtbedingungen 1 bis 5 führen zu keiner Blendung, die Lichtbedingung 6 zu geringer Blendung.
- Ein Anstieg der Monitorleuchtdichte verringerte die Blendung.

5.4. Zusammenfassung

Die Ergebnisse von Studie 1 sollen nach der Zusammenstellung der Kernaussagen anhand der Überprüfung der Teil-Hypothesen aufbereitet werden, zusätzlich wird in einer kritischen Betrachtung auf Durchführung und Ergebnis der Studie eingegangen. Die Kernaussagen können wie folgt zusammengefasst werden:

- Die Leistung bei der Buchstabenvergleichs-Aufgabe und beim Konzentrations-Leistungs-Tests sowie die visuelle Leistungsatmosphäre stiegen bei höheren Leuchtdichten im Raum. Parallel dazu sank die Anstrengung bei der Aufgabenbearbeitung.
- Die Testpersonen fühlten sich bei steigender Wandabschnittsleuchtdichte wacher.
- Zu hohe Wandabschnittsleuchtdichten scheinen einen negativen Einfluss auf den empfundenen Erfolg bei der Aufgabenbearbeitung und die Schläfrigkeit zu haben.
- Die mittlere Monitorleuchtdichte führte zu hoher Leistung bei der Buchstabenvergleichs-Aufgabe, positiver visueller Leistungsatmosphäre und geringer visueller Ermüdung.
- Ein Leuchtdichteverhältnis zwischen Wandabschnitt und Arbeitsfläche von etwa 1/2 führte zu hohem Erfolgsempfinden bei der Buchstabenvergleichs-Aufgabe, geringer Anstrengung und hoher Leistung beim Konzentrations-Leistungs-Test sowie geringer visueller Ermüdung.
- Lag das Leuchtdichteverhältnis zwischen Monitor und Wandabschnitt bei etwa 1,5/1, so ist die visuelle Leistungsatmosphäre besonders positiv.

H1.1: Es lassen sich Indikatoren für Leistung, Ermüdung und Empfinden der Nutzer am Bildschirmarbeitsplatz identifizieren, welche durch die Variation der absoluten und relativen Parameter der Leuchtdichteumgebung beeinflusst werden.

Diese Hypothese konnte bestätigt werden. Auch in moderater bürotypischer Umgebung nahmen Änderungen der Lichtbedingung oder Monitoreinstellung Einfluss auf verschiedene der untersuchten Maße.

Bei der Buchstabenvergleichs-Aufgabe und dem Konzentrations-Leistungs-Test zeigten sowohl die objektiven Maße wie Bearbeitungszeit und Fehler als auch die parallel dazu erfassten Maße des empfundenen Erfolgs und der empfundenen Anstrengung eine Abhängigkeit von Monitoreinstellung, Lichtbedingung und den Parametern der Leuchtdichteumgebung. Sowohl die allgemeine als auch die visuelle Ermüdung wurden von der Leuchtdichteumgebung beeinflusst. Der umfangreiche Fragebogen, der zur Erfassung der visuellen Ermüdung verwendet wurde, kann jedoch auf eine repräsentative Frage reduziert werden. Von großer Wichtigkeit ist insbesondere in Bezug auf die Wissensarbeit die visuelle Leistungsatmosphäre, da sie Motivation und Leistungsengagement des Wissensarbeiters abbilden kann und ein sinnvolles Maß zur Erfassung der leistungsrelevanten Parameter darstellt. Das Maß zeigte eine hohe Beeinflussbarkeit durch die Parameter der Leuchtdichteumgebung.

Generell schien eine Zunahme von L_A und L_W sich positiv auf die Bearbeitungszeit der Buchstabenvergleichs-Aufgabe und des Konzentrations-Leistungs-Tests sowie die visuelle Leistungsatmosphäre auszuwirken. Eine mittlere Monitoreinstellung führte ebenfalls zu einer positiven visuellen Leistungsatmosphäre und auch zu geringer Ermüdung bei der Aufgabenbearbeitung.

H1.2: In Abhängigkeit der Lichtbedingungen wirken sich unterschiedliche Monitoreinstellungen positiv auf Leistung, Ermüdung und Empfinden der Nutzer aus.

Diese Hypothese konnte nur für wenige Maße bestätigt werden. Es ergab sich für die Buchstabenvergleichs-Aufgabe eine Interaktion zwischen Lichtbedingung und Monitoreinstellungen. Für die Lichtbedingungen 5 und 6 stieg die Fehlerzahl bei der dunklen Monitoreinstellung. Bei Lichtbedingung 5 könnte dies der Fall sein, da der Unterschied zwischen Monitor- und Wandabschnittsleuchtdichte besonders

groß ist. Bei Lichtbedingung 6 könnten Blendungserscheinungen eine Rolle spielen, welche durch eine geringe Monitorleuchtdichte noch verstärkt werden. Ähnliches zeigte sich auch beim empfundenen Erfolg bei der Konzentrationsleistung. Hier zeigte sich, dass bei Lichtbedingung 5 die dunkle Monitoreinstellung zu geringerem empfundenen Erfolg führt als die mittlere und die helle Monitoreinstellung.

H1.3: Die Leuchtdichteverhältnisse zwischen Wandabschnitt, Arbeitsfläche und Monitor haben Einfluss auf Leistung, Ermüdung und Empfinden der Nutzer.

Diese Hypothese konnte bestätigt werden. Neben den absoluten Parametern nahmen auch die Leuchtdichteverhältnisse im Gesichtsfeld Einfluss auf die menschliche Wahrnehmung. So führte ein Leuchtdichteverhältnis zwischen Wandabschnitt und Arbeitsfläche von 1/2 zu Erfolgsempfinden bei der Buchstabenvergleichs-Aufgabe und schneller Bearbeitung und geringerer Anstrengung beim Konzentrations-Leistungs-Test. Zusätzlich bestand eine geringere visuelle Ermüdung und die Testpersonen beschrieben ihren Zustand als angenehmer. Das Leuchtdichteverhältnis zwischen Monitor und Wandabschnitt zeigte bei der visuellen Leistungsatmosphäre Einfluss. Lag es bei 1,5/1, so war die visuelle Leistungsatmosphäre besonders positiv.

Kritische Betrachtung

Die Studie konnte grundsätzlich aufzeigen, dass die Betrachtung des kompletten Gesichtsfelds, vereinfacht dargestellt anhand der Flächen Wandabschnitt, Arbeitsfläche und Monitor, sinnvoll ist. Zusätzlich konnten sensible Leistungsmaße und Fragebögen bestimmt werden. Der Aussagefähigkeit der Studie sind jedoch Grenzen gesetzt. Optimale Leuchtdichteverhältnisse im Gesichtsfeld können auf Basis dieser Studie nicht abgeleitet werden. Hierfür wäre eine unabhängige Variation von Wandabschnitts- und Arbeitsflächenleuchtdichte notwendig gewesen. Darüber hinaus ist die Stichprobengröße von 16 Personen sehr gering und die Verwendung zweier, nicht exakt gleicher Arbeitsplätze sowie der Einbezug der optisch nicht gleichen Lichtbedingungen 2 und 6 könnten die Ergebnisse verfälscht haben.

6. Studie 2

In Studie 2 sollte analysiert werden, welche Parameter der Leuchtdichteumgebung einen maßgeblichen Einfluss auf die Nutzer haben und welche Leuchtdichteumgebungen herzustellen sind, um optimale Randbedingungen für die Nutzer zu schaffen. Dazu wurde unter gleichartigen Randbedingungen (nur simuliertes Tageslicht, kein Kunstlicht, kein Fassadenbehang) ein Untersuchungsdesign geschaffen, welches die Quantifizierung der Einflüsse der absoluten und relativen Parameter der Leuchtdichteumgebung auf die relevanten Maße erlaubt.

Das Hauptaugenmerk lag darauf, möglichst viele verschiedene Leuchtdichteumgebungen, welche als Erweiterung zu Studie 1 auch extremerer Natur waren, zu untersuchen. Die Unterschiede zwischen den untersuchten Leuchtdichteumgebungen waren dabei gleichmäßiger. Verwendet wurde eine gegenüber Studie 1 verkürzte Version der Leistungsmaße und Fragebögen, welche diejenigen Maße enthielt, welche sensibel auf die Variation der Umgebung reagiert hatten.

Durch die Teilhypothesen H2.1 und H2.1 wurden die in Kapitel 4.1 übergeordneten Hypothesen H3 und H4 präzisiert und an die experimentelle Vorgehensweise angepasst.

H2.1: Die absoluten Parameter der Leuchtdichteumgebung beeinflussen die Nutzer. Es lassen sich Wertebereiche ableiten, welche einen positiven Einfluss auf Leistung, Ermüdung und Empfinden der Nutzer haben.

H2.2: Die relativen Parameter der Leuchtdichteumgebung beeinflussen die Nutzer. Es lassen sich Wertebereiche ableiten, welche einen positiven Einfluss auf Leistung, Ermüdung und Empfinden der Nutzer haben.

6.1. Durchführung

Die Studie wurde zwischen dem 05.12.12 und dem 29.01.2013 durchgeführt. Es handelte sich erneut um ein Messwiederholungsdesign, jede Testperson durchlief alle Leuchtdichteumgebungen. Nachfolgend werden Randbedingungen wie Räumlichkeiten, Testpersonen, Leuchtdichteumgebungen, verwendete Maße und der Ablauf der Untersuchung beschrieben.

6.1.1. Räumlichkeiten

Die Studie wurde im selben Testraum durchgeführt, in dem auch Studie 1 stattfand. Es wurde ein Arbeitsplatz eingerichtet, dessen Position in Bild 6.1 dargestellt ist. Das umlaufende, schwarze Lautsprecherband wurde im relevanten Bereich mit einem beigen Stoff abgedeckt um eine gleichmäßige Leuchtdichte der Wand zu erhalten.

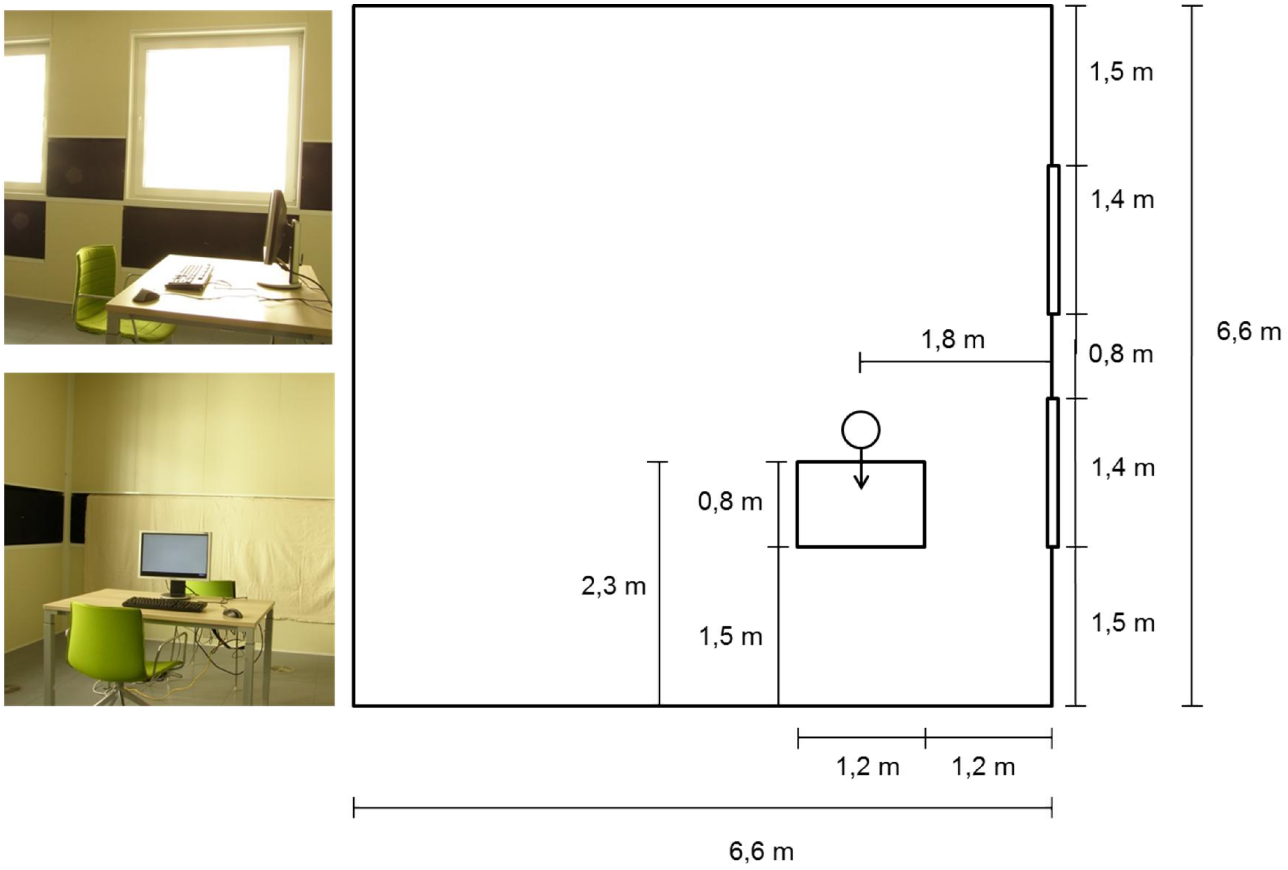


Bild 6.1 Fotographie und schematischer Grundriss des verwendeten Testraums und des dort eingerichteten Arbeitslatzes.

Der Arbeitsplatz war mit Monitor (Samsung Syncmaster 205BW), Maus und Tastatur ausgestattet. Als Rechner wurde ein Laptop verwendet, an den der Monitor angeschlossen war.

6.1.2. Testpersonen

Insgesamt nahmen 36 Testpersonen an der Studie teil, welche über einen Testpersonen-Pool angeworben und für ihren Aufwand bezahlt wurden. Es handelte sich größtenteils um Studenten, die Testpersonenstruktur ist in Tabelle 6.1 dargestellt.

Tabelle 6.1: Übersicht über die teilnehmenden Testpersonen.

Anzahl	Geschlecht		Alter			
	m	w	MW	SD	Median	Spannweite
36	25	11	27,05	4,74	25,5	21 - 40

Um an der Studie teilnehmen zu können, mussten die Testpersonen mindestens eine Sehschärfe von 0,8 aufweisen; dies wurde in einem Vortest mittels der Software „Fract“ ermittelt [63].

6.1.3. Untersuchte Leuchtdichteumgebungen

Die verschiedenen Leuchtdichteumgebungen werden anhand von L_W, L_A und L_M beschrieben, dazu werden zunächst die relevanten Flächen definiert und anschließend die einzelnen Ausprägungen dargestellt.

Flächendefinition

Die Höhe des relevanten Wandausschnittes wurde durch das Band von Loe et al. vorgegeben [108]. Die Breite des relevanten Wandabschnittes wurde auf 3 m festgelegt. Die Fläche ist in Bild 6.2 abgebildet.

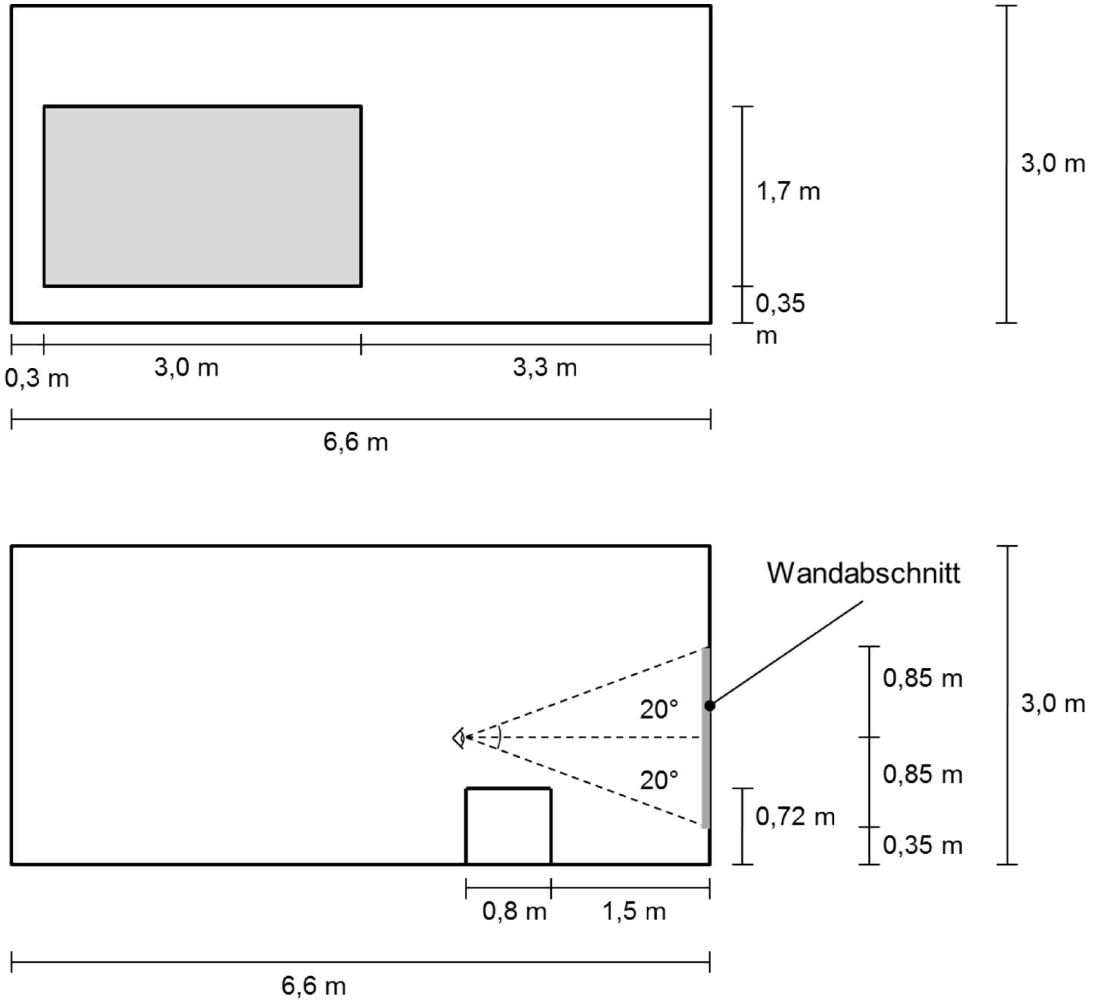


Bild 6.2: Schematische Darstellung der verwendeten Wandabschnittsflächen des eingerichteten Arbeitsplatzes.

Die Arbeitsfläche wurde der Bemaßung der verwendeten Tische angepasst und ist in Bild 6.3 dargestellt.

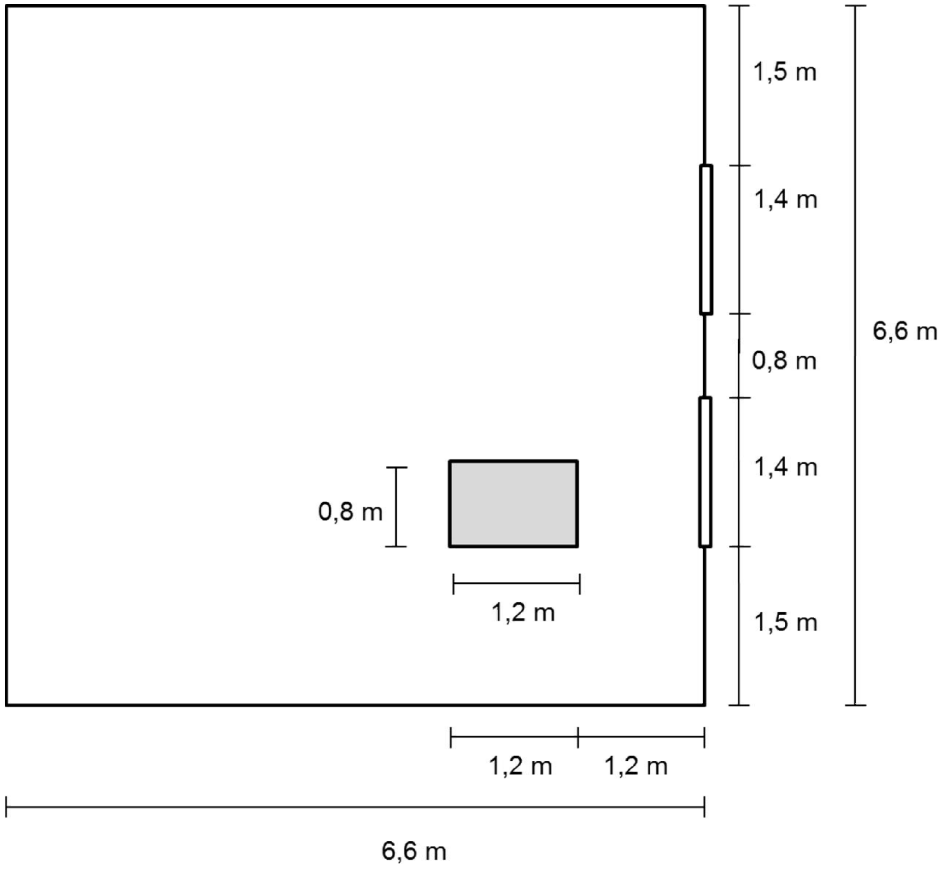


Bild 6.3: Schematische Darstellung der verwendeten Arbeitsflächen des eingerichteten Arbeitsplatzes.

Die Monitorfläche entspricht der in Studie 1 angesetzten Fläche, siehe dazu Kapitel 5.1.3. L_W, L_A und L_M wurden mit der Leuchtdichtekamera vermessen und der Mittelwert der jeweiligen Fläche verwendet.

Lichtbedingungen

Die verwendeten Lichtbedingungen sollten einen größeren Bereich abdecken als in Studie 1. Als Betrachtungsbereich wurden für L_W 50 cd/m^2 bis 400 cd/m^2 und für L_A 100 cd/m^2 bis 450 cd/m^2 festgelegt. Damit wurden extremere Leuchtdichten betrachtet und häufig vorkommenden Tageslichtsituationen berücksichtigt, siehe dazu Tabelle 5.2. Die Variation von L_W und L_A erfolgte in jeweils sechs Stufen, welche in den folgenden Ausprägungen festgelegt wurden:

L_W : 50 cd/m^2, 100 cd/m^2, 150 cd/m^2, 200 cd/m^2, 300 cd/m^2 und 400 cd/m^2
L_A : 100 cd/m^2, 150 cd/m^2, 200 cd/m^2, 300 cd/m^2, 400 cd/m^2, und 450 cd/m^2

Für ein vollständiges Design hätten 36 verschiedene Lichtbedingungen untersucht werden müssen. Aufgrund der Lichtverteilung der Lichtwand waren der Realisierung großer Unterschiede zwischen L_W und L_A Grenzen gesetzt. Ein komplettes Versuchsdesign hätte zusätzlich zu einem hohen Zeitaufwand der Testpersonen geführt. Wegen diesen Einschränkungen wurde die betrachteten Lichtbedingungen auf 18 in Tabelle 6.2 dargestellten Kombinationen eingeschränkt. Aufgrund einer im Vergleich zu Studie 1 variierten Folie auf der Lichtwand ergab sich im Raum eine Farbtemperatur von 4200 K.

Tabelle 6.2: Darstellung und Nummerierung der gewählten Lichtbedingungen.

Leuchtdichte L_A [cd/m^2]	**Leuchtdichte L_W [cd/m^2]**					
	50	**100**	**150**	**200**	**300**	**400**
100	LB 1	LB 2		LB 3		
150	LB 4		LB 5		LB 6	
200	LB 7	LB 8		LB 9		LB 10
300	LB 11	LB 12	LB 13		LB 14	
400		LB 15		LB 16		LB 17
450			LB 18			

Die bestmögliche Anpassung der Testraumsituation an die gewählten Lichtbedingungen ist in Anhang D dargestellt.

Monitoreinstellungen

Innerhalb jeder Lichtbedingung wurden erneut drei Monitoreinstellungen getestet. Die Variation des Monitors fand in einem ähnlichen Bereich wie in Studie 1 statt. Da nur ein Monitor verwendet wurde, konnte die obere Grenze des Untersuchungsbereichs bei 200 cd/m^2 angesetzt werden, die Einstellungen sind in Tabelle 6.3 zu sehen. Die dargestellten L_Ms wurden im dunklen Raum erreicht

Tabelle 6.3: Übersicht über die verwendeten Monitoreinstellungen.

ME	Leuchtdichte [cd/m^2]
Hell	200
Mittel	150
Dunkel	100

Zusammenfassung der 54 Leuchtdichteumgebungen

In Tabelle 6.4 sind die resultierenden 54 Leuchtdichteumgebungen dargestellt. Analog zu Studie 1 werden die Leuchtdichteverhältnisse derart umcodiert, dass die Abstände zwischen den einzelnen Leuchtdichteverhältnissen der Wahrnehmung der Nutzer entsprechen. Die Leuchtdichteverteilungen der einzelnen Lichtbedingungen sind im Anhang D dargestellt.

Tabelle 6.4: Zusammenfassung der 54 realisierten Leuchtdichteumgebungen.

Bedingung		Absolute Leuchtdichten [cd/m^2]			Verhältnisse (mathematisch und physiologisch)						
LB	ME	L_W	L_A	L_M	W/A math.	W/A phys.	M/W math.	M/W phys.	M/A math.	M/A phys.	Max/ Min
1	Dunkel	52	102	100	0,51	0,04	1,92	1,92	0,98	0,98	1,96
1	Mittel	52	102	150	0,51	0,04	2,88	2,88	1,47	1,47	2,88
1	Hell	52	102	200	0,51	0,04	3,85	3,85	1,96	1,96	3,85
2	Dunkel	96	100	100	0,96	0,96	1,04	1,04	1,00	1,00	1,04
2	Mittel	96	100	150	0,96	0,96	1,56	1,56	1,50	1,50	1,56
2	Hell	96	100	200	0,96	0,96	2,08	2,08	2,00	2,00	2,08
3	Dunkel	198	115	100	1,72	1,72	0,51	0,04	0,87	0,85	1,98
3	Mittel	198	115	150	1,72	1,72	0,76	0,68	1,30	1,30	1,72
3	Hell	198	115	200	1,72	1,72	1,01	1,01	1,74	1,74	1,74
4	Dunkel	51	154	100	0,33	-1,03	1,96	1,96	0,65	0,46	3,02
4	Mittel	51	154	150	0,33	-1,03	2,94	2,94	0,97	0,97	3,02
4	Hell	51	154	200	0,33	-1,03	3,92	3,92	1,30	1,30	3,92
5	Dunkel	151	157	100	0,96	0,96	0,66	0,48	0,64	0,44	1,57
5	Mittel	151	157	150	0,96	0,96	0,99	0,99	0,96	0,96	1,05
5	Hell	151	157	200	0,96	0,96	1,32	1,32	1,27	1,27	1,32
6	Dunkel	302	179	100	1,69	1,69	0,33	-1,03	0,56	0,21	3,02

6	Mittel	302	179	150	1,69	1,69	0,5	0,00	0,84	0,81	2,01
6	Hell	302	179	200	1,69	1,69	0,66	0,48	1,12	1,12	1,69
7	Dunkel	58	204	100	0,28	-1,57	1,72	1,72	0,49	-0,04	3,52
7	Mittel	58	204	150	0,28	-1,57	2,59	2,59	0,74	0,65	3,52
7	Hell	58	204	200	0,28	-1,57	3,45	3,45	0,98	0,98	3,52
8	Dunkel	95	205	100	0,46	-0,17	1,05	1,05	0,49	-0,04	2,16
8	Mittel	95	205	150	0,46	-0,17	1,58	1,58	0,73	0,63	2,16
8	Hell	95	205	200	0,46	-0,17	2,11	2,11	0,98	0,98	2,16
9	Dunkel	198	204	100	0,97	0,97	0,51	0,04	0,49	-0,04	2,04
9	Mittel	198	204	150	0,97	0,97	0,76	0,68	0,74	0,65	1,36
9	Hell	198	204	200	0,97	0,97	1,01	1,01	0,98	0,98	1,03
10	Dunkel	399	239	100	1,67	1,67	0,25	-2,00	0,42	-0,38	3,99
10	Mittel	399	239	150	1,67	1,67	0,38	-0,63	0,63	0,41	2,66
10	Hell	399	239	200	1,67	1,67	0,50	0,00	0,84	0,81	2,00
11	Dunkel	81	301	100	0,27	-1,7	1,23	1,23	0,33	-1,03	3,72
11	Mittel	81	301	150	0,27	-1,7	1,85	1,85	0,50	0,00	3,72
11	Hell	81	301	200	0,27	-1,7	2,47	2,47	0,66	0,48	3,72
12	Dunkel	115	300	100	0,38	-0,63	0,87	0,85	0,33	-1,03	3,00
12	Mittel	115	300	150	0,38	-0,63	1,30	1,30	0,50	0,00	2,61
12	Hell	115	300	200	0,38	-0,63	1,74	1,74	0,67	0,51	2,61
13	Dunkel	154	300	100	0,51	0,04	0,65	0,46	0,33	-1,03	3,00
13	Mittel	154	300	150	0,51	0,04	0,97	0,97	0,50	0,00	2,00
13	Hell	154	300	200	0,51	0,04	1,30	1,30	0,67	0,51	1,95
14	Dunkel	299	309	100	0,97	0,97	0,33	-1,03	0,32	-1,13	3,09
14	Mittel	299	309	150	0,97	0,97	0,50	0,00	0,49	-0,04	2,06
14	Hell	299	309	200	0,97	0,97	0,67	0,51	0,65	0,46	1,55
15	Dunkel	127	405	100	0,31	-1,23	0,79	0,73	0,25	-2,00	4,05
15	Mittel	127	405	150	0,31	-1,23	1,18	1,18	0,37	-0,70	3,19
15	Hell	127	405	200	0,31	-1,23	1,57	1,57	0,49	-0,04	3,19
16	Dunkel	213	409	100	0,52	0,08	0,47	-0,13	0,24	-2,17	4,09
16	Mittel	213	409	150	0,52	0,08	0,70	0,57	0,37	-0,70	2,73
16	Hell	213	409	200	0,52	0,08	0,94	0,94	0,49	-0,04	2,05
17	Dunkel	401	405	100	0,99	0,99	0,25	-2,00	0,25	-2,00	4,05
17	Mittel	401	405	150	0,99	0,99	0,37	-0,70	0,37	-0,70	2,70
17	Hell	401	405	200	0,99	0,99	0,50	0,00	0,49	-0,04	2,03
18	Dunkel	164	459	100	0,36	-0,78	0,61	0,36	0,22	-2,55	4,59
18	Mittel	164	459	150	0,36	-0,78	0,91	0,90	0,33	-1,03	3,06
18	Hell	164	459	200	0,36	-0,78	1,22	1,22	0,44	-0,27	2,80

6.1.4. Verwendete Indikatoren zu Leistung, Ermüdung und Empfinden

Es wurde eine teilweise abgewandelte Auswahl der bereits in Studie 1 eingesetzten Maße verwendet. Aufgrund des eng getakteten Durchführungsplans der Studie 2 war eine ähnliche Bearbeitungszeit unter den Testpersonen wichtig. Deswegen wurden die verwendeten Leistungsmaße derart umgewandelt, dass innerhalb einer vorgegebenen Zeit möglichst viele Teilaufgaben bearbeitet werden sollten.

Buchstabenvergleichs-Aufgabe

Die BVA wurde erneut sowohl auf Papier (weißes Papier, schwarze Schrift, A5-Blatt, Schriftgröße 5,5, Arial) als auch auf dem Monitor präsentiert, um die Adaption des Auges zwischen zwei verschiedenen Flächen zu fordern. 25 Buchstabenkombinationen wurden den Testpersonen für 75 Sekunden auf dem Monitor präsentiert. In dieser Zeit verglichen die Testpersonen möglichst viele der auf dem Monitor erscheinenden Buchstaben mit einem gedruckten Blatt auf der Arbeitsfläche. Als Leistungsmaß wurden die Gesamtzahl und die Zahl der falsch bearbeiteten Teilaufgaben herangezogen.

Konzentrations-Leistungs-Test

18 Teilaufgaben des KLT wurden den Testpersonen für 60 Sekunden auf dem Monitor präsentiert, in dieser Zeit sollten so viele Lösungen wie möglich in ein passendes Formblatt eingetragen werden. Als Leistungsmaß wurden die Gesamtzahl und die Zahl der falsch bearbeiteten Teilaufgaben herangezogen.

Subjektive Einschätzung zur Aufgabenbearbeitung

Sowohl nach der BVA als auch nach dem KLT wurden die Testpersonen, in einer gegenüber Studie 1 verkürzten Variante, nach ihrer Einschätzung der Aufgabenbearbeitung gefragt. Die Testpersonen gaben ihre Einschätzung mittels einer 7-stufigen Skala von „Trifft voll und ganz zu“ bis „Trifft überhaupt nicht zu“ zu den folgenden Aussagen ab:

- Die Aufgabe war geistig anstrengend für mich.
- Die Aufgabe habe ich erfolgreich abgeschlossen.
- Ich war motiviert während der Bearbeitung der Aufgabe.
- Die Aufgabe war schwierig für mich.

Visuelle Ermüdung

Mit zwei Items wurden die aktuelle und hypothetische (nach halbstündlicher Belastung) visuelle Ermüdung abgefragt. Die Testpersonen gaben ihre Einschätzung mittels einer 7-stufigen Skala von „Trifft voll und ganz zu“ bis „Trifft überhaupt nicht zu“ zu den folgenden Aussagen ab:

- Das Arbeiten unter diesen Bedingungen hat meine Augen ermüdet.
- Bitte geben Sie an, wie sehr diese Aussage nach einer halbstündigen Bearbeitung auf Sie zutreffen würde: Das Arbeiten unter diesen Bedingungen hat meine Augen ermüdet.

Raumwirkung

Als zusätzliche Variable wurde die Raumwirkung mit zwei Items abgefragt. Die Testpersonen sollten die Raumsituation anhand der gegensätzlichen Adjektivpaare „hell - dunkel“ und „fröhlich - trist“ auf einer 7-stufigen Skala bewerten. Diese Items hatten in einer parallel zu Studie 1 laufenden Untersuchung Sensibilität gegenüber der Variation der Leuchtdichteumgebung gezeigt [42].

Helligkeitseinschätzung

Die Testpersonen bewerteten die Flächen Wand, Arbeitsfläche und Monitor bezüglich ihre Helligkeit auf einer 7-stufigen Skala von „viel zu dunkel“ bis „viel zu hell“.

Visuelle Leistungsatmosphäre

Die Fragen zur visuellen Leistungsatmosphäre des Raumes sowie die Frage nach der Ermüdung im Raum wurden erneut verwendet. Die Testpersonen bewerteten den Raum auf einer 7-stufigen Skala von „trifft überhaupt nicht zu“ bis „trifft voll und ganz zu“ und schätzen ein wie sehr die folgenden Eigenschaften zutrafen:

- Die momentane Kombination von Licht im Raum und Bildschirmhelligkeit hat meine Motivation gesteigert.
- Die momentane Kombination von Licht im Raum und Bildschirmhelligkeit hat meine Leistung gesteigert.

- Die momentane Kombination von Licht im Raum und Bildschirmhelligkeit hat mich ermüdet.
- Ich würde bei der momentanen Kombination von Licht im Raum und Bildschirmhelligkeit gerne weiterarbeiten.

6.1.5. Zeitlicher Ablauf

Die 54 zu untersuchenden Leuchtdichteumgebungen wurden auf zwei aufeinander folgende Tage verteilt. An jedem Tag wurden neun Lichtbedingungen (27 Leuchtdichteumgebungen) getestet. Um Reihenfolgeeffekte der Lichtbedingungen und Monitoreinstellungen auszuschließen, wurde die zeitliche Abfolge randomisiert. Die Randomisierung ist in Anhang D dargestellt.

Der Versuch fand in Einzelsitzungen statt, pro Tag wurden vier Durchläufe angeboten. Die Testpersonen füllten zunächst einen allgemeinen Fragebogen aus, der auch in Studie 1 verwendet wurde (siehe Anhang B), anschließend wurde ihre Sehschärfe ermittelt. Zu Beginn der Studie wurden die beiden verwendeten Aufgabentypen in einer Trainingseinheit vorgestellt, um Übungseffekte zu minimieren und den Testpersonen Gelegenheit zu geben, sich an die Testumgebung zu gewöhnen. Danach wurden neun Lichtbedingungen durchgetestet. Der genaue Ablauf ist Tabelle 6.5 zu entnehmen.

Tabelle 6.5: Zeitlicher Ablauf und Reihenfolge der Leistungstest und Abfragen für einen Tag.

LB	ME	Maß
1	Hell	BVA
		Subjektive Einschätzung BVA
		KLT
		Subjektive Einschätzung KLT
		Visuelle Ermüdung Raumwirkung Flächenbewertung Visuelle Leistungsatmosphäre
	Mittel	… siehe ME „Hell“
	Dunkel	… siehe ME „Hell“
Pause		
2	… siehe LB 1	
Pause		
3	… siehe LB 1	
Pause		
4	… siehe LB 1	
Pause		
5	… siehe LB 1	
Pause		
6	… siehe LB 1	
Pause		
7	… siehe LB 1	
Pause		
8	… siehe LB 1	
Pause		
9	… siehe LB 1	

6.2. Auswertung

Um die eingangs formulierten Hypothesen zu überprüfen und die vorliegenden Daten für einen Algorithmus aufzubereiten, wurden verschiedene statistischen Ver-

fahren herangezogen. Datenreduktion, Varianzanalyse und Regressionsanalyse wurden bereits in Studie 1 dargestellt. Der Schwerpunkt der nachfolgenden Auswertung liegt auf der Regressionsanalyse, mit der der Einfluss der verschiedenen Parameter der Leuchtdichteumgebung quantifiziert wird und Optimal-Bedingungen abgeleitet werden. Die Varianzanalyse dient vor allem der Einschätzung des Einflusses der Monitorleuchtdichte.

Reduktion der betrachteten Maße

Vor der Auswertung der Daten sollte eine Reduktion der erfassten Maße erfolgen; diese ist in Anhang E dargestellt. Die betrachteten Maße wurden nach der Analyse ihrer Faktorenstruktur zusammengefasst. Dabei zeigte sich, dass auch die visuelle Ermüdung ein Teil der visuellen Leistungsatmosphäre darstellt. Mit einer ersten Regressionsanalyse wurde der Einfluss der Parameter der Leuchtdichteumgebung auf die reduzierten Faktoren bestimmt damit das Potential der Faktoren für eine weitere Auswertung hin überprüft. Für die weitere Analyse wurden die in Tabelle 6.6 dargestellten Maße herangezogen.

Tabelle 6.6: Faktoren und Einzelmaße, welche zur weiteren Betrachtung herangezogen werden.

Faktor / Einzelmaß	Cronbachs Alpha	Zusammensetzung
Visuelle Leistungs-atmosphäre	0,97	Visuelle Leistungsatmosphäre Ermüdung, Visuelle Leistungsatmosphäre Weiterarbeiten, Visuelle Leistungsatmosphäre Leistungsförderung, Visuelle Leistungsatmosphäre Motivation, visuelle Ermüdung und hypothetische visuelle Ermüdung
Anstrengung bei Aufgabenbearbeitung	0,84	KLT Schwierigkeiten, BVA geistige Anstrengung, BVA Schwierigkeiten, KLT Erfolg, KLT geistige Anstrengung
Motivation bei Aufgabenbearbeitung	0,63	KLT Motivation, BVA Erfolg, BVA Motivation
Anzahl der bearbeiteten Teilaufgaben des Konzentrations-Leistungs-Tests	-	-

Datenaufbereitung zur Regression

Wie in Studie 1 wurden zunächst die Daten für die Durchführung der Regression aufbereitet. Dies umfasst die Änderung der Datengrundlage von Personenbasis auf Leuchtdichteumgebungsbasis, das Auspartialisieren störender Einflüsse und das Anpassen der Datengrundlage für die Untersuchung der Einflüsse der Parameter der Leuchtdichteumgebung.

Datenaufbereitung zur Regression: Mittelwert der Testpersonen

Da die Analyseeinheit der vorliegenden Studie nicht die Testpersonen sind, sondern die Leuchtdichteumgebungen, wurde, analog zu Studie 1, zunächst der Intraklassenkoeffizient der 36 Testpersonen ermittelt, er lag bei 0,83. Die Daten der Testpersonen konnten gemittelt werden um deren Varianz zu eliminieren. In die Regressionsanalyse geht für jede der 54 Leuchtdichteumgebungen nur noch ein Mittelwert der 36 Einzelurteile ein.

Datenaufbereitung zur Regression: Auspartialisierung der Parameter der Leuchtdichteumgebung

Wie in Studie 1 wurde das Verfahren der Auspartialisierung herangezogen, um die Zusammenhänge zwischen einzelnen Parametern der Leuchtdichteumgebung und den untersuchten Maßen in bereinigter Form betrachten zu können, siehe dazu Kapitel 5.2.1. Als Erweiterung wurde die Auspartialisierung nicht nur zur bereinigten Betrachtung der Einflüsse der relativen Parameter der Leuchtdichteumgebung angewendet. Zusätzlich wurden beim Überprüfen der Einflüsse der absoluten Parameter der Leuchtdichteumgebung L_W und L_A auf die Zielmaßen die übrigen absoluten Parameter (L_A und L_M beziehungsweise L_W und L_M) auspartialisiert. Dies sollte verhindern, dass zu überprüfende Zusammenhänge durch andere systematische Zusammenhänge, wie beispielsweise die generelle Ablehnung einer zu dunklen Monitoreinstellung, verfälscht und nicht entdeckt werden. Zusätzlich besteht versuchstechnisch eine Korrelation ($R^2 = 0{,}32$, $p = 0{,}02$) zwischen L_A und L_W welche eine Auspartialisierung der jeweils anderen Größe ebenfalls anrät. In Tabelle 6.7 sind die für die verschiedenen Zusammenhänge auszupartialisierenden Parameter zusammengestellt.

Tabelle 6.7: Übersicht über die auszupartialisierenden Parameter für die verschiedenen zu untersuchenden Einflüsse.

Untersuchter Einfluss	Auszupartialisierende Leuchtdichten		
	L_W	L_A	L_M
L_W → Zielmaß		X	X
L_A → Zielmaß	X		X
W/A → Zielmaß	X	X	X
M/W → Zielmaß	X	X	X
M/A → Zielmaß	X	X	X
Max/Min → Zielmaß	X	X	X

Datenaufbereitung zur Regression: Zusätzliche Auspartialisierung der untersuchten Maße

Neben den physikalischen Parametern können auch die übrigen erhobenen Maße den Zusammenhang zwischen Einflussparameter und Zielmaß verfälschen. Daher wurde die Methode der Auspartialisierung auf die übrigen erhobenen Maße ausgeweitet. Für eine mögliche Auspartialisierung wurden nur die Maße herangezogen, welche die folgenden Bedingungen erfüllen:

- Bedingung 1: Maß ist nicht Teil des Zielmaßes (Einzelmaße innerhalb eines Faktors haben eine starke Abhängigkeit voneinander).
- Bedingung 2: Maß zeigt keine Abhängigkeit vom Einflussparameter (es könnte eine Scheinkorrelation entstehen, welche auf den Einfluss des Einflussparameters zurückzuführen ist, der zu untersuchende Zusammenhang würde somit im Vorfeld auspartialisiert werden).

Zur Überprüfung der Bedingung 2 wurden die Maße herangezogen, welche bereits um den Einfluss der übrigen physikalischen Größen bereinigt waren (Beispiel: Bei der Überprüfung des Zusammenhangs zwischen L_W und der visuellen Leistungsatmosphäre wurde die um den Einfluss von L_A und L_M bereinigte visuelle Leistungsatmosphäre auf die Beeinflussung durch andere abgefragte Maße geprüft).

Tabelle 6.8 zeigt welche Beeinflussungen zwischen den Parametern der Leuchtdichteumgebung und den untersuchten Maßen bestanden. Die mit einem

Minus gekennzeichneten Kombinationen zeigen keinen Zusammenhang auf und standen zur möglichen Auspartialisierung nach Bedingung 2 zu Verfügung.

Tabelle 6.8: Übersicht über die Zusammenhänge zwischen Einzelitems und Parametern der Leuchtdichteumgebung zur Überprüfung der Bedingung 2.

Zu untersuchendes Maß	Parameter der Leuchtdichteumgebung						
	L_W	L_A	L_M	W/A	M/W	M/A	Max/ Min
Anzahl bearbeitet. BVA-Teilaufgaben	X	X	X	-	X	-	X
Anzahl Fehler bei BVA	-	-	-	-	-	-	-
Geist. Anstrengung bei BVA	X	-		-	-	-	-
Motivation bei BVA	-	-	-	-	-	-	-
Schwierigkeiten bei BVA	X	X	X	-	-	-	X
Empf. Erfolg bei BVA	X	X	-	-	-	X	X
Anzahl bearbeiteter KLT-Teilaufgaben	X	-	-	-	X	-	X
Anzahl Fehler bei KLT	-	-	-	X	-	-	-
Geist. Anstrengung bei KLT	X	-	-	X	X	-	X
Motivation bei KLT	-	X	X	-	-	X	-
Schwierigkeiten bei KLT	X		-	-	X	-	-
Empf. Erfolg bei KLT	X	-	-	-	X	-	-
Visuelle Ermüdung	X	-	-	-	-	-	-
Hypothetische visuelle Ermüdung	-	-	-	-	X	-	-
Vis. Leistungsatmosphäre Ermüdung	X	-	-	-	X	-	X
Vis. Leistungsatmosphäre Leistung	X	-	-	-	X	-	-
Vis. Leistungsatmosphäre Motivation	X	-	-	X	X	-	X
Vis. Leistungsatm. Weiterarbeiten	X	X	-	X	X	-	X
Helligkeitswahrnehmung Wand	X	-	-	X	X	X	X
Helligkeitswahrnehmung Schreibtisch	-	-	-	-	-	-	X
Helligkeitswahrnehmung Monitor	X	-	-	-	-	-	-
Fröhlich-trist	X	-	X	X	-	-	-
Hell-dunkel	X	-	X	X	-	-	-

Datenaufbereitung zur Regression: Datengrundlage bei M/W, M/A

Als Datenbasis wurde für die Parameter L_W, L_A, L_M, W/A und Max/Min die Gesamtzahl der vorliegenden Leuchtdichteumgebungen herangezogen. Für die Parameter M/W und M/A wurden Leuchtdichteumgebungen ausgeschlossen bei denen L_W

über 250 cd/m^2 (für M/W) beziehungsweise L_A über 250 cd/m^2 (für M/A) lag, da die unterschiedlichen untersuchten Bereiche von L_W (50 cd/m^2 bis 400 cd/m^2), L_A (100 cd/m^2 bis 450 cd/m^2) und L_M (100 cd/m^2 bis 200 cd/m^2) zu einer Verfälschung der Analyseergebnisse führen könnten. Durch den Ausschluss lagen die untersuchten Bereiche aller Parameter in einem ähnlichen Bereich. Die Datenbasis für die folgenden Analysen ist in Tabelle 6.9 zusammengestellt.

Tabelle 6.9: Darstellung der nachfolgend verwendeten Datenbasis für die Parameter der Leuchtdichteumgebung.

Parameter der Leuchtdichteumgebung	**Datenbasis**		
	alle LUs	**L_W < 250 cd/m^2**	**L_A <250 cd/m^2**
L_W	x		
L_A	x		
W/A	x		
M/W		x	
M/A			x
Max/Min	x		

Betrachtungsreihenfolge der Parameter der Leuchtdichteumgebung

Die Betrachtungsreihenfolge der Parameter der Leuchtdichteumgebung sollte hinsichtlich der praktischen Anwendung in einem Algorithmus zur Steuerung der Leuchtdichteumgebung gewählt werden. Als Größen des Raumes wurden zunächst L_W und L_A analysiert und festgestellt, welche der Flächen den maßgeblichen Einfluss hat. Darauf aufbauend wurde W/A betrachtet. Anhand des dabei festgestellten Optimums kann die in der Analyse von L_W und L_A schwächer beeinflussende Fläche an die maßgebliche Fläche angepasst werden. Anschließend wurden die Parameter M/W und M/A auf ihren Einfluss hin untersucht. Je nach maßgeblichem Parameter, kann die Monitorleuchtdichte anhand L_W oder L_A geregelt werden. In einer weiteren Analyse wurde zusätzlich Max/Min auf einen möglichen Einfluss hin untersucht.

Unsicherheitsbereich

Die nachfolgend berechneten Optima verfügen über einen gewissen Unsicherheitsbereich. Dieser wird für jedes Optimum angegeben und über die Standardab-

weichung der Ausprägung der Maße bestimmt, das Vorgehen ist in Bild 6.4 zu sehen.

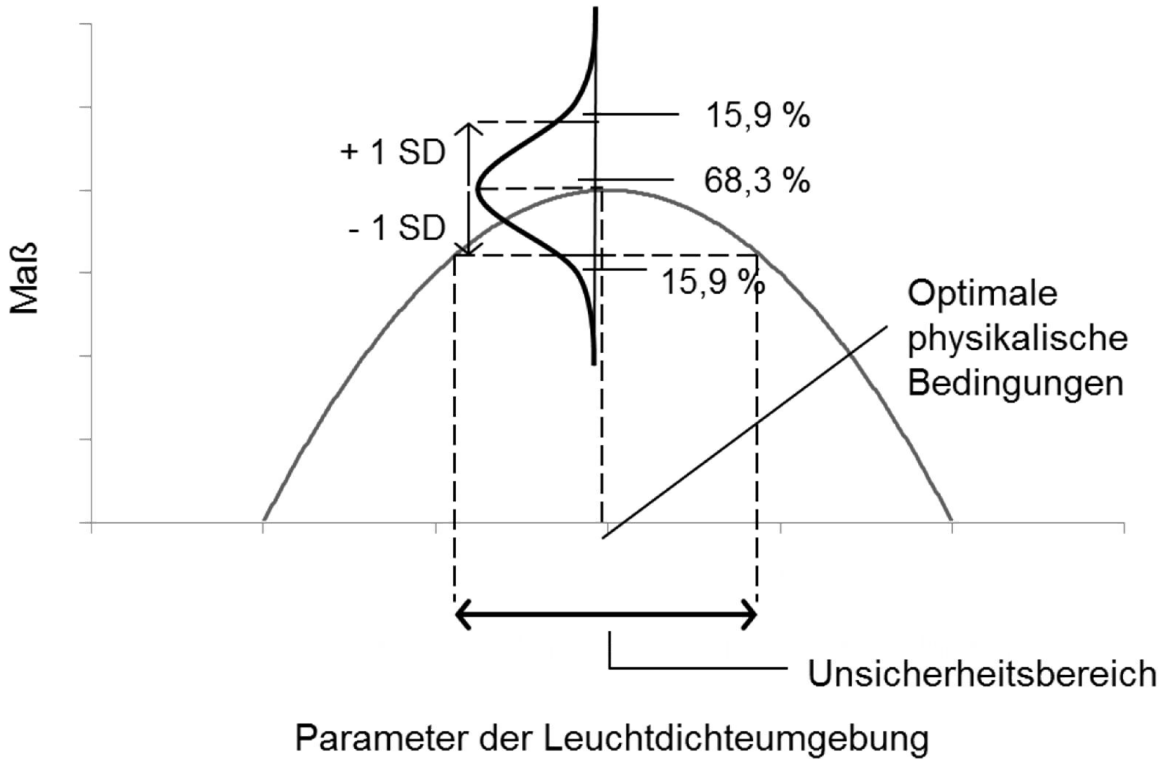


Bild 6.4: Darstellung der Ermittlung des Unsicherheitsbereichs um die errechneten Optima.

Zunächst wird die optimale Ausprägung des Maßes für die optimalen Werte der Parameter der Leuchtdichteumgebung berechnet. Von diesem Wert wird die Standardabweichung des Maßes abgezogen. Für das um eine Standardabweichung reduzierte Maß werden die dazugehörigen Werte der Parameter der Leuchtdichteumgebung berechnet. Sie ergeben den physikalischen Unsicherheitsbereich.

Innerhalb einer Standardabweichung über und unter dem ermittelten optimalen Wert liegen 68,26 % der Einzelwerte, welche zum Mittelwert führen. Darüber und darunter liegen jeweils 15,87 % der Einzelwerte. Es kann also davon ausgegangen werden das mit einer Wahrscheinlichkeit von 84,13 % (68,26 % + 15,87 %) die Leuchtdichten außerhalb des Unsicherheitsbereichs zu einer negativeren Ausprägung des untersuchten Maßes führen als bei optimaler Leuchtdichteumgebung [140].

6.3. Ergebnisse der Regressions- und Varianzanalyse

Die vorliegenden Daten wurden einer Moderatoranalyse unterzogen um den Einfluss des Alters auf die Zusammenhänge zwischen Leuchtdichteumgebung und Maße zu überprüfen, siehe dazu Anhang E. Der Einfluss des Alters kann für die Zahl der bearbeiteten Teilaufgaben des Konzentrations-Leistungs-Tests und die Anstrengung bei der Aufgabenbearbeitung nachgewiesen werden. Da aus den vorliegenden Daten aber möglichst allgemeine Erkenntnisse geschlossen werden sollen und der darauf aufbauende Algorithmus für alle Altersgruppen anwendbar sein soll werden nachfolgend die Gesamtdaten analysiert.

Die untersuchten Maße wurden einer Regressionsanalyse unterzogen, als physikalische Maße wurden die Parameter der Leuchtdichteumgebung in die Analyse mit einbezogen. Die Regressionsgleichungen sind im Anhang E aufgeführt. Zusätzlich wurde eine zweistufige Varianzanalyse mit den 18 untersuchten Lichtbedingungen und den drei untersuchten Monitoreinstellungen als Messwiederholungsfaktoren durchgeführt um die Eignung der Einstellungen Hell, Mittel und Dunkel für die untersuchten Maße festzustellen. Die zugrundeliegenden Mittelwerte und Standardabweichungen aller Leuchtdichteumgebungen sind in Anhang E zu finden.

Berichtet werden nur signifikante ($p \leq 0,05$) und tendenzielle ($p \leq 0,15$) Ergebnisse. Die Ergebnisse der Anstrengung und Motivation bei der Aufgabenbearbeitung, sowie der erbrachten Leistung beim Konzentrations-Leistungs-Test sind in Anhang E dargestellt. Nach der Darstellung der Ergebnisse werden jeweils die wichtigen Erkenntnisse in einem Fazit zusammengefasst, hier sind auch die Maße dargestellt deren Auswertung im Anhang E erfolgt.

Visuelle Leistungsatmosphäre

Optimierung: L_W

Es ergibt sich sowohl ein linearer ($F(1,52) = 21,02$, $R^2 = 0,29$, $p < 0,01$) als auch ein quadratischer ($F(2,51) = 13,62$, $R^2 = 0,35$, $p < 0,01$) signifikanter Zusammenhang zwischen L_W und der visuellen Leistungsatmosphäre, dargestellt ist die quadratische Annäherung in Bild 6.5. Beide Zusammenhänge sind signifikant. Mit zunehmendem L_W wird auch die visuelle Leistungsatmosphäre positiver, nach dem quadratischen Verlauf ist die optimale visuelle Leistungsatmosphäre bei einer L_W von 336 cd/m^2 erreicht. Der Unsicherheitsbereich liegt zwischen 121 cd/m^2 und

550 cd/m^2. Werte außerhalb des Unsicherheitsbereichs führen mit hoher Wahrscheinlichkeit zu einer negativeren visuelle Leistungsatmosphäre.

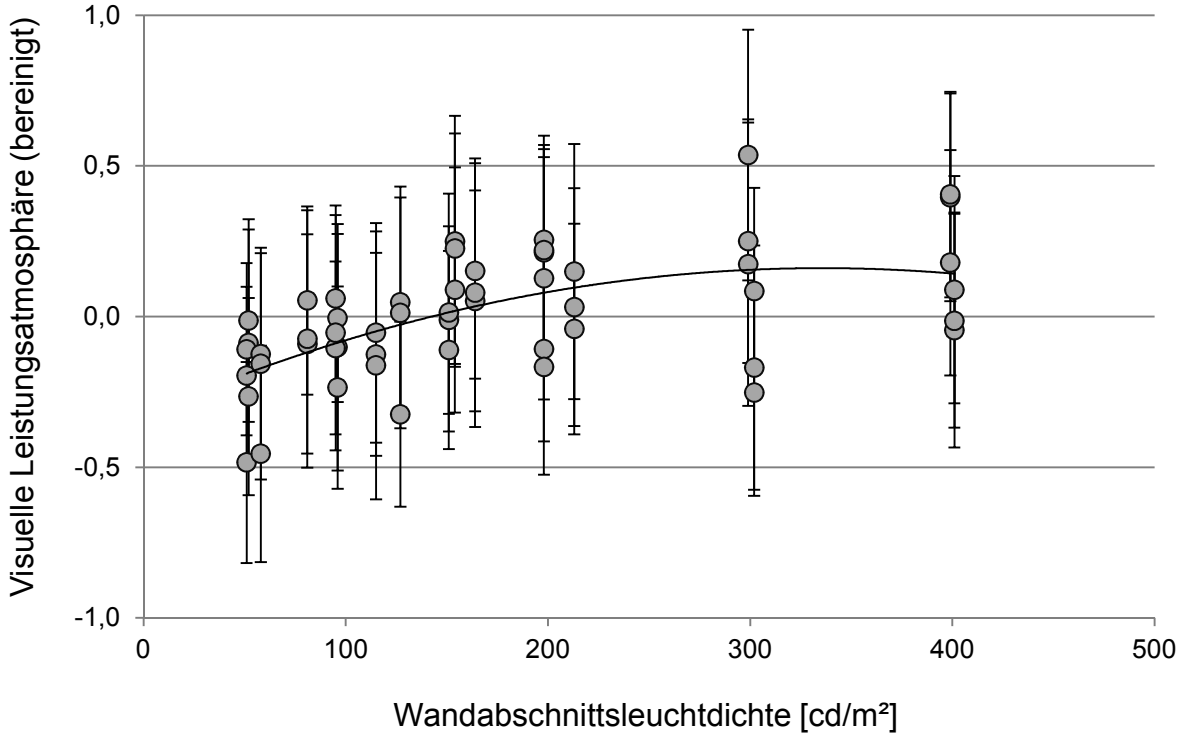


Bild 6.5: Bereinigte visuelle Leistungsatmosphäre in Abhängigkeit der Wandabschnittsleuchtdichte. Der Fehlerbalken zeigt das 95 % Konfidenzintervall des Mittelwerts.

Optimierung: L_A

Es zeigt sich kein signifikanter oder tendenzieller Einfluss.

Optimierung: W/A

Es zeigt sich kein signifikanter oder tendenzieller Einfluss.

Optimierung: M/W

Es lässt sich ein linearer ($F(1,40) = 6,99$, $R^2 = 0,15$, $p = 0,01$) und quadratischer ($F(2,39) = 8,66$, $R^2 = 0,31$, $p < 0,01$) signifikanter Zusammenhang zwischen M/W und der visuellen Leistungsatmosphäre nachweisen. Der quadratische Zusammenhang klärt einen wesentlich größeren Teil der Varianz auf. Die visuelle Leistungsatmosphäre ist optimal wenn M/W bei 1,24/1 liegt, wie in Bild 6.6 zu erkennen. Der Unsicherheitsbereich liegt zwischen 0,40/1 und 2,93/1. Höhere und niedrigere

Leuchtdichteverhältnisse führen mit hoher Wahrscheinlichkeit zu einer negativeren visuelle Leistungsatmosphäre.

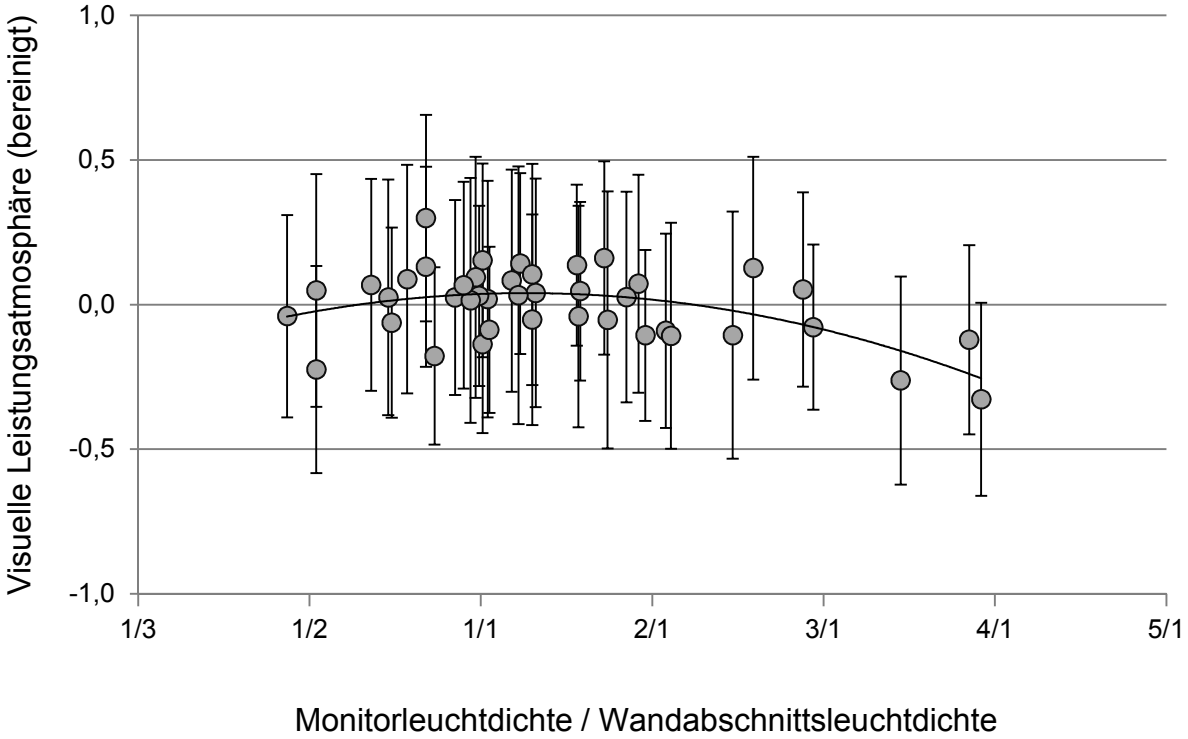


Bild 6.6: Bereinigte visuelle Leistungsatmosphäre in Abhängigkeit des Leuchtdichteverhältnisses zwischen Monitor und Wandabschnitt. Der Fehlerbalken zeigt das 95 % Konfidenzintervall des Mittelwerts.

Optimierung: M/A

Zwischen M/A und der visuellen Leistungsatmosphäre besteht ein tendenzieller quadratischer Zusammenhang ($F(2,27) = 3,03$, $R^2 = 0,18$, $p = 0,07$), wie in Bild 6.7 zu sehen, die visuelle Leistungsatmosphäre wird optimal für ein M/A von 0,83/1. Der Unsicherheitsbereich liegt zwischen 0,44/1 und 1,78/1. Höhere und niedrigere Leuchtdichteverhältnisse führen mit hoher Wahrscheinlichkeit zu einer negativeren visuellen Leistungsatmosphäre. M/A klärt einen geringeren Teil der Gesamtvarianz auf als M/W.

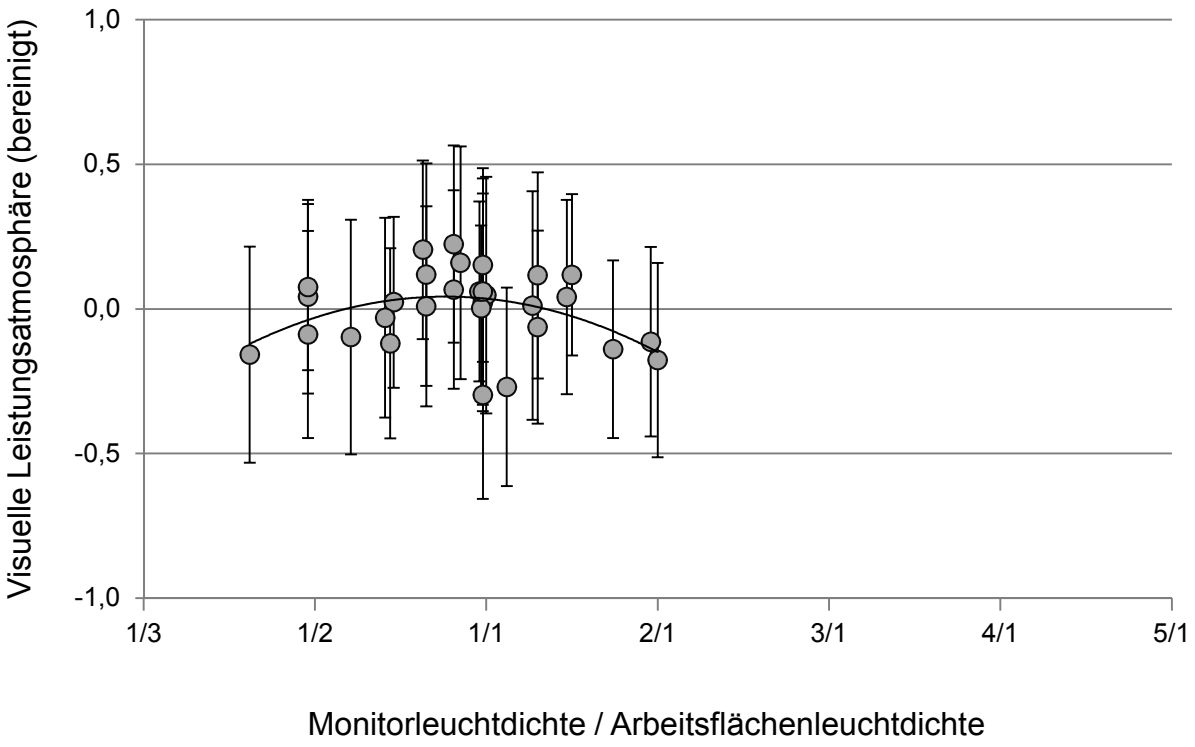


Bild 6.7: Bereinigte visuelle Leistungsatmosphäre in Abhängigkeit des Leuchtdichteverhältnisses zwischen Monitor und Arbeitsfläche. Der Fehlerbalken zeigt das 95 % Konfidenzintervall des Mittelwerts.

Optimierung: Max/Min

Zwischen Max/Min und der visuellen Leistungsatmosphäre ergibt sich ein linearer tendenzieller Zusammenhang ($F(1,52) = 11{,}20$, $R^2 = 0{,}18$, $p = 0{,}12$). Die visuelle Leistungsatmosphäre wird mit zunehmendem Unterschied der Leuchtdichten der Leuchtdichteumgebung negativer, wie in Bild 6.8 dargestellt. Dies spiegelt die dargestellten Zusammenhänge für M/W und M/A wieder, welche ebenfalls für eine gleichmäßige Leuchtdichteverteilung eine positive visuelle Leistungsatmosphäre erwarten lassen.

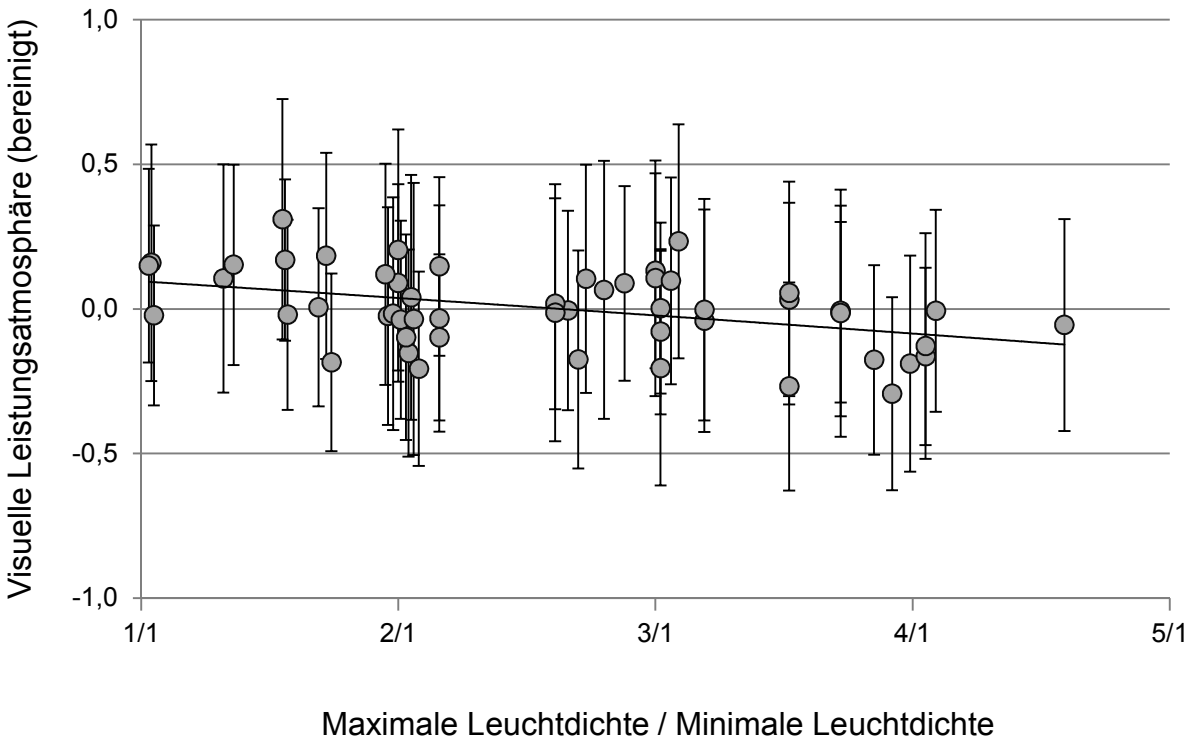


Bild 6.8: Bereinigte visuelle Leistungsatmosphäre in Abhängigkeit des Verhältnisses zwischen minimaler und maximaler Leuchtdichte der Leuchtdichteumgebung. Der Fehlerbalken zeigt das 95 % Konfidenzintervall des Mittelwerts.

Varianzanalyse

Sowohl die Lichtbedingung ($F(7{,}99{,}231{,}78) = 2{,}16$, $p = 0{,}03$, $\eta_p^2 = 0{,}07$) als auch die Monitoreinstellung ($F(1{,}31{,}38{,}12) = 26{,}49$, $p < 0{,}01$, $\eta_p^2 = 0{,}48$) nehmen signifikanten Einfluss auf die visuelle Leistungsatmosphäre (siehe Bild 6.9). Wie auch in Studie 1 zeigt sich ein großer, praxisrelevanter Effekt der Monitoreinstellung.

Bei Mittelung der Monitoreinstellungen für die 18 Lichtbedingungen führt ME Hell zur positivsten (MW = 0,14, SD = 1,21), Mittel zur mittleren (MW = -0,12 SD = 1,15) und Dunkel zur negativsten (MW = -0,65, SD = 1,15) visuellen Leistungsatmosphäre. Die Unterschiede zwischen den Einstellungen waren jeweils signifikant: Hell - Mittel ($t(35) = 2{,}77$, $p = 0{,}01$), Hell - Dunkel ($t(35) = 5{,}85$, $p < 0{,}01$), Mittel - Dunkel ($t(35) = 7{,}20$, $p < 0{,}01$).

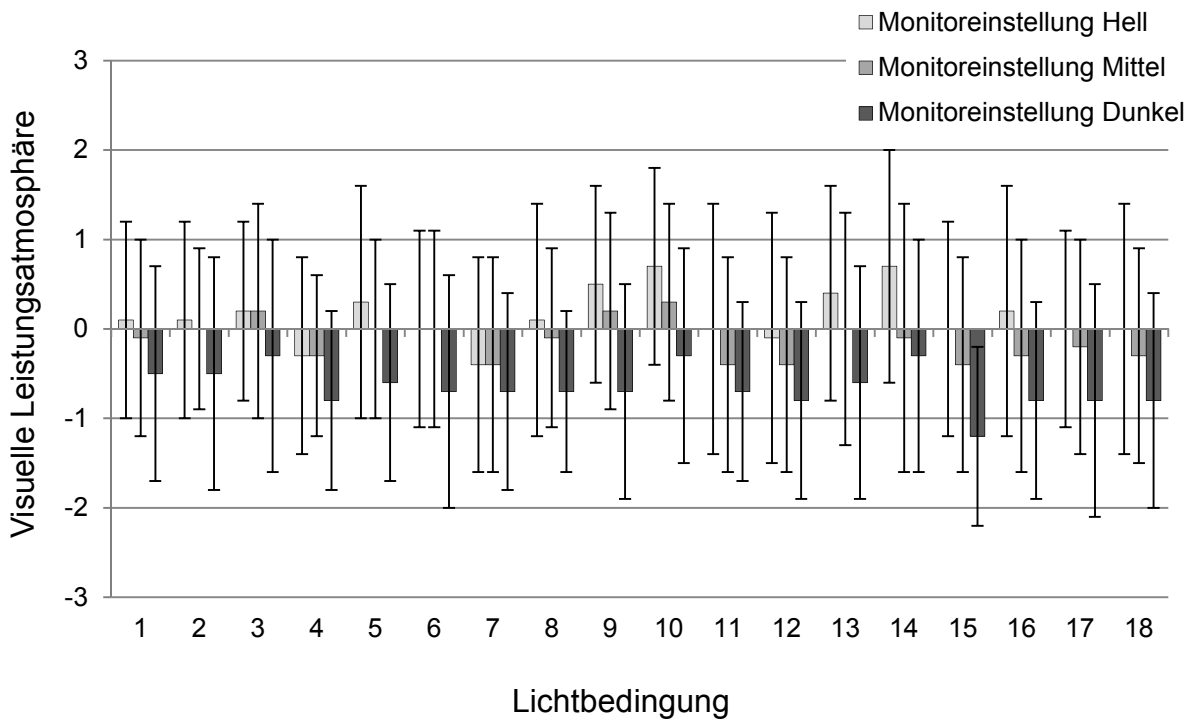


Bild 6.9: Visuelle Leistungsatmosphäre in Abhängigkeit der Leuchtdichteumgebung. Der Fehlerballen stellt die Standardabweichung dar.

Zusammenfassung der visuellen Leistungsatmosphäre

- die visuelle Leistungsatmosphäre weist eine hohe Sensibilität gegenüber den Parametern der Leuchtdichteumgebung auf.
- Die Wandabschnittsleuchtdichte hat einen stärkeren Einfluss als die Arbeitsflächenleuchtdichte.
- Eine steigende Wandabschnittsleuchtdichte wirkt sich positiv aus, aufgrund der Datenlage kann vermutet werden, dass bei einer Leuchtdichte von etwa 336 cd/m^2 die optimale visuelle Leistungsatmosphäre erreicht ist. Der Unsicherheitsbereich liegt zwischen 121 cd/m^2 und 550 cd/m^2, außerhalb dieses Bereiches ist mit hoher Wahrscheinlichkeit von einer negativeren visuellen Leistungsatmosphäre auszugehen.
- Die Monitoreinstellung Dunkel (100 cd/m^2) führt zur negativsten visuellen Leistungsatmosphäre, aufgrund der Effektstärke kann von einer großen praktischen Relevanz ausgegangen werden.
- Ein Leuchtdichteverhältnis zwischen Monitor und Wandabschnitt von 1,24/1, führt zur optimalen visuellen Leistungsatmosphäre. Dies wird von den Ergebnissen der Studie 1 untermauert, bei der ein Leuchtdichteverhältnis von

etwa 1,5/1 zu einer positiven visuellen Leistungsatmosphäre geführt hatte. Als Unsicherheitsbereich kann der Bereich zwischen 0,40/1 und 2,93/1 angegeben werden, außerhalb dieses Bereiches ist mit hoher Wahrscheinlichkeit von einer negativeren visuellen Leistungsatmosphäre auszugehen.
- Liegt das Leuchtdichteverhältnis zwischen Monitor und Arbeitsfläche bei 0,83/1 führt dies zur optimalen visuellen Leistungsatmosphäre. Dieser Zusammenhang ist weniger stark ausgeprägt als der des Leuchtdichteverhältnisses zwischen Monitor und Wandabschnitt. Auch hier muss ein Unsicherheitsbereich zwischen 0,44/1 und 1,78/1 beachtet werden.
- Die Betrachtung des Verhältnisses von maximaler zu minimaler Leuchtdichte der Leuchtdichteumgebung unterstützt die oberen Erkenntnisse dahingehend, dass auch hier kleine Leuchtdichteverhältnisse einen positiven Einfluss haben.

Zusammenfassung der Motivation bei der Aufgabenbearbeitung

- Ein schwacher Zusammenhang zeigt, dass ein Leuchtdichteverhältnis zwischen Wandabschnitt und Arbeitsfläche von 0,64/1 zu einer besonders niedrigen Motivation führt, in Studie 1 führte ein Leuchtdichteverhältnis von etwa 1/2 eher zu positiver Nutzerbewertung. Der Unsicherheitsbereich liegt zwischen 0,12/1 und 1,85/1. Höhere und niedrigere Werte führen mit hoher Wahrscheinlichkeit zu einer gesteigerten Motivation bei der Aufgabenbearbeitung.
- Sind sich die maximale und minimale Leuchtdichte der Leuchtdichteumgebung ähnlich, so steigt die Motivation. Der positive Einfluss ähnlicher Leuchtdichten im Gesichtsfeld ließ sich auch bei der Analyse der visuellen Leistungsatmosphäre zeigen.
- Die Varianzanalyse zeigt, dass die Motivation bei Monitoreinstellung Dunkel (100 cd/m^2) am geringsten ist. Dies ließ sich auch bei der Analyse der visuellen Leistungsatmosphäre zeigen.

Zusammenfassung der Anstrengung bei der Aufgabenbearbeitung

- Die Wandabschnittsleuchtdichte hat einen größeren Einfluss als die Arbeitsflächenleuchtdichte, nimmt sie zu, so verringert sich die Anstrengung. Die Maßgeblichkeit der Wandabschnittsleuchtdichte zeigt sich auch bei der Analyse der visuellen Leistungsatmosphäre.

Zusammenfassung der Anzahl der bearbeiteten Teilaufgaben des Konzentrations-Leistungs-Tests

- Eine steigende Wandabschnittsleuchtdichte wirkt sich positiv aus, bei einer Leuchtdichte von 356 cd/m^2 werden die meisten Teilaufgaben des Konzentrations-Leistungs-Tests bearbeitet. Der Unsicherheitsbereich dieser Angabe liegt zwischen 44 cd/m^2 und 668 cd/m^2, außerhalb dieses Bereiches ist mit hoher Wahrscheinlichkeit mit einem Abfall der erbrachten Leistung zu rechnen. Die angegebene ideale Leuchtdichte liegt sehr nahe an der für die visuelle Leistungsatmosphäre als optimal angenommenen Leuchtdichte.
- Besonders viele Teilaufgaben können bearbeitet werden, wenn die maximale Leuchtdichte der Leuchtdichteumgebung 2,72-mal so hoch ist wie die minimale Leuchtdichte der Leuchtdichteumgebung. Auch hier ist mit einem Unsicherheitsbereich zwischen 1,26/1 und 4,18/1 zu rechnen. Höhere und niedrigere Werte reduzieren die Leistung mit hoher Wahrscheinlichkeit.
- Bei der Monitoreinstellung Mittel können die meisten Teilaufgaben bearbeitet werden.

6.4. Zusammenfassung

Die Ergebnisse von Studie 2 sollen nach der Zusammenstellung der Kernaussagen anhand der Überprüfung der Teil-Hypothesen aufbereitet werden, zusätzlich wird in einer kritischen Betrachtung auf Durchführung und Ergebnis der Studie eingegangen. Die Kernaussagen können wie folgt zusammengefasst werden:

- Die Wandabschnittsleuchtdichte hatte auf die visuelle Leistungsatmosphäre, die Anstrengung bei der Aufgabenbearbeitung und die Anzahl der bearbeiteten Teilaufgaben des Konzentrations-Leistungs-Tests einen stärkeren Einfluss als die Arbeitsflächenleuchtdichte.
- Für die visuelle Leistungsatmosphäre und Anzahl der bearbeiteten Teilaufgaben des Konzentrations-Leistungs-Tests ließen sich optimale Wandabschnittsleuchtdichten mit einem jeweiligen Unsicherheitsbereich ermitteln: Bei 336 cd/m^2 (Unsicherheitsbereich: 121 cd/m^2 bis 550 cd/m^2) war die optimale visuelle Leistungsatmosphäre erreicht; bei 356 cd/m^2 (Unsicherheitsbereich: 44 cd/m^2 bis 668 cd/m^2) wurden die meisten Teilaufgaben des Konzentrations-Leistungs-Tests bearbeitet.

- Die Monitoreinstellung Dunkel (100 cd/m^2) führte zur negativsten visuellen Leistungsatmosphäre und geringer Motivation. Es konnten zusätzlich weniger Teilaufgaben des Konzentrations-Leistungs-Tests bearbeitet werden als bei der Einstellung Mittel.
- Das Leuchtdichteverhältnis zwischen Monitor und Wandabschnitt von 1,24/1 (Unsicherheitsbereich: 0,40/1 bis 2,93/1) führte zur optimalen visuellen Leistungsatmosphäre.
- Kleine Verhältnisse von maximaler zu minimaler Leuchtdichte der Leuchtdichteumgebung führten zu positiver visueller Leistungsatmosphäre und gesteigerter Motivation.

H2.1: Die absoluten Parameter der Leuchtdichteumgebung beeinflussen die Nutzer. Es lassen sich Wertebereiche ableiten, welche einen positiven Einfluss auf Leistung, Ermüdung und Empfinden der Nutzer haben.

Diese Hypothese konnte bestätigt werden. Speziell der Anstieg der Wandabschnittsleuchtdichte wirkte sich positiv auf relevante Aspekte der Büroarbeit, wie die visuelle Leistungsatmosphäre, die Anstrengung bei Aufgabenbearbeitung und die Leistung bei der Bearbeitung des Konzentrations-Leistungs-Tests aus. Ein Einfluss der Arbeitsflächenleuchtdichte konnte nur für die Anstrengung bei der Aufgabenbearbeitung nachgewiesen werden und war auch da schwächer ausgeprägt als der der Wandabschnittsleuchtdichte.

Die höchste visuelle Leistungsatmosphäre wurde für eine Wandabschnittsleuchtdichte von 336 cd/m^2 erreicht, die meisten Teilaufgaben des Konzentrations-Leistungs-Tests wurden bei einer Wandabschnittsleuchtdichte von 356 cd/m^2 bearbeitet. Die angegebenen Optima sind mit jeweils mit einer gewissen Unsicherheit zu betrachten. Für die visuelle Leistungsatmosphäre konnte der Bereich zwischen 121 cd/m^2 und 550 cd/m^2, bei der Leistung beim Konzentrations-Leistungs-Test der Bereich zwischen 44 cd/m^2 und 668 cd/m^2 als Unsicherheitsbereich angegeben werden. Außerhalb dieses Bereiches ist mit hoher Wahrscheinlichkeit mit einer negativeren visuellen Leistungsatmosphäre und der Verminderung der Leistung beim Konzentrations-Leistungs-Test zu rechnen. Innerhalb dieses Bereiches bildeten die angegebenen Optima die bestmögliche Annäherung für eine optimale visuelle Leistungsatmosphäre und eine maximale erbrachte Leistung.

Eine geringe Monitorleuchtdichte (100 cd/m^2) wirkte sich negativ auf die visuelle Leistungsatmosphäre, die Motivation bei Aufgabenbearbeitung und die Anzahl der bearbeiteten Teilaufgaben des Konzentrations-Leistungs-Tests aus. Für Büroanwendungen kommen nur die untersuchten Monitoreinstellungen 150 cd/m^2 und 200 cd/m^2 in Frage.

H2.2: Die relativen Parameter der Leuchtdichteumgebung beeinflussen die Nutzer. Es lassen sich Wertebereiche ableiten, welche einen positiven Einfluss auf Leistung, Ermüdung und Empfinden der Nutzer haben.

Diese Hypothese konnte bestätigt werden. Sowohl die Leuchtdichteverhältnisse zwischen den Flächen Wandabschnitt, Arbeitsfläche und Monitor als auch das Verhältnis zwischen maximaler und minimaler Leuchtdichte im Gesichtsfeld zeigten Einfluss auf die Nutzer.

Für die visuelle Leistungsatmosphäre war das Leuchtdichteverhältnis zwischen Monitor und Wandabschnitt neben der Wandabschnittsleuchtdichte das bestimmende Maß. Lag es bei 1,24/1, so war die visuelle Leistungsatmosphäre besonders positiv. Als Unsicherheitsbereich ist bei dem identifizierten Leuchtdichteverhältnis der Bereich zwischen 0,40/1 und 2,93/1 anzugeben. Mit hoher Wahrscheinlichkeit ergibt sich eine positivere visuelle Leistungsatmosphäre für das optimale Leuchtdichteverhältnis zwischen Monitor und Wandabschnitt beim Vergleich mit Leuchtdichteverhältnissen außerhalb dieses Bereichs. Auch das Leuchtdichteverhältnis zwischen Monitor und Arbeitsfläche konnte die visuelle Leistungsatmosphäre beeinflussen, allerdings war dessen Einfluss geringer ausgeprägt.

Die visuelle Leistungsatmosphäre wurde positiver wenn alle Leuchtdichten der Leuchtdichteumgebung sich in einem ähnlichen Bereich bewegten. War dies der Fall, war auch die Motivation bei der Aufgabenbearbeitung besonders hoch. Liegt zwischen maximaler und minimaler Leuchtdichte der Leuchtdichteumgebung ein Faktor von 2,72, wurden besonders viele Teilaufgaben beim Konzentrations-Leistungs-Test bearbeitet, mit hoher Wahrscheinlichkeit ergeben sich beim Einhalten dieses Leuchtdichteverhältnisses Vorteile gegenüber Leuchtdichteverhältnissen außerhalb des Unsicherheitsbereichs zwischen 1,26/1 und 4,18/1.

Kritische Betrachtung

Aufbauend zur Studie 1 gelang es erneut darzulegen, dass verschiedene Parameter der Leuchtdichteumgebung Einfluss auf die Nutzer nehmen. Zusätzlich konnten optimale Bereiche abgeleitet werden, welche zu besonders förderlichen Arbeitsbedingungen führen. Die gewonnenen Daten können verwendet werden, um Steuerungsalgorithmen für reale Tageslichtbedingungen zu konzipieren. Hier kann eine generelle Verschiebung der Wahrnehmung der Testpersonen durch die Testraumsituation nicht ausgeschlossen werden. Eventuell wird das simulierte Tageslicht durch die Lichtwand anders wahrgenommen als reales Tageslicht und die bestimmten Optima sind nicht auf die reale Situation übertragbar.

Kritisch zu sehen ist außerdem die große Anzahl der zu testenden Leuchtdichteumgebungen, welche jeweils nur kurze Testdauern erlaubten. Eventuelle Effekte, welche erst nach längerer Bearbeitungszeit auftreten, konnten somit nicht erfasst werden.

Inkonsistent zu Studie 1 sind das Maß der visuellen Leistungsatmosphäre und der Einfluss des Leuchtdichteverhältnisses zwischen Wandabschnitt und Arbeitsfläche. In Studie 2 sind auch die visuelle und allgemeine Ermüdung Teil der visuellen Leistungsatmosphäre. Dies könnte im zeitlichen Ablauf der beiden Studien begründet sein. In Studie 1 wurde die visuelle Ermüdung nach Bearbeitung der Dominosteinsuch-Aufgabe abgefragt. Der Fragebogen zur visuellen Leistungsatmosphäre wurde am Ende, nachdem die Probanden unter anderem den Konzentrations-Leistungs-Test bearbeitet hatten, beantwortet. In Studie 2 wurde die visuelle Ermüdung und die visuelle Leistungsatmosphäre in einem Block abgefragt. Eventuell wurde in Studie 1 eher die visuelle Ermüdung bei der Dominosteinsuch-Aufgabe und in Studie 2 eher ein allgemeiner Eindruck angegeben.

Das Leuchtdichteverhältnis zwischen Wandabschnitt und Arbeitsfläche nahm in Studie 1 auf Maße wie die Anstrengung bei der Dominosteinsuch-Aufgabe und dem Konzentrations-Leistungs-Test Einfluss; ein Leuchtdichteverhältnis von etwa 1/2 hatte eine positive Wirkung. In Studie 2 spielte es nur eine untergeordnete Rolle, ein Leuchtdichteverhältnis zwischen Wandabschnitt und Arbeitsfläche von 0,64/1 führte sogar zu einer besonders geringen Motivation bei der Aufgabenbearbeitung.

7. Entwicklung eines Steuerungsalgorithmus

Auf Basis der vorliegenden Daten wird nachfolgend eine Logik zur Steuerung der Monitorleuchtdichte konzipiert.

7.1. Zielgröße

Als Leitvariable wurde die visuelle Leistungsatmosphäre herangezogen, da sie eine hohe Sensibilität gegenüber Veränderungen der Leuchtdichteumgebung zeigte, in Studie 1 und 2 in ähnlicher Form identifizierbar war und für die Bildschirmarbeit im Büro Relevanz hat. Die reduzierte Betrachtung eines Maßes ist notwendig, da das parallele Optimieren nach mehreren Variablen zu Zielkonflikten in der Steuerung führen kann.

7.2. Relevante Erkenntnisse der Studien 1 und 2

Bezüglich der Parameter der Leuchtdichteumgebung konnten Erkenntnisse für die, Monitorfläche und das Leuchtdichteverhältnis zwischen Monitor und Wandabschnitt gewonnen und zur Konzeption eines Steuerungsalgorithmus herangezogen werden.

Monitorleuchtdichte

Eine zu geringe Monitorleuchtdichte führt zu einer negativen visuellen Leistungsatmosphäre. Studie 1 zeigte, dass für die mittlere Monitoreinstellung (140 cd/m^2) eine positivere visuelle Leistungsatmosphäre als für die dunkle Monitoreinstellung (90 cd/m^2) zu erwarten ist. Studie 2 bestätigt dies, die dunkle Monitoreinstellung (100 cd/m^2) führt signifikant zu einer negativeren visuellen Leistungsatmosphäre als die mittlere (150 cd/m^2) und die helle (200 cd/m^2) Einstellung. Für die Büroanwendung sollten Monitore mindestens mit einer Leuchtdichte von 140 cd/m^2 beziehungsweise 150 cd/m^2 betrieben werden.

M/W

Bezüglich der relativen Parameter der Leuchtdichteumgebung zeigte M/W den entscheidenden Einfluss. Eine optimale visuelle Leistungsatmosphäre wurde erreicht wenn die Leuchtdichte des Monitors in geringem Maße höher war als die des

Wandabschnitts. Eine Extremwertbetrachtung ergab die optimale visuelle Leistungsatmosphäre bei einem M/W von 1,24/1 innerhalb eines Unsicherheitsbereich von 0,40/1 bis 2,93/1. Leuchtdichteverhältnisse außerhalb des Unsicherheitsbereichs führen mit hoher Wahrscheinlichkeit zu einer negativeren visuellen Leistungsatmosphäre. Die Anwendung dieses Verhältnisses in einem Steuerungsalgorithmus wird begrenzt durch den Ausschluss der dunklen Monitoreinstellungen (90 cd/m^2 und 100 cd/m^2) und die technische Obergrenze der Monitorleuchtdichten. Für geringe L_Ws würden sich L_Ms ergeben, welche zu einer negativen visuellen Leistungsatmosphäre führen, für hohe L_Ws ergeben sich Werte, welche die technische Möglichkeit des Monitors übersteigen.

Bisher konnte für eine derartige Betrachtung die DIN 5035, die BGI 856 und die BGR 131 herangezogen werden [20], [21], [47]. Bei einer angenommenen L_M von 100 cd/m^2 sollte L_W nach DIN 5035-7 zwischen 10 cd/m^2 und 500 cd/m^2 liegen. Der Bereich wird durch die BGI 856 auf 30 cd/m^2 bis 300 cd/m^2 eingeschränkt; dies entspricht dem in BGR 131 angestrebten Leuchtdichteverhältnisbereich zwischen 1/3 und 3/1. Das errechnete Leuchtdichteverhältnis von 1,24/1 befindet sich innerhalb dieser Grenzwerte und kann die bisherigen Regelungen trotz Unsicherheitsbereich bestätigen und konkretisieren.

7.3. Monitorsteuerung

Aus den in den bisherigen Studien erfassten Daten wurden zwei verschiedene Steuerungsalgorithmen abgeleitet, welche L_M anhand von L_W regulieren: eine mit dem Ziel der Optimierung der visuellen Leistungsatmosphäre und eine mit dem Ziel der Energieeinsparung. Kern der Algorithmen ist das ermittelte optimale Leuchtdichteverhältnis zwischen Monitor und Wandabschnitt von 1,24/1. Trotz des Unsicherheitsbereich von 0,40/1 bis 2,93/1 führt 1,24/1 mit der größten Wahrscheinlichkeit zur optimalen visuellen Leistungsatmosphäre und wird deswegen als Faktor angenommen.

7.3.1. Leistungsatmosphäre-Steuerung

Bei der Leistungsatmosphäre-Steuerung (LA) variiert L_M innerhalb der Minimaleinstellung (150 cd/m^2) und der maximalen Leuchtdichte der in der Validierung eingesetzten Monitore (230 cd/m^2). Eine Anpassung an L_W ist demnach zwischen

121 cd/m^2 (150 cd/m^2/1,24) und 185 cd/m^2 (230 cd/m^2/1,24) möglich. In diesem Bereich soll der Monitor stets so eingestellt sein, dass eine optimale visuelle Leistungsatmosphäre erreicht wird. Je nach Umgebungsbedingungen kann die Leistungsatmosphäre-Steuerung dazu führen, dass mehr Energie verbraucht wird als bei konstanter Monitorleuchtdichte. In Bild 7.1 ist der Ablauf der Leistungsatmosphäre-Steuerung dargestellt. Nach der Abfrage von L_W kann die Ist-Situation in drei verschiedene Gruppierungen eingeteilt werden, auf welche jeweils eine eindeutige Handlung folgt.

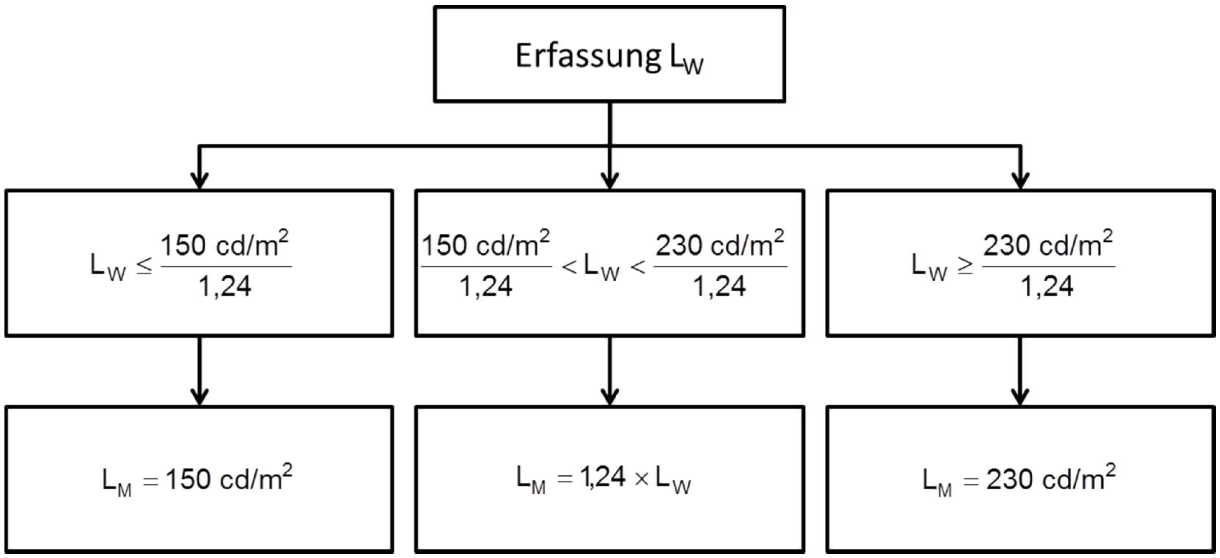


Bild 7.1: Schematischer Ablauf der Leistungsatmosphäre-Steuerung.

7.3.2. Energie-Steuerung

Bei der Energie-Steuerung (EN) liegt die maximale Monitoreinstellung bei der Leuchtdichte einer konstanten Referenzsituation. Die in Kapitel 3.2 dargestellten Randbedingungen der Lichtumgebung legten nahe, dass im laufenden Betrieb bei herkömmlichen Monitoren von einer L_M von 175 cd/m^2 ausgegangen werden kann. Zusätzlich ergab eine Umfrage unter 21 Wissensarbeitern, dass elf eine Helligkeit von 100 % und 20 eine Helligkeit von 75 % oder höher eingestellt hatten. 20 gaben an die Monitorhelligkeit noch nie an die Umgebungsbeleuchtung angepasst zu haben oder sich nicht mehr daran erinnern zu können. Die Annahme einer konstanten Monitorleuchtdichte von 175 cd/m^2 als Referenzsituation kann somit als realitätsnah angesehen werden. Anhang F zeigt eine Übersicht über die Umfrage.

Die Minimalleuchtdichte des Monitors wird gegenüber der Leistungsatmosphäre-Steuerung auf die in Studie 1 verwendete Stufe 140 cd/m^2 abgesenkt. L_M variiert somit zwischen 140 cd/m^2 und 175 cd/m^2. Eine Anpassung an L_W ist demnach zwischen 113 cd/m^2 (140 cd/m^2/1,24) und 141 cd/m^2 (175 cd/m^2/1,24) möglich. Innerhalb dieses Bereiches soll der Monitor stets so eingestellt sein, dass eine optimale visuelle Leistungsatmosphäre besteht. Mit der Energie-Steuerung kann eine Einsparung von mindestens 1,23 kWh/a realisiert werden, siehe dazu Anhang F. In Bild 7.2 ist der Ablauf der Energie-Steuerung dargestellt.

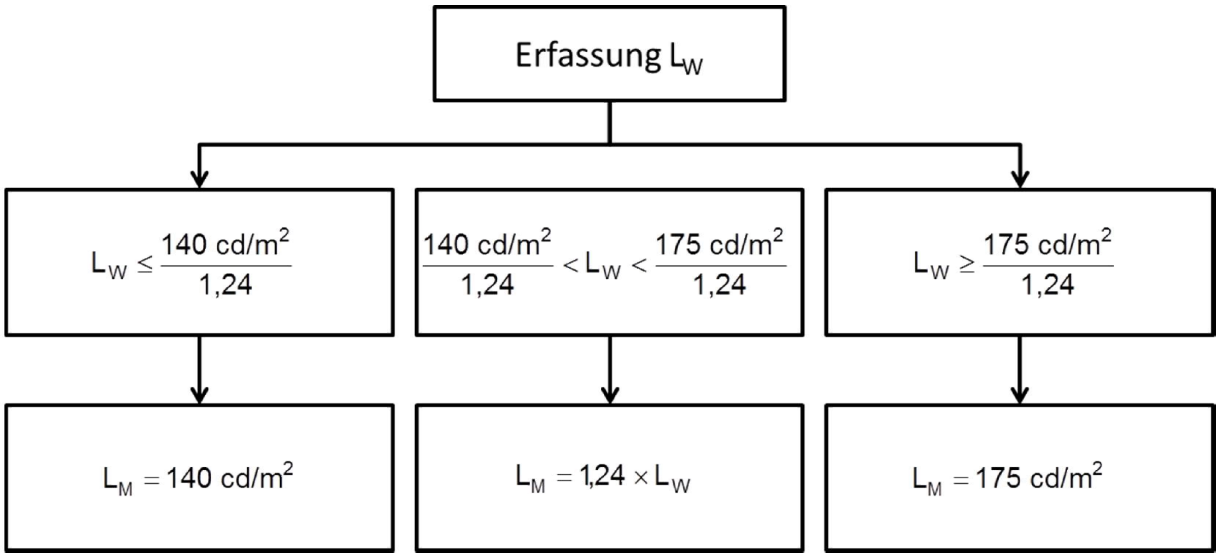


Bild 7.2: Schematischer Ablauf der Energie-Steuerung.

7.3.3. Technische Umsetzung der Steuerung

Eine technische Lösung zur Anwendung der Logik ist derzeit nicht auf dem Markt erhältlich. Konstruktion, Kalibrierung und Programmierung für die Sensoriken sind nachfolgend dargestellt. Hergestellt wurden zwei Prototypen.

Die in Kapitel 3.6 vorgestellte Recherche ergab, dass die Akzeptanz bisheriger Monitorsteuerungen nicht immer gegeben ist, da die Sensibilität des Sensors zu hoch ist, der Erfassungsbereich nicht gut gewählt ist, in Stufen geschaltet wird und der Monitor zu geringe Leuchtdichten annimmt. In der nachfolgend entwickelten Steuerung soll diesen Problematiken entgegengewirkt werden. Der unpassende Erfassungsbereich wird ersetzt durch den in Studie 2 verwendeten Wandabschnitt. Das stufenweise Abdunkeln wird durch ein stufenloses Abdunkeln ersetzt. Durch

das Einführen der Mindestleuchtdichte sollte der Monitor den Testpersonen nicht zu dunkel erscheinen.

Konstruktion

Um die Sensorik herzustellen wurde ein Beleuchtungsstärke-Sensor unter eine teilweise abgeklebte Halbkugel montiert und dann mittels einer Leuchtdichtekamera kalibriert. Dazu wurde eine durchsichtige Halbkugel aus Plastik verwendet mit einem Durchmesser von 10 cm, welche so auf die Sensoreinheit aufgebracht wurde, dass der Sensor in der Mitte der Halbkugel lag. Der verwendete Beleuchtungsstärkesensor [181] gibt das Messwertsignal per USB-Kabel an den Rechner weiter, wo es zur Anpassung der Monitorhelligkeit verwendet wird, zum Durchführen des Kabels wurde ein kleines Loch in die Halbkugel geschnitten. Auf der Kugel wurde der relevante Raumwinkel (welcher dem in Studie 2 verwendeten Wandabschnitt entspricht) markiert und der Teil, welcher nicht zum Erfassungsbereich gehörte, mit schwarzem Klebeband von innen (matt) und außen abgeklebt. Der erfasste Bereich ist in Bild 7.3 dargestellt.

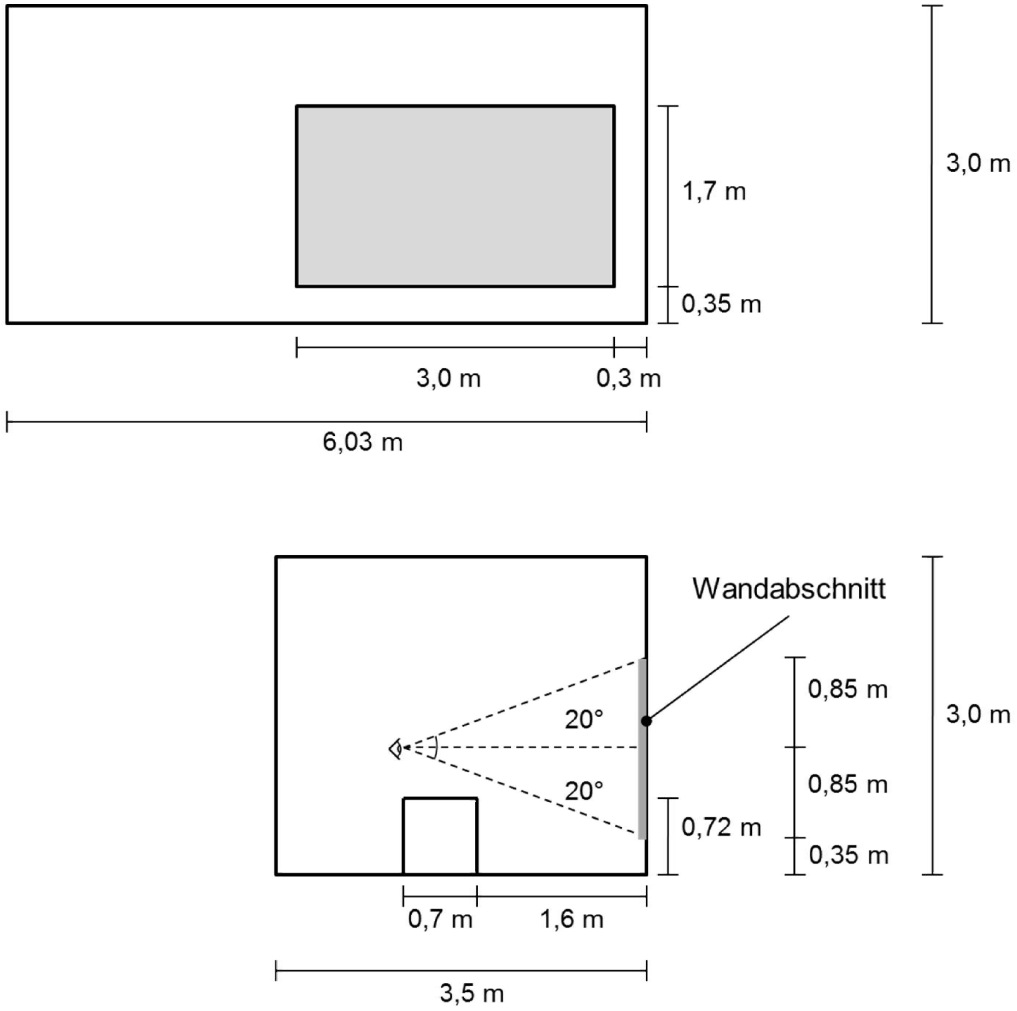


Bild 7.3: Erfassungsbereich des konstruierten Sensors.

Damit Sensor und Halbkugel sich nicht gegeneinander verschieben, wurden sie auf einer Spanplatte arretiert. Die Spanplatte wurde schwarz angemalt und abgeklebt, um Reflexion innerhalb der Halbkugel zu minimieren und farblich zum verwendeten Monitor zu passen. Bild 7.4 zeigt die erstellte Sensorik.

Bild 7.4: Darstellung des konstruierten Sensors.

Sensor-Kalibrierung

Da der verwendete Sensor die Beleuchtungsstärke erfasste und sich durch die verwendete Halbkugel ein Lichtverlust ergab, musste ein individueller Umrechnungsfaktor generiert werden, um vom Sensor-Wert auf die tatsächliche Leuchtdichte des relevanten Wandabschnitts zu schließen. Zur Ermittlung des Faktors wurden zeitgleich die Leuchtdichte des Wandabschnitts und der Messwert des Sensors (ausgerichtet auf den Wandabschnitt) erfasst. Die sich ergebenden Umrechnungsfaktoren der beiden Sensoren basieren jeweils aus 48 Messwerten, welche unter Tageslichtbedingungen bei verschiedenen Fassadenzuständen erfasst wurden. Die Zusammenhänge zwischen Leuchtdichte und Sensorsignal sind linear und in Tabelle 7.10 zu sehen. Der Unterschied zwischen den beiden Umrechnungsfaktoren ist in der Beklebung und der Oberfläche der verwendeten Halbkugel begründet. Aufgrund der Art der Anfertigung und der verendeten Materialien war es nicht möglich jeweils den gleichen Umrechnungsfaktor zu erhalten.

Tabelle 7.10: Umrechnungsfaktoren zwischen Leuchtdichte im Erfassungsbereich und Messwert der beiden verwendeten Sensoren.

Sensor	1	2
MW	1,11	0,83
n	48	48
Min	1,05	0,78
Max	1,18	0,99
SD	0,03	0,05

Monitor-Kalibrierung

Die Leuchtdichte der Monitore wurde über den Gamma-Wert gesteuert. Für die beiden in der nachfolgenden Studie zur Validierung der Steuerungsalgorithmen verwendeten Monitore wurden Gamma-Werte und die resultierende L_M vermessen, um einen Zusammenhang zwischen L_M und Gamma aufzustellen. Analog zu Studie 1 und 2 wurde der innere Teil des Displays betrachtet, wie in Bild 7.5 zu sehen.

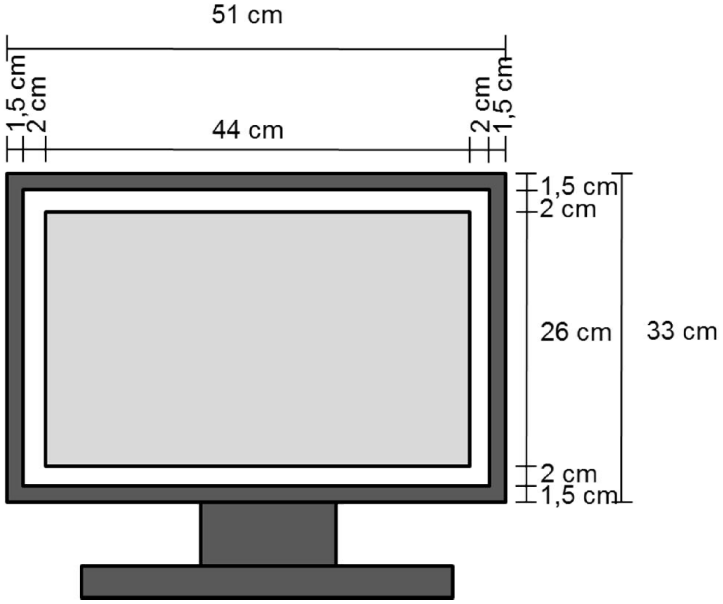


Bild 7.5: Kalibrierungsbereich der verwendeten Monitore.

Die Ergebnisse der Vermessung sind im Anhang F dargestellt. Es zeigt sich, dass ab einem Gamma-Wert von 125 keine Steigerung der Monitorleuchtdichte mehr zu erwarten ist. Bis zu diesem Wert können zwischen Gamma und L_M die folgende Anpassung getroffen werden:

- Monitor 1: Gamma = 0,71 x LM - 47,81
- Monitor 2: Gamma = 0,81 x LM - 59,01

Programmierung

Anhand der beiden Kalibrierungen (Sensor - L_W und L_M - Gamma), der Steuerungsvariante sowie des Faktors M/W = 1,24/1, wurden vier Umrechnungstabelle erstellt in der zu jedem Sensorwert ein passender Gamma-Wert angegeben ist.

- Raum 1: Monitor 1, Sensor 1, Leistungsatmosphäre-Steuerung: LA
- Raum 1: Monitor 1, Sensor 1, Energie-Steuerung: EN
- Raum 2: Monitor 2, Sensor 2, Leistungsatmosphäre-Steuerung: LA
- Raum 2: Monitor 2, Sensor 2, Energie-Steuerung: EN

Die Tabellen wurden als CSV-Datei abgespeichert. Im Anhang F ist als Beispiel die Leistungsatmosphäre-Steuerung mit Monitor 1 und dem Sensor 1 in Ausschnitten dargestellt.

Die Steuerung wurde mittels einer JAVA-Programmierung realisiert, welche schematisch in Bild 7.6 zu sehen ist. Neben der Zuordnung passender Gammawerte zum entsprechenden Sensorwert wurden in der Programmierung auch verschiedene andere Aspekte (Abfragefrequenz, Handlungssensibilität und Handlungsgeschwindigkeit) berücksichtigt, welche für die Anwendung wichtig sind.

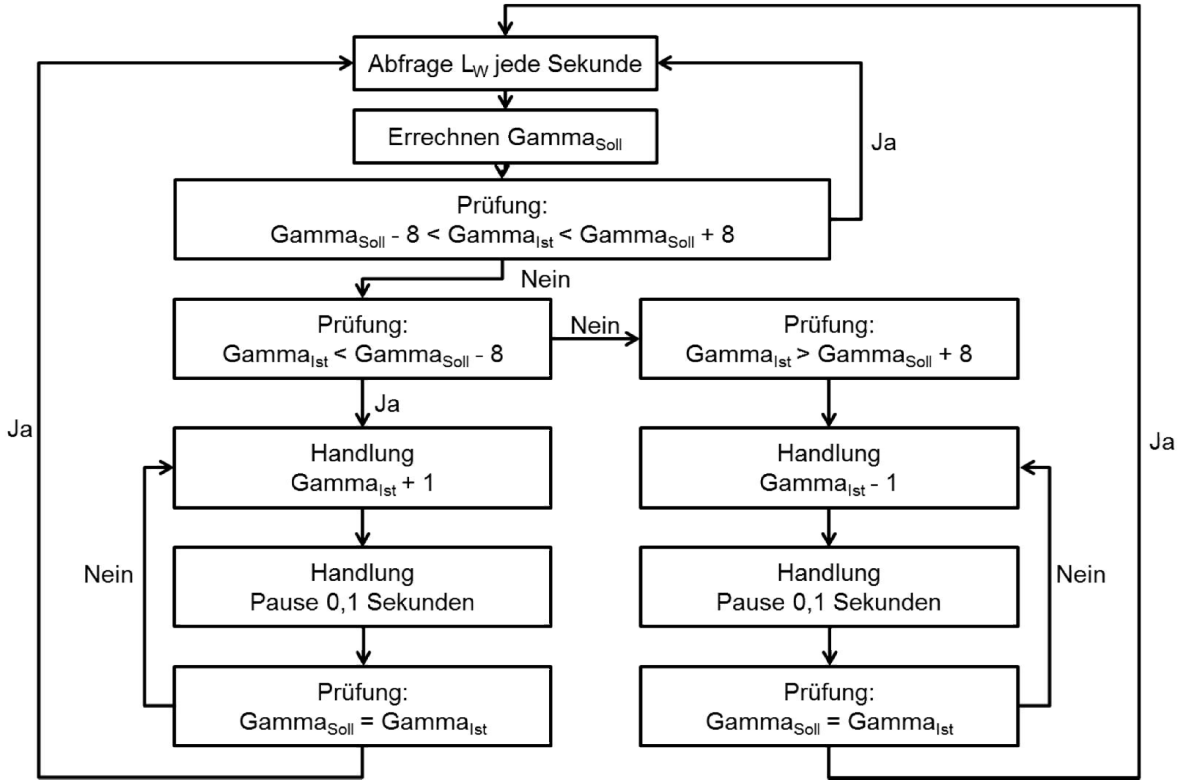


Bild 7.6: Ablaufschema der Programmierung der Monitorsteuerung.

Der in der Programmierung dargestellte Ablauf erfolgt bei jeder Abfrage des Sensorwertes. Als Abfrage-Frequenz wurde eine Sekunde gewählt. Erfolgt die Monitoranpassung zu oft beziehungsweise zu schnell, so könnte dies zu einem unangenehmen Schwanken der Monitorleuchtdichte führen. Aus diesem Grund wurde festgesetzt, dass notwendige Anpassungen der Monitorleuchtdichte erst durchgeführt werden, wenn Soll- und Ist-Leuchtdichte sich um mindestens 10 cd/m^2, beziehungsweise 8 Gamma-Stufen unterscheiden. Kommt es zu einer Anpassung der Monitorleuchtdichte, so soll diese nicht übergangslos und abrupt durchgeführt werden. Als Geschwindigkeit zur Anpassung der Ist-Monitorleuchtdichte an die Soll-Monitorleuchtdichte wurde 0,1 sec pro Gamma gewählt. Die Werte für diese Parameter (1 sec, 8 Gamma und 0,1 sec) wurden im Programm in einer config Datei hinterlegt, wo sie gegebenenfalls angepasst werden konnten.

8. Studie 3

Studie 3 sollte überprüfen, ob die auf Basis von simuliertem Tageslicht erstellten Algorithmen zur Steuerung der Monitorleuchtdichte anhand der Wandabschnittsleuchtdichte unter realen Tageslichtbedingungen anwendbar sind. Getestet wurde hinsichtlich einer positiven Wirkung auf die visuelle Leistungsatmosphäre und andere bürorelevante Aspekte und einer möglichen Energieeinsparung. Die Tauglichkeit der erstellten Algorithmen sollte unter möglichst realitätsnahen Randbedingungen getestet werden, aus diesem Grund sollte die Bearbeitungszeit der Aufgaben möglichst hoch sein. Zudem musste sichergestellt werden, dass ausreichend Wechsel der Wandabschnittsleuchtdichten innerhalb der Versuchsdauer stattfanden, damit sich Unterschiede in der Anwendung der erarbeiteten Algorithmen ergaben.

Studie 3 diente zur Überprüfung der in Kapitel 4.1 formulierten übergeordneten Hypothese H5. Sie wird mit den Teilhypothesen H3.1, H3.2 und H3.3 präzisiert.

H3.1: Die Energie-Steuerung senkt den Energiebedarf gegenüber einer konstanten Monitorleuchtdichte, ohne die Nutzer hinsichtlich Leistung, Ermüdung und Empfinden negativ zu beeinflussen.

H3.2: Die Verwendung der Leistungsatmosphäre-Steuerung führt, im Vergleich zu einer konstanten Monitorleuchtdichte, zu einer positiveren visuellen Leistungsatmosphäre.

H3.3: Der Einsatz einer Steuerung der Monitorleuchtdichte wird von den Nutzern akzeptiert.

8.1. Durchführung

Die Studie wurde zwischen dem 23.10.2013 und dem 06.11.2013 durchgeführt Es handelte sich erneut um ein Messwiederholungsdesign. Jede Testperson durchlief alle Steuerungsvarianten. Nachfolgend werden Randbedingungen wie Räumlichkeiten, Testpersonen, Steuerungsvarianten, verwendete Maße und der Ablauf der Untersuchung beschrieben.

8.1.1. Räumlichkeiten

Die Studie fand gleichzeitig in zwei direkt nebeneinanderliegenden Büroräumen statt. Die Büros waren nach Süden ausgerichtet, hatten die Abmessungen 6,03 m x 3,40 m x 3 m (Raum 1) und 6,03 m x 3,50 m x 3 m (Raum 2) und sind in Bild 8.1 und Bild 8.2 dargestellt. Die Büros unterschieden sich in geringem Maße hinsichtlich der Größe, der Decke und der Ausstattung. In Raum 1 befand sich eine herkömmliche Akustik-Decke, ein Schrank und ein Whiteboard (beides im Rücken der Testperson). In Raum 2 befand sich ein Stromschienensystem an der Decke, dessen Zwischenräume ebenfalls mit Akustik-Deckenelementen versehen waren. Es befanden sich keine Einrichtungsgegenstände in Raum 2.

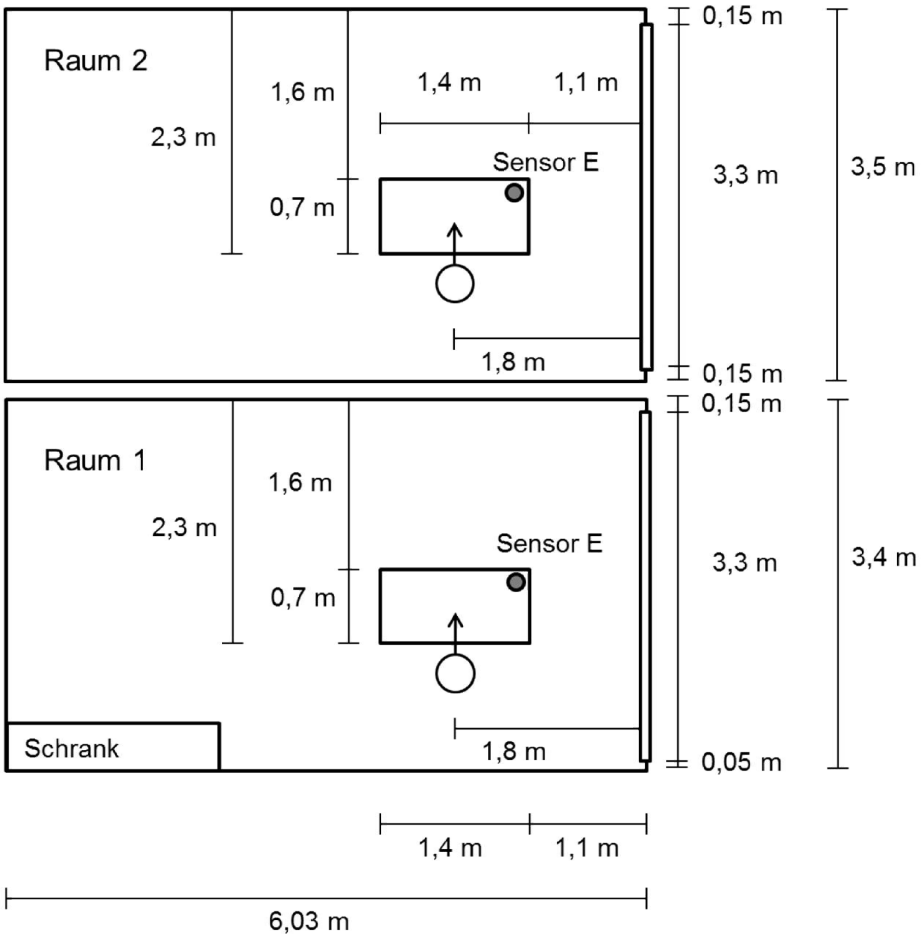


Bild 8.1: Schematischer Grundriss der verwendeten Testräume, der dort eingerichteten Arbeitslätze und des angebrachten Sensors zur Erfassung der Beleuchtungsstärke E.

Bild 8.2: Fotographische Darstellung der eingerichteten Arbeitslätze.

Als künstliche Beleuchtung wurde jeweils eine direkt und indirekt strahlende Stehleuchte (Zumtobel Minimum Lite) verwendet, welche mit zwei Leuchtmitteln des Typs Osram Dulux L 80w 840 ausgestattet war. Beide Räume verfügten über eine steuerbare Jalousie. In jedem der Räume befand sich ein Arbeitsplatz bestehend aus einem Monitor (Dell P2213, 22 Zoll), Tastatur und Maus, als Rechner wurde ein Laptop verwendet.

8.1.2. Sensorik im Raum

Während der Studie wurde in Raum 1 und 2 die Beleuchtungsstärke an der in Bild 8.1 dargestellten Position gemessen, um die in den beiden Räumen vergleichbaren Randbedingungen nachzuweisen, in Anhang G sind die zu vergleichenden Beleuchtungsstärken angegeben.

8.1.3. Testpersonen

Insgesamt nahmen 40 Testpersonen an der Studie teil, welche über einen Testpersonen-Pool angeworben und für ihren Aufwand bezahlt wurden. Es handelte sich größtenteils um Studenten, die Testpersonenstruktur ist in Tabelle 8.1 zu sehen.

Tabelle 8.1: Übersicht über die teilnehmenden Testpersonen.

Anzahl	Geschlecht		Alter			
	m	w	MW	SD	Median	Spannweite
40	25	15	25,10	2,95	25	21 - 34

Die Sehschärfe der Testpersonen wurde mittels der Software „Fract“ ermittelt [63]. Nur eine Person lag unter den in Studie 1 und 2 angenommener Mindestsehschärfe von 0,8. Sie zeigte keine Auffälligkeiten gegenüber den anderen Testpersonen und wurde deswegen in die Auswertung eingeschlossen.

8.1.4. Untersuchte Steuerungsvarianten

Im Gegensatz zu den bisherigen Studien wurden nicht die Parameter der Leuchtdichteumgebung auf ihren Einfluss hin untersucht, sondern verschiedene Varianten der Steuerung gegenübergestellt.

Steuerungsvarianten

Die in Kapitel 7 konzipierten Leistungsatmosphäre-Steuerung (LA) und Energie-Steuerung (EN) wurden einer Kontrollbedingung mit Konstant-Steuerung (KS) gegenüber gestellt. Die Kennwerte der Steuerungsvarianten sind in Tabelle 8.2 zusammengestellt.

Tabelle 8.2: Übersicht über die zu vergleichenden Steuerungsvarianten.

Steuerung	Ausprägung	Bereiche innerhalb dem L_M gesteuert wird [cd/m^2]	
		L_W	L_M
KS	Konstante L_M	-	175
LA	Innerhalb der technischen Möglichkeiten des Standard-Monitors soll die optimale visuelle Leistungsatmosphäre erreicht werden.	121 - 185	150 - 230 $L_M = 1{,}24 * L_W$
EN	Eine maximale Leuchtdichte von 175 cd/m^2 soll nicht überschritten werden. Unterhalb von 175 cd/m^2 soll die optimale visuelle Leistungsatmosphäre erreicht werden.	113 - 141	140 - 175 $L_M = 1{,}24 * L_W$

Profil der räumlichen Randbedingungen

Die unterschiedlichen Steuerungsvarianten können nur sinnvoll verglichen werden, wenn sie auch zu unterschiedlichen Leuchtdichteumgebungen, also unterschiedlichen Anpassungen bei Veränderung von L_W führen. Dies setzt eine Änderung von L_W voraus. Je nach Tageszeit und Wetterlage ist diese nur in der Dämmerung gegeben. Da eine Nutzung der natürlichen Übergänge zu einer nicht vertretbar langen Versuchszeit geführt hätte, wurden eine künstliche Übergangsphase von Dunkel zu Hell (Abschnitt 1), eine konstant helle Phase mit den natürlichen Randbedingungen (Abschnitt 2) und ein Übergangsphase von Hell zu Dunkel (Abschnitt 3) als Profil der räumlichen Randbedingungen hintereinander geschaltet. Die zu vergleichenden Steuerungsvarianten (KS, LA und EN) wurden jeweils während dem Ablauf des Profils getestet, wie in Bild 8.3 zu sehen.

Bild 8.3: Ablauf der Profile der räumlichen Randbedingungen.

Das Profil der räumlichen Randbedingungen wurde mittels verschiedener Fassaden- und Kunstlichtzustände realisiert, wie in Anhang G zu sehen. Zu Beginn war die Fassade geschlossen und das Kunstlicht auf 500 lx auf der Arbeitsfläche eingestellt. Im Verlauf des ersten Abschnitts wurde die Fassade geöffnet, der zweite Abschnitt fand während einer geöffneten Fassade statt, während dem dritten Abschnitt wurde die Fassade wieder geschlossen. Zum Einstellen von Kunstlicht und Fassade musste die Versuchsleitung den Testraum betreten. Dies erfolgte in der achten und 16. Minute nach Beginn des ersten und dritten Abschnitts.

8.1.5. Verwendete Indikatoren zu Leistung, Ermüdung und Empfinden

Es wurde eine Auswahl der bereits in Studie 1 und 2 verwendeten Fragebögen und Leistungstests verwendet. Außerdem wurde zusätzlich eine weitere typische Büro-Aufgabe integriert und ein spezieller Fragebogen zur Akzeptanz der Monitorsteuerung verwendet.

Büro-Aufgabe

Als Büro-Aufgabe wurde eine typische Bürotätigkeit, welche sich leicht standardisieren lässt, ausgewählt. Das Übertragen von Texten in den PC wurde auch in anderen Studien angewendet [173]. Die Testpersonen sollten Adressen von einer Papiervorlage in den Computer eingeben. Die Adressen wurden mittels eines Adressgenerator erstellt [1] und anschließend von zwei unabhängigen Personen auf ihren vergleichbaren Schwierigkeitsgrad überprüft und eingeschätzt. Zu schwere und zu leichte Adressen wurden ersetzt. Jeweils 48 Adressen wurden auf einem

Blatt zusammengestellt (weißes Papier, schwarze Schrift, A4-Blatt, Schriftgröße 12, Times new roman) und den Testpersonen zur Verfügung gestellt, in einer Zeit von 9 Minuten sollten so viele Adressen wie möglich in den Computer übertragen werden. Als Leistungsmaß wurde die Anzahl der bearbeiteten Adressen herangezogen. Im Anhang G ist ein Beispiel der Büro-Aufgabe zu sehen.

Buchstabenvergleichs-Aufgabe

Die BVA wurde analog zu Studie 2 durchgeführt. Als Papiervorlage wurde ein weises A4 Blatt mit schwarze Schrift, Schriftgröße 8, Arial verwendet. Die Aufgabe wurde zweimal hintereinander mit einer jeweiligen Bearbeitungszeit von 60 Sekunden durchgeführt. Als Leistungsmaß wurde die Anzahl der bearbeiteten Teilaufgaben herangezogen.

Dominosteinsuch-Aufgabe

Auch eine Abwandlung der DSA wurde erneut verwendet. Innerhalb von 180 Sekunden sollten möglichst viele Dominosteine abwechselnd in einer Matrix auf dem Monitor und auf dem Wandabschnitt gefunden werden. Die Leistungsdaten der DSA wurden nicht ausgewertet, da die Matrix innerhalb des Studienverlaufs nicht verändert wurde und die Testpersonen sich eventuell an die einzugebenden Koordinaten hätten erinnern können. Dies hätte die Daten verfälscht. Die Aufgabe diente der Forcierung der visuellen Ermüdung.

Konzentrations-Leistungs-Test

Der KLT wurde analog zur Studie 2 verwendet. Er wurde zweimal hintereinander mit einer jeweiligen Bearbeitungszeit von 60 Sekunden durchgeführt. Als Leistungsmaß wurde die Anzahl der bearbeiteten Teilaufgaben herangezogen.

Subjektive Einschätzung zur Aufgabenbearbeitung

Die subjektive Einschätzung bei der Aufgabenbearbeitung wurde im Vergleich zur Studie 2 noch weiter reduziert und anhand der folgenden Abfragen erfasst:

- Die Aufgabe war geistig anstrengend für mich.
- Die Aufgabe habe ich erfolgreich abgeschlossen.
- Ich war motiviert während der Bearbeitung der Aufgabe.

Die Testpersonen gaben ihre Einschätzung mittels einer 7-stufigen Skala von „Trifft voll und ganz zu“ bis „Trifft überhaupt nicht zu“ an.

Visuelle Ermüdung

Analog zur Studie 2 wurden die Testpersonen nach jeder bearbeiteten Aufgabe nach ihrer visuellen Ermüdung gefragt:

- Das Arbeiten unter diesen Bedingungen hat meine Augen ermüdet.

Die Testpersonen gaben ihre Einschätzung mittels einer 7-stufigen Skala von „Trifft voll und ganz zu“ bis „Trifft überhaupt nicht zu“ an.

Nahpunkt der Akkommodation

Zur physiologischen Messung der visuellen Ermüdung wurde analog zu Studie 1 der NPA gemessen.

Visuelle Leistungsatmosphäre

Die visuelle Leistungsatmosphäre im Raum wurde erneut abgefragt. Aufgrund der Faktorenstruktur in Studie 2 wurde der Fragebogen um die visuelle Ermüdung erweitert. Auf einer 7-stufigen Skala sollten die Testpersonen jeweils einschätzen, wie sehr die folgenden Aussagen zutrafen:

- Die momentane Kombination von Licht im Raum und Bildschirmhelligkeit hat meine Motivation gesteigert.
- Die momentane Kombination von Licht im Raum und Bildschirmhelligkeit hat meine Leistung gesteigert.
- Die momentane Kombination von Licht im Raum und Bildschirmhelligkeit hat mich ermüdet.
- Ich würde bei der momentanen Kombination von Licht im Raum und Bildschirmhelligkeit gerne weiterarbeiten.
- Nachdem Sie nun einige Zeit gearbeitet haben, möchten wir von Ihnen etwas über den Zustand Ihrer Augen erfahren. Bitte geben Sie an, wie sehr diese Aussage auf Sie zutrifft: Das Arbeiten unter diesen Bedingungen hat meine Augen ermüdet.

Befindlichkeit

Die Befindlichkeit der Testpersonen wurde über den MDBF abgefragt, welcher bereits in Studie 1 verwendet wurde.

Schläfrigkeit

Zur Erfassung der Ermüdung der Testpersonen während der Studie wurde die Karolinska Schläfrigkeitsskala wie in Studie 1 eingesetzt.

Akzeptanz der Steuerung

Um die Auffälligkeit der verschiedenen Steuerungsvarianten zu überprüfen, wurde zunächst das Bemerken der Monitorsteuerung abgefragt. Bei positiver Antwort wurden den Testpersonen weitere Fragen zur Akzeptanz der Steuerung gestellt, welche jeweils mit einer 7-stufigen Antwortskala zu beantworten waren und im Anhang G dargestellt sind.

8.1.6. Zeitlicher Ablauf

Die Testpersonen erlebten jeweils an einem Tag alle Steuerungsvarianten in randomisierter Reihenfolge (siehe Anhang G). Pro Tag wurden zwei Durchgänge angeboten. In jedem Durchgang wurden zwei Testpersonen parallel getestet. Ein möglichst zeitgleiches Bearbeiten der einzelnen Aufgaben und Fragebögen war notwendig, damit die Studienabschnitte jeweils unter gleichen Tageslichtbedingungen bearbeitet wurden. Deswegen wurden die Fragebögen mit einer zeitlichen Beschränkung angeboten, die Testpersonen hatten beispielsweise für fünf Fragen eine Minute Zeit. Vor Ablauf dieser Zeit konnte die Studie nicht fortgesetzt werden.

Nach der formalen Einführung und der Sehschärfemessung durch den Versuchsleiter durchliefen die Testpersonen zunächst eine Trainingseinheit zum Kennenlernen der einzelnen Aufgaben und Gewöhnen an die Testbedingungen. Danach starteten sie mit der ersten Steuerungsvariante. Der Ablauf ist in Auszügen in Tabelle 8.3 zu sehen.

Tabelle 8.3: Zeitlicher Ablauf und Reihenfolge der Leistungstest und Abfragen während einer zu untersuchenden Steuerungsvariante.

Bedingung	Abschnitt	Maß	
LA	Baseline	MDBF	
		KSS	
		NPA	
	„Dunkel - Hell“	Büro	Aufgabenbearbeitung
			Anstrengung, Erfolg, Motivation
			Visuelle Ermüdung
		Visuelle Leistungsatmosphäre	
		BVA	Aufgabenbearbeitung
			Anstrengung, Erfolg, Motivation
			Visuelle Ermüdung
		DSA	Aufgabenbearbeitung
			Nahpunkt der Akkommodation
			Anstrengung, Erfolg, Motivation
			Visuelle Ermüdung
		KLT	Aufgabenbearbeitung
			Anstrengung, Erfolg, Motivation
			Visuelle Ermüdung
		Visuelle Leistungsatmosphäre	
	Konstant Hell	…siehe Abschnitt „Dunkel - Hell“	
	„Hell - Dunkel“	…siehe Abschnitt „Dunkel - Hell“	
	Endline	MDBF	
		KSS	
		NPA	
		Akzeptanz der Steuerung	
Pause			
EN	…siehe LA		
Pause			
KS	…siehe LA		

Zu Beginn und zum Ende einer Steuerungsvariante wurden die visuelle Ermüdung, die Befindlichkeit und die Schläfrigkeit in einer Base- und Endline-Messung abge-

fragt. Als letzte Abfrage in der Endline wurde die Akzeptanz der Steuerung überprüft. Zwischen Base- und Endline wurden die Leistungstests und die übrigen Abfragen dreimal durchgeführt, einmal innerhalb jede Abschnitts des Profils der räumlichen Randbedingungen (Abschnitt 1: Dunkel - Hell, Abschnitt 2: Konstant Hell, Abschnitt 3: Hell - Dunkel). Die visuelle Leistungsatmosphäre wurde zweimal pro Abschnitt abgefragt.

Die Versuchsleitung musste die Räume zum Anpassen des Profils der räumlichen Randbedingungen in den Abschnitten „Dunkel - Hell“ und „Hell - Dunkel“ betreten. Die deswegen entstehende Störung trat jeweils bei Bearbeitung der Büro-Aufgabe und der DSA auf. Im Falle der Büro-Aufgabe kann argumentiert werden, dass in realen Büroumgebungen ebenfalls nicht von einer störungsfreien Arbeitszeit ausgegangen werden kann. Die Leistungsdaten der Dominosteinsuch-Aufgabe wurden nicht ausgewertet, eventuelle Verfälschungen durch die Störung waren somit unerheblich.

8.2. Auswertung

Die Datenreduktion und Varianzanalyse als verwendete Verfahren zur statistischen Auswertung wurden bereits in Studie 1 dargestellt. Schwerpunktmäßig wurde die Varianzanalyse herangezogen um zu überprüfen ob die Steuerungsvarianten sich unterscheiden.

Datenreduktion

Die Datenreduktion wurde für den MDBF und die visuelle Leistungsatmosphäre durchgeführt. Für den MDBF wurden die Reliabilitäten für die in der Literatur vorgegebenen Faktoren berechnet. Diese Berechnung erfolgte jeweils für die Base- und Endline in den drei Steuerungsvarianten. Die sich ergebenden Reliabilitäten sind in Anhang H angegeben und können als akzeptabel bis exzellent beschrieben werden. Die visuelle Leistungsatmosphäre wurde nach der Büro-Aufgabe und nach dem gesamten Aufgabenblock abgefragt. Es wurde für 18 Fälle (drei Steuerungsvarianten, drei Abschnitte, zwei Abfragen) eine Analyse der Faktorenstruktur durchgeführt. In 13 Fällen ergab sich ein gemeinsamer Faktor, in fünf Fällen ergaben sich zwei getrennte Faktoren, die allgemeine Ermüdung und die visuelle Ermüdung spalteten sich ab. Die visuelle Leistungsatmosphäre wurde für alle Fälle zu einem gemeinsamen Faktor verrechnet. Die sich ergebenden Reliabilitäten sind

in Anhang H dargestellt und können als akzeptabel bis exzellent beschrieben werden.

Varianzanalyse

Zur Auswertung von Studie 3 wurde die mehrstufige Varianzanalyse angewendet. Als erster Faktor ging die Steuerungsvariante (mit den drei Stufen KS, LA und EN), als zweiter Faktor der Abschnitt des Profils der räumlichen Randbedingungen (mit den drei Stufen Abschnitt 1, Abschnitt 2, Abschnitt 3) in die Betrachtung ein. Für die Maße MDBF und KSS wurden anstatt der Abschnitte die Base- und die Endline in die Auswertung mit einbezogen. Für den NPA die Abschnitte und die Base- und die Endline, da dieser sowohl zu Base- und Endline als auch innerhalb der Abschnitte erfasst wurde.

Bildung zweier Altersgruppen

Innerhalb der Varianzanalyse wurde zusätzlich wie in Studie 1 und 2 mit einer Moderatoranalyse überprüft, ob das Alter als Zwischensubjektfaktor die Wirkung der Steuerungsvarianten auf die verwendeten Maße beeinflussen kann. Dazu wurden die 40 Testpersonen nach einem Mediansplit, je nach Alter, in zwei Gruppen geteilt. Der Median des Alters lag bei 25 Jahren. Die Gruppenzuordnung ist in Tabelle 8.4 zu sehen.

Tabelle 8.4: Aufteilung der Gesamtzahl der Testpersonen auf zwei Altersgruppen.

Gruppe	Anzahl	Geschlecht		Alter			
		m	w	MW	SD	Median	Spannweite
Alle	40	25	15	25,10	2,95	25	21 - 34
$J_{21\text{-}24}$	17	10	7	22,35	0,93	22	21 - 24
$A_{25\text{-}34}$	23	15	8	27,13	2,16	27	25 - 34

Es zeigte sich, dass das Alter auf zahlreiche Maße wie Motivation, geistige Anstrengung, erfolgreiches Abschließen und visuelle Ermüdung bei den verschiedenen bearbeiteten Leistungstests Einfluss hatte (siehe dazu Anhang H). Aufgrund des häufigen Moderatoreffekts wurde eine getrennte Analyse der beiden Gruppen durchgeführt.

8.3. Ergebnisse der Varianzanalyse

Um die Hypothesen zu überprüfen, wurden für die untersuchten Maße Varianzanalysen mit Steuerungsvariante und Abschnitt als Messwiederholungsfaktoren berechnet. Die zugrundeliegenden Mittelwerte und Standardabweichungen aller Leuchtdichteumgebungen sind in Anhang H zu finden. Berichtet werden nur die signifikanten ($p \leq 0,05$) und tendenziellen ($p \leq 0,15$) Ergebnisse. Die älteren Teilnehmer reagierten sensibler als die jüngeren auf die verschiedenen Steuerungsvarianten, zudem liegt der Altersdurchschnitt dieser Gruppe näher an dem der Wissensarbeiter. Deshalb sind die Analysen aller Probanden und der Gruppen $J_{21\text{-}24}$ im Anhang H zu finden. Die Analyse der Maße Erfolgreiches Abschließen und Motivation für die verwendeten Leistungsmaße, die Erfassung der Schläfrigkeit und Befindlichkeit der Gruppe $A_{25\text{-}34}$ sind ebenfalls im Anhang H dargestellt. Nach der Darstellung der Ergebnisse werden jeweils die maßgeblichen Erkenntnisse für Gruppe $A_{25\text{-}34}$ in einem Fazit zusammengefasst, hier sind auch die Maße aufgeführt deren detaillierte Auswertung im Anhang H zu finden ist.

Visuelle Leistungsatmosphäre

Die visuelle Leistungsatmosphäre wurde pro Abschnitt zweimal erhoben, einmal nach der Bearbeitung der Büro-Aufgabe und einmal nachdem alle Aufgaben des Abschnitts durchgeführt waren.

Bei der ersten Erfassung nimmt die Steuerungsvariante signifikant Einfluss ($F(2,42) = 4,01$, $p = 0,03$, $\eta_p^2 = 0,16$), zu sehen ist dieser Zusammenhang in Bild 8.4. Die hohe Effektstärke deutet auf eine starke Beeinflussung der visuellen Leistungsatmosphäre durch die Art der Steuerung der Leuchtdichteumgebung hin. LA zeigt die positivste, EN die negativste visuelle Leistungsatmosphäre. In den ersten beiden Abschnitten wird die visuelle Leistungsatmosphäre bei LA (Abschnitt 1: MW = 0,11, SD = 1,45, Abschnitt 2: MW = 0,15, SD = 1,23) tendenziell positiver eingeschätzt als bei EN (Abschnitt 1: MW = -0,31, SD = 1,38, Abschnitt 2: MW = -0,53, SD = 1,60), (Abschnitt 1: $t(22) = 1,61$, $p = 0,12$, Abschnitt 2: $t(22) = 1,78$, $p = 0,09$).

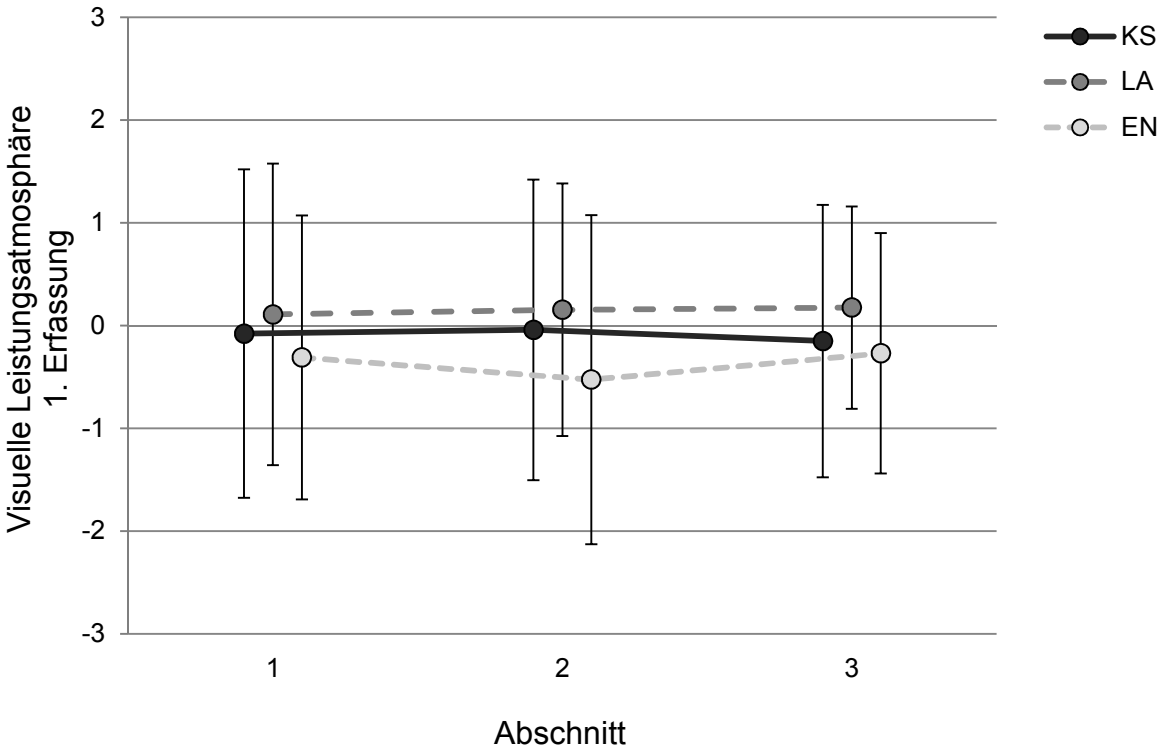


Bild 8.4: Erste Erfassung der visuellen Leistungsatmosphäre in Abhängigkeit der Steuerungsvarianten, dargestellt für die Gruppe $A_{25\text{-}34}$. Der Fehlerballen stellt die Standardabweichung dar.

Bei der zweiten Erfassung ergab sich kein Einfluss der Steuerungsvariante oder des Abschnitts.

Zusammenfassung der visuellen Leistungsatmosphäre

- Die Leistungsatmosphäre-Steuerung führt zur positivsten, die Energie-Steuerung zur negativsten visuellen Leistungsatmosphäre.
- Die Effektstärke, welche sich für den Einfluss der Steuerungsvariante auf die visuelle Leistungsatmosphäre ergibt, deutet auf eine hohe praktische Relevanz der Form der Steuerung der Leuchtdichtumgebung hin.

Büro-Aufgabe

Je nach Abschnitt werden signifikant unterschiedlich viele Teilaufgaben bearbeitet ($F(2,42) = 7{,}09$, $p < 0{,}01$, $\eta_p^2 = 0{,}25$). Die höchste Leistung wird im mittleren Abschnitt erbracht.

Büro-Aufgabe: Geistige Anstrengung

Die empfundene Anstrengung unterscheidet sich tendenziell je nach Abschnitt, sie nimmt mit jedem Abschnitt zu ($F(2,44) = 2,75$, $p = 0,08$, $\eta_p^2 = 0,11$)

Büro-Aufgabe: Visuelle Ermüdung

Die Steuerungsvariante beeinflusst tendenziell die visuelle Ermüdung ($F(2,28) = 2,17$, $p = 0,13$, $\eta_p^2 = 0,13$). Die Effektstärke deutet auf eine mittlere bis hohe praktische Relevanz hin. Bei EN ist die visuelle Ermüdung, wie in Bild 8.5 zu sehen, höher als bei den beiden anderen Steuerungsvarianten. Für den zweiten Abschnitt lies sich dieser Unterschied auch in den Einzelvergleichen nachweisen. EN (MW = 0,61, SD = 1,59) führt zu einer signifikant höheren visuellen Ermüdung als KS (MW = -0,09, SD = 1,65), ($t(22) = 2,82$, $p = 0,01$) und LA (MW = -0,35, SD = 1,64), ($t(22) = 2,71$, $p = 0,01$).

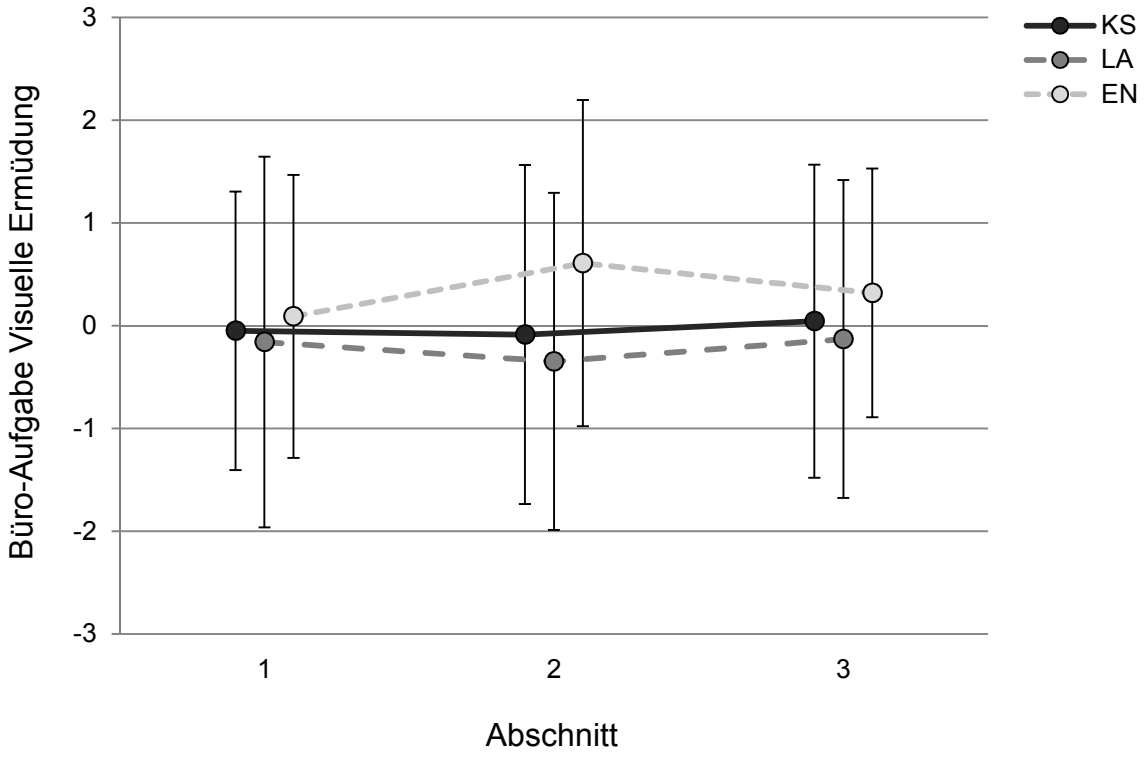


Bild 8.5: Visuelle Ermüdung bei der Büro-Aufgabe in Abhängigkeit der Steuerungsvarianten, dargestellt für die Gruppe $A_{25\text{-}34}$. Der Fehlerballen stellt die Standardabweichung dar.

Zusammenfassung der Büro-Aufgabe

- Bei der Aufgabenbearbeitung ist die visuelle Ermüdung bei der Energie-Steuerung besonders hoch. Von einem Einsatz der Energie-Steuerung ist deswegen abzuraten.

Buchstabenvergleichs-Aufgabe

Der Abschnitt bestimmt signifikant die Anzahl der bearbeiteten Aufgaben ($F(2,42) = 4,37$, $p = 0,02$, $\eta_p^2 = 0,17$). In allen Bedingungen bearbeiten die Testpersonen im ersten Abschnitt die wenigsten Aufgaben.

Buchstabenvergleichs-Aufgabe: Geistige Anstrengung

Es zeigt sich neben dem tendenziellen Einfluss des Abschnittes ($F(2,44) = 3,03$, $p = 0,06$, $\eta_p^2 = 0,12$) auch eine tendenzielle Interaktion zwischen Steuerungsvariante und Abschnitt ($F(4,88) = 2,31$, $p = 0,06$, $\eta_p^2 = 0,10$). In Bild 8.6 sind die Ergebnisse dargestellt.

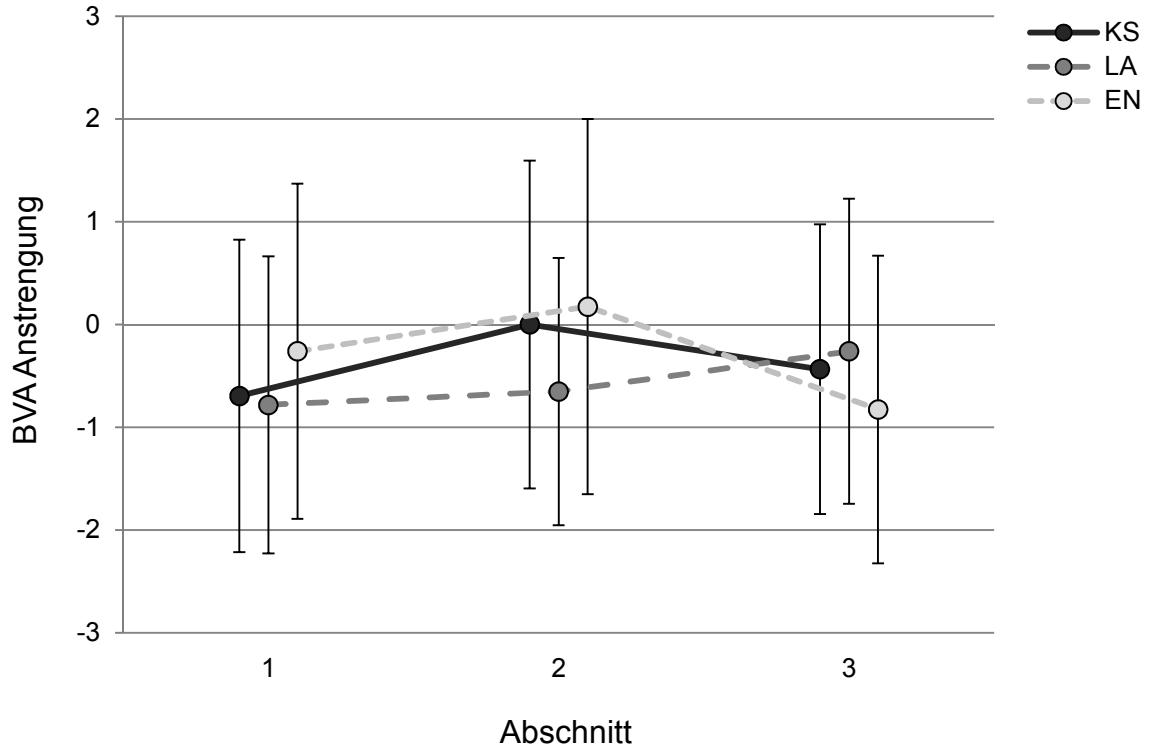


Bild 8.6: Anstrengung bei der Buchstabenvergleichs-Aufgabe in Abhängigkeit der Steuerungsvarianten, dargestellt für die Gruppe $A_{25\text{-}34}$. Der Fehlerballen stellt die Standardabweichung dar.

Im ersten Abschnitt hat LA (MW = -0,78, SD = 1,44) tendenzielle Vorteile gegenüber EN (MW = -0,26, SD = 1,63), (t(22) = 1,49, p = 0,15). Auch im zweiten Abschnitt führt LA (MW = -0,65, SD = 1,30) tendenziell zu geringerer geistiger Anstrengung als EN (MW = 0,17, SD = 1,83), (t(22) = 1,69, p = 0,11) und KS (MW = 0,00, SD = 1,60), (t(22) = 1,59, p = 0,13).

Buchstabenvergleichs-Aufgabe: Visuelle Ermüdung

Es ergibt sich ein signifikanter Einfluss der Steuerungsvariante ($F(2,44) = 5,81$, $p < 0,01$, $\eta_p^2 = 0,21$), ein tendenzieller Einfluss des Abschnitts ($F(2,44) = 2,49$, $p = 0,09$, $\eta_p^2 = 0,10$) und eine tendenzielle Interaktion ($F(4,88) = 2,20$, $p = 0,08$, $\eta_p^2 = 0,09$) der beiden Einflussgrößen. Der Einfluss der Steuerungsvariante kann wegen der hohen Effektstärke als praxisrelevant bezeichnet werden und ist in Bild 8.7 zu sehen. Die visuelle Ermüdung ist bei LA am geringsten.

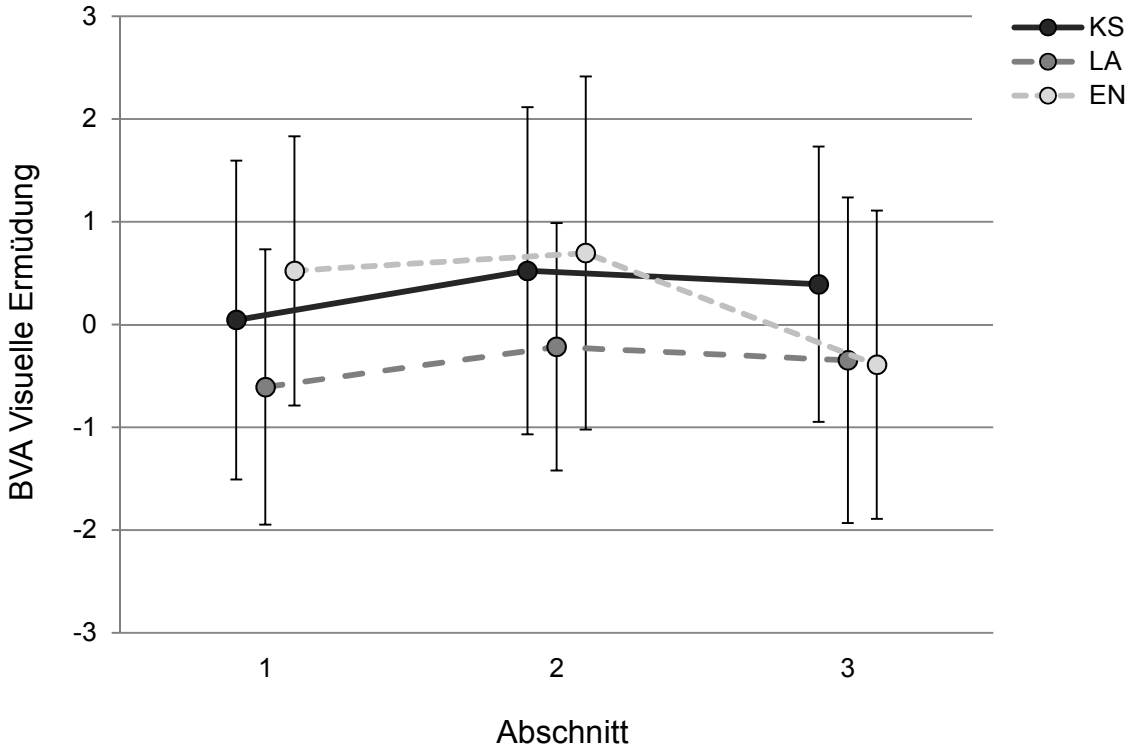


Bild 8.7: Visuelle Ermüdung bei der Buchstabenvergleichs-Aufgabe in Abhängigkeit der Steuerungsvarianten, dargestellt für die Gruppe $A_{25\text{-}34}$. Der Fehlerballen stellt die Standardabweichung dar.

LA (Abschnitt 1: MW = -0,61, SD = 1,34, Abschnitt 2: MW = -0,22, SD = 1,20, Abschnitt 3: MW = -0,35, SD = 1,58) führt in jedem Abschnitt zu einer geringeren visuellen Ermüdung als KS (Abschnitt 1: MW = 0,04, SD = 1,55, Abschnitt 2: MW =

0,52,SD = 1,59, Abschnitt 3: MW = 0,39, SD = 1,34). Die Vergleiche erreichen für jeden Abschnitt mindestens Tendenzniveau (Abschnitt 1: $t(22) = 1,65$, $p = 0,11$), Abschnitt 2: $t(22) = 1,85$, $p = 0,08$, Abschnitt 3: $t(22) = 3,01$, $p < 0,01$). Für die ersten beiden Abschnitte führt LA auch zu einer geringeren visuellen Ermüdung als EN (1. Abschnitt: MW = 0,52, SD = 1,31, 2. Abschnitt: MW = 0,70, SD = 1,72). Die Unterschiede sind signifikant (1. Abschnitt: $t(22) = 3,51$, $p < 0,01$, 2. Abschnitt: $t(22) = 2,12$, $p = 0,05$).

Zusammenfassung der Buchstabenvergleichs-Aufgabe

- Den geringsten Erfolg empfinden die Testpersonen bei der Konstant-Steuerung. Zwischen der Leistungsatmosphäre-Steuerung und der Konstant-Steuerung zeigt sich kein deutlicher Unterschied.
- Im zweiten Abschnitt führt Leistungsatmosphäre-Steuerung zu einer geringeren geistigen Anstrengung als die Energie- und die Konstant-Steuerung. Dies könnte darin begründet sein, dass die Buchstabenvergleichs-Aufgabe an sich keine große geistige Herausforderung darstellt und deswegen die visuelle Anstrengung im Vordergrund steht. Diese müsste aufgrund der hohen Leuchtdichten im zweiten Abschnitt und den damit verbundenen großen Leuchtdichteverhältnissen zwischen Papier-Vorlage und Monitor bei der Leistungsatmosphäre-Steuerung am geringsten sein.
- Die Motivation der Testpersonen ist bei der Energie-Steuerung am geringsten, der Einfluss der Steuerungsvariante verfügt hier über eine große Effektstärke.
- Die visuelle Ermüdung der Testpersonen ist bei der Leistungsatmosphäre-Steuerung am geringsten, der Einfluss der Steuerungsvariante verfügt hier über eine große Effektstärke.
- Insgesamt kann man davon ausgehen, dass der Einsatz der Leistungsatmosphäre-Steuerung bei der Buchstabenvergleichs-Aufgabe vorteilhaft ist.

Dominosteinsuch-Aufgabe: Geistige Anstrengung

Es zeigt sich ein signifikanter Einfluss des Abschnitts ($F(2,44) = 3,13$, $p = 0,05$, $\eta_p^2 = 0,12$) und eine tendenzielle Interaktion zwischen Abschnitt und Steuerungsvariante ($F(4,88) = 2,09$, $p = 0,09$, $\eta_p^2 = 0,09$). In Bild 8.8 ist zu sehen, dass die geistige Anstrengung bei KS im zweiten Abschnitt stark zunimmt und sich im dritten Abschnitt wieder reduziert.

LA (MW = -0,48, SD = 1,65) und EN (MW = -0,09, SD = 1,76) führen im ersten Abschnitt zu signifikant höherer Anstrengung als KS (MW = -1,17, SD = 1,40) (KS - LA: t(22) = 2,11, p = 0,05,KS - EN: t(22) = 2,67, p = 0,01). Im zweiten Anschnitt steigt die Anstrengung bei KS (MW = 0,22, SD = 1,57) an und ist tendenziell höher als die bei LA (MW = -0,57, SD = 1,27) (t(22) = 1,82, p = 0,08). Im dritten Abschnitt sinkt die Anstrengung bei KS (MW = -0,52, SD = 1,7) wieder ab und ist tendenziell geringer als bei EN (MW = 0,09, SD = 1,83) (t(22) = 1,60, p = 0,12).

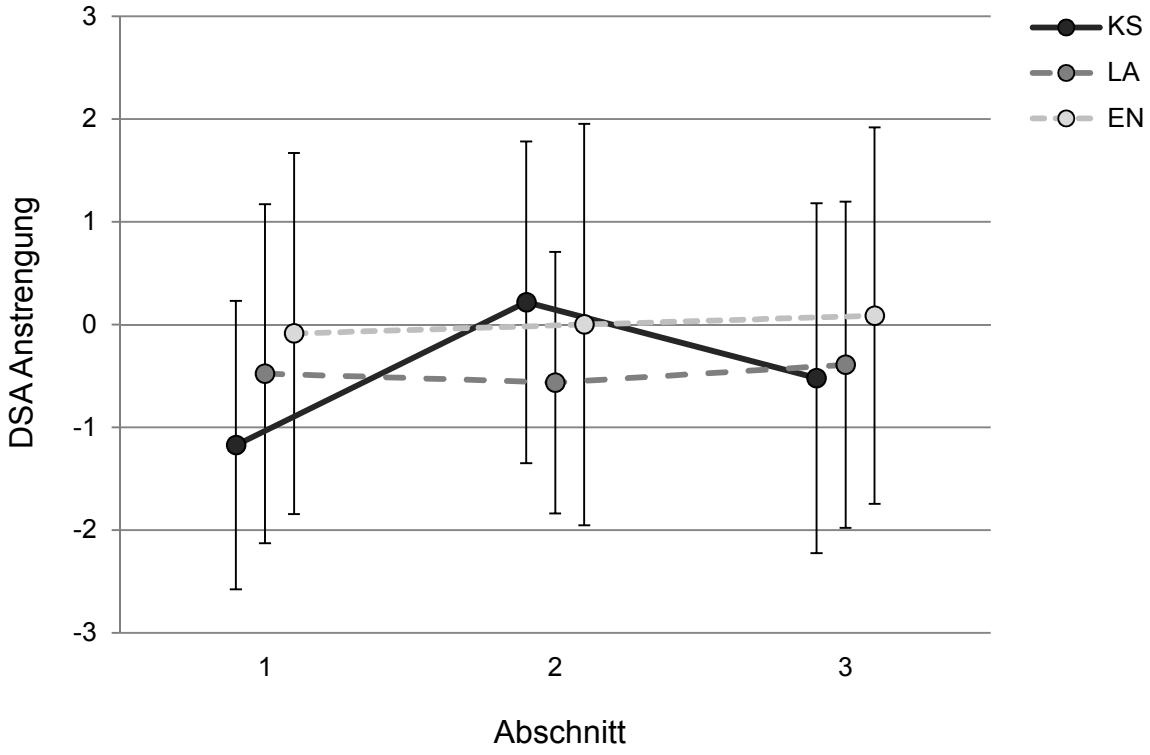


Bild 8.8: Anstrengung bei der Dominosteinsuch-Aufgabe in Abhängigkeit der Steuerungsvarianten, dargestellt für die Gruppe $A_{25\text{-}34}$. Der Fehlerballen stellt die Standardabweichung dar.

Dominosteinsuch-Aufgabe: Visuelle Ermüdung

Es ergibt sich ein tendenzieller Einfluss der Steuerungsvariante (F(2,44) = 2,55, p = 0,09, η_p^2 = 0,10). Die visuelle Ermüdung scheint für LA am Anfang am geringsten zu sein; zu einer hohen visuellen Ermüdung führt EN. Graphisch ist dies in Bild 8.9 dargestellt. Im ersten Abschnitt unterscheiden sich die Steuerungsvarianten LA (MW = -0,30, SD = 1,46) und EN (MW = 0,43, SD = 1,16) sowie LA und KS (MW = 0,22, SD = 1,28) tendenziell (LA - EN: t(22) = 1,81, p = 0,08, KS - LA: t(22) = 1,70, p = 0,10).

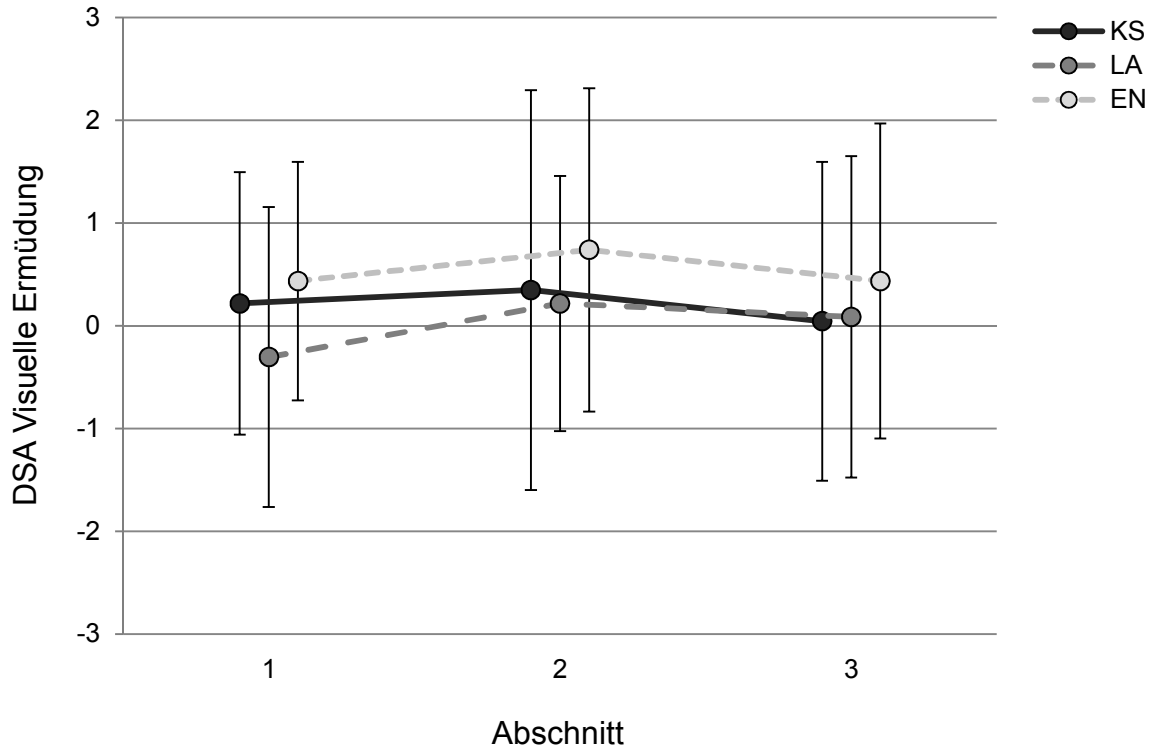


Bild 8.9: Visuelle Ermüdung bei der Dominosteinsuch-Aufgabe in Abhängigkeit der Steuerungsvarianten, dargestellt für die Gruppe $A_{25\text{-}34}$. Der Fehlerballen stellt die Standardabweichung dar.

Zusammenfassung der Dominosteinsuch-Aufgabe

- Die geistige Anstrengung bei Bearbeitung der Aufgabe steigt für die Konstant-Steuerung im zweiten Abschnitt an und lässt im dritten wieder nach. Dies könnte darin begründet sein, dass die Dominosteinsuch-Aufgabe keine große geistige Herausforderung darstellt und deswegen die visuelle Anstrengung im Vordergrund steht. Diese müsste aufgrund der hohen Leuchtdichten im zweiten Abschnitt und den damit verbundenen großen Leuchtdichteverhältnissen zwischen Matrix auf dem Wandabschnitt und auf dem Monitor bei der Konstant-Steuerung höher sein als bei der Leistungsatmosphäre-Steuerung.
- Die visuelle Ermüdung der Testpersonen ist bei der Energie-Steuerung am höchsten. Dies kann durch die Erfassung des Nahpunkts der Akkommodation nach Bearbeiten der Aufgabe bestätigt werden.
- Insgesamt kann der Einsatz der Leistungsatmosphäre-Steuerung als vorteilhaft angenommen werden, da hier eine konstant geringe geistige Anstrengung und visuelle Ermüdung zu erwarten ist.

Konzentrations-Leistungs-Test

Es kann ein tendenzieller Einfluss der Steuerungsvariante ($F(2,44) = 2,57$, $p = 0,09$, $\eta_p^2 = 0,10$) und ein signifikanter Einfluss des Abschnitts ($F(2,44) = 3,18$, $p = 0,05$, $\eta_p^2 = 0,13$) festgestellt werden. Bei LA werden am meisten Teilaufgaben bearbeitet. Tendenzielle Unterschiede lassen sich im zweiten und im dritten Abschnitt feststellen. Im zweiten Abschnitt können die Testpersonen bei LA (MW = 10,04, SD = 2,84) tendenziell mehr Aufgaben bearbeiten als bei EN (MW = 9,43, SD = 3,20) ($t(22) = 1,52$, $p = 0,14$). Im dritten Abschnitt werden bei LA (MW = 10,57, SD = 3,38) tendenziell mehr Aufgaben bearbeitet als bei KS (MW = 9,74, SD = 3,12) ($t(22) = 1,65$, $p = 0,11$). Auch EN (MW = 10,26, SD = 3,22) führt im Vergleich zu KS zu tendenziell mehr bearbeiteten Teilaufgaben ($t(22) = 1,55$, $p = 0,14$). Dargestellt ist der Zusammenhang in Bild 8.10.

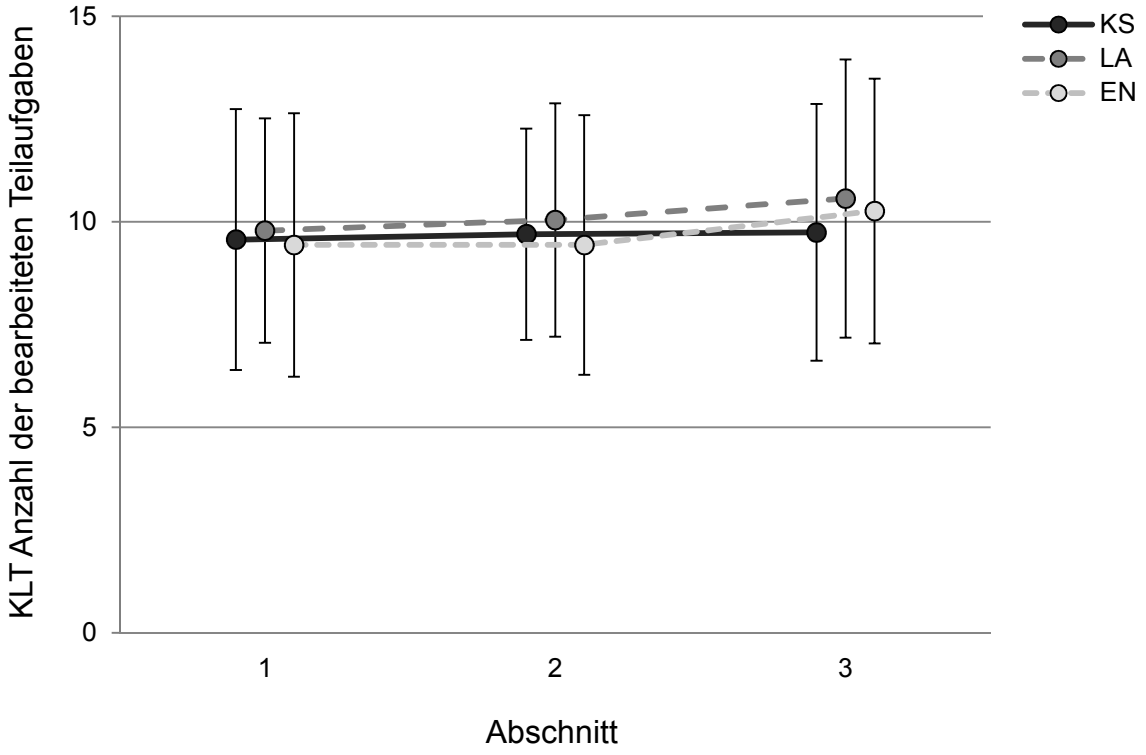


Bild 8.10: Anzahl der bearbeiteten Teilaufgaben des Konzentrations-Leistungs-Tests in Abhängigkeit der Steuerungsvarianten, dargestellt für die Gruppe $A_{25\text{-}34}$. Der Fehlerballen stellt die Standardabweichung dar.

Konzentrations-Leistungs-Test: Geistige Anstrengung

Die Steuerungsvariante ($F(2,44) = 4,00$, $p = 0,03$, $\eta_p^2 = 0,15$) und die Interaktion ($F(2,74,60,20) = 2,40$, $p = 0,08$, $\eta_p^2 = 0,10$) von Abschnitt und Steuerungsvariante nehmen signifikanten beziehungsweise tendenziellen Einfluss auf die Anstrengung, dargestellt in Bild 8.11. Demnach ist die geistige Anstrengung für die Steuerungsvariante KS am geringsten. Am höchsten ist sie je nach Abschnitt bei EN und LA. Die Effektstärke deutet daraufhin, dass die Anstrengung maßgeblich durch die Steuerungsvariante bestimmt wird.

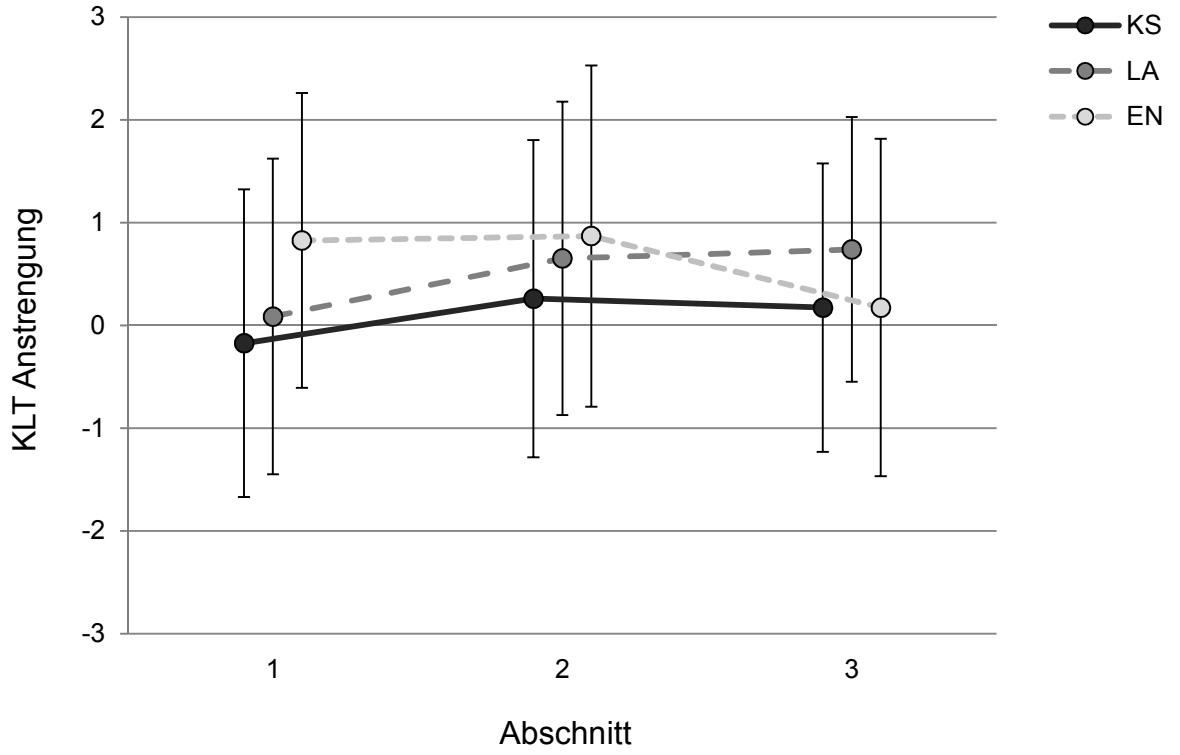


Bild 8.11: Anstrengung beim Konzentrations-Leistungs-Test in Abhängigkeit der Steuerungsvarianten, dargestellt für die Gruppe $A_{25\text{-}34}$. Der Fehlerballen stellt die Standardabweichung dar.

Im ersten Abschnitt ist die Bearbeitung bei EN (MW = 0,83, SD = 1,44) signifikant anstrengender als bei KS (MW = -0,17, SD = 1,50) ($t(22) = 2,55$, $p = 0,02$) und tendenziell anstrengender als bei LA (MW = 0,09, SD = 1,53) ($t(22) = 1,85$, $p = 0,08$). Im zweiten Abschnitt ist die Bearbeitung bei EN (MW = 0,87, SD = 1,66) signifikant anstrengender als bei KS (MW = 0,26, SD = 1,54), ($t(22) = 2,30$, $p = 0,03$). Im dritten Abschnitt ist die Aufgabenbearbeitung bei LA (MW = 0,74, SD = 1,29) am anstrengendsten. Sie ist tendenziell höher als bei KS (MW = 0,17, SD = 1,40) ($t(22) = 2,02$, $p = 0,06$) und EN (MW = 0,17, SD = 1,64) ($t(22) = 1,74$, $p =$

0,10). Grund hierfür könnte die hohe Anzahl der bearbeiteten Teilaufgaben bei LA sein, mehr Leistung könnte auch zu mehr Anstrengung geführt haben.

Konzentrations-Leistungs-Test: Visuelle Ermüdung

Die visuelle Ermüdung zeigt keine Abhängigkeit von Abschnitt oder Steuerungsvariante.

Zusammenfassung des Konzentrations-Leistungs-Tests

- Bei der Leistungsatmosphäre-Steuerung können am meisten Teilaufgaben bearbeitet werden.
- Für die Anstrengung und die Motivation der Testpersonen ist jedoch jeweils die Konstant-Steuerung am förderlichsten.
- Bei der Leistungsatmosphäre-Steuerung ist die Motivation im zweiten Abschnitt besonders gering und die Anstrengung im dritten Abschnitt besonders hoch. Dies könnte darin begründet sein, dass die höhere erbrachte Leistung zu mehr Anstrengung gegen Ende der Bearbeitungszeit führt.
- Zur Steigerung der Leistung ist die Leistungsatmosphäre-Steuerung zu empfehlen, diese führt aber wegen höherer Anstrengung und geringer Motivation zu einer größeren Belastung der Testpersonen.

Nahpunkt der Akkommodation: Erfassung innerhalb der Abschnitte

Es haben die Steuerungsvariante tendenziell ($F(1{,}54;32{,}42) = 2{,}72$, $p = 0{,}09$, $\eta_p^2 = 0{,}12$) und der Abschnitt signifikant ($F(2;42) = 16{,}63$, $p < 0{,}01$, $\eta_p^2 = 0{,}44$) jeweils mit eher großen Effektstärken und damit praktischer Relevanz Einfluss auf den NPA. Der Verlauf der visuellen Ermüdung ist in Bild 8.12 zu sehen. Der NPA ist bei EN am höchsten und steigt von Abschnitt zu Abschnitt. Im ersten Abschnitt führen LA und EN zu einem höheren NPA als KS. Der Unterschied zwischen LA (MW = 12,64 cm, SD = 2,23 cm) und KS (MW = 12,29 cm, SD = 2,25 cm) erreicht dabei Tendenzniveau ($t(21) = 1{,}54$, $p = 0{,}14$). Beim zweiten Abschnitt führt EN (MW = 13,05 cm, SD = 2,53 cm) zu einem tendenziell höheren NPA als KS (MW = 12,46 cm, SD = 2,62 cm), ($t(21) = 1{,}93$, $p = 0{,}07$) und zu einem signifikant höheren NPA als LA (MW = 12,56 cm, SD = 1,98 cm) ($t(21) = 2{,}07$, $p = 0{,}05$). Im dritten Abschnitt liegt der NPA bei EN (MW = 13,55 cm, SD = 2,52 cm) erneut tendenziell höher als bei LA (MW = 13,14 cm, SD = 2,43 cm) ($t(21) = 1{,}65$, $p = 0{,}12$).

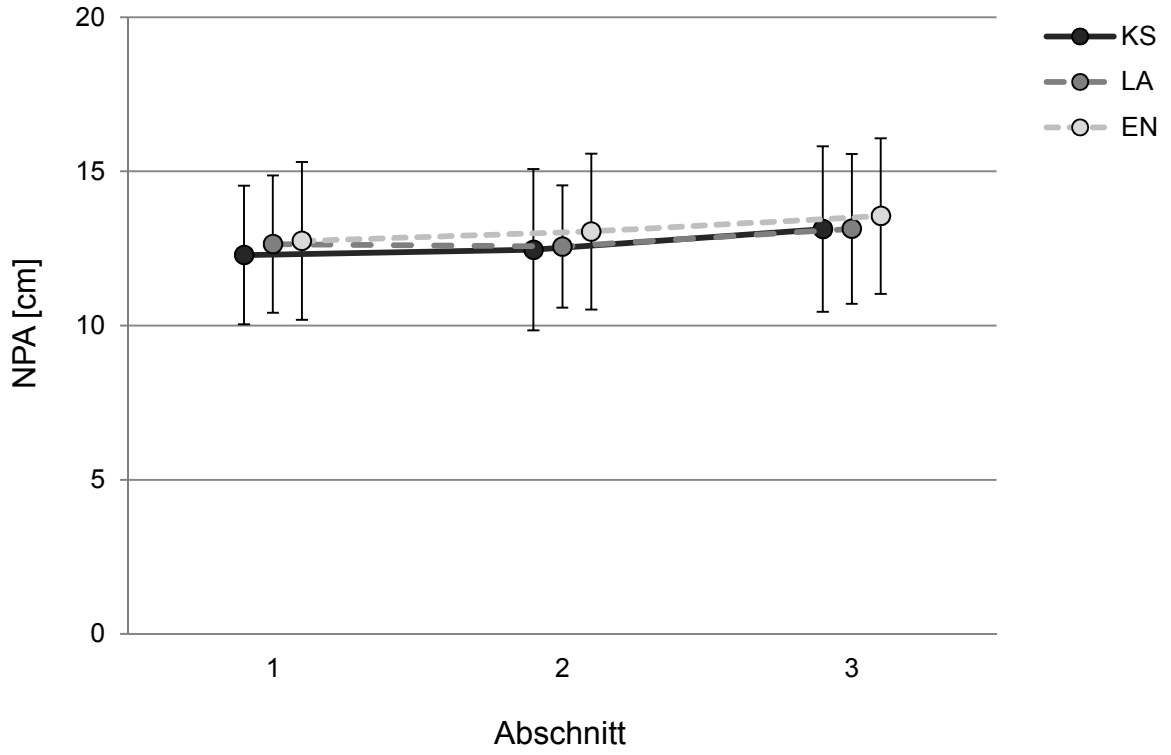


Bild 8.12: Nahpunkt der Akkommodation in Abhängigkeit der Steuerungsvarianten, dargestellt für die Gruppe $A_{25\text{-}34}$. Der Fehlerballen stellt die Standardabweichung dar.

Nahpunkt der Akkommodation: Erfassung zu Base- und Endline

Der Zeitpunkt der Messung zeigt einen signifikanten Einfluss auf den NPA ($F(1,21) = 6,05$, $p = 0,02$, $\eta_p^2 = 0,22$). Die visuelle Ermüdung nimmt über die Dauer der einzelnen Sessions zu.

Zusammenfassung der Ermüdung

- Bei Verwendung der Energie-Steuerung ist die allgemeine Schläfrigkeit der Testpersonen am höchsten.
- Die visuelle Ermüdung ist bei der Energie-Steuerung am stärksten.
- Der Einsatz der Energie-Steuerung ist nicht zu empfehlen.

Zusammenfassung der Stimmung

- Die Stimmung lässt während der Bearbeitungszeit bei der Energie-Steuerung nicht nach, bei der Leistungsatmosphäre-Steuerung und der Kon-

stant-Steuerung startet die Stimmung auf höherem Niveau und nimmt während der Bearbeitungszeit ab.

Akzeptanz der Steuerung

Generell wird die Steuerung, wie Tabelle 8.5 zu entnehmen, nur selten bemerkt. Einige Testpersonen gaben auch fälschlicherweise an, in der Konstant-Steuerung eine Steuerung bemerkt zu haben. Es ergeben sich keine signifikanten oder tendenziellen Unterschiede zwischen den untersuchten Steuerungsvarianten. Da die Steuerung meist nicht erkannt wurde, wurden die Folgefragen zur Akzeptanz der Steuerung aufgrund der geringen Anzahl der Testpersonen nicht ausgewertet.

Tabelle 8.5: Übersicht über die Anzahl der Testpersonen, welche die Steuerung bemerkt haben

Gruppe	Steuerungsvariante					
	KS		LA		EN	
	bemerkt	nicht bemerkt	bemerkt	nicht bemerkt	bemerkt	nicht bemerkt
$A_{25\text{-}34}$	4	19	5	18	2	21

8.4. Zusammenfassung

Die Ergebnisse von Studie 3 sollen nach der Zusammenstellung der Kernaussagen anhand der Überprüfung der Teil-Hypothesen aufbereitet werden, zusätzlich wird in einer kritischen Betrachtung auf Durchführung und Ergebnis der Studie eingegangen. Die Kernaussagen können wie folgt zusammengefasst werden:

- Die Leistungsatmosphäre-Steuerung führte zur positivsten visuellen Leistungsatmosphäre.
- Bezüglich der Leistungsaufgaben zeigte sich, dass die Leistungsatmosphäre-Steuerung bei der Buchstabenvergleichs-Aufgabe zu geringer visueller Ermüdung und zu hohem empfundenen Erfolg führt; bei der Dominostein-such-Aufgabe lässt sie eine konstant geringe geistige Anstrengung und visuelle Ermüdung erwarten.

- Bei der Leistungsatmosphäre-Steuerung wurde auch die höchste Leistung beim Konzentrations-Leistungs-Test erbracht; dies ging jedoch einher mit hoher Anstrengung und geringer Motivation.
- Die Energie-Steuerung führte zu einer niedrigen visuellen Leistungsatmosphäre und zu hoher visueller Ermüdung und Schläfrigkeit.

H3.1: Die Energie-Steuerung senkt den Energiebedarf gegenüber einer konstanten Monitorleuchtdichte, ohne die Nutzer hinsichtlich Leistung, Ermüdung und Empfinden negativ zu beeinflussen.

Diese Hypothese konnte nicht bestätigt werden. Die Energie-Steuerung zeigte speziell bei der Gruppe der älteren Testpersonen, welche eher dem Durchschnittsalter an Büroarbeitsplätzen entsprechen, eine höhere visuelle Ermüdung im Vergleich zur konstanten Monitorleuchtdichte. Dies zeigte sich bei der Büro-Aufgabe, der Dominosteinsuch-Aufgabe und bei der physiologischen Erfassung der visuellen Ermüdung über den Nahpunkt der Akkommodation. Auch die visuelle Leistungsatmosphäre war bei der Energie-Steuerung am negativsten.

H3.2: Die Verwendung der Leistungsatmosphäre-Steuerung führt, im Vergleich zu einer konstanten Monitorleuchtdichte, zu einer positiveren visuellen Leistungsatmosphäre.

Diese Hypothese konnte teilweise bestätigt werden. In Studie 3 wurde die visuelle Leistungsatmosphäre zweimal abgefragt, ein Einfluss der Steuerungsvarianten zeigte sich jedoch nur bei der ersten Erfassung nach der Bearbeitung der Büro-Aufgabe. Hier führte die Verwendung der Leistungsatmosphäre-Steuerung für die Gruppe der älteren Testpersonen zur positivsten visuellen Leistungsatmosphäre. Zusätzlich ergab sich für die Leistungsatmosphäre-Steuerung die beste Leistung beim Konzentrations-Leistungs-Test. Zu einer hohen Motivation und geringen Anstrengung bei der Bearbeitung dieser Aufgabe trug jedoch vor allem die Konstant-Steuerung bei, die Leistungsatmosphäre-Steuerung führte eher zu geringer Motivation und zu hoher Anstrengung. Eventuell ist dies in der stärkeren Belastung durch die höhere erbrachte Leistung begründet. Bei der visuellen Ermüdung führte die Leistungsatmosphäre-Steuerung zu besseren Ergebnissen als die anderen Steuerungsvarianten.

H3.3: Der Einsatz einer Steuerung der Monitorleuchtdichte wird von den Nutzern akzeptiert.

Da die Testpersonen die Steuerung im Allgemeinen nicht bemerkt haben kann diese Hypothese bestätigt werden. Dies kann als positiv betrachtet werden, da ein Kritikpunkt an der bisherigen Steuerung ist, dass die Monitorleuchtdichte sich stufenförmig und damit für die Nutzer merkbar ändert. Über die Akzeptanz der Steuerung im Falle eines Bemerkens durch die Testpersonen konnte auf Grund der geringen Datengrundlage nichts ausgesagt werden.

Kritische Betrachtung

Es gelang in Studie 3 nachzuweisen, dass auch unter realem Tageslicht die Steuerung der Monitorleuchtdichte anhand der Wandabschnittsleuchtdichte sich auf verschiedene Aspekte der Büroarbeit auswirkt. Diese ersten Ergebnisse bestätigen das Potential der Betrachtung und Steuerung der gesamten Leuchtdichteumgebung der Nutzer.

Kritisch zu sehen ist, dass mit dem realen Fenster und dem damit verbundenen Ausblick im Vergleich zu den vorangehenden Untersuchungen eine weitere Variable Bestandteil der Untersuchung war. Die Aussicht auf ein Parkdeck sowie die dynamischen Wetterbedingungen führen zu einer hohen Varianz in den Umgebungsbedingungen. Eine höhere Anzahl an Testpersonen hätte dieser Varianz entgegenwirken und die Ergebnisse festigen können. Bei der Durchführung der Studie wäre es außerdem organisatorisch von Vorteil gewesen, wenn Fassade und Kunstlicht für den Ablauf des Profils der räumlichen Randbedingungen ferngesteuert gewesen wäre und der Versuchsleiter den Raum nicht betreten hätte. Auch in Studie 3 wurden eher einfache Maße gewählt, welche zwar einen Bezug zur Büroarbeit haben, aber keine komplexen Aufgaben, wie sie für die Wissensarbeit typisch sind, darstellen. Dies und der Zeitaufwand, welcher mit etwa zwei Stunden pro Steuerungsvariante deutlich unter dem eines Arbeitstags lag, führen dazu, dass die erhaltenen Ergebnisse einen Anhaltspunkt liefern, aber nicht ohne weitere Untersuchungen auf den Büroalltag übertragen werden können.

9. Diskussion

Nachfolgend werden die Erkenntnisse dieser Arbeit zusammengestellt und in den Kontext der bisherigen Forschungsergebnisse gestellt. Ergänzend werden die Grenzen der Arbeit aufgezeigt.

9.1. Zusammenfassung der Ergebnisse

Zur Aufbereitung der Ergebnisse werden die in Kapitel 4.1 aufgestellten Hypothesen überprüft und die Kernergebnisse der Arbeit zusammengestellt.

H1: Neben der lichttechnischen Gestaltung des Raumes nimmt auch die Monitorleuchtdichte in einem bürotypischen Bereich nachweislich Einfluss auf Leistung, Ermüdung und Empfinden am Bildschirmarbeitsplatz.
Diese Hypothese konnte bestätigt werden. Studie 1 und 2 belegen, dass die Monitorleuchtdichte bei moderaten büroähnlichen Randbedingungen einen Einfluss auf Leistung, Ermüdung und Empfinden des Menschen hat. Zu geringe Monitorleuchtdichten wirkten sich negativ auf verschiedene erhobene Maße aus. Leuchtdichten von 90 beziehungsweise 100 cd/m^2 führten in Studie 1 und 2 zu einer negativen visuellen Leistungsatmosphäre und damit zu einer unvorteilhaften Arbeitsumgebung. Studie 3 zeigte besonders bei der visuellen Ermüdung, dass sich eine Steuerung, welche Leuchtdichten bis 140 cd/m^2 zulässt, negativ auswirkt. Eine Steuerung mit einer Mindestleuchtdichte von 150 cd/m^2 führte zu keiner negativen Bewertung durch die Nutzer. Als Mindestleuchtdichte im Büro sollten deswegen 150 cd/m^2 angesetzt werden. Auch das Leuchtdichteverhältnis zwischen Monitor und Wand nahm Einfluss auf die Nutzer, eine Integration des Monitors in die Forschung zur Lichtumgebung ist deswegen unabdingbar.

H2: Unterschiedliche Leuchtdichteniveaus und Leuchtdichteverteilungen, die typisch sind für fassadennahe Bildschirmarbeitsplätze, haben auch innerhalb des durch Normen zulässigen Bereichs Einfluss auf Leistung, Ermüdung und Empfinden der Nutzer.
Diese Hypothese konnte bestätigt werden. Die Studien 1 und 2 verwendeten simuliertes Tageslicht und konnten Effekte auf die relevanten Maße der Leistung, Ermüdung und Empfinden nachweisen. Bei Tageslichtbedingungen kann davon ausgegangen werden, dass die Wandabschnittsleuchtdichte und das Leuchtdichteverhältnis zwischen Monitor und Wandabschnitt die bestimmenden Parameter der

Leuchtdichteumgebung sind. Mit steigender Wandabschnittsleuchtdichte wurde die visuelle Leistungsatmosphäre positiver und die Leistung beim Konzentrations-Leistungs-Test stieg. Die Anstrengung bei Bearbeitung des Konzentrations-Leistungs-Tests ließ nach. Ein passendes Leuchtdichteverhältnis zwischen Monitor und Wandabschnitt führte ebenfalls zu einer positiven visuellen Leistungsatmosphäre.

Studie 3 fand unter realen Tageslichtbedingungen statt. Es wurden verschiedene Varianten der Anpassung der Monitoreinstellung an die Wandabschnittsleuchtdichte verglichen. Für Maße wie die visuelle Leistungsatmosphäre oder die visuelle Ermüdung ergaben sich unterschiedliche Ausprägungen, somit konnte bestätigt werden, dass bei realem Tageslicht Aussagen abgeleitet werden können.

H3: Das Leuchtdichteniveau verschiedener Flächen im Gesichtsfeld nimmt Einfluss auf die Nutzer; es können Wertebereiche abgeleitet werden, die sich positiv auf Leistung, Ermüdung und Empfinden auswirken.
Diese Hypothese konnte bestätigt werden. In Studie 2 wurde der Einfluss der verschiedenen Leuchtdichten im Raum gegeneinander abgewogen sowie Bereiche abgeleitet, welche zu besonders förderlichen Arbeitsbedingungen führen. Bezüglich der Raumflächen Wandabschnitt und Arbeitsfläche wurde nachgewiesen, dass die Wandabschnittsleuchtdichte den stärkeren Einfluss auf die visuelle Leistungsatmosphäre, die Anstrengung bei der Aufgabenbearbeitung und die Zahl der bearbeiteten Teilaufgaben beim Konzentrations-Leistungs-Test hatte und damit relevant für die Bildschirmarbeit ist. Es ergab sich eine optimale visuelle Leistungsatmosphäre für eine Wandabschnittsleuchtdichte von 336 cd/m^2. Bei 356 cd/m^2 werden die meisten Teilaufgaben des Konzentrations-Leistungs-Tests bearbeitet. Diese beiden Werte sind mit einem Unsicherheitsbereich von 121 cd/m^2 bis 550 cd/m^2 und 44 cd/m^2 bis 668 cd/m^2 zu interpretieren. Außerhalb des Unsicherheitsbereichs ist mit hoher Wahrscheinlichkeit von einer negativeren visuellen Leistungsatmosphäre und einer schlechteren Leistung auszugehen.

Für die Monitorleuchtdichte ließ sich der Bereich unter 150 cd/m^2 ausschließen, in Studie 2 führte die Einstellung 100 cd/m^2 zu einer negativeren visuellen Leistungsatmosphäre gegenüber den Einstellungen 150 cd/m^2 und 200 cd/m^2. Die Ergebnisse von Studie 1 legten bezüglich dieses Maßes einen Ausschluss einer Monitorleuchtdichte von 90 cd/m^2 nah. Studie 3 zeigte, dass das zeitweise Absinken der Monitorleuchtdichte auf 140 cd/m^2 zu negativer Nutzerbewertung führt. Für Büro-

anwendungen sollte eine Mindestmonitorleuchtdichte von 150 cd/m^2 angesetzt werden.

H4: Die Leuchtdichteverhältnisse im Gesichtsfeld nehmen Einfluss auf die Nutzer; es können Wertebereiche abgeleitet werden, die sich positiv auf Leistung, Ermüdung und Empfinden auswirken.

Diese Hypothese konnte bestätigt werden. Es zeigte sich, dass besonders das Leuchtdichteverhältnis zwischen Monitor und Wandabschnitt einen Einfluss auf die visuelle Leistungsatmosphäre hat. Zur optimalen visuellen Leistungsatmosphäre führte eine Monitorleuchtdichte, welche die Wandabschnittsleuchtdichte um das 1,24-fache überstieg. Um das optimale Leuchtdichteverhältnis von 1,24/1 wurde ein Unsicherheitsbereich zwischen 0,40/1 und 2,93/1 ermittelt. Bei Leuchtdichteverhältnissen außerhalb des Unsicherheitsbereichs kann mit hoher Wahrscheinlichkeit von einer negativeren visuelle Leistungsatmosphäre ausgegangen werden. Eingeschränkt wird das optimale Leuchtdichteverhältnis durch die Mindestleuchtdichte des Monitors von 150 cd/m^2 und die technische Begrenzung des Monitors bei zu hoher Wandabschnittsleuchtdichte.

Darüber hinaus zeigte auch das Verhältnis zwischen maximaler und minimaler Leuchtdichte der Leuchtdichteumgebung einen Einfluss auf die visuelle Leistungsatmosphäre, bei ähnlichen Leuchtdichten im Gesichtsfeld kann von einer positiven visuellen Leistungsatmosphäre ausgegangen werden. Dies bestätigte das identifizierte optimale Leuchtdichteverhältnis zwischen Monitor und Wandabschnitt von 1,24/1, welches ebenfalls ähnliche Leuchtdichten von Monitor und Wandabschnitt fordert.

Auch die objektive Leistung wurde durch die Leuchtdichteverhältnisse im Raum beeinflusst werden. Besonders viele Teilaufgaben des Konzentrations-Leistungs-Tests konnten bearbeitet werden, wenn das Verhältnis zwischen maximaler und minimaler Leuchtdichte der Leuchtdichteumgebung bei 2,72/1 lag. Zu beachten ist auch hier ein Unsicherheitsbereich zwischen 1,26/1 und 4,18/1.

H5: Es kann ein Steuerungsalgorithmus konzipiert werden, welcher Leuchtdichteniveau und Leuchtdichteverteilung anhand einer oder mehrerer Führungsgrößen am Bildschirmarbeitsplatz hinsichtlich einer leistungsförderlichen Wirkung oder Energieeinsparung anpasst.

Diese Hypothese konnte teilweise bestätigt werden. Die technische Umsetzung einer Steuerung zur Regulierung der Monitorleuchtdichte anhand der Wandabschnittsleuchtdichte war möglich. Ein Prototyp wurde im Rahmen dieser Arbeit konstruiert und umfangreich auf verschiedene nutzungsrelevante Aspekte hin überprüft.

Der Vergleich von Leistungsatmosphäre- und Energie-Steuerung mit einer konstanten Kontrollbedingung zeigte, dass für die Testpersonen, welche 25 Jahre oder älter waren die Leistungsatmosphäre-Steuerung tatsächlich vorteilhaft war. So war die visuelle Leistungsatmosphäre positiver und auch die Konzentrationsleistung war höher als bei den anderen Steuerungsvarianten. Mit der Energie-Steuerung konnte zwar Energie eingespart werden dies ging aber für Testpersonen über 25 Jahre einher mit gegenüber der konstanten Kontrollbedingung stärkerer Ermüdung, vom Einsatz dieser Steuerungsvariante ist deswegen abzuraten. Von der Akzeptanz der Steuerung kann ausgegangen werden, da der Großteil der Testpersonen die Monitorsteuerung nicht bemerkte. Testpersonen unter 25 Jahren zeigten keine Sensibilität gegenüber den getesteten Steuerungsvarianten. Es konnte weder der Vorteil der Leistungsatmosphäre-Steuerung noch der Nachteil der Energie-Steuerung nachgewiesen werden.

Wandabschnitt als Führungsgröße

In den Studien 1 und 2 hatte die Leuchtdichte des Wandabschnitts hinter dem Monitor gegenüber der Leuchtdichte der Arbeitsfläche einen stärkeren Einfluss auf die Nutzer. Sie kann als Führungsgröße im Raum angenommen werden. Die Leistung bei Bürotätigkeiten wie der Buchstabenvergleichs-Aufgabe und dem Konzentrations-Leistungs-Test stieg mit zunehmender Wandabschnittsleuchtdichte an und die Anstrengung bei der Bearbeitung verschiedener Aufgabentypen ließ nach. Eine hohe Wandleuchtdichte führte außerdem zu einer positiven visuellen Leistungsatmosphäre, welche im Bereich der Wissensarbeit die Voraussetzung zum produktiven Arbeiten schaffen kann. In Studie 2 konnte für die visuelle Leistungsatmosphäre und die Leistung beim Konzentrations-Leistungs-Test eine optimale Leuchtdichte des Wandabschnitts in Verbindung mit einem Unsicherheitsbereich identifiziert werden. Bei einer Wandabschnittsleuchtdichte von 336 cd/m^2 wurde die visuelle Leistungsatmosphäre als optimal wahrgenommen. Als Unsicherheitsbereich wurden die Leuchtdichten zwischen 121 cd/m^2 und 550 cd/m^2 ermittelt. Mit hoher Wahrscheinlichkeit (84,13 %) ist die visuelle Leistungsatmosphäre bei der identifi-

zierten optimalen Wandabschnittsleuchtdichte positiver als außerhalb des Unsicherheitsbereichs. Für die erbrachte Leistung beim Konzentrations-Leistungs-Test wurde eine Wandleuchtdichte von 356 cd/m^2 als optimal ermittelt. Der Unsicherheitsbereich lag bei der erbrachten Leistung zwischen 44 cd/m^2 bis 668 cd/m^2.

Leuchtdichteverhältnis zwischen Monitor und Wandabschnitt

Aufbauend auf der Rolle des Wandabschnitts hinter dem Monitor als Führungsgröße konnte auch das Leuchtdichteverhältnis zwischen Monitor und Wandabschnitt die Nutzer beeinflussen. In den Studien 1 und 2 war jeweils die visuelle Leistungsatmosphäre abhängig von diesem Leuchtdichtverhältnis. In beiden Studien wurde eine positive visuelle Leistungsatmosphäre dann erreicht, wenn die Leuchtdichten der beiden Flächen in einer ähnlichen Größenordnung lagen, die Monitorleuchtdichte jedoch etwas höher war als die des Wandabschnitts. Innerhalb eines Unsicherheitsbereichs zwischen 0,40/1 und 2,93/1 ergab sich in Studie 2 eine optimale visuelle Leistungsatmosphäre bei einem Leuchtdichteverhältnis zwischen Monitor und Wandabschnitt von 1,24/1. Neben dem reinen Verhältnis konnte auch eine Mindestleuchtdichte für den Monitor von 150 cd/m^2 für die Büroanwendung bestimmt werden. Geringere Monitorleuchtdichten führten bei den Testpersonen zu Ablehnung. Dies und die technischen Grenzen des Monitors beschränken die Umsetzung des bestimmten optimalen Leuchtdichteverhältnisses zwischen Monitor und Wandabschnitt.

Weitere Leuchtdichteverhältnisse im Gesichtsfeld

Neben dem als wesentlich identifizierten Leuchtdichteverhältnis zwischen Monitor und Wandabschnitt wurden auch die Leuchtdichteverhältnisse zwischen Monitor und Arbeitsfläche, zwischen Wandabschnitt und Arbeitsfläche und das Verhältnis zwischen minimaler und maximaler Leuchtdichte der Leuchtdichteumgebung untersucht. Dabei zeigte sich in Studie 1 für verschiedene Maße wie die Leistung beim Konzentrations-Leistungs-Test, die Anstrengung bei verschiedenen Aufgaben und die visuelle Ermüdung ein Einfluss des Leuchtdichteverhältnisses zwischen Wandabschnitt und Arbeitsfläche. Lag dieses bei etwa 1/2, wurde die Leistung gesteigert und die Anstrengung und visueller Ermüdung reduziert. In Studie 2 spielte das Leuchtdichteverhältnis zwischen Wandabschnitt und Arbeitsfläche eine untergeordnete Rolle. Lediglich bei der Motivation der Testpersonen nahm es Einfluss,

allerdings derart, dass sich für ein Leuchtdichteverhältnis im Bereich von 1/2 besonders geringe Motivation ergab.

Das Leuchtdichteverhältnis zwischen Monitor und Arbeitsfläche nahm in Studie 2 ebenfalls Einfluss auf die visuelle Leistungsatmosphäre. Bei einem Leuchtdichteverhältnis von 0,83/1 (Unsicherheitsbereich zwischen 0,44/1 und 1,78/1) war die visuelle Leistungsatmosphäre besonders positiv. Der Einfluss ist aber gegenüber dem des Leuchtdichteverhältnisses zwischen Monitor und Wandabschnitt schwächer ausgeprägt.

Auch das Verhältnis zwischen minimaler und maximaler Leuchtdichte der Leuchtdichteumgebung nahm Einfluss auf die Testpersonen. Für eine positive visuelle Leistungsatmosphäre war in Studie 2 eine gleichmäßige Leuchtdichteverteilung von Vorteil, dies untermauert den Einfluss des Leuchtdichteverhältnisses zwischen Monitor und Wandabschnitt, bei dem sich ebenfalls Leuchtdichten in einem ähnlichen Werteberich positiv auswirkten.

Entwicklung und Test von Hard- und Software zur Anwendung der in Studie 1 und 2 gewonnenen Erkenntnisse

Basierend auf den Erkenntnissen der Studien 1 und 2 wurden zwei Varianten einer Steuerung entwickelt welche unter Einbindung der Wandabschnittsleuchtdichte als Führungsgröße die Monitorleuchtdichte so steuern, dass eine optimale visuelle Leistungsatmosphäre geschaffen wird. Die Leistungsatmosphäre-Steuerung erlaubte die Anpassung der Monitorleuchtdichte zwischen 150 cd/m^2 und 230 cd/m^2. In diesem Bereich wurde als Monitorleuchtdichte jeweils das 1,24-fache der Wandabschnittsleuchtdichte eingestellt. Im Vergleich zu einer konstanten Monitorleuchtdichte von 175 cd/m^2 konnten erste Hinweise auf Vorteile einer adaptiven Steuerung der Monitorhelligkeit gesammelt werden. So führte, unter Ausschluss der Testpersonen unter 25 Jahren, die Leistungsatmosphäre-Steuerung im Vergleich zur anderen untersuchten Steuerungsvariante und zur konstanten Monitoreinstellung zu einer positiveren visuellen Leistungsatmosphäre. Außerdem wurde unter Verwendung der Leistungsatmosphäre-Steuerung beim Konzentrations-Leistungs-Test die höchste Anzahl an Teilaufgaben bearbeitet.

Hinweise auf Altersanhängigkeit

Innerhalb der drei durchgeführten Studien nahm das Alter der Testpersonen oftmals Einfluss auf die Beziehung zwischen Leuchtdichteumgebung und den untersuchten Maßen der Leistung, der Ermüdung und des Empfindens. Eine getrennte Auswertung je nach Alter erfolgte nach einem Mediansplit für Studie 3. Bei der separaten Betrachtung der jüngeren (21 Jahre bis 24 Jahre) und älteren (25 Jahre bis 34 Jahre) Testpersonen zeigte sich für die jüngeren Testpersonen lediglich eine in Abhängigkeit der Steuerungsvariante unterschiedlich ausgeprägte Motivation bei Bearbeitung der Büroaufgabe und ein unterschiedlichen Verlauf der Schläfrigkeit. Die älteren Probanden zeigten eine deutlich höhere Sensibilität gegenüber den getesteten Steuerungsvarianten. So unterschieden sich die Leistung beim Konzentrations-Leistungs-Test sowie die Anstrengung und die visuelle Ermüdung bei mehreren bearbeiteten Aufgabentypen. Zudem wurde auch je nach verwendeter Steuerungsvariante die visuelle Leistungsatmosphäre unterschiedlich eingeschätzt. Die Sensibilität gegenüber verschiedenen Steuerungsvarianten zur Veränderung der Leuchtdichteumgebung scheint mit zunehmendem Alter zu steigen.

9.2. Ergebnisse im Kontext bisheriger Untersuchungen

Die genannten Ergebnisse der Arbeit sollen nun im Kontext bisheriger Untersuchungen diskutiert werden.

Wand als Führungsgröße

Der maßgebliche Einfluss der Wandabschnittsleuchtdichte stellt eine Ergänzung zur bisherigen Literatur dar. Bisher kann aus der Literatur abgeleitet werden, dass die Lichtumgebung im gesamten Gesichtsfeld einen stärkeren Einfluss auf die Nutzer hat als die Leuchtdichte der Arbeitsfläche [108], [124], [146]. Zudem stellt die Wandfläche innerhalb des von Loe et al. postulierten 40° Bandes und innerhalb des Gesichtsfelds bei Bildschirmarbeit den größten Bereich dar [108], [147].

Die unter Berücksichtigung des Unsicherheitsbereichs als optimal ermittelten Wandabschnittsleuchtdichten von 336 cd/m^2 für die visuelle Leistungsatmosphäre und 356 cd/m^2 für die erbrachte Leistung beim Konzentrations-Leistungs-Test bestätigen die Vorgabe der BGI [20]. Sie gibt 300 cd/m^2 als obere Grenze für die empfohlenen Leuchtdichten der Wand hinter dem Monitor an, weist jedoch darauf

hin, dass für Tageslichtbedingungen auch höhere Leuchtdichten als angenehm empfunden werden können.

Leuchtdichteverhältnis zwischen Monitor und Wandabschnitt

Das unter Berücksichtigung des Unsicherheitsbereichs bestimmte optimale Leuchtdichteverhältnis zwischen Monitor und Wandabschnitt von 1,24/1 kann durch die bestehende Literatur untermauert werden. Vizmanos et al. und Aparicio et al. konnten nachweisen, dass zu große Leuchtdichteverhältnisse zwischen der Monitor- und Hintergrundfläche zu einer Verminderung der Sehleistung führen. Ein Leuchtdichteverhältnis zwischen Monitor und Hintergrund von 1,3/1 führte zu einem besseren Ergebnis als 400/1, beziehungsweise ein Leuchtdichteverhältnis von 2/1 war besser geeignet als 0,2/1 [6], [166]. Newsham et al. [118] ermittelte das optimale Leuchtdichteverhältnis zwischen Monitor und Wand zu 1,04/1. Durchgeführt wurde der Versuch mit einer Computerdarstellung vom Blick auf einen Arbeitsplatz, bei dem verschiedene Flächen durch die Testpersonen angepasst wurden, unter anderem auch die Fläche hinter dem Monitor. Die Leuchtdichte des Monitors blieb dabei konstant, der reale Raum wurde ebenfalls nicht verändert. Sheedy et al. [141] zeigten, dass für verschiedene Altersgruppen die Sehleistung gesteigert wird wenn Monitor- und Hintergrundleuchtdichte sich ähneln. Hatten die Testpersonen die Möglichkeit den Hintergrund zu einer konstanten Monitorleuchtdichte frei einzustellen, so stellten jüngere Testpersonen ein Leuchtdichteverhältnis zwischen Monitor und Hintergrund von 1,05/1 ein; ältere Testpersonen stellten ein Verhältnis von 1,46/1 ein.

Die vorliegende Arbeit stellt eine Ergänzung zu den bisherigen Untersuchungen dar. Zunächst konnte durch die gegenseitige Variation der Flächen Wandabschnitt, Arbeitsfläche und Monitor in Studie 1 und 2 das Leuchtdichteverhältnis zwischen Monitor und Wandabschnitt als das entscheidende bestimmt werden. Das daraufhin ermittelte optimale Leuchtdichteverhältnis zwischen Monitor und Wandabschnitt von 1,24/1 reiht sich in die bisherigen Erkenntnisse ein. Im Fokus der Arbeit stand Bildschirmarbeit, die Ergebnisse sind aufgrund der Art der Ermittlung auf die Praxis übertragbar. Die verwendeten Leuchtdichteumgebungen stellen häufig anzutreffenden Randbedingungen bei Tageslicht dar. Die verwendeten Maße entsprechen dem Bürokontext und deckten die relevanten Aspekte der Leistung, Ermüdung und des Empfindens ab. Aufbauend auf der Ermittlung eines optimalen Leuchtdichteverhältnisses zwischen Monitor und Wandabschnitt konnte ein Steue-

rungsalgorithmus entwickelt werden. In einer Validierung konnten Hinweise auf den Mehrwert der Berücksichtigung des optimalen Verhältnisses unter realen Tageslichtbedingungen gesammelt werden. Bei Berücksichtigung des optimalen Leuchtdichteverhältnisses, werden die visuelle Leistungsatmosphäre und die erbrachte Leistung positiv beeinflusst und die Ermüdung wird geringer.

Weitere Leuchtdichteverhältnisse im Gesichtsfeld

Neben dem Leuchtdichtverhältnis zwischen Monitor und Wandabschnitt können auch andere Leuchtdichteverhältnisse hinsichtlich ihres Einflusses auf die Nutzer mit der bisherigen Literatur abgeglichen werden. In Studie 1 waren Leuchtdichteverhältnisse zwischen Wandabschnitt und Arbeitsfläche von etwa 1/2 hinsichtlich gesteigerter Leistung, reduzierter Anstrengung und verminderter visueller Ermüdung von Vorteil. Dieses Ergebnis ergänzt bisherige Studien, die zeigen konnten, dass Testpersonen es bevorzugten wenn die Leuchtdichte der Wand etwa halb so hoch war wie die der Arbeitsfläche [150], [153], [158].

Innerhalb Studie 2 wurde ermittelt, dass mit einer positiven visuellen Leistungsatmosphäre zu rechnen ist, wenn das Leuchtdichteverhältnis zwischen Monitor und Arbeitsfläche bei 0,83/1 liegt. Newsham et al. ermittelte das optimale Leuchtdichteverhältnis zwischen Monitor und Arbeitsfläche in einer ähnlichen Größenordnung bei 1,08/1 [118].

Bezüglich des Verhältnisses zwischen minimaler und maximaler Leuchtdichte der Leuchtdichteumgebung zeigte sich, dass bei einer gleichmäßigen Leuchtdichteverteilung mit einer positiven visuellen Leistungsatmosphäre zu rechnen ist. Die bisherige Literatur deutet darauf hin, dass eine ungleichmäßige Leuchtdichteverteilung zu einer positiveren Raumwahrnehmung führt, bezüglich der Leistung jedoch eine gleichmäßige Leuchtdichteverteilung von Vorteil ist [3], [11], [59], [128], [152]. Zu beachten ist hier allerdings, dass die Untersuchungen welche den positiven Einfluss einer unregelmäßigen Leuchtdichteverteilung auf die Raumwahrnehmung zeigten, diesen auf das Vorhandensein von kleinen glänzenden Elementen zurückführen konnten [3] oder das Gesichtsfeld in sehr viele einzelne Raumwinkel einteilten und deren Leuchtdichteverteilung in Relation zur Raumwahrnehmung stellten [128]. In den Studien 1 und 2 wurde die Leuchtdichteumgebung in lediglich 3 Elemente eingeteilt, über den Einfluss der Leuchtdichteverteilung innerhalb dieser Elemente kann keine Aussage getroffen werden. Eine Untersuchung, welche das

Gesichtsfeld in zwei Felder (Infeld: Bildschirm, Papiervorlagen, Tastatur; Umfeld: Tisch, Boden, Wände, Decke, Fenster) einteilte, konnte wie die vorliegende Arbeit nachweisen, dass eine ungleichmäßige Leuchtdichteverteilung im Gesichtsfeld zu reduzierter Leistung bei der Bildschirmarbeit führt [11].

Entwicklung und Test von Hard- und Software zur Anwendung der in Studie 1 und 2 gewonnenen Erkenntnisse

Durch eine Anpassung der Monitorleuchtdichte an die Wandabschnittsleuchtdichte konnten die Testpersonen hinsichtlich verschiedener Maße der bürorelevanten Aspekte Leistung, Ermüdung und Empfinden beeinflusst werden. Bisherige Literatur zu Akzeptanz und Wirkung der Monitorsteuerung im Bürokontext ist nicht vorhanden. Aus verschiedenen Foreneinträgen konnte geschlossen werden, dass die Sensibilität, der Erfassungsbereich, das stufenweise Abdunkeln und die angenommenen Leuchtdichten zu geringer Nutzerakzeptanz führen. Um diesen Kritikpunkten entgegenzuwirken wurden der unpassende Erfassungsbereich und das stufenweise Abdunkeln durch den relevanten Wandabschnitt und ein stufenloses Abdunkeln ersetzt. Durch das Einführen der Mindestleuchtdichte sollte der Monitor den Testpersonen nicht zu dunkel erscheinen. Die Validierung der Steuerungsvarianten in Studie 3 zeigte, dass die Testpersonen die Steuerung nicht als solche erkannten, jedoch in Abhängigkeit der Steuerungsvariante die visuelle Leistungsatmosphäre unterschiedlich empfanden, unterschiedliche Leistung im Konzentrations-Leistungs-Test erbrachten und unterschiedlich stark visuell ermüdeten. Die positive Wirkung einer Anpassung von Monitor- und Wandabschnittsleuchtdichte konnte in einem nicht büroähnlichen Kontext bei der Verwendung von Ambilight Fernsehern ebenfalls nachgewiesen werden. Hier wurde die Augenermüdung und die Belastung des Gehirns durch eine Anpassung der beiden Leuchtdichten reduziert [14], [130]. Trotz abweichender Thematik der Studien, kann dennoch der prinzipielle positive Einfluss von aufeinander abgestimmten Monitor- und Wandabschnittsleuchtdichten bestätigt werden.

Hinweise auf Altersanhängigkeit

Studie 3 zeigte, dass die Testpersonen welche jünger als 25 Jahre waren kaum von den unterschiedlichen Steuerungsvarianten beeinflusst wurden. Die gesteigerte Sensibilität älterer Testpersonen ist vermutlich in der Reduktion der Sehleistung mit zunehmendem Alter begründet [22], [53]. Ebenfalls im Kontext des Leucht-

dichteverhältnisses zwischen Monitor und Hintergrund konnten Sheedy et al. die unterschiedlichen Empfindlichkeiten älterer und jüngerer Testpersonen zeigen [141]. Durch verschiedene Hintergrundleuchtdichten bei konstanter Monitorleuchtdichte wurde die visuelle Leistung älterer Testpersonen stärker beeinflusst als die von jüngeren Testpersonen. Auch andere Studien zeigten, dass große Leuchtdichteunterschiede im Gesichtsfeld bei älteren Testpersonen zu stärkerer Einschränkung der Sehleistung führen als bei jüngeren [8], [57]. Die altersabhängige Einflussnahme der verschiedenen Steuerungsvarianten bestärkt die Ergebnisse der bisherigen Literatur.

9.3. Grenzen der Arbeit

In der Arbeit sind an verschiedenen Punkten Vereinfachungen getroffen worden, welche der praktischen Durchführbarkeit dienten. Zunächst wurde das Fenster aus der Betrachtung der Flächen im Gesichtsfeld ausgeklammert und nur die resultierenden Leuchtdichten auf den Innenflächen des Raumes betrachtet. Unter realen Tageslichtbedingungen nehmen die Leuchtdichte des Fensters und der damit verbundene Ausblick jedoch Einfluss auf die Nutzer. So kann durch das Fenster Blendung entstehen [34] und der Ausblick beeinflusst Befinden und Aufmerksamkeit im Büro [90], [151]. Die in Studien 1 und 2 verwendeten künstlichen Tageslichtbedingungen wurden mit einer Lichtwand hergestellt, der Ausblick der Testpersonen bestand aus einzelnen Strahlern hinter einer Diffusorfolie. Der konstante Ausblick auf die Lichtwand erlaubte es den Einfluss der Parameter der Leuchtdichteumgebung unter konstanten Randbedingungen ohne Störvariable wie beispielsweise die Wetterlage zu bestimmen. Zudem befand sich in den Studien 1 und 2 das Fenster außerhalb des Panoramas, also im äußeren Bereich des Gesichtsfelds, wo es während der Aufgabenbearbeitung nicht wahrgenommen werden konnte.

Die ersten beiden Studien fanden unter künstlich hergestellten Tageslichtbedingungen statt. Die Ergebnisse dieser Studien wurden jedoch zur Generierung verschiedener Steuerungsvarianten zur Anwendung unter realen Tageslichtbedingungen herangezogen. Die Durchführung der Studien 1 und 2 im Testraum erlaubte die Standardisierbarkeit der untersuchten Bedingungen. Wäre die Datengrundlage für die Steuerungsvarianten unter realen Tageslichtbedingungen erhoben worden, hätte dies aufgrund nicht gezielt repli-

zierbaren Situationen zu einem wesentlich höheren Zeitaufwand geführt um sicherzustellen, dass alle relevanten Bedingungen von allen Testpersonen erlebt wurden.

Die innerhalb der Arbeit gewählte Situation eines Einzelarbeitsplatzes mit Blick auf eine Wand ist in der Realität nur bedingt anzutreffen. In Mehrpersonen- oder Großraumbüros wird der Raumwinkel den die Wand im Gesichtsfeld des Nutzers einnimmt sehr viel geringer sein als in der getesteten Versuchssituation. Im Bereich des Wandabschnitts der durchgeführten Studien können sich Regale, weitere Mitarbeiter, die Decke, die Beleuchtung und Fenster befinden. Der relativ simple Aufbau des Hintergrunds in der vorliegenden Arbeit diente der Vereinfachung der Gestaltung des Arbeitsplatzes und erlaubte das Aufdecken von grundlegenden Erkenntnissen für einen standardisierten Fall.

10. Ausblick

Aus der Arbeit ergeben sich Möglichkeiten zur praktischen Umsetzung in den bestehenden Regelungen und in der Gestaltung der zukünftigen Gebäudetechnik. Zusätzlich wirft die Arbeit auch neue Fragen auf welche in der weiteren Forschung bearbeitet werden sollten.

10.1. Umsetzung in die Praxis

Die bisherigen Regelungen zu Leuchtdichteverhältnissen am Bildschirmarbeitsplatz BGR 131-2 [21] und VDI 6011 [159] geben ein maximale Leuchtdichteverhältnis von 3/1 beziehungsweise 1/3 zwischen Arbeitsfeld und ausgedehnten Flächen der Arbeitsumgebung an. Die durchgeführten Untersuchungen legen nahe, dass innerhalb dieses Bereiches mit unterschiedlichen visuellen Leistungsatmosphären und damit verbunden auch unterschiedlicher Leistungserbringung zu rechnen ist. Bezüglich des Leuchtdichteverhältnisses zwischen Monitor und Wandabschnitt kann dieser Bereich enger gefasst und um ein Optimum erweitert werden. Das für eine positive visuelle Leistungsatmosphäre als optimal identifizierte Leuchtdichteverhältnisses zwischen Monitor und Wandabschnitt von 1,24/1 sollte in ähnlicher Form in die Regelungen übernommen werden um neben einem zulässigen Bereich auch einen anzustrebenden Zielwert anzugeben. Der in der Arbeit verwendete Unsicherheitsbereich um dieses Optimum wurde so gewählt, dass außerhalb dieses Bereichs mit einer Wahrscheinlichkeit von 84,13 % mit einer Verschlechterung der visuellen Leistungsatmosphäre zu rechnen ist. Er liegt zwischen 0,40/1 und 2,93/1 und ist damit etwas kleiner als der bisher angegebene Bereich zwischen 1/3 und 3/1 [21], [159]. Vor dem Hintergrund einer Wahrscheinlichkeit von 84,13 % zur Reduktion der visuellen Leistungsatmosphäre bei Verlassen des Unsicherheitsbereichs ist auch eine weitere Eingrenzung des Bereichs denkbar. Außerdem könnte von der symmetrischen Angabe abgewichen werden, da die Studien 1 und 2 nahe legen, dass es bevorzugt wird wenn die Monitorleuchtdichte über der des Wandabschnitts liegt.

Ergänzend zur Betrachtung der zulässigen Leuchtdichteverhältnisse zwischen Monitor und Wandabschnitt sollte auch die Mindestleuchtdichte von Monitoren beachtet werden. Diese liegt mit 150 cd/m^2 über der 2004 in DIN 5035-7 genannten bürotypische Leuchtdichte von 100 cd/m^2 [47]. Die technische Weiterentwicklung und die damit verbundene Steigerung der Monitorleuchtdichte sowie die Identifikation

einer Mindestmonitorleuchtdichte sollten bei der nächsten Überarbeitung der DIN 5035-7 beachtet werden. Eventuell könnte anstatt dem Einzahlkennwert ein typischer Bereich angegeben werden, der auch eine Mindestleuchtdichte enthält.

Als technische Anwendung könnte die in Studie 3 entwickelte Steuerung zur Steigerung der visuellen Leistungsatmosphäre weiterentwickelt werden. Durch die Änderung des Erfassungsbereichs, das Einführen einer Mindestmonitorleuchtdichte und das unauffällige Wirken der Steuerung könnte die Akzeptanz in der praktischen Anwendung steigen und ein positiver Einfluss auf die visuelle Leistungsatmosphäre stattfinden. Monitorhersteller könnten die Positionierung der Sensorik und die Programmierung der Leuchtdichtenanpassung überarbeiten und so den Nutzen der Monitorleuchtdichtesteuerung für die Bildschirmarbeit steigern.

Die Wandabschnittsleuchtdichte zeigte sich als die maßgebliche Einflussgröße im Raum, zukünftige Fassadensteuerungen sollten diese Erkenntnis berücksichtigen und die Leuchtdichte der Wand als Führungsgröße verwenden. Eventuell könnte dadurch die Akzeptanz von Fassadensteuerungen gesteigert werden und das Nachjustieren durch die Nutzer nach einer Anpassung der Fassade durch die Steuerung minimiert werden. Dies würde zu weniger Arbeitsunterbrechungen und damit zur Steigerung der Leistung im Büro führen.

In der Arbeit wird deutlich, dass die Leuchtdichten der Flächen Wand, Arbeitsfläche und Monitor nicht getrennt voneinander betrachtet werden sollten. In der Praxis wird jedoch die Monitorsteuerung getrennt von der Fassaden- und Kunstlichtsteuerung betreiben. Denkbar wäre eine Ausweitung der Gebäudesteuerung auf die Monitorleuchtdichte um die gesamte Leuchtdichteumgebung durch ein System zu bestimmen. Die Sensorik zu Erfassung der Leuchtdichten im Raum könnte beispielsweise an der Decke platziert und zentral verarbeitet werden. Mit der gleichzeitigen Erfassung aller relevanten Leuchtdichten und Kontrolle aller beeinflussenden technischen Komponenten könnten gezielt und zeitnah optimale Leuchtdichteumgebungen geschaffen werden. Ein Anheben oder Senken der Monitorleuchtdichte könnte parallel zum Verfahren der Fassade erfolgen, ein eventuell auffälliges Nachregeln der Monitorleuchtdichte wäre nicht nötig.

10.2. Zukünftige Forschungsthemen

Weitere Forschung ist notwendig, um den Einfluss des Fensters auf die in dieser Arbeit erlangten Erkenntnisse zu bestimmen. Das aufgestellte Modell zur Leuchtdichteumgebung könnte um die Fensterfläche erweitert werden. Zu untersuchen wäre wie sich die Leuchtdichteverhältnisse zwischen der Fensterfläche und den gewählten Parametern der Leuchtdichteumgebung auf Leistung, Ermüdung und Empfinden der Nutzer auswirken. In diesem Kontext ist neben der reinen Fensterleuchtdichte auch der dargebotene Ausblick zu beachten. Von Interesse wäre ob der Wechsel zwischen einem als positiv und einem als negativ empfundenen Ausblick sich auf die Wahrnehmung der Leuchtdichteumgebung auswirkt.

Der in der Arbeit angenommene Arbeitsplatz mit Blick auf eine Wand könnte in weiteren Untersuchungen auf ein Großraumbüro übertragen werden. Der Raumwinkel der in dieser Arbeit den Wandabschnitt abdeckt würde je nach Position im Großraumbüro auch Flächen wie Teile der Decke, Schränke und andere Arbeitsflächen beinhalten. In dieser Situation wäre zu überprüfen ob erneut die Leuchtdichte dieses Raumwinkels entscheidend für eine positive visuelle Leistungsatmosphäre ist, oder ob in diesem Fall die Leuchtdichte einer anderen Fläche wie der Decke oder der Arbeitsfläche maßgeblich ist.

In der Arbeit wurde der Fokus auf das subjektive Maß der visuellen Leistungsatmosphäre gelegt und zur Optimierung dieses Maßes die Steuerung der Monitorleuchtdichte entworfen. Die Literatur weist zwar nach, dass eine positive visuelle Leistungsatmosphäre zu einer Steigerung der Leistung führen kann, dennoch wäre es von großem praktischen Nutzen eine Feldstudie durchzuführen um festzustellen ob die durch die Ergebnisse des Konzentrations-Leistungs-Tests bereits angedeutete positive Wirkung der Leistungsatmosphäre-Steuerung auch bei der Erfassung anderer objektiver Leistungsmaße nachzuweisen ist, welche direkt mit dem Erfolg eines Unternehmens in Zusammenhang stehen.

Die Moderatoranalyse der Studien deutete darauf hin, dass die Art und Weise wie die Leuchtdichteumgebung die Nutzer beeinflusst, auch von deren Alter abhängt. Zukünftige Forschung sollte diesen Einfluss genauer quantifizieren. Steigt die Sensibilität der Nutzer im Alter weiter an, so ist das Potential, welches sich im höheren Alter durch eine Optimierung der Büroumgebung ergibt groß und sollte entsprechend untersucht werden.

Die Identifikation der Wandleuchtdichte als maßgebliche Größe zur Beeinflussung der visuellen Leistungsatmosphäre und die in Studie 2 als optimal bestimmte Leuchtdichte von 336 cd/m^2 des Wandabschnitts werfen die Frage auf ob die vorherrschende Rolle der Arbeitsflächenleuchtdichte auch in der Kunstlichtforschung überprüft werden sollte. Eine Dimensionierung des Kunstlichteinsatzes dahingehend, dass 336 cd/m^2 auf der Wand erreicht werden mag aus energetischer Sicht nicht sinnvoll sein. Die Steigerung der Leuchtdichte der Umschließungsflächen durch den Einsatz von Beleuchtungssystemen mit einem bestimmten Indirektanteil sollte jedoch auf eine mögliche positive Wirkung auf die visuelle Leistungsatmosphäre hin überprüft werden.

Literaturverzeichnis

[1] Adressgenerator. Online verfügbar unter http://deruwe.de/2009/11/adressgenerator.html, zuletzt geprüft am 02.12.2013.

[2] Afful-Broni, A. (2012): Relationship between Motivation and Job Performance at the University of Mines and Technology, Tarkwa, Ghana: Leadership Lessons. In: Creative Education 3 (3), S. 309–314.

[3] Akashi, Y.; Tanabe, Y.; Akashi, I.; Mukai, K. (2000): Effect of sparkling luminous elements on the overall brightness impression: A pilot study. In: Lighting Research and Technology 32 (1), S. 19–26.

[4] Åkerstedt, T.; Gillberg, M. (1990): Subjective and Objective Sleepiness in the Active Individual. In: International Journal of Neuroscience 52 (1-2), S. 29–37.

[5] Anjum, A.; Ali, H.: Effect of Emotional Intelligence and Perceived Work Environment on Performance of Bankers. Online verfügbar unter www.ijcim.th.org/past_editions/2011V19N2/Paper_10-50-54.pdf, zuletzt geprüft am 28.11.2013.

[6] Aparicio, J. A.; Arranz, I.; Matesanz, B. M.; Vizmanos, J. G.; Padierna, L.; González, V. R. et al. (2010): Quantitative and functional influence of surround luminance on the letter contrast sensitivity function. In: Ophthalmic and Physiological Optics 30 (2), S. 188–199.

[7] Backhaus, K.; Erichson, B.; Plinke, W.; Weiber, R. (2006): Multivariate Analysemethoden. Eine anwendungsorientierte Einführung. 11. Aufl. Springer Verlag, Berlin, Deutschland.

[8] Bailey, I.L.; Bullimore, M.A. (1991): A new test for the evaluation of disability glare. In: Optometry and Vision Science, 68, 911 – 917.

[9] Bakker, A. B.; Leiter, M. P. (2010): Work engagement. A handbook of essential theory and research. Psychology Press, Hove, New York, England, USA. Online verfügbar unter http://media.routledgeweb.com/pp/common/sample-chapters/9781841697369.pdf, zuletzt geprüft am 18.12.2013.

[10] Baron, R. A.; Rea, M. S.; Daniels, S. G. (1992): Effects of indoor lighting (illuminance and spectral distribution) on the performance of cognitive tasks and interpersonal behaviors. The potential mediating role of positive affect. In: Motivation and Emotion 16 (1), S. 1–33.

[11] Bartenbach, C.; Danler, A.; Groß, J.; Lorenz, D.; Sust, C. (2012): Beleuchtung von Büroarbeitsplätzen Grundlagen und Beispiele. Online verfügbar unter http://www.buero-forum.de/de/navigation-left/presse-portal/pressemitteilungen/ergonomie-und-gesundheit/buero-forum-schrift-licht/, zuletzt geprüft am 18.12.2013.

[12] BAuA (2011): Sitzlust statt Sitzfrust - Sitzen bei der Arbeit und anderswo. 4. Auflage. Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin, Berlin, Deutschland.

[13] Baumgartner, N. (2004): Der Effekt von Polarität der Textdarstellung und Umgebungsbeleuchtung auf die Performanz und psychophysiologische Beanspruchung bei Bildschirmarbeit. Dissertation. Heinrich-Heine Universität, Düsseldorf. Institut für Experimentelle Psychologie.

[14] Begemann, S. H. A. (2005): A scientific study on the effects of Ambilight in flat-panel displays. Online verfügbar unter http://www.embedded.com/design/real-time-and-performance/4012996/A-scientific-study-on-the-effects-of-Ambilight-in-flat-panel-displays, zuletzt geprüft am 22.11.2013.

[15] Berger, C.; Mahneke, A. (1954): Fatigue in Two Simple Visual Tasks. In: The American Journal of Psychology 67 (3), S. 509–512.

[16] Berrutto, V. (1997): Importance of Wall Illuminance on Users Satisfaction: Pilot Study on 73 Office Workers. Lux Europa. NSW, S. 82-101

[17] Berson, D. M. (2003): Strange vision: ganglion cells as circadian photoreceptors. In: Trends in Neurosciences 26 (6), S. 314–320.

[18] BGI 650 (2012): Bildschirm- und Büroarbeitsplätze. Leitfaden für die Gestaltung. 2. Auflage. Verwaltungs-Berufsgenossenschaft, Hamburg, Deutschland.

[19] BGI 827 (2005): Sonnenschutz im Büro. Hilfen für die Auswahl von geeigneten Blend- und Wärmeschutzvorrichtungen an Bildschirm- und Büroarbeitsplätzen. Verwaltungs-Berufsgenossenschaft, Hamburg, Deutschland.

[20] BGI 856 (2009): Beleuchtung im Büro – Hilfen für die Planung von Beleuchtungsanlagen von Räumen mit Bildschirm- und Büroarbeitsplätzen. 2. Auflage. Verwaltungs-Berufsgenossenschaft, Hamburg, Deutschland.

[21] BGR 131-2 (2008): Natürliche und künstliche Beleuchtung von Arbeitsstätten; Teil 2: Leitfaden zur Planung und zum Betrieb der Beleuchtung. Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung, Berlin, Deutschland.

[22] Boyce, P.R (1973): Current knowledge of visual performance. In: Lighting Research and Technology 5 (4), S. 204–212.

[23] Boyce, P. R. (2001): Lighting and human performance II. Beyond visibility models toward a unified human factors approach to performance. National Electrical Manufacturers Association, Washington, D.C, USA.

[24] Boyce, P. R. (2003): Human factors in lighting. 2. Auflage. Taylor & Francis, London, New York, England, USA.

[25] Boyce, P. R.; Cuttle, C. (1990): Effect of correlated colour temperature on the perception of interiors and colour discrimination performance. In: Lighting Research and Technology 22 (1), S. 19–36.

[26] Boyce, P. R.; Veitch, J. A.; Newsham, G. R.; Jones, C. C.; Heerwagen, J.; Myer, M.; Hunter, C. M. (2006): Lighting quality and office work: two field simulation experiments. In: Lighting Research and Technology 38 (3), S. 191–223.

[27] Brill, M.; Weidemann, S.; BOSTI Associates (2001): Disproving Widespread Myths About Workplace Design. Buffalo Organization for Social and Technological Innovation.

[28] Brugger, B. (2010): Ergonomie der Bildschirmarbeit. Damit Schwerstarbeit vor dem Monitor nicht ins Auge geht. Online verfügbar unter https://www.dgfp.de/wissen/personalwissen-direkt/dokument/84653/herunterladen, zuletzt geprüft am 28.11.2013.

[29] Bühner, M.; Ziegler, M. (2009): Statistik für Psychologen und Sozialwissenschaftler. Addison-Wesley Verlag, München, Deutschland.

[30] Cajochen, C.; Munch, M.; Kobialka, S.n; Krauchi, K.; Steiner, R.; Oelhafen, P. et al. (2005): High Sensitivity of Human Melatonin, Alertness, Thermoregulation, and Heart Rate to Short Wavelength Light. In: The Journal of Clinical Endocrinology & Metabolism 90 (3), S. 1311–1316.

[31] Çakir, A.; Çakir, G. (1998): Licht und Gesundheit - Eine Untersuchung zum Stand der Beleuchtungstechnik in deutschen Büros. 3. Aufl. Ergonomic, Berlin, Deutschland.

[32] Campbell, J. P. (1999). The definition and measurement of performance in the new age. In D. R. Ilgen & E. D. Pulakos (Hrsg.), The changing nature of performance. Implications for staffing, motivation, and development, pp. 399-429. Jossey-Bass, San Francisco, USA.

[33] Cetegen, D.; Veitch, J. A.; Newsham, G. R.: View size and office luminance effects on employee satisfaction. In: Balkan Light 2008. Ljubljana, 07.-10.10.2008.

[34] Chauvel, P.; Collins, J.B; Dogniaux, R.; Longmore, J. (1982): Glare from windows: current views of the problem. In: Lighting Research and Technology 14 (1), S. 31–46.

[35] chip online (2008): Testbericht: Philips 42PFL9703D. Unter Mitarbeit von Andreas Nolde. Online verfügbar unter http://www.chip.de/artikel/Philips-42PFL9703D-42-Zoll-LCD-TV-Test_31946856.html, zuletzt geprüft am 21.11.2013.

[36] Cohen, Jacob (1988): Statistical power analysis for the behavioral sciences. 2. Auflage. L. Erlbaum Associates, Hillsdale, USA.

[37] Darren, G.; Mallery, P. (2003): SPSS for Windows step by step. A simple guide and reference 11.0 update. 4. Auflage. Allyn and Bacon, Boston, USA.

[38] Dawes, J. (1999). The relationship between subjective and objective company performance measures in market orientation research: Further empirical evidence. Marketing Bulletin, 10, 65–75.

[39] Day, J.; Theodorson, J.; van den Wymelenberg, K. (2012): Understanding Controls, Behaviors and Satisfaction in the Daylit Perimeter Office: A Daylight Design Case Study. In: Journal of Interior Design 37 (1), S. 17–34.

[40] Daysim. Online verfügbar unter www.daysim.com, zuletzt geprüft am 26.11.2013.

[41] de Boer, J. (2006): Lichttechnisches und energetisches Verhalten von Fassaden moderner Verwaltungsbauten. Sonderdruck aus: Bauphysik 28 (2006), Heft 1, Seite 27 - 44 und Heft 2, Seite 103 - 110.

[42] Deeg, S. (2012): Raumwirkung an Büroarbeitsplätzen in Abhängigkeit von Lichtverteilung und Lichtintensität. Bachelorarbeit. Univeristät Stuttgart. Lehrstuhl für Bauphysik.

[43] De Kort, Y. A.W ; Smolders, K. C. H. J. (2010): Effects of dynamic lighting on office workers. First results of a field study with monthly alternating settings. In: Lighting Research and Technology 42 (6), S. 345–360.

[44] Deutsche Energie-Agentur (2012): Mein Rechner rechnet sich. Online verfügbar unter http://www.dena.de/publikationen/stromnutzung/broschuere-energiespartipps-fuer-pc-drucker-co.html, zuletzt geprüft am 21.11.2013.

[45] DIN 4543-1 (1994): Büroarbeitsplätze - Teil 1: Flächen für die Aufstellung und Benutzung von Büromöbeln; Sicherheitstechnische Anforderungen, Prüfung. Deutsches Institut für Normung, Beuth Verlag, Berlin, Deutschland.

[46] DIN 5034-1 (2011): Tageslicht in Innenräumen – Teil 1: Allgemeine Anforderungen. Deutsches Institut für Normung, Beuth Verlag, Berlin, Deutschland.

[47] DIN 5035-7 (2004): Beleuchtung mit künstlichem Licht Teil 7: Beleuchtung von Räumen mit Bildschirmarbeitsplätze. Deutsches Institut für Normung, Beuth Verlag, Berlin, Deutschland.

[48] DIN EN 12464-1 (2011): Licht und Beleuchtung – Beleuchtung von Arbeitsstätten – Teil 1: Arbeitsstätten in Innenräumen. Deutsches Institut für Normung, Beuth Verlag, Berlin, Deutschland.

[49] DIN EN 12665 (2011): Licht und Beleuchtung - Grundlegende Begriffe und Kriterien für die Festlegung von Anforderungen an die Beleuchtung. Deutsches Institut für Normung, Beuth Verlag, Berlin, Deutschland.

[50] DIN V 18599-4 (2011): Energetische Bewertung von Gebäuden – Berechnung des Nutz-, End- und Primärenergiebedarfs für Heizung, Kühlung, Lüftung, Trinkwarmwasser und Beleuchtung –Teil 4: Nutz- und Endenergiebedarf für Beleuchtung. Deutsches Institut für Normung, Beuth Verlag, Berlin, Deutschland.

[51] DIN V 18599-10 (2011): Energetische Bewertung von Gebäuden – Berechnung des Nutz-, End- und Primärenergiebedarfs für Heizung, Kühlung, Lüftung, Trinkwarmwasser und Beleuchtung – Teil 10: Nutzungsrandbedingungen. Deutsches Institut für Normung, Beuth Verlag, Berlin, Deutschland.

[52] Dörflinger, L. (2014): Evaluierung eines Lichtlabors am Fraunhofer-Institut Stuttgart. Bachelorarbeit. Universität Stuttgart. Lehrstuhl für Bauphysik.

[53] Downing, J. V. (1989): The effects of age, illumination, and antiglare treatments on visual task performance and perceived image quality with vdts. Dissertation. Virginia Polytechnic Institute and State University, Blacksburg, Virginia.

[54] Duden (2011): Duden - Deutsches Universalwörterbuch. Das umfassende Bedeutungwörterbuch der deutschen Gegenwartssprache. 7. Auflage. Bibliographisches Institut, Mannheim, Deutschland. Online verfügbar unter http://www.duden.de, zuletzt geprüft am 30.11.2013.

[55] Düker, H.; Lienert, G. A.; Lukesch, H. (2001): Konzentrations-Leistungs-Test. KLT-R. revidierte Fassung. Hogrefe Verlag, Göttingen, Deutschland.

[56] Ehrenstein, W. (2008): Auge, Chronohygiene und Beleuchtung. Expertise, angefertigt für den FNL 27 im DIN.

[57] Elliott, D.B.; Bullimore, M.A. (1993): Assessing the reliability, discriminative ability, and validity of disability glare tests. In: Investigative Ophthalmology and Vision Science, 34, 108 – 119.

[58] Falchikov, N.; Boud, D. (1989): Student self-assessment in higher education: A meta-analysis. In: Review of Educational Research 59 (4), S. 395–430.

[59] Fleischer, S. E. (2001): Die psychologische Wirkung veränderlicher Kunstlichtsituationen auf den Menschen. Dissertation. Eidgenössische Technische Hochschule Zürich.

[60] Fleischer, S.; Krueger, H.; Schierz, C. (2001): Effect of brightness distribution and light colours on office staff. Results of the "Lighting Harmony" project. In: The 9th European Lighting Conference "Lux Europa 2001". Reykjavik, S. 76–80.

[61] Flux. Software zur Anpassung der Bildschirmhelligkeit- und farbe, online verfügbar unter http://justgetflux.com/, zuletzt geprüft am 21.11.2013.

[62] Foxell, C. A. P.; Stevens, W. R. (1955): Measurements of visual acuity. In: The British journal of ophthalmology 39 (9), S. 513–533.

[63] Fract, Software zur Erfassung der Sehschärfe, Bach, M.. Online verfügbar unter http://michaelbach.de/fract/.

[64] Francis, J.; Dressel, D. L.; MacArthur, S. A.; Neathammer, R. D. (1986): Office Productivity: Contributions of the Physical Setting. U.S. Army Corps of Engineers, C.E.R.L. Technical Report P-86/13, Springfield, USA.

[65] Frank, M. R. (1990): Mensch und Büroraum. Gebaute Realität und psychosoziale Bedingungen im Büro. Dissertation, Universität Karlsruhe.

[66] Fraunhofer-Institit für Bauphysik: HiPIE - High Performance Indoor Environment. Online verfügbar unter http://www.ibp.fraunhofer.de/content/dam/ibp/de/documents/Informationsmaterial/Abteilungen/Akustik/Flyer/Fraunhofer-Hipie%20Flyer.pdf, zuletzt geprüft am 20.12.2013.

[67] Galasiu, A. D.; Veitch, J. A. (2006): Occupant preferences and satisfaction with the luminous environment and control systems in daylit offices: a literature review. In: Energy and Buildings 38 (7), S. 728–742.

[68] Gebhardt, N. (2002): Einige BRDF Modelle. http://www.irrlicht3d.org/papers/BrdfModelle.pdf, zuletzt geprüft am 26.11.2013.

[69] Gretler Heusser, S.; Amstutz, S. (2008): Störfaktoren an Büroarbeitsplätzen. Umfrage im Gewerbemuseum Winterthur, 28. Oktober 2007 bis 13. April 2008. http://www.humanbuilding.ch/files/0100-hb-cctp_1.pdf, zuletzt geprüft am 26.11.2013.

[70] González-Benito, Ó.; González-Benito, J. (2005): Cultural vs. operational market orientation and objective vs. subjective performance: Perspective of production and operations. In: Industrial Marketing Management 34 (8), S. 797–829.

[71] Gossauer, E. (2008): Nutzerzufriedenheit in Bürogebäuden. Eine Feldstudie ; Analyse von Zusammenhängen zwischen verschiedenen Komfortparametern am Arbeitsplatz. Dissertation. Universität Karlsruhe.

[72] Hall, A. (2007): Die BIBB/BAuA-Erwerbstätigenbefragung 2006. Methodik und Frageprogramm im Vergleich zur BIBB/IAB-Erhebung 1998. Bundesinstitut für Berufsbildung, Bonn, Deutschland.

[73] Hart, S. G.; Staveland, L. E. (1988): Development of NASA-TLX (Task Load Index): Results of empirical and theoretical research. In: Human mental workload 1 (3), S. 239–250.

[74] Harter, J. K.; Schmidt, F. L.; Hayes, T. L. (2002): Business-unit-level relationship between employee satisfaction, employee engagement, and business outcomes: A meta-analysis. In: Journal of applied psychology 87 (2), S. 268–279.

[75] Hartmann, E. (1970): Beleuchtung und Sehen am Arbeitsplatz. Goldmann, München Deutschland.

[76] Hellén-Halme, K.; Hellén-Halme, B.; Wenzel, A. (2011): The effect of aging on luminance of standard liquid crystal display (LCD) monitors. In: Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology, Oral Radiology, and Endodontology 112 (2), S. 237–242.

[77] Hentschel, H.-J.; Bernitz, F. (2002): Licht und Beleuchtung. Grundlagen und Anwendungen der Lichttechnik. 5. Auflage. Hüthig, Heidelberg, Deutschland.

[78] Hetzler, H. W. (1964): Dortmunder Schriften zur Sozialforschung, 17. Die Bewertung von Bürotätigkeiten. Grundlagen und Verfahren. 2. Auflage. Westdeutscher Verlag , Köln, Deutschland.

[79] Heuer, H.; Hollendiek, G.; Kröger, H.; Römer, T. (1989): Die Ruhelage der Augen und ihr Einfluß auf Beobachtungsabstand und visuelle Ermüdung bei Bildschirmarbeit. In: Zeitschrift für experimentelle und angewandte Psychologie 36 (4), S. 538–566.

[80] Hubalek, S.; Matthaei, D.; Schierz, C. (2006): Beleuchtung von Bildschirmarbeitsplätzen - Energieeinsparung versus Ergonomie? Laborversuch zur teilflächenbezogenen Beleuch-

tung. In: Licht 2006: 17. Lichttechnische Gemeinschaftstagung der Schweizer Licht Gesellschaft und der lichttechnischen Gesellschaften Deutschlands, Österreichs und der Niederlande. Bern, Schweiz.

[81] Hube, G. (2005): Beitrag zur Beschreibung und Analyse von Wissensarbeit. Dissertation. Universität Stuttgart. Institut für Arbeitswissenschaft und Technologiemanagement.

[82] Humphrey, S. E.; Nahrgang, J. D.; Morgeson, F.k P. (2007): Integrating motivational, social, and contextual work design features. A meta-analytic summary and theoretical extension of the work design literature. In: Journal of Applied Psychology 92 (5), S. 1332–1356.

[83] Husemann, B.; von Mach, C. Y.; Seitz, C.; Borsotto, D.; Scharnbacher, J.; Löffler, I. K. et al. (2007): Einfluss einer Steh-Sitz-Dynamik bei Bildschirmarbeit. In: Arbeitsmedizin, Sozialmedizin, Umweltmedizin : occupational medicine, social medicine, environmental medicine ; Zeitschrift für Praxis, Klinik, Forschung und Begutachtung in den Bereichen Arbeitshygiene, Betriebsmedizin, klinische Umweltmedizin, Präventivmedizin, Sozialmedizin, Rehabilitation, Arbeitsschutz 42 (7), S. 403–411.

[84] Iaffaldano, M. T.; Muchinsky, P. M. (1985): Job satisfaction and job performance: A meta-analysis. In: Psychological Bulletin 97 (2), S. 251-273.

[85] IBM SPSS Statistics 19, 20, 21

[86] Illuminating Engineering Society of North America (1984): Lighting Handbook - Application and Reference Volume. IESNA, New York.

[87] Judge, T. A.; Thoresen, C. J.; Bono, J. E.; Patton, G. K. (2001): The job satisfaction-job performance relationship. A qualitative and quantitative review. In: Psychological Bulletin 127 (3), S. 376–407.

[88] Kaida, K.; Takahashi, M.; Akerstedt, T.; Nakata, A.; Otsuka, Y.; Haratani, T.i; Fukasawa, K. (2006): Validation of the Karolinska sleepiness scale against performance and EEG variables. In: Clin Neurophysiol 117 (7), S. 1574–1581.

[89] Kaida, K.; Takahashi, M.; Haratani, T.; Otsuka, Y.; Fukasawa, K.; Nakata, A. (2006): Indoor exposure to natural bright light prevents afternoon sleepiness. In: Sleep 29 (4), S. 462–469.

[90] Kaplan, R. (1993): The role of nature in the context of the workplace. In: Landscape and Urban Planning 26 (1–4), S. 193–201.

[91] Kelter, J. (2002): Leistungsschub durch weiche Faktoren. Studie zur Produktivität im Büro. In: Mensch und Büro 16 (5), S. 158–159.

[92] Kelter, J.; Hube, G. (2004): Bei gutem Licht betrachtet. Wie Arbeitsumfeld und Sehkomfort im Büro Wohlbefinden und Performance beeinflussen. In: Gebäude Management 9 (3), S. 20–22.

[93] Kelter, J.; Rieck, A. (2003): Office 21: Soft success factors. In: Office (3), S. 52–55.

[94] Kelter, J.; Rief, S.; Bauer, W.; Haner, U.-E.t (2009): Information Work 2009 - eine Studie des Fraunhofer IAO, Stuttgart. Über die Potentiale von Informations- und Kommunikationstechnologien bei Büro- und Wissensarbeit. Fraunhofer Verlag, Stuttgart, Deutschland.

[95] Kirschbaum, C. F. &. Tonello G. (1997): Visual appearance of office lighting. In: Right Light (1), S. 143–148.

[96] Knez, I. (1995): Effects of indoor lighting on mood and cognition. In: Journal of Environmental Psychology 15 (1), S. 39–51.

[97] Knez, I.; Enmarker, I. (1998): Effects of office lighting on mood and cognitive performance and a gender effect in work-related judgment. In: Environment and Behavior 30 (4), S. 553–567.

[98] Knirsch, J. (2002): Büroräume Bürohäuser. Gelingt der Wandel zum Lebensraum Büro? 2. Auflage. Verlagsanstalt Koch, Leinfelden, Deutschland.

[99] Koller, A.; Sinnesbichler, H. (2009): Studie zur Energieeffizienz innovativer Gebäude-, Beleuchtungs- und Raumklimakonzepte (EnEff-Studie). Fraunhofer Verlag, Stuttgart, Deutschland.

[100] Küller, R.; Ballal, S.; Laike, T.; Mikellides, B.; Tonello, G. (2006): The impact of light and colour on psychological mood. a cross-cultural study of indoor work environments. In: Ergonomics 49 (14), S. 1496–1507.

[101] Lange, W.; Windel, A. (2013): Kleine ergonomische Datensammlung. 15. Aufl. TÜV-Media, Köln. Deutschland.

[102] Leaman, A.; Bordass, B. (1999): Productivity in buildings: the ‘killer’variables. In: Building Research & Information 27 (1), S. 4–19.

[103] Lee, D.-S.; Ko, Y.-H.; Shen, I.-H.; Chao, C.-Y. (2011): Effect of light source, ambient illumination, character size and interline spacing on visual performance and visual fatigue with electronic paper displays. In: Displays 32 (1), S. 1–7.

[104] Lin, C.-C.; Huang, K.-C. (2006): Effects of ambient illumination and screen luminance combination on character identification performance of desktop TFT-LCD monitors. In: International Journal of Industrial Ergonomics 36 (3), S. 211–218.

[105] Lin, C.-C.; Huang, K.-C. (2013): Effects of ambient illumination conditions and background color on visual performance with TFT-LCD screens. In: Displays 34 (4), S. 276–282.

[106] Lin, C. J.; Feng, W.-Y.; Chao, C.-J.; Tseng, F.-Y. (2008): Effects of VDT workstation lighting conditions on operator visual workload. In: Industrial Health 46 (2), S. 105–111.

[107] Lind, G. (2012): Effektstärken: Statistische, praktische und theoretische Bedeutsamkeit empirischer Studien. Online verfügbar unter http://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:bsz:352-217760, zuletzt geprüft am 05.02.2014.

[108] Loe, L.; Mansfield, K. P.; Rowlands, E. (1994): Appearance of lit environment and its relevance in lighting design: Experimental study. In: Lighting Research and Technology 26 (3), S. 119–133.

[109] Manav, B. (2007): An experimental study on the appraisal of the visual environment at offices in relation to colour temperature and illuminance. In: Building and Environment 42 (2), S. 979–983.

[110] Markytán, A.; Gall, D. (2002): Zonale Beleuchtung von Bildschirmarbeitsplätzen. Online verfügbar unter http://www.tu-ilmenau.de/fileadmin/public/lichttechnik/Publikationen/2002/Markytan.pdf, zuletzt geprüft am 22.11.2013.

[111] Marktfort, D.; Schalk, K. (2010): Default-Annahmen für die Bewertung von Nichtwohngebäuden im Bestand nach DIN V 18599. Fortschreibung der Vereinfachungen für den öffentlich-rechtlichen Nachweis von Nichtwohngebäuden und der Erstellung von Energieausweisen nach EnEV. BMVBS, Berlin, Deutschland.

[112] Mayer, H.; Kraus-Mackiw, E.; Breitstadt R.; Sommer, I.; Müller, U. (2004): Das Auge als Schwachstelle des technischen Fortschritts. In: Sichere Arbeit (6).

[113] McKinsey & Company (2011): Lighting the way. Perspectives on the global lighting market. 2. Auflage. Online verfügbar unter http://www.mckinsey.com/~/media/mckinsey/dotcom/client_service/automotive%20and%20assembly/lighting_the_way_perspectives_on_global_lighting_market_2012.ashx, zuletzt geprüft am 20.11.2013.

[114] Menozzi, M.; Näpflin, U.; Krueger, H. (1999): CRT versus LCD: A pilot study on visual performance and suitability of two display technologies for use in office work. In: Displays 20 (1), S. 3–10.

[115] Möller, J. (2000): Effekte dimensionaler und sozialer Vergleiche auf Fähigkeitseinschätzungen und die Zufriedenheit mit der Leistung. Zeitschrift für Experimentelle Psychologie, 47, 67–71.

[116] Müller, F.; Kaupp, U. B. (1998): Signaltransduktion in Sehzellen. In: Naturwissenschaften 85 (2), S. 49–61.

[117] Newsham, G. R.; Arsenault, C. (2009): A camera as a sensor for lighting and shading control. In: Lighting Research & Technology 41 (2), S. 143–163.

[118] Newsham, Guy R.; Marchand, Roger G.; Veitch, Jennifer A. (2004): Preferred surface luminances in offices, by evolution. In: Journal of the Illuminating Engineering Society 33 (1), S. 14–29.

[119] Newsham, G. R.; Richardson, C.; Blanchet, C.; Veitch, J. A. (2005): Lighting quality research using rendered images of offices. In: Lighting Research and Technology 37 (2), S. 93–112.

[120] Newsham, G. R.; Veitch, J. A. (2001): Lighting quality recommendations for VDT offices. a new method of derivation. In: International Journal of Lighting Research and Technology 33 (2), S. 97–113

[121] North, K.; Güldenberg, S. (2008): Produktive Wissensarbeit(er). Antworten auf die Management-Herausforderung des 21. Jahrhunderts. Gabler Verlag, Wiesbaden, Deutschland.

[122] Nunnally, J. C.; Bernstein, I. H. (1994): Psychometric theory. 3. Auflage. McGraw-Hill, New York, USA.

[123] O`Donnel, B.; Kirschbaum, C. (1992): Task`s visual difficulty at VDUs. Environmental Impacts

[124] Oi, N.: Lighting Quality and Luminance Distribution: Where is the Important Part of Field of View? Online verfügbar unter http://homepage3.nifty.com/naoyuki_oi/Research/ICEE2002_oi2.pdf, zuletzt geprüft am 28.11.

[125] Oseland, N. (1999): Environmental factors affecting office worker performance. A review of evidence (CIBSE technical memoranda, TM24: 1999). Chartered Institution of Building Services Engineers, London, England.

[126] Pan, C.S.; Shell, R. L.; Schleifer, L. M. (1994): Performance variability as an indicator of fatigue and boredom effects in a VDT data-entry task. In: International Journal of Human-Computer Interaction 6 (1), S. 37–45.

[127] Papalias, T. A.; Wong, M. (2006): Making sense of light sensors. Online verfügbar unter http://www.eetimes.com/document.asp?doc_id=1272314, zuletzt geprüft am 21.11.2013.

[128] Parpairi, K.; Baker, N. V.; Steemers, K. A.; Compagnon, R. (2002): The Luminance Differences index: a new indicator of user preferences in daylit spaces. In: Lighting Research and Technology 34 (1), S. 53–66.

[129] Peters, A. (2008): Rechnern das Stromfressen abgewöhnen. Bund der Energieverbraucher. Online verfügbar unter http://www.energieverbraucher.de/de/Buero-Verkehr/Buerogeraete/Computer__852/ContentDetail__7264/,%202008, zuletzt geprüft am 21.11.2013.

[130] Plischke, H.; Schauer, S.; Schülke, A.; Kempter, G. (2007): Untersuchungen zu visuellen und psychophysiologischen Effekten von Fernsehen mit dynamischer Hintergrundbeleuchtung. Resümee der Studienergebnisse. Online verfügbar unter http://www2.philips.de/entspannter_fernsehen/downloads/GRP_Studienresuemee.pdf, zuletzt geprüft am 22.11.2013.

[131] Rea, M. S. (1981): Visual Performance with Realistic Methods of Changing Contrast. In: Journal of the Illuminating Engineering Society 10 (3), S. 164–177.

[132] Reinhart, C. F.; Herkel, S. (2000): The simulation of annual daylight illuminance distributions—a state-of-the-art comparison of six RADIANCE-based methods. In: Energy and Buildings 32 (2), S. 167–187.

[133] Reinhart, C. F.; Voss, K. (2003): Monitoring manual control of electric lighting and blinds. In: Lighting Research and Technology 35 (3), S. 243–258.

[134] Rosenfield, M. (2011): Computer vision syndrome: a review of ocular causes and potential treatments. In: Ophthalmic and Physiological Optics 31 (5), S. 502–515.

[135] Russell, J. A.; Weiss, A.; Mendelsohn, G. A. (1989): Affect Grid: A single-item scale of pleasure and arousal. In: Journal of Personality and Social Psychology 57 (3), S. 493–502.

[136] Schmidt, P. ; Roos A. (2010): Stromsparen beim Monitor: So wird's gemacht. Online verfügbar unter www.tomshardware.de/LCD-TFT-Leistungsaufnahme,testberichte-240597-8.html, zuletzt geprüft am 22.11.2013.

[137] Schmidt, R. F.; Schaible, H.-G.; Birbaumer, N. (2006): Neuro- und Sinnesphysiologie. 5. Auflage. Springer Medizin Verlag, Heidelberg, Deutschland.

[138] Schneider, W.; Windel, A.; Zwingmann, B. (2002): Die Zukunft der Bueroarbeit. Bewerten, Vernetzen, Gestalten. Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin. Online verfügbar unter www.erfolgsfaktor-buero.de/downloads/inqazukunftderbueroarbeit.pdf, zuletzt geprüft am 22.11.2013.

[139] Schweizerische Lichttechnische Gesellschaft (1992): Handbuch für Beleuchtung. Eco-med Fachverlag, Lansberg, Deutschland.

[140] Sedlmeier, P.; Renkewitz, F. (2008): Forschungsmethoden und Statistik in der Psychologie. Pearson, München, Deutschland.

[141] Sheedy, J. E.; Smith, R.; Hayes, J. (2005): Visual effects of the luminance surrounding a computer display. In: Ergonomics 48 (9), S. 1114–1128.

[142] Shieh, K.-K.; Lin, C.-C. (2000): Effects of screen type, ambient illumination, and color combination on VDT visual performance and subjective preference. In: International Journal of Industrial Ergonomics 26 (5), S. 527–536.

[143] Shrout, P. E.; Fleiss, J. L. (1979): Intraclass correlations: uses in assessing rater reliability. In: Psychological Bulletin 86 (2), S. 420-428.

[144] Smith, J. (2009): Ambient Light Sensing (ALS). TEXAS ADVANCED OPTOELECTRONIC SOLUTIONS (TAOS). Online verfügbar unter http://www.ams.com/chi./content/view/download/145095, zuletzt aktualisiert am 02.04.2009, zuletzt geprüft am 21.11.2013.

[145] Spath, D.; Kern, P.; Bauer, W.; Lozano-Ehlers, I.; Greisle, A.; Hube, G.; Kelter, J.; Rieck, A. (2003): Office 21. Zukunftsoffensive Office 21 - mehr Leistung in innovativen Arbeitswelten ;

Office 21 - push for the future - better performance in innovative working environments. Egmont vgs Verlagsgesellschaft, Köln, Deutschland

[146] Spencer, D. (1954): Comparative Analysis of "Comfort" and "Glare". In: Illuminating Engineering 49, S. 39–49.

[147] Spieser, Robert (1975): Handbuch für Beleuchtung. 4. Auflage. Girardet-Verlag, Essen, Deutschland.

[148] Steyer, R.; Schwenkmezger, P.; Notz, P.; Eid, M. (1997): Der Mehrdimensionale Befindlichkeitsbogen (MDBF). Hogrefe Verlag, Göttingen, Deutschland.

[149] Sust, C. A. (1996): Lärmbeurteilung - Büro-Arbeitsplätze. Auswirkungen von Geräuschen mittlerer Intensität auf Büro- und Verwaltungsaufgaben. Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin, Dortmund, Deutschland.

[150] Tabuchi, Y.; Matsushima, K.; Nakamura, H. (1995): Preferred illuminances on surrounding surfaces in relation to task illuminance in office room using task-ambient lighting. In: Journal of Light & Visual Environment 19 (1), S. 28–39.

[151] Tennessen, C. M.; Cimprich, B. (1995): Views to nature: Effects on attention. In: Journal of Environmental Psychology 15 (1), S. 77–85.

[152] Tiller, D. K.; Veitch, J. A. (1995): Perceived room brightness: Pilot study on the effect of luminance distribution. In: Lighting Research & Technology 27 (2), S. 93–101.

[153] Tregenza, P.R; Romaya, S.M; Dawe, S.P; Heap, L.J; Tuck, B. (1974): Consistency and variation in preferences for office lighting. In: Lighting Research and Technology 6 (4), S. 205–211.

[154] Troll, L. (2000): Moderne Technik bringt neue Vielfalt in die Arbeitswelt. IAB-Kurzbericht 06/2000. Online verfügbar unter http://www.iab.de/194/section.aspx/Publikation/k000531n01, zuletzt geprüft am 17.12.2013.

[155] Troll, L. (2000): Beschäftigung im Strukturwandel: Sättigungstendenzen in einer veränderten Bürolandschaft. IAB-Kurzbericht, 17/2000. Online verfügbar unter http://www.iab.de/389/section.aspx/Publikation/k010112n01, zuletzt geprüft am 17.12.2013.

[156] Tseng, F.-Y.; Chao, C.-J.; Feng, W.-Y.; Hwang, S.-L. (2010): Assessment of human color discrimination based on illuminant color, ambient illumination and screen background color for visual display terminal workers. In: Industrial Health 48 (4), S. 438–446.

[157] Union Investment Real Estate GmbH (2011): Wohlfühlklima im Büro. Online verfügbar unter http://www.planung-analyse.de/news/studien/pages/protected/Wohlfuehlklima-im-Buero_4389.html, zuletzt geprüft am 20.11.3012.

[158] van Ooyen, M. H. F.; van de Weijgert, J. A. C.; Begemann, S. H. A. (1987): Preferred luminances in offices. In: Journal of the Illuminating Engineering Society 16 (2), S. 152–156.

[159] VDI 6011 Blatt 2 (2006): Optimierung von Tageslichtnutzung und künstlicher Beleuchtung - Dachoberlichter. Beuth Verlag, Berlin, Deutschland.

[160] Veitch, J. A.; Charles, K. E.; Farley, K. M. J.; Newsham, G. R. (2007): A model of satisfaction with open-plan office conditions: COPE field findings. In: Journal of Environmental Psychology 27 (3), S. 177–189.

[161] Veitch, J. A.; Gifford, R.; Hine, D. W. (1991): Demand characteristics and full spectrum lighting effects on performance and mood. In: Journal of Environmental Psychology 11 (1), S. 87–95.

[162] Veitch, J. A.; Newsham, G. R. (1998): Lighting quality and energy-efficiency effects on task performance, mood, health, satisfaction, and comfort. In: Journal of the Illuminating Engineering Society 27 (1), S. 107–129.

[163] Veitch, J.; Newsham, G. R.; Boyce, P. R.; Jones, C. C. (2008): Lighting appraisal, well-being and performance in open-plan offices. A linked mechanisms approach. In: Lighting Research & Technology 40 (2), S. 133–151.

[164] Veitch, J. A.; Stokkermans, M. G. M.; Newsham, G. R. (2013): Linking Lighting Appraisals to Work Behaviors. In: Environment and Behavior 45 (2), S. 198–214.

[165] Vine, E.; Lee, E.; Clear, R.; Di Bartolomeo, D.; Selkowitz, S. (1998): Office worker response to an automated Venetian blind and electric lighting system: a pilot study. In: Energy and Buildings 28 (2), S. 205–218.

[166] Vizmanos, J. G.; De L_A Fuente, I.; Matesanz, B. M.; Aparicio, J. A. (2004): Influence of surround illumination on pupil size and contrast sensitivity. In: Ophthalmic and Physiological Optics 24 (5), S. 464–468.

[167] Vogels I. M. L. C. (2008): Atmospheric metrics: development of a tool to quantify experienced atmosphere. In: Westerink JHDH, Ouwerkerk M, Overbeek TJM, Pasveer WF, Ruyter B, editors. Probing Experiences: From Assessment of User Emotions and Behavior to Development of Products. Springer Verlag, Niederlande.

[168] Waehlert, M.: Konzentration im Büro. Online verfügbar unter http://www.m-waehlert.de/docs/download/6_Konzentration.pdf, zuletzt geprüft am 02.12.2013.

[169] Wang, A.-H.; Chen, M.-T. (2000): Effects of polarity and luminance contrast on visual performance and VDT display quality. In: International Journal of Industrial Ergonomics 25 (4), S. 415–421.

[170] Weffers-Albu, A., de Waele, S., Hoogenstraaten, W., & Kwisthout, C. (2011): Immersive TV viewing with advanced Ambilight. In: IEEE International Conference on Consumer Electronics (ICCE) (pp. 753-754).

[171] Weiß, C. (2007): Studien verstehen (2): Prüfen der Signifikanz Woher kommt das kleine „p“? Online verfügbar unter http://www.umm.uni-heidelberg.de/inst/biom/prints/Viamedici_2007.pdf., zuletzt aktualisiert am 15.05.2007, zuletzt geprüft am 13.12.2013.

[172] Werth, L.; Steidle, A.; Hubschneider, C.; de Boer, J.; Sedlbauer, K. (2013): Psychologische Befunde zu Licht und seiner Wirkung auf den Menschen – ein Überblick. In: Bauphysik 35 (3), S. 193–204.

[173] Wienold, J. (2009): Daylight Glare in Offices. Dissertation. Universität Karlsruhe.

[174] Williams, A. (2012): A Meta-Analysis of Energy Savings from Lighting Controls in Commercial Buildings. Lawrence Berkeley National Laboratory Paper 5095E. Online verfügbar unter http://www.escholarship.org/uc/item/7kc8n19w, zuletzt geprüft am 21.11.2013.

[175] Wirtz, M., & Caspar, F. (2002). Beurteilerübereinstimmung und Beurteilerreliabilität. Methoden zur Bestimmung und Verbesserung der Zuverlässigkeit von Einschätzungen mittels Kategoriensystemen und Ratingskalen. Hogrefe Verlag, Göttingen, Deutschland.

[176] Wolska, A. (2003): Visual strain and lighting preferences of VDT users under different lighting systems. In: International journal of occupational safety and ergonomics: JOSE 9 (4), S. 431–440.

[177] Wolska, A.; Switula, M. (1999): Luminance of the surround and visual fatigue of VDT operators. In: International journal of occupational safety and ergonomics: JOSE 5 (4), S. 553–580.

[178] Wright, M. S.; Hill, S. L.; Cook, G. K.; Bright, K. T. (1999): The perception of lighting quality in a non-uniformly lit office environment. In: Facilities 17 (12/13), S. 476–484.

[179] Yearout, R.; Konz, S. (1989): Visual display unit workstation lighting. In: International Journal of Industrial Ergonomics 3 (3), S. 265–273.

[180] Yeow, P. T.; Taylor, S. P. (1991): Effects of long-term visual display terminal usage on visual functions. In: Optometry & Vision Science 68 (12), S. 930–941.

[181] Yoctopuce: http://www.yoctopuce.com/EN/, zuletzt geprüft am 02.12.2013.

Tabellenverzeichnis

Tabelle 3.1: Übersicht über die zulässigen und empfohlenen Leuchtdichten nach BGI 856 [20] und DIN 5035-7 [47]. 26

Tabelle 5.1: Übersicht über die teilnehmenden Testpersonen..... 50

Tabelle 5.2: Übersicht über die Auftretens-Wahrscheinlichkeit der Lichtbedingungen (Kombinationen von L_W und L_A), beispielhaft für die Südausrichtung. 55

Tabelle 5.3: Übersicht über die verwendeten Monitoreinstellungen..... 56

Tabelle 5.4: Prinzip der durchgeführten Umrechnungen zwischen mathematischem und physiologischem Leuchtdichteverhältnis. 57

Tabelle 5.5: Zusammenfassung der 18 Leuchtdichteumgebungen. 58

Tabelle 5.6: Zuordnung der zwölf Einzelitems im Mehrdimensionalen Befindlichkeitsfragebogen (MDBF) [148]. 65

Tabelle 5.7: Zeitlicher Ablauf und Reihenfolge der Leistungstest und Abfragen während einer Lichtbedingung..... 66

Tabelle 5.8: Interpretation Cronbachs Alpha nach Nunally [122]. 67

Tabelle 5.9: Dimensionsreduzierung der subjektiven Einschätzung zur Aufgabenbearbeitung auf zwei zugrundeliegende Faktoren. 72

Tabelle 6.1: Übersicht über die teilnehmenden Testpersonen..... 105

Tabelle 6.2: Darstellung und Nummerierung der gewählten Lichtbedingungen. 108

Tabelle 6.3: Übersicht über die verwendeten Monitoreinstellungen..... 109

Tabelle 6.4: Zusammenfassung der 54 realisierten Leuchtdichteumgebungen. 109

Tabelle 6.5: Zeitlicher Ablauf und Reihenfolge der Leistungstest und Abfragen für einen Tag..... 114

Tabelle 6.6: Faktoren und Einzelmaße, welche zur weiteren Betrachtung herangezogen werden. 115

Tabelle 6.7: Übersicht über die auszupartialisierenden Parameter für die verschiedenen zu untersuchenden Einflüsse..... 117

Tabelle 6.8: Übersicht über die Zusammenhänge zwischen Einzelitems und Parametern der Leuchtdichteumgebung zur Überprüfung der Bedingung 2..... 118

Tabelle 6.9: Darstellung der nachfolgend verwendeten Datenbasis für die Parameter der Leuchtdichteumgebung. 119

Tabelle 7.10: Umrechnungsfaktoren zwischen Leuchtdichte im Erfassungsbereich und Messwert der beiden verwendeten Sensoren. 140

Tabelle 8.1: Übersicht über die teilnehmenden Testpersonen. 146

Tabelle 8.2: Übersicht über die zu vergleichenden Steuerungsvarianten. 147

Tabelle 8.3: Zeitlicher Ablauf und Reihenfolge der Leistungstest und Abfragen während einer zu untersuchenden Steuerungsvariante. 152

Tabelle 8.4: Aufteilung der Gesamtzahl der Testpersonen auf zwei Altersgruppen. 154

Tabelle 8.5: Übersicht über die Anzahl der Testpersonen, welche die Steuerung bemerkt haben.....167

Tabelle A.1: Übersicht über Größe, Leuchtdichte und Leistung der recherchierten Monitormodelle in Auszügen. 215

Tabelle B.1: Übersicht über die Auftretens-Wahrscheinlichkeit der Lichtbedingungen (Kombinationen von L_W und L_A), beispielhaft für die Südausrichtung. 219

Tabelle B.2: Übersicht über Zielwerte und erreichte bestmögliche Passung für die Lichtbedingungen. 220

Tabelle B.3: Kennwerte der verwendeten Leuchtdichtekamera: Smart 144F Digital Photometric Image Analysis System.....221

Tabelle B.4: Darstellung der an AP 1 erreichten Leuchtdichten. Die Lichtbedingungen wurden ohne Monitor vermessen.....222

Tabelle B.5: Darstellung der an AP 2 erreichten Leuchtdichten. Die Lichtbedingungen wurden ohne Monitor vermessen.....223

Tabelle B.6: Übersicht über die in Studie 1 verwendete Randomisierung.....224

Tabelle C.1: Beispielhafte Analyse der Faktorenstruktur zum subjektiven Empfinden bei der Bearbeitung der Buchstabenvergleich-Aufgabe.....229

Tabelle C.2: Beispielhafte Analyse der Faktorenstruktur zum subjektiven Empfinden bei der Bearbeitung der Dominosteinsuch-Aufgabe. 229

Tabelle C.3: Beispielhafte Analyse der Faktorenstruktur zum subjektiven Empfinden bei der Bearbeitung des Konzentrations-Leistungs-Test. 230

Tabelle C.4: Beispielhafte Analyse der Faktorenstruktur zur visuellen Leistungsatmosphäre.....230

Tabelle C.5: Aufteilung der Gesamtzahl der Testpersonen auf zwei Altersgruppen. 231

Tabelle C.6: Moderatoranalyse der sensiblen Maße. 231

Tabelle C.7: Übersicht über Mittel-, Maximal und Minimalwerte, sowie Standardabweichung der Studie 1. Das Kürzel A steht für die helle, B für die mittlere und C für die dunkle Monitoreinstellung. 1 bis 6 für die Lichtbedingungen. 250

Tabelle D.1: Übersicht über Zielgrößen und erreichte bestmögliche Passung für die zu untersuchenden Lichtbedingungen. 257

Tabelle D.2: Darstellung der am Arbeitsplatz erreichten Leuchtdichten. 258

Tabelle D.3: Übersicht über die in Studie 2 verwendeten Randomisierung: Testpersonen 1 bis 9. 261

Tabelle D.4: Übersicht über die in Studie 2 verwendeten Randomisierung: Testpersonen 10 bis 18. 262

Tabelle D.5: Übersicht über die in Studie 2 verwendeten Randomisierung: Testpersonen 19 bis 27. 263

Tabelle D.6: Übersicht über die in Studie 2 verwendeten Randomisierung: Testpersonen 28 bis 36. 264

Tabelle E.1: Analyse der Faktorenstruktur der subjektiven Maße 265

Tabelle E.2: Analyse der Faktorenstruktur der objektiven Maße. 265

Tabelle E.3: Dimensionsreduzierung auf drei zugrundeliegende Faktoren der Abfragen sowie die resultierenden Reliabilitäten 266

Tabelle E.4: Zusammenstellung der Korrelationskoeffizienten für den Einfluss der einzelnen Parameter der Leuchtdichteumgebung. 267

Tabelle E.5: Korrelationen der zu untersuchenden Faktoren. Es sind nur die signifikanten Zusammenhänge angegeben. 268

Tabelle E.6: Aufteilung der Gesamtzahl der Testpersonen auf zwei Altersgruppen. 270

Tabelle E.7: Moderatoranalyse der sensiblen Maße. 270

Tabelle E.8: Übersicht über die Regressionsfunktionen und die Extrempunkte für die Zusammenhänge zwischen den Parametern der Leuchtdichteumgebung und den in der Regressionsanalyse untersuchten Maßen. 280

Tabelle E.9: Übersicht über Mittel-, Maximal und Minimalwerte, sowie Standardabweichung der Studie 2, die Werte am Ende der Bezeichnung der Maße stehen für LB, L_A, L_W und L_M. 281

Tabelle F.1: Übersicht über die Ergebnisse einer Umfrage unter 21 Wissensarbeitern. 285

Tabelle F.2: Stunden bei denen eine Reduktion der Monitorleuchtdichte im anhand der Energie-Steuerung möglich wäre (beispielhaft für die Südausrichtung). 286

Tabelle F.3: Resultierende Leuchtdichten der beiden verwendeten Monitore für verschiedene eingestellte Gamma-Werte. 287

Tabelle F.4: Beispiel der resultierenden CSV-Datei zur visuellen Leistungsatmosphäre-Steuerung mit Monitor 1 und dem Sensor 0B896 (in Auszügen). 288

Tabelle G.1: Übersicht über Beleuchtungsstärke in den Versuchsräumen, zur Darstellung der Gleichartigkeit der beiden Räume. Angegeben sind für die drei Steuerungsvarianten die Beleuchtungsstärken (gemittelt über die Bearbeitungszeit) in den beiden Räumen sowie die Differenzen zwischen den Räumen. 289

Tabelle G.2: Darstellung der Profile der räumlichen Randbedingungen und deren technischer Umsetzung. 291

Tabelle G.3: Übersicht über die in Studie 3 verwendete Randomisierung: Tag 1 bis 5. 292

Tabelle G.4: Übersicht über die in Studie 3 verwendete Randomisierung: Tag 6 bis 10. 292

Tabelle H.1: Resultierende Reliabilitäten bei der Dimensionsreduzierung des MDBF auf die drei zugrundeliegende Faktoren. 295

Tabelle H.2: Beispielhafte Analyse der Faktorenstruktur zur visuellen Leistungsatmosphäre. 295

Tabelle H.3: Resultierende Reliabilitäten bei der Dimensionsreduzierung der Einzelitems auf die visuelle Leistungsatmosphäre 296

Tabelle H.4: Übersicht über die Monitorleuchtdichte bei verschiedenen Wandabschnittsleuchtdichten in Raum 1. Zu beachten ist das der Wandausschnitt hinter dem Monitor zwar vom Sensor erfasst wird, von der Kamera jedoch nicht. 297

Tabelle H.5: Übersicht über die Monitorleuchtdichte bei verschiedenen Wandabschnittsleuchtdichten in Raum 2. Zu beachten ist das der Wandausschnitt hinter dem Monitor zwar vom Sensor erfasst wird, von der Kamera jedoch nicht. 298

Tabelle H.6: Aufteilung der Gesamtzahl der Testpersonen auf zwei Altersgruppen. 299

Tabelle H.7: Moderatoranalyse der sensiblen Maße. 300

Tabelle H.8: Übersicht über die Anzahl der Testpersonen, welche die Steuerung bemerkt haben. 311

Tabelle H.9: Übersicht über Mittel-, Maximal und Minimalwerte, sowie Standardabweichung der Studie 3. Zu Beginn der Bezeichnung der Maße werden die Steuerungsvariante (KS, LA, EN) und der Abschnitt (1, 2, 3) angegeben. 318

Abbildungsverzeichnis

Bild 3.1: Überblick über die möglichen Positionen von Sensoren zur Steuerung der Monitorleuchtdichte. 24

Bild 3.2: Darstellung des Gesichtsfelds, aufgeteilt in Ergorama und Panorama [86], [147]. 32

Bild 4.1: Experimenteller Aufbau der Arbeit. 41

Bild 4.2: Darstellung des für die subjektive Bewertung von Lichtumgebungen relevanten Bereichs der Umgebung nach Loe et al. [108]. 42

Bild 4.3: Modell des Bildschirmarbeitsplatzes, bestehend aus den Wandabschnitt, Arbeitsfläche und Monitor 43

Bild 5.1: Tageslichtwand des Testraums. 48

Bild 5.2: Schematischer Grundriss des Testraums und der Arbeitslätze AP 1 und AP 2. 49

Bild 5.3: Darstellung der Arbeitslätze AP 1 und AP 2. 50

Bild 5.4: Schematische Darstellung des Wandabschnitts von AP 1. 51

Bild 5.5: Schematische Darstellung des Wandabschnitts von AP 2. 52

Bild 5.6: Schematische Darstellung der Arbeitsflächen für AP 1 und AP 2. 53

Bild 5.7: Schematische Darstellung der Monitorfläche für AP 1 und AP 2. 53

Bild 5.8: Emotionsgitter nach Russel et al. zur Stimmungserfassung [135]. 64

Bild 5.9 Bearbeitungszeit der Buchstabenvergleichs-Aufgabe in Abhängigkeit der Leuchtdichteumgebung. Der Fehlerballen stellt die Standardabweichung dar. 75

Bild 5.10 Anzahl der Fehler bei der Buchstabenvergleichs-Aufgabe in Abhängigkeit der Leuchtdichteumgebung. Der Fehlerballen stellt die Standardabweichung dar. 76

Bild 5.11: Bearbeitungszeit der Buchstabenvergleichs-Aufgabe in Abhängigkeit der Arbeitsflächenleuchtdichte für alle Lichtbedingungen. Der Fehlerbalken zeigt das 95 % Konfidenzintervall des Mittelwerts. 77

Bild 5.12: Bearbeitungszeit der Buchstabenvergleichs-Aufgabe in Abhängigkeit der Wandabschnittsleuchtdichte für alle Lichtbedingungen. Der Fehlerbalken zeigt das 95 % Konfidenzintervall des Mittelwerts. 77

Bild 5.13: Anstrengung bei der Buchstabenvergleichs-Aufgabe in Abhängigkeit der Leuchtdichteumgebung. Der Fehlerballen stellt die Standardabweichung dar. 78

Bild 5.14: Anstrengung bei der Buchstabenvergleichs-Aufgabe in Abhängigkeit der Arbeitsflächenleuchtdichte für alle Lichtbedingungen. Der Fehlerbalken zeigt das 95 % Konfidenzintervall des Mittelwerts..... 79

Bild 5.15: Bearbeitungszeit der Dominosteinsuch-Aufgabe in Abhängigkeit der Monitorleuchtdichte für alle Lichtbedingungen. Der Fehlerbalken zeigt das 95 % Konfidenzintervall des Mittelwerts. 80

Bild 5.16: Anstrengung bei der Dominosteinsuch-Aufgabe in Abhängigkeit der Wandabschnittsleuchtdichte für alle Lichtbedingungen. Der Fehlerbalken zeigt das 95 % Konfidenzintervall des Mittelwerts..... 81

Bild 5.17: Anstrengung bei der Dominosteinsuch-Aufgabe in Abhängigkeit der Arbeitsflächenleuchtdichte bei Ausschluss der Lichtbedingungen 2 und 6. Der Fehlerbalken zeigt das 95 % Konfidenzintervall des Mittelwerts. 81

Bild 5.18: Bereinigte Anstrengung bei der Dominosteinsuch-Aufgabe in Abhängigkeit des Leuchtdichteverhältnisses zwischen Wandabschnitt und Arbeitsfläche bei Ausschluss der Lichtbedingungen 2 und 6. Der Fehlerbalken zeigt das 95 % Konfidenzintervall des Mittelwerts. 82

Bild 5.19: Bereinigte Anstrengung bei der Dominosteinsuch-Aufgabe in Abhängigkeit des Verhältnisses zwischen minimaler und maximaler Leuchtdichte der Leuchtdichteumgebung bei Ausschluss der Lichtbedingungen 2 und 6. Der Fehlerbalken zeigt das 95 % Konfidenzintervall des Mittelwerts. 83

Bild 5.20: Bearbeitungszeit des Konzentrations-Leistungs-Tests in Abhängigkeit der Wandabschnittsleuchtdichte für alle Lichtbedingungen. Der Fehlerbalken zeigt das 95 % Konfidenzintervall des Mittelwerts..... 84

Bild 5.21: Bereinigte Bearbeitungszeit des Konzentrations-Leistungs-Tests in Abhängigkeit des Leuchtdichteverhältnisses zwischen Wandabschnitt und Arbeitsfläche für alle Lichtbedingungen. Der Fehlerbalken zeigt das 95 % Konfidenzintervall des Mittelwerts. 85

Bild 5.22: Bereinigte Anzahl der Fehler beim Konzentrations-Leistungs-Test in Abhängigkeit des Leuchtdichteverhältnisses zwischen Monitor und Wandabschnitt bei Ausschluss der Lichtbedingungen 2 und 6. Der Fehlerbalken zeigt das 95 % Konfidenzintervall des Mittelwerts. 86

Bild 5.23: Anstrengung beim Konzentrations-Leistungs-Test in Abhängigkeit der Leuchtdichteumgebung. Der Fehlerballen stellt die Standardabweichung dar. 87

Bild 5.24: Anstrengung beim Konzentrations-Leistungs-Test in Abhängigkeit der Wandabschnittsleuchtdichte für alle Lichtbedingungen. Der Fehlerbalken zeigt das 95 % Konfidenzintervall des Mittelwerts..... 88

Bild 5.25: Anstrengung beim Konzentrations-Leistungs-Test in Abhängigkeit der Arbeitsflächenleuchtdichte für alle Lichtbedingungen. Der Fehlerbalken zeigt das 95 % Konfidenzintervall des Mittelwerts. 88

Bild 5.26: Bereinigte Anstrengung beim Konzentrations-Leistungs-Test in Abhängigkeit des Leuchtdichteverhältnisses zwischen Wandabschnitt und Arbeitsfläche für alle Lichtbedingungen. Der Fehlerbalken zeigt das 95 % Konfidenzintervall des Mittelwerts. 89

Bild 5.27: Entwicklung des Nahpunkts der Akkommodation in Abhängigkeit der Leuchtdichteumgebung. Der Fehlerballen stellt die Standardabweichung dar. 90

Bild 5.28: Bereinigte Entwicklung des Nahpunkts der Akkommodation in Abhängigkeit des Leuchtdichteverhältnisses zwischen Wandabschnitt und Arbeitsfläche für alle Lichtbedingungen. Der Fehlerbalken zeigt das 95 % Konfidenzintervall des Mittelwerts. 91

Bild 5.29: Entwicklung der Seh- und Augenbeschwerden in Abhängigkeit der Leuchtdichteumgebung. Der Fehlerballen stellt die Standardabweichung dar. 92

Bild 5.30: Ermüdung im Raum in Abhängigkeit der Leuchtdichteumgebung. Der Fehlerballen stellt die Standardabweichung dar. 93

Bild 5.31: Visuelle Leistungsatmosphäre im Raum in Abhängigkeit der Leuchtdichteumgebung. Der Fehlerballen stellt die Standardabweichung dar. 94

Bild 5.32: Visuelle Leistungsatmosphäre in Abhängigkeit der Wandabschnittsleuchtdichte für alle Lichtbedingungen. Der Fehlerbalken zeigt das 95 % Konfidenzintervall des Mittelwerts. 95

Bild 5.33: Visuelle Leistungsatmosphäre in Abhängigkeit der Monitorleuchtdichte für alle Lichtbedingungen. Der Fehlerbalken zeigt das 95 % Konfidenzintervall des Mittelwerts. 96

Bild 5.34: Visuelle Leistungsatmosphäre in Abhängigkeit der Arbeitsflächenleuchtdichte bei Ausschluss der Lichtbedingungen 2 und 6. Der Fehlerbalken zeigt das 95 % Konfidenzintervall des Mittelwerts. 97

Bild 5.35: Bereinigte visuelle Leistungsatmosphäre in Abhängigkeit des Leuchtdichteverhältnisses zwischen Monitor und Wandabschnitt bei Ausschluss der Lichtbedingungen 2 und 6. Der Fehlerbalken zeigt das 95 % Konfidenzintervall des Mittelwerts. 98

Bild 6.1 Fotographie und schematischer Grundriss des verwendeten Testraums und des dort eingerichteten Arbeitslatzes. 104

Bild 6.2: Schematische Darstellung der verwendeten Wandabschnittsflächen des eingerichteten Arbeitsplatzes. 106

Bild 6.3: Schematische Darstellung der verwendeten Arbeitsflächen des eingerichteten Arbeitsplatzes. 107

Bild 6.4: Darstellung der Ermittlung des Unsicherheitsbereichs um die errechneten Optima. 120

Bild 6.5: Bereinigte visuelle Leistungsatmosphäre in Abhängigkeit der Wandabschnittsleuchtdichte. Der Fehlerbalken zeigt das 95 % Konfidenzintervall des Mittelwerts. 122

Bild 6.6: Bereinigte visuelle Leistungsatmosphäre in Abhängigkeit des Leuchtdichteverhältnisses zwischen Monitor und Wandabschnitt. Der Fehlerbalken zeigt das 95 % Konfidenzintervall des Mittelwerts. 123

Bild 6.7: Bereinigte visuelle Leistungsatmosphäre in Abhängigkeit des Leuchtdichteverhältnisses zwischen Monitor und Arbeitsfläche. Der Fehlerbalken zeigt das 95 % Konfidenzintervall des Mittelwerts. 124

Bild 6.8: Bereinigte visuelle Leistungsatmosphäre in Abhängigkeit des Verhältnisses zwischen minimaler und maximaler Leuchtdichte der Leuchtdichteumgebung. Der Fehlerbalken zeigt das 95 % Konfidenzintervall des Mittelwerts. 125

Bild 6.9: Visuelle Leistungsatmosphäre in Abhängigkeit der Leuchtdichteumgebung. Der Fehlerballen stellt die Standardabweichung dar. 126

Bild 7.1: Schematischer Ablauf der Leistungsatmosphäre-Steuerung. 135

Bild 7.2: Schematischer Ablauf der Energie-Steuerung. 136

Bild 7.3: Erfassungsbereich des konstruierten Sensors. 138

Bild 7.4: Darstellung des konstruierten Sensors. 139

Bild 7.5: Kalibrierungsbereich der verwendeten Monitore. 140

Bild 7.6: Ablaufschema der Programmierung der Monitorsteuerung. 142

Bild 8.1: Schematischer Grundriss der verwendeten Testräume, der dort eingerichteten Arbeitslätze und des angebrachten Sensors zur Erfassung der Beleuchtungsstärke E. 144

Bild 8.2: Fotographische Darstellung der eingerichteten Arbeitslätze. 145

Bild 8.3: Ablauf der Profile der räumlichen Randbedingungen. 148

Bild 8.4: Erste Erfassung der visuellen Leistungsatmosphäre in Abhängigkeit der Steuerungsvarianten, dargestellt für die Gruppe $A_{25\text{-}34}$. Der Fehlerballen stellt die Standardabweichung dar. 156

Bild 8.5: Visuelle Ermüdung bei der Büro-Aufgabe in Abhängigkeit der Steuerungsvarianten, dargestellt für die Gruppe $A_{25\text{-}34}$. Der Fehlerballen stellt die Standardabweichung dar. 157

Bild 8.6: Anstrengung bei der Buchstabenvergleichs-Aufgabe in Abhängigkeit der Steuerungsvarianten, dargestellt für die Gruppe $A_{25\text{-}34}$. Der Fehlerballen stellt die Standardabweichung dar. 158

Bild 8.7: Visuelle Ermüdung bei der Buchstabenvergleichs-Aufgabe in Abhängigkeit der Steuerungsvarianten, dargestellt für die Gruppe $A_{25\text{-}34}$. Der Fehlerballen stellt die Standardabweichung dar. 159

Bild 8.8: Anstrengung bei der Dominosteinsuch-Aufgabe in Abhängigkeit der Steuerungsvarianten, dargestellt für die Gruppe $A_{25\text{-}34}$. Der Fehlerballen stellt die Standardabweichung dar. 161

Bild 8.9: Visuelle Ermüdung bei der Dominosteinsuch-Aufgabe in Abhängigkeit der Steuerungsvarianten, dargestellt für die Gruppe $A_{25\text{-}34}$. Der Fehlerballen stellt die Standardabweichung dar. 162

Bild 8.10: Anzahl der bearbeiteten Teilaufgaben des Konzentrations-Leistungs-Tests in Abhängigkeit der Steuerungsvarianten, dargestellt für die Gruppe $A_{25\text{-}34}$. Der Fehlerballen stellt die Standardabweichung dar. 163

Bild 8.11: Anstrengung beim Konzentrations-Leistungs-Test in Abhängigkeit der Steuerungsvarianten, dargestellt für die Gruppe $A_{25\text{-}34}$. Der Fehlerballen stellt die Standardabweichung dar. 164

Bild 8.12: Nahpunkt der Akkommodation in Abhängigkeit der Steuerungsvarianten, dargestellt für die Gruppe $A_{25\text{-}34}$. Der Fehlerballen stellt die Standardabweichung dar. 166

Bild B.1: Darstellung des in Daysim [40] als Beispiel hinterlegten Raummodells, welches zur Simulation verwendet wurde. 217

Bild B.2: Wandansicht und Grundriss des simulierten Raumes mit Lage der Messfläche Wandabschnitt und Arbeitsbereich (Höhe: 0,85 m). 218

Bild B.3: Beispiel der Buchstabenvergleichs-Aufgabe auf Papier. 226

Bild B.4: Beispiel einer Matrix der Dominosteinsuch-Aufgabe. 227

Bild B.5: Beispiel des Konzentrations-Leistungs-Tests. 228

Bild C.1: Erfolg bei der Buchstabenvergleichs-Aufgabe in Abhängigkeit der Arbeitsflächenleuchtdichte für alle Lichtbedingungen. Der Fehlerbalken zeigt das 95 % Konfidenzintervall des Mittelwerts. 232

Bild C.2: Erfolg bei der Buchstabenvergleichs-Aufgabe in Abhängigkeit der Wandabschnittsleuchtdichte für alle Lichtbedingungen. Der Fehlerbalken zeigt das 95 % Konfidenzintervall des Mittelwerts.....233

Bild C.3: Bereinigter Erfolg bei der Buchstabenvergleichs-Aufgabe in Abhängigkeit des Leuchtdichteverhältnisses zwischen Wandabschnitt und Arbeitsfläche für alle Lichtbedingungen. Der Fehlerbalken zeigt das 95 % Konfidenzintervall des Mittelwerts. 234

Bild C.4: Bereinigter Erfolg bei der Dominosteinsuch-Aufgabe in Abhängigkeit des Leuchtdichteverhältnisses zwischen Wandabschnitt und Arbeitsfläche für alle Lichtbedingungen. Der Fehlerbalken zeigt das 95 % Konfidenzintervall des Mittelwerts. 235

Bild C.5: Erfolg beim Konzentrations-Leistungs-Test in Abhängigkeit der Leuchtdichteumgebung. Der Fehlerballen stellt die Standardabweichung dar. 236

Bild C.6: Entwicklung der Schläfrigkeit in Abhängigkeit der Arbeitsflächenleuchtdichte für alle Lichtbedingungen. Der Fehlerbalken zeigt das 95 % Konfidenzintervall des Mittelwerts.....237

Bild C.7: Entwicklung der Schläfrigkeit in Abhängigkeit der Wandabschnittsleuchtdichte bei Ausschluss der Lichtbedingungen 2 und 6. Der Fehlerbalken zeigt das 95 % Konfidenzintervall des Mittelwerts. 237

Bild C.8: Helligkeitseinschätzung der Wand in Abhängigkeit der Wandabschnittsleuchtdichte für alle Lichtbedingungen. Der Fehlerbalken zeigt das 95 % Konfidenzintervall des Mittelwerts.....238

Bild C.9: Helligkeitseinschätzung der Arbeitsfläche in Abhängigkeit der Leuchtdichteumgebung. Der Fehlerballen stellt die Standardabweichung dar. 239

Bild C.10: Helligkeitseinschätzung der Arbeitsfläche in Abhängigkeit der Arbeitsflächenleuchtdichte für alle Lichtbedingungen. Der Fehlerbalken zeigt das 95 % Konfidenzintervall des Mittelwerts.....240

Bild C.11: Bereinigte Helligkeitseinschätzung der Arbeitsfläche in Abhängigkeit des Leuchtdichteverhältnisses zwischen Monitor und Wandabschnitt für alle Lichtbedingungen. Der Fehlerbalken zeigt das 95 % Konfidenzintervall des Mittelwerts.....241

Bild C.12: Helligkeitseinschätzung des Monitors in Abhängigkeit der Leuchtdichteumgebung. Der Fehlerballen stellt die Standardabweichung dar. 242

Bild C.13: Helligkeitseinschätzung des Monitors in Abhängigkeit der Monitorleuchtdichte für alle Lichtbedingungen. Der Fehlerbalken zeigt das 95 % Konfidenzintervall des Mittelwerts. 243

Bild C.14: Helligkeitseinschätzung des Monitors in Abhängigkeit des Verhältnisses zwischen minimaler und maximaler Leuchtdichte der Leuchtdichteumgebung für alle Lichtbedingungen. Der Fehlerbalken zeigt das 95 % Konfidenzintervall des Mittelwerts. 244

Bild C.15: Blendung im Raum in Abhängigkeit der Leuchtdichteumgebung. Der Fehlerballen stellt die Standardabweichung dar. 245

Bild C.16: Bereinigte Blendung im Raum in Abhängigkeit des Leuchtdichteverhältnisses zwischen Wandabschnitt und Arbeitsfläche für alle Lichtbedingungen. Der Fehlerbalken zeigt das 95 % Konfidenzintervall des Mittelwerts. 246

Bild C.17: Entwicklung der empfundenen Erregung in Abhängigkeit der Wandabschnittsleuchtdichte für alle Lichtbedingungen. Der Fehlerbalken zeigt das 95 % Konfidenzintervall des Mittelwerts. 247

Bild C.18: Bereinigte Entwicklung des angenehmen Empfinden im Raum in Abhängigkeit des Leuchtdichteverhältnisses zwischen Wandabschnitt und Arbeitsfläche für alle Lichtbedingungen. Der Fehlerbalken zeigt das 95 % Konfidenzintervall des Mittelwerts. 248

Bild C.19: Entwicklung der empfundenen Wachheit in Abhängigkeit der Wandabschnittsleuchtdichte für alle Lichtbedingungen. Der Fehlerbalken zeigt das 95 % Konfidenzintervall des Mittelwerts. 249

Bild C.20: Entwicklung der empfundenen Wachheit in Abhängigkeit der Arbeitsflächenleuchtdichte für alle Lichtbedingungen. Der Fehlerbalken zeigt das 95 % Konfidenzintervall des Mittelwerts. 249

Bild E.1: Bereinigte Motivation bei Aufgabenbearbeitung in Abhängigkeit des Leuchtdichteverhältnisses zwischen Wandabschnitt und Arbeitsfläche. Der Fehlerbalken zeigt das 95 % Konfidenzintervall des Mittelwerts. 271

Bild E.2: Bereinigte Motivation bei Aufgabenbearbeitung in Abhängigkeit des Verhältnisses zwischen minimaler und maximaler Leuchtdichte der Leuchtdichteumgebung. Der Fehlerbalken zeigt das 95 % Konfidenzintervall des Mittelwerts. 272

Bild E.3: Motivation bei Aufgabenbearbeitung in Abhängigkeit der Leuchtdichteumgebung. Der Fehlerballen stellt die Standardabweichung dar. 273

Bild E.4: Bereinigte Anstrengung bei Aufgabenbearbeitung in Abhängigkeit der Wandabschnittsleuchtdichte. Der Fehlerbalken zeigt das 95 % Konfidenzintervall des Mittelwerts. 274

Bild E.5: Bereinigte Anstrengung bei Aufgabenbearbeitung in Abhängigkeit der Arbeitsflächenleuchtdichte. Der Fehlerbalken zeigt das 95 % Konfidenzintervall des Mittelwerts. 275

Bild E.6: Anstrengung bei Aufgabenbearbeitung in Abhängigkeit der Leuchtdichteumgebung. Der Fehlerballen stellt die Standardabweichung dar. 276

Bild E.7: Bereinigte Anzahl der bearbeiteten Teilaufgaben des Konzentrations-Leistungs-Tests in Abhängigkeit der Wandabschnittsleuchtdichte. Der Fehlerbalken zeigt das 95 % Konfidenzintervall des Mittelwerts. 277

Bild E.8: Bereinigte Anzahl der bearbeiteten Teilaufgaben des Konzentrations-Leistungs-Tests in Abhängigkeit des Verhältnisses zwischen minimaler und maximaler Leuchtdichte der Leuchtdichteumgebung. Der Fehlerbalken zeigt das 95 % Konfidenzintervall des Mittelwerts.....278

Bild E.9: Anzahl der bearbeiteten Teilaufgaben des Konzentrations-Leistungs-Tests in Abhängigkeit der Leuchtdichteumgebung. Der Fehlerballen stellt die Standardabweichung dar. 279

Bild G.1: Beispiel der Büro-Aufgabe. 293

Bild H.1: Motivation bei der Büro-Aufgabe in Abhängigkeit der Steuerungsvarianten, dargestellt für alle Testpersonen. Der Fehlerballen stellt die Standardabweichung dar. 302

Bild H.2: Motivation bei der Büro-Aufgabe in Abhängigkeit der Steuerungsvarianten, dargestellt für die Gruppe $J_{21\text{-}24}$. Der Fehlerballen stellt die Standardabweichung dar. 303

Bild H.3: Anzahl der bearbeiteten Teilaufgaben des Konzentrations-Leistungs-Tests in Abhängigkeit der Steuerungsvarianten, dargestellt für alle Testpersonen. Der Fehlerballen stellt die Standardabweichung dar. 305

Bild H.4: Visuelle Ermüdung beim Konzentrations-Leistungs-Test in Abhängigkeit der Steuerungsvarianten, dargestellt für alle Testpersonen. Der Fehlerballen stellt die Standardabweichung dar.....307

Bild H.5: Stimmung in Abhängigkeit der Steuerungsvarianten, dargestellt für alle Testpersonen. Der Fehlerballen stellt die Standardabweichung dar. 308

Bild H.6: Schläfrigkeit in Abhängigkeit der Steuerungsvarianten, dargestellt für alle Testpersonen. Der Fehlerballen stellt die Standardabweichung dar. 310

Bild H.7: Schläfrigkeit in Abhängigkeit der Steuerungsvarianten, dargestellt für die Gruppe $J_{21\text{-}24}$. Der Fehlerballen stellt die Standardabweichung dar..... 311

Bild H.8: Erfolg bei der Buchstabenvergleichs-Aufgabe in Abhängigkeit der Steuerungsvarianten, dargestellt für die Gruppe $A_{25\text{-}34}$. 313

Bild H.9: Motivation bei der Buchstabenvergleichs-Aufgabe in Abhängigkeit der Steuerungsvarianten, dargestellt für die Gruppe $A_{25\text{-}34}$. 314

Bild H.10: Motivation beim Konzentrations-Leistungs-Test in Abhängigkeit der Steuerungsvarianten, dargestellt für die Gruppe $A_{25\text{-}34}$. 315

Bild H.11: Stimmung in Abhängigkeit der Steuerungsvarianten, dargestellt für die Gruppe $A_{25\text{-}34}$. 316

Bild H.12: Schläfrigkeit in Abhängigkeit der Steuerungsvarianten, dargestellt für die Gruppe $A_{25\text{-}34}$. 317

Anhang A: Kenntnisstand auf Basis vorhandener Literatur

Tabelle A.1: Übersicht über Größe, Leuchtdichte und Leistung der recherchierten Monitormodelle in Auszügen.

Name	Durchmesser [Zoll]	Leuchtdichte [cd/m^2]	Leistung [W]	Jahr Markteintritt
Asus VS198D	19	250	25	2011
ASUS VW199DR	19	250	27	2011
Acer V193DObmd	19	250	18,5	2010
Acer V193WLAObmd	19	300	13,5	2010
BenQ BL902M	19	250	20	2010
Fujitsu P19-2	19	280	38	2005
Lenovo ThinkVision LT2013P	19,5	250	36	2013
BenQ G2025HDA	20	200	28	2012
Acer G206HLBb	20	200	19,2	2013
HP Pavilion 2011	20	250	27	2011
Samsung SyncMaster 2032MW	20	300	6	2007
NEC LCD-2090 UXi	20	280	50	2007
BenQ GL2250	21,5	250	17	2011
LG E2242T-BN	21,5	250	23	2012
Asus VS228H	21,5	250	25	2011
Asus VW228TLB	21,5	250	20	2011
Samsung Monitor S22A200B	21,5	250	22	2011
LG 22EA63V	21,5	250	26	2013
Samsung Monitor S22B350H	22	250	30	2012
BenQ GW2250M	22	250	25	2012
Samsung Monitor T22B350EW/EN	22	250	35	2012
LG W2242PK-SS	22	250	24	2010
View Sonic VA2248-LED	22	250	23	2011
Asus VW222U	22	300	55	2007
ViewSonic VX2253mh-LED	22	250	32	2001
Eizo FS2333-BK	23	250	22	2012
Acer H236HLbmjd	23	200	26	2013
LG IPS235P-BN	23	250	35	2011
LG IPS237L Cinema Screen Hairline Design	23	250	29	2012
Samsung Monitor S23B550V	23	250	40	2012
Eizo FS2333	23	244	31	2012
AOC I2369VM	23	250	25	2013
Samsung Monitor S24B150BL/EN	24	200	30	2012
Dell UltraSharp U2412M	24	300	38	2011
Acer G246HLBbid	24	250	20	2012
Samsung S24C450BW	24	250	30	2012
Asus PB248Q	24	300	65	2013
LG D2542P	25	125	39	2011
Jujitsu Display P27T-6 IPS	27	350	75	2010
Fujitsu Display SL27T-1 LED	27	250	40	2010
BenQ GW2760HS	27	300	27	2013
Samsung SM S27C650D	27	300	69	2013
AOC I2757FH	27	250	40	2012
Philips 274E5QHSB	27	250	24,1	2013
HP Envy 27	27	250	35	2013

Anhang B: Studie 1 - Durchführung

Simulationen mit Daysim

Zur Quantifizierung der durch Tageslicht erreichten Beleuchtungsstärken und Leuchtdichten im Innenraum wurde die Simulationssoftware Daysim verwendet. Daysim ist ein Radiance-basiertes Programm zur Simulation von Tageslicht. Verwendet werden durchschnittliche Wetterdaten aus einem bis zu 18-jährigen Zeitraum [40], [132]. Für den Standort Stuttgart wurde über ein Jahr halbstündlich die Beleuchtungsstärken im Innenraum des hinterlegten Beispielbüros (Reflexionsgraden Boden: 20 %, Wand: 60 % und Decke: 80 %) simuliert. Das Modell ist in Bild B.1 zu sehen.

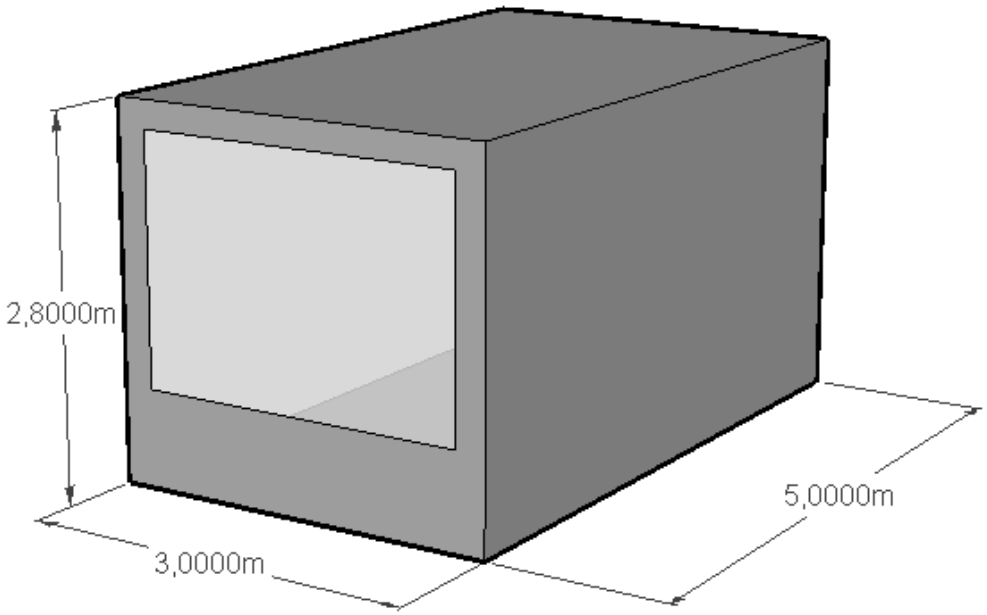


Bild B.1: Darstellung des in Daysim [40] als Beispiel hinterlegten Raummodells, welches zur Simulation verwendet wurde.

Im Raum wurden zwei Messflächen angelegt, welche jeweils relevante Flächen im Blickfeld des Bildschirmarbeitsplatzes repräsentieren: eine bildete den Arbeitsbereich nach BGI 856 ab [20], die andere lag auf der Wand. Die Leuchtdichte auf dem Arbeitsbereich wurde über den Mittelwert von 30 einzelnen Messpunkten, die Leuchtdichte auf der Wand über den Mittelwert von 24 einzelnen Messpunkten erfasst. Die Position der Messflächen ist in Bild B.2 dargestellt.

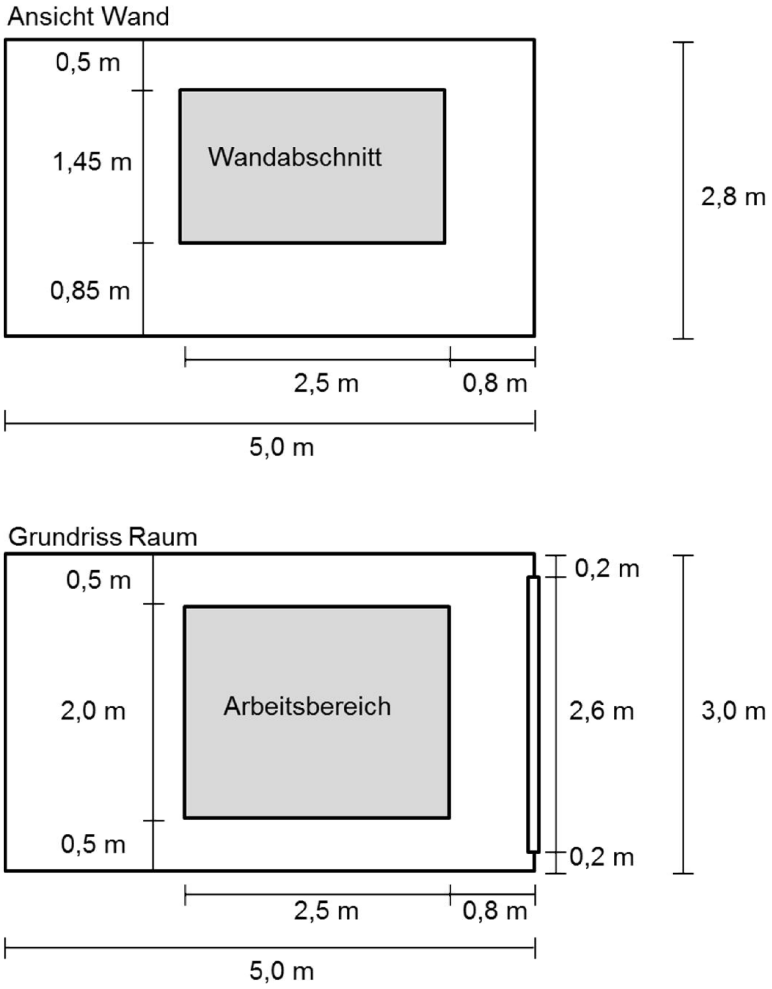


Bild B.2: Wandansicht und Grundriss des simulierten Raumes mit Lage der Messfläche Wandabschnitt und Arbeitsbereich (Höhe: 0,85 m).

Die simulierten Kombinationen aus L_A und L_W für die Südausrichtung sind in Tabelle B.1 zu sehen.

Tabelle B.1: Übersicht über die Auftretens-Wahrscheinlichkeit der Lichtbedingungen (Kombinationen von L_W und L_A), beispielhaft für die Südausrichtung.

Anteiliges Auftreten [%] der jeweiligen Bereiche von L_W [cd/m²]	**Anteiliges Auftreten [%] der jeweiligen Bereiche von L_A [cd/m²]**																		
	$0 < L_A \leq 25$	**$25 < L_A \leq 50$**	**$50 < L_A \leq 75$**	**$75 < L_A \leq 100$**	**$100 < L_A \leq 125$**	**$125 < L_A \leq 150$**	**$150 < L_A \leq 175$**	**$175 < L_A \leq 200$**	**$200 < L_A \leq 225$**	**$225 < L_A \leq 250$**	**$250 < L_A \leq 275$**	**$275 < L_A \leq 300$**	**$300 < L_A \leq 325$**	**$325 < L_A \leq 350$**	**$350 < L_A \leq 375$**	**$375 < L_A \leq 400$**	**$400 < L_A \leq 425$**	**$425 < L_A \leq 450$**	**$450 < L_A \leq 475$**	**$475 < L_A \leq 500$**
$0 < L_W \leq 25$	15	4,1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$25 < L_W \leq 50$	0	2,6	5,3	0,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$50 < L_W \leq 75$	0	0	0,6	3,4	3,1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$75 < L_W \leq 100$	0	0	0	0,3	2	3,0	1,1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$100 < L_W \leq 125$	0	0	0,1	0	0,2	1,2	1,8	1,6	0,2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$125 < L_W \leq 150$	0	0	0	0, 1	0	0,3	0,6	1,2	1,7	1,3	0,5	0	0	0	0	0	0	0	0
$150 < L_W \leq 175$	0	0	0	0	0	0	0,2	0,1	0,7	1,1	1,4	0,4	0,6	0	0	0	0	0	0
$175 < L_W \leq 200$	0	0	0	0	0	0	0	0,3	0,4	0, 7	0,8	1,1	1,9	0,4	0,2	0,1	0	0	0
$200 < L_W \leq 225$	0	0	0	0	0	0,1	0	0	0,5	0,7	0,7	0,5	0,4	0,6	0,6	0,3	0,3	0,1	0	0,1
$225 < L_W \leq 250$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,1	0	0,2	0,3	0,4	0,2	0,3	0,2	0,3	0,1
$250 < L_W \leq 275$	0	0	0	0	0	0	0,1	0,1	0	0	0	0,1	0,1	0,1	0,1	0,4	0,2	0,3	0,4	0,4
$275 < L_W \leq 300$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,1	0,2	0,3	0	0,4	0,4	0,1	0,1
$300 < L_W \leq 325$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,1	0,3	0,4	0,1	0,1	0,2	0,3	0,2
$325 < L_W \leq 350$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,2	0,3	0,1	0,2	0,1	0,2	0,1
$350 < L_W \leq 375$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,1	0,1	0	0,1	0,1	0,1	0,2	0,1	0,1
$375 < L_W \leq 400$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,1	0	0,1	0	0,2
$400 < L_W \leq 425$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,1	0,1	0	0,1	0,1	0,1
$425 < L_W \leq 450$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,1	0	0	0	0	0	0	0,1	0
$450 < L_W \leq 475$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,1	0
$475 < L_W \leq 500$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,1	0	0	0	0,1

Tabelle B.2: Übersicht über Zielwerte und erreichte bestmögliche Passung für die Lichtbedingungen.

LB	Zielwert [cd/m²]		Realisierung [cd/m²] und Abweichung AP 1				Realisierung [cd/m²] und Abweichung AP 2				Abweichung AP 2 von AP 1	
	L_A	L_W	L_A		L_W		L_A		L_W		L_A	L_W
1	76	60	81	7%	69	15%	75	-1%	62	3%	-7%	-10%
2	127		127	0%	44		127	0%	58		0%	32%
3	127	90	129	2%	103	14%	122	-4%	100	11%	-5%	-3%
4	255	130	267	5%	142	9%	247	-3%	170	31%	-7%	20%
5	255	225	232	-9%	208	-8%	244	-4%	226	0%	5%	9%
6	255		252	-1%	72		257	1%	114		2%	58%

Verwendete Leuchtdichtekamera

Tabelle B.3: Kennwerte der verwendeten Leuchtdichtekamera: Smart 144F Digital Photometric Image Analysis System

Kenngröße	**Ausprägung**
Messmöglichkeiten	Leuchtdichte, Beleuchtungsstärke, Lichtstärke,
Einheiten	Cd/m², lux, cd
A/D-Wandler	12-bit
Sony Sensor Größe und Typ	1/2” ICX 267 Super HAD
Pixelgröße [µm]	4.65 x 4.65
Bildauflösung	1392 x 1032
Dynamikbereich	>100000:1
Helligkeitsbereich [cd/m²]	.015 to 50000
Optionale Neutraldichtefilter	10X, 100X, 1000X
Wiederholgenauigkeit	0.5 %
Genauigkeit	3 %
Belichtungszeit	<10 ms to 10 s
Abmessungen (ohne Linse)	29 x 29 x 30 mm
Gewicht	58g
Energiebedarf	2W
Computer Interface	IEEE-1394B

Tabelle B.4: Darstellung der an AP 1 erreichten Leuchtdichten. Die Lichtbedingungen wurden ohne Monitor vermessen.

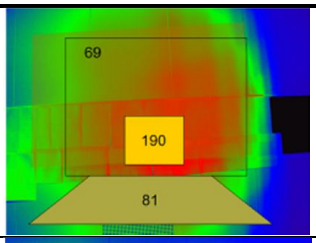
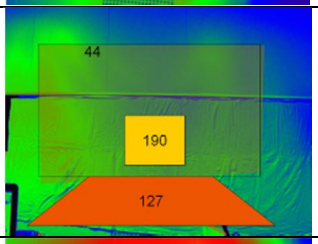
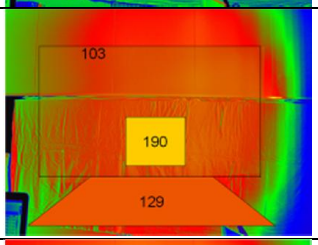
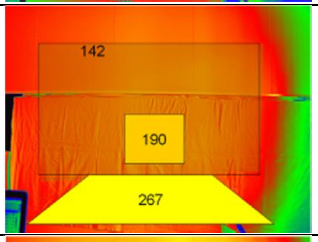
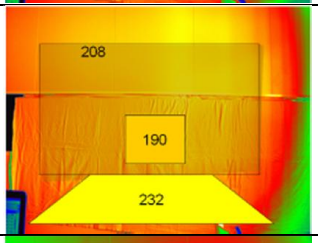
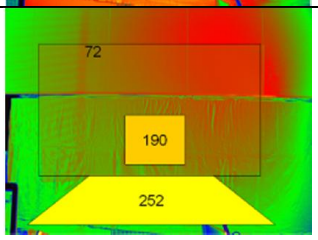
Skalierung [cd/m²]	LB	ME	Leuchtdichte-Kamera	Digital-Kamera
500 456,2 416,2 379,8 346,5 316,1 288,4 263,2 240,1 219,1 199,9 182,4 166,4 151,8 138,5 126,4 115,3 105,2 95,99 87,58 79,91 72,91 66,52 60,69 55,37 50,52 46,1 42,06 38,37 35,01 31,94 29,14 26,59 24,26 22,14 20,2 18,43 16,81 15,34 14 12,77 11,65 10,63	1	Hell		
	2	Hell		
	3	Hell		
	4	Hell		
	5	Hell		
	6	Hell		

Tabelle B.5: Darstellung der an AP 2 erreichten Leuchtdichten. Die Lichtbedingungen wurden ohne Monitor vermessen.

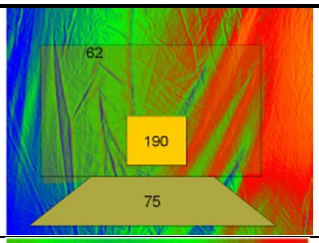
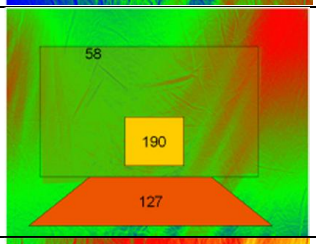
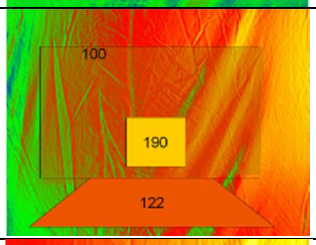
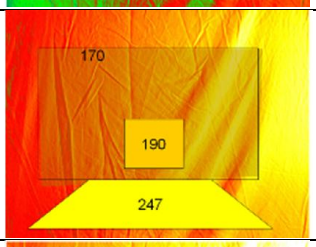
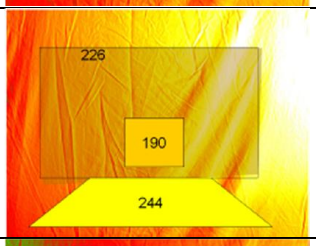
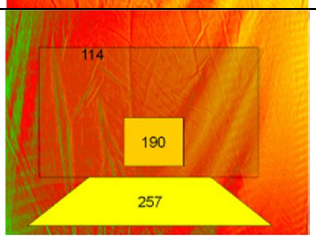
Skalierung [cd/m²]	LB	ME	Leuchtdichte-Kamera	Digital-Kamera
500 456,2 416,2 379,8 346,5 316,1 288,4 263,2 240,1 219,1 199,9 182,4 166,4 151,8 138,5 126,4 115,3 105,2 95,99 87,58 79,91 72,91 66,52 60,69 55,37 50,52 46,1 42,06 38,37 35,01 31,94 29,14 26,59 24,26 22,14 20,2 18,43 16,81 15,34 14 12,77 11,65 10,63	1	Hell		
	2	Hell		
	3	Hell		
	4	Hell		
	5	Hell		
	6	Hell		

Tabelle B.6: Übersicht über die in Studie 1 verwendete Randomisierung.

	Testpersonen und Bedingungen															
	1 und 2		3 und 4		5 und 6		7 und 8		9 und 10		11 und 12		13 und 14		15 und 16	
Zeitpunkt	LB	Mon	LB	Mon	LB	Mon	LB	Mon	LB	Mon	LB	Mon	LB	Mon	LB	Mon
1	1	Hell	2	Hell	4	Dunkel	6	Dunkel	5	Dunkel	3	Hell	1	Dunkel	6	Hell
2		Mittel		Mittel		Hell		Hell		Mittel		Dunkel		Hell		Dunkel
3		Dunkel		Dunkel		Mittel		Mittel		Hell		Mittel		Mittel		Mittel
4	2	Mittel	4	Hell	1	Dunkel	5	Hell	3	Hell	6	Dunkel	2	Mittel	5	Hell
5		Hell		Dunkel		Mittel		Dunkel		Mittel		Mittel		Dunkel		Dunkel
6		Dunkel		Mittel		Hell		Mittel		Dunkel		Hell		Hell		Mittel
7	3	Dunkel	6	Hell	5	Mittel	4	Dunkel	1	Hell	2	Mittel	3	Dunkel	4	Mittel
8		Hell		Mittel		Hell		Mittel		Dunkel		Dunkel		Mittel		Hell
9		Mittel		Dunkel		Dunkel		Hell		Mittel		Hell		Hell		Dunkel
10	4	Dunkel	1	Mittel	2	Hell	3	Mittel	6	Mittel	5	Dunkel	4	Hell	3	Mittel
11		Mittel		Dunkel		Dunkel		Hell		Hell		Hell		Dunkel		Dunkel
12		Hell		Hell		Mittel		Dunkel		Dunkel		Mittel		Mittel		Hell
13	5	Mittel	3	Dunkel	6	Dunkel	2	Dunkel	4	Mittel	1	Dunkel	5	Hell	2	Dunkel
14		Hell		Hell		Mittel		Mittel		Dunkel		Mittel		Mittel		Hell
15		Dunkel		Mittel		Hell		Hell		Hell		Hell		Dunkel		Mittel
16	6	Hell	5	Dunkel	3	Mittel	1	Mittel	2	Dunkel	4	Mittel	6	Mittel	1	Mittel
17		Dunkel		Mittel		Dunkel		Hell		Hell		Hell		Dunkel		Hell
18		Mittel		Hell		Hell		Dunkel		Mittel		Dunkel		Hell		Dunkel

Eingangsfragebogen

Allgemeine Angaben

Alter: ……. Jahre

Geschlecht: □ weiblich
□ männlich

Wie lange arbeitest du täglich (durchschnittlich) am Bildschirm?
□ 0 – 2 Stunden
□ 2 – 4 Stunden
□ 4 – 8 Stunden

Bist du mit den Verhältnissen an dem Bildschirm-Arbeitsplatz an dem du typischerweise arbeitest zufrieden?
□ Ja □ Nein

Wenn nein, was ist nicht in Ordnung?
□ Beleuchtung
□ Raumklima
□ Geräuschpegel
□ Arbeitsfläche
□ Stuhl
□ Monitor

Wie weit sitzt du normalerweise vom Bildschirm entfernt? (Abstand der Augen zum Bildschirm): …….. cm

Brauchst du eine Sehhilfe?
□ Ja □ Nein

Übersicht über das Testmaterial in Studie 1

Bild B.3: Beispiel der Buchstabenvergleichs-Aufgabe auf Papier.

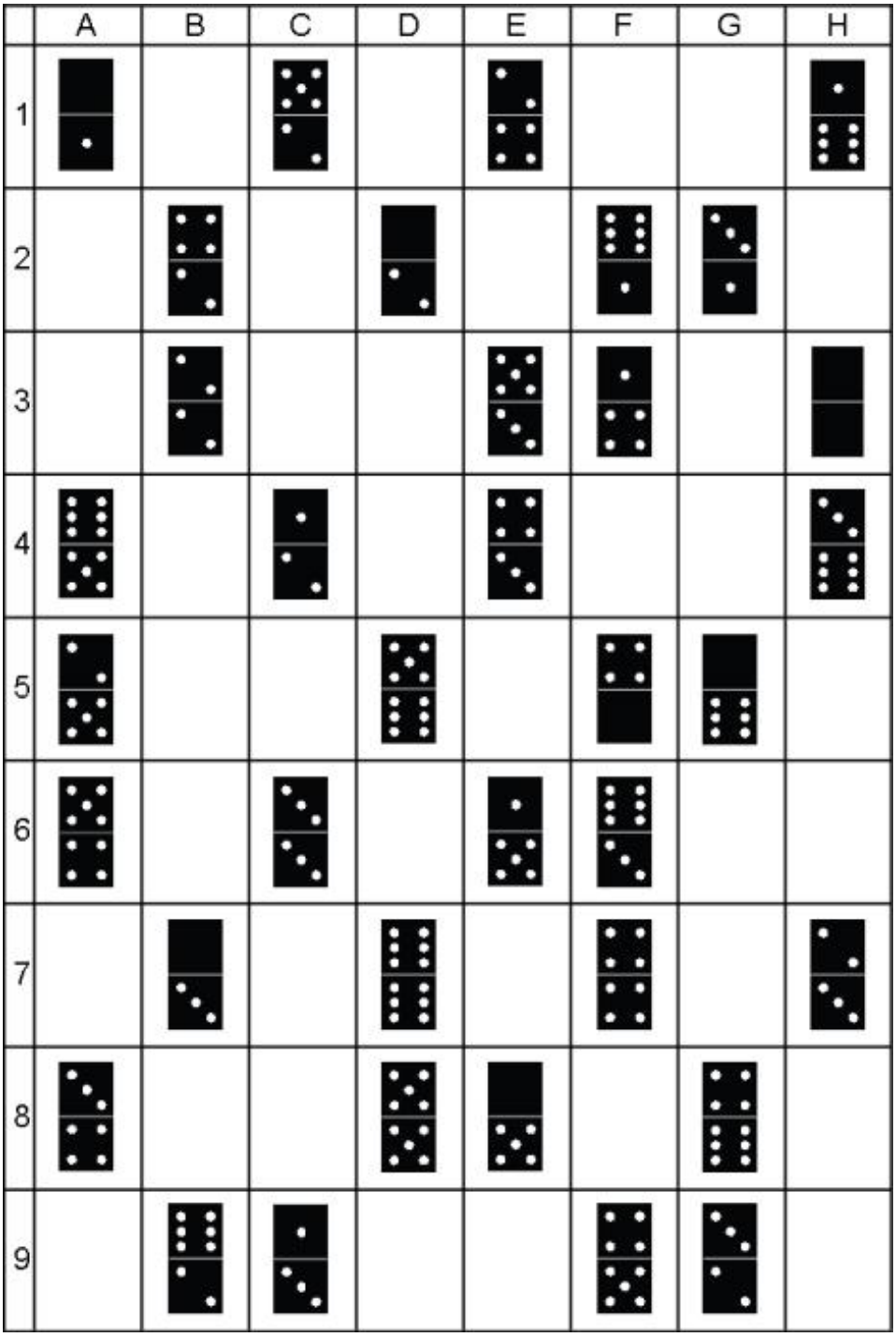


Bild B.4: Beispiel einer Matrix der Dominosteinsuch-Aufgabe.

9 + 3 - 8	7 - 4 + 6
6 - 4 + 5	8 + 3 + 5
7 - 2 + 4	3 + 8 + 5
5 + 7 + 4	9 + 3 - 5
9 - 5 + 2	6 - 3 + 5
7 + 5 - 3	9 - 2 + 5
8 + 3 - 5	7 - 2 + 3
8 - 6 + 9	7 + 5 - 3
7 + 8 - 3	5 - 2 + 6
8 + 5 - 7	4 + 9 - 5
7 + 4 - 6	8 + 5 + 4
5 - 2 + 8	7 + 6 - 4
8 + 9 - 6	4 + 8 - 3
5 + 2 + 4	9 - 3 + 2
4 + 9 + 3	7 + 5 - 3
9 - 6 + 8	7 + 8 - 6
9 + 4 - 8	7 + 5 - 3
7 - 2 + 8	5 + 9 - 8

Bild B.5: Beispiel des Konzentrations-Leistungs-Tests.

Anhang C: Studie 1 - Auswertung und Ergebnis

Darstellung einiger Beispiele der Analyse der Faktorenstruktur

Tabelle C.1: Beispielhafte Analyse der Faktorenstruktur zum subjektiven Empfinden bei der Bearbeitung der Buchstabenvergleich-Aufgabe.

Rotierte Komponentenmatrix[a]		
	Komponente	
	1	2
subj_L_geist_Anstr_BVA_1_C	,834	,077
subj_L_Erfolgr_BVA_1_C	-,306	,714
subj_L_Anstr_Abschlr_BVA_1_C	,902	-,213
subj_L_Motiv_BVA_1_C	-,106	,930
subj_L_Ermüd_BVA_1_C	,838	-,344
subj_L_Schwierig_BVA_1_C	,842	-,048
subj_L_Spaß_BVA_1_C	,271	,793
subj_L_Selbsteinsch_BVA_1_C	-,329	,852
Extraktionsmethode: Hauptkomponentenanalyse.		
a. Die Rotation ist in 3 Iterationen konvergiert.		

Tabelle C.2: Beispielhafte Analyse der Faktorenstruktur zum subjektiven Empfinden bei der Bearbeitung der Dominosteinsuch-Aufgabe.

Rotierte Komponentenmatrix[a]		
	Komponente	
	1	2
subj_L_geist_Anstr_DSA_1_A	,868	-,134
subj_L_Erfolgr_DSA_1_A	-,446	,691
subj_L_Anstr_Abschlr_DSA_1_A	,934	-,082
subj_L_Motiv_DSA_1_A	,027	,952
subj_L_Ermüd_DSA_1_A	,649	-,426
subj_L_Schwierigr DSA_1_A	,964	-,011
subj_L_Spaß_DSA_1_A	,022	,871
subj_L_Selbsteinsch_DSA_1_A	-,285	,696
Extraktionsmethode: Hauptkomponentenanalyse.		
a. Die Rotation ist in 3 Iterationen konvergiert.		

Tabelle C.3: Beispielhafte Analyse der Faktorenstruktur zum subjektiven Empfinden bei der Bearbeitung des Konzentrations-Leistungs-Test.

Rotierte Komponentenmatrix[a]		
	Komponente	
	1	2
subj_L_geist_Anstr_KLT_3_C	,961	-,110
subj_L_Erfolgr_KLT_3_C	-,084	,875
subj_L_Anstr_Abschlr_KLT_3_C	,962	-,194
subj_L_Motiv_KLT_3_C	-,220	,762
subj_L_Ermüd_KLT_3_C	,601	-,558
subj_L_Schwierig_KLT_3_C	,919	-,228
subj_L_Spaßr_KLT_3_C	-,312	,776
subj_L_Selbsteinsch_KLT_3_C	-,109	,874
Extraktionsmethode: Hauptkomponentenanalyse.		
a. Die Rotation ist in 3 Iterationen konvergiert.		

Tabelle C.4: Beispielhafte Analyse der Faktorenstruktur zur visuellen Leistungsatmosphäre.

Rotierte Komponentenmatrix[a]		
	Komponente	
	1	2
visuellen Leistungsatmosphäre_Motivation_Raum_1_A	,741	,351
visuellen Leistungsatmosphäre_Leistung_Raum_1_A	,891	-,097
visuellen Leistungsatmosphäre_Ermüdung_Raum_1_A	-,305	,733
visuellen Leistungsatmosphäre_Weiterarbeiten_Raum_1_A	,734	-,396
visuellen Leistungsatmosphäre_Blendung_Raum_1_A	,218	,861
Extraktionsmethode: Hauptkomponentenanalyse.		
a. Die Rotation ist in 3 Iterationen konvergiert.		

Moderatoranalyse zum Einfluss des Alters

Die Gesamtgruppe der Testpersonen wurde nach einem Mediansplit in zwei Altersgruppen aufgeteilt. Die Details der entstehenden Gruppen sind in Tabelle C.5 dargestellt.

Tabelle C.5: Aufteilung der Gesamtzahl der Testpersonen auf zwei Altersgruppen.

Gruppe	Anzahl	Geschlecht		Alter			
		m	w	MW	SD	Median	Spannweite
Alle	16	9	7	22,44	2,90	22	17 - 28
Jung	6	3	3	19,50	1,38	20	17 - 21
Alt	10	6	4	24,20	1,93	24	22 - 28

Der Einfluss des Alters ist in Tabelle C.6 dargestellt. Es wird die Moderatoranalyse nur für die Maße dargestellt bei denen das Alter auch Einfluss nahm.

Tabelle C.6: Moderatoranalyse der sensiblen Maße.

Maß	Tests der Innersubjekteffekte					
	Faktor	df		F	p	η_p^2
BVA Zeit	Leuchtdichteumgebung * Alter	Angenommene Sphärizität	17	1,82	0,03	0,12
		Greenhouse-Geisser	5,05	1,82	0,12	0,12
BVA Erfolg	Leuchtdichteumgebung * Alter	Angenommene Sphärizität	17	1,51	0,09	0,1
		Greenhouse-Geisser	5,24	1,51	0,19	0,1
DSA Erfolg	Leuchtdichteumgebung * Alter	Angenommene Sphärizität	17	1,43	0,13	0,09
		Greenhouse-Geisser	4,7	1,43	0,23	0,09
KLT Zeit	Leuchtdichteumgebung * Alter	Angenommene Sphärizität	17	1,45	0,12	0,09
		Greenhouse-Geisser	3,41	1,45	0,24	0,09

Auswertung der übrigen Maße

Buchstabenvergleichs-Aufgabe: Erfolg

Die Lichtbedingung und Monitoreinstellung zeigen keinen signifikanten oder tendenziellen Einfluss. Die Regression weist nach, dass L_A unter der Verwendung aller LBs ($F(1,16) = 5{,}89$, $R^2 = 0{,}27$, $p = 0{,}03$) und unter Ausschluss von LB 2 und LB 6 ($F(1,10) = 4{,}89$, $R^2 = 0{,}33$, $p = 0{,}05$) den empfundenen Erfolg des Testpersonen signifikant beeinflusst. Mit zunehmender L_A empfinden die Testpersonen sich als erfolgreicher, wie in Bild C.1 zu sehen. Bei Berücksichtigung aller LBs zeigt sich auch ein tendenzieller Einfluss von L_W ($F(2,15) = 3{,}36$, $R^2 = 0{,}31$, $p = 0{,}06$). Mit zunehmender L_W erhöht sich der empfundene Erfolg, steigt L_W jedoch über etwa 150 cd/m^2, so vermindert ein weiteres Ansteigen den empfundenen Erfolg (Bild C.2).

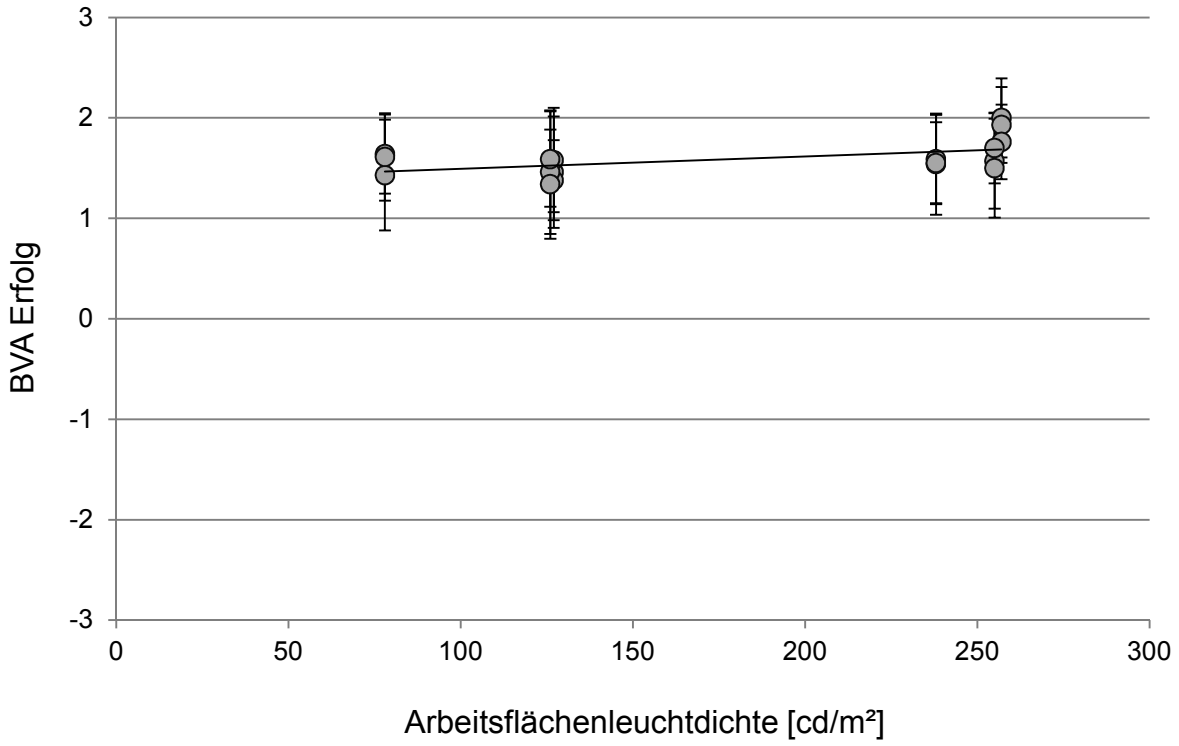


Bild C.1: Erfolg bei der Buchstabenvergleichs-Aufgabe in Abhängigkeit der Arbeitsflächenleuchtdichte für alle Lichtbedingungen. Der Fehlerbalken zeigt das 95 % Konfidenzintervall des Mittelwerts.

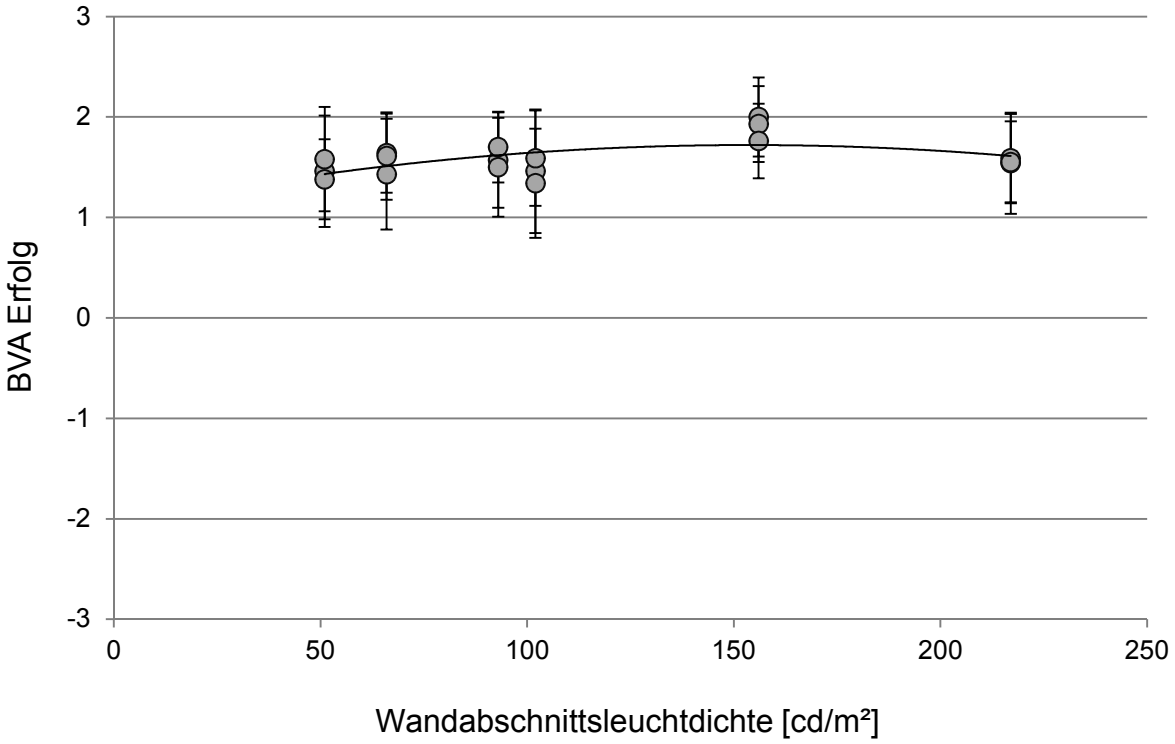


Bild C.2: Erfolg bei der Buchstabenvergleichs-Aufgabe in Abhängigkeit der Wandabschnittsleuchtdichte für alle Lichtbedingungen. Der Fehlerbalken zeigt das 95 % Konfidenzintervall des Mittelwerts.

Des Weiteren bedingt W/A bei Verwendung aller Daten signifikant ($F(2,15) = 4,76$, $R^2 = 0,39$, $p = 0,03$) und bei Ausschluss von LB 2 und LB 6 tendenziell ($F(2,9) = 8,61$, $R^2 = 0,46$, $p = 0,06$) den empfundenen Erfolg. Wie in Bild C.3 zu sehen, führt es zu einem gesteigerten empfundenen Erfolg, wenn W/A im Bereich von etwa 1/2 liegt.

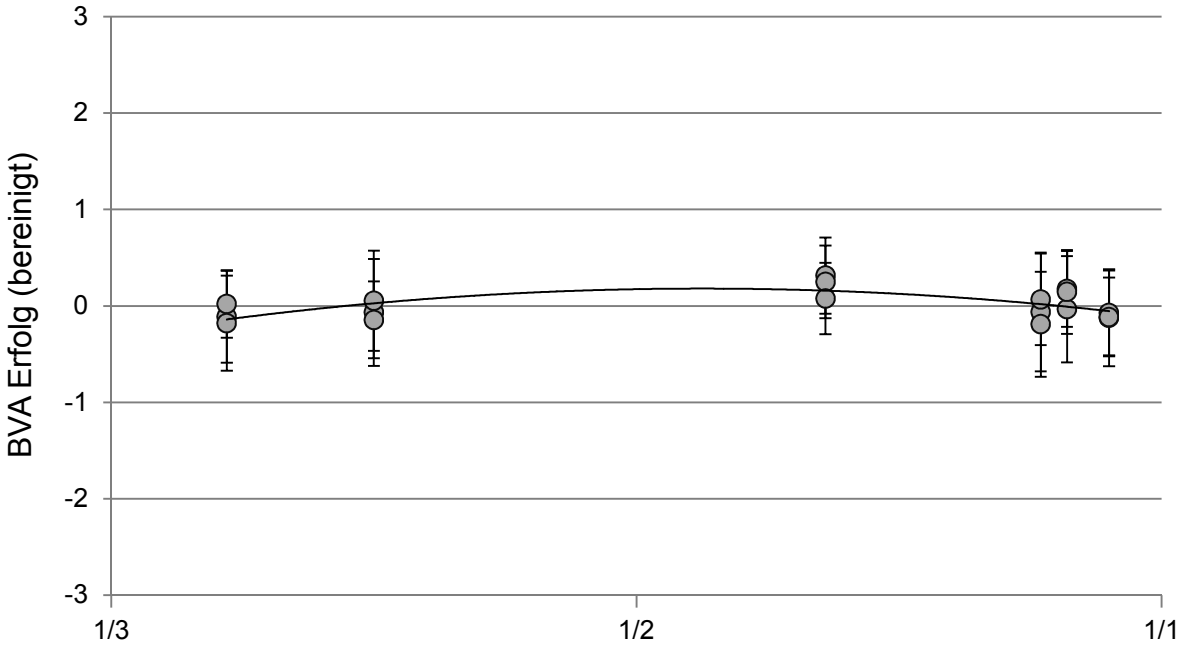


Bild C.3: Bereinigter Erfolg bei der Buchstabenvergleichs-Aufgabe in Abhängigkeit des Leuchtdichteverhältnisses zwischen Wandabschnitt und Arbeitsfläche für alle Lichtbedingungen. Der Fehlerbalken zeigt das 95 % Konfidenzintervall des Mittelwerts.

Dominosteinsuch-Aufgabe: Erfolg

Die Lichtbedingung und Monitoreinstellung zeigen keinen signifikanten oder tendenziellen Einfluss. Der empfundene Erfolg wird von W/A beeinflusst. Der Zusammenhang ist für alle LBs signifikant ($F(2,15) = 4{,}00$, $R^2 = 0{,}35$, $p = 0{,}04$) (wie in Bild C.4 dargestellt) und unter Ausschluss von LB 2 und LB 6 ($F(2,9) = 3{,}02$, $R^2 = 0{,}40$, $p = 0{,}10$) tendenziell. Er fällt am größten aus, wenn W/A in etwa bei 1/2 liegt.

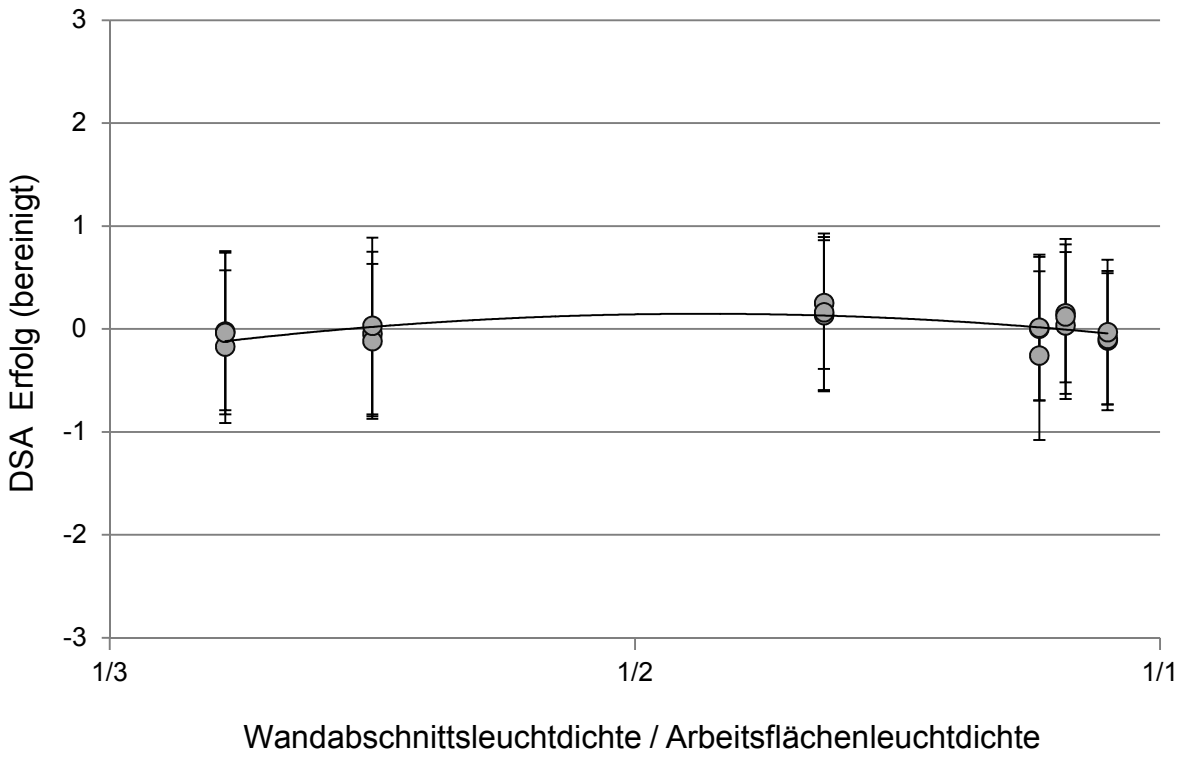


Bild C.4: Bereinigter Erfolg bei der Dominosteinsuch-Aufgabe in Abhängigkeit des Leuchtdichteverhältnisses zwischen Wandabschnitt und Arbeitsfläche für alle Lichtbedingungen. Der Fehlerbalken zeigt das 95 % Konfidenzintervall des Mittelwerts.

Konzentrations-Leistungs-Test: Erfolg

Es lässt sich eine tendenzielle Interaktion zwischen Lichtbedingung und Monitoreinstellung ($F(10,150) = 1,55$, $p = 0,13$, $\eta_p^2 = 0,09$) nachweisen. ME Dunkel (MW = 0,52, SD = 1,13) führt bei LB 5 zu einem geringeren Erfolgsempfinden als ME Hell (MW = 0,99, SD = 1,11) und Mittel (MW = 0,89, SD = 1,01), wie in Bild C.5 zu sehen. Der Unterschied zwischen Hell und Dunkel ist signifikant ($t(15) = 2,1$, $p = 0,05$), der zwischen Mittel und Dunkel ($t(15) = 1,9$, $p = 0,08$) tendenziell. Da LB 5 über die höchste L_W verfügt, könnte die Interaktion auf den großen Unterschied zwischen L_W und L_M zurückzuführen sein.

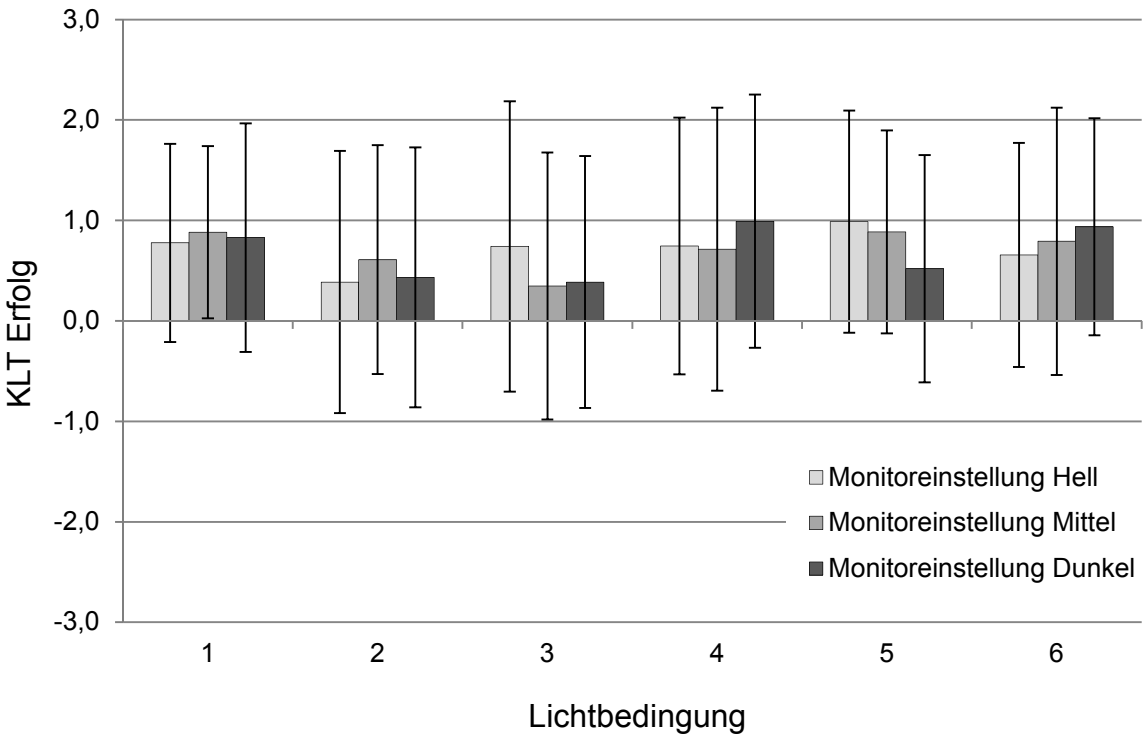


Bild C.5: Erfolg beim Konzentrations-Leistungs-Test in Abhängigkeit der Leuchtdichteumgebung. Der Fehlerballen stellt die Standardabweichung dar.

Die Parameter der Leuchtdichteumgebung zeigen keinen signifikanten oder tendenziellen Einfluss.

Schläfrigkeit

Die Lichtbedingung und Monitoreinstellung zeigen keinen signifikanten oder tendenziellen Einfluss. Unter Berücksichtigung aller LBs ist die Schläfrigkeit während der Bearbeitung signifikant abhängig von L_A ($F(1,16) = 4{,}60$, $R^2 = 0{,}22$, $p = 0{,}05$), der Zusammenhang ist in Bild C.6 zu sehen. Bei Ausschluss von LB 2 und LB 6 bestimmen L_A ($F(1,10) = 10{,}31$, $R^2 = 0{,}51$, $p = 0{,}01$) und L_W ($F(2,9) = 10{,}01$, $R^2 = 0{,}45$, $p = 0{,}02$) signifikant die Schläfrigkeit (Bild C.7).

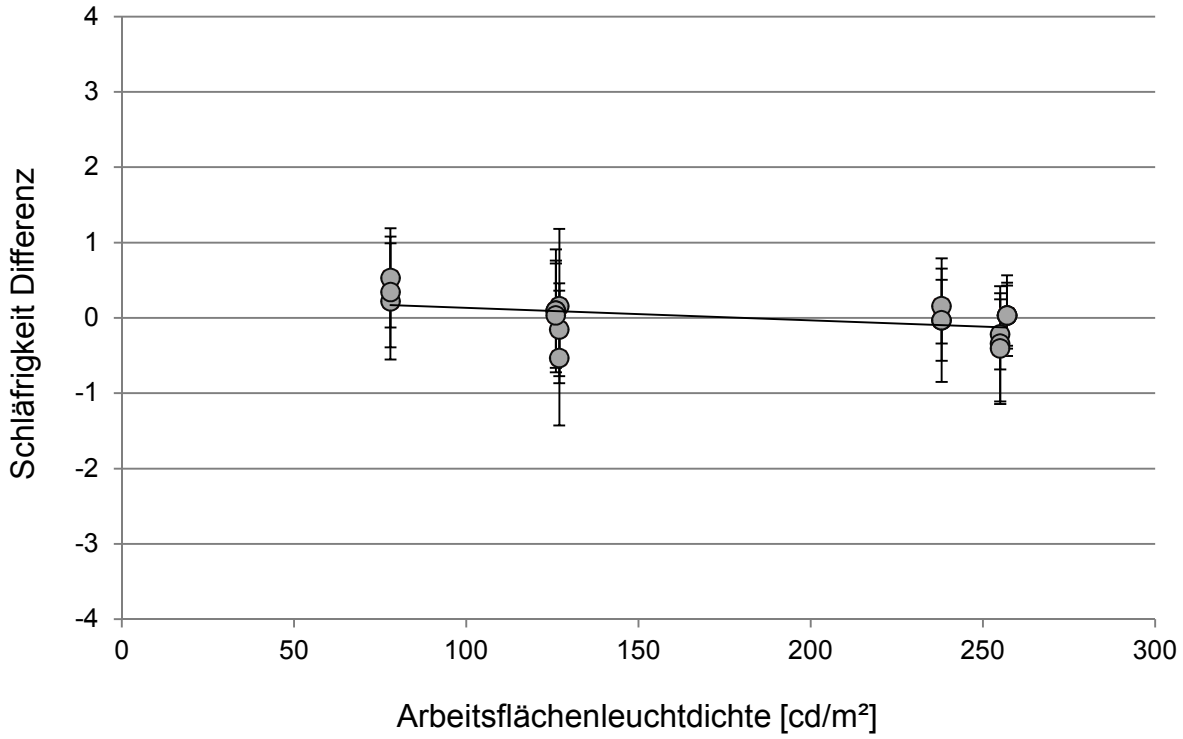


Bild C.6: Entwicklung der Schläfrigkeit in Abhängigkeit der Arbeitsflächenleuchtdichte für alle Lichtbedingungen. Der Fehlerbalken zeigt das 95 % Konfidenzintervall des Mittelwerts.

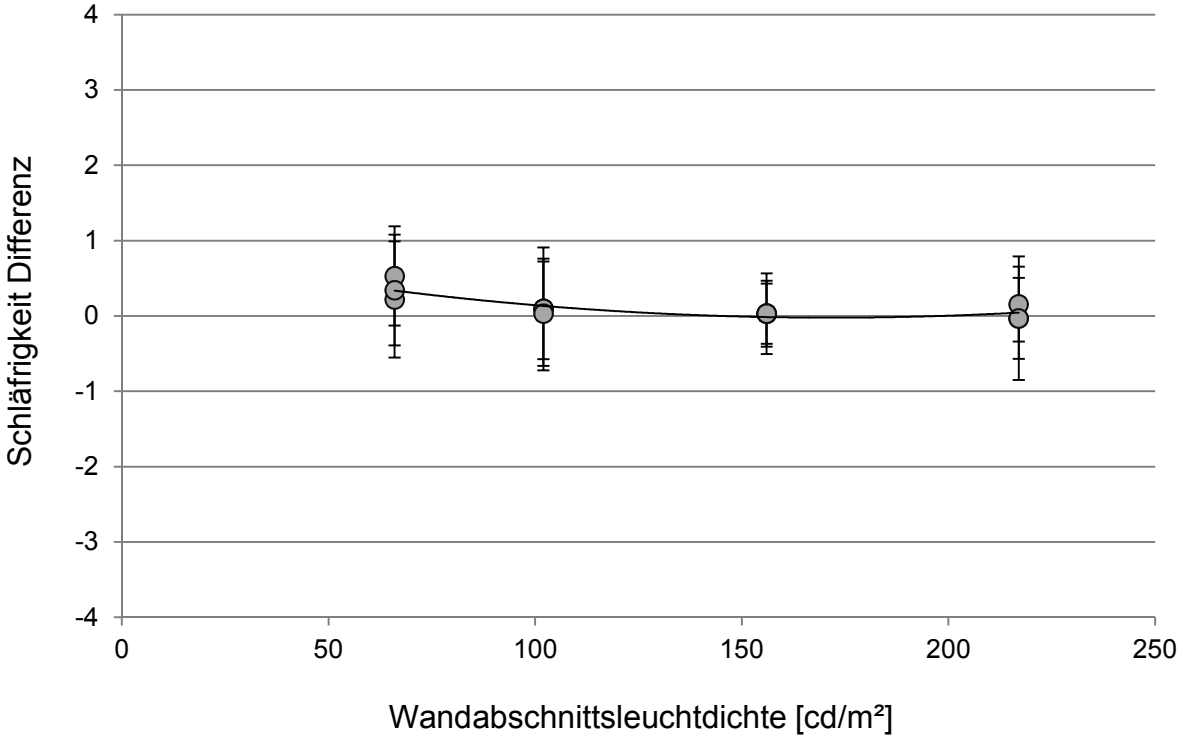


Bild C.7: Entwicklung der Schläfrigkeit in Abhängigkeit der Wandabschnittsleuchtdichte bei Ausschluss der Lichtbedingungen 2 und 6. Der Fehlerbalken zeigt das 95 % Konfidenzintervall des Mittelwerts.

Mit steigendem L_A und L_W werden die Testpersonen über die Testdauer wacher, bei zu hoher L_W scheint sich dieser Trend jedoch umzukehren.

Helligkeitseinschätzung

Bei der Einschätzung der Wandhelligkeit zeigt die Varianzanalyse keine signifikanten Ergebnisse. Die geschätzte Wandhelligkeit ist bei Berücksichtigung aller LBs ($F(1,16) = 13{,}04$, $R^2 = 0{,}45$, $p < 0{,}01$) und unter Ausschluss von LB 2 und LB 6 ($F(1,10) = 11{,}64$, $R^2 = 0{,}54$, $p = 0{,}01$) jedoch signifikant von L_W abhängig. Nimmt L_W zu, so steigt auch die empfundene Helligkeit der Wand (Bild C.8).

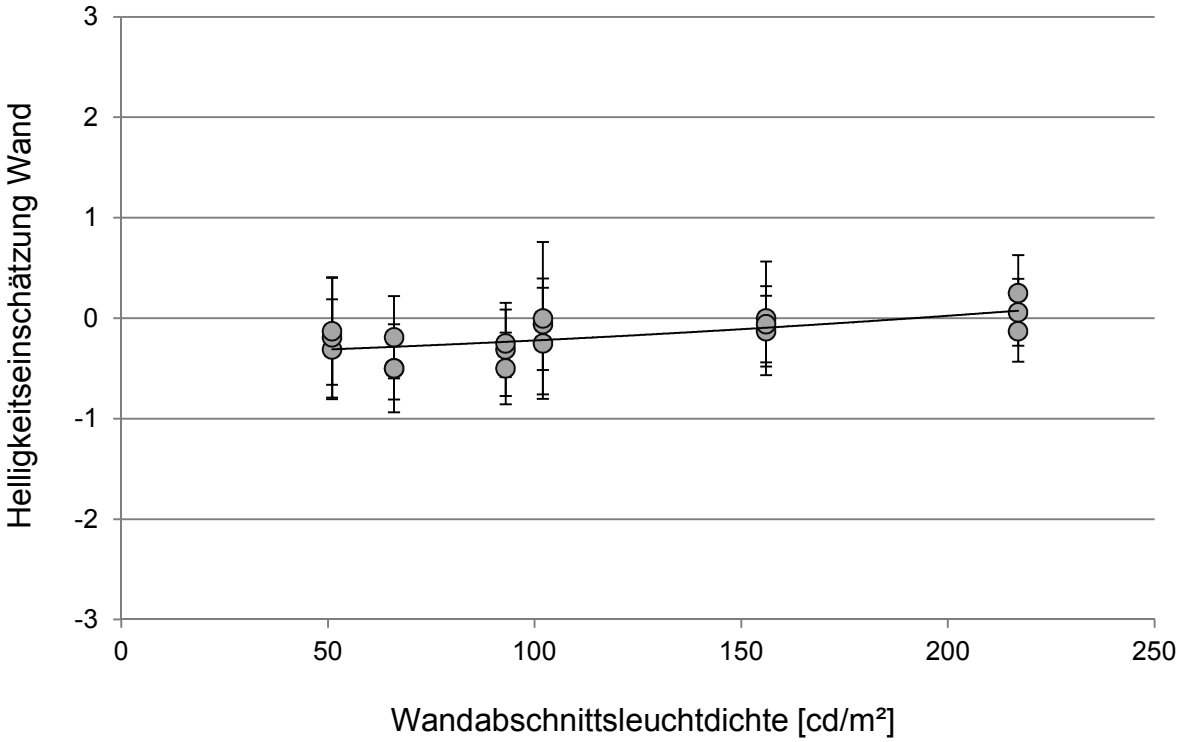


Bild C.8: Helligkeitseinschätzung der Wand in Abhängigkeit der Wandabschnittsleuchtdichte für alle Lichtbedingungen. Der Fehlerbalken zeigt das 95 % Konfidenzintervall des Mittelwerts.

Die Einschätzung der Arbeitsflächenhelligkeit ergibt einen signifikanten Einfluss der Lichtbedingungen ($F(5,75) = 5{,}41$, $p < 0{,}01$, $\eta_p^2 = 0{,}27$). Analog zur realen Einstellung wird mit zunehmender Beleuchtungsstärke auf dem Arbeitsfläche auch deren Helligkeit höher eingeschätzt, zu sehen ist dies in Bild C.9. LB 2 (MW = 0,44, SD = 1,10) hat eine besonders hohe wahrgenommene Arbeitsflächenhelligkeit, sie liegt sogar tendenziell höher als die wahrgenommene Helligkeit bei LB 4

(MW = 0,13, SD = 0,58) (t(15) = 1,68, p = 0,11). Grund hierfür könnte der extrem dunkle Wandabschnitt bei LB 2 sein, eventuell wird dadurch die Arbeitsfläche als besonders hell wahrgenommen.

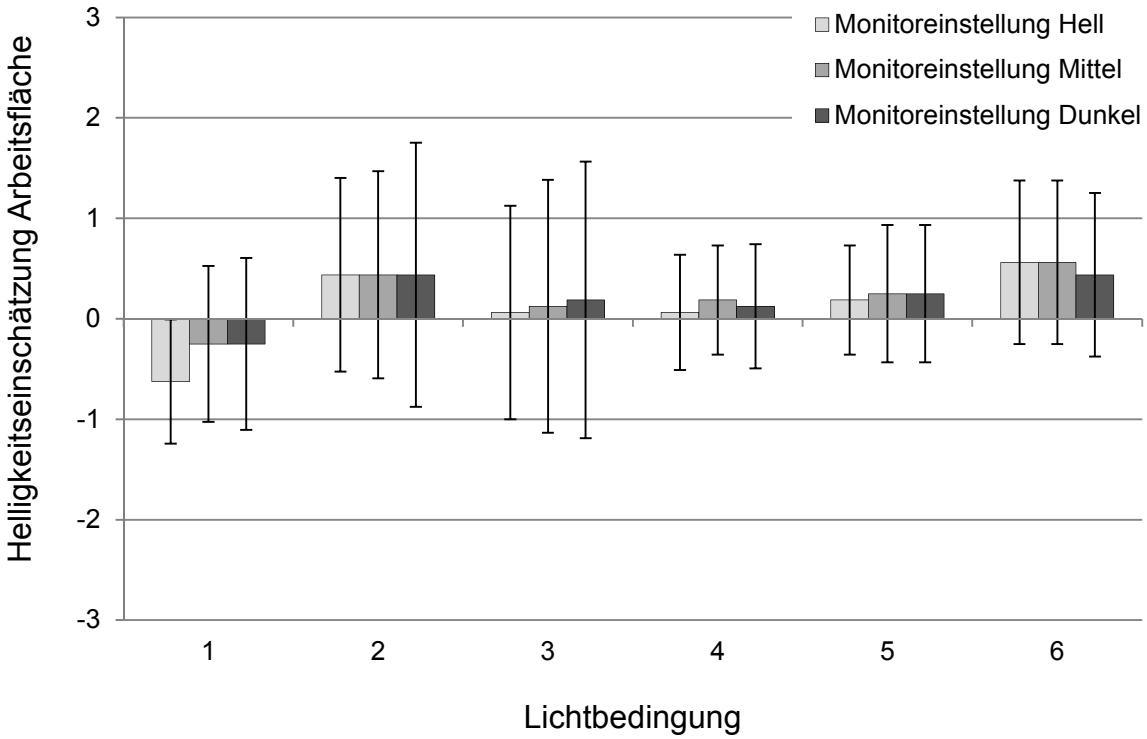


Bild C.9: Helligkeitseinschätzung der Arbeitsfläche in Abhängigkeit der Leuchtdichteumgebung. Der Fehlerballen stellt die Standardabweichung dar.

Die empfundene Helligkeit der Arbeitsfläche hängt ebenfalls signifikant von L_A ab. Dies gilt für die Verwendung aller Daten ($F(1,16) = 6,64$, $R^2 = 0,29$, $p = 0,02$) und für den Ausschluss von LB 2 und LB 6 ($F(1,10) = 10,76$, $R^2 = 0,52$, $p = 0,01$). Steigt L_A, so steigt auch die empfundene Helligkeit (Bild C.10).

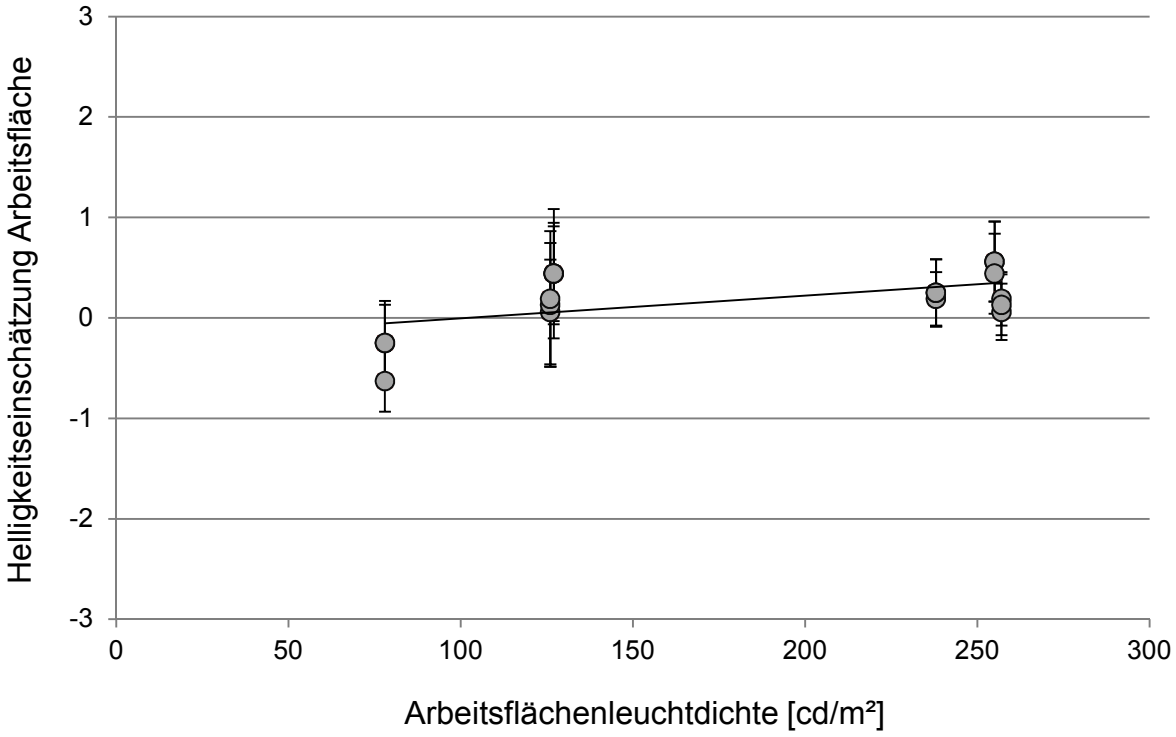


Bild C.10: Helligkeitseinschätzung der Arbeitsfläche in Abhängigkeit der Arbeitsflächenleuchtdichte für alle Lichtbedingungen. Der Fehlerbalken zeigt das 95 % Konfidenzintervall des Mittelwerts.

M/A nimmt ebenfalls Einfluss auf die empfundene Helligkeit der Arbeitsfläche wie in Bild C.11 zu sehen. Sind L_A und L_M ähnlich hell, so wird die Arbeitsfläche als heller wahrgenommen. Dies lässt sich signifikant für alle LBs ($F(2,15) = 3,92$, $R^2 = 0,34$, $p = 0,04$) und tendenziell unter Ausschluss von LB 2 und LB 6 ($F(2,9) = 3,16$, $R^2 = 0,32$, $p = 0,12$) nachweisen.

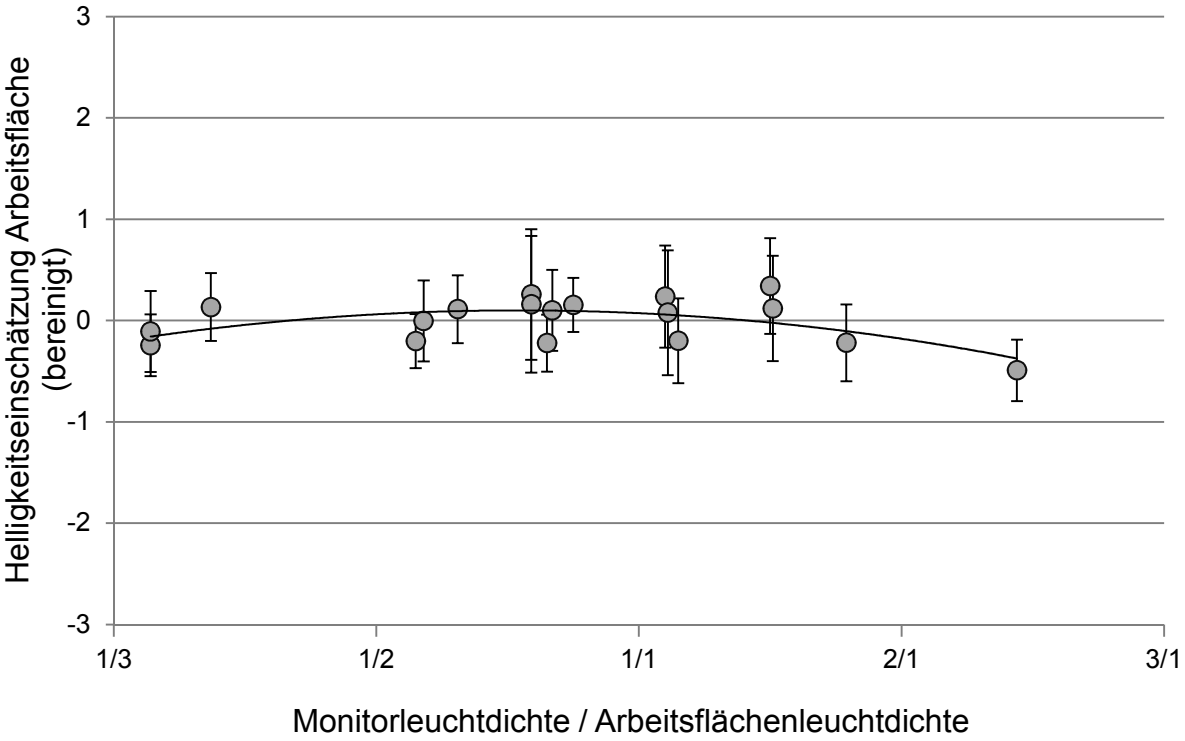


Bild C.11: Bereinigte Helligkeitseinschätzung der Arbeitsfläche in Abhängigkeit des Leuchtdichteverhältnisses zwischen Monitor und Wandabschnitt für alle Lichtbedingungen. Der Fehlerbalken zeigt das 95 % Konfidenzintervall des Mittelwerts.

Die geschätzte Helligkeit des Monitors hängt signifikant von der tatsächlichen Monitoreinstellung ($F(2,30) = 48,76$, $p < 0,01$, $\eta_p^2 = 0,77$) und tendenziell von der Lichtbedingung ($F(5,75) = 2,19$, $p = 0,07$, $\eta_p^2 = 0,13$) ab. Außerdem zeigt sich eine tendenzielle Interaktion zwischen Monitoreinstellung und Lichtbedingung ($F(10,150) = 1,62$, $p = 0,11$, $\eta_p^2 = 0,01$). Die Einschätzungen für die Leuchtdichteumgebungen sind in Bild C.12 zu sehen. ME Hell (MW = 0,87, SD = 1,16) wird als am hellsten eingeschätzt, Mittel (MW = -0,02, SD = 0,90) als am zweithellsten und Dunkel (MW = -1,10, SD = 0,94) als am dunkelsten. Die Unterschiede Hell und Mittel ($t(15) = 5,71$, $p < 0,01$), Hell und Dunkel ($t(15) = 7,98$, $p < 0,01$) sowie Mittel und Dunkel ($t(15) = 5,82$, $p < 0,01$) sind signifikant. Des Weiteren wird der Monitor als besonders hell wahrgenommen bei LB 2 (MW = 0,19, SD = 1,06), als besonders dunkel bei LB 4 (MW = -0,25, SD = 0,98). Der Unterscheid ist signifikant ($t(15) = 2,17$, $p = 0,05$). Die extreme Wahrnehmung in LB 2 könnte aufgrund der besonders geringen Wandabschnittsleuchtdichte auftreten, eventuell wird der Monitor im Vergleich zum Wandabschnitt als besonders hell wahrgenommen.

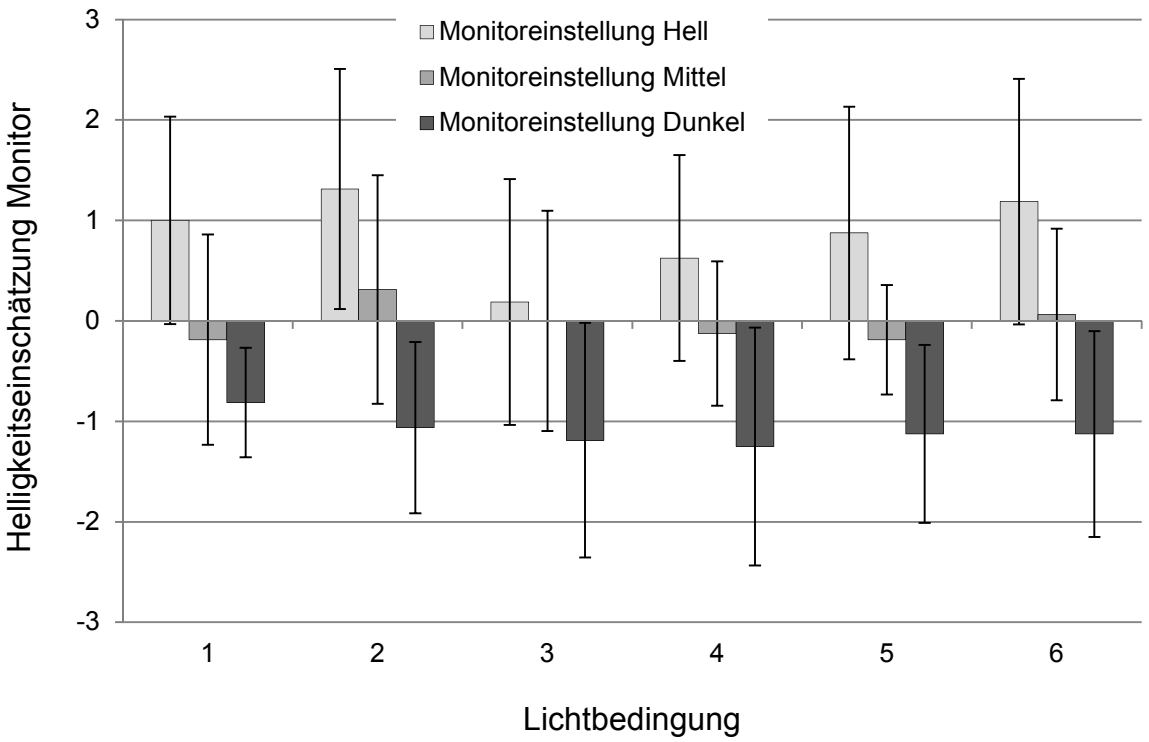


Bild C.12: Helligkeitseinschätzung des Monitors in Abhängigkeit der Leuchtdichteumgebung. Der Fehlerballen stellt die Standardabweichung dar.

Die eingeschätzte Monitorhelligkeit ist bei Verwendung aller Daten ($F(1,16) = 156{,}74$, $R^2 = 0{,}91$, $p < 0{,}01$) und unter Ausschluss von LB 2 und LB 6 ($F(1,10) = 115{,}00$, $R^2 = 0{,}92$, $p < 0{,}01$) abhängig von L_M. Eine hohe L_M führt zu einer als hoch empfundenen Monitorhelligkeit (Bild C.13).

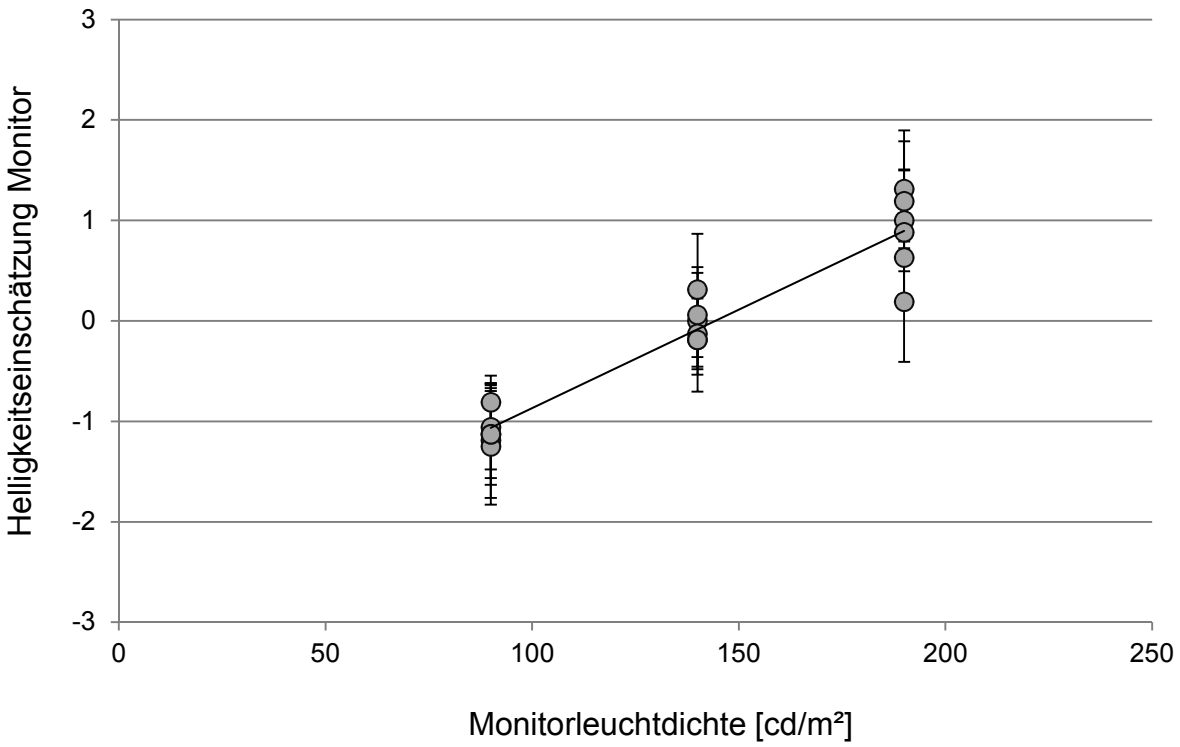


Bild C.13: Helligkeitseinschätzung des Monitors in Abhängigkeit der Monitorleuchtdichte für alle Lichtbedingungen. Der Fehlerbalken zeigt das 95 % Konfidenzintervall des Mittelwerts.

Außerdem kann ein tendenzieller Einfluss von Max/Min unter Berücksichtigung aller LBs nachgewiesen werden ($F(2,15) = 2,83$, $R^2 = 0,27$, $p = 0,09$). Bei sehr ähnlichen Leuchtdichten und sehr unterschiedlichen Leuchtdichten im Gesichtsfeld wird der Monitor als heller empfunden, wie in Bild C.14 dargestellt.

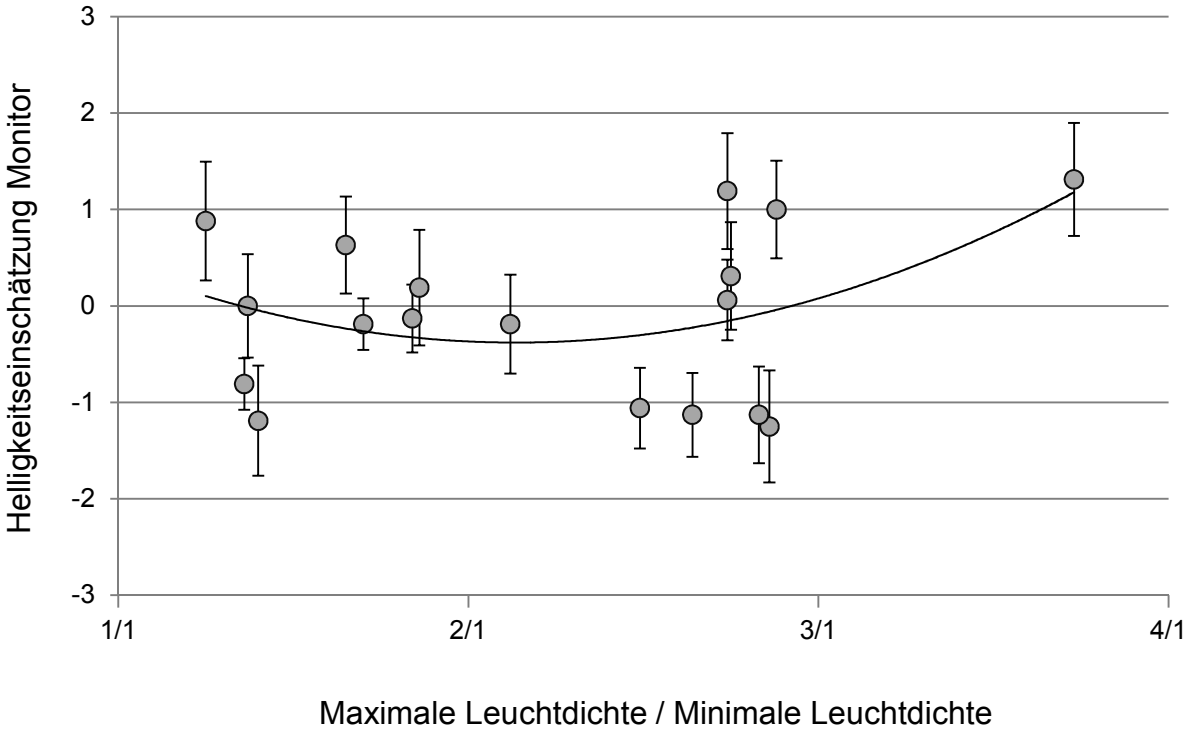


Bild C.14: Helligkeitseinschätzung des Monitors in Abhängigkeit des Verhältnisses zwischen minimaler und maximaler Leuchtdichte der Leuchtdichteumgebung für alle Lichtbedingungen. Der Fehlerbalken zeigt das 95 % Konfidenzintervall des Mittelwerts.

Blendung im Raum

Die empfundene Blendung der Testpersonen im Raum hängt signifikant von Lichtbedingung ($F(5,75) = 5,76$, $p < 0,01$, $\eta_p^2 = 0,28$) und Monitoreinstellung ($F(1,39,20,81) = 6,31$, $p = 0,01$, $\eta_p^2 = 0,30$) ab und ist in Bild C.15 zu sehen. Der Vergleich der Lichtbedingungen bei Mittelung der Monitoreinstellungen lässt erkennen, dass LB 6 (MW = 0,44, SD = 1,97) am ehesten zu einer leichten Blendungssituation führt. LB 6 und LB 5 (MW = -1,33, SD = 1,70) unterscheiden sich beispielsweise signifikant ($t(15) = 3,49$, $p < 0,01$). Generell kann davon ausgegangen werden, dass die LBs 1 bis 5 eher keine Blendung hervorrufen. Das Blendungsempfinden sinkt, wenn die Monitorleuchtdichte steigt. ME Hell (MW = -0,63, SD = 1,88) führt zu geringerer Blendung als ME Mittel (MW = -1,04, SD = 1,62) und Dunkel (MW = 1,26, SD = 1,56). Die Unterschiede zwischen Hell und Mittel ($t(15) = 2,89$, $p = 0,01$) sowie Hell und Dunkel ($t(15) = 2,71$, $p = 0,02$) sind signifikant.

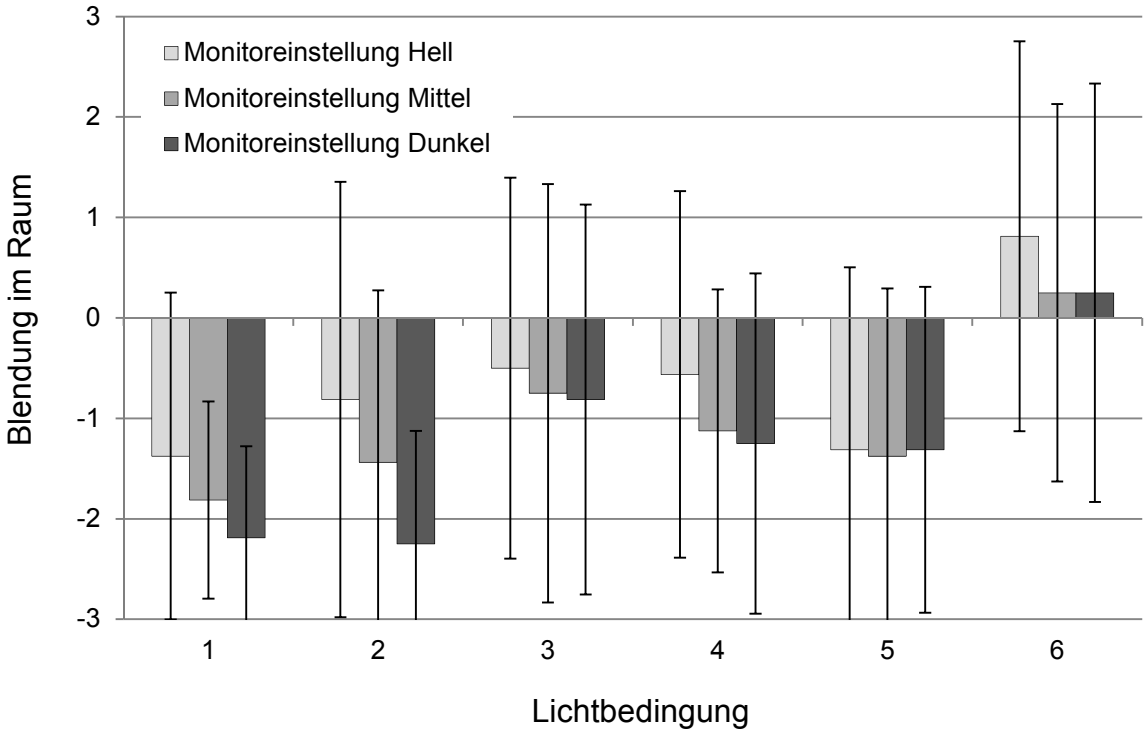


Bild C.15: Blendung im Raum in Abhängigkeit der Leuchtdichteumgebung. Der Fehlerballen stellt die Standardabweichung dar.

Es besteht ein tendenzieller Einfluss von W/A unter Berücksichtigung aller LBs ($F(2,15) = 2,78$, $R^2 = 0,27$, $p = 0,09$) und ein signifikanter Einfluss unter Ausschluss von LB 2 und LB 6 ($F(2,9) = 6,21$, $R^2 = 0,58$, $p = 0,02$). Besonders wenig Blendung wird empfunden wenn W/A bei etwa 1/2 liegt, wie in Bild C.16 zu sehen.

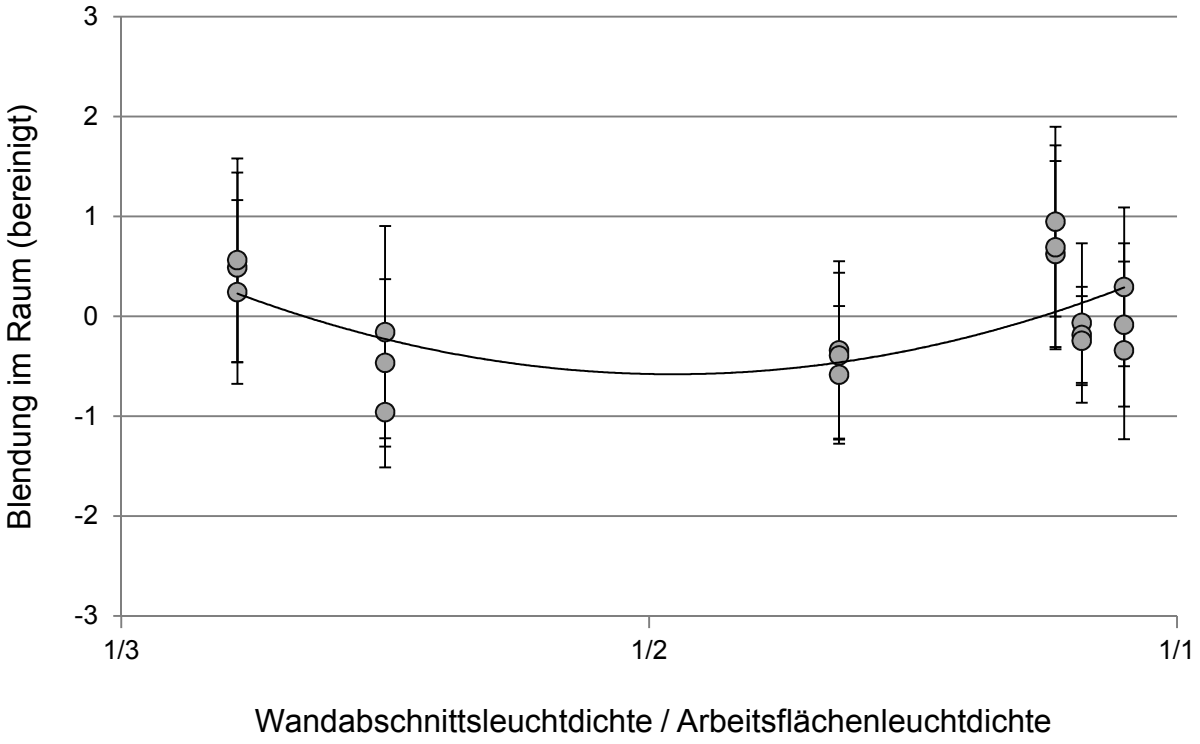


Bild C.16: Bereinigte Blendung im Raum in Abhängigkeit des Leuchtdichteverhältnisses zwischen Wandabschnitt und Arbeitsfläche für alle Lichtbedingungen. Der Fehlerbalken zeigt das 95 % Konfidenzintervall des Mittelwerts.

Emotionsgitter

Die Lichtbedingung und Monitoreinstellung zeigen keinen signifikanten oder tendenziellen Einfluss auf die Achsen des Emotionsgitters. Für die Achse „Erregung“ zeigt sich ein signifikanter beziehungsweise tendenzieller Einfluss von L_W bei Berücksichtigung aller LBs ($F(1,16) = 8{,}67$, $R^2 = 0{,}35$, $p = 0{,}01$) und unter Ausschluss von LB 2 und LB 6 ($F(1,10) = 4{,}65$, $R^2 = 0{,}31$, $p = 0{,}06$). Steigt L_W, so steigt auch die Erregung über die Testdauer, wie in Bild C.17 zu sehen.

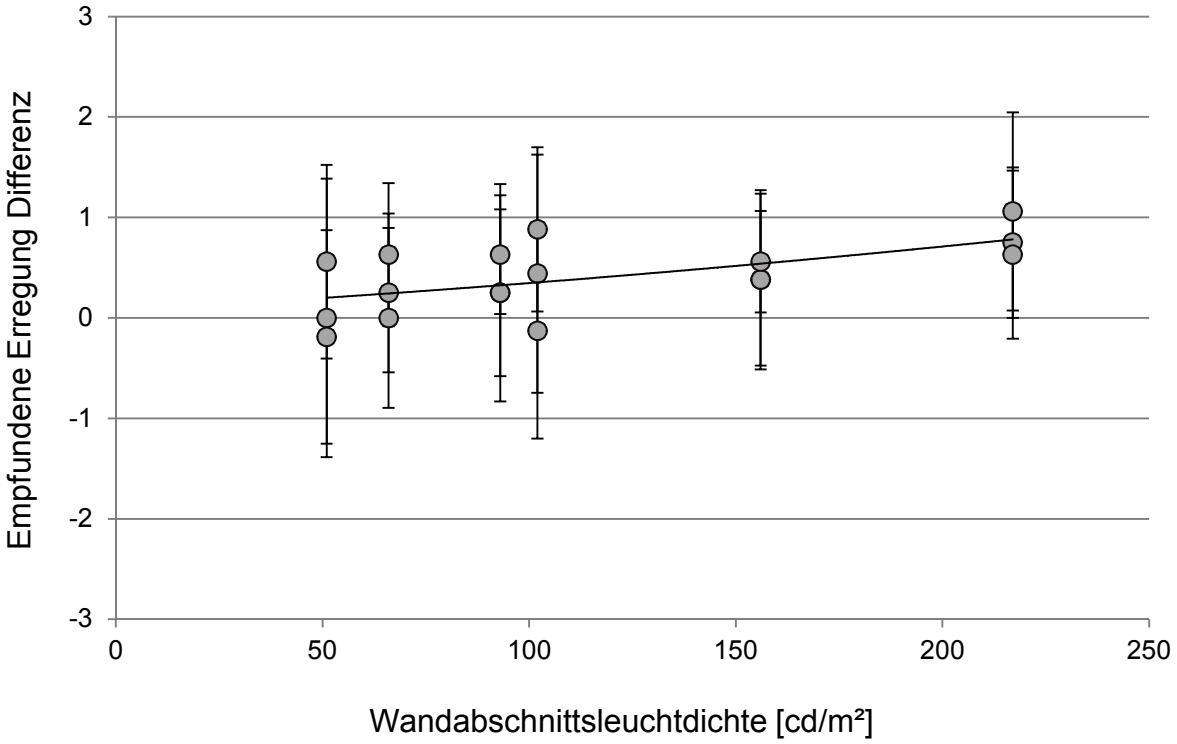


Bild C.17: Entwicklung der empfundenen Erregung in Abhängigkeit der Wandabschnittsleuchtdichte für alle Lichtbedingungen. Der Fehlerbalken zeigt das 95 % Konfidenzintervall des Mittelwerts.

Für die Achse „angenehm - unangenehm“ zeigt sich ein Einfluss von W/A. Dieser Einfluss lässt sich unter Berücksichtigung aller LBs signifikant ($F(2,15) = 4{,}06$, $R^2 = 0{,}35$, $p = 0{,}04$) und unter Ausschluss von LB 2 und LB 6 tendenziell ($F(1,10) = 4{,}38$, $R^2 = 0{,}31$, $p = 0{,}06$) nachweisen. Die Testpersonen beschreiben die Veränderung ihres Zustands über die Testdauer eher als angenehm, wenn W/A bei etwa 1/2 liegt, wie in Bild C.18 dargestellt.

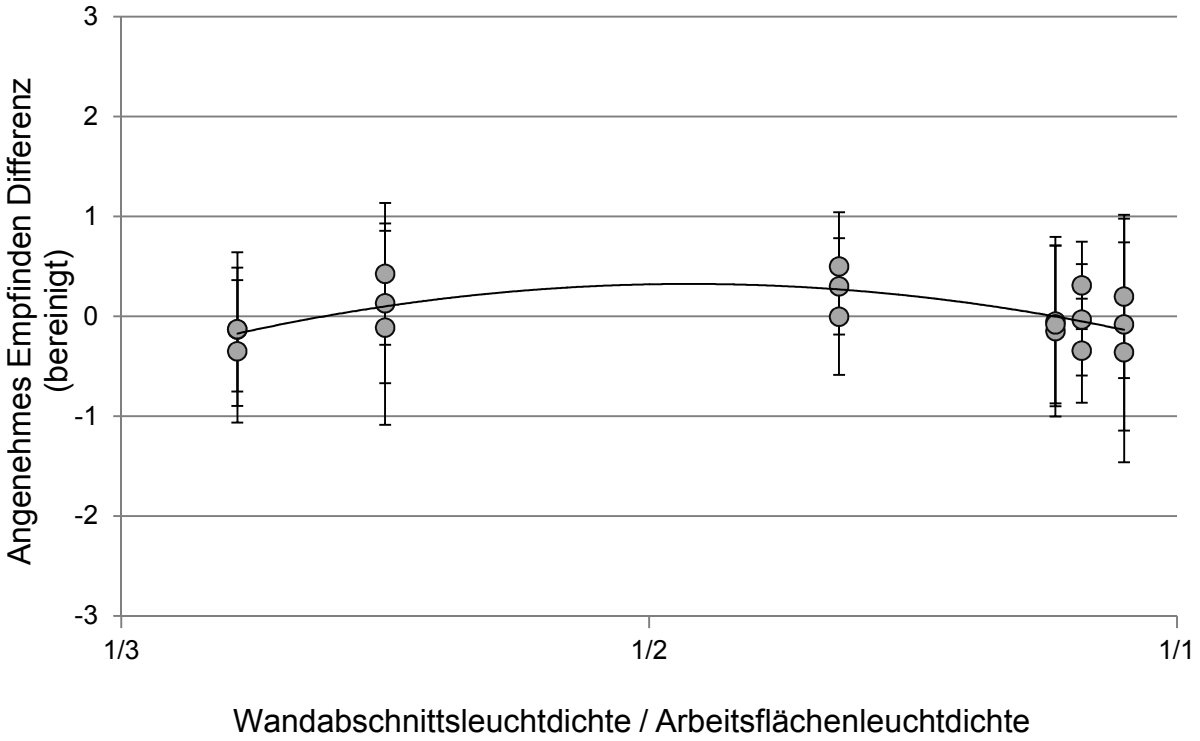


Bild C.18: Bereinigte Entwicklung des angenehmen Empfinden im Raum in Abhängigkeit des Leuchtdichteverhältnisses zwischen Wandabschnitt und Arbeitsfläche für alle Lichtbedingungen. Der Fehlerbalken zeigt das 95 % Konfidenzintervall des Mittelwerts.

Befindlichkeit

Es zeigt sich lediglich ein Einfluss der Parameter der Leuchtdichteumgebung auf die Skala „wach - müde“, sie wird von L_W und L_A beeinflusst. Bei Einschluss aller LBs bestimmten L_W signifikant ($F(1,16) = 5,13$, $R^2 = 0,24$, $p = 0,04$) und L_A tendenziell ($F(1,16) = 3,87$, $R^2 = 0,20$, $p = 0,07$) die Wachheit der Testpersonen. Ohne LB 2 und LB 6 kann dies nur tendenziell für L_W nachgewiesen werden ($F(1,10) = 2,94$, $R^2 = 0,23$, $p = 0,12$). Je höher L_W und L_A, desto stärker nimmt die Wachheit während der Bearbeitungszeit zu, wie in Bild C.19 und Bild C.20 zu sehen.

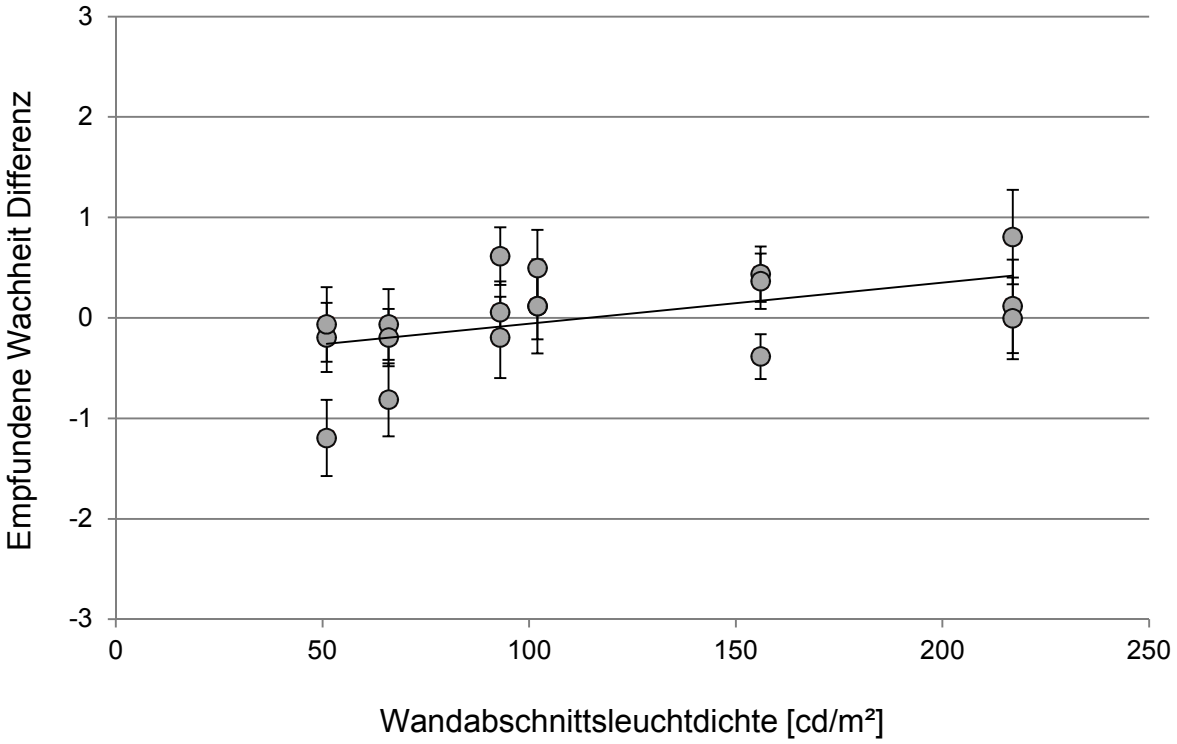


Bild C.19: Entwicklung der empfundenen Wachheit in Abhängigkeit der Wandabschnittsleuchtdichte für alle Lichtbedingungen. Der Fehlerbalken zeigt das 95 % Konfidenzintervall des Mittelwerts.

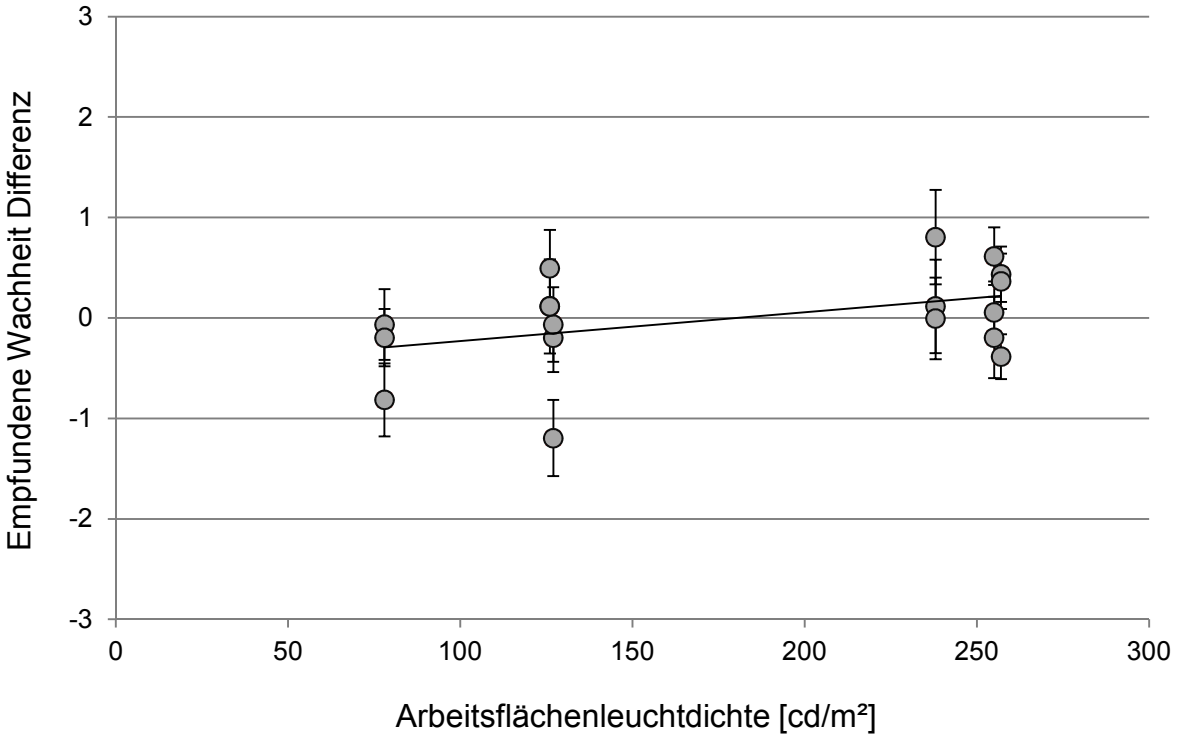


Bild C.20: Entwicklung der empfundenen Wachheit in Abhängigkeit der Arbeitsflächenleuchtdichte für alle Lichtbedingungen. Der Fehlerbalken zeigt das 95 % Konfidenzintervall des Mittelwerts.

Tabelle C.7: Übersicht über Mittel-, Maximal und Minimalwerte, sowie Standardabweichung der Studie 1. Das Kürzel A steht für die helle, B für die mittlere und C für die dunkle Monitoreinstellung. 1 bis 6 für die Lichtbedingungen.

Deskriptive Statistiken					
Maß	N	Minimum	Maximum	Mittelwert	Standardabweichung
NVT_Zeit_1_A	16	104	253	144,41	37,38
NVT_Zeit_1_B	16	105	236	146,28	34,37
NVT_Zeit_1_C	16	109	231	145,31	34,57
NVT_Zeit_2_A	16	104	224	137,07	30,66
NVT_Zeit_2_B	16	102	194	132,99	27,88
NVT_Zeit_2_C	16	86	211	133,77	30,47
NVT_Zeit_3_A	16	110	248	147,38	40,47
NVT_Zeit_3_B	16	101	240	136,57	33,33
NVT_Zeit_3_C	16	111	207	142,02	27,80
NVT_Zeit_4_A	15	103	184	128,35	21,44
NVT_Zeit_4_B	16	108	145	126,60	12,40
NVT_Zeit_4_C	16	103	189	130,84	19,97
NVT_Zeit_5_A	16	109	171	135,18	21,75
NVT_Zeit_5_B	16	94	189	129,26	22,82
NVT_Zeit_5_C	16	91	175	126,48	19,93
NVT_Zeit_6_A	16	102	172	132,20	22,31
NVT_Zeit_6_B	16	91	202	129,48	29,16
NVT_Zeit_6_C	16	98	190	133,45	23,51
Dom_Zeit_1_A	16	53	191	113,40	35,88
Dom_Zeit_1_B	16	74	188	108,40	29,84
Dom_Zeit_1_C	16	77	179	115,01	32,19
Dom_Zeit_2_A	16	68	155	112,24	22,33
Dom_Zeit_2_B	16	58	171	114,19	29,14
Dom_Zeit_2_C	16	67	178	103,25	28,95
Dom_Zeit_3_A	16	51	166	106,93	34,80
Dom_Zeit_3_B	15	67	172	104,51	27,89
Dom_Zeit_3_C	15	86	203	114,95	35,82
Dom_Zeit_4_A	16	68	172	108,77	28,30
Dom_Zeit_4_B	16	76	191	106,68	27,36
Dom_Zeit_4_C	16	72	185	107,17	25,32
Dom_Zeit_5_A	16	69	190	108,96	29,22
Dom_Zeit_5_B	16	67	133	102,34	20,66
Dom_Zeit_5_C	16	74	206	118,39	28,75
Dom_Zeit_6_A	16	63	184	109,23	34,88
Dom_Zeit_6_B	16	74	176	116,54	27,66
Dom_Zeit_6_C	16	76	168	117,16	24,84
NVT_Fehler_1_A	16	0	2	0,25	0,68
NVT_Fehler_1_B	16	0	1	0,31	0,48
NVT_Fehler_1_C	16	0	1	0,25	0,45
NVT_Fehler_2_A	16	0	2	0,25	0,58
NVT_Fehler_2_B	16	0	2	0,50	0,82
NVT_Fehler_2_C	16	0	1	0,25	0,45
NVT_Fehler_3_A	16	0	1	0,25	0,45
NVT_Fehler_3_B	16	0	1	0,19	0,40
NVT_Fehler_3_C	16	0	2	0,31	0,70
NVT_Fehler_4_A	15	0	2	0,53	0,83
NVT_Fehler_4_B	16	0	1	0,44	0,51
NVT_Fehler_4_C	16	0	2	0,13	0,50
NVT_Fehler_5_A	16	0	2	0,25	0,58
NVT_Fehler_5_B	16	0	2	0,38	0,72
NVT_Fehler_5_C	16	0	4	0,69	1,14
NVT_Fehler_6_A	16	0	4	0,25	1,00
NVT_Fehler_6_B	16	0	1	0,13	0,34
NVT_Fehler_6_C	16	0	3	0,56	0,96
KLT_Fehler_1_A	16	0	8	1,56	2,22
KLT_Fehler_1_B	16	0	8	1,31	2,21
KLT_Fehler_1_C	16	0	7	1,13	1,86
KLT_Fehler_2_A	16	0	5	1,25	1,29
KLT_Fehler_2_B	16	0	5	0,94	1,44

KLT_Fehler_2_C	16	0	6	1,13	1,67
KLT_Fehler_3_A	16	0	5	1,75	1,73
KLT_Fehler_3_B	16	0	7	1,25	1,73
KLT_Fehler_3_C	16	0	4	1,25	1,39
KLT_Fehler_4_A	16	0	7	1,31	1,78
KLT_Fehler_4_B	16	0	9	1,25	2,21
KLT_Fehler_4_C	16	0	4	0,94	1,39
KLT_Fehler_5_A	16	0	6	1,06	1,73
KLT_Fehler_5_B	16	0	4	1,00	1,27
KLT_Fehler_5_C	16	0	5	1,25	1,39
KLT_Fehler_6_A	16	0	3	0,88	0,81
KLT_Fehler_6_B	16	0	4	0,94	1,24
KLT_Fehler_6_C	16	0	5	0,94	1,39
KLT_Zeit_1_A	16	112	369	192,21	66,83
KLT_Zeit_1_B	16	120	493	210,15	90,11
KLT_Zeit_1_C	16	110	509	209,04	94,59
KLT_Zeit_2_A	16	113	407	217,01	84,60
KLT_Zeit_2_B	16	115	385	210,70	81,29
KLT_Zeit_2_C	16	122	404	216,21	82,20
KLT_Zeit_3_A	16	95	448	221,91	93,05
KLT_Zeit_3_B	16	105	486	222,43	110,95
KLT_Zeit_3_C	16	94	495	220,84	93,91
KLT_Zeit_4_A	16	138	268	189,93	43,38
KLT_Zeit_4_B	16	120	307	185,13	51,68
KLT_Zeit_4_C	16	129	269	190,49	46,05
KLT_Zeit_5_A	16	124	316	195,51	49,13
KLT_Zeit_5_B	16	126	293	192,35	49,76
KLT_Zeit_5_C	16	116	314	204,52	62,81
KLT_Zeit_6_A	16	103	389	210,34	70,33
KLT_Zeit_6_B	16	101	496	213,99	103,82
KLT_Zeit_6_C	16	106	411	207,76	78,88
Wand_Helligkeitsbew_1_A	16	-1	1	-0,50	0,63
Wand_Helligkeitsbew_1_B	16	-1	2	-0,19	0,83
Wand_Helligkeitsbew_1_C	16	-2	1	-0,50	0,89
Wand_Helligkeitsbew_2_A	16	-2	2	-0,31	1,01
Wand_Helligkeitsbew_2_B	16	-2	2	-0,19	1,22
Wand_Helligkeitsbew_2_C	16	-3	2	-0,13	1,09
Wand_Helligkeitsbew_3_A	16	-2	2	-0,06	0,93
Wand_Helligkeitsbew_3_B	16	-3	2	-0,25	1,13
Wand_Helligkeitsbew_3_C	16	-3	3	0,00	1,55
Wand_Helligkeitsbew_4_A	16	-2	3	0,00	1,16
Wand_Helligkeitsbew_4_B	16	-1	2	-0,13	0,72
Wand_Helligkeitsbew_4_C	16	-1	2	-0,06	0,77
Wand_Helligkeitsbew_5_A	16	-2	1	-0,13	0,62
Wand_Helligkeitsbew_5_B	16	-1	2	0,06	0,68
Wand_Helligkeitsbew_5_C	16	-1	2	0,25	0,78
Wand_Helligkeitsbew_6_A	16	-2	1	-0,31	0,95
Wand_Helligkeitsbew_6_B	16	-1	1	-0,25	0,68
Wand_Helligkeitsbew_6_C	16	-2	1	-0,50	0,73
Schreibtisch_Helligkeitsbew_1_A	16	-2	0	-0,63	0,62
Schreibtisch_Helligkeitsbew_1_B	16	-1	1	-0,25	0,78
Schreibtisch_Helligkeitsbew_1_C	16	-2	1	-0,25	0,86
Schreibtisch_Helligkeitsbew_2_A	16	-1	2	0,44	0,96
Schreibtisch_Helligkeitsbew_2_B	16	-2	2	0,44	1,03
Schreibtisch_Helligkeitsbew_2_C	16	-3	2	0,44	1,32
Schreibtisch_Helligkeitsbew_3_A	16	-2	2	0,06	1,06
Schreibtisch_Helligkeitsbew_3_B	16	-3	2	0,13	1,26
Schreibtisch_Helligkeitsbew_3_C	16	-3	2	0,19	1,38
Schreibtisch_Helligkeitsbew_4_A	16	-1	1	0,06	0,57
Schreibtisch_Helligkeitsbew_4_B	16	-1	1	0,19	0,54
Schreibtisch_Helligkeitsbew_4_C	16	-1	1	0,13	0,62
Schreibtisch_Helligkeitsbew_5_A	16	-1	1	0,19	0,54
Schreibtisch_Helligkeitsbew_5_B	16	-1	2	0,25	0,68
Schreibtisch_Helligkeitsbew_5_C	16	-1	1	0,25	0,68
Schreibtisch_Helligkeitsbew_6_A	16	-1	2	0,56	0,81
Schreibtisch_Helligkeitsbew_6_B	16	0	2	0,56	0,81
Schreibtisch_Helligkeitsbew_6_C	16	-1	2	0,44	0,81
Bildschirm_Helligkeitsbew_1_A	16	-1	3	1,00	1,03
Bildschirm_Helligkeitsbew_1_B	16	-3	1	-0,19	1,05
Bildschirm_Helligkeitsbew_1_C	16	-2	0	-0,81	0,54
Bildschirm_Helligkeitsbew_2_A	16	-1	3	1,31	1,20

Bildschirm_Helligkeitsbew_2_B	16	-2	2	0,31	1,14
Bildschirm_Helligkeitsbew_2_C	16	-2	0	-1,06	0,85
Bildschirm_Helligkeitsbew_3_A	16	-2	2	0,19	1,22
Bildschirm_Helligkeitsbew_3_B	16	-2	2	0,00	1,10
Bildschirm_Helligkeitsbew_3_C	16	-3	0	-1,19	1,17
Bildschirm_Helligkeitsbew_4_A	16	-1	2	0,63	1,03
Bildschirm_Helligkeitsbew_4_B	16	-1	2	-0,13	0,72
Bildschirm_Helligkeitsbew_4_C	16	-3	0	-1,25	1,18
Bildschirm_Helligkeitsbew_5_A	16	-1	3	0,88	1,26
Bildschirm_Helligkeitsbew_5_B	16	-1	1	-0,19	0,54
Bildschirm_Helligkeitsbew_5_C	16	-3	0	-1,13	0,89
Bildschirm_Helligkeitsbew_6_A	16	-1	3	1,19	1,22
Bildschirm_Helligkeitsbew_6_B	16	-1	2	0,06	0,85
Bildschirm_Helligkeitsbew_6_C	16	-3	1	-1,13	1,03
Raumempf_Ermüdung_Raum_1_A	16	-3	2	-0,63	1,63
Raumempf_Ermüdung_Raum_1_B	16	-3	1	-0,56	1,59
Raumempf_Ermüdung_Raum_1_C	16	-3	3	-0,31	1,78
Raumempf_Ermüdung_Raum_2_A	16	-3	3	-0,25	1,92
Raumempf_Ermüdung_Raum_2_B	16	-3	2	-0,56	1,75
Raumempf_Ermüdung_Raum_2_C	16	-3	3	-0,19	1,94
Raumempf_Ermüdung_Raum_3_A	16	-3	3	-0,44	1,71
Raumempf_Ermüdung_Raum_3_B	16	-3	2	-0,31	1,70
Raumempf_Ermüdung_Raum_3_C	16	-3	3	0,31	1,82
Raumempf_Ermüdung_Raum_4_A	16	-3	2	-0,44	1,97
Raumempf_Ermüdung_Raum_4_B	16	-3	1	-0,88	1,31
Raumempf_Ermüdung_Raum_4_C	16	-3	2	-0,75	1,98
Raumempf_Ermüdung_Raum_5_A	16	-3	3	-0,94	1,81
Raumempf_Ermüdung_Raum_5_B	16	-3	2	-0,94	1,39
Raumempf_Ermüdung_Raum_5_C	16	-3	3	-0,13	1,96
Raumempf_Ermüdung_Raum_6_A	16	-3	2	0,06	1,61
Raumempf_Ermüdung_Raum_6_B	16	-2	2	-0,31	1,45
Raumempf_Ermüdung_Raum_6_C	16	-3	2	-0,19	1,64
Raumempf_Blendung_Raum_1_A	16	-3	1	-1,38	1,63
Raumempf_Blendung_Raum_1_B	16	-3	0	-1,81	0,98
Raumempf_Blendung_Raum_1_C	16	-3	0	-2,19	0,91
Raumempf_Blendung_Raum_2_A	16	-3	3	-0,81	2,17
Raumempf_Blendung_Raum_2_B	16	-3	2	-1,44	1,71
Raumempf_Blendung_Raum_2_C	16	-3	0	-2,25	1,13
Raumempf_Blendung_Raum_3_A	16	-3	3	-0,50	1,90
Raumempf_Blendung_Raum_3_B	16	-3	3	-0,75	2,08
Raumempf_Blendung_Raum_3_C	16	-3	3	-0,81	1,94
Raumempf_Blendung_Raum_4_A	16	-3	2	-0,56	1,83
Raumempf_Blendung_Raum_4_B	16	-3	1	-1,13	1,41
Raumempf_Blendung_Raum_4_C	16	-3	2	-1,25	1,69
Raumempf_Blendung_Raum_5_A	16	-3	2	-1,31	1,82
Raumempf_Blendung_Raum_5_B	16	-3	2	-1,38	1,67
Raumempf_Blendung_Raum_5_C	16	-3	1	-1,31	1,62
Raumempf_Blendung_Raum_6_A	16	-3	3	0,81	1,94
Raumempf_Blendung_Raum_6_B	16	-3	3	0,25	1,88
Raumempf_Blendung_Raum_6_C	16	-3,00	3,00	0,25	2,08
NPA_Dif_1_A	16	-24,60	12,40	-0,94	7,66
NPA_Dif_1_B	16	-21,20	6,60	-3,11	7,72
NPA_Dif_1_C	16	-18,80	15,20	-1,35	7,08
NPA_Dif_2_A	16	-8,20	17,40	2,39	7,23
NPA_Dif_2_B	16	-6,40	10,60	1,20	6,03
NPA_Dif_2_C	16	-7,60	20,40	2,48	8,68
NPA_Dif_3_A	16	-18,80	13,60	-1,36	7,57
NPA_Dif_3_B	16	-19,40	6,40	-3,93	6,56
NPA_Dif_3_C	16	-22,80	9,80	-0,71	7,55
NPA_Dif_4_A	16	-19,40	6,80	-1,63	6,02
NPA_Dif_4_B	16	-19,60	5,20	-3,09	7,57
NPA_Dif_4_C	16	-14,80	8,40	-1,30	5,79
NPA_Dif_5_A	16	-11,60	26,60	1,14	8,29
NPA_Dif_5_B	16	-23,60	8,60	-1,11	7,07
NPA_Dif_5_C	16	-16,60	12,20	-0,76	6,67
NPA_Dif_6_A	16	-9,80	59,00	2,59	15,88
NPA_Dif_6_B	16	-11,80	26,80	0,89	9,17
NPA_Dif_6_C	16	-7,60	31,80	2,58	9,15
KSS_1_A_Dif	16	-3,00	3,00	0,53	1,34
KSS_1_B_Dif	16	-4,00	3,00	0,22	1,57
KSS_1_C_Dif	16	-4,00	3,00	0,34	1,50

KSS_2_A_Dif	16	-2,00	3,00	-0,16	1,26
KSS_2_B_Dif	16	-4,00	5,00	0,16	2,09
KSS_2_C_Dif	16	-2,00	5,00	-0,53	1,83
KSS_3_A_Dif	16	-2,00	4,00	0,09	1,36
KSS_3_B_Dif	16	-2,00	4,00	0,09	1,67
KSS_3_C_Dif	16	-2,00	3,00	0,03	1,41
KSS_4_A_Dif	16	-1,00	4,00	0,03	1,09
KSS_4_B_Dif	16	-1,00	2,00	0,03	0,89
KSS_4_C_Dif	16	-1,00	2,00	0,03	0,81
KSS_5_A_Dif	16	-1,00	5,00	-0,03	1,67
KSS_5_B_Dif	16	-1,00	2,00	0,16	1,01
KSS_5_C_Dif	16	-1,00	3,00	-0,03	1,10
KSS_6_A_Dif	16	-1,00	3,00	-0,22	0,95
KSS_6_B_Dif	16	-2,00	4,00	-0,34	1,56
KSS_6_C_Dif	16	-2,00	4,00	-0,41	1,50
Affectgrid_Erreg_Dif_1_B	16	-3,00	3,00	0,25	1,61
Affectgrid_Erreg_Dif_1_C	16	-3,00	4,00	0,00	1,83
Affectgrid_Erreg_Dif_2_A	15	-6,00	6,00	0,00	2,83
Affectgrid_Erreg_Dif_2_B	16	-4,00	5,00	-0,19	2,17
Affectgrid_Erreg_Dif_2_C	16	-3,00	5,00	0,56	1,97
Affectgrid_Erreg_Dif_3_A	16	-4,00	4,00	0,44	2,42
Affectgrid_Erreg_Dif_3_B	16	-4,00	3,00	-0,13	2,19
Affectgrid_Erreg_Dif_3_C	16	-2,00	4,00	0,88	1,67
Affectgrid_Erreg_Dif_4_A	16	-4,00	3,00	0,38	1,82
Affectgrid_Erreg_Dif_4_B	16	-4,00	3,00	0,38	1,75
Affectgrid_Erreg_Dif_4_C	16	-1,00	3,00	0,56	1,03
Affectgrid_Erreg_Dif_5_A	16	-1,00	6,00	1,06	2,02
Affectgrid_Erreg_Dif_5_B	16	-3,00	3,00	0,75	1,53
Affectgrid_Erreg_Dif_5_C	16	-3,00	4,00	0,63	1,71
Affectgrid_Erreg_Dif_6_A	16	-3,00	4,00	0,25	1,69
Affectgrid_Erreg_Dif_6_B	16	-4,00	5,00	0,25	2,21
Affectgrid_Erreg_Dif_6_C	16	-2,00	2,00	0,63	1,20
Affectgrid_unang_Dif_1_A	16	-2,00	2,00	-0,50	0,89
Affectgrid_unang_Dif_1_B	16	-3,00	2,00	-0,69	1,14
Affectgrid_unang_Dif_1_C	16	-3,00	0,00	-0,94	1,06
Affectgrid_unang_Dif_2_A	15	-5,00	2,00	-1,07	1,98
Affectgrid_unang_Dif_2_B	15	-4,00	2,00	-0,67	1,63
Affectgrid_unang_Dif_2_C	16	-2,00	2,00	-0,31	1,45
Affectgrid_unang_Dif_3_A	16	-5,00	2,00	-0,94	1,73
Affectgrid_unang_Dif_3_B	16	-5,00	2,00	-0,88	1,75
Affectgrid_unang_Dif_3_C	16	-5,00	2,00	-0,75	1,61
Affectgrid_unang_Dif_4_A	15	-2,00	1,00	-0,60	0,99
Affectgrid_unang_Dif_4_B	16	-3,00	1,00	-0,75	1,18
Affectgrid_unang_Dif_4_C	16	-2,00	2,00	-0,19	1,11
Affectgrid_unang_Dif_5_A	16	-7,00	2,00	-0,81	2,17
Affectgrid_unang_Dif_5_B	16	-6,00	1,00	-0,38	1,67
Affectgrid_unang_Dif_5_C	16	-8,00	1,00	-0,88	2,25
Affectgrid_unang_Dif_6_A	16	-4,00	1,00	-1,38	1,45
Affectgrid_unang_Dif_6_B	16	-4,00	1,00	-1,00	1,26
Affectgrid_unang_Dif_6_C	16	-6,00	1,00	-0,94	1,57
subj_L_Faktor_Anstrengung_NVT_1_A	16	-2,00	,67	-0,70	0,90
subj_L_Faktor_Anstrengung_NVT_1_B	16	-2,00	,83	-1,04	0,78
subj_L_Faktor_Anstrengung_NVT_1_C	16	-2,00	1,17	-0,72	1,01
subj_L_Faktor_Anstrengung_NVT_2_A	16	-2,00	,50	-0,80	0,96
subj_L_Faktor_Anstrengung_NVT_2_B	16	-2,00	,67	-0,82	0,95
subj_L_Faktor_Anstrengung_NVT_2_C	16	-2,00	1,50	-0,58	1,05
subj_L_Faktor_Anstrengung_NVT_3_A	16	-2,00	1,17	-0,77	0,99
subj_L_Faktor_Anstrengung_NVT_3_B	16	-2,00	1,50	-0,49	1,08
subj_L_Faktor_Anstrengung_NVT_3_C	16	-2,00	1,00	-0,66	1,01
subj_L_Faktor_Anstrengung_NVT_4_A	16	-2,00	,50	-1,07	0,87
subj_L_Faktor_Anstrengung_NVT_4_B	16	-2,00	,50	-1,06	0,94
subj_L_Faktor_Anstrengung_NVT_4_C	16	-2,00	,67	-1,14	0,98
subj_L_Faktor_Anstrengung_NVT_5_A	16	-2,00	1,00	-0,80	0,96
subj_L_Faktor_Anstrengung_NVT_5_B	16	-2,00	1,00	-0,85	0,94
subj_L_Faktor_Anstrengung_NVT_5_C	16	-2,00	1,00	-0,84	0,95
subj_L_Faktor_Anstrengung_NVT_6_A	16	-2,00	-,33	-1,08	0,65
subj_L_Faktor_Anstrengung_NVT_6_B	16	-2,00	,50	-0,90	0,89
subj_L_Faktor_Anstrengung_NVT_6_C	16	-2,00	,83	-0,90	0,90
subj_L_Faktor_Anstrengung_Dom_1_A	16	-3,00	1,25	-0,92	1,46
subj_L_Faktor_Anstrengung_Dom_1_B	16	-3,00	1,00	-1,36	1,37
subj_L_Faktor_Anstrengung_Dom_1_C	16	-3,00	1,50	-1,06	1,54

subj_L_Faktor_Anstrengung_Dom_2_A	16	-3,00	2,75	-0,70	1,63
subj_L_Faktor_Anstrengung_Dom_2_B	16	-3,00	1,25	-1,02	1,54
subj_L_Faktor_Anstrengung_Dom_2_C	16	-3,00	2,75	-0,94	1,75
subj_L_Faktor_Anstrengung_Dom_3_A	16	-3,00	1,25	-1,39	1,42
subj_L_Faktor_Anstrengung_Dom_3_B	16	-3,00	1,50	-1,03	1,45
subj_L_Faktor_Anstrengung_Dom_3_C	16	-3,00	2,25	-0,81	1,67
subj_L_Faktor_Anstrengung_Dom_4_A	16	-3,00	1,00	-1,39	1,49
subj_L_Faktor_Anstrengung_Dom_4_B	16	-3,00	1,00	-1,63	1,31
subj_L_Faktor_Anstrengung_Dom_4_C	16	-3,00	1,00	-1,27	1,56
subj_L_Faktor_Anstrengung_Dom_5_A	16	-3,00	,75	-1,22	1,38
subj_L_Faktor_Anstrengung_Dom_5_B	16	-3,00	,75	-1,44	1,30
subj_L_Faktor_Anstrengung_Dom_5_C	16	-3,00	,75	-1,09	1,43
subj_L_Faktor_Anstrengung_Dom_6_A	16	-3,00	1,75	-0,80	1,56
subj_L_Faktor_Anstrengung_Dom_6_B	16	-3,00	1,75	-0,92	1,51
subj_L_Faktor_Anstrengung_Dom_6_C	16	-3,00	1,75	-1,28	1,62
subj_L_Faktor_Anstrengung_KLT_1_A	16	-3,00	1,50	-0,08	1,40
subj_L_Faktor_Anstrengung_KLT_1_B	16	-3,00	1,50	-0,13	1,38
subj_L_Faktor_Anstrengung_KLT_1_C	16	-3,00	1,25	-0,16	1,52
subj_L_Faktor_Anstrengung_KLT_2_A	16	-3,00	2,25	0,22	1,68
subj_L_Faktor_Anstrengung_KLT_2_B	16	-3,00	2,50	-0,16	1,77
subj_L_Faktor_Anstrengung_KLT_2_C	16	-3,00	2,25	-0,11	1,71
subj_L_Faktor_Anstrengung_KLT_3_A	16	-3,00	2,50	-0,06	1,71
subj_L_Faktor_Anstrengung_KLT_3_B	16	-2,75	2,75	0,20	1,82
subj_L_Faktor_Anstrengung_KLT_3_C	16	-2,75	2,00	-0,03	1,71
subj_L_Faktor_Anstrengung_KLT_4_A	16	-3,00	1,75	-0,77	1,59
subj_L_Faktor_Anstrengung_KLT_4_B	16	-3,00	1,75	-0,27	1,67
subj_L_Faktor_Anstrengung_KLT_4_C	16	-3,00	1,75	-0,69	1,79
subj_L_Faktor_Anstrengung_KLT_5_A	16	-2,50	1,75	-0,50	1,48
subj_L_Faktor_Anstrengung_KLT_5_B	16	-2,75	1,50	-0,58	1,52
subj_L_Faktor_Anstrengung_KLT_5_C	16	-3,00	2,50	-0,14	1,78
subj_L_Faktor_Anstrengung_KLT_6_A	16	-3,00	2,25	0,09	1,64
subj_L_Faktor_Anstrengung_KLT_6_B	16	-2,50	2,25	-0,20	1,63
subj_L_Faktor_Anstrengung_KLT_6_C	16	-2,75	2,00	-0,25	1,67
LA_MotLeistWeit_1_A	16	-2,67	1,67	-0,17	1,07
LA _MotLeistWeit_1_B	16	-,67	1,33	0,38	0,70
LA _MotLeistWeit_1_C	16	-3,00	2,00	-0,52	1,51
LA _MotLeistWeit_2_A	16	-2,00	2,00	-0,65	1,07
LA _MotLeistWeit_2_B	16	-1,67	1,67	-0,17	1,14
LA _MotLeistWeit_2_C	16	-3,00	2,00	-0,38	1,50
LA _MotLeistWeit_3_A	16	-3,00	3,00	0,04	1,55
LA _MotLeistWeit_3_B	16	-2,00	2,00	0,06	1,59
LA _MotLeistWeit_3_C	16	-3,00	2,33	-0,58	1,66
LA _MotLeistWeit_4_A	16	-1,33	3,00	0,35	1,33
LA _MotLeistWeit_4_B	16	-2,00	1,67	0,31	1,09
LA _MotLeistWeit_4_C	16	-2,33	3,00	-0,06	1,54
LA _MotLeistWeit_5_A	16	-2,00	2,33	0,71	1,37
LA _MotLeistWeit_5_B	16	-1,67	2,33	0,75	1,05
LA _MotLeistWeit_5_C	16	-3,00	2,00	-0,38	1,63
LA _MotLeistWeit_6_A	16	-2,33	1,67	-0,77	1,16
LA _MotLeistWeit_6_B	16	-2,33	2,00	-0,15	1,47
LA _MotLeistWeit_6_C	16	-2,00	2,00	-0,33	1,27
GS_normiert_Dif_1_A	16	-1,25	1,25	-0,16	0,58
GS_normiert_Dif_1_B	16	-1,00	,50	-0,08	0,37
GS_normiert_Dif_1_C	16	-1,25	,25	-0,22	0,46
GS_normiert_Dif_2_A	16	-1,75	1,00	-0,31	0,80
GS_normiert_Dif_2_B	16	-1,75	2,25	0,00	0,92
GS_normiert_Dif_2_C	16	-1,75	,50	-0,36	0,67
GS_normiert_Dif_3_A	16	-1,25	1,00	-0,27	0,62
GS_normiert_Dif_3_B	16	-1,75	,50	-0,19	0,62
GS_normiert_Dif_3_C	16	-1,00	,75	-0,23	0,52
GS_normiert_Dif_4_A	16	-1,25	,75	-0,25	0,49
GS_normiert_Dif_4_B	16	-1,50	,50	-0,36	0,49
GS_normiert_Dif_4_C	16	-,75	1,00	-0,09	0,41
GS_normiert_Dif_5_A	16	-2,50	,50	-0,38	0,95
GS_normiert_Dif_5_B	16	-1,25	,50	-0,16	0,53
GS_normiert_Dif_5_C	16	-2,00	,50	-0,27	0,67
GS_normiert_Dif_6_A	16	-2,75	,75	-0,47	0,83
GS_normiert_Dif_6_B	16	-1,75	,75	-0,36	0,70
GS_normiert_Dif_6_C	16	-1,25	,75	-0,39	0,58
RU_normiert_Dif_1_A	16	-1,00	,25	-0,28	0,31
RU_normiert_Dif_1_B	16	-1,00	,50	-0,16	0,43

RU_normiert_Dif_1_C	16	-,75	,50	-0,09	0,34
RU_normiert_Dif_2_A	16	-1,75	,25	-0,47	0,58
RU_normiert_Dif_2_B	16	-1,75	,75	-0,61	0,72
RU_normiert_Dif_2_C	16	-2,00	,25	-0,56	0,60
RU_normiert_Dif_3_A	16	-1,25	1,00	-0,05	0,60
RU_normiert_Dif_3_B	16	-1,75	,50	-0,38	0,70
RU_normiert_Dif_3_C	16	-1,00	1,25	-0,06	0,53
RU_normiert_Dif_4_A	16	-1,50	,75	-0,50	0,53
RU_normiert_Dif_4_B	16	-1,75	,50	-0,39	0,55
RU_normiert_Dif_4_C	16	-1,00	,75	-0,19	0,47
RU_normiert_Dif_5_A	16	-3,00	,50	-0,53	0,87
RU_normiert_Dif_5_B	16	-2,25	,50	-0,48	0,82
RU_normiert_Dif_5_C	16	-3,50	,75	-0,52	1,00
RU_normiert_Dif_6_A	16	-1,75	,25	-0,48	0,66
RU_normiert_Dif_6_B	16	-1,75	,50	**-0,27**	0,69
RU_normiert_Dif_6_C	16	-2,00	,50	-0,39	0,60
WM_normiert_Dif_1_A	16	-1,75	1,00	**-0,07**	0,72
WM_normiert_Dif_1_B	16	-2,00	1,00	**-0,82**	0,74
WM_normiert_Dif_1_C	16	-1,50	,75	**-0,20**	0,58
WM_normiert_Dif_2_A	16	-2,00	1,25	**-1,20**	0,77
WM_normiert_Dif_2_B	16	-2,00	,75	**-0,20**	0,70
WM_normiert_Dif_2_C	16	-2,00	,75	**-0,07**	0,76
WM_normiert_Dif_3_A	16	-2,25	,50	**0,12**	0,67
WM_normiert_Dif_3_B	16	-2,25	1,25	**0,12**	0,96
WM_normiert_Dif_3_C	16	-1,75	1,00	**0,50**	0,78
WM_normiert_Dif_4_A	16	-1,75	,25	**0,44**	0,56
WM_normiert_Dif_4_B	16	-1,50	,25	**-0,39**	0,46
WM_normiert_Dif_4_C	16	-1,50	,50	**0,37**	0,56
WM_normiert_Dif_5_A	16	-2,75	,50	**0,12**	0,95
WM_normiert_Dif_5_B	16	-2,50	1,00	**0,81**	0,96
WM_normiert_Dif_5_C	16	-2,50	,75	**-0,01**	0,83
WM_normiert_Dif_6_A	16	-1,50	,50	**0,06**	0,63
WM_normiert_Dif_6_B	16	-2,00	,50	**0,62**	0,59
WM_normiert_Dif_6_C	16	-1,75	1,00	**-0,20**	0,83
Sehbeschw_normiert_Dif_1_A	16	-1,00	1,83	0,23	0,71
Sehbeschw_normiert_Dif_1_B	16	-1,00	2,00	0,14	0,61
Sehbeschw_normiert_Dif_1_C	16	-1,08	2,92	0,35	0,87
Sehbeschw_normiert_Dif_2_A	16	-,25	1,67	0,39	0,65
Sehbeschw_normiert_Dif_2_B	16	-,17	2,00	0,39	0,64
Sehbeschw_normiert_Dif_2_C	16	-,25	4,83	0,67	1,25
Sehbeschw_normiert_Dif_3_A	16	-,25	1,83	0,46	0,60
Sehbeschw_normiert_Dif_3_B	16	-,75	,83	0,10	0,35
Sehbeschw_normiert_Dif_3_C	16	-,50	2,42	0,36	0,80
Sehbeschw_normiert_Dif_4_A	16	-1,17	1,58	0,11	0,59
Sehbeschw_normiert_Dif_4_B	16	-1,75	,50	-0,05	0,51
Sehbeschw_normiert_Dif_4_C	16	-,42	3,33	0,38	0,98
Sehbeschw_normiert_Dif_5_A	16	-,08	2,67	0,60	0,79
Sehbeschw_normiert_Dif_5_B	16	-,33	2,25	0,35	0,63
Sehbeschw_normiert_Dif_5_C	16	-,25	2,58	0,54	0,83
Sehbeschw_normiert_Dif_6_A	16	-1,25	3,08	0,30	0,92
Sehbeschw_normiert_Dif_6_B	16	-,92	,83	0,13	0,46
Sehbeschw_normiert_Dif_6_C	16	-1,00	,83	0,17	0,50
Faktor_Erfolg_NVT_1_A	16	-1,19	3,00	1,43	1,13
Faktor_Erfolg_NVT_1_B	16	-,63	3,00	1,64	0,80
Faktor_Erfolg_NVT_1_C	16	-,31	3,00	1,61	0,89
Faktor_Erfolg_NVT_2_A	16	-1,06	3,00	1,46	1,13
Faktor_Erfolg_NVT_2_B	16	-,06	3,00	1,38	0,81
Faktor_Erfolg_NVT_2_C	16	-1,19	3,00	1,58	1,06
Faktor_Erfolg_NVT_3_A	16	-1,94	3,00	1,46	1,26
Faktor_Erfolg_NVT_3_B	16	-,81	3,00	1,34	1,11
Faktor_Erfolg_NVT_3_C	16	-,31	3,00	1,59	0,97
Faktor_Erfolg_NVT_4_A	16	,19	3,00	2,00	0,81
Faktor_Erfolg_NVT_4_B	16	,63	3,00	1,93	0,77
Faktor_Erfolg_NVT_4_C	16	,38	3,00	1,76	0,76
Faktor_Erfolg_NVT_5_A	16	-,44	3,00	1,54	1,03
Faktor_Erfolg_NVT_5_B	16	-,69	3,00	1,59	0,90
Faktor_Erfolg_NVT_5_C	16	-,06	3,00	1,55	0,83
Faktor_Erfolg_NVT_6_A	16	-,56	3,00	1,57	0,97
Faktor_Erfolg_NVT_6_B	16	,44	3,00	1,70	0,72
Faktor_Erfolg_NVT_6_C	16	-,50	3,00	1,50	1,01
Faktor_Erfolg_Dom_1_A	16	-,31	3,00	1,79	0,94

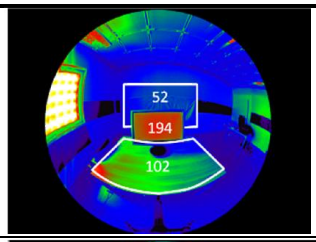
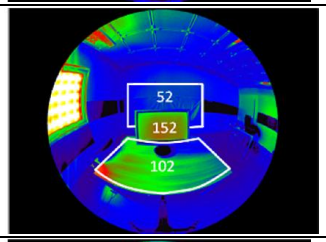
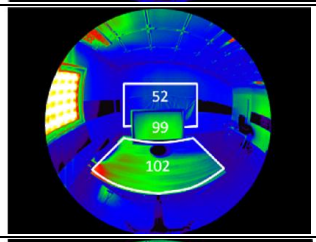
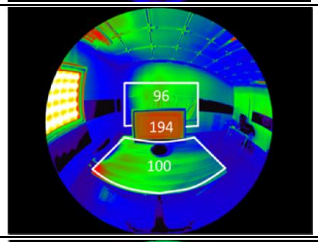
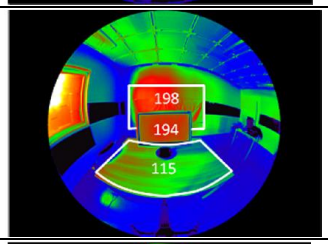
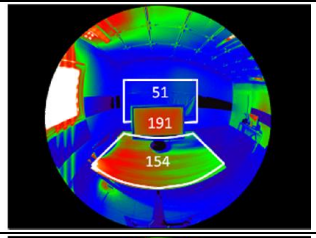
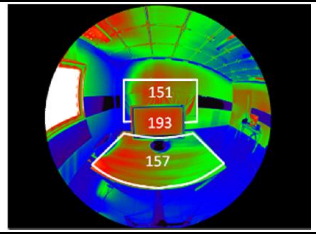
Faktor_Erfolg_Dom_1_B	16	-,50	3,00	1,87	1,02
Faktor_Erfolg_Dom_1_C	16	-,56	3,00	1,80	1,01
Faktor_Erfolg_Dom_2_A	16	-,81	3,00	1,66	0,98
Faktor_Erfolg_Dom_2_B	16	-,06	3,00	1,54	0,79
Faktor_Erfolg_Dom_2_C	16	-1,94	3,00	1,65	1,19
Faktor_Erfolg_Dom_3_A	16	-1,25	3,00	1,79	1,03
Faktor_Erfolg_Dom_3_B	16	-,69	3,00	1,76	0,86
Faktor_Erfolg_Dom_3_C	16	-1,88	3,00	1,45	1,17
Faktor_Erfolg_Dom_4_A	16	,19	3,00	1,93	0,76
Faktor_Erfolg_Dom_4_B	16	,88	3,00	2,01	0,68
Faktor_Erfolg_Dom_4_C	16	-,44	3,00	1,88	0,96
Faktor_Erfolg_Dom_5_A	16	-,06	3,00	1,80	0,83
Faktor_Erfolg_Dom_5_B	16	,44	3,00	1,77	0,80
Faktor_Erfolg_Dom_5_C	16	,25	3,00	1,80	0,73
Faktor_Erfolg_Dom_6_A	16	-,81	3,00	1,67	0,99
Faktor_Erfolg_Dom_6_B	16	-,69	3,00	1,48	0,93
Faktor_Erfolg_Dom_6_C	16	-,75	3,00	1,57	0,96
Faktor_Erfolg_KLT_1_A	16	-1,06	3,00	0,78	0,99
Faktor_Erfolg_KLT_1_B	16	-,81	3,00	0,88	0,86
Faktor_Erfolg_KLT_1_C	16	-1,31	3,00	0,83	1,14
Faktor_Erfolg_KLT_2_A	16	-1,88	3,00	0,39	1,30
Faktor_Erfolg_KLT_2_B	16	-1,50	2,81	0,61	1,14
Faktor_Erfolg_KLT_2_C	16	-1,94	2,81	0,43	1,29
Faktor_Erfolg_KLT_3_A	16	-1,88	3,00	0,74	1,45
Faktor_Erfolg_KLT_3_B	16	-1,75	3,00	0,35	1,33
Faktor_Erfolg_KLT_3_C	16	-1,50	3,00	0,39	1,25
Faktor_Erfolg_KLT_4_A	16	-1,38	2,81	0,75	1,28
Faktor_Erfolg_KLT_4_B	16	-1,88	3,00	0,71	1,41
Faktor_Erfolg_KLT_4_C	16	-1,00	3,00	0,99	1,26
Faktor_Erfolg_KLT_5_A	16	-1,31	3,00	0,99	1,11
Faktor_Erfolg_KLT_5_B	16	-1,13	3,00	0,89	1,01
Faktor_Erfolg_KLT_5_C	16	-1,19	3,00	0,52	1,13
Faktor_Erfolg_KLT_6_A	16	-1,75	2,56	0,66	1,11
Faktor_Erfolg_KLT_6_B	16	-1,25	2,81	0,79	1,33
Faktor_Erfolg_KLT_6_C	16	-1,06	2,56	0,94	1,08

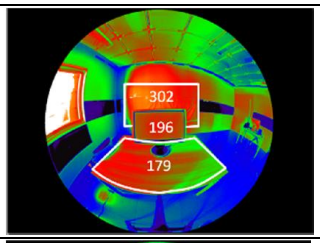
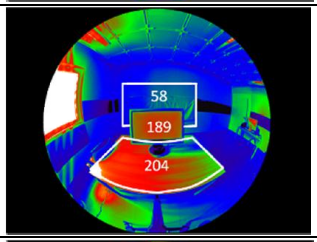
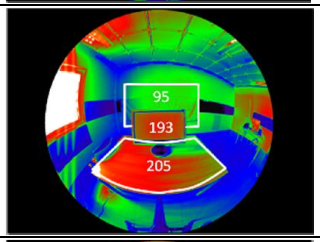
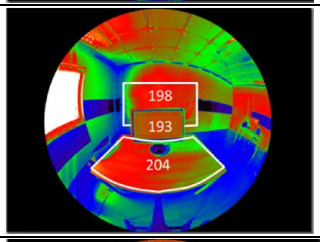
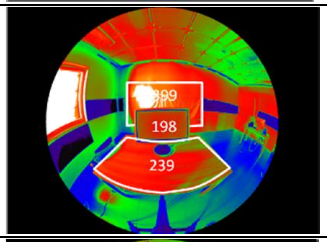
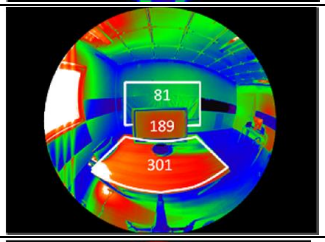
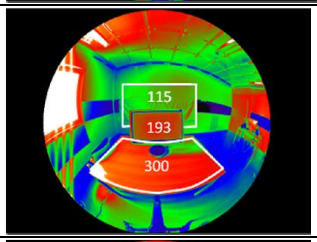
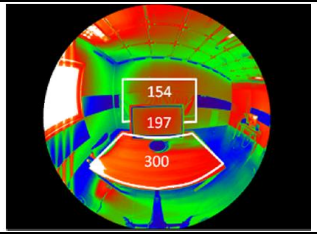
Anhang D: Studie 2 - Durchführung

Tabelle D.1: Übersicht über Zielgrößen und erreichte bestmögliche Passung für die zu untersuchenden Lichtbedingungen.

LB	Zielwert [cd/m^2]		Realisierung [cd/m^2]		Abweichung	
	L_A	L_W	L_{A_Ist}	L_{W_Ist}	L_A	L_W
1	100	50	102	52	2%	4%
2	100	100	100	96	0%	-4%
3	100	200	115	198	15%	-1%
4	150	50	154	51	3%	2%
5	150	150	157	151	5%	0%
6	150	300	179	302	19%	0%
7	200	50	204	58	2%	16%
8	200	100	205	95	3%	-5%
9	200	200	204	198	2%	-1%
10	200	400	239	399	20%	0%
11	300	50	301	81	0%	62%
12	300	100	300	115	0%	15%
13	300	150	300	154	0%	3%
14	300	300	309	299	3%	0%
15	400	100	405	127	1%	27%
16	400	200	409	213	2%	7%
17	400	400	405	401	1%	0%
18	450	150	459	164	2%	9%

Tabelle D.2: Darstellung der am Arbeitsplatz erreichten Leuchtdichten.

Skalierung [cd/m²]	LB	ME	Leuchtdichte-Kamera	Digital-Kamera
2500 2104 1770 1490 1254 1055 887,8 747,1 628,7 529,1 445,2 374,7 315,3 265,3 223,3 187,9 158,1 133,1 112 94,22 79,29 66,73 56,15 47,25 39,76 33,46 28,16 23,7 19,94 16,78 14,12 11,88	1	Hell		
	1	Mittel		
	1	Dunkel		
	2	Hell		
	3	Hell		
	4	Hell		
	5	Hell		

	6	Hell		
	7	Hell		
	8	Hell		
	9	Hell		
	10	Hell		
	11	Hell		
	12	Hell		
	13	Hell		

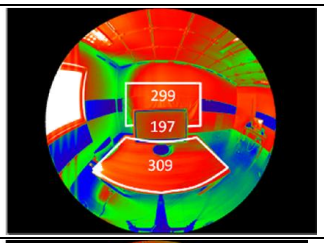
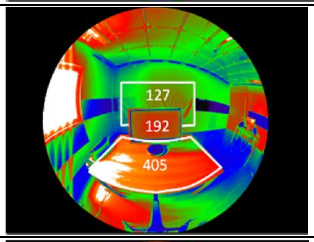
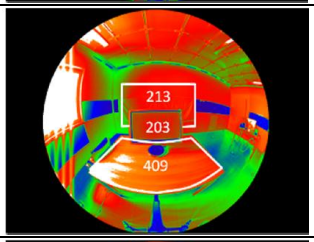
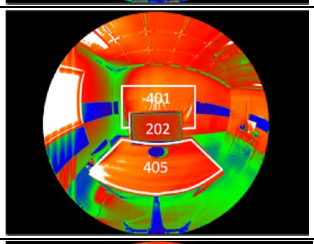
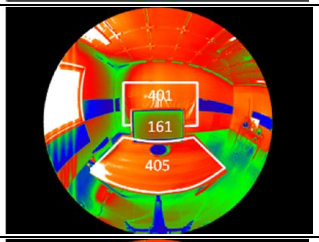
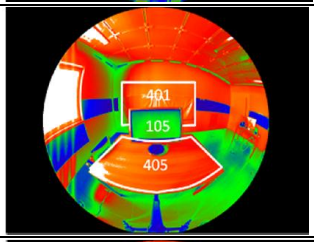
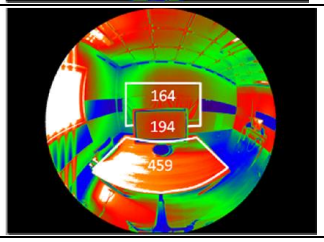
	14	Hell		
	15	Hell		
	16	Hell		
	17	Hell		
	17	Mittel		
	17	Dunkel		
	18	Hell		

Tabelle D.3: Übersicht über die in Studie 2 verwendeten Randomisierung: Testpersonen 1 bis 9.

Zeit-punkt	Testpersonen und Leuchtdichteumgebung																	
	1		2		3		4		5		6		7		8		. 9	
	LB	Mon	LB	Mon	LB	Mon	LB	Mon	LB	Mon	LB	Mon	LB	Mon	LB	Mon	LB	Mon
1	2	Hell	6	Dunkel	5	Mittel	7	Hell	16	Dunkel	13	Mittel	18	Hell	17	Dunkel	11	Mittel
2		Mittel		Hell		Dunkel		Mittel		Hell		Dunkel		Mittel		Hell		Dunkel
3		Dunkel		Mittel		Hell		Dunkel		Mittel		Hell		Dunkel		Mittel		Hell
4	8	Mittel	5	Hell	8	Dunkel	2	Mittel	17	Hell	18	Dunkel	11	Mittel	16	Hell	13	Dunkel
5		Hell		Dunkel		Mittel		Hell		Dunkel		Mittel		Hell		Dunkel		Mittel
6		Dunkel		Mittel		Hell		Dunkel		Mittel		Hell		Dunkel		Mittel		Hell
7	1	Dunkel	4	Mittel	9	Hell	9	Dunkel	13	Mittel	12	Hell	16	Dunkel	15	Mittel	17	Hell
8		Hell		Dunkel		Mittel		Hell		Dunkel		Mittel		Hell		Dunkel		Mittel
9		Mittel		Hell		Dunkel		Mittel		Hell		Dunkel		Mittel		Hell		Dunkel
10	5	Hell	8	Dunkel	7	Mittel	3	Hell	11	Dunkel	17	Mittel	10	Hell	14	Dunkel	14	Mittel
11		Dunkel		Mittel		Hell		Dunkel		Mittel		Hell		Dunkel		Mittel		Hell
12		Mittel		Hell		Dunkel		Mittel		Hell		Dunkel		Mittel		Hell		Dunkel
13	9	Mittel	1	Hell	6	Dunkel	8	Mittel	14	Hell	15	Dunkel	13	Mittel	10	Hell	10	Dunkel
14		Dunkel		Mittel		Hell		Dunkel		Mittel		Hell		Dunkel		Mittel		Hell
15		Hell		Dunkel		Mittel		Hell		Dunkel		Mittel		Hell		Dunkel		Mittel
16	4	Dunkel	2	Mittel	4	Hell	1	Dunkel	10	Mittel	16	Hell	15	Dunkel	12	Mittel	15	Hell
17		Mittel		Hell		Dunkel		Mittel		Hell		Dunkel		Mittel		Hell		Dunkel
18		Hell		Dunkel		Mittel		Hell		Dunkel		Mittel		Hell		Dunkel		Mittel
19	7	Hell	3	Dunkel	1	Mittel	6	Hell	12	Dunkel	11	Mittel	14	Hell	11	Dunkel	16	Mittel
20		Mittel		Hell		Dunkel		Mittel		Hell		Dunkel		Mittel		Hell		Dunkel
21		Dunkel		Mittel		Hell		Dunkel		Mittel		Hell		Dunkel		Mittel		Hell
22	3	Mittel	7	Hell	2	Dunkel	5	Mittel	15	Hell	10	Dunkel	17	Mittel	13	Hell	18	Dunkel
23		Hell		Dunkel		Mittel		Hell		Dunkel		Mittel		Hell		Dunkel		Mittel
24		Dunkel		Mittel		Hell		Dunkel		Mittel		Hell		Dunkel		Mittel		Hell
25	6	Dunkel	9	Mittel	3	Hell	4	Dunkel	18	Mittel	14	Hell	12	Dunkel	18	Mittel	12	Hell
26		Hell		Dunkel		Mittel		Hell		Dunkel		Mittel		Hell		Dunkel		Mittel
27		Mittel		Hell		Dunkel		Mittel		Hell		Dunkel		Mittel		Hell		Dunkel
28	12	Hell	16	Dunkel	10	Mittel	11	Hell	9	Dunkel	4	Mittel	2	Hell	8	Dunkel	3	Mittel
29		Dunkel		Mittel		Hell		Dunkel		Mittel		Hell		Dunkel		Mittel		Hell
30		Mittel		Hell		Dunkel		Mittel		Hell		Dunkel		Mittel		Hell		Dunkel
31	10	Mittel	15	Hell	17	Dunkel	17	Mittel	1	Hell	8	Dunkel	3	Mittel	3	Hell	2	Dunkel
32		Dunkel		Mittel		Hell		Dunkel		Mittel		Hell		Dunkel		Mittel		Hell
33		Hell		Dunkel		Mittel		Hell		Dunkel		Mittel		Hell		Dunkel		Mittel
34	11	Dunkel	14	Mittel	16	Hell	12	Dunkel	7	Mittel	6	Hell	5	Dunkel	1	Mittel	7	Hell
35		Mittel		Hell		Dunkel		Mittel		Hell		Dunkel		Mittel		Hell		Dunkel
36		Hell		Dunkel		Mittel		Hell		Dunkel		Mittel		Hell		Dunkel		Mittel
37	13	Hell	11	Dunkel	14	Mittel	16	Hell	4	Dunkel	3	Mittel	9	Hell	2	Dunkel	4	Mittel
38		Mittel		Hell		Dunkel		Mittel		Hell		Dunkel		Mittel		Hell		Dunkel
39		Dunkel		Mittel		Hell		Dunkel		Mittel		Hell		Dunkel		Mittel		Hell
40	17	Mittel	12	Hell	13	Dunkel	10	Mittel	8	Hell	7	Dunkel	4	Mittel	5	Hell	1	Dunkel
41		Hell		Dunkel		Mittel		Hell		Dunkel		Mittel		Hell		Dunkel		Mittel
42		Dunkel		Mittel		Hell		Dunkel		Mittel		Hell		Dunkel		Mittel		Hell
43	16	Dunkel	10	Mittel	18	Hell	15	Dunkel	6	Mittel	2	Hell	1	Dunkel	9	Mittel	9	Hell
44		Hell		Dunkel		Mittel		Hell		Dunkel		Mittel		Hell		Dunkel		Mittel
45		Mittel		Hell		Dunkel		Mittel		Hell		Dunkel		Mittel		Hell		Dunkel
46	14	Hell	18	Dunkel	15	Mittel	13	Hell	5	Dunkel	9	Mittel	8	Hell	6	Dunkel	5	Mittel
47		Dunkel		Mittel		Hell		Dunkel		Mittel		Hell		Dunkel		Mittel		Hell
48		Mittel		Hell		Dunkel		Mittel		Hell		Dunkel		Mittel		Hell		Dunkel
49	18	Mittel	13	Hell	11	Dunkel	14	Mittel	3	Hell	5	Dunkel	7	Mittel	4	Hell	8	Dunkel
50		Dunkel		Mittel		Hell		Dunkel		Mittel		Hell		Dunkel		Mittel		Hell
51		Hell		Dunkel		Mittel		Hell		Dunkel		Mittel		Hell		Dunkel		Mittel
52	15	Dunkel	17	Mittel	12	Hell	18	Dunkel	2	Mittel	1	Hell	6	Dunkel	7	Mittel	6	Hell
53		Mittel		Hell		Dunkel		Mittel		Hell		Dunkel		Mittel		Hell		Dunkel
54		Hell		Dunkel		Mittel		Hell		Dunkel		Mittel		Hell		Dunkel		Mittel

Tabelle D.4: Übersicht über die in Studie 2 verwendeten Randomisierung: Testpersonen 10 bis 18.

Zeit-punkt	Testpersonen und Leuchtdichteumgebung																	
	10		11		12		13		14		15		16		17		18	
	LB	Mon	LB	Mon	LB	Mon	LB	Mon	LB	Mon	LB	Mon	LB	Mon	LB	Mon	LB	Mon
1	10	Hell	14	Dunkel	12	Mittel	2	Hell	8	Dunkel	3	Mittel	1	Hell	7	Dunkel	6	Mittel
2		Mittel		Hell		Dunkel		Mittel		Hell		Dunkel		Mittel		Hell		Dunkel
3		Dunkel		Mittel		Hell		Dunkel		Mittel		Hell		Dunkel		Mittel		Hell
4	15	Mittel	10	Hell	14	Dunkel	4	Mittel	5	Hell	6	Dunkel	4	Mittel	6	Hell	7	Dunkel
5		Hell		Dunkel		Mittel		Hell		Dunkel		Mittel		Hell		Dunkel		Mittel
6		Dunkel		Mittel		Hell		Dunkel		Mittel		Hell		Dunkel		Mittel		Hell
7	17	Dunkel	11	Mittel	15	Hell	8	Dunkel	7	Mittel	8	Hell	2	Dunkel	3	Mittel	5	Hell
8		Hell		Dunkel		Mittel		Hell		Dunkel		Mittel		Hell		Dunkel		Mittel
9		Mittel		Hell		Dunkel		Mittel		Hell		Dunkel		Mittel		Hell		Dunkel
10	11	Hell	12	Dunkel	18	Mittel	1	Hell	6	Dunkel	7	Mittel	9	Hell	5	Dunkel	4	Mittel
11		Dunkel		Mittel		Hell		Dunkel		Mittel		Hell		Dunkel		Mittel		Hell
12		Mittel		Hell		Dunkel		Mittel		Hell		Dunkel		Mittel		Hell		Dunkel
13	12	Mittel	15	Hell	11	Dunkel	7	Mittel	4	Hell	5	Dunkel	7	Mittel	4	Hell	3	Dunkel
14		Dunkel		Mittel		Hell		Dunkel		Mittel		Hell		Dunkel		Mittel		Hell
15		Hell		Dunkel		Mittel		Hell		Dunkel		Mittel		Hell		Dunkel		Mittel
16	16	Dunkel	18	Mittel	13	Hell	3	Dunkel	1	Mittel	2	Hell	6	Dunkel	9	Mittel	9	Hell
17		Mittel		Hell		Dunkel		Mittel		Hell		Dunkel		Mittel		Hell		Dunkel
18		Hell		Dunkel		Mittel		Hell		Dunkel		Mittel		Hell		Dunkel		Mittel
19	13	Hell	17	Dunkel	10	Mittel	9	Hell	3	Dunkel	9	Mittel	5	Hell	1	Dunkel	8	Mittel
20		Mittel		Hell		Dunkel		Mittel		Hell		Dunkel		Mittel		Hell		Dunkel
21		Dunkel		Mittel		Hell		Dunkel		Mittel		Hell		Dunkel		Mittel		Hell
22	18	Mittel	13	Hell	17	Dunkel	5	Mittel	9	Hell	1	Dunkel	3	Mittel	8	Hell	2	Dunkel
23		Hell		Dunkel		Mittel		Hell		Dunkel		Mittel		Hell		Dunkel		Mittel
24		Dunkel		Mittel		Hell		Dunkel		Mittel		Hell		Dunkel		Mittel		Hell
25	14	Dunkel	16	Mittel	16	Hell	6	Dunkel	2	Mittel	4	Hell	8	Dunkel	2	Mittel	1	Hell
26		Hell		Dunkel		Mittel		Hell		Dunkel		Mittel		Hell		Dunkel		Mittel
27		Mittel		Hell		Dunkel		Mittel		Hell		Dunkel		Mittel		Hell		Dunkel
28	6	Hell	1	Dunkel	7	Mittel	15	Hell	16	Dunkel	13	Mittel	14	Hell	18	Dunkel	10	Mittel
29		Dunkel		Mittel		Hell		Dunkel		Mittel		Hell		Dunkel		Mittel		Hell
30		Mittel		Hell		Dunkel		Mittel		Hell		Dunkel		Mittel		Hell		Dunkel
31	5	Mittel	6	Hell	6	Dunkel	13	Mittel	11	Hell	10	Dunkel	15	Mittel	13	Hell	14	Dunkel
32		Dunkel		Mittel		Hell		Dunkel		Mittel		Hell		Dunkel		Mittel		Hell
33		Hell		Dunkel		Mittel		Hell		Dunkel		Mittel		Hell		Dunkel		Mittel
34	4	Dunkel	4	Mittel	8	Hell	11	Dunkel	17	Mittel	17	Hell	18	Dunkel	10	Mittel	18	Hell
35		Mittel		Hell		Dunkel		Mittel		Hell		Dunkel		Mittel		Hell		Dunkel
36		Hell		Dunkel		Mittel		Hell		Dunkel		Mittel		Hell		Dunkel		Mittel
37	1	Hell	2	Dunkel	1	Mittel	18	Hell	15	Dunkel	11	Mittel	10	Hell	12	Dunkel	17	Mittel
38		Mittel		Hell		Dunkel		Mittel		Hell		Dunkel		Mittel		Hell		Dunkel
39		Dunkel		Mittel		Hell		Dunkel		Mittel		Hell		Dunkel		Mittel		Hell
40	2	Mittel	8	Hell	3	Dunkel	10	Mittel	18	Hell	15	Dunkel	17	Mittel	16	Hell	16	Dunkel
41		Hell		Dunkel		Mittel		Hell		Dunkel		Mittel		Hell		Dunkel		Mittel
42		Dunkel		Mittel		Hell		Dunkel		Mittel		Hell		Dunkel		Mittel		Hell
43	7	Dunkel	5	Mittel	2	Hell	17	Dunkel	12	Mittel	14	Hell	13	Dunkel	11	Mittel	15	Hell
44		Hell		Dunkel		Mittel		Hell		Dunkel		Mittel		Hell		Dunkel		Mittel
45		Mittel		Hell		Dunkel		Mittel		Hell		Dunkel		Mittel		Hell		Dunkel
46	3	Hell	7	Dunkel	4	Mittel	12	Hell	10	Dunkel	16	Mittel	11	Hell	17	Dunkel	11	Mittel
47		Dunkel		Mittel		Hell		Dunkel		Mittel		Hell		Dunkel		Mittel		Hell
48		Mittel		Hell		Dunkel		Mittel		Hell		Dunkel		Mittel		Hell		Dunkel
49	9	Mittel	3	Hell	5	Dunkel	14	Mittel	13	Hell	12	Dunkel	16	Mittel	15	Hell	12	Dunkel
50		Dunkel		Mittel		Hell		Dunkel		Mittel		Hell		Dunkel		Mittel		Hell
51		Hell		Dunkel		Mittel		Hell		Dunkel		Mittel		Hell		Dunkel		Mittel
52	8	Dunkel	9	Mittel	9	Hell	16	Dunkel	14	Mittel	18	Hell	12	Dunkel	14	Mittel	13	Hell
53		Mittel		Hell		Dunkel		Mittel		Hell		Dunkel		Mittel		Hell		Dunkel
54		Hell		Dunkel		Mittel		Hell		Dunkel		Mittel		Hell		Dunkel		Mittel

Tabelle D.5: Übersicht über die in Studie 2 verwendeten Randomisierung: Testpersonen 19 bis 27.

Zeit-punkt	Testpersonen und Leuchtdichteumgebung																	
	19		20		21		22		23		24		25		26		27	
	LB	Mon	LB	Mon	LB	Mon	LB	Mon	LB	Mon	LB	Mon	LB	Mon	LB	Mon	LB	Mon
1	9	Hell	4	Dunkel	1	Hell	2	Dunkel	3	Mittel	4	Hell	5	Dunkel	6	Mittel	7	Hell
2		Mittel		Hell		Mittel		Hell		Dunkel		Mittel		Hell		Dunkel		Mittel
3		Dunkel		Mittel		Dunkel		Mittel		Hell		Dunkel		Mittel		Hell		Dunkel
4	7	Mittel	1	Hell	3	Mittel	1	Hell	2	Dunkel	9	Mittel	9	Hell	5	Dunkel	4	Mittel
5		Hell		Dunkel		Hell		Dunkel		Mittel		Hell		Dunkel		Mittel		Hell
6		Dunkel		Mittel		Dunkel		Mittel		Hell		Dunkel		Mittel		Hell		Dunkel
7	3	Dunkel	6	Mittel	5	Dunkel	5	Mittel	1	Hell	3	Dunkel	6	Mittel	9	Hell	8	Dunkel
8		Hell		Dunkel		Hell		Dunkel		Mittel		Hell		Dunkel		Mittel		Hell
9		Mittel		Hell		Mittel		Hell		Dunkel		Mittel		Hell		Dunkel		Mittel
10	4	Hell	2	Dunkel	9	Hell	3	Dunkel	8	Mittel	6	Hell	2	Dunkel	1	Mittel	3	Hell
11		Dunkel		Mittel		Dunkel		Mittel		Hell		Dunkel		Mittel		Hell		Dunkel
12		Mittel		Hell		Mittel		Hell		Dunkel		Mittel		Hell		Dunkel		Mittel
13	6	Mittel	8	Hell	2	Mittel	9	Hell	9	Dunkel	1	Mittel	4	Hell	3	Dunkel	2	Mittel
14		Dunkel		Mittel		Dunkel		Mittel		Hell		Dunkel		Mittel		Hell		Dunkel
15		Hell		Dunkel		Hell		Dunkel		Mittel		Hell		Dunkel		Mittel		Hell
16	8	Dunkel	5	Mittel	8	Dunkel	8	Mittel	5	Hell	2	Dunkel	7	Mittel	4	Hell	5	Dunkel
17		Mittel		Hell		Mittel		Hell		Dunkel		Mittel		Hell		Dunkel		Mittel
18		Hell		Dunkel		Hell		Dunkel		Mittel		Hell		Dunkel		Mittel		Hell
19	2	Hell	7	Dunkel	4	Hell	7	Dunkel	7	Mittel	8	Hell	8	Dunkel	8	Mittel	9	Hell
20		Mittel		Hell		Mittel		Hell		Dunkel		Mittel		Hell		Dunkel		Mittel
21		Dunkel		Mittel		Dunkel		Mittel		Hell		Dunkel		Mittel		Hell		Dunkel
22	1	Mittel	9	Hell	6	Mittel	6	Hell	4	Dunkel	7	Mittel	1	Hell	2	Dunkel	6	Mittel
23		Hell		Dunkel		Hell		Dunkel		Mittel		Hell		Dunkel		Mittel		Hell
24		Dunkel		Mittel		Dunkel		Mittel		Hell		Dunkel		Mittel		Hell		Dunkel
25	5	Dunkel	3	Mittel	7	Dunkel	4	Mittel	6	Hell	5	Dunkel	3	Mittel	7	Hell	1	Dunkel
26		Hell		Dunkel		Hell		Dunkel		Mittel		Hell		Dunkel		Mittel		Hell
27		Mittel		Hell		Mittel		Hell		Dunkel		Mittel		Hell		Dunkel		Mittel
28	17	Hell	17	Dunkel	18	Hell	11	Dunkel	12	Mittel	13	Hell	14	Dunkel	15	Mittel	15	Hell
29		Dunkel		Mittel		Dunkel		Mittel		Hell		Dunkel		Mittel		Hell		Dunkel
30		Mittel		Hell		Mittel		Hell		Dunkel		Mittel		Hell		Dunkel		Mittel
31	18	Mittel	16	Hell	16	Mittel	14	Hell	18	Dunkel	18	Mittel	11	Hell	12	Dunkel	10	Mittel
32		Dunkel		Mittel		Dunkel		Mittel		Hell		Dunkel		Mittel		Hell		Dunkel
33		Hell		Dunkel		Hell		Dunkel		Mittel		Hell		Dunkel		Mittel		Hell
34	16	Dunkel	12	Mittel	14	Dunkel	18	Mittel	14	Hell	14	Dunkel	13	Mittel	13	Hell	13	Dunkel
35		Mittel		Hell		Mittel		Hell		Dunkel		Mittel		Hell		Dunkel		Mittel
36		Hell		Dunkel		Hell		Dunkel		Mittel		Hell		Dunkel		Mittel		Hell
37	13	Hell	18	Dunkel	13	Hell	12	Dunkel	16	Mittel	12	Hell	15	Dunkel	10	Mittel	17	Hell
38		Mittel		Hell		Mittel		Hell		Dunkel		Mittel		Hell		Dunkel		Mittel
39		Dunkel		Mittel		Dunkel		Mittel		Hell		Dunkel		Mittel		Hell		Dunkel
40	11	Mittel	14	Hell	15	Mittel	15	Hell	13	Dunkel	16	Mittel	18	Hell	18	Dunkel	16	Mittel
41		Hell		Dunkel		Hell		Dunkel		Mittel		Hell		Dunkel		Mittel		Hell
42		Dunkel		Mittel		Dunkel		Mittel		Hell		Dunkel		Mittel		Hell		Dunkel
43	12	Dunkel	13	Mittel	10	Dunkel	17	Mittel	10	Hell	11	Dunkel	16	Mittel	14	Hell	14	Dunkel
44		Hell		Dunkel		Hell		Dunkel		Mittel		Hell		Dunkel		Mittel		Hell
45		Mittel		Hell		Mittel		Hell		Dunkel		Mittel		Hell		Dunkel		Mittel
46	14	Hell	15	Dunkel	12	Hell	13	Dunkel	17	Mittel	17	Hell	12	Dunkel	16	Mittel	18	Hell
47		Dunkel		Mittel		Dunkel		Mittel		Hell		Dunkel		Mittel		Hell		Dunkel
48		Mittel		Hell		Mittel		Hell		Dunkel		Mittel		Hell		Dunkel		Mittel
49	15	Mittel	10	Hell	11	Mittel	16	Hell	15	Dunkel	15	Mittel	10	Hell	17	Dunkel	11	Mittel
50		Dunkel		Mittel		Dunkel		Mittel		Hell		Dunkel		Mittel		Hell		Dunkel
51		Hell		Dunkel		Hell		Dunkel		Mittel		Hell		Dunkel		Mittel		Hell
52	10	Dunkel	11	Mittel	17	Dunkel	10	Mittel	11	Hell	10	Dunkel	17	Mittel	11	Hell	12	Dunkel
53		Mittel		Hell		Mittel		Hell		Dunkel		Mittel		Hell		Dunkel		Mittel
54		Hell		Dunkel		Hell		Dunkel		Mittel		Hell		Dunkel		Mittel		Hell

Tabelle D.6: Übersicht über die in Studie 2 verwendeten Randomisierung: Testpersonen 28 bis 36.

Zeit-punkt	Testpersonen und Leuchtdichteumgebung																	
	28		29		30		31		32		33		34		35		36	
	LB	Mon	LB	Mon	LB	Mon	LB	Mon	LB	Mon	LB	Mon	LB	Mon	LB	Mon	LB	Mon
1	8	Dunkel	10	Mittel	11	Hell	12	Dunkel	13	Mittel	14	Hell	15	Dunkel	16	Mittel	17	Hell
2		Hell		Dunkel		Mittel		Hell		Dunkel		Mittel		Hell		Dunkel		Mittel
3		Mittel		Hell		Dunkel		Mittel		Hell		Dunkel		Mittel		Hell		Dunkel
4	4	Hell	12	Dunkel	14	Mittel	16	Hell	18	Dunkel	12	Mittel	13	Hell	10	Dunkel	12	Mittel
5		Dunkel		Mittel		Hell		Dunkel		Mittel		Hell		Dunkel		Mittel		Hell
6		Mittel		Hell		Dunkel		Mittel		Hell		Dunkel		Mittel		Hell		Dunkel
7	3	Mittel	17	Hell	15	Dunkel	14	Mittel	16	Hell	10	Dunkel	10	Mittel	12	Hell	11	Dunkel
8		Dunkel		Mittel		Hell		Dunkel		Mittel		Hell		Dunkel		Mittel		Hell
9		Hell		Dunkel		Mittel		Hell		Dunkel		Mittel		Hell		Dunkel		Mittel
10	2	Dunkel	14	Mittel	18	Hell	13	Dunkel	15	Mittel	16	Hell	12	Dunkel	13	Mittel	15	Hell
11		Mittel		Hell		Dunkel		Mittel		Hell		Dunkel		Mittel		Hell		Dunkel
12		Hell		Dunkel		Mittel		Hell		Dunkel		Mittel		Hell		Dunkel		Mittel
13	9	Hell	16	Dunkel	12	Mittel	10	Hell	17	Dunkel	18	Mittel	11	Hell	17	Dunkel	14	Mittel
14		Mittel		Hell		Dunkel		Mittel		Hell		Dunkel		Mittel		Hell		Dunkel
15		Dunkel		Mittel		Hell		Dunkel		Mittel		Hell		Dunkel		Mittel		Hell
16	6	Mittel	11	Hell	13	Dunkel	17	Mittel	12	Hell	11	Dunkel	18	Mittel	18	Hell	16	Dunkel
17		Hell		Dunkel		Mittel		Hell		Dunkel		Mittel		Hell		Dunkel		Mittel
18		Dunkel		Mittel		Hell		Dunkel		Mittel		Hell		Dunkel		Mittel		Hell
19	5	Dunkel	13	Mittel	10	Hell	15	Dunkel	14	Mittel	15	Hell	14	Dunkel	11	Mittel	18	Hell
20		Hell		Dunkel		Mittel		Hell		Dunkel		Mittel		Hell		Dunkel		Mittel
21		Mittel		Hell		Dunkel		Mittel		Hell		Dunkel		Mittel		Hell		Dunkel
22	7	Hell	18	Dunkel	16	Mittel	11	Hell	11	Dunkel	17	Mittel	17	Hell	14	Dunkel	10	Mittel
23		Dunkel		Mittel		Hell		Dunkel		Mittel		Hell		Dunkel		Mittel		Hell
24		Mittel		Hell		Dunkel		Mittel		Hell		Dunkel		Mittel		Hell		Dunkel
25	1	Mittel	15	Hell	17	Dunkel	18	Mittel	10	Hell	13	Dunkel	16	Mittel	15	Hell	13	Dunkel
26		Dunkel		Mittel		Hell		Dunkel		Mittel		Hell		Dunkel		Mittel		Hell
27		Hell		Dunkel		Mittel		Hell		Dunkel		Mittel		Hell		Dunkel		Mittel
28	18	Dunkel	9	Mittel	1	Hell	3	Dunkel	4	Mittel	5	Hell	5	Dunkel	8	Mittel	9	Hell
29		Mittel		Hell		Dunkel		Mittel		Hell		Dunkel		Mittel		Hell		Dunkel
30		Hell		Dunkel		Mittel		Hell		Dunkel		Mittel		Hell		Dunkel		Mittel
31	11	Hell	3	Dunkel	7	Mittel	7	Hell	3	Dunkel	9	Mittel	9	Hell	1	Dunkel	2	Mittel
32		Mittel		Hell		Dunkel		Mittel		Hell		Dunkel		Mittel		Hell		Dunkel
33		Dunkel		Mittel		Hell		Dunkel		Mittel		Hell		Dunkel		Mittel		Hell
34	15	Mittel	2	Hell	9	Dunkel	8	Mittel	6	Hell	1	Dunkel	2	Mittel	9	Hell	7	Dunkel
35		Hell		Dunkel		Mittel		Hell		Dunkel		Mittel		Hell		Dunkel		Mittel
36		Dunkel		Mittel		Hell		Dunkel		Mittel		Hell		Dunkel		Mittel		Hell
37	13	Dunkel	6	Mittel	6	Hell	5	Dunkel	8	Mittel	7	Hell	7	Dunkel	5	Mittel	4	Hell
38		Hell		Dunkel		Mittel		Hell		Dunkel		Mittel		Hell		Dunkel		Mittel
39		Mittel		Hell		Dunkel		Mittel		Hell		Dunkel		Mittel		Hell		Dunkel
40	14	Hell	7	Dunkel	3	Mittel	6	Hell	1	Dunkel	6	Mittel	8	Hell	7	Dunkel	5	Mittel
41		Dunkel		Mittel		Hell		Dunkel		Mittel		Hell		Dunkel		Mittel		Hell
42		Mittel		Hell		Dunkel		Mittel		Hell		Dunkel		Mittel		Hell		Dunkel
43	10	Mittel	4	Hell	8	Dunkel	9	Mittel	7	Hell	3	Dunkel	1	Mittel	3	Hell	6	Dunkel
44		Dunkel		Mittel		Hell		Dunkel		Mittel		Hell		Dunkel		Mittel		Hell
45		Hell		Dunkel		Mittel		Hell		Dunkel		Mittel		Hell		Dunkel		Mittel
46	16	Dunkel	1	Mittel	2	Hell	1	Dunkel	5	Mittel	4	Hell	6	Dunkel	2	Mittel	3	Hell
47		Mittel		Hell		Dunkel		Mittel		Hell		Dunkel		Mittel		Hell		Dunkel
48		Hell		Dunkel		Mittel		Hell		Dunkel		Mittel		Hell		Dunkel		Mittel
49	12	Hell	5	Dunkel	4	Mittel	2	Hell	9	Dunkel	8	Mittel	4	Hell	6	Dunkel	1	Mittel
50		Mittel		Hell		Dunkel		Mittel		Hell		Dunkel		Mittel		Hell		Dunkel
51		Dunkel		Mittel		Hell		Dunkel		Mittel		Hell		Dunkel		Mittel		Hell
52	17	Mittel	8	Hell	5	Dunkel	4	Mittel	2	Hell	2	Dunkel	3	Mittel	4	Hell	8	Dunkel
53		Hell		Dunkel		Mittel		Hell		Dunkel		Mittel		Hell		Dunkel		Mittel
54		Dunkel		Mittel		Hell		Dunkel		Mittel		Hell		Dunkel		Mittel		Hell

Anhang E: Studie 2 - Auswertung und Ergebnis

Reduktion der weiter zu untersuchenden Maße

Analyse der Faktorenstruktur

Die Datenreduktion mittels der Analyse der Faktorenstruktur wurde auf Basis der Regressionsdatei durchgeführt. Es wurde eine Analyse der Faktorenstruktur für die verwendeten subjektiven Maße (Fragebögen) (Tabelle E.1) und eine für die verwendeten objektiven Maße (Leistungsmaße) (Tabelle E.2) durchgeführt.

Tabelle E.1: Analyse der Faktorenstruktur der subjektiven Maße

Rotierte Komponentenmatrix[a]					
Item	Komponente				
	Visuelle Leistungs-	Anstrengung			Motivation bei
desk_hell	-,125	-,193	-,139	,926	-,060
fröhlich_trist	,288	-,381	,795	,274	,028
hell_dunkel	,108	-,202	,574	,735	-,011
KLT_Mot	,227	,126	-,077	-,206	,767
KLT_Schw	-,044	,809	-,213	-,215	,309
visLeistat_Erm	-,905	,114	-,297	,055	-,117
visLeistat_Leist	,895	-,145	,203	,039	,188
visLeistat_Mot	,891	-,150	,260	,107	,183
visLeistat_Weitera	,872	-,082	,336	-,237	,134
monitor_hell	,881	,075	-,246	,276	,033
BVA_Erfolg	,143	-,415	,271	,215	,539
BVA_geistAnstr	-,361	,612	-,111	,282	-,210
BVA_Mot	,564	,167	,043	,083	,679
BVA_Schw	-,198	,769	-,194	,076	-,242
visErm	-,876	,288	-,041	,170	-,130
visErmhyp	-,923	,220	-,027	,124	-,162
wand_hell	,214	-,289	,888	-,209	,024
KLT_Erfolg	-,012	-,718	,225	,300	,011
KLT_geistAnstr	-,160	,812	-,059	-,180	,247
Extraktionsmethode: Hauptkomponentenanalyse.					
a. Die Rotation ist in 7 Iterationen konvergiert.					

Tabelle E.2: Analyse der Faktorenstruktur der objektiven Maße.

Rotierte Komponentenmatrix[a]			
	Komponente		
	1	2	3
BVA_bearbeitet	-,139	,207	,853
BVA_Fehler	-,701	,186	,238
KLT_bearbeitet	,861	,219	,218
KLT_Fehler	,046	-,927	,076
Extraktionsmethode: Hauptkomponentenanalyse.			
a. Die Rotation ist in 6 Iterationen konvergiert.			

Für die subjektiven Maße zeigten sich 3 Faktoren. Die Reliabilität kann für die visuelle Leistungsatmosphäre und die Anstrengung als exzellent beziehungsweise

gut angegeben werden, für den Faktor Motivation jedoch nur als fragwürdig (Tabelle E.3).

Tabelle E.3: Dimensionsreduzierung auf drei zugrundeliegende Faktoren der Abfragen sowie die resultierenden Reliabilitäten.

Faktor	**Cronbachs Alpha**	**Zusammensetzung**
Visuelle Leistungsatmosphäre und visuelle Ermüdung	0,97	LP Ermüdung, LP Weiterarbeiten, LP Leistungsförderung, LP Motivation, visuelle Ermüdung und hypothetische visuelle Ermüdung
Anstrengung bei Aufgabenbearbeitung	0,84	KLT Schwierigkeiten, BVA geistige Anstrengung, BVA Schwierigkeiten, KLT Erfolg, KLT geistige Anstrengung
Motivation bei Aufgabenbearbeitung	0,63	KLT Motivation, BVA Erfolg, BVA Motivation

Auf die Einzelitems der Faktoren und die Einzelitems, welche nicht eindeutig zuordenbar waren, wird nicht eingegangen. Bei den Leistungsdaten zeigte die Analyse der Faktorenstruktur kein eindeutiges Bild. Die Zahl der Fehler und der bearbeiteten Teilaufgaben wird zunächst getrennt weiter betrachtet.

Regression zwischen den identifizierten Faktoren und den Parametern der Leuchtdichteumgebung

Zur generellen Überprüfung der Sensibilität der einzelnen Maße wurde eine lineare und quadratische Regression zwischen den Parametern der Leuchtdichteumgebung und den reduzierten Maßen durchgeführt. Die Bestimmtheitsmaße für die untersuchten Zusammenhänge sind in Tabelle E.4 zu sehen.

Tabelle E.4: Zusammenstellung der Korrelationskoeffizienten für den Einfluss der einzelnen Parameter der Leuchtdichteumgebung.

	Art des	Parameter der Leuchtdichteumgebung					
Maß		L_M	L_A	L_W	M/W	M/A	W/A
BVA Fehler	Lin	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	quad	0,05	0,01	0,06	0,00	0,01	0,01
BVA bearbeitet	Lin	0,01	0,01	0,04	0,04	0,01	0,06
	quad	0,08	0,11	0,14	0,04	0,09	0,09
KLT Fehler	Lin	0,00	0,03	0,00	0,00	0,02	0,00
	quad	0,01	0,03	0,01	0,02	0,03	0,08
KLT bearbeitet	Lin	0,0	0,11	0,16	0,14	0,04	0,03
	quad	0,08	0,11	0,17	0,16	0,11	0,03
Fak_Reg_LA_visErm	Lin	0,62	0,03	0,08	0,01	0,35	0,18
	quad	0,64	0,04	0,07	0,02	0,35	0,18
Fak_Reg_Anstr	Lin	0,02	0,07	0,30	0,03	0,09	0,03
	quad	0,07	0,28	0,30	0,24	0,13	0,04
Fak_Reg_Mot	Lin	0,19	0,01	0,01	0,01	0,14	0,04
	quad	0,22	0,03	0,02	0,01	0,15	0,05

Unter den Leistungsmaßen zeigt die Fehlerzahl bei beiden Aufgabentypen kaum Beeinflussung durch die untersuchten Parameter und muss nachfolgend nicht mehr weiter untersucht werden. Die Anzahl der bearbeiteten Teilaufgaben des KLT hat eine Abhängigkeit von L_W und L_A. Diese Abhängigkeit ist dabei stärker als die vergleichbare der BVA. Zusätzlich ergibt sich für die Anzahl der bearbeiteten Teilaufgaben des KLT auch eine Abhängigkeit gegenüber M/W und M/A. Des Weiteren ist der KLT repräsentativer für Büroarbeit, da die Konzentrationsfähigkeit eine zugrundeliegende Fähigkeit für die Wissensarbeit und die Büroarbeite darstellt [149], [168]. Als Leistungsmaß geht deswegen die Anzahl der bearbeiteten Teilaufgaben des KLT in die weitere Betrachtung mit ein.

Die Anstrengung bei der Aufgabenbearbeitung hängt von L_W und L_A und darüber hinaus auch von M/W und M/A ab. Die visuelle Leistungsatmosphäre und Motivation während der Aufgabenbearbeitung werden in starkem Maß von L_M beeinflusst, jedoch auch von L_W sowie M/A.

In die nachfolgende Betrachtung sollen alle drei subjektiven Maße und die Anzahl der bearbeiteten Teilaufgaben des KLT übernommen werden. Die betrachteten Faktoren und die Anzahl der bearbeiteten Teilaufgaben des KLT korrelieren teilweise miteinander. Eine positive visuelle Leistungsatmosphäre geht einher mit einer hohen Motivation und einer geringen Anstrengung bei der Aufgabenbearbeitung. Ist die Anstrengung bei der Aufgabenbearbeitung gering, so steigt die Leis-

tung beim Konzentrations-Leistungs-Test. Die Korrelationen zwischen den Maßen sind in Tabelle E.4 dargestellt.

Tabelle E.5: Korrelationen der zu untersuchenden Faktoren. Es sind nur die signifikanten Zusammenhänge angegeben.

Korrelation zwischen den betrachteten Maßen	Visuelle Leistungsatmosphäre	Anstrengung bei Aufgabenbearbeitung	Motivation bei Aufgaben-bearbeitung	Anzahl der bearbeiteten Teilaufgaben des KLT
Visuelle Leistungsatmosphäre	1,00	-0,35	0,56	
Anstrengung bei Aufgabenbearbeitung		1,00		-0,60
Motivation bei Aufgabenbearbeitung			1,00	
Anzahl der bearbeiteten Teilaufgaben des KLT				1,00

Auspartialisierte Maße

Übersicht über die auspartialisierten Maße bei der visuellen Leistungsatmosphäre, Motivation bei der Aufgabenbearbeitung, Anstrengung bei der Aufgabenbearbeitung und Anzahl der bearbeiteten Teilaufgaben des Konzentrations-Leistungs-Tests.

Visuelle Leistungsatmosphäre

L_W: wahrgenommene Arbeitsflächenhelligkeit
M/W: Urteil zur Achse „fröhlich-trist“, der empfundene Erfolg bei der BVA-Aufgabe
M/A: empfundene Schwierigkeit bei der KLT-Aufgabe, der empfundene Erfolg bei der KLT-Aufgabe
Max/Min: empfundene Monitorhelligkeit, die geistige Anstrengung bei der BVA-Aufgabe, die Motivation bei der BVA-Aufgabe

Motivation

W/A: empfundene Leistungsförderung im Raum, die Schwierigkeiten bei der KLT-Aufgabe
Max/Min: empfundene Leistungsförderung im Raum, die Schwierigkeiten bei der KLT-Aufgabe

Anstrengung

L_W: hypothetische visuelle Ermüdung und die Motivation bei der BVA-Aufgabe
L_A: Erfolgsempfinden bei der KLT-Aufgabe, die empfundene Monitorhelligkeit, die empfundene Wandhelligkeit, die visuelle Ermüdung

Anzahl der bearbeiteten Teilaufgaben des Konzentrations-Leistungs-Tests

L_W: Fehleranzahl bei der BVA
Max/Min: Schwierigkeiten bei der KLT-Aufgabe, die Fehlerzahl bei der BVA-Aufgabe

Moderatoranalyse zum Einfluss des Alters

Die Gesamtgruppe der Testpersonen wurde nach einem Mediansplit in zwei Altersgruppen aufgeteilt. Die Details der entstehenden Gruppen sind in Tabelle E.6 dargestellt.

Tabelle E.6: Aufteilung der Gesamtzahl der Testpersonen auf zwei Altersgruppen.

Gruppe	Anzahl	Geschlecht		Alter			
		m	w	MW	SD	Median	Spannweite
Alle	36	25	11	27,05	4,74	25,5	21 - 40
Jung	18	10	8	23,22	1,52	24	21 - 25
Alt	18	15	3	30,89	3,60	30	26 - 40

Es wird die Moderatoranalyse in Tabelle E.7 nur für die Maße dargestellt bei denen das Alter Einfluss nahm.

Tabelle E.7: Moderatoranalyse der sensiblen Maße.

Maß	Tests der Innersubjekteffekte					
	Faktor	df		F	p	η_p^2
Anstrengung	Leuchtdichteumgebung * Alter	Angenommene Sphärizität	53	1,53	0,01	0,05
		Greenhouse-Geisser	6,88	1,53	0,16	0,05
KLT Anzahl	Leuchtdichteumgebung * Alter	Angenommene Sphärizität	53	1,51	0,01	0,05
		Greenhouse-Geisser	9,61	1,51	0,10	0,05

Auswertung der übrigen Maße

Es werden nur die signifikanten oder tendenziellen Einflüsse nachfolgend aufgeführt.

Motivation bei der Aufgabenbearbeitung

Optimierung: W/A

Zwischen W/A und der Motivation während der Aufgabenbearbeitung ergibt sich ein linearer tendenzieller ($F(1,52) = 3,00$, $R^2 = 0,05$, $p = 0,09$) und ein quadratischer signifikanter ($F(2,51) = 3,15$, $R^2 = 0,11$, $p = 0,05$) Zusammenhang. Beide Zusammenhänge klären nur einen geringen Teil der Varianz auf. Geht man von dem stärkeren quadratischen Zusammenhang aus, so ist die Motivation besonders gering, wenn W/A bei 0,64/1 liegt, wie in Bild E.1. Der Unsicherheitsbereich liegt zwischen 0,12/1 und 1,85/1. Höhere und niedrigere Werte führen mit hoher Wahrscheinlichkeit zu einer gesteigerten Motivation bei der Aufgabenbearbeitung. In Studie 1 führten Leuchtdichteverhältnisse im Bereich von 0,64/1 generell zu einer positiven Bewertung durch die Testpersonen.

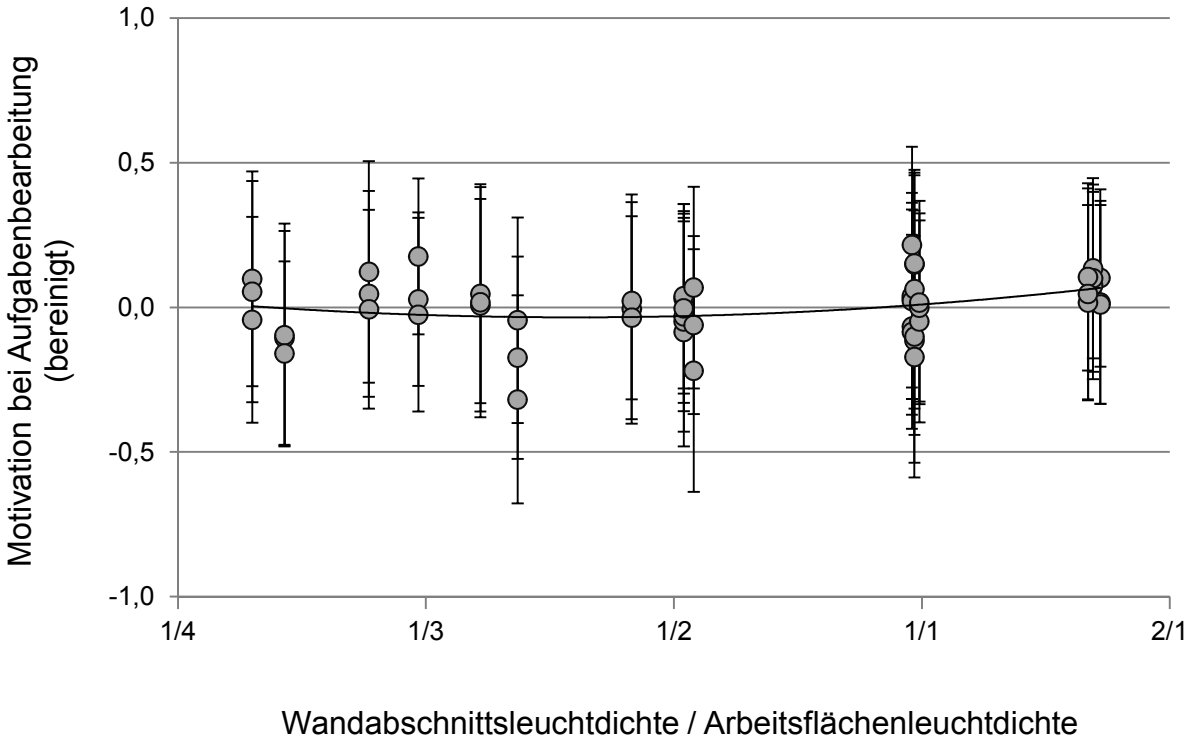


Bild E.1: Bereinigte Motivation bei Aufgabenbearbeitung in Abhängigkeit des Leuchtdichteverhältnisses zwischen Wandabschnitt und Arbeitsfläche. Der Fehlerbalken zeigt das 95 % Konfidenzintervall des Mittelwerts.

Optimierung: Max/Min

Für Max/Min besteht ein schwacher tendenzieller linearer Zusammenhang ($F(1,52) = 2,91$, $R^2 = 0,05$, $p = 0,09$). Die Motivation nimmt ab, wenn Max/Min steigt, wie in Bild E.2 zu sehen.

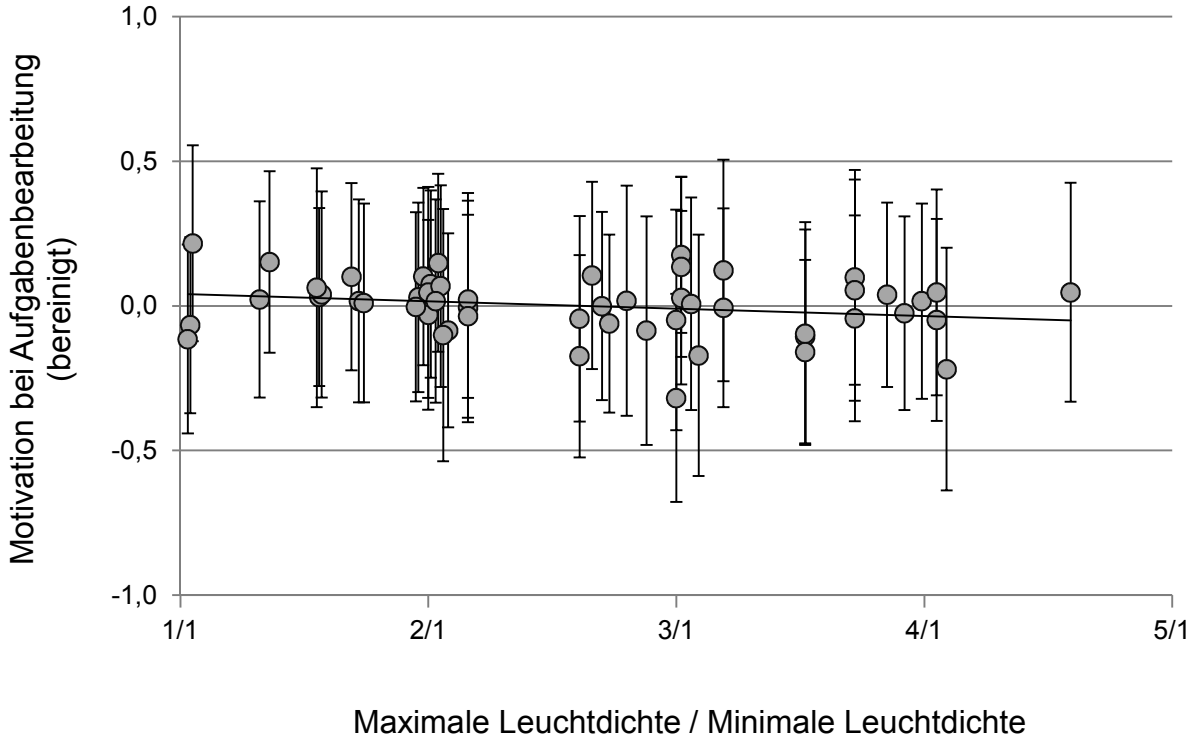


Bild E.2: Bereinigte Motivation bei Aufgabenbearbeitung in Abhängigkeit des Verhältnisses zwischen minimaler und maximaler Leuchtdichte der Leuchtdichteumgebung. Der Fehlerbalken zeigt das 95 % Konfidenzintervall des Mittelwerts.

Varianzanalyse

Motivation bei der Aufgabenbearbeitung

Die Monitoreinstellung nimmt signifikanten Einfluss auf die Motivation bei der Aufgabenbearbeitung ($F(1,48, 47,19) = 4,31$, $p = 0,02$, $\eta_p^2 = 0,12$), wie in Bild E.3 zu sehen. Nach Mittelung der Lichtbedingungen ist die Motivation bei ME Hell (MW = 1,00, SD = 1,13) signifikant höher ist als bei ME Dunkel (MW = 0,86, SD = 1,14) ($t(35) = 3,15$, $p < 0,01$). Auch ME Mittel (MW = 0,97, SD = 1,11) führt zu einer signifikant höheren Motivation als ME Dunkel ($t(35) = 2,09$, $p = 0,04$).

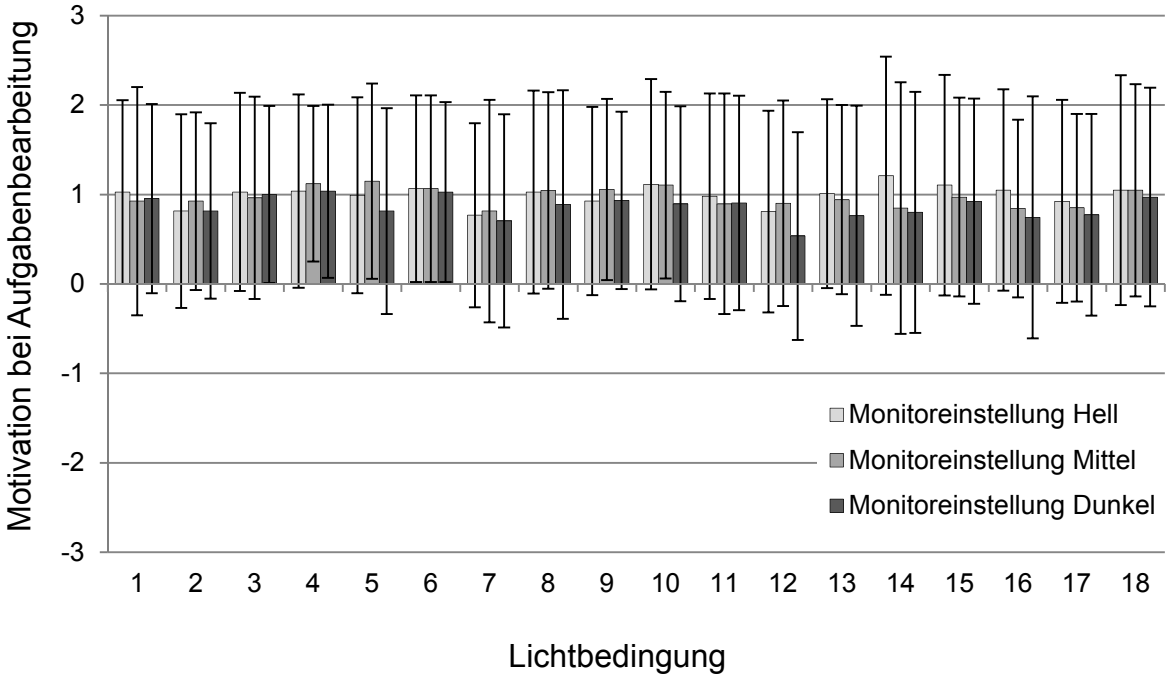


Bild E.3: Motivation bei Aufgabenbearbeitung in Abhängigkeit der Leuchtdichteumgebung. Der Fehlerballen stellt die Standardabweichung dar.

Anstrengung bei der Aufgabenbearbeitung

Optimierung: L_W

L_W zeigt einen linearen signifikanten Einfluss auf die Anstrengung bei der Aufgabenbearbeitung ($F(1,52) = 9{,}97$, $R^2 = 0{,}16$, $p < 0{,}01$). Steigt L_W, so sinkt die Anstrengung der Testpersonen. Dieser Zusammenhang ist in Bild E.4 dargestellt.

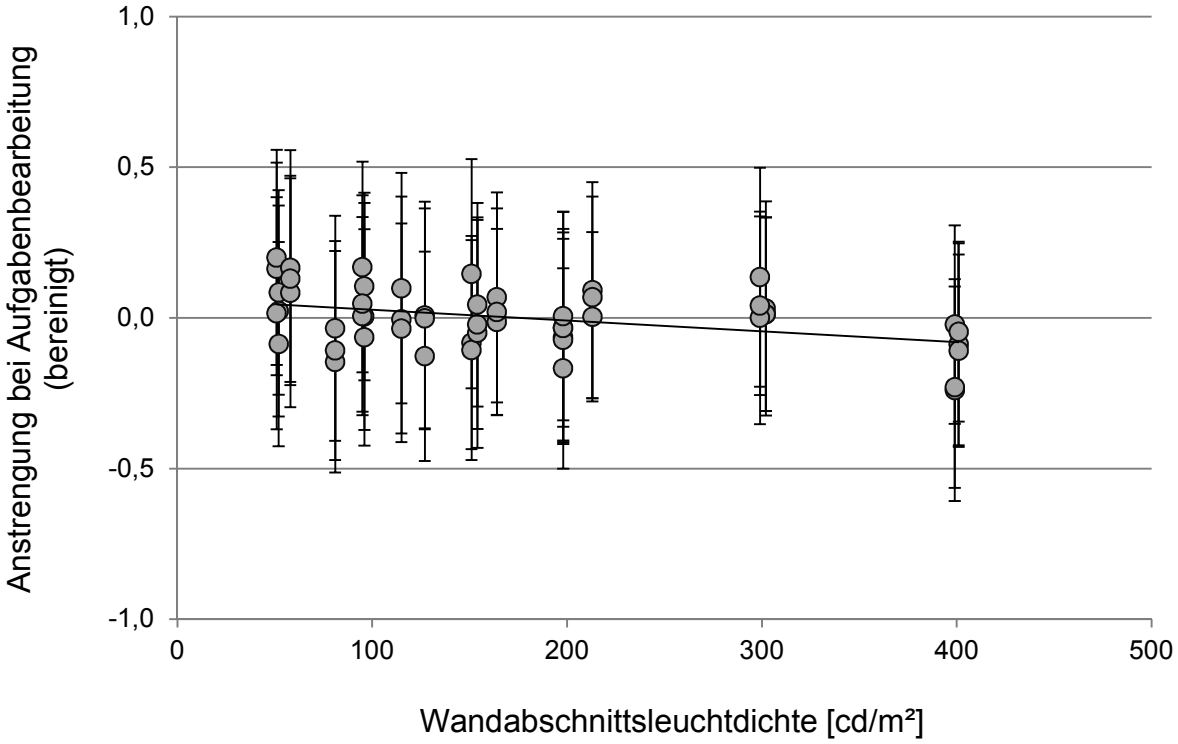


Bild E.4: Bereinigte Anstrengung bei Aufgabenbearbeitung in Abhängigkeit der Wandabschnittsleuchtdichte. Der Fehlerbalken zeigt das 95 % Konfidenzintervall des Mittelwerts.

Optimierung: L_A

Auch L_A beeinflusst die Anstrengung bei der Aufgabenbearbeitung. Es kann sowohl ein tendenzieller linearer ($F(1,52) = 3,28$, $R^2 = 0,06$, $p = 0,08$) als auch ein signifikanter quadratischer ($F(2,51) = 3,25$, $R^2 = 0,11$, $p = 0,05$) Zusammenhang gezeigt werden. Beide Annäherungen können nur einen geringen Teil der Varianz aufklären. Nach dem quadratischen Verlauf ist die maximale Anstrengung bei einer L_A von 219 cd/m^2 erreicht, danach nimmt die Anstrengung ab. Der Unsicherheitsbereich liegt zwischen 1 cd/m^2 und 437 cd/m^2. Höhere Werte als 437 cd/m^2 führen mit hoher Wahrscheinlichkeit zu einer reduzierten Anstrengung. Der Zusammenhang ist in Bild E.5 dargestellt.

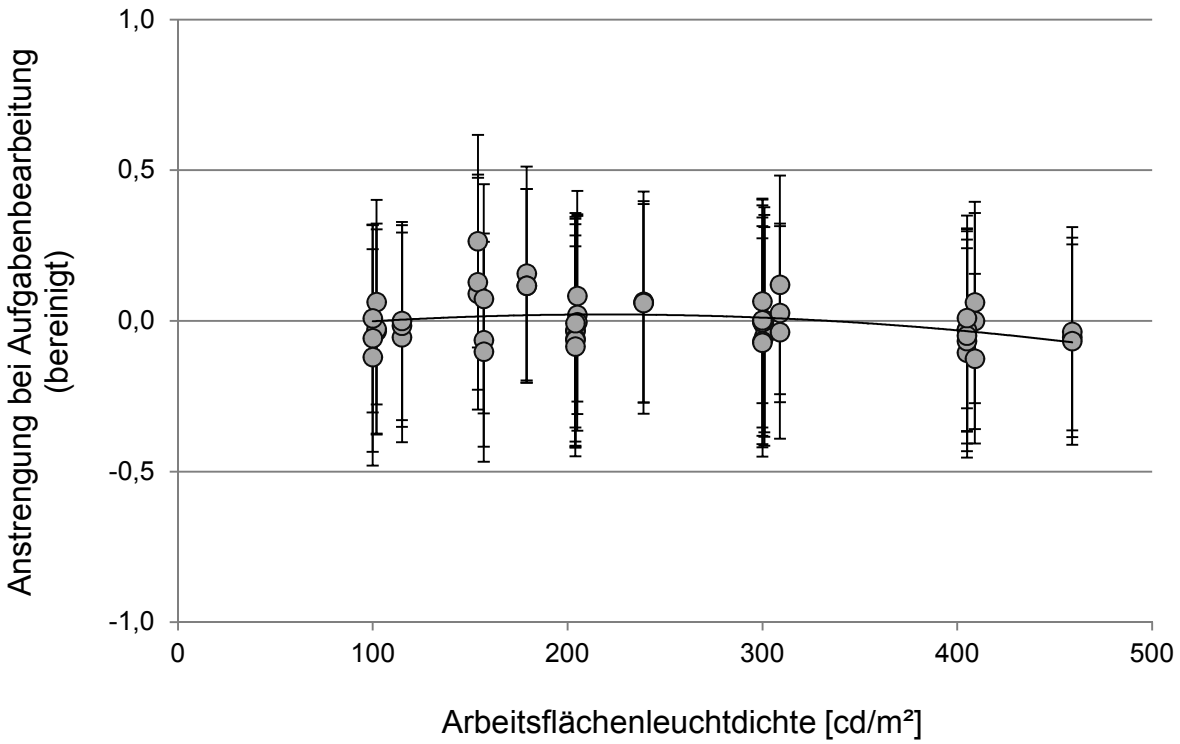


Bild E.5: Bereinigte Anstrengung bei Aufgabenbearbeitung in Abhängigkeit der Arbeitsflächenleuchtdichte. Der Fehlerbalken zeigt das 95 % Konfidenzintervall des Mittelwerts.

Insgesamt kann davon ausgegangen werden, dass L_W den stärkeren Einfluss auf die empfundene Anstrengung hat.

Varianzanalyse

Bei der Anstrengung zeigt nur die Lichtbedingung einen signifikanten Einfluss ($F(4{,}01, 128{,}35) = 4{,}33$, $p < 0{,}01$, $\eta_p^2 = 0{,}12$), zu sehen ist dies in Bild E.6.

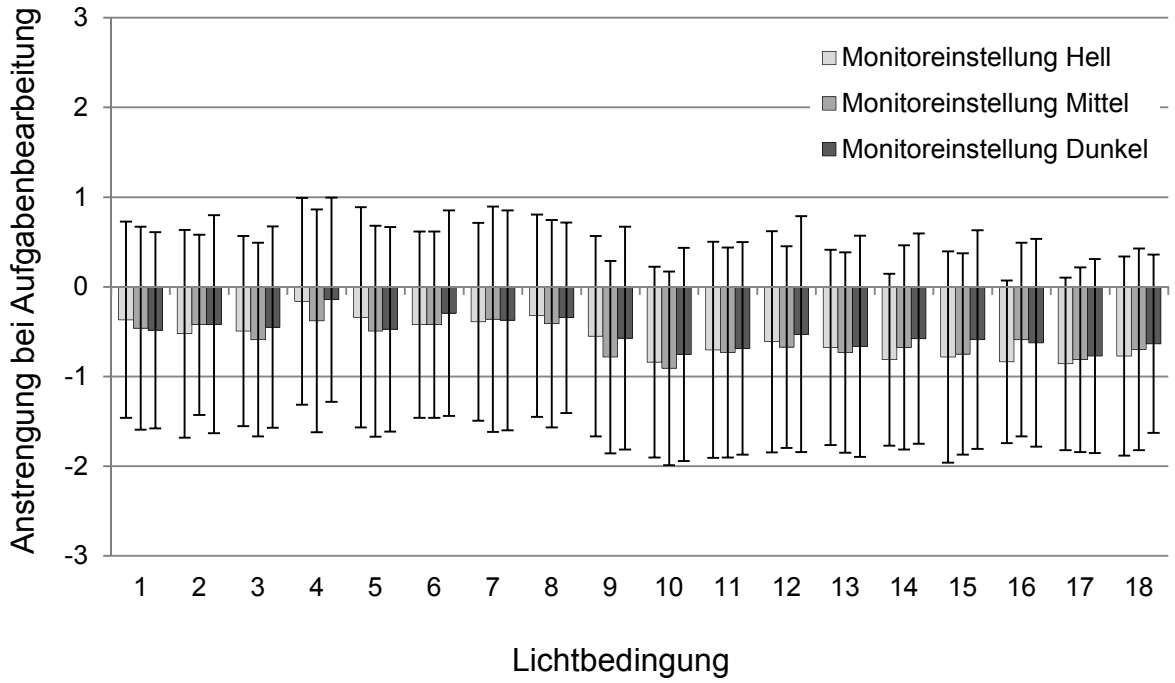


Bild E.6: Anstrengung bei Aufgabenbearbeitung in Abhängigkeit der Leuchtdichteumgebung. Der Fehlerballen stellt die Standardabweichung dar.

Anzahl der bearbeiteten Teilaufgaben des Konzentrations-Leistungs-Tests

Optimierung: L_W

Es lässt sich sowohl ein signifikanter linearer ($F(1,52) = 5,06$, $R^2 = 0,09$, $p = 0,03$) als auch ein tendenzieller quadratischer ($F(2,51) = 2,90$, $R^2 = 0,10$, $p = 0,06$) Zusammenhang zwischen L_W und der Zahl der bearbeiteten Teilaufgaben des KLT nachweisen. Steigt L_W, so steigt auch die Anzahl der bearbeiteten Aufgaben. Für den quadratischen Zusammenhang können die meisten Teilaufgaben bei einer L_W von 356 cd/m^2 bearbeitet werden. In Bild E.7 ist der Zusammenhang dargestellt. Der Unsicherheitsbereich liegt zwischen 44 cd/m^2 und 668 cd/m^2. Höhere und niedrigere Werte führen mit hoher Wahrscheinlichkeit zu einer reduzierten Leistung beim KLT.

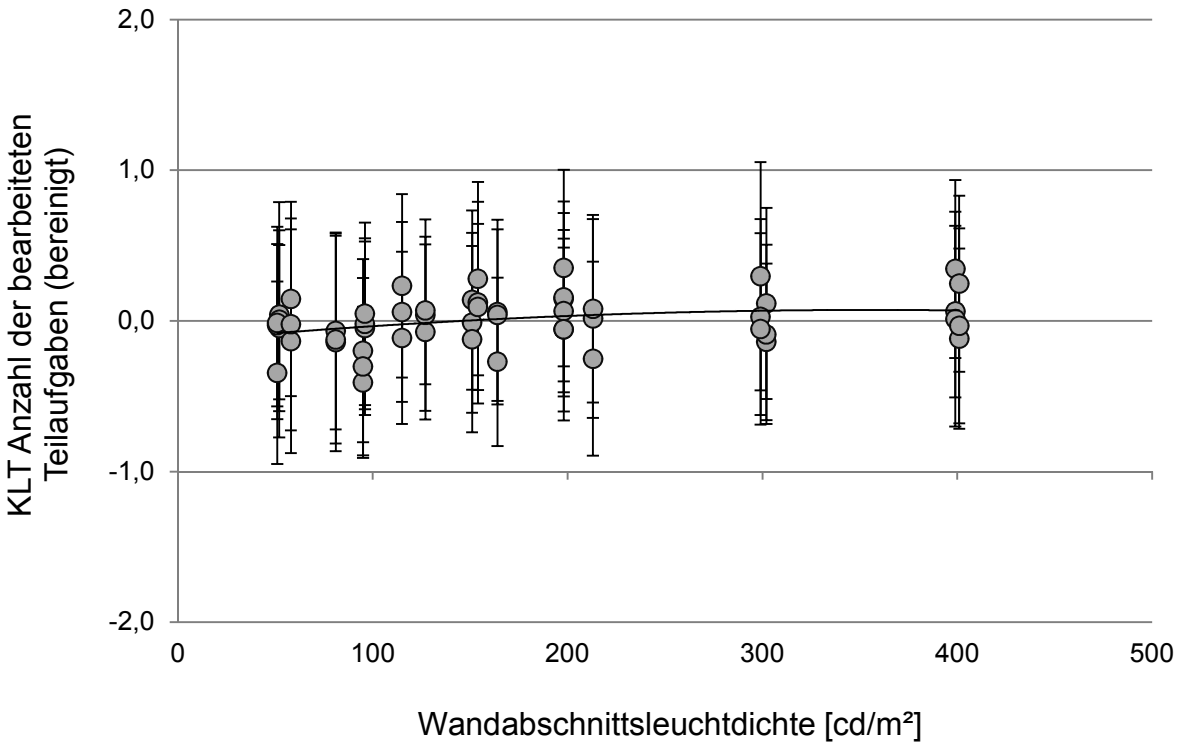


Bild E.7: Bereinigte Anzahl der bearbeiteten Teilaufgaben des Konzentrations-Leistungs-Tests in Abhängigkeit der Wandabschnittsleuchtdichte. Der Fehlerbalken zeigt das 95 % Konfidenzintervall des Mittelwerts.

Optimierung: Max/Min

Zwischen Max/Min und der Zahl der bearbeiteten Teilaufgaben des KLT besteht ein signifikanter quadratischer ($F(2,51) = 4,63$, $R^2 = 0,15$, $p = 0,01$) Zusammenhang. Bei sehr gleichmäßigen und sehr ungleichmäßigen Leuchtdichten der Leuchtdichteumgebung sinkt die Zahl der bearbeiteten Aufgaben. Die meisten Teilaufgaben werden bearbeitet, wenn Max/Min bei 2,72/1 liegt. Der Verlauf der Anzahl der bearbeiteten Teilaufgaben ist in zu Bild E.8 sehen. Der Unsicherheitsbereich liegt zwischen 1,26/1 und 4,18/1. Höhere und niedrigere Werte führen mit hoher Wahrscheinlichkeit zu einer reduzierten Leistung beim KLT.

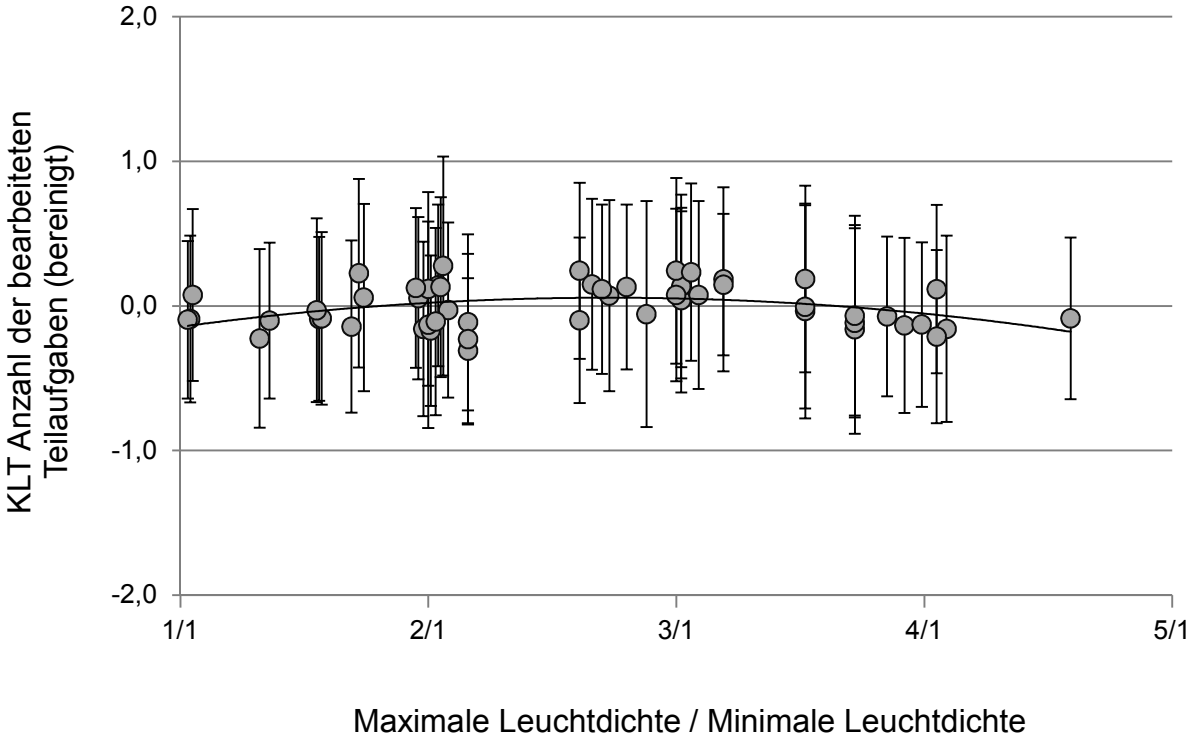


Bild E.8: Bereinigte Anzahl der bearbeiteten Teilaufgaben des Konzentrations-Leistungs-Tests in Abhängigkeit des Verhältnisses zwischen minimaler und maximaler Leuchtdichte der Leuchtdichteumgebung. Der Fehlerbalken zeigt das 95 % Konfidenzintervall des Mittelwerts.

Varianzanalyse

Die Monitoreinstellung nimmt tendenziell Einfluss auf die Zahl der bearbeiteten Teilaufgaben des KLT ($F(2,66) = 2,80$, $p = 0,07$, $\eta_p^2 = 0,08$), dargestellt ist dies in Bild E.9. Bei Mittelung der 18 Lichtbedingungen für die Monitoreinstellungen zeigt sich, dass bei ME Mittel (MW = 5,78, SD = 2,05) mehr Aufgaben bearbeitet werden können als bei ME Hell (MW = 5,66, SD = 1,96) und Dunkel (MW = 5,68, SD = 1,93). Der Unterschied zwischen Mittel und Hell ist signifikant ($t(35) = 2,03$, $p = 0,05$), der Unterschied zwischen Mittel und Dunkel tendenziell ($t(35) = 1,77$, $p = 0,09$).

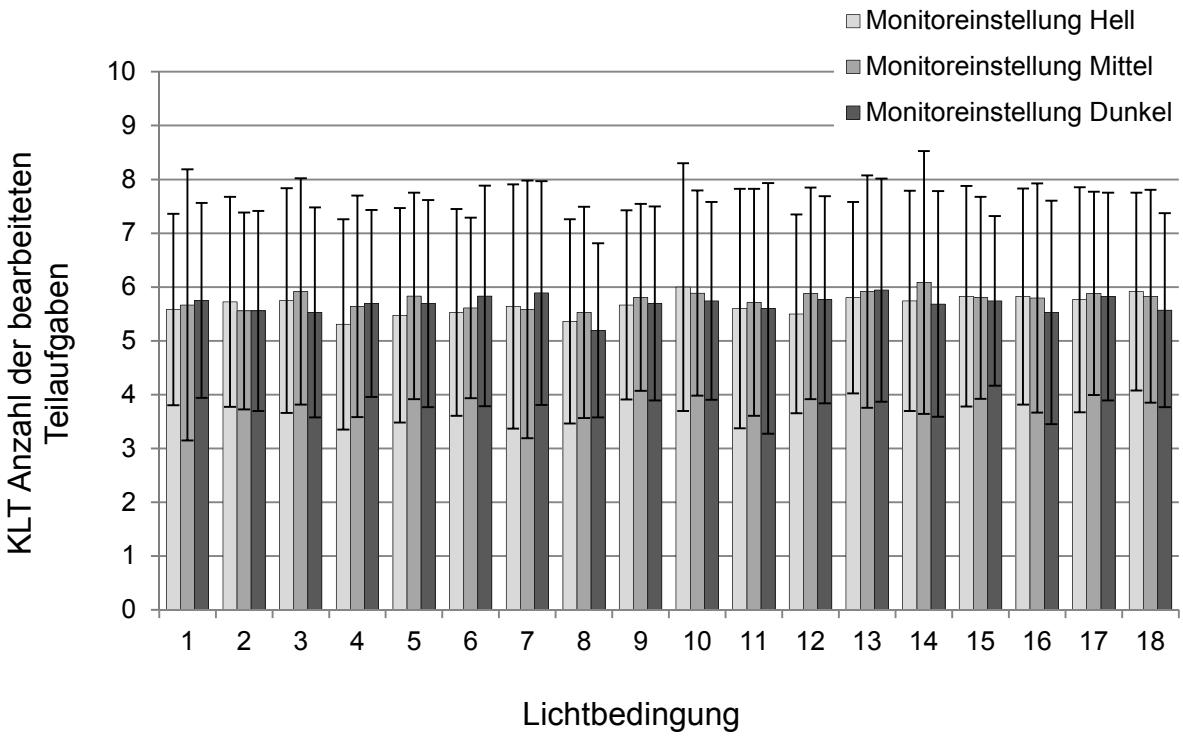


Bild E.9: Anzahl der bearbeiteten Teilaufgaben des Konzentrations-Leistungs-Tests in Abhängigkeit der Leuchtdichteumgebung. Der Fehlerballen stellt die Standardabweichung dar.

Tabelle E.8: Übersicht über die Regressionsfunktionen und die Extrempunkte für die Zusammenhänge zwischen den Parametern der Leuchtdichteumgebung und den in der Regressionsanalyse untersuchten Maßen.

Maß	Parameter	Funktion	Extremwert	
			Math.	Phys.
Visuelle Leistungs-atmosphäre	L_W	-0,324995464149362 + 0,00289528087272091 * x - 0,00000431462345011483* x*x	335,52	335,51
	L_A	kein Einfluss		
	W/A	kein Einfluss		
	M/W	-0,02729804188304515 + 0,1057090708973152 * x + - 0,04279064993812751 * x*x	1,24	1,24/1
	M/A	-0,03025284962926816 + 0,1906005206799197 * x + - 0,1250145827224835 * x*x	0,76	0,83/1
	Max/Min	-0,0606605048118791 * x + 0,158465254749101	kein Extremwert	
Motivation	L_W	kein Einfluss		
	L_A	kein Einfluss		
	W/A	-0,03093768608962884 + 0,01816371470803434 * x + 0,02257941790161819 * x*x	-0,40	0,64/1
	M/W	kein Einfluss		
	M/A	kein Einfluss		
	Max/Min	-0,0253958590848105 * x + 0,0663423638152561	kein Extremwert	
Anstrengung	L_W	-0,000357817413477671 * x + 0,06269756233936642	kein Extremwert	
	L_A	-0,0552137525792101 + 0,00070049359462596 * x - 0,00000160123172796226 * x*x	218,74	218,74
	W/A	kein Einfluss		
	M/W	kein Einfluss		
	M/A	kein Einfluss		
	Max/Min	kein Einfluss		
Anzahl der bearbeiteten Teilaufgaben des Konzentrations-Leistungs-Tests	L_W	-0,135803889792841 + 0,00117240815127177 * x - 0,000016477373686799 * x*x	355,76	355,76
	L_A	kein Einfluss		
	W/A	kein Einfluss		
	M/W	kein Einfluss		
	M/A	kein Einfluss		
	Max/Min	-0,444872499094291 + 0,367984893702246 * x - 0,0675271568518647 * x*x	2,72	

Tabelle E.9: Übersicht über Mittel-, Maximal und Minimalwerte, sowie Standardabweichung der Studie 2, die Werte am Ende der Bezeichnung der Maße stehen für LB, L_A, L_W und L_M.

Deskriptive Statistiken					
Maß	N	Minimum	Maximum	Mittelwert	Standardabweichung
KLT_bearbeitet_LB01_100_50_200	36	2,00	9,00	5,58	1,78
KLT_bearbeitet_LB01_100_50_150	36	1,00	16,00	5,67	2,52
KLT_bearbeitet_LB01_100_50_100	36	2,00	9,00	5,75	1,81
KLT_bearbeitet_LB02_100_100_200	36	1,00	10,00	5,72	1,95
KLT_bearbeitet_LB02_100_100_150	36	2,00	9,00	5,56	1,83
KLT_bearbeitet_LB02_100_100_100	36	2,00	9,00	5,56	1,86
KLT_bearbeitet_LB03_100_200_200	36	1,00	9,00	5,75	2,09
KLT_bearbeitet_LB03_100_200_150	36	1,00	11,00	5,92	2,10
KLT_bearbeitet_LB03_100_200_100	36	1,00	9,00	5,53	1,95
KLT_bearbeitet_LB04_150_50_200	36	1,00	9,00	5,31	1,95
KLT_bearbeitet_LB04_150_50_150	36	1,00	9,00	5,64	2,06
KLT_bearbeitet_LB04_150_50_100	36	2,00	9,00	5,69	1,74
KLT_bearbeitet_LB05_150_150_200	36	2,00	9,00	5,47	1,99
KLT_bearbeitet_LB05_150_150_150	36	1,00	9,00	5,83	1,92
KLT_bearbeitet_LB05_150_150_100	36	2,00	10,00	5,69	1,92
KLT_bearbeitet_LB06_150_300_200	36	0,00	11,00	5,53	1,92
KLT_bearbeitet_LB06_150_300_150	36	2,00	10,00	5,61	1,68
KLT_bearbeitet_LB06_150_300_100	36	1,00	10,00	5,83	2,05
KLT_bearbeitet_LB07_200_50_200	36	2,00	13,00	5,64	2,27
KLT_bearbeitet_LB07_200_50_150	36	1,00	13,00	5,58	2,39
KLT_bearbeitet_LB07_200_50_100	36	2,00	11,00	5,89	2,08
KLT_bearbeitet_LB08_200_100_200	36	2,00	8,00	5,36	1,90
KLT_bearbeitet_LB08_200_100_150	36	2,00	9,00	5,53	1,96
KLT_bearbeitet_LB08_200_100_100	36	2,00	8,00	5,19	1,62
KLT_bearbeitet_LB09_200_200_200	36	2,00	9,00	5,67	1,76
KLT_bearbeitet_LB09_200_200_150	36	2,00	9,00	5,81	1,74
KLT_bearbeitet_LB09_200_200_100	36	2,00	9,00	5,69	1,80
KLT_bearbeitet_LB10_200_400_200	35	3,00	12,00	6,00	2,30
KLT_bearbeitet_LB10_200_400_150	35	3,00	11,00	5,89	1,91
KLT_bearbeitet_LB10_200_400_100	35	3,00	10,00	5,74	1,84
KLT_bearbeitet_LB11_300_50_200	35	2,00	10,00	5,60	2,23
KLT_bearbeitet_LB11_300_50_150	35	1,00	10,00	5,71	2,11
KLT_bearbeitet_LB11_300_50_100	35	0,00	10,00	5,60	2,33
KLT_bearbeitet_LB12_300_100_200	34	2,00	9,00	5,50	1,85
KLT_bearbeitet_LB12_300_100_150	34	2,00	10,00	5,88	1,97
KLT_bearbeitet_LB12_300_100_100	34	2,00	9,00	5,76	1,92
KLT_bearbeitet_LB13_300_150_200	35	2,00	9,00	5,80	1,78
KLT_bearbeitet_LB13_300_150_150	35	2,00	11,00	5,91	2,16
KLT_bearbeitet_LB13_300_150_100	35	2,00	11,00	5,94	2,07
KLT_bearbeitet_LB14_300_300_200	35	2,00	10,00	5,74	2,05
KLT_bearbeitet_LB14_300_300_150	35	2,00	15,00	6,09	2,44
KLT_bearbeitet_LB14_300_300_100	35	2,00	11,00	5,69	2,10
KLT_bearbeitet_LB15_400_100_100	35	2,00	9,00	5,74	1,58
KLT_bearbeitet_LB15_400_100_200	35	2,00	11,00	5,83	2,05
KLT_bearbeitet_LB15_400_100_150	35	2,00	9,00	5,80	1,88
KLT_bearbeitet_LB16_400_200_200	34	2,00	9,00	5,82	2,01
KLT_bearbeitet_LB16_400_200_150	34	2,00	10,00	5,79	2,13
KLT_bearbeitet_LB16_400_200_100	34	1,00	10,00	5,53	2,08
KLT_bearbeitet_LB17_400_400_200	34	2,00	10,00	5,76	2,09
KLT_bearbeitet_LB17_400_400_150	34	3,00	10,00	5,88	1,89
KLT_bearbeitet_LB17_400_400_100	34	3,00	10,00	5,82	1,93
KLT_bearbeitet_LB18_450_150_200	35	2,00	10,00	5,91	1,84
KLT_bearbeitet_LB18_450_150_150	35	1,00	10,00	5,83	1,98
KLT_bearbeitet_LB18_450_150_100	35	2,00	9,00	5,57	1,80
Fak_Reg_LA_visErm_LB01_100_50_200	36	-1,67	2,50	0,06	1,06
Fak_Reg_LA_visErm_LB01_100_50_150	36	-2,33	2,50	-0,05	1,08
Fak_Reg_LA_visErm_LB01_100_50_100	36	-2,83	2,17	-0,51	1,22
Fak_Reg_LA_visErm_LB02_100_100_200	36	-2,50	1,83	0,10	1,08
Fak_Reg_LA_visErm_LB02_100_100_150	36	-1,67	2,00	0,01	0,90
Fak_Reg_LA_visErm_LB02_100_100_100	36	-2,83	2,50	-0,48	1,32
Fak_Reg_LA_visErm_LB03_100_200_200	36	-1,83	2,00	0,23	0,99

Fak_Reg_LA_visErm_LB03_100_200_150	36	-2,83	2,83	0,22	1,15
Fak_Reg_LA_visErm_LB03_100_200_100	36	-2,50	3,00	-0,26	1,30
Fak_Reg_LA_visErm_LB04_150_50_200	36	-2,83	2,83	-0,32	1,08
Fak_Reg_LA_visErm_LB04_150_50_150	36	-2,67	1,17	-0,28	0,92
Fak_Reg_LA_visErm_LB04_150_50_100	36	-2,67	1,67	-0,75	0,95
Fak_Reg_LA_visErm_LB05_150_150_200	36	-2,17	2,50	0,30	1,27
Fak_Reg_LA_visErm_LB05_150_150_150	35	-2,17	1,83	-0,05	1,00
Fak_Reg_LA_visErm_LB05_150_150_100	36	-3,00	2,00	-0,61	1,06
Fak_Reg_LA_visErm_LB06_150_300_200	36	-2,83	2,17	0,01	1,11
Fak_Reg_LA_visErm_LB06_150_300_150	36	-2,83	2,17	0,01	1,11
Fak_Reg_LA_visErm_LB06_150_300_100	36	-3,00	1,83	-0,65	1,31
Fak_Reg_LA_visErm_LB07_200_50_200	36	-2,17	2,17	-0,37	1,16
Fak_Reg_LA_visErm_LB07_200_50_150	36	-2,33	2,50	-0,39	1,24
Fak_Reg_LA_visErm_LB07_200_50_100	36	-2,33	1,67	-0,73	1,08
Fak_Reg_LA_visErm_LB08_200_100_200	36	-3,00	2,83	0,10	1,26
Fak_Reg_LA_visErm_LB08_200_100_150	36	-3,00	2,17	-0,13	1,00
Fak_Reg_LA_visErm_LB08_200_100_100	36	-2,50	1,33	-0,73	0,93
Fak_Reg_LA_visErm_LB09_200_200_200	36	-1,50	2,83	0,50	1,08
Fak_Reg_LA_visErm_LB09_200_200_150	36	-2,33	3,00	0,15	1,12
Fak_Reg_LA_visErm_LB09_200_200_100	36	-3,00	2,00	-0,74	1,15
Fak_Reg_LA_visErm_LB10_200_400_200	35	-1,83	3,00	0,74	1,10
Fak_Reg_LA_visErm_LB10_200_400_150	35	-2,00	2,67	0,34	1,11
Fak_Reg_LA_visErm_LB10_200_400_100	35	-2,50	1,83	-0,30	1,21
Fak_Reg_LA_visErm_LB11_300_50_200	35	-2,67	2,67	-0,04	1,38
Fak_Reg_LA_visErm_LB11_300_50_150	35	-3,00	1,33	-0,40	1,18
Fak_Reg_LA_visErm_LB11_300_50_100	34	-2,67	1,33	-0,66	1,01
Fak_Reg_LA_visErm_LB12_300_100_200	33	-3,00	2,50	-0,12	1,43
Fak_Reg_LA_visErm_LB12_300_100_150	34	-3,00	1,83	-0,36	1,18
Fak_Reg_LA_visErm_LB12_300_100_100	33	-3,00	1,67	-0,84	1,09
Fak_Reg_LA_visErm_LB13_300_150_200	35	-2,67	3,00	0,36	1,23
Fak_Reg_LA_visErm_LB13_300_150_150	35	-2,83	3,00	0,00	1,34
Fak_Reg_LA_visErm_LB13_300_150_100	34	-2,67	2,67	-0,57	1,31
Fak_Reg_LA_visErm_LB14_300_300_200	35	-3,00	3,00	0,75	1,34
Fak_Reg_LA_visErm_LB14_300_300_150	35	-3,00	3,00	-0,06	1,52
Fak_Reg_LA_visErm_LB14_300_300_100	35	-3,00	2,17	-0,32	1,30
Fak_Reg_LA_visErm_LB15_400_100_200	35	-2,33	2,50	-0,02	1,24
Fak_Reg_LA_visErm_LB15_400_100_150	35	-3,00	1,83	-0,40	1,24
Fak_Reg_LA_visErm_LB15_400_100_100	35	-3,00	1,33	-1,15	0,99
Fak_Reg_LA_visErm_LB16_400_200_200	34	-2,00	2,67	0,16	1,37
Fak_Reg_LA_visErm_LB16_400_200_150	34	-3,00	1,83	-0,33	1,27
Fak_Reg_LA_visErm_LB16_400_200_100	34	-3,00	1,50	-0,80	1,13
Fak_Reg_LA_visErm_LB17_400_400_200	34	-3,00	1,83	0,05	1,15
Fak_Reg_LA_visErm_LB17_400_400_150	34	-3,00	2,17	-0,24	1,22
Fak_Reg_LA_visErm_LB17_400_400_100	34	-3,00	2,17	-0,76	1,26
Fak_Reg_LA_visErm_LB18_450_150_200	35	-3,00	3,00	0,03	1,44
Fak_Reg_LA_visErm_LB18_450_150_150	35	-2,50	3,00	-0,26	1,15
Fak_Reg_LA_visErm_LB18_450_150_100	35	-3,00	3,00	-0,76	1,18
Fak_Reg_Anstr_LB01_100_50_200	36	-2,80	2,80	-0,37	1,09
Fak_Reg_Anstr_LB01_100_50_150	36	-3,00	2,20	-0,46	1,13
Fak_Reg_Anstr_LB01_100_50_100	36	-2,40	2,00	-0,48	1,09
Fak_Reg_Anstr_LB02_100_100_200	36	-3,00	2,20	-0,52	1,16
Fak_Reg_Anstr_LB02_100_100_150	36	-2,40	2,00	-0,42	1,00
Fak_Reg_Anstr_LB02_100_100_100	36	-3,00	2,40	-0,42	1,21
Fak_Reg_Anstr_LB03_100_200_200	36	-3,00	1,40	-0,49	1,06
Fak_Reg_Anstr_LB03_100_200_150	36	-3,00	1,60	-0,59	1,08
Fak_Reg_Anstr_LB03_100_200_100	36	-3,00	1,80	-0,45	1,12
Fak_Reg_Anstr_LB04_150_50_200	36	-2,60	2,40	-0,16	1,15
Fak_Reg_Anstr_LB04_150_50_150	36	-3,00	2,60	-0,38	1,24
Fak_Reg_Anstr_LB04_150_50_100	36	-3,00	2,60	-0,14	1,14
Fak_Reg_Anstr_LB05_150_150_200	36	-3,00	1,80	-0,34	1,23
Fak_Reg_Anstr_LB05_150_150_150	36	-2,80	2,00	-0,49	1,18
Fak_Reg_Anstr_LB05_150_150_100	36	-3,00	1,80	-0,47	1,14
Fak_Reg_Anstr_LB06_150_300_200	36	-2,60	2,20	-0,42	1,04
Fak_Reg_Anstr_LB06_150_300_150	36	-2,60	2,20	-0,42	1,04
Fak_Reg_Anstr_LB06_150_300_100	36	-2,60	2,40	-0,29	1,15
Fak_Reg_Anstr_LB07_200_50_200	36	-2,40	2,20	-0,39	1,10
Fak_Reg_Anstr_LB07_200_50_150	36	-2,80	2,20	-0,36	1,26
Fak_Reg_Anstr_LB07_200_50_100	36	-2,80	2,00	-0,37	1,23
Fak_Reg_Anstr_LB08_200_100_200	36	-2,40	2,00	-0,32	1,13
Fak_Reg_Anstr_LB08_200_100_150	36	-2,60	1,80	-0,41	1,16
Fak_Reg_Anstr_LB08_200_100_100	36	-2,40	1,80	-0,34	1,06

Fak_Reg_Anstr_LB09_200_200_200	36	-2,80	2,60	-0,55	1,12
Fak_Reg_Anstr_LB09_200_200_150	36	-2,60	2,00	-0,78	1,07
Fak_Reg_Anstr_LB09_200_200_100	36	-3,00	3,00	-0,57	1,24
Fak_Reg_Anstr_LB10_200_400_200	35	-2,80	1,40	-0,84	1,06
Fak_Reg_Anstr_LB10_200_400_150	35	-2,80	1,80	-0,91	1,08
Fak_Reg_Anstr_LB10_200_400_100	35	-3,00	2,20	-0,75	1,19
Fak_Reg_Anstr_LB11_300_50_200	35	-3,00	2,20	-0,70	1,21
Fak_Reg_Anstr_LB11_300_50_150	35	-3,00	2,20	-0,73	1,17
Fak_Reg_Anstr_LB11_300_50_100	35	-2,80	2,20	-0,69	1,19
Fak_Reg_Anstr_LB12_300_100_200	33	-2,60	2,20	-0,61	1,23
Fak_Reg_Anstr_LB12_300_100_150	34	-2,80	2,20	-0,67	1,12
Fak_Reg_Anstr_LB12_300_100_100	33	-3,00	2,20	-0,53	1,31
Fak_Reg_Anstr_LB13_300_150_200	35	-2,80	2,20	-0,67	1,09
Fak_Reg_Anstr_LB13_300_150_150	35	-2,80	1,40	-0,73	1,12
Fak_Reg_Anstr_LB13_300_150_100	35	-2,80	2,20	-0,66	1,23
Fak_Reg_Anstr_LB14_300_300_200	35	-3,00	1,80	-0,81	0,96
Fak_Reg_Anstr_LB14_300_300_150	35	-2,80	2,20	-0,67	1,14
Fak_Reg_Anstr_LB14_300_300_100	35	-2,80	2,20	-0,58	1,17
Fak_Reg_Anstr_LB15_400_100_200	35	-3,00	2,20	-0,78	1,18
Fak_Reg_Anstr_LB15_400_100_150	35	-2,80	1,80	-0,75	1,12
Fak_Reg_Anstr_LB15_400_100_100	35	-3,00	2,00	-0,59	1,22
Fak_Reg_Anstr_LB16_400_200_200	34	-2,80	1,20	-0,84	0,91
Fak_Reg_Anstr_LB16_400_200_150	34	-2,60	1,80	-0,59	1,08
Fak_Reg_Anstr_LB16_400_200_100	34	-2,80	1,80	-0,62	1,16
Fak_Reg_Anstr_LB17_400_400_200	34	-2,80	1,00	-0,86	0,96
Fak_Reg_Anstr_LB17_400_400_150	34	-2,80	1,60	-0,81	1,03
Fak_Reg_Anstr_LB17_400_400_100	34	-2,80	1,60	-0,77	1,08
Fak_Reg_Anstr_LB18_450_150_200	35	-3,00	1,40	-0,77	1,11
Fak_Reg_Anstr_LB18_450_150_150	35	-2,80	1,40	-0,70	1,12
Fak_Reg_Anstr_LB18_450_150_100	35	-2,80	1,40	-0,63	0,99
Fak_Reg_Mot_LB01_100_50_200	36	-1,67	2,67	1,03	1,03
Fak_Reg_Mot_LB01_100_50_150	36	-2,00	2,67	0,93	1,28
Fak_Reg_Mot_LB01_100_50_100	36	-1,33	3,00	0,95	1,06
Fak_Reg_Mot_LB02_100_100_200	36	-2,33	2,33	0,81	1,08
Fak_Reg_Mot_LB02_100_100_150	36	-1,00	3,00	0,93	0,99
Fak_Reg_Mot_LB02_100_100_100	36	-2,00	2,67	0,81	0,98
Fak_Reg_Mot_LB03_100_200_200	36	-1,33	3,00	1,03	1,11
Fak_Reg_Mot_LB03_100_200_150	36	-2,00	2,67	0,96	1,13
Fak_Reg_Mot_LB03_100_200_100	36	-,67	3,00	1,00	0,99
Fak_Reg_Mot_LB04_150_50_200	36	-1,67	3,00	1,04	1,08
Fak_Reg_Mot_LB04_150_50_150	36	-,67	3,00	1,12	0,87
Fak_Reg_Mot_LB04_150_50_100	36	-1,67	2,67	1,04	0,97
Fak_Reg_Mot_LB05_150_150_200	36	-2,00	3,00	0,99	1,09
Fak_Reg_Mot_LB05_150_150_150	36	-2,67	3,00	1,15	1,09
Fak_Reg_Mot_LB05_150_150_100	36	-2,00	2,67	0,81	1,15
Fak_Reg_Mot_LB06_150_300_200	36	-2,67	3,00	1,06	1,04
Fak_Reg_Mot_LB06_150_300_150	36	-2,67	3,00	1,06	1,04
Fak_Reg_Mot_LB06_150_300_100	36	-1,67	2,33	1,03	1,01
Fak_Reg_Mot_LB07_200_50_200	36	-1,67	2,33	0,77	1,03
Fak_Reg_Mot_LB07_200_50_150	36	-2,33	3,00	0,81	1,24
Fak_Reg_Mot_LB07_200_50_100	36	-2,00	2,67	0,70	1,19
Fak_Reg_Mot_LB08_200_100_200	36	-2,00	3,00	1,03	1,13
Fak_Reg_Mot_LB08_200_100_150	36	-2,00	3,00	1,05	1,10
Fak_Reg_Mot_LB08_200_100_100	36	-2,67	3,00	0,89	1,28
Fak_Reg_Mot_LB09_200_200_200	36	-1,00	2,67	0,93	1,05
Fak_Reg_Mot_LB09_200_200_150	36	-1,33	3,00	1,06	1,01
Fak_Reg_Mot_LB09_200_200_100	36	-,67	3,00	0,94	0,99
Fak_Reg_Mot_LB10_200_400_200	35	-2,00	3,00	1,11	1,18
Fak_Reg_Mot_LB10_200_400_150	35	-1,00	3,00	1,10	1,04
Fak_Reg_Mot_LB10_200_400_100	35	-1,33	2,67	0,90	1,09
Fak_Reg_Mot_LB11_300_50_200	35	-1,33	2,67	0,98	1,15
Fak_Reg_Mot_LB11_300_50_150	35	-2,00	3,00	0,90	1,23
Fak_Reg_Mot_LB11_300_50_100	35	-2,67	2,67	0,90	1,20
Fak_Reg_Mot_LB12_300_100_200	33	-1,67	2,67	0,81	1,13
Fak_Reg_Mot_LB12_300_100_150	34	-2,00	2,67	0,90	1,15
Fak_Reg_Mot_LB12_300_100_100	33	-2,33	2,67	0,54	1,16
Fak_Reg_Mot_LB13_300_150_200	35	-1,33	2,67	1,01	1,06
Fak_Reg_Mot_LB13_300_150_150	35	-1,00	2,67	0,94	1,06
Fak_Reg_Mot_LB13_300_150_100	35	-2,00	2,67	0,76	1,23
Fak_Reg_Mot_LB14_300_300_200	35	-2,67	3,00	1,21	1,33
Fak_Reg_Mot_LB14_300_300_150	35	-2,00	3,00	0,85	1,41

Fak_Reg_Mot_LB14_300_300_100	35	-2,67	2,67	0,80	1,35
Fak_Reg_Mot_LB15_400_100_200	35	-2,67	3,00	1,10	1,23
Fak_Reg_Mot_LB15_400_100_150	35	-1,00	3,00	0,97	1,11
Fak_Reg_Mot_LB15_400_100_100	35	-1,00	3,00	0,92	1,15
Fak_Reg_Mot_LB16_400_200_200	34	-2,67	2,67	1,05	1,13
Fak_Reg_Mot_LB16_400_200_150	34	-2,67	2,67	0,84	0,99
Fak_Reg_Mot_LB16_400_200_100	34	-2,67	3,00	0,75	1,35
Fak_Reg_Mot_LB17_400_400_200	34	-2,00	2,67	0,92	1,13
Fak_Reg_Mot_LB17_400_400_150	34	-1,67	2,67	0,85	1,05
Fak_Reg_Mot_LB17_400_400_100	34	-1,33	2,67	0,77	1,13
Fak_Reg_Mot_LB18_450_150_200	35	-1,33	3,00	1,05	1,28
Fak_Reg_Mot_LB18_450_150_150	35	-1,67	3,00	1,05	1,19
Fak_Reg_Mot_LB18_450_150_100	35	-1,67	2,67	0,97	1,22

Anhang F: Algorithmus

Tabelle F.1: Übersicht über die Ergebnisse einer Umfrage unter 21 Wissensarbeitern.

Person	Einstellung	Letzte Einstellung vor			
		1 Tag	1 Woche	1 Monat	nicht erinnert / nie
1*	100				x
2*	100				x
3	100				x
4*	100				x
5	75				x
6*	78				x
7	75				x
8*	100				x
9**	75				x
10**	85				x
11*	100				x
12**	75				x
13**	75				x
14	100				x
15	100				x
16	100				x
17	100				x
18	45				x
19	100		x		
20	90				x
21	75				x

* Mittelwert 2 Monitore

** noch Standardeinstellungen

Berechnung des energetischen Einsparpotentials durch die Verwendung der Energie-Steuerung

Zunächst wird die Anzahl der Stunden im Jahr berechnet, bei der im Falle der Energie-Steuerung die Monitorleuchtdichte bei 140 cd/m^2 (Wand: <113 cd/m^2) oder zwischen 140 cd/m^2 und 175 cd/m^2 (Wand zwischen 113 cd/m^2 und 141 cd/m^2) liegt. Die Berechnung wird beispielhaft für die Südausrichtung dargestellt. Betrachtet wird die Bürozeit zwischen 7 und 18 Uhr [51].

Tabelle F.2: Stunden bei denen eine Reduktion der Monitorleuchtdichte im anhand der Energie-Steuerung möglich wäre (beispielhaft für die Südausrichtung).

Bedingungen	**Faktor**	**Stunden [h]**
L_W <= 113 cd/m^2 [h]		767
113 cd/m^2 < L_W < 141 cd/m^2	0,5	15,5
L_W < 141 cd/m^2		783
Anrechenbar	230/365	493

Tabelle F.2 zeigt, dass an 493 Stunden im Jahr anstatt einer Monitorleuchtdichte von 175 cd/m^2 eine Monitorleuchtdichte von 140 cd/m^2 verwendet werden kann.

Die Monitorvermessung für Studie 1 hat gezeigt, dass eine Reduktion der Monitorleuchtdichte um 20 % (entspricht der Reduktion von 175 cd/m^2 auf 140 cd/m^2) einer Verringerung der Helligkeitseinstellung von 17% gegenübersteht. Dies kann in etwa einer Reduktion des Energiebedarfs um 10% gegenüber gestellt werden [136]. Geht man von einer Energie-Aufnahme des Monitors von 25 W aus, so liegt die Einsparung bei 2,5 W.

Im Jahr ergibt sich für die Südausrichtung unter Berücksichtigung der anrechenbaren Stunden eine Ersparnis von 1,23 kWh/a. Dabei handelt es sich um die Mindesteinsparung. Die berechnete Anzahl der Stunden mit Einsparpotential erhöht sich wenn von den Idealbedingungen hinsichtlich Verbauung, Fensterflächenanteil, Abstand zur Fassade, Wandgestaltung, Verschmutzung, Jalousie-Nutzung oder anderen Punkten abgewichen wird. Zusätzlich ist zu beachten, dass viele Arbeitsplätze mit zwei Monitoren ausgestattet sind.

Tabelle F.3: Resultierende Leuchtdichten der beiden verwendeten Monitore für verschiedene eingestellte Gamma-Werte.

Gamma	L_M Monitor 1	L_M Monitor 2
0	71,5	74
5	77	80
14	87,5	90
25	101,5	103
34	113	114
45	127,5	127,5
55	142	139,5
66	157	153
75	169	164
86	185,5	178
95	200	189,5
105	215	202
116	231	215
125	247	229,5
136	247,5	230
144	247,5	230
155	247,5	230
175	247,5	230
194	247,5	230
214	247,5	230
234	247,5	230
255	247,5	230

Tabelle F.4: Beispiel der resultierenden CSV-Datei zur visuellen Leistungs-atmosphäre-Steuerung mit Monitor 1 und dem Sensor 0B896 (in Auszügen).

Sensorwert	L_W	Resultierende L_M	Gamma Wert des Monitors
109	120,66	150,00	59
110	121,77	150,99	59
111	122,88	152,37	60
112	123,98	153,74	61
113	125,09	155,11	62
114	126,20	156,49	63
115	127,31	157,86	64
116	128,41	159,23	65
117	129,52	160,60	66
118	130,63	161,98	67
119	131,73	163,35	68
120	132,84	164,72	69
121	133,95	166,10	70
122	135,05	167,46	71
123	136,16	168,84	72
124	137,27	170,21	73
125	138,38	171,59	74
126	139,48	172,96	75
...	...	...	...
141	156,09	193,55	90
142	157,19	194,92	91
143	158,30	196,29	92
144	159,41	197,67	93
145	160,52	199,04	94
146	161,62	200,41	94
147	162,73	201,79	95
148	163,84	203,16	96
149	164,94	204,53	97
150	166,05	205,90	98
151	167,16	207,28	99
152	168,26	208,64	100
153	169,37	210,02	101
154	170,48	211,40	102
155	171,59	212,77	103
156	172,69	214,14	104
157	173,80	215,51	105
158	174,91	216,89	106
159	176,01	218,25	107
160	177,12	219,63	108
161	178,23	221,01	109
162	179,33	222,37	110
163	180,44	223,75	111
164	181,55	225,12	112
165	182,66	226,50	113
166	183,76	227,86	114
167	184,87	229,24	115
168	185,98	230,00	116

Anhang G: Studie 3 - Durchführung

Tabelle G.1: Übersicht über Beleuchtungsstärke in den Versuchsräumen, zur Darstellung der Gleichartigkeit der beiden Räume. Angegeben sind für die drei Steuerungsvarianten die Beleuchtungsstärken (gemittelt über die Bearbeitungszeit) in den beiden Räumen sowie die Differenzen zwischen den Räumen.

Raum 1			Raum 2			Vergleich
Testperson	**Steuerungs-variante**	**E Raum [lx]**	**Testperson**	**Steue-rungs-variante**	**E Raum [lx]**	**Differenzen [%]**
1	1	374	2	1	404	-8,08
	2	457		2	524	-14,82
	3	667		3	714	-7,06
3	1	1223	4	1	1144	6,48
	2	1085		2	1065	1,84
	3	233		3	234	-0,80
5	1	1750	6	1	1591	9,06
	2	4703		2	4350	7,51
	3	6104		3	5749	5,81
7	1	3415	8	1	3339	2,22
	2	3270		2	2378	27,29
	3	333		3	318	4,78
9	1	308	10	1	282	8,37
	2	3553		2	3179	10,53
	3	2550		3	2924	-14,66
11	1	1665	12	1	1610	3,25
	2	2009		2	1590	20,85
	3	218		3	210	3,63
13	1	2723	14	1	2574	5,48
	2	1654		2	1822	-10,17
	3	6602		3	7752	-17,41
15	1	1494	16	1	1367	8,49
	2	369		2	354	4,19
	3	224		3	206	7,84
17	1	2130	18	1	2120	0,47
	2	4084		2	4175	-2,22
	3	3838		3	3923	-2,21
19	1	3776	20	1	2570	31,93
	2	451		2	442	1,91
	3	223		3	203	8,73
21	1	3931	22	1	3841	2,29
	2	4509		2	4305	4,53
	3	2808		3	2575	8,27
23	1	350	24	1	308	11,91
	2	328		2	328	-0,04
	3	220		3	204	7,29
25	1	631	26	1	4129	-554,22
	2	351		2	4166	-1086,2
	3	113		3	4157	-3581,8
27	1	3968	28	1	3058	22,95
	2	1007		2	811	19,50
	3	178		3	203	-14,09
29	1	1653	30	1	1699	-2,79
	2	1486		2	1474	0,84
	3	1078		3	1081	-0,24

31	1	1083	32	1	459	57,60
	2	192		2	203	-6,00
	3	113		3	180	-59,84
33	1	5167	34	1	5308	-2,74
	2	3037		2	2562	15,63
	3	3718		3	3456	7,05
35	1	2003	36	1	1759	12,21
	2	221		2	227	-2,68
	3	190		3	200	-5,32
37	1	157	38	1	383	-143,13
	2	63		2	707	-1018,2
	3	185		3	453	-144,63
39	1	516	40	1	468	9,20
	2	338		2	301	11,06
	3	226		3	194	13,97

Es zeigt sich, dass in beiden Räume meist vergleichbare Randbedingungen herrschten. Die Ausreiser für die Testpersonen 25, 26 und 37,38 können nicht erklärt werden, eventuell legte jeweils eine einen Teil der Arbeitsblätter auf den Sensor.

Tabelle G.2: Darstellung der Profile der räumlichen Randbedingungen und deren technischer Umsetzung.

Zeitpunkt	Erklärung	Bild
bis 8 Minuten nach dem Start	Leuchte an und Fassade unten	
8 Minuten bis 16 Minuten nach dem Start	Leuchte aus und Fassade um 2 Stufen hoch	
16 bis Ende der ersten Einheit	Leuchte aus und Fassade um eine weitere Stufe hoch	
Während des zweiten Abschnitts	Fassade ganz oben	
bis 8 Minuten nach Beginn des 3. Abschnitts	Leuchten aus und Fassade einmal ganz nach unten lassen, dann dreimal auf hoch drücken. Fassade soll in der letzten Stellung sein, bevor sie wieder nach oben fährt.	
8 Minuten bis 16 Minuten nach Beginn des 3. Abschnitts	Leuchte aus und Fassade um eine Stufe nach unten drücken	
16 bis Ende der ersten Einheit	Leuchte an und Fassade unten	

Tabelle G.3: Übersicht über die in Studie 3 verwendete Randomisierung: Tag 1 bis 5.

		Tag 1				Tag 2				Tag 3				Tag 4				Tag 5			
	Session	Testperson	Bedingung	Testperson	Bedingung	Testperson	Bedingung	Testperson	Bedingung	Testperson	Bedingung	Testperson	Bedingung	Testperson	Bedingung	Testperson	Bedingung	Testperson	Bedingung	Testperson	Bedingung
Vor	1	1	KS	2	LA	5	LA	6	LA	9	KS	10	EN	13	LA	14	KS	17	EN	18	EN
	2		LA		KS		KS		EN		EN		KS		KS		LA		KS		LA
	3		EN		EN		EN		KS		LA		LA		EN		EN		LA		KS
Nac	1	3	KS	4	LA	7	LA	8	LA	11	LA	12	KS	15	KS	16	EN	19	KS	20	LA
	2		LA		KS		KS		EN		KS		LA		EN		KS		LA		KS
	3		EN		EN		EN		KS		EN		EN		LA		LA		EN		EN

Tabelle G.4: Übersicht über die in Studie 3 verwendete Randomisierung: Tag 6 bis 10.

		Tag 6				Tag 7				Tag 8				Tag 9				Tag 10			
	Session	Testperson	Bedingung	Testperson	Bedingung	Testperson	Bedingung	Testperson	Bedingung	Testperson	Bedingung	Testperson	Bedingung	Testperson	Bedingung	Testperson	Bedingung	Testperson	Bedingung	Testperson	Bedingung
Vor	1	21	LA	22	LA	25	EN	26	KS	29	KS	30	EN	33	EN	34	EN	37	EN	38	EN
	2		EN		KS		KS		EN		EN		KS		LA		KS		LA		KS
	3		KS		EN		LA		LA		LA		LA		KS		LA		KS		LA
Nac	1	23	EN	24	KS	27	EN	28	KS	31	EN	32	KS	35	KS	36	LA	39	LA	40	KS
	2		KS		EN		KS		EN		KS		EN		LA		KS		KS		LA
	3		LA		LA		LA		LA		LA		LA		EN		EN		EN		EN

Übersicht über das Testmaterial in Studie 3

1	Adelgund Roch Lydtinstraße 11 14621 Schönwalde	2	Marija Brix Harsefelder Straße 80 53539 Borler	3	Elfgard Hager Renkstraße 4 67475 Weidenthal	4	Dirk Schöpf Lagerhausstr. 3 29416 Kaulitz
5	Agilbert Mucha Teufelsgraben 68 27616 Kirchwistedt	6	Heidelore Eisele Am Bachberg 3 07589 Saara	7	Eva Zöllner Ohmstraße 34 51109 Köln	8	Christward Seeliger Baunacher Str. 94 28870 Ottersberg
9	Wanda Bach Zum Heideblick 4 23858 Wesenberg	10	Aaron Koopmann Bruckertshof 53 56132 Miellen	11	Filippina Dudek Richardallee 51 64750 Lützelbach	12	Birte Herz Stegwiese 1 03238 Lindthal
13	Eileen Leopold Stein Hauptstraße 38 39264 Nutha	14	Adrian Grimmer Am Mittelwald 43 24147 Kiel	15	Arend Bröcker Laurentiusstraße 65 79294 Sölden	16	Edeltraude Thom Eekholtesweg 89 74613 Öhringen
17	Bringfriede Reinicke Kuhmühle 71 39249 Glinde	18	Raimer Rosenberg Honsbergenstraße 80 99706 Hachelbich	19	Otbert Galle Obernzeller Str. 61 69234 Dielheim	20	Timotheus Bergner Nixenweg 24 01936 Schwepnitz
21	Gustel Kästner Stadtgutstraße 59 25889 Witzwort	22	Heimtraud Leder Grünwinkel 80 94163 Saldenburg	23	Veit Fetzer Mannshalm 94 56357 Niederwall	24	Heidelind Schlicht Industriegelände 48 07554 Pölzig
25	Renilde Asmus Am Dornbusch 32 84573 Schönberg	26	Reinfriede Bäumler Walstraßenbrück 92 49626 Berge	27	Dietger Traub Pfaffengrund 33 97797 Wartmannsroth	28	Verena Behling Limaweg 49 99713 Helbedündorf
29	Leonore Klee Braunfelsstraße 14 07422 Rottenbach	30	Alwin Kaufhold Dreifaltigkeitsweg 3 95163 Weißenstadt	31	Ferhard Köstler Eisbachstraße 81 15806 Kallinchen	32	Liebgunde Manske Mönchsholz 42 15328 Golzow
33	Nadia Rathmann Am Mühlberg 43 39579 Uenglingen	34	Otwin Friedmann Kreuzerhohl 43 17209 Zepkow	35	Annita Jasper Erlenseer Straße 88 57518 Steineroth	36	Ribana Liebig Marbachweg 87 99713 Holzsußra
37	Bernulf Sperling Elisabethstraße 57 86641 Rain	38	Philomena Hack Kändlerstraße 34 24376 Rabel	39	Hermann Rempel Sandplackenstraße 92 25832 Tönning	40	Niels Jeschke Eichengasse 11 81371 München
41	Beate Jaeger Schalkwiesenweg 12 99189 Gebesee	42	Wolfgard Engler Laubanger 24 49832 Thuine	43	Seppl Hertel Rothofer Weg 36 16866 Gumtow	44	Ortraud Jacobi Haigerer Straße 30 25917 Sprakebüll
45	Melinda Kahle Pröbenweg 88 72488 Sigmaringen	46	Angela Kampe Ludwigstraße 9 79802 Dettighofen	47	Christhild Linnemann Egerländer Straße 70 67808 Mörsfeld	48	Thilo Käfer Ruscheweg 66 37696 Marienmünster

Bild G.1: Beispiel der Büro-Aufgabe.

Akzeptanz der Steuerung

Bei einem Bemerken der Steuerung wurden den Testpersonen die folgenden Fragen gestellt:

Während der Versuche veränderten sich die Monitorhelligkeit etwa						
0 mal	1-2 mal	3-4 mal	5-6 mal	7-8 mal	9-10 mal	Mehr als 10 mal
Die Steuerung des Monitors hat mir gefallen.						
trifft voll und ganz zu						trifft überhaupt nicht zu
Der Monitor änderte seine Helligkeit...						
Viel zu oft			Genau richtig			Viel zu selten
Durch die Steuerung des Monitors wurden angenehme Lichtbedingungen im Sichtfeld geschaffen.						
trifft voll und ganz zu						trifft überhaupt nicht zu
Die Steuerung reagierte auf Änderungen des Tageslichts.						
Viel zu schnell			Genau richtig			Viel zu langsam
Die Steuerung des Monitors hat meine Bedürfnisse erfüllt.						
trifft voll und ganz zu						trifft überhaupt nicht zu
Ich würde eine derartige Steuerung an meinem Arbeitsplatz akzeptieren.						
trifft voll und ganz zu						trifft überhaupt nicht zu
Ich würde eine derartige Steuerung an meinem Arbeitsplatz akzeptieren, wenn ich damit Energie einsparen könnte.						
trifft voll und ganz zu						trifft überhaupt nicht zu

Anhang H: Studie 3 - Auswertung und Ergebnis

Datenreduktion

Tabelle H.1: Resultierende Reliabilitäten bei der Dimensionsreduzierung des MDBF auf die drei zugrundeliegende Faktoren.

Bedingung	Zeitpunkt	Cronbachs Alpha		
		GS	RU	MW
KS	Baseline	0,83	0,73	0,92
	Endline	0,91	0,85	0,84
LA	Baseline	0,80	0,82	0,88
	Endline	0,81	0,80	0,86
EN	Baseline	0,90	0,83	0,89
	Endline	0,86	0,81	0,92

Tabelle H.2: Beispielhafte Analyse der Faktorenstruktur zur visuellen Leistungsatmosphäre.

Komponentenmatrix[a]	
	Komponente
	1
KS_1B_LA_AllgMotivation	,930
KS_1B_LA_AllgLeistung	,862
KS_1B_LA_AllgErmüdung	-,887
KS_1B_LA_AllgWeiterarbeiten	,860
KS_1B_LA_visuelleErmüdung	-,631
Extraktionsmethode: Hauptkomponentenanalyse.	
a. 1 Komponenten extrahiert	

Tabelle H.3: Resultierende Reliabilitäten bei der Dimensionsreduzierung der Einzelitems auf die visuelle Leistungsatmosphäre

Bedingung	Abschnitt	Zeitpunkt	Cronbachs Alpha	Anzahl Faktoren
KS	1	1A (nach Büro-Aufgabe)	0,73	2
	1	1B (nach allen Aufgaben)	0,89	1
	2	2A (nach Büro-Aufgabe)	0,88	1
	2	2B (nach allen Aufgaben)	0,88	1
	3	3A (nach Büro-Aufgabe)	0,86	2
	3	3B (nach allen Aufgaben)	0,82	2
LA	1	1A (nach Büro-Aufgabe)	0,89	1
	1	1B (nach allen Aufgaben)	0,91	1
	2	2A (nach Büro-Aufgabe)	0,88	1
	2	2B (nach allen Aufgaben)	0,89	1
	3	3A (nach Büro-Aufgabe)	0,88	1
	3	3B (nach allen Aufgaben)	0,82	2
EN	1	1A (nach Büro-Aufgabe)	0,89	1
	1	1B (nach allen Aufgaben)	0,91	1
	2	2A (nach Büro-Aufgabe)	0,93	1
	2	2B (nach allen Aufgaben)	0,91	1
	3	3A (nach Büro-Aufgabe)	0,81	2
	3	3B (nach allen Aufgaben)	0,93	1

Tabelle H.4: Übersicht über die Monitorleuchtdichte bei verschiedenen Wandabschnittsleuchtdichten in Raum 1. Zu beachten ist das der Wandausschnitt hinter dem Monitor zwar vom Sensor erfasst wird, von der Kamera jedoch nicht.

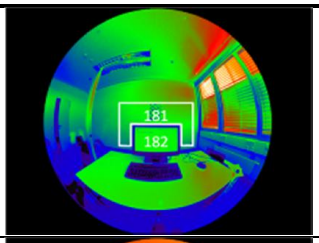
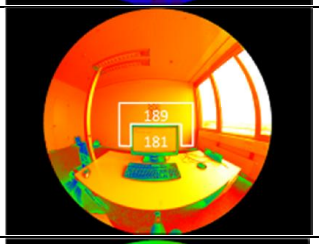
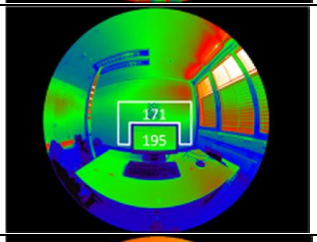
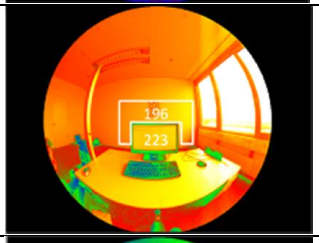
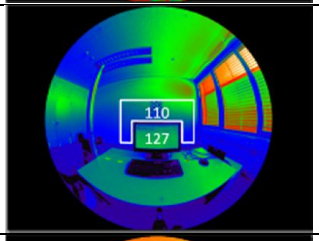
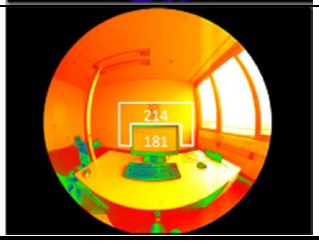
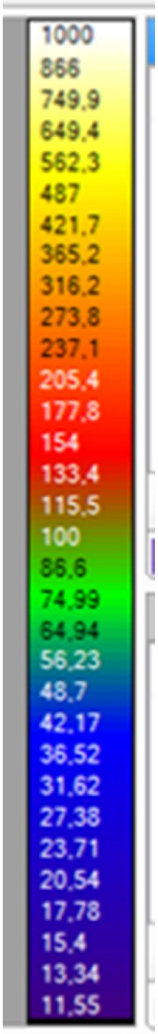
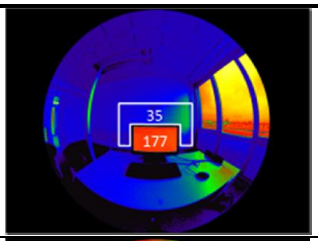
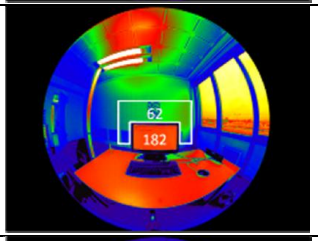
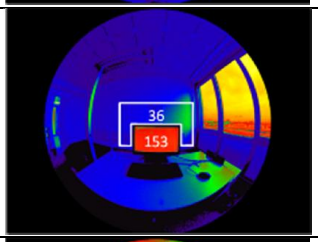
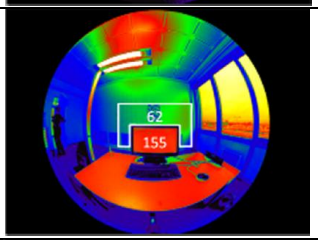
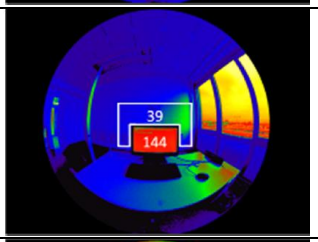
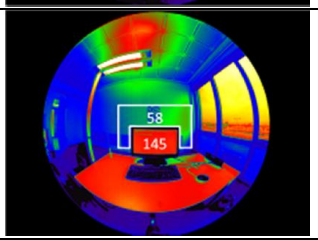
Skalierung [cd/m^2]	Steuerungsvariante und Fassadenzustand	Leuchtdichte-Kamera	Digital-Kamera
	KS_Fassade1hoch		
	KS_bewölkt		
	LA_Fassade1hoch		
	LA_bewölkt		
	EN_Fassade1hoch		
	EN_bewölkt		

Tabelle H.5: Übersicht über die Monitorleuchtdichte bei verschiedenen Wandabschnittsleuchtdichten in Raum 2. Zu beachten ist das der Wandausschnitt hinter dem Monitor zwar vom Sensor erfasst wird, von der Kamera jedoch nicht.

Skalierung [cd/m²]	Steuerungsvariante und Fassadenzustand	Leuchtdichte-Kamera	Digital-Kamera
	KS_dunkel		
	KS_Kunstlicht		
	LA_dunkel		
	LA_Kunstlicht		
	EN_dunkel		
	EN_Kunstlicht		

Moderatoranalyse zum Einfluss des Alters

Die Gesamtgruppe der Testpersonen wurde nach einem Mediansplit in zwei Altersgruppen aufgeteilt. Die Details der entstehenden Gruppen sind in Tabelle H.6 dargestellt.

Tabelle H.6: Aufteilung der Gesamtzahl der Testpersonen auf zwei Altersgruppen.

Gruppe	Anzahl	Geschlecht		Alter			
		m	w	MW	SD	Median	Spannweite
Alle	40	25	15	25,10	2,95	25	21 - 34
$J_{21\text{-}24}$	17	10	7	22,35	0,93	22	21 - 24
$A_{25\text{-}34}$	23	15	8	27,13	2,16	27	25 - 34

Es wird die Moderatoranalyse nur für die Maße dargestellt bei denen das Alter auch Einfluss nahm.

Tabelle H.7: Moderatoranalyse der sensiblen Maße.

Maß	Tests der Innersubjekteffekte					
	Faktor	df		F	p	η_p^2
Büro Geist.Anstr.	Steuerungsvariante * Alter	Sphärizität angenommen	2	2,36	0,10	0,06
		Greenhouse-Geisser	1,84	2,36	0,11	0,06
Büro Mot.	Steuerungsvariante * Alter	Sphärizität angenommen	2	2,74	0,07	0,07
		Greenhouse-Geisser	1,95	2,74	0,07	0,07
Büro Vis. Erm.	Steuerungsvariante * Alter	Sphärizität angenommen	2	2,68	0,08	0,10
		Greenhouse-Geisser	1,9	2,68	0,08	0,10
BVA Erf. Abschl.	Steuerungsvariante * Alter	Sphärizität angenommen	2	2,16	0,12	0,05
		Greenhouse-Geisser	1,83	2,16	0,13	0,05
BVA Mot.	Steuerungsvariante * Alter	Sphärizität angenommen	2	3,91	0,02	0,09
		Greenhouse-Geisser	1,63	3,91	0,03	0,09
BVA Vis. Erm.	Steuerungsvariante * Alter	Sphärizität angenommen	2	6,15	0,00	0,14
		Greenhouse-Geisser	1,76	6,15	0,01	0,14
DSA Geist. Anstr.	Steuerungsvariante * Abschnitt * Alter	Sphärizität angenommen	4	2,10	0,08	0,05
		Greenhouse-Geisser	3,64	2,10	0,09	0,05
KLT Geist. Anstr.	Steuerungsvariante * Alter	Sphärizität angenommen	2	4,14	0,02	0,10
		Greenhouse-Geisser	1,88	4,14	0,02	0,10
KLT Erf. Abschl.	Abschnitt * Alter	Sphärizität angenommen	2	2,83	0,07	0,07
		Greenhouse-Geisser	1,72	2,83	0,07	0,07
KLT Mot.	Steuerungsvariante * Alter	Sphärizität angenommen	2	2,08	0,13	0,05
		Greenhouse-Geisser	1,99	2,08	0,13	0,05
KLT Vis. Erm.	Abschnitt * Alter	Sphärizität angenommen	2	2,15	0,12	0,05
		Greenhouse-Geisser	1,64	2,15	0,13	0,05
NPA Innerhalb St.Va.	Steuerungsvariante * Alter	Sphärizität angenommen	2	2,22	0,12	0,06
		Greenhouse-Geisser	1,82	2,22	0,12	0,06
	Abschnitt * Alter	Sphärizität angenommen	2	2,55	0,09	0,07
		Greenhouse-Geisser	1,81	2,55	0,09	0,07

Auswertung für alle Probanden und die Gruppe $J_{21\text{-}24}$

Büro-Aufgabe

Bei Betrachtung aller Testpersonen werden je nach Abschnitt unterschiedlich viele Teilaufgaben bearbeitet ($F(2,76) = 9,61$, $p < 0,01$, $\eta_p^2 = 0,20$), dieser Zusammenhang ist signifikant. Die meisten Teilaifgaben wurden im mittleren Abschnitt bearbeitet.

Büro-Aufgabe: Geistige Anstrengung

Die empfundene Anstrengung unterscheidet sich signifikant je nach Abschnitt, sie nimmt bei der Analyse aller Testpersonen mit jedem Abschnitt zu ($F(2,78) = 5,46$, $p < 0,01$, $\eta_p^2 = 0,13$). Der signifikante Einfluss des Abschnitts zeigt sich auch bei Auswertung der Gruppe $J_{21\text{-}24}$ ($F(1,42,22,73) = 4,21$, $p = 0,02$, $\eta_p^2 = 0,21$).

Büro-Aufgabe: Erfolgreiches Abschließen

Das Erfolgsempfinden zeigt weder für die gesamte Datengrundlage noch für die Gruppe $J_{21\text{-}24}$ eine Abhängigkeit von Abschnitt oder Steuerungsvariante.

Büro-Aufgabe: Motivation

Für alle Testpersonen ändert sich die Motivation signifikant je nach Abschnitt ($F(2,97,112,91) = 5,01$, $p = 0,02$, $\eta_p^2 = 0,12$). Mit zunehmender Bearbeitungszeit sinkt die Motivation. Es ergibt sich ebenfalls eine tendenzielle Interaktion zwischen Abschnitt und Steuerungsvariante ($F(1,57,60,65) = 1,88$, $p = 0,14$, $\eta_p^2 = 0,05$).

Wie in Bild H.1 zu sehen, steigt bei KS die Motivation im mittleren Abschnitt an und sinkt danach wieder ab. EN und LA führen im ersten Abschnitt zu einer höheren Motivation, sie sinkt im zweiten und dritten Abschnitt kontinuierlich ab. Im zweiten Abschnitt zeigt sich, dass für LA die geringste Motivation bei Aufgabenbearbeitung zu erwarten ist. So führen KS (MW = 1,18, SD = 1,26) und EN (MW = 1,03, SD = 1,58) zu einer tendenziell höheren Motivation als LA (MW = 0,70, SD = 1,68), (KS - LA: ($t(39) = 1,73$, $p = 0,09$, EN - LA: ($t(39) = 1,55$, $p = 0,13$).

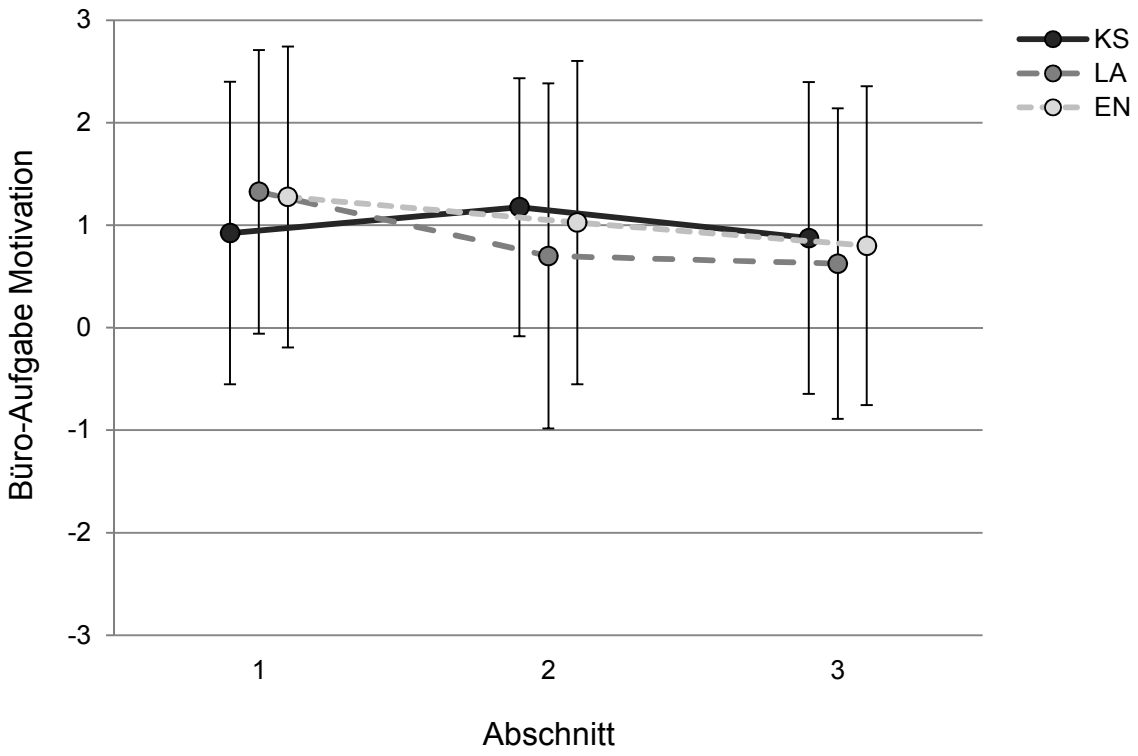


Bild H.1: Motivation bei der Büro-Aufgabe in Abhängigkeit der Steuerungsvarianten, dargestellt für alle Testpersonen. Der Fehlerballen stellt die Standardabweichung dar.

Für Gruppe $J_{21\text{-}24}$ lässt sich ein tendenzieller Einfluss der Steuerungsvariante ($F(2,30) = 2,18$, $p = 0,13$, $\eta_p^2 = 0,13$) nachweisen (Bild H.2). Auch hier war im ersten Abschnitt die Motivation bei KS (MW = 0,19, SD = 1,56) signifikant schlechter als bei LA (MW = 1,29, SD = 1,21) ($t(15) = 2,22$, $p = 0,04$) und tendenziell schlechter als bei EN (MW = 1,24, SD = 1,60) ($t(15) = 2,07$, $p = 0,06$). Im dritten Abschnitt ist die Motivation bei EN (MW 1,06, SD = 1,14) am höchsten. Sie unterscheidet sich tendenziell von KS (MW = 0,53, SD = 1,46) ($t(15) = 1,71$, $p = 0,11$) und signifikant von LA (MW = 0,18, SD = 1,24) ($t(15) = 2,31$, $p = 0,04$).

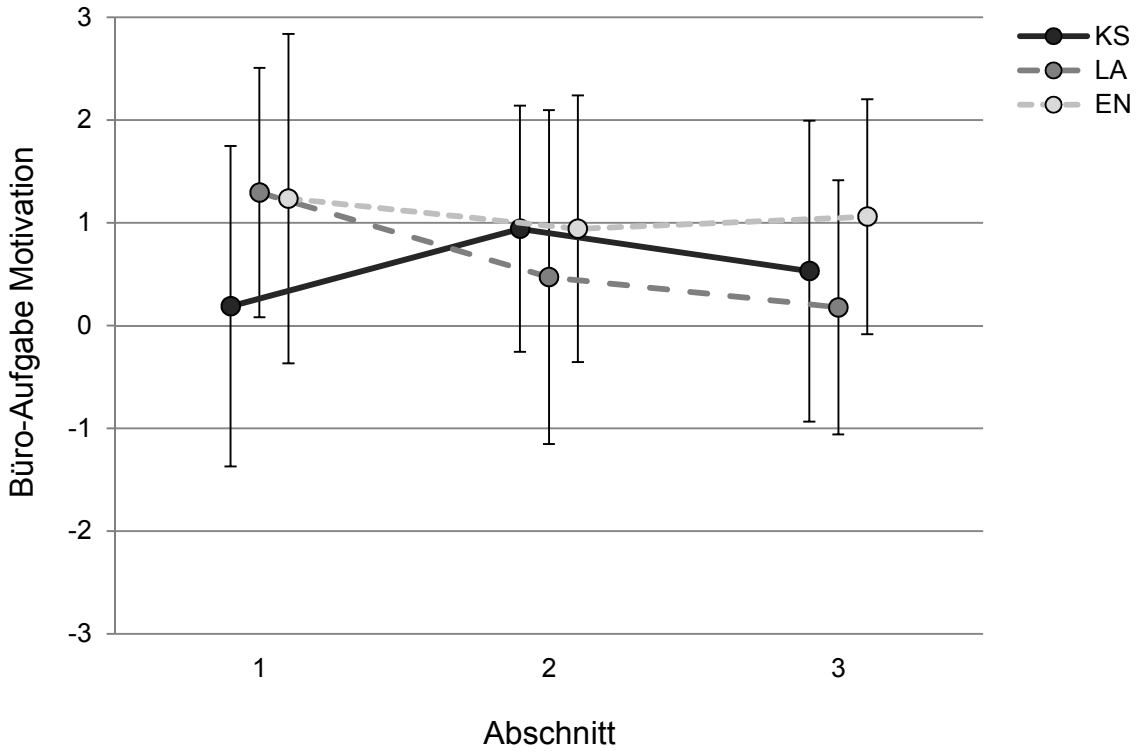


Bild H.2: Motivation bei der Büro-Aufgabe in Abhängigkeit der Steuerungsvarianten, dargestellt für die Gruppe $J_{21\text{-}24}$. Der Fehlerballen stellt die Standardabweichung dar.

Büro-Aufgabe: Visuelle Ermüdung

Die visuelle Ermüdung zeigt weder für die gesamte Datengrundlage noch für die Gruppe $J_{21\text{-}24}$ eine Abhängigkeit von Abschnitt oder Steuerungsvariante.

Buchstabenvergleichs-Aufgabe

Bei Betrachtung aller Testpersonen bestimmt der Abschnitt signifikant die Anzahl der bearbeiteten Aufgaben ($F(2,76) = 5{,}35$, $p < 0{,}01$, $\eta_p^2 = 0{,}12$). In allen Steuerungsvarianten bearbeiten die Testpersonen im ersten Abschnitt die wenigsten Aufgaben.

Buchstabenvergleichs-Aufgabe: Geistige Anstrengung

Bei Verwendung aller Daten ergibt sich ein signifikanter Einfluss des Abschnittes. Die Anstrengung war im mittleren Abschnitt besonders hoch ($F(2,78) = 8{,}83$, $p < 0{,}01$, $\eta_p^2 = 0{,}19$). Der signifikante Einfluss des Abschnitts kann auch für die Gruppe $J_{21\text{-}24}$ nachgewiesen werden ($F(2,32) = 6{,}57$, $p < 0{,}01$, $\eta_p^2 = 0{,}29$).

Buchstabenvergleichs-Aufgabe: Erfolgreiches Abschließen

Das Erfolgsempfinden zeigt weder für die gesamte Datengrundlage noch für die Gruppe $J_{21\text{-}24}$ eine Abhängigkeit von Abschnitt oder Steuerungsvariante.

Buchstabenvergleichs-Aufgabe: Motivation

Die Motivation zeigt weder für die gesamte Datengrundlage noch für die Gruppe $J_{21\text{-}24}$ eine Abhängigkeit von Abschnitt oder Steuerungsvariante.

Buchstabenvergleichs-Aufgabe: Visuelle Ermüdung

Für die Gesamtzahl der Testpersonen zeigt sich ein signifikanter Einfluss des Abschnitts, die visuelle Ermüdung ist im mittleren Abschnitt besonders hoch ($F(2,78) = 3,04$, $p = 0,05$, $\eta_p^2 = 0,07$).

Dominosteinsuch-Aufgabe: Geistige Anstrengung

Für alle Testpersonen ergibt sich ein signifikanter Einfluss des Abschnitts ($F(2,78) = 4,01$, $p = 0,02$, $\eta_p^2 = 0,09$). Die geistige Anstrengung ist im ersten Abschnitt geringer als im letzten Abschnitt.

Dominosteinsuch-Aufgabe: Erfolgreiches Abschließen

Bei Verwendung aller Daten zeigt sich ein tendenzieller Einfluss des Abschnitts ($F(2,78) = 2,50$, $p = 0,09$, $\eta_p^2 = 0,06$). Dies kann für $J_{21\text{-}24}$ bestätigt werden ($F(2,32) = 2,72$, $p = 0,08$, $\eta_p^2 = 0,15$). Der Erfolg ist im zweiten Abschnitt geringer als im ersten und letzten Abschnitt.

Dominosteinsuch-Aufgabe: Motivation

Unter Berücksichtigung aller Testpersonen ändert sich die Motivation signifikant mit dem Abschnitt ($F(2,78) = 7,01$, $p < 0,01$, $\eta_p^2 = 0,15$). Dies zeigt sich tendenziell auch bei der separaten Betrachtung der Gruppe $J_{21\text{-}24}$ ($F(2,32) = 2,04$, $p = 0,15$, $\eta_p^2 = 0,11$).

Dominosteinsuch-Aufgabe: Visuelle Ermüdung

Bei Verwendung aller Daten zeigt sich ein signifikanter Einfluss des Abschnitts ($F(2,78) = 3,76$, $p = 0,03$, $\eta_p^2 = 0,09$). Die visuelle Ermüdung ist im mittleren Abschnitt besonders hoch. Dies kann auch für die Gruppe $J_{21\text{-}24}$ nachgewiesen werden ($F(2,32) = 2,34$, $p = 0,05$, $\eta_p^2 = 0,18$).

Konzentrations-Leistungs-Test

Bei Verwendung aller Daten zeigt sich ein tendenzieller Einfluss der Steuerungsvariante ($F(2,78) = 1,98$, $p = 0,14$, $\eta_p^2 = 0,05$) und ein signifikanter Einfluss des Abschnitts ($F(2,78) = 6,54$, $p < 0,01$, $\eta_p^2 = 0,14$) auf die Zahl der bearbeiteten Teilaufgaben, wie in Bild H.3 zu sehen. Die Testpersonen konnten bei LA am meisten Teilaufgaben bearbeiten und wurden zudem auch von Abschnitt zu Abschnitt produktiver. Tendenzielle Unterschiede gibt es im dritten Abschnitt. Bei LA (MW = 10,85, SD = 3,60) konnten mehr Teilaufgaben bearbeitet werden als bei EN (MW = 10,40, SD = 3,21) ($t(39) = 1,53$, $p = 0,14$) und KS (MW = 10,18, SD = 3,67) ($t(39) = 1,78$, $p = 0,08$).

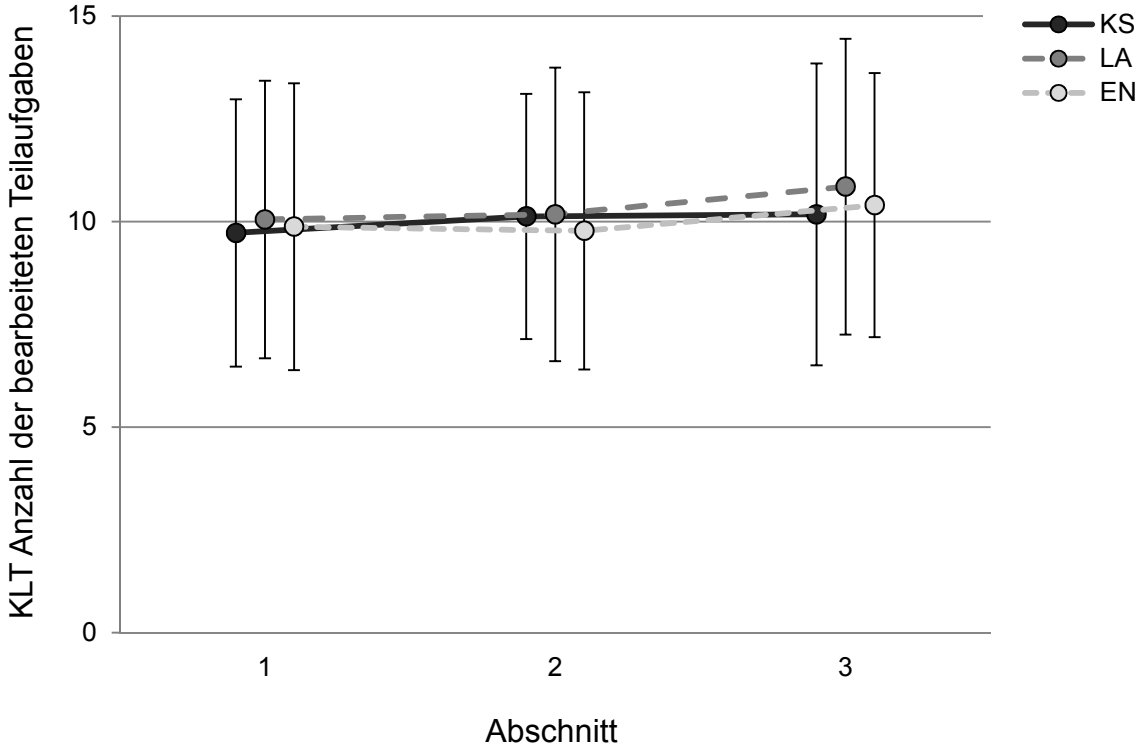


Bild H.3: Anzahl der bearbeiteten Teilaufgaben des Konzentrations-Leistungs-Tests in Abhängigkeit der Steuerungsvarianten, dargestellt für alle Testpersonen. Der Fehlerballen stellt die Standardabweichung dar.

Für die Gruppe $J_{21\text{-}24}$ ergibt sich lediglich ein tendenzieller Einfluss des Abschnitts ($F(1{,}41, 22{,}491) = 3{,}49$, $p = 0{,}06$, $\eta_p^2 = 0{,}18$).

Konzentrations-Leistungs-Test: Geistige Anstrengung

Die geistige Anstrengung zeigt weder für die gesamte Datengrundlage noch für die Gruppe $J_{21\text{-}24}$ eine Abhängigkeit von Abschnitt oder Steuerungsvariante.

Konzentrations-Leistungs-Test: Erfolgreiches Abschließen

Das erfolgreiche Abschließen zeigt weder für die gesamte Datengrundlage noch für die Gruppe $J_{21\text{-}24}$ eine Abhängigkeit von Abschnitt oder Steuerungsvariante.

Konzentrations-Leistungs-Test: Motivation

Die Motivation zeigt weder für die gesamte Datengrundlage noch für die Gruppe $J_{21\text{-}24}$ eine Abhängigkeit von Abschnitt oder Steuerungsvariante.

Konzentrations-Leistungs-Test: Visuelle Ermüdung

Bei der Verwendung aller Daten ergibt sich einerseits ein tendenzieller Einfluss des Abschnitts ($F(1{,}61{,}62{,}72) = 2{,}13$, $p = 0{,}14$, $\eta_p^2 = 0{,}05$) und andererseits eine signifikante Interaktion zwischen Steuerungsvariante und Abschnitt ($F(4{,}16) = 2{,}82$, $p = 0{,}03$, $\eta_p^2 = 0{,}07$). Im ersten Abschnitt ist die visuelle Ermüdung der Testpersonen bei LA am geringsten. Der Vergleich von LA (MW = -0,83, SD = 1,36), KS (MW = -0,08, SD = 1,61) und EN (MW = -0,08, SD = 1,61) zeigt, dass die Testpersonen bei LA signifikant weniger ermüden als bei KS ($t(39) = 2{,}47$, $p = 0{,}02$) und EN ($t(39) = 3{,}17$, $p < 0{,}01$). Die Darstellung der Gesamtdaten ist in Bild H.4 zu sehen.

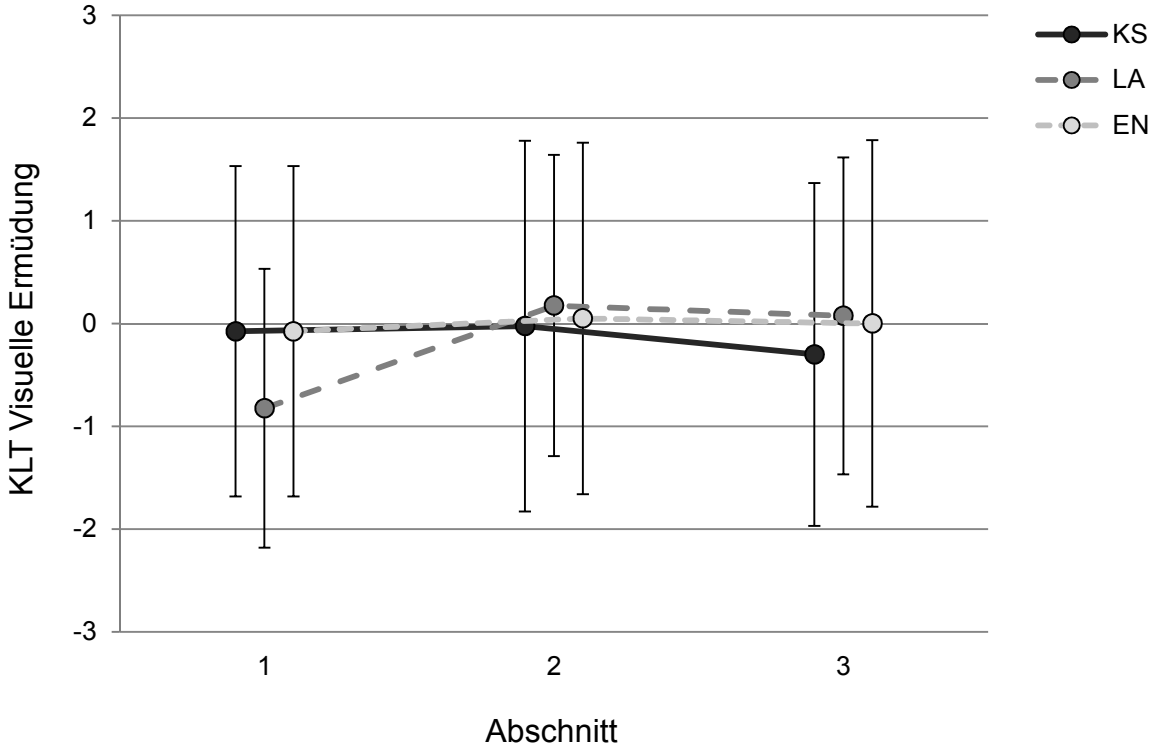


Bild H.4: Visuelle Ermüdung beim Konzentrations-Leistungs-Test in Abhängigkeit der Steuerungsvarianten, dargestellt für alle Testpersonen. Der Fehlerballen stellt die Standardabweichung dar.

Nahpunkt der Akkommodation: Erfassung innerhalb der Abschnitte

Bei Betrachtung der Gesamtzahl der Testpersonen ergibt sich ein signifikanter Einfluss des Abschnittes ($F(2,76) = 21,35$, $p < 0,01$, $\eta_p^2 = 0,36$). Mit zunehmender Bearbeitungsdauer steigt die visuelle Ermüdung. Dies gilt auch für die Gruppe $J_{21\text{-}24}$ ($F(2,32) = 6,28$ $p < 0,01$, $\eta_p^2 = 0,28$).

Nahpunkt der Akkommodation: Erfassung zu Base- und Endline

Bei Verwendung aller Daten zeigt der Zeitpunkt der Messung einen signifikanten Einfluss auf den NPA ($F(1,38) = 7,50$, $p < 0,01$, $\eta_p^2 = 0,17$). Die visuelle Ermüdung nimmt über die Dauer der einzelnen Sessions zu.

Visuelle Leistungsatmosphäre

Die visuelle Leistungsatmosphäre wurde pro Abschnitt zweimal erhoben, einmal nach der Bearbeitung der Büro-Aufgabe und einmal nachdem alle Aufgaben des Abschnitts durchgeführt waren. Für beide Erhebungszeitpunkte zeigt sich weder

für die gesamte Datengrundlage noch für die Gruppe $J_{21\text{-}24}$ eine Abhängigkeit von Abschnitt oder Steuerungsvariante.

Befindlichkeit

Für die Skala „Gute Stimmung - Schlechte Stimmung“ zeigt sich bei Berücksichtigung aller Teilnehmer, dass die Stimmung signifikant vom Zeitpunkt der Messung (Base und Endline) ($F(1,39) = 17,73$, $p < 0,01$, $\eta_p^2 = 0,31$) und tendenziell von der Interaktion zwischen Zeitpunkt und Steuerungsvariante ($F(2,78) = 2,14$, $p = 0,12$, $\eta_p^2 = 0,05$) abhängig ist. Die Stimmung lässt während der Bearbeitungszeit nach, der Abfall ist bei EN am schwächsten, wie in Bild H.5 zu sehen.

In der Baseline ist die Stimmung bei EN (MW = 4,11, SD = 0,78) tendenziell schlechter als bei LA (MW = 4,26, SD = 0,57), ($t(39) = 1,80$, $p = 0,08$). Während der Endline ist die Stimmung bei EN (MW = 4,02, SD = 0,70) tendenziell besser als bei KS (MW = 3,81, SD = 0,89), ($t(39) = 1,78$, $p = 0,08$).

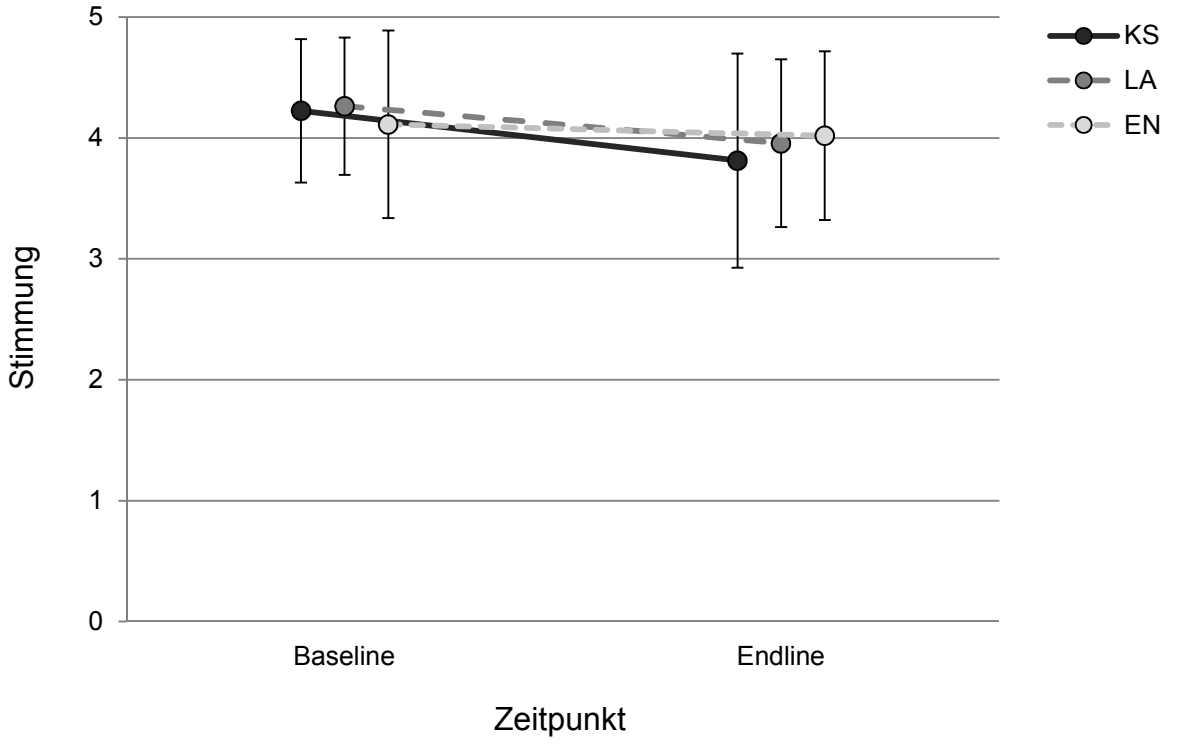


Bild H.5: Stimmung in Abhängigkeit der Steuerungsvarianten, dargestellt für alle Testpersonen. Der Fehlerballen stellt die Standardabweichung dar.

Für die Gruppe $J_{21\text{-}24}$ zeigt sich ein signifikanter Einfluss des Zeitpunkts ($F(1,16) = 10,85$, $p = 0,01$, $\eta_p^2 = 0,40$). Die Stimmung lässt mit zunehmender Bearbeitungszeit nach.

Für die Skala „Ruhe - Unruhe“ zeigt sich bei Verwendung aller Daten, dass der Zeitpunkt der Messung (Base- oder Endline) einen signifikanten Einfluss auf die Ruhe der Testpersonen ($F(1,39) = 6,86$, $p = 0,01$, $\eta_p^2 = 0,15$) hat. Die Ruhe lässt während der Bearbeitungszeit nach.

Für die Skala „Wachheit - Müdigkeit“ zeigt sich bei Nutzung aller Daten, dass die Wachheit der Testpersonen signifikant vom Zeitpunkt der Messung (Base- oder Endline) abhängt ($F(1,39) = 43,39$, $p < 0,01$, $\eta_p^2 = 0,53$). Die Testpersonen werden während der Bearbeitungszeit müde. Dies kann auch bei separater Betrachtung der Gruppe $J_{21\text{-}24}$ ($F(1,16) = 10,33$, $p < 0,01$, $\eta_p^2 = 0,39$) nachgewiesen werden.

Schläfrigkeit

Bei Verwendung aller Daten zeigen die Steuerungsvariante tendenziellen ($F(2,78) = 2,05$, $p = 0,14$, $\eta_p^2 = 0,05$), der Zeitpunkt der Messung signifikanten($F(1,39) = 8,35$, $p < 0,01$, $\eta_p^2 = 0,18$) und die Interaktion der beiden Faktoren tendenziellen ($F(2,78) = 2,58$, $p = 0,08$, $\eta_p^2 = 0,06$) Einfluss auf die Schläfrigkeit (Bild H.6).
Bei KS (MW = 3,83, SD = 1,62) und LA (MW = 3,75, SD = 1,43) ist die Müdigkeit in der Baseline signifikant geringer als bei EN (MW = 4,55, SD = 1,80), (KS - EN: $t(39) = 2,34$, $p = 0,03$), LA - EN: $t(39) = 2,65$, $p = 0,01$).

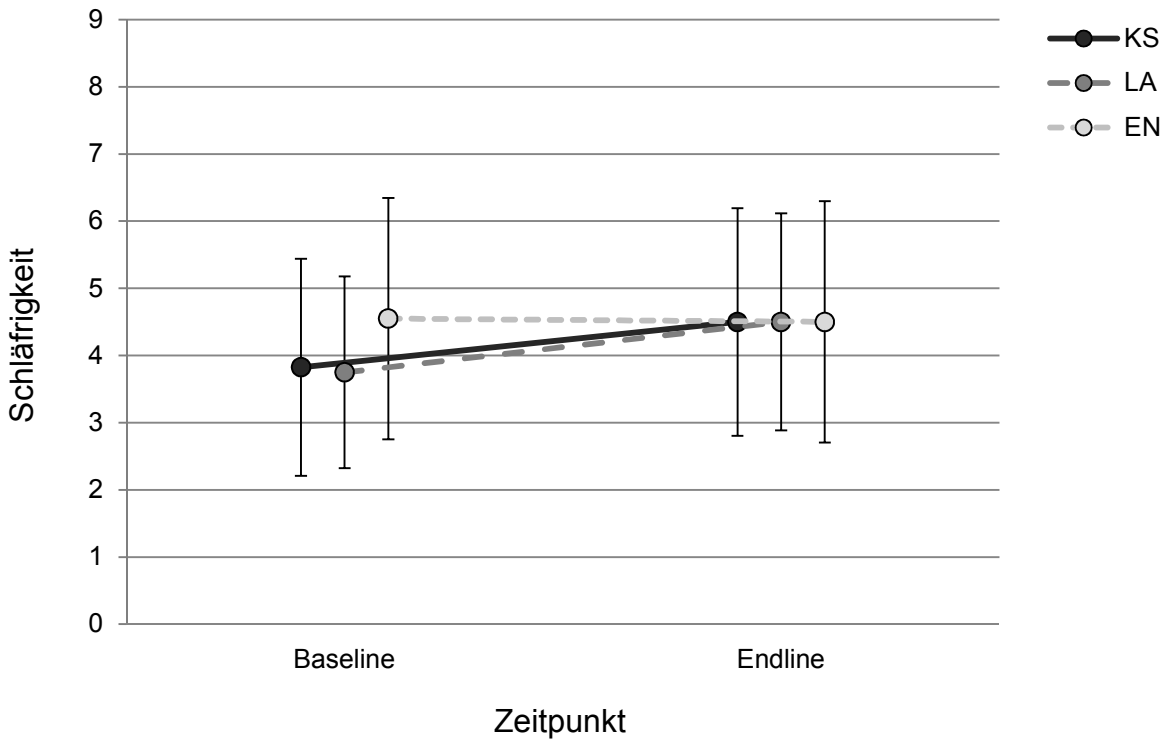


Bild H.6: Schläfrigkeit in Abhängigkeit der Steuerungsvarianten, dargestellt für alle Testpersonen. Der Fehlerballen stellt die Standardabweichung dar.

Bei Betrachtung der Gruppe $J_{21\text{-}24}$ ergibt sich eine tendenzielle Interaktion zwischen dem Zeitpunkt der Messung und Steuerungsvariante ($F(2,32) = 2,39$, $p = 0,11$, $\eta_p^2 = 0,13$) (Bild H.7). In der Baseline sind die Testpersonen bei LA (MW = 3,82, SD = 1,29) tendenziell weniger schläfrig als bei KS (MW = 4,41, SD = 1,84) und signifikant weniger schläfrig als bei EN (MW = 5,06, SD = 1,71) (KS - LA: ($t(16) = 1,53$, $p = 0,15$), EN - LA: ($t(16) = 2,16$, $p = 0,05$).

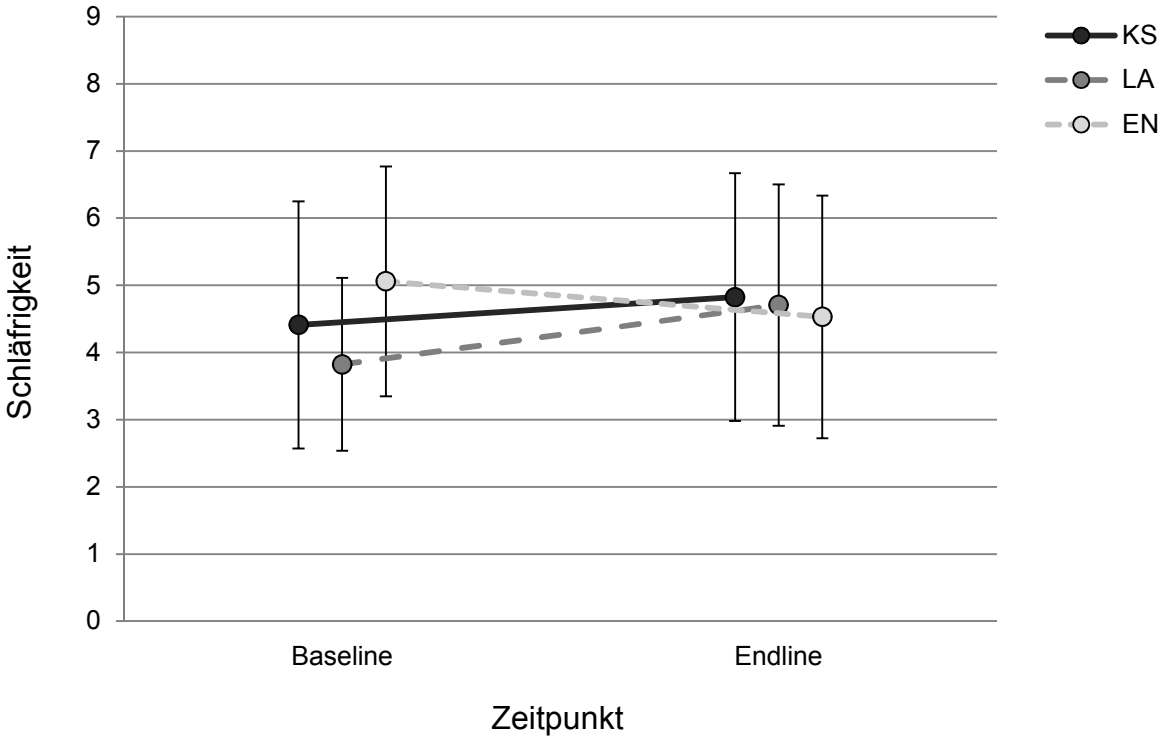


Bild H.7: Schläfrigkeit in Abhängigkeit der Steuerungsvarianten, dargestellt für die Gruppe $J_{21\text{-}24}$. Der Fehlerballen stellt die Standardabweichung dar.

Akzeptanz der Steuerung

Generell wird die Steuerung, wie Tabelle H.8 zu entnehmen, nur selten bemerkt. Es zeigt sich kein signifikanter oder tendenzieller Unterschied zwischen den untersuchten Steuerungsvarianten. Da die Steuerung meist nicht erkannt wurde, wurden die Folgefragen zur Akzeptanz der Steuerung nicht ausgewertet.

Tabelle H.8: Übersicht über die Anzahl der Testpersonen, welche die Steuerung bemerkt haben

Gruppe	**Steuerungsvariante**					
	KS		LA		EN	
	bemerkt	Nicht bemerkt	bemerkt	Nicht bemerkt	bemerkt	Nicht bemerkt
gesamt	9	31	9	31	8	32
$J_{21\text{-}24}$	5	12	4	13	6	11

Zusammenfassung der Ergebnisse bei Berücksichtigung aller Probanden

- Die Motivation bei Bearbeitung der Büro-Aufgabe steigt bei der Konstant-Steuerung im zweiten Abschnitt an, für die übrigen Steuerungsvarianten ist dies nicht der Fall.
- Beim Konzentrations-Leistungs-Test werden die meisten Teilaufgaben bei der Leistungsatmosphäre-Steuerung bearbeitet.
- Beim Konzentrations-Leistungs-Test ist die visuelle Ermüdung bei der Leistungsatmosphäre-Steuerung am geringsten.
- Die Stimmung lässt über die Testdauer bei der Energie-Steuerung am wenigsten nach.
- In der Baseline sind die Testpersonen bei der Energie-Steuerung besonders schläfrig.

Zusammenfassung der Ergebnisse der Gruppe $J_{21\text{-}24}$

- Die Motivation bei Bearbeitung der Büro-Aufgabe ist bei der Konstant-Steuerung im ersten Abschnitt geringer als bei der Energie- und der Leistungsatmosphäre-Steuerung. Im zweiten Abschnitt steigt die Motivation bei der Konstant-Steuerung an und es zeigt sich kein Unterschied mehr zwischen den Steuerungsvarianten.
- In der Baseline sind die Testpersonen bei der Energie- und Konstant-Steuerung schläfriger als bei der Leistungsatmosphäre-Steuerung.

Auswertung der übrigen Maße für Gruppe $A_{25\text{-}34}$

Büro-Aufgabe: Erfolgreiches Abschließen

Das Erfolgsempfinden zeigt keine Abhängigkeit von Abschnitt oder Steuerungsvariante.

Büro-Aufgabe: Motivation

Es lässt sich ein signifikanter Einfluss des Abschnitts zeigen ($F(1{,}32{,}28{,}97) = 4{,}16$, $p = 0{,}05$, $\eta_p^2 = 0{,}16$). Mit zunehmender Bearbeitungszeit sinkt die Motivation

Buchstabenvergleichs-Aufgabe: Erfolgreiches Abschließen

Das Erfolgsempfinden ist tendenziell abhängig von der Steuerungsvariante ($F(2{,}44) = 2{,}37$, $p = 0{,}11$, $\eta_p^2 = 0{,}10$) und signifikant anhängig vom Abschnitt ($F(2{,}44) = 3{,}21$, $p = 0{,}05$, $\eta_p^2 = 0{,}13$), wie in Bild H.8 zu sehen.

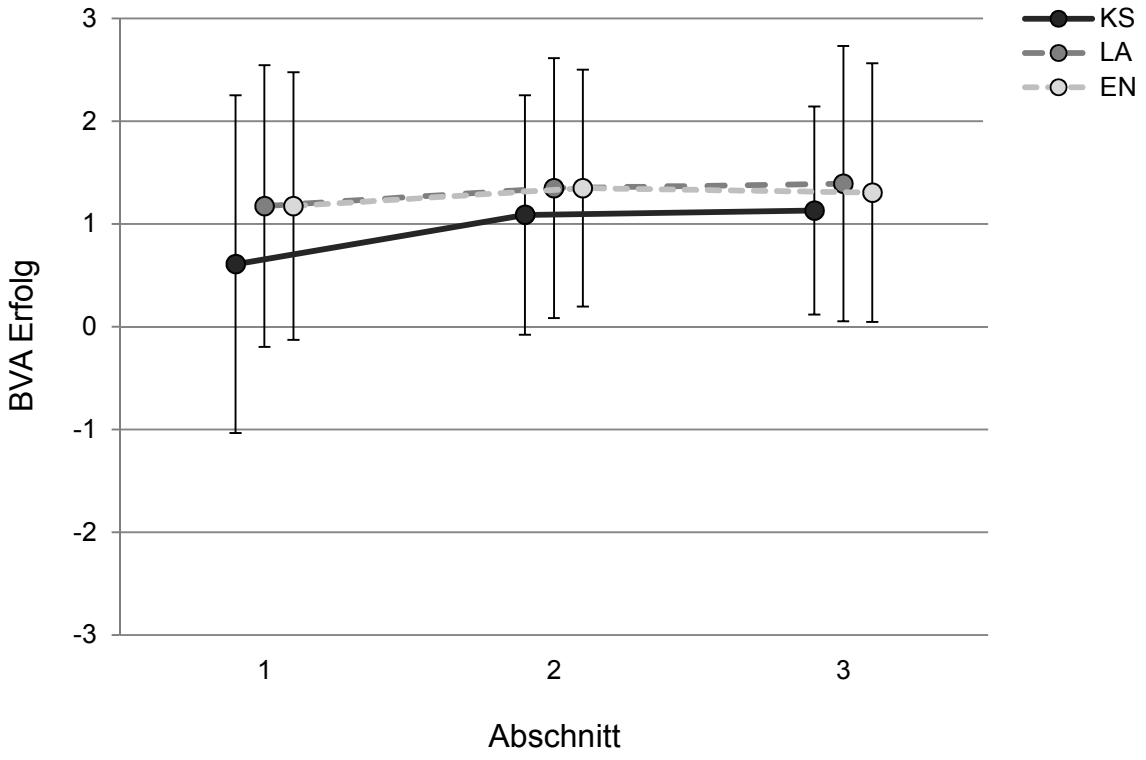


Bild H.8: Erfolg bei der Buchstabenvergleichs-Aufgabe in Abhängigkeit der Steuerungsvarianten, dargestellt für die Gruppe $A_{25\text{-}34}$.

Bei KS empfinden die Testpersonen sich als weniger erfolgreich. Der Unterschied der Steuerungsvarianten erreicht lediglich im ersten Abschnitt Tendenzniveau.

Hier führt KS (MW = 0,61, SD = 1,64) zu geringerem Erfolgsempfinden als LA (MW = 1,17, SD = 1,37) (t(22) = 1,74, p = 0,10).

Buchstabenvergleichs-Aufgabe: Motivation

Die Steuerungsvariante nimmt signifikanten Einfluss auf die Motivation (F(2,44) = 4,08, p = 0,02, η_p^2 = 0,16), EN führt zur geringsten Motivation der Testpersonen, wie in Bild H.9 zu sehen. Die große Effektstärke lässt ein praxisrelevantes Absinken der Motivation bei falscher Monitoreinstellung erwarten. Der Vergleich von KS (1. Abschnitt: MW = 1,48, SD = 1,16, 2. Abschnitt MW = 1,43, SD = 1,38) und EN (1. Abschnitt: MW = 0,91, SD = 1,44, 2. Abschnitt MW = 0,65, SD = 1,82) ergibt im ersten und im zweiten Abschnitt signifikante Unterschiede in der Motivation (1. Abschnitt: (t(22) = 2,87, p < 0,01), 2. Abschnitt: (t(22) = 2,08, p = 0,05). Im ersten Abschnitt führt auch LA (MW = 1,39, SD = 1,44) zu tendenziell mehr Motivation bei der Aufgabenbearbeitung als EN (t(22) = 1,75, p = 0,09).

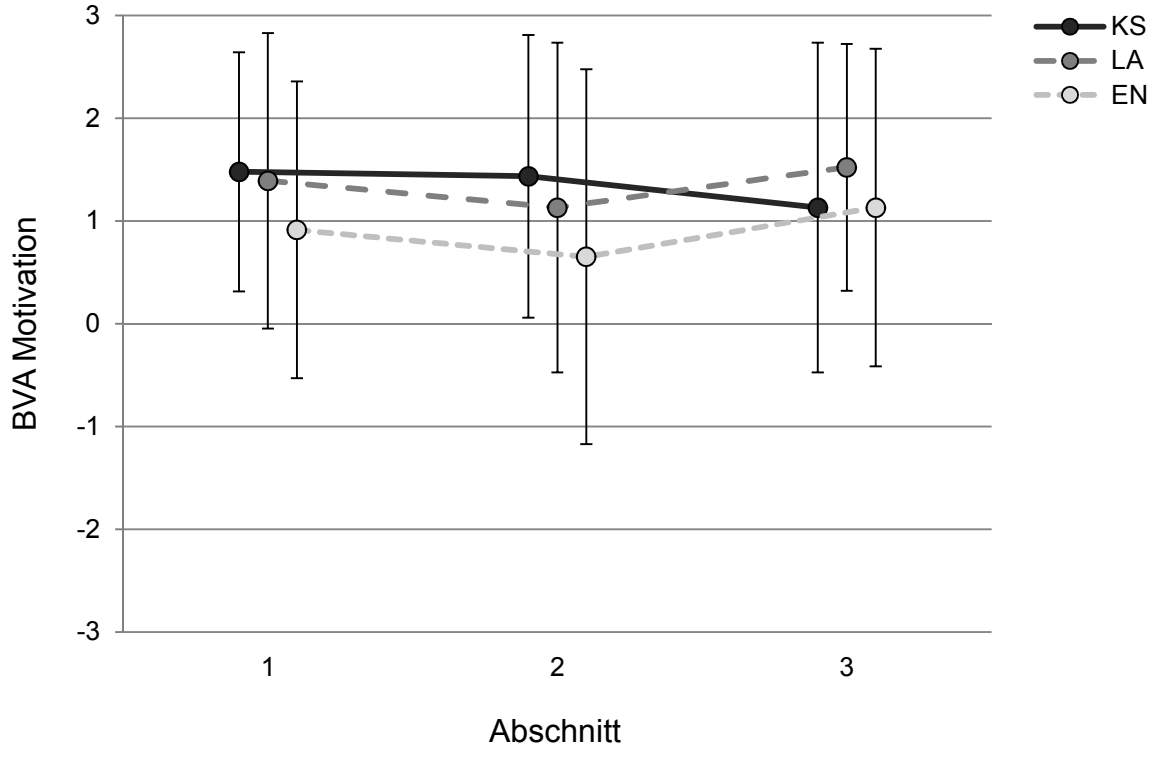


Bild H.9: Motivation bei der Buchstabenvergleichs-Aufgabe in Abhängigkeit der Steuerungsvarianten, dargestellt für die Gruppe $A_{25\text{-}34}$.

Dominosteinsuch-Aufgabe: Erfolgreiches Abschließen

Das erfolgreiche Abschließen zeigt keine Abhängigkeit von Abschnitt oder Steuerungsvariante.

Dominosteinsuch-Aufgabe: Motivation

Die Motivation ändert sich signifikant mit dem Abschnitt ($F(2,44) = 6,62$, $p < 0,01$, $\eta_p^2 = 0,23$), von Abschnitt zu Abschnitt nimmt Motivation ab.

Konzentrations-Leistungs-Test: Erfolgreiches Abschließen

Das erfolgreiche Abschließen zeigt keine Abhängigkeit von Abschnitt oder Steuerungsvariante.

Konzentrations-Leistungs-Test: Motivation

In Bild H.10 wird der tendenzielle Einfluss der Steuerungsvariante auf die Motivation bei der Aufgabenbearbeitung ($F(2,44) = 2,85$, $p = 0,07$, $\eta_p^2 = 0,12$) dargestellt.

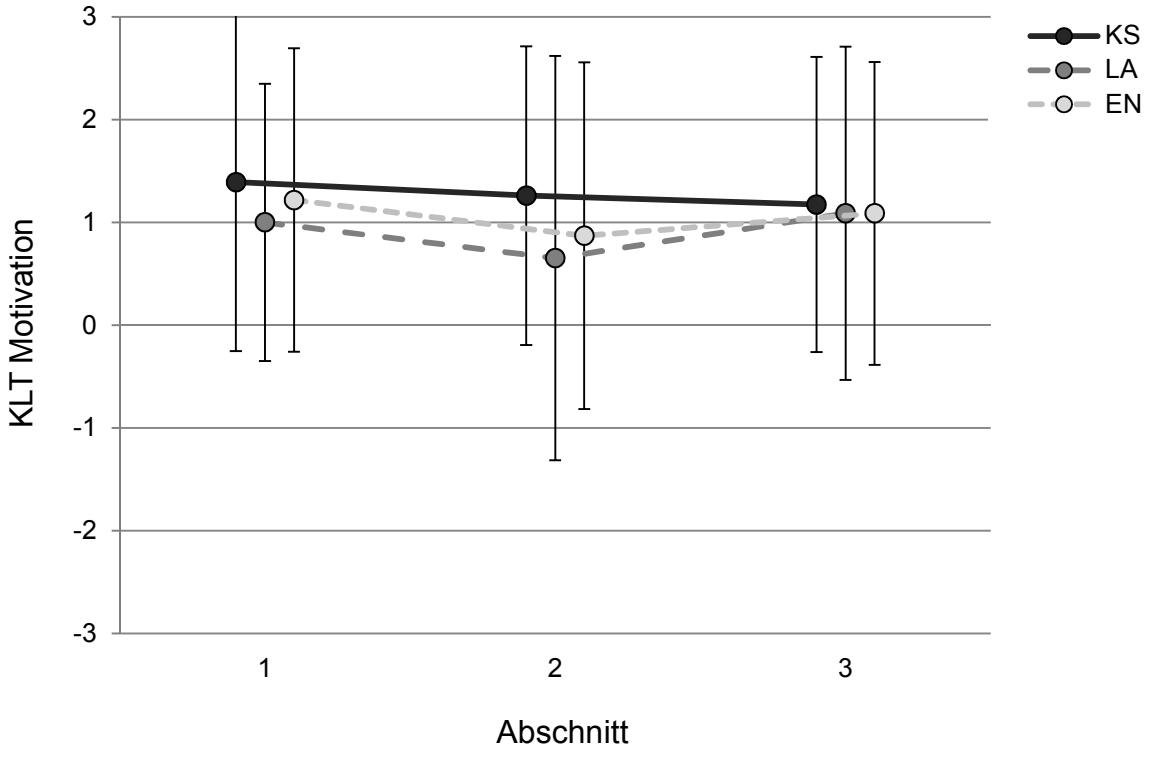


Bild H.10: Motivation beim Konzentrations-Leistungs-Test in Abhängigkeit der Steuerungsvarianten, dargestellt für die Gruppe $A_{25\text{-}34}$.

Die Motivation ist am höchsten für KS. Im zweiten Abschnitt ist der Unterschied zwischen KS (MW = 1,26, SD = 1,45) und LA (MW = 0,65, SD = 1,97) signifikant (t(22) = 2,52, p = 0,02).

Befindlichkeit

Für die Skala „Gute Stimmung - Schlechte Stimmung“ zeigt sich ein signifikanter Einfluss des Zeitpunkts (F(1,22) = 7,88, p = 0,01, η_p^2 = 0,26) und eine tendenzielle Interaktion zwischen Zeitpunkt und Steuerungsvariante (F(2,44) = 3,11, p = 0,06, η_p^2 = 0,12). Die Stimmung lässt für LA und KS über die Zeit nach, bei EN ist sie dauerhaft auf mittlerem Niveau, siehe dazu Bild H.11.

In der Baseline ist die Stimmung der Testpersonen bei LA (MW = 4,32, SD = 0,52) tendenziell besser als bei EN (MW = 4,14, SD = 0,85), (t(22) = 1,50, p = 0,15). Während der Endline ist die Stimmung bei EN (MW = 4,15, SD = 0,65) tendenziell besser als bei KS (MW = 3,89, SD = 0,87), (t(22) = 1,59, p = 0,13).

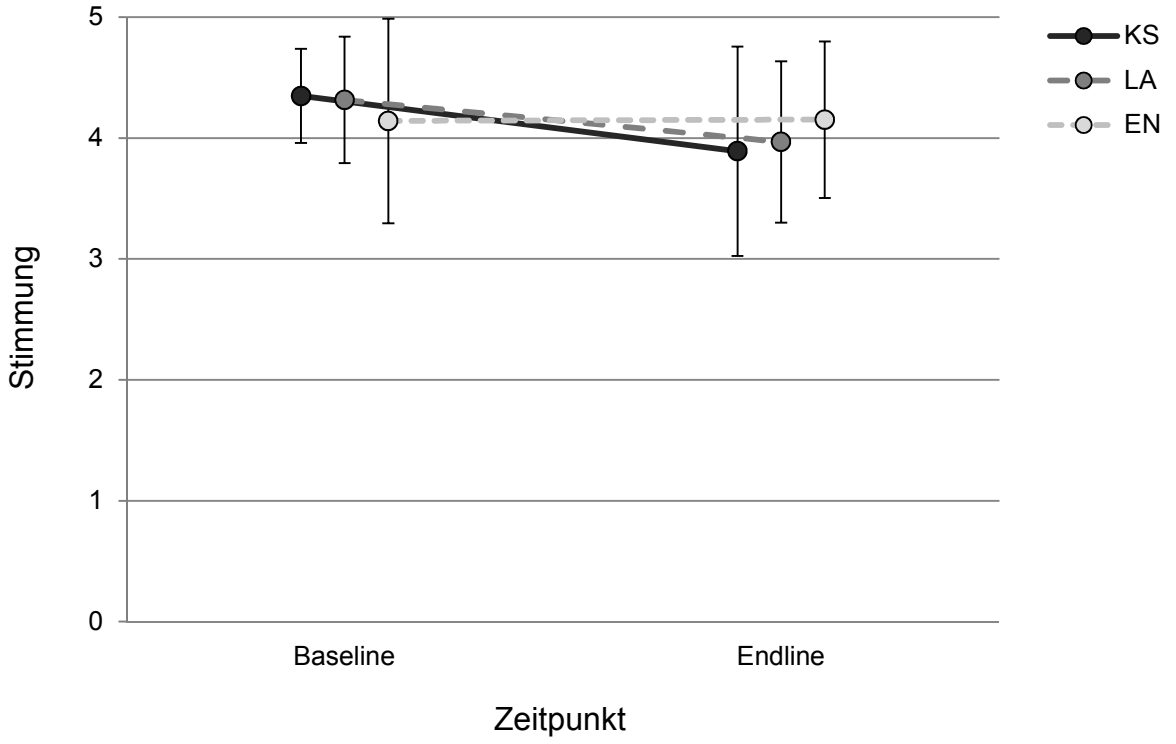


Bild H.11: Stimmung in Abhängigkeit der Steuerungsvarianten, dargestellt für die Gruppe $A_{25\text{-}34}$.

Für die Skala „Ruhe - Unruhe“ zeigt sich, dass der Zeitpunkt der Messung (Base- oder Endline) einen signifikanten Einfluss auf die Ruhe der Testpersonen hat

($F(1,22) = 8,22$, $p < 0,01$, $\eta_p^2 = 0,27$). Die Ruhe lässt während der Bearbeitungszeit nach.

Für die Skala „Wachheit - Müdigkeit“ zeigt sich, dass die Wachheit der Testpersonen signifikant vom Zeitpunkt der Messung (Base- oder Endline) abhängt ($F(1,22) = 36,89$, $p < 0,01$, $\eta_p^2 = 0,63$). Die Testpersonen werden während der Bearbeitungszeit müde.

Schläfrigkeit

Es zeigt sich ein signifikanter Einfluss des Zeitpunkts der Messung ($F(1,22) = 10,87$, $p < 0,01$, $\eta_p^2 = 0,33$) und ein tendenzieller Einfluss der Steuerungsvariante ($F(2,44) = 2,15$, $p = 0,13$, $\eta_p^2 = 0,09$). Die Müdigkeit nimmt in allen Steuerungsvarianten über die Bearbeitungszeit zu, bei EN ist die Müdigkeit am höchsten.

In der Baseline ist Schläfrigkeit bei EN (MW = 4,17, SD = 1,80) signifikant höher bei KS (MW = 3,39, SD = 1,31), ($t(22) = 2,72$, $p = 0,01$) und tendenziell höher als bei LA (MW = 3,70, SD = 1,55), ($t(22) = 1,56$, $p = 13$). Der Zusammenhang ist in Bild H.12 zu sehen.

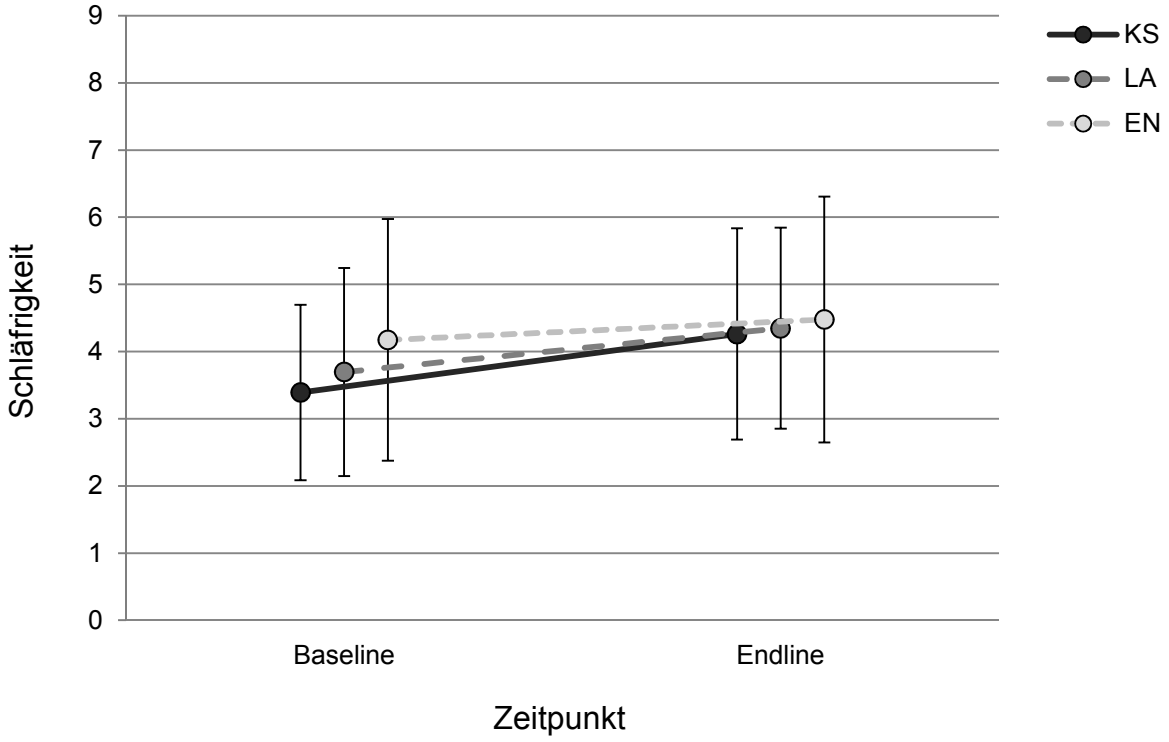


Bild H.12: Schläfrigkeit in Abhängigkeit der Steuerungsvarianten, dargestellt für die Gruppe $A_{25\text{-}34}$.

Tabelle H.9: Übersicht über Mittel-, Maximal und Minimalwerte, sowie Standardabweichung der Studie 3. Zu Beginn der Bezeichnung der Maße werden die Steuerungsvariante (KS, LA, EN) und der Abschnitt (1, 2, 3) angegeben.

Deskriptive Statistiken												
Maß	alle Testpersonen (n = 40)				Testpersonen >= 25 (n = 23)				Testpersonen < 25 (n = 17)			
	Min	Max	MW	SD	Min	Max	MW	SD	Min	Max	MW	SD
KS_Baseline_KSS	1,00	7,00	3,83	1,62	1,00	6,00	3,39	1,31	1,00	7,00	4,41	1,84
KS_1_BürogeistigeAnstrengung	-3,00	3,00	-0,58	1,68	-3,00	3,00	-0,70	1,74	-3,00	2,00	-0,41	1,62
KS_1_BüroErfolg	-2,00	3,00	0,93	1,35	-2,00	3,00	1,22	1,31	-2,00	2,00	0,53	1,33
KS_1_BüroMotivation	-3,00	3,00	0,92	1,48	-1,00	3,00	1,43	1,20	-3,00	2,00	0,19	1,56
KS_1_BürovisuelleErmüdung	-3,00	3,00	-0,03	1,44	-2,00	3,00	-0,05	1,36	-3,00	2,00	0,00	1,59
KS_1_NVTgeistigeAnstrengung	-3,00	3,00	-0,43	1,63	-3,00	2,00	-0,70	1,52	-3,00	3,00	-0,06	1,75
KS_1_NVTErfolg	-3,00	3,00	0,53	1,63	-3,00	3,00	0,61	1,64	-3,00	3,00	0,41	1,66
KS_1_NVTMotivation	-3,00	3,00	1,08	1,47	-1,00	3,00	1,48	1,16	-3,00	3,00	0,53	1,70
KS_1_NVTvisuelleErmüdung	-3,00	3,00	-0,18	1,72	-3,00	3,00	0,04	1,55	-3,00	3,00	-0,47	1,94
KS_1_DOMgeistigeAnstrengung	-3,00	3,00	-0,85	1,70	-3,00	1,00	-1,17	1,40	-3,00	3,00	-0,41	2,00
KS_1_DSAErfolg	-2,00	3,00	1,48	1,01	-2,00	3,00	1,57	1,12	0,00	3,00	1,35	0,86
KS_1_DSAMotivation	-3,00	3,00	1,73	1,30	-3,00	3,00	1,91	1,35	-1,00	3,00	1,47	1,23
KS_1_DSAvisuelleErmüdung	-3,00	3,00	-0,25	1,46	-2,00	2,00	0,22	1,28	-3,00	3,00	-0,88	1,50
KS_1_KLTgeistigeAnstrengung	-3,00	3,00	0,35	1,75	-3,00	2,00	-0,17	1,50	-3,00	3,00	1,06	1,85
KS_1_KLTErfolg	-3,00	3,00	-0,10	1,74	-3,00	3,00	0,35	1,61	-3,00	3,00	-0,71	1,76
KS_1_KLTMotivation	-3,00	3,00	0,88	1,65	-3,00	3,00	1,39	1,64	-2,00	3,00	0,18	1,42
KS_1_KLTvisuelleErmüdung	-3,00	3,00	-0,08	1,61	-3,00	3,00	-0,04	1,55	-3,00	3,00	-0,12	1,73
KS_2_BürogeistigeAnstrengung	-3,00	2,00	-0,28	1,62	-3,00	2,00	-0,74	1,39	-3,00	2,00	0,35	1,73
KS_2_BüroErfolg	-2,00	3,00	1,23	1,05	0,00	3,00	1,57	0,90	-2,00	2,00	0,76	1,09
KS_2_BüroMotivation	-2,00	3,00	1,18	1,26	-2,00	3,00	1,35	1,30	-1,00	3,00	0,94	1,20
KS_2_BürovisuelleErmüdung	-3,00	3,00	-0,15	1,72	-3,00	3,00	-0,09	1,65	-3,00	3,00	-0,24	1,86
KS_2_NVTgeistigeAnstrengung	-3,00	3,00	0,10	1,68	-3,00	3,00	0,00	1,60	-3,00	3,00	0,24	1,82
KS_2_NVTErfolg	-2,00	3,00	0,90	1,13	-1,00	3,00	1,09	1,16	-2,00	3,00	0,65	1,06
KS_2_NVTMotivation	-2,00	3,00	1,10	1,45	-1,00	3,00	1,43	1,38	-2,00	2,00	0,65	1,46
KS_2_NVTvisuelleErmüdung	-3,00	3,00	0,35	1,85	-3,00	3,00	0,52	1,59	-3,00	3,00	0,12	2,18
KS_2_DSAgeistigeAnstrengung	-2,00	3,00	0,00	1,63	-2,00	3,00	0,22	1,57	-2,00	3,00	-0,29	1,72
KS_2_DSAErfolg	-2,00	3,00	1,10	1,28	-2,00	3,00	1,35	1,37	-2,00	2,00	0,76	1,09
KS_2_DSAMotivation	-2,00	3,00	1,55	1,34	-1,00	3,00	1,70	1,26	-2,00	3,00	1,35	1,46
KS_2_DSAvisuelleErmüdung	-2,00	3,00	0,28	1,83	-2,00	3,00	0,35	1,94	-2,00	2,00	0,18	1,70
KS_2_KLTgeistigeAnstrengung	-2,00	3,00	0,58	1,69	-2,00	2,00	0,26	1,54	-2,00	3,00	1,00	1,84
KS_2_KLTErfolg	-3,00	3,00	0,03	1,75	-2,00	3,00	0,70	1,52	-3,00	2,00	-0,88	1,65
KS_2_KLTMotivation	-3,00	3,00	0,83	1,68	-2,00	3,00	1,26	1,45	-3,00	3,00	0,24	1,82
KS_2_KLTvisuelleErmüdung	-3,00	3,00	-0,03	1,80	-3,00	3,00	0,22	1,78	-3,00	2,00	-0,35	1,84
KS_3_BürogeistigeAnstrengung	-3,00	2,00	-0,15	1,76	-3,00	2,00	-0,35	1,75	-3,00	2,00	0,12	1,80
KS_3_BüroErfolg	-1,00	3,00	1,20	1,24	-1,00	3,00	1,43	1,24	-1,00	3,00	0,88	1,22
KS_3_BüroMotivation	-3,00	3,00	0,88	1,52	-3,00	3,00	1,13	1,55	-3,00	2,00	0,53	1,46
KS_3_BürovisuelleErmüdung	-3,00	3,00	-0,10	1,53	-3,00	3,00	0,04	1,52	-3,00	2,00	-0,29	1,57
KS_3_NVTgeistigeAnstrengung	-3,00	3,00	-0,53	1,55	-3,00	2,00	-0,43	1,41	-3,00	3,00	-0,65	1,77
KS_3_NVTErfolg	-3,00	3,00	0,80	1,26	-1,00	3,00	1,13	1,01	-3,00	2,00	0,35	1,46
KS_3_NVTMotivation	-3,00	3,00	1,00	1,52	-3,00	3,00	1,13	1,60	-2,00	3,00	0,82	1,42
KS_3_NVTvisuelleErmüdung	-3,00	3,00	0,05	1,55	-2,00	3,00	0,39	1,34	-3,00	3,00	-0,41	1,73
KS_3_DSAgeistigeAnstrengung	-3,00	2,00	-0,63	1,78	-3,00	2,00	-0,52	1,70	-3,00	2,00	-0,76	1,92
KS_3_DSAErfolg	-2,00	3,00	1,28	1,20	-2,00	3,00	1,30	1,29	0,00	3,00	1,24	1,09
KS_3_DSAMotivation	-3,00	3,00	1,45	1,63	-3,00	3,00	1,52	1,53	-2,00	3,00	1,35	1,80
KS_3_DSAvisuelleErmüdung	-3,00	3,00	-0,10	1,60	-3,00	3,00	0,04	1,55	-3,00	3,00	-0,29	1,69
KS_3_KLTgeistigeAnstrengung	-3,00	3,00	0,53	1,62	-2,00	2,00	0,17	1,40	-3,00	3,00	1,00	1,80
KS_3_KLTErfolg	-3,00	3,00	0,15	1,69	-3,00	3,00	0,78	1,38	-3,00	2,00	-0,71	1,72
KS_3_KLTMotivation	-3,00	3,00	0,70	1,68	-3,00	3,00	1,17	1,44	-3,00	3,00	0,06	1,82
KS_3_KLTvisuelleErmüdung	-3,00	3,00	-0,30	1,67	-3,00	2,00	-0,39	1,47	-3,00	3,00	-0,18	1,94
KS_Steuerung_bemerkt	1,00	2,00	1,78	0,42	1,00	2,00	1,83	0,39	1,00	2,00	1,71	0,47
KS_Endline_KSS	1,00	8,00	4,50	1,69	1,00	7,00	4,26	1,57	2,00	8,00	4,82	1,85
LA_Baseline_KSS	1,00	8,00	3,75	1,43	1,00	8,00	3,70	1,55	2,00	7,00	3,82	1,29
LA_1_BürogeistigeAnstrengung	-3,00	3,00	-0,55	1,63	-3,00	3,00	-0,35	1,70	-3,00	2,00	-0,82	1,55
LA_1_BüroErfolg	-3,00	3,00	1,03	1,29	-3,00	3,00	1,17	1,44	-1,00	2,00	0,82	1,07
LA_1_BüroMotivation	-3,00	3,00	1,33	1,38	-3,00	3,00	1,35	1,53	-2,00	3,00	1,29	1,21
LA_1_BürovisuelleErmüdung	-3,00	3,00	-0,29	1,53	-3,00	3,00	-0,16	1,80	-2,00	1,00	-0,47	1,13
LA_1_NVTgeistigeAnstrengung	-3,00	2,00	-0,65	1,41	-3,00	1,00	-0,78	1,44	-3,00	2,00	-0,47	1,37

LA_1_NVTErfolg	-3,00	3,00	0,83	1,39	-3,00	3,00	1,17	1,37	-1,00	3,00	0,35	1,32
LA_1_NVTMotivation	-3,00	3,00	1,08	1,46	-3,00	3,00	1,39	1,44	-2,00	2,00	0,65	1,41
LA_1_NVTvisuelleErmüdung	-3,00	3,00	-0,30	1,38	-3,00	1,00	-0,61	1,34	-2,00	3,00	0,12	1,36
LA_1_DSAgeistigeAnstrengung	-3,00	2,00	-0,63	1,46	-3,00	2,00	-0,48	1,65	-3,00	1,00	-0,82	1,19
LA_1_DSAErfolg	-3,00	3,00	1,03	1,37	-3,00	3,00	1,26	1,36	-2,00	3,00	0,71	1,36
LA_1_DSAMotivation	-2,00	3,00	1,60	1,15	-2,00	3,00	1,61	1,27	-1,00	3,00	1,59	1,00
LA_1_DSAvisuelleErmüdung	-3,00	2,00	-0,53	1,34	-3,00	2,00	-0,30	1,46	-2,00	1,00	-0,82	1,13
LA_1_KLTgeistigeAnstrengung	-3,00	3,00	0,30	1,71	-3,00	3,00	0,09	1,53	-2,00	3,00	0,59	1,94
LA_1_KLTErfolg	-3,00	3,00	-0,25	1,66	-3,00	3,00	0,13	1,77	-3,00	1,00	-0,76	1,39
LA_1_KLTMotivation	-2,00	3,00	0,80	1,45	-2,00	3,00	1,00	1,35	-2,00	3,00	0,53	1,59
LA_1_KLTvisuelleErmüdung	-3,00	2,00	-0,83	1,36	-3,00	2,00	-0,61	1,23	-3,00	2,00	-1,12	1,50
LA_2_BürogeistigeAnstrengung	-3,00	3,00	-0,50	1,55	-3,00	2,00	-0,52	1,47	-3,00	3,00	-0,47	1,70
LA_2_BüroErfolg	-3,00	3,00	1,08	1,47	-3,00	3,00	1,26	1,57	-2,00	2,00	0,82	1,33
LA_2_BüroMotivation	-3,00	3,00	0,70	1,68	-3,00	3,00	0,87	1,74	-3,00	3,00	0,47	1,62
LA_2_BürovisuelleErmüdung	-3,00	3,00	-0,44	1,60	-3,00	3,00	-0,35	1,64	-3,00	2,00	-0,56	1,59
LA_2_NVTgeistigeAnstrengung	-2,00	3,00	-0,23	1,42	-2,00	2,00	-0,65	1,30	-2,00	3,00	0,35	1,41
LA_2_NVTErfolg	-3,00	3,00	0,80	1,36	-3,00	3,00	1,35	1,27	-2,00	2,00	0,06	1,14
LA_2_NVTMotivation	-3,00	3,00	0,78	1,58	-3,00	3,00	1,13	1,60	-2,00	2,00	0,29	1,45
LA_2_NVTvisuelleErmüdung	-2,00	3,00	0,10	1,41	-2,00	2,00	-0,22	1,20	-2,00	3,00	0,53	1,59
LA_2_DSAgeistigeAnstrengung	-2,00	3,00	-0,38	1,55	-2,00	1,00	-0,57	1,27	-2,00	3,00	-0,12	1,87
LA_2_DSAErfolg	-3,00	3,00	0,90	1,46	-3,00	3,00	1,22	1,54	-1,00	3,00	0,47	1,28
LA_2_DSAMotivation	-2,00	3,00	0,90	1,58	-2,00	3,00	1,17	1,61	-2,00	2,00	0,53	1,50
LA_2_DSAvisuelleErmüdung	-2,00	3,00	0,28	1,45	-2,00	3,00	0,22	1,24	-2,00	3,00	0,35	1,73
LA_2_KLTgeistigeAnstrengung	-3,00	3,00	0,65	1,63	-3,00	3,00	0,65	1,53	-2,00	3,00	0,65	1,80
LA_2_KLTErfolg	-3,00	3,00	-0,30	1,84	-3,00	3,00	0,39	1,73	-3,00	1,00	-1,24	1,60
LA_2_KLTMotivation	-3,00	3,00	0,45	1,72	-3,00	3,00	0,65	1,97	-2,00	3,00	0,18	1,33
LA_2_KLTvisuelleErmüdung	-2,00	3,00	0,18	1,47	-2,00	3,00	0,17	1,47	-2,00	2,00	0,18	1,51
LA_3_BürogeistigeAnstrengung	-3,00	2,00	-0,18	1,55	-2,00	2,00	-0,13	1,36	-3,00	2,00	-0,24	1,82
LA_3_BüroErfolg	-3,00	3,00	0,98	1,49	-3,00	3,00	1,22	1,57	-2,00	2,00	0,65	1,37
LA_3_BüroMotivation	-3,00	3,00	0,63	1,51	-3,00	3,00	0,96	1,64	-2,00	2,00	0,18	1,24
LA_3_BürovisuelleErmüdung	-3,00	2,00	-0,15	1,53	-3,00	2,00	-0,13	1,55	-3,00	2,00	-0,18	1,55
LA_3_NVTgeistigeAnstrengung	-3,00	2,00	-0,28	1,45	-3,00	2,00	-0,26	1,48	-2,00	2,00	-0,29	1,45
LA_3_NVTErfolg	-3,00	3,00	1,00	1,41	-3,00	3,00	1,39	1,34	-2,00	2,00	0,47	1,37
LA_3_NVTMotivation	-2,00	3,00	1,20	1,34	-2,00	3,00	1,52	1,20	-2,00	3,00	0,76	1,44
LA_3_NVTvisuelleErmüdung	-3,00	3,00	-0,10	1,60	-3,00	3,00	-0,35	1,58	-2,00	3,00	0,24	1,60
LA_3_DSAgeistigeAnstrengung	-3,00	3,00	-0,35	1,59	-3,00	2,00	-0,39	1,59	-2,00	3,00	-0,29	1,65
LA_3_DSAErfolg	-3,00	3,00	1,30	1,30	-3,00	3,00	1,52	1,44	-1,00	3,00	1,00	1,06
LA_3_DSAMotivation	-2,00	3,00	1,38	1,33	-2,00	3,00	1,43	1,53	-1,00	3,00	1,29	1,05
LA_3_DSAvisuelleErmüdung	-3,00	3,00	-0,03	1,61	-3,00	3,00	0,09	1,56	-2,00	2,00	-0,18	1,70
LA_3_KLTgeistigeAnstrengung	-2,00	3,00	0,65	1,51	-2,00	3,00	0,74	1,29	-2,00	3,00	0,53	1,81
LA_3_KLTErfolg	-3,00	3,00	-0,03	1,87	-3,00	3,00	0,35	1,82	-3,00	3,00	-0,53	1,87
LA_3_KLTMotivation	-2,00	3,00	0,73	1,54	-2,00	3,00	1,09	1,62	-2,00	2,00	0,24	1,30
LA_3_KLTvisuelleErmüdung	-2,00	3,00	0,08	1,54	-2,00	3,00	0,13	1,52	-2,00	3,00	0,00	1,62
LA_Steuerung_bemerkt	1,00	2,00	1,78	0,42	1,00	2,00	1,78	0,42	1,00	2,00	1,76	0,44
LA_Endline_KSS	1,00	7,00	4,50	1,62	1,00	7,00	4,35	1,50	2,00	7,00	4,71	1,79
EN_Baseline_KSS	1,00	8,00	4,55	1,80	1,00	7,00	4,17	1,80	3,00	8,00	5,06	1,71
EN_1_BürogeistigeAnstrengung	-3,00	3,00	-0,80	1,65	-3,00	2,00	-0,78	1,57	-3,00	3,00	-0,82	1,81
EN_1_BüroErfolg	-3,00	3,00	1,05	1,26	-3,00	3,00	1,30	1,29	-2,00	2,00	0,71	1,16
EN_1_BüroMotivation	-3,00	3,00	1,28	1,47	-2,00	3,00	1,30	1,40	-3,00	3,00	1,24	1,60
EN_1_BürovisuelleErmüdung	-3,00	2,00	-0,22	1,49	-2,00	2,00	0,09	1,38	-3,00	2,00	-0,67	1,59
EN_1_NVTgeistigeAnstrengung	-3,00	2,00	-0,25	1,69	-3,00	2,00	-0,26	1,63	-3,00	2,00	-0,24	1,82
EN_1_NVTErfolg	-2,00	3,00	0,83	1,24	-2,00	3,00	1,17	1,30	-2,00	2,00	0,35	1,00
EN_1_NVTMotivation	-2,00	3,00	1,05	1,36	-2,00	3,00	0,91	1,44	-2,00	3,00	1,24	1,25
EN_1_NVTvisuelleErmüdung	-3,00	3,00	0,20	1,42	-2,00	3,00	0,52	1,31	-3,00	2,00	-0,24	1,48
EN_1_DSAgeistigeAnstrengung	-3,00	3,00	-0,50	1,91	-3,00	3,00	-0,09	1,76	-3,00	3,00	-1,06	2,01
EN_1_DSAErfolg	-2,00	3,00	1,28	1,30	-2,00	3,00	1,48	1,20	-2,00	3,00	1,00	1,41
EN_1_DSAMotivation	-1,00	3,00	1,80	1,04	-1,00	3,00	1,83	1,11	-1,00	3,00	1,76	0,97
EN_1_DSAvisuelleErmüdung	-3,00	3,00	0,18	1,41	-2,00	3,00	0,43	1,16	-3,00	2,00	-0,18	1,67
EN_1_KLTgeistigeAnstrengung	-3,00	3,00	0,90	1,63	-2,00	3,00	0,83	1,44	-3,00	3,00	1,00	1,90
EN_1_KLTErfolg	-3,00	3,00	0,08	1,73	-3,00	2,00	0,26	1,54	-3,00	3,00	-0,18	1,98
EN_1_KLTMotivation	-3,00	3,00	0,95	1,60	-2,00	3,00	1,22	1,48	-3,00	3,00	0,59	1,73
EN_1_KLTvisuelleErmüdung	-3,00	3,00	-0,08	1,61	-2,00	3,00	0,26	1,32	-3,00	3,00	-0,53	1,87
EN_2_BürogeistigeAnstrengung	-3,00	3,00	-0,18	1,78	-3,00	3,00	-0,17	1,72	-3,00	2,00	-0,18	1,91
EN_2_BüroErfolg	-3,00	3,00	1,13	1,49	-3,00	3,00	1,48	1,44	-2,00	3,00	0,65	1,46
EN_2_BüroMotivation	-3,00	3,00	1,03	1,58	-3,00	3,00	1,09	1,78	-2,00	2,00	0,94	1,30
EN_2_BürovisuelleErmüdung	-3,00	3,00	0,03	1,75	-2,00	3,00	0,61	1,59	-3,00	2,00	-0,76	1,68
EN_2_NVTgeistigeAnstrengung	-3,00	3,00	0,33	1,83	-3,00	3,00	0,17	1,83	-3,00	3,00	0,53	1,87
EN_2_NVTErfolg	-2,00	3,00	0,80	1,44	-1,00	3,00	1,35	1,15	-2,00	3,00	0,06	1,48
EN_2_NVTMotivation	-3,00	3,00	0,68	1,69	-3,00	3,00	0,65	1,82	-3,00	2,00	0,71	1,53
EN_2_NVTvisuelleErmüdung	-3,00	3,00	0,38	1,79	-2,00	3,00	0,70	1,72	-3,00	3,00	-0,06	1,85
EN_2_DSAgeistigeAnstrengung	-3,00	3,00	-0,25	1,98	-3,00	3,00	0,00	1,95	-3,00	2,00	-0,59	2,03

EN_2_DSAErfolg	-3,00	3,00	1,05	1,26	-2,00	2,00	1,26	1,10	-3,00	3,00	0,76	1,44
EN_2_DSAMotivation	-3,00	3,00	1,45	1,54	-3,00	3,00	1,35	1,67	-2,00	3,00	1,59	1,37
EN_2_DSAvisuelleErmüdung	-3,00	3,00	0,25	1,79	-2,00	3,00	0,74	1,57	-3,00	3,00	-0,41	1,91
EN_2_KLTgeistigeAnstrengung	-3,00	3,00	0,88	1,76	-3,00	3,00	0,87	1,66	-3,00	3,00	0,88	1,93
EN_2_KLTErfolg	-3,00	3,00	-0,13	1,76	-3,00	3,00	0,43	1,78	-3,00	2,00	-0,88	1,45
EN_2_KLTMotivation	-3,00	3,00	0,70	1,73	-3,00	3,00	0,87	1,69	-3,00	3,00	0,47	1,81
EN_2_KLTvisuelleErmüdung	-3,00	3,00	0,05	1,71	-2,00	3,00	0,61	1,59	-3,00	2,00	-0,71	1,61
EN_3_BürogeistigeAnstrengung	-3,00	3,00	-0,08	1,69	-3,00	3,00	0,04	1,72	-3,00	2,00	-0,24	1,68
EN_3_BüroErfolg	-2,00	3,00	1,33	1,11	-1,00	3,00	1,68	0,95	-2,00	2,00	0,88	1,17
EN_3_BüroMotivation	-3,00	3,00	0,80	1,56	-3,00	3,00	0,61	1,80	-1,00	3,00	1,06	1,14
EN_3_BürovisuelleErmüdung	-3,00	3,00	-0,13	1,36	-2,00	3,00	0,32	1,21	-3,00	1,00	-0,71	1,36
EN_3_NVTgeistigeAnstrengung	-3,00	3,00	-0,58	1,71	-3,00	2,00	-0,83	1,50	-3,00	3,00	-0,24	1,95
EN_3_NVTErfolg	-3,00	3,00	0,95	1,38	-3,00	3,00	1,30	1,26	-2,00	3,00	0,47	1,42
EN_3_NVTMotivation	-3,00	3,00	1,10	1,32	-3,00	3,00	1,13	1,55	-1,00	3,00	1,06	0,97
EN_3_NVTvisuelleErmüdung	-3,00	3,00	-0,30	1,59	-3,00	3,00	-0,39	1,50	-3,00	3,00	-0,18	1,74
EN_3_DSAgeistigeAnstrengung	-3,00	3,00	-0,07	1,83	-3,00	3,00	0,09	1,83	-3,00	2,00	-0,29	1,86
EN_3_DSAErfolg	-3,00	2,00	1,05	1,15	-3,00	2,00	1,04	1,36	-1,00	2,00	1,06	0,83
EN_3_DSAMotivation	-3,00	3,00	1,30	1,56	-3,00	3,00	1,35	1,64	-2,00	3,00	1,24	1,48
EN_3_DSAvisuelleErmüdung	-3,00	3,00	0,20	1,65	-3,00	3,00	0,43	1,53	-3,00	3,00	-0,12	1,80
EN_3_KLTgeistigeAnstrengung	-3,00	3,00	0,43	1,78	-3,00	3,00	0,17	1,64	-3,00	3,00	0,76	1,95
EN_3_KLTErfolg	-3,00	2,00	-0,15	1,41	-3,00	2,00	0,39	1,44	-3,00	1,00	-0,88	0,99
EN_3_KLTMotivation	-3,00	3,00	0,85	1,61	-2,00	3,00	1,09	1,47	-3,00	3,00	0,53	1,77
EN_3_KLTvisuelleErmüdung	-3,00	3,00	0,00	1,78	-3,00	3,00	-0,13	1,55	-3,00	2,00	0,18	2,10
EN_Steuerung_bemerkt	1,00	2,00	1,80	0,41	1,00	2,00	1,91	0,29	1,00	2,00	1,65	0,49
EN_Endline_KSS	2,00	8,00	4,50	1,80	2,00	8,00	4,48	1,83	3,00	8,00	4,53	1,81
KS_1A_LP	-3,00	2,50	-0,04	1,43	-3,00	2,50	-0,08	1,60	-2,00	1,67	0,00	1,20
KS_1B_LP	-3,00	3,00	0,03	1,41	-3,00	1,67	0,01	1,45	-2,25	3,00	0,06	1,40
KS_2A_LP	-3,00	3,00	0,13	1,39	-3,00	2,00	-0,04	1,46	-2,00	3,00	0,36	1,29
KS_2B_LP	-3,00	2,40	-0,22	1,48	-3,00	2,00	-0,25	1,52	-2,50	2,40	-0,16	1,47
KS_3A_LP	-3,00	2,75	-0,01	1,26	-3,00	2,75	-0,15	1,32	-1,50	2,00	0,18	1,18
KS_3B_LP	-2,40	2,20	-0,34	1,15	-1,80	1,60	-0,19	1,00	-2,40	2,20	-0,55	1,33
LA_1A_LP	-3,00	2,60	0,03	1,26	-3,00	2,60	0,11	1,47	-1,60	1,40	-0,08	0,94
LA_1B_LP	-2,60	2,50	0,29	1,39	-2,60	2,50	0,21	1,44	-1,75	2,25	0,40	1,37
LA_2A_LP	-3,00	2,20	0,15	1,38	-2,75	1,75	0,15	1,23	-3,00	2,20	0,14	1,59
LA_2B_LP	-3,00	2,50	-0,09	1,40	-3,00	1,75	-0,13	1,40	-2,40	2,50	-0,04	1,44
LA_3A_LP	-2,00	2,80	-0,02	1,18	-1,60	2,00	0,17	0,98	-2,00	2,80	-0,29	1,38
LA_3B_LP	-2,75	1,40	-0,30	1,16	-2,00	1,40	-0,06	1,03	-2,75	1,40	-0,61	1,29
EN_1A_LP	-3,00	3,00	-0,19	1,35	-3,00	3,00	-0,31	1,38	-2,50	1,80	-0,01	1,34
EN_1B_LP	-3,00	2,40	-0,18	1,46	-3,00	2,25	-0,26	1,47	-2,00	2,40	-0,08	1,47
EN_2A_LP	-3,00	2,00	-0,34	1,55	-3,00	2,00	-0,53	1,60	-2,00	2,00	-0,08	1,49
EN_2B_LP	-3,00	2,00	-0,31	1,39	-3,00	1,80	-0,58	1,44	-2,80	2,00	0,05	1,26
EN_3A_LP	-3,00	2,50	-0,08	1,14	-3,00	2,50	-0,27	1,17	-1,80	2,40	0,19	1,09
EN_3B_LP	-2,75	3,00	-0,08	1,56	-2,60	2,25	-0,10	1,37	-2,75	3,00	-0,06	1,83
KS_Baseline_GS	2,75	5,00	4,23	0,59	3,25	5,00	4,35	0,39	2,75	5,00	4,06	0,77
LA_Baseline_GS	2,50	5,00	4,26	0,57	2,50	5,00	4,32	0,52	2,50	5,00	4,19	0,63
EN_Baseline_GS	1,00	5,00	4,11	0,78	1,00	5,00	4,14	0,85	2,75	5,00	4,07	0,69
KS_Baseline_WM	1,00	4,75	3,44	0,96	2,50	4,75	3,79	0,63	1,00	4,75	2,96	1,13
LA_Baseline_WM	1,25	5,00	3,56	0,89	2,00	5,00	3,75	0,84	1,25	4,75	3,31	0,92
EN_Baseline_WM	1,75	5,00	3,37	0,93	1,75	5,00	3,57	0,84	1,75	4,75	3,10	1,01
KS_Baseline_RU	2,50	5,00	4,03	0,63	3,25	4,75	4,13	0,49	2,50	5,00	3,90	0,78
LA_Baseline_RU	2,50	5,00	3,99	0,67	2,50	4,75	4,09	0,63	2,50	5,00	3,87	0,72
EN_Baseline_RU	1,50	5,00	3,93	0,76	1,50	4,75	4,02	0,71	2,25	5,00	3,79	0,82
KS_Endline_GS	1,75	5,00	3,81	0,89	1,75	4,75	3,89	0,87	2,25	5,00	3,71	0,93
LA_Endline_GS	2,25	5,00	3,96	0,69	2,25	4,75	3,97	0,67	2,25	5,00	3,94	0,75
EN_Endline_GS	2,00	5,00	4,02	0,70	2,00	5,00	4,15	0,65	2,75	5,00	3,84	0,74
KS_Endline_WM	1,00	4,50	3,10	0,91	1,75	4,50	3,34	0,84	1,00	4,50	2,78	0,93
LA_Endline_WM	1,25	4,50	2,95	0,86	1,25	4,50	3,16	0,82	1,50	4,00	2,66	0,84
EN_Endline_WM	1,00	4,50	3,12	1,01	1,00	4,50	3,21	0,93	1,00	4,50	3,00	1,13
KS_Endline_RU	1,75	5,00	3,78	0,86	2,00	4,75	3,84	0,76	1,75	5,00	3,69	1,00
LA_Endline_RU	1,50	5,00	3,76	0,76	1,50	5,00	3,71	0,77	2,25	4,75	3,82	0,77
EN_Endline_RU	2,00	5,00	3,91	0,74	2,00	5,00	3,95	0,66	2,00	5,00	3,85	0,85
KS_GS_Diff	-3,25	1,00	-0,41	0,87	-3,25	0,75	-0,46	0,90	-2,25	1,00	-0,35	0,87
LA_GS_Diff	-1,50	0,50	-0,31	0,59	-1,50	0,50	-0,35	0,63	-1,50	0,50	-0,25	0,54
EN_GS_Diff	-1,25	1,50	-0,09	0,61	-0,75	1,25	0,01	0,55	-1,25	1,50	-0,24	0,67
KS_RU_Diff	-2,50	1,25	-0,26	0,80	-2,50	0,75	-0,29	0,83	-1,75	1,25	-0,21	0,77
LA_RU_Diff	-1,75	0,75	-0,24	0,58	-1,75	0,50	-0,38	0,56	-1,75	0,75	-0,04	0,56
EN_RU_Diff	-1,50	1,75	-0,02	0,66	-1,25	1,75	-0,08	0,67	-1,50	1,00	0,06	0,65
KS_WM_Diff	-3,00	2,00	-0,34	0,98	-3,00	1,50	-0,46	0,95	-2,00	2,00	-0,18	1,01
LA_WM_Diff	-2,50	1,00	-0,61	0,76	-2,00	1,00	-0,59	0,74	-2,50	0,50	-0,65	0,79
EN_WM_Diff	-1,50	1,75	-0,25	0,65	-1,50	0,75	-0,36	0,57	-1,25	1,75	-0,10	0,73
KS_NPABaseline	7,70	17,20	12,15	2,23	9,70	17,20	12,80	2,04	7,70	15,50	11,31	2,25

KS_1_BüroBearbeitet	13,00	34,00	22,26	5,07	13,00	33,00	21,27	4,58	14,00	34,00	23,53	5,51
KS_1_NVTBearbeitet	12,00	30,00	21,88	4,58	13,00	29,00	21,74	4,45	12,00	30,00	22,06	4,87
KS_1_NPA	7,20	17,70	11,78	2,46	9,70	17,70	12,29	2,25	7,20	16,80	11,14	2,63
KS_1_KLTBearbeitet	4,00	16,00	9,73	3,25	4,00	15,00	9,57	3,17	4,00	16,00	9,94	3,44
KS_2_BüroBearbeitet	14,00	38,00	23,35	5,58	14,00	38,00	23,13	5,69	14,00	35,00	23,65	5,58
KS_2_NVTBearbeitet	13,00	33,00	22,20	4,10	13,00	33,00	21,78	4,60	17,00	28,00	22,76	3,35
KS_2_NPA	6,90	19,40	11,83	2,64	8,90	19,40	12,46	2,62	6,90	15,80	11,01	2,52
KS_2_KLTBearbeitet	4,00	18,00	10,13	2,98	5,00	14,00	9,70	2,57	4,00	18,00	10,71	3,46
KS_3_BüroBearbeitet	5,00	40,00	22,53	6,25	5,00	40,00	22,00	6,78	14,00	34,00	23,24	5,58
KS_3_NVTBearbeitet	14,00	31,00	22,05	3,87	14,00	28,00	22,13	4,16	17,00	31,00	21,94	3,56
KS_3_NPA	7,70	21,00	12,36	2,66	9,50	21,00	13,13	2,68	7,70	15,80	11,36	2,35
KS_3_KLTBearbeitet	4,00	20,00	10,18	3,67	5,00	15,00	9,74	3,12	4,00	20,00	10,76	4,34
KS_NPAEndline	7,60	19,50	12,39	2,56	10,10	19,50	13,16	2,44	7,60	16,40	11,39	2,43
LA_NPABaseline	7,50	18,20	12,32	2,24	10,20	18,20	12,95	2,05	7,50	16,70	11,46	2,26
LA_1_BüroBearbeitet	12,00	39,00	22,95	5,95	12,00	39,00	22,39	6,20	15,00	35,00	23,71	5,70
LA_1_NVTBearbeitet	13,00	27,00	21,08	3,87	13,00	27,00	21,30	4,34	15,00	26,00	20,76	3,21
LA_1_NPA	6,40	18,40	11,90	2,48	9,70	18,40	12,64	2,23	6,40	16,60	10,94	2,52
LA_1_KLTBearbeitet	3,00	20,00	10,05	3,37	6,00	15,00	9,78	2,73	3,00	20,00	10,41	4,15
LA_2_BüroBearbeitet	12,00	41,00	23,78	5,92	12,00	41,00	23,39	6,25	16,00	35,00	24,29	5,60
LA_2_NVTBearbeitet	15,00	27,00	21,75	3,28	15,00	27,00	21,91	3,46	16,00	26,00	21,53	3,10
LA_2_NPA	6,80	17,00	11,91	2,37	9,80	17,00	12,56	1,98	6,80	15,60	11,05	2,61
LA_2_KLTBearbeitet	2,00	18,00	10,18	3,57	6,00	15,00	10,04	2,84	2,00	18,00	10,35	4,47
LA_3_BüroBearbeitet	12,00	43,00	23,38	6,14	12,00	43,00	23,22	6,71	15,00	33,00	23,59	5,47
LA_3_NVTBearbeitet	14,00	33,00	22,20	4,17	14,00	33,00	22,43	4,86	15,00	26,00	21,88	3,12
LA_3_NPA	7,70	20,20	12,36	2,49	10,20	20,20	13,14	2,43	7,70	15,90	11,36	2,25
LA_3_KLTBearbeitet	5,00	19,00	10,85	3,60	6,00	17,00	10,57	3,38	5,00	19,00	11,24	3,95
LA_NPAEndline	7,80	20,60	12,42	2,45	10,20	20,60	13,08	2,38	7,80	16,70	11,56	2,34
EN_NPABaseline	7,70	22,50	12,19	2,55	10,00	22,50	12,88	2,54	7,70	16,70	11,29	2,34
EN_1_BüroBearbeitet	14,00	35,00	22,80	5,29	14,00	35,00	22,13	4,98	15,00	33,00	23,71	5,71
EN_1_NVTBearbeitet	0,00	37,00	21,13	5,49	0,00	37,00	20,39	6,73	16,00	26,00	22,12	3,06
EN_1_NPA	7,00	21,20	12,01	2,67	10,00	21,20	12,74	2,56	7,00	16,70	11,05	2,56
EN_1_KLTBearbeitet	3,00	18,00	9,88	3,49	3,00	15,00	9,43	3,20	5,00	18,00	10,47	3,86
EN_2_BüroBearbeitet	13,00	38,00	23,68	5,78	13,00	38,00	23,13	6,17	16,00	34,00	24,41	5,30
EN_2_NVTBearbeitet	0,00	35,00	21,75	5,12	0,00	35,00	21,39	6,39	18,00	26,00	22,24	2,70
EN_2_NPA	7,30	19,80	12,09	2,69	9,60	19,80	13,05	2,53	7,30	16,80	10,84	2,42
EN_2_KLTBearbeitet	4,00	19,00	9,78	3,37	4,00	14,00	9,43	3,16	6,00	19,00	10,24	3,68
EN_3_BüroBearbeitet	14,00	38,00	23,18	5,80	14,00	38,00	22,52	5,91	16,00	35,00	24,06	5,71
EN_3_NVTBearbeitet	14,00	30,00	22,92	3,41	14,00	29,00	23,00	3,55	17,00	30,00	22,82	3,32
EN_3_NPA	8,30	19,00	12,59	2,56	9,80	19,00	13,55	2,52	8,30	15,80	11,34	2,05
EN_3_KLTBearbeitet	3,00	17,00	10,40	3,21	3,00	16,00	10,26	3,22	6,00	17,00	10,59	3,28
EN_NPAEndline	8,00	19,70	12,58	2,48	10,10	19,70	13,46	2,31	8,00	16,30	11,44	2,28

Lebenslauf

Name:	Carolin Hubschneider
Geburtsort:	Filderstadt
Geburtsdatum:	04.08.1984
Adresse:	Bebelstraße 59
	70193 Stuttgart
Telefon:	0163 1411760
E-Mail:	C_Hubschneider@web.de

Ausbildung

1991 – 1995	Friedrich Silcher Grundschule, Renningen
1995 – 2004	Gymnasium Renningen
2004 –2010	Studium an der Universität Stuttgart Diplomstudiengang „Immobilientechnik und Immobilienwirtschaft“
2009 –2010	Diplomarbeit am Fraunhofer-Institut für Bauphysik „Multikriterienanalyse gängiger und innovativer Beleuchtungssysteme“

Berufliche Tätigkeiten

2010 –2013	Akademische Mitarbeiterin an der Universität Stuttgart, Lehrstuhl für Bauphysik
2010 –2014	Promotion an der Universität Stuttgart zum Thema „Entwicklung von Leuchtdichteverteilungs- und Steuerungskonzepten für den Bildschirmarbeitsplatz“

Erklärung:

Ich versichere, dass ich die Arbeit selbständig verfasst habe und keine anderen als die angegebenen Hilfsmittel und Quellen verwendet habe.

Stuttgart, Juni 2014 _____

Carolin Hubschneider