

# **Wirksamkeit von Dynamischem Licht im Schulunterricht**

Dissertation zur Erlangung des Doktorgrades  
an der Fakultät Erziehungswissenschaft, Psychologie und  
Bewegungswissenschaft, Fachbereich Psychologie  
der Universität Hamburg

vorgelegt von  
Nino Wessolowski  
Universitätsklinikum Hamburg-Eppendorf  
Klinik für Kinder- und Jugendpsychiatrie, -psychotherapie und -psychosomatik

Hamburg 2014

1. Dissertationsgutachter: Prof. Dr. Claus Barkmann

2. Dissertationsgutachter: Prof. Dr. Bernhard Dahme

Tag der mündlichen Prüfung: 13.05.2014

# Inhaltsverzeichnis

1.	Einleitung.....	8
1.1.	Problemstellung .....	8
1.2.	Literaturrecherche.....	11
1.3.	Theoretische Annäherung.....	12
1.3.1.	Physikalische Grundlagen.....	12
1.3.2.	Funktionshypothesen zur Wirkung von Licht auf den Menschen.....	16
1.3.3.	Neurobiologische Grundlagen .....	19
1.3.3.1.	Licht als Zeitgeber für saisonale und circadiane Rhythmen.....	19
1.3.3.2.	Der dritte Rezeptortyp .....	20
1.3.3.3.	Cortisol und Melatonin.....	21
1.3.3.4.	Bildung von Cry und Per Proteinen im Nucleus suprachiasmaticus .....	22
1.3.3.5.	Exkurs 1 Zusammenhang von nächtlicher Melatoninsuppression und Krebs.....	23
1.3.3.6.	Exkurs 2 Nachweis der Funktionsweise des dritten Rezeptors (intrinsically photo sensitive retinal ganglion cells).....	25
1.3.4.	Psychologische Grundlagen.....	26
1.3.4.1.	Der Einfluss des Lichts auf das allgemeine menschliche Verhalten und Erleben.....	26
1.3.4.2.	Wahl der Lichtsituation im Alltag und persönliche Präferenzen.....	28
1.3.4.3.	Saisonaler Verlauf von Stimmungsschwankungen, Depressionen sowie Alkoholkonsum.....	31
1.3.5.	Systematische Anwendung von Licht.....	32
1.3.5.1.	Lichttherapie.....	32
1.3.5.2.	Anwendung von Licht in Arbeitssituationen.....	34
1.4.	Stand der empirischen Forschung.....	38
1.4.1.	Einfluss von Licht auf die Aufmerksamkeit/Konzentration von Nachtschicht-arbeitern.....	38
1.4.2.	Effekte von Kunstlicht auf die Leistung in Konzentrationstests und das Sozialverhalten bei der Arbeit.....	39
1.4.3.	Die psychologische Wirkung veränderlicher Kunstlichtsituationen auf den Menschen.....	40
1.4.4.	Wirkung von Licht auf Gesundheit und Verhalten von Schülern.....	43
1.4.5.	Dynamisches Licht in englischen Grundschulen .....	44
1.4.6.	Diskussion der empirischen Studien .....	45
1.5.	Fragestellung und Hypothesen.....	49
1.6.	Ziel der Arbeit.....	51
2.	Methode .....	52
2.1.	Design .....	52
2.1.1.	Feldstudie.....	52
2.1.2.	Laborstudie .....	56

2.2. Variablen und Operationalisierung des Forschungsgegenstandes Dynamisches Licht .....	57
2.3. Variablen und Operationalisierung der Feldstudie .....	66
2.3.1. Primäre Zielgrößen .....	68
2.3.1.1. Aufmerksamkeit/Konzentration .....	68
2.3.1.2. Hyperaktivität .....	71
2.3.1.3. Aggression .....	77
2.3.2. Sekundäre Zielgrößen .....	80
2.3.2.1. Allgemeines Wohlbefinden .....	80
2.3.2.2. Klassenklima .....	80
2.3.3. Prozessbezogene Variablen.....	81
2.3.4. Kontrollgrößen.....	84
2.4. Variablen und Operationalisierung der Laborstudie .....	88
2.5. Stichprobenansatz .....	92
2.5.1. Feldstudie.....	92
2.5.2. Laborstudie .....	94
2.6. Datenerhebung .....	95
2.6.1. Feldstudie .....	95
2.6.1.1. Prä-Post Befragung zur Langzeitwirkung (primäre und sekundäre Zielgrößen).....	96
2.6.1.2. Grundsätzliches Vorgehen in den Testmodulen (primäre Zielgrößen).....	96
2.6.1.3. Primäre Zielgröße Aufmerksamkeit/Konzentration (Testmodul 1 und 2).....	98
2.6.1.4. Primäre Zielgrößen Hyperaktivität / Aggression (Testmodul 3 und 4).....	99
2.6.1.5. Prozess- und Einstellungsvariablen .....	102
2.6.1.6. Kontrollgrößen.....	103
2.6.2. Laborstudie .....	103
2.7. Vortest.....	106
2.8. Ethik.....	106
2.9. Auswertungsverfahren .....	107
2.10. Merkmale der Feld- und Laborstudie.....	112
3. Ergebnisse .....	114
3.1. Art der Ergebnisdarstellung .....	114
3.2. Stichprobenbeschreibung .....	114
3.2.1. Feldstudie.....	114
3.2.2. Laborstudie .....	118
3.3. Hauptergebnisse .....	119
3.3.1. Feldstudie .....	119
3.3.1.1. Primäre Zielgröße Aufmerksamkeit/Konzentration (Testmodul 1 und 2).....	119
3.3.1.2. Vortestung primäre Zielgröße Hyperaktivität (Testmodul 3).....	123

3.3.1.3. Haupttestung primäre Zielgröße Hyperaktivität .....	124
3.3.1.4. Primäre Zielgrößen Aggression und prosoziales Verhalten (Testmodul 2 & 3) .....	127
3.3.1.5. Prä-Post Langzeitwirkung auf die primären und sekundären Zielgrößen .....	130
3.3.1.6. Einfluss der Kontrollgrößen .....	132
3.3.1.7. Prozess und Einstellungsvariablen .....	136
3.3.2. Laborstudie .....	143
3.3.2.1. Aufmerksamkeit/Konzentration .....	145
3.3.2.2. Hyperaktivität (motorische Unruhe).....	151
3.3.2.3. Aggression und prosoziales Verhalten .....	153
3.3.2.4. Prozess und Einstellungsvariablen .....	155
3.3.2.5. Erleben und Bewertung der Wirkung aus Sicht der Berufstätigen und Studierenden.....	155
3.3.2.6. Subjektives Gefallen der Lichtprogramme .....	159
3.3.2.7. Ökonomie und Ökologie .....	160
3.4. Nebenergebnisse .....	160
3.4.1. Pilotstudie zur hormonellen Wirksamkeit.....	160
3.4.2. Pilotvalidierung Childmove .....	167
4. Diskussion.....	170
4.1. Hauptergebnisse.....	170
4.1.1. Feldstudie.....	170
4.1.2. Laborstudie .....	171
4.2. Methodische Kritik .....	172
4.2.1. Feldstudie.....	172
4.2.2. Laborstudie .....	174
4.3. Diskussion der Einzelergebnisse der Feldstudie .....	175
4.4. Diskussion der Einzelergebnisse der Laborstudie.....	189
4.5. Zusammenfassende Diskussion und Ausblick.....	196
Literatur.....	199
Anhang .....	207
Danksagungen .....	232
Lebenslauf .....	233
Erklärung.....	234

## Zusammenfassung

Studien zur Wirkung von Licht in der Arbeitswelt zeigen Leistungssteigerungen und die Zunahme prosozialer Verhaltensweisen. Diese Wirkung legt es nahe, den Einsatz moderner Beleuchtungsanlagen als Optimierungsmöglichkeit der Hintergrundbedingungen von Schulunterricht zu überprüfen. Dynamisches Licht verfügt über sieben Lichtprogramme mit unterschiedlicher Beleuchtungsstärke und Farbtemperatur, die speziell für unterschiedliche Unterrichtssituationen abgestimmt sind. Das Hauptziel dieser Untersuchung war die Überprüfung der Wirkung von Dynamischem Licht im Schulunterricht auf Aufmerksamkeit/Konzentration, Hyperaktivität und Aggression der Schülerinnen und Schüler. Die Evaluation wurde in einer kontrollierten Feldstudie mit einem quasiexperimentellen Vorgehen unter Kombination von quer- und längsschnittlichen Betrachtungen durchgeführt. Beteiligt waren  $n = 116$  Hamburger Schüler und  $n = 11$  Lehrer verschiedener Altersstufen und Schulformen. Zur Testung von Aufmerksamkeit/Konzentration wurde der d2 Aufmerksamkeits-Belastungs-Test und ein altersangemessener Lesetest verwendet. Motorische Unruhe wurde durch die Bewegung der Schüler auf Pixelebene eines digitalen Films gemessen. Zur Erhebung von Aggressivität wurde das Beobachtungssystem BASYS verwendet. Zusätzlich wurde ein kontrolliertes Laborexperiment mit  $n = 95$  Probanden durchgeführt. Die Ergebnisse der Aufmerksamkeits-/Konzentrationstestung belegten einen signifikanten Vorteil für die Interventionsgruppe in der Fehlerrate des d2 Tests und in der Lesegeschwindigkeit. Die Hyperaktivitätsprüfung zeigte ebenfalls einen signifikanten Rückgang der motorischen Unruhe. Bei der Verhaltensbeobachtung konnte tendenziell eine Reduktion von aggressiven und ein Anstieg prosozialer Verhaltensweisen zum Vorteil der Interventionsgruppe festgestellt werden. Die Ergänzungsstudie unter Laborbedingungen führte weitestgehend zu vergleichbaren Ergebnissen bei leichten Variationen einzelner Skalen der Messinstrumente. Insgesamt betrachtet zeigte Dynamisches Licht die erwarteten Effekte und scheint damit die Voraussetzungen für einen erfolgreichen Schulunterricht verbessern zu können. Bei der Testung von nur vier Klassen an zwei Hamburger Schulen sind Schul- und Klasseneffekte allerdings nicht auszuschließen. Zukünftige Studien sollten durch eine größere Stichprobe Aussagen auf Schulebene zulassen und weitere Anwendungsmöglichkeiten prüfen.

## Abstract

The effect of light on the performance and the social behaviour of employees suggest testing the use of modern lighting systems in classrooms. Dynamic Lighting by Philips features seven lighting programs with several light intensities and colour temperatures that are specially attuned for different classroom situations and chosen by teachers. Main goal of this examination was to monitor the effectiveness of Dynamic Lighting in school teaching according attention/concentration, hyperactivity and aggression of pupils. Evaluation consisted of a controlled field study used a quasi-experimental design with regard to a cross-sectional and longitudinal combination. The sample included  $n = 116$  Hamburg pupils and  $n = 11$  teachers of different age brackets and school types. The d2 Test of Attention and age-appropriate reading test were used to test attention/concentration. Motoric restlessness was measured by movement of the pupils on pixel-level of a digital film. To measure aggressiveness the monitoring system BASYS was used. In addition, a controlled laboratory experiment with  $n = 95$  participants was accomplished. Results of the attention-/concentration testing showed a significant benefit for the intervention group regarding error rates in the d2 Test and reading speed. The survey of hyperactivity also showed a significant decrease of motor restlessness. The behavioral monitoring showed a trend to reduced aggressive and a trend to increased prosocial behaviour in benefit for the intervention group. The replication in a laboratory setting with slightly different scales showed similar results. Altogether, Dynamic Lighting showed expected results and seems to be able to improve conditions for successful school teaching. School and classroom specific effects can't be excluded in four classes at two Hamburg schools only. Future studies should include larger sample sizes to allow propositions on school levels and to analyse further application possibilities.

# 1. Einleitung

## 1.1. Problemstellung

Den vielseitigen Einfluss von Licht erleben wir selbst jeden Tag und reagieren mit unterschiedlichen Verhaltensweisen darauf: Jeder kennt die Aktivierung und positive Stimmung die von Licht an Sommertagen ausgeht. Ebenso kennen wir die niedergeschlagene Stimmung und Antriebslosigkeit an dunklen Herbsttagen. Zugleich ist uns auch die wohltuende und beruhigende Wirkung von Kaminfeuer und Kerzen bewusst.

Die Wirkung von Licht auf den Menschen ist von verschiedenen Fachdisziplinen untersucht worden und thematisch vielseitig. Mit der Wirkung von Licht auf den Menschen beschäftigen sich unterschiedliche Berufsgruppen, darunter Ingenieure, Architekten, Biologen, Ärzte und Psychologen. Dabei reicht das Spektrum von der physischen Sehleistung bis hin zu tageszeitlichen Schwankungen körperlicher Funktionen. Ebenso umfasst die vorhandene Literatur den Einfluss des Lichtes auf die menschliche Psyche, zum Beispiel auf saisonale Stimmungsschwankungen und die ebenfalls circadiane Schwankung der geistigen Leistungsfähigkeit. Licht wirkt sich auch auf die menschliche Arbeitsleistung im Büro aus. So führt Licht mit hoher Beleuchtungsstärke in tageslichtweißer Farbe zu erhöhter Aufmerksamkeit. Mit solchem Licht kann beispielsweise die Leistungsfähigkeit von Nachtschichtarbeitern erhöht (Boyce et al., 1997; Campbell & Dawson, 1990; Figueiro, et al., 2001) und die Vigilanz, die Daueraufmerksamkeit, gesteigert werden (Fleischer, 2001). Auch die Leseleistung, die Aufmerksamkeit/Konzentration erfordert, kann deutlich verbessert werden (vgl. ebenda). Für face to face Kommunikation und Telefonate erweist sich dagegen Licht in warmweißer Farbe mit niedriger Beleuchtungsstärke als vorteilhaft (vgl. Baron, Rea & Daniels, 1992; Fleischer, 2001).

Der Ansatz von veränderbarem Licht wird mit Dynamischen Licht verfolgt: Die Helligkeit und die Farbe des Lichts für einen Arbeitsplatz kann individuell durch jeden Mitarbeiter, entsprechend seiner Stimmung und Aufgaben, eingestellt werden. Die Besonderheit von Dynamischem Licht ist, dass in nur einer Leuchte durch drei Lampen Licht in unterschiedlicher Beleuchtungsstärke und Farbtemperatur erzeugt wird.

Die beschriebenen Erkenntnisse über den Einfluss des Lichts auf das menschliche Erleben und Verhalten in der Büroarbeitswelt legen nahe, die Beleuchtung auch für die unterschiedlichen Lern- und Leistungssituation in Schulen zu optimieren. Eine Steigerung der Aufmerksamkeit/Konzentration würde letztlich zu größerer Leistungsfähigkeit und somit auch zu größerem Lernerfolg führen. Die Verminderung von Unruhe würde letztlich die Belastungen von Schülern und Lehrern reduzieren und die Lernatmosphäre angenehmer gestalten.

Die grundlegende Fragestellung ist: Erhalten die Lehrerinnen und Lehrer mit Dynamischem Licht ein wirkungsvolles Werkzeug für den Unterricht? Können die Lehrer mit Dynamischem Licht die Umgebungsbedingungen für sehr unterschiedliche Arbeitsanforderungen im Unterricht optimieren und somit die Auftretenswahrscheinlichkeit von gewünschten Leistungen oder Verhaltensweisen erhöhen? Die Klärung des Wirkungsnachweises von Dynamischem Licht im Schulunterricht soll mit dieser Studie verfolgt werden, um den Unterricht zu verbessern und gesündere Arbeitsbedingungen für Schüler und Lehrer zu schaffen.

Dynamisches Licht wurde für diese Untersuchung an drei Schulen, in drei Klassen installiert. Zusätzlich standen drei weitere Kontrollklassen mit herkömmlicher Beleuchtung für die Untersuchung zur Verfügung. Bei der Beleuchtung in den Interventionsklassen handelte es sich um eine speziell für diese Untersuchung abgewandelte Version von Dynamischem Licht: Die Lehrerinnen und Lehrer wählten eines der sieben fest eingestellten Lichtprogramme für die gesamte Beleuchtung im Klassenzimmer aus (siehe Abbildung 1).



Abbildung 1

*Dynamisches Licht im Klassenzimmer (links Lichtprogramm „Konzentriertes Arbeiten“, rechts Lichtprogramm „Beruhigen“)*

Die Ausstattung mit der erforderlichen Technik und den Studienmitteln gewährleistete der Unternehmensbereich Lighting von Philips. Die Studie wurde von der Arbeitsgruppe Epidemiologie und Evaluation der Kinder- und Jugendpsychosomatik des Universitätsklinikums Hamburg-Eppendorf unabhängig konzipiert und durchgeführt. Kooperationspartner waren die Schule in der Alten Forst, das Emilie-Wüstenfeld-Gymnasium, die Schule am Eichthalpark und die Behörde für Schule & Berufsbildung der Freien und Hansestadt Hamburg. Der Einfluss von Dynamischem Licht im Schulunterricht wurde hauptsächlich in einer kontrollierten Feldstudie und ergänzend in einem Laborexperiment untersucht.

## 1.2. Literaturrecherche

Hauptziel der Literaturrecherche war einerseits eine systematische Vollerhebung empirischer Studien zum Thema Wirksamkeit von Licht mit unterschiedlichen Beleuchtungsstärken und ähnlichsten Farbtemperaturen auf das Erleben und Verhalten von Menschen durchzuführen und andererseits Grundlagenwissen zur biologischen und psychischen Wirkung von Licht zur Verfügung zu stellen.

Zunächst wurden die psychologischen und medizinischen Datenbanken Psynindex, Psychinfo, Medline und Embase (Stand Januar 2008) ohne Zeitlimit mittels verwendeter Stichwortliste auf Deutsch und Englisch durchsucht: light\*, daylight, circadian, saisonal, chronobiology, light therapy, environmental therapy AND melatonin, cortisol, zeitgeber, alertness, hyperactivity, attention deficit (hyperactivity) disorder, ad(h)d, restlessness, motoric agitation, mood, work\*, behaviour, behavior, performance, aggression, seasonal affective disorder, SAD. In den Archivdatenbanken folgender technisch orientierter Zeitschriften, deren Veröffentlichungen nicht vollständig in o.g. Datenbanken enthalten sind, wurde separat nach gleichem Schema recherchiert: Technical Behaviour, Lighting and Research, Lighting, Design and Application, Environment and Behavior, Physiology & Behavior, Ergonomics. Zudem wurden die o.g. Datenbanken und deren Literaturquellen noch einmal im Schneeballsystem nach den Namen der relevanten Autoren durchsucht. Außerdem wurde das Web mit Google und Google Scholar ebenfalls zweistufig, erst nach Stichwörtern und dann nach Autoren, durchsucht.

Für die Mess- und Testverfahren erfolgte separat eine systematische Recherche in den o.g. Datenbanken. Ebenso wurde eine separate, unsystematische Recherche für die Hintergrundliteratur sowie für die Ziel- und Störgrößen der Untersuchung vorgenommen.

Insgesamt wurden ca. 300 Veröffentlichungen bezogen, gesichtet und nach Relevanz abgestufter Intensität gelesen und für diese Arbeit verwendet. Während zu den Themen „Saisonal abhängige Depression“ (1.3.4.2, S. 28), „Lichttherapie“ (1.3.5.1, S. 32), „circadiane Rhythmen und Chronobiologie“ (1.3.2, S.16 & 1.3.3.1, S. 19) sehr viele relevante Treffer vorlagen, gab es weniger Treffer zum „sonstigen Einfluss von Licht auf das menschliche Erleben und Verhalten“. Relevante

Studien zur „Wirkung von Licht auf das Erleben und Verhalten“ (1.3.4, S. 26) und zur gezielten „Anwendung von Licht bei der Arbeit“ (1.3.5.2, S. 34) ließen sich überwiegend in den Datenbanken der technisch orientierten Zeitschriften finden. Studien, die den Einsatz von Licht in Schulen untersuchen, sind meist älteren Datums und evaluieren Vollspektrumlampen (z. B. Ferguson, Munson & Victoria, 1987; Mayron et al., 1974; Wohlfarth & Gates, 1985). Die Ergebnisse dieser Studien können jedoch nicht auf den Forschungsgegenstand dieser Arbeit übertragen werden, weil Vollspektrumlampen für die moderne Anwendung in Büro und Schule heutzutage keine Rolle mehr spielen (siehe 1.3.1, S. 12). Eine breite Übersicht über Studien zur Wirkung von Vollspektrumlampen bieten McColl und Veitch (2001). Es konnten bei dem beschriebenen Vorgehen nur zwei Studien gefunden werden, welche die Wirkung moderner Leuchtstofflampen in Schulen untersuchen (Knoop, 2008; Küller & Lindsten, 1992). Dieses Ergebnis deckt sich mit dem Ergebnis der Literaturrecherche der Nachfolgestudie der Universität Singapur (Quah, Koh & Ng, 2009).

## **1.3. Theoretische Annäherung**

### **1.3.1. Physikalische Grundlagen**

Licht lässt sich als elektromagnetische Strahlung im visuell sichtbaren Bereich beschreiben. Licht wird von natürlichen Lichtquellen und künstlichen Lichtquellen erzeugt. Bei natürlichen Lichtquellen handelt es sich um das Sonnenlicht. Künstliche Lichtquellen, beispielsweise Glühbirnen, werden korrekterweise als Lampen oder als Leuchtmittel bezeichnet. Der Körper um das Leuchtmittel herum, umgangssprachlich „Lampe“ genannt, wird korrekt Leuchte genannt. Zu den visuell wahrnehmbaren Eigenschaften von Licht gehören unter anderem die Unterscheidung von Helligkeit und Farbeindruck des Lichts, von direktem und indirektem Licht, die spektrale Verteilung und die Farbwiedergabe des Lichts (vgl. z. B. Baer, 2006; Lange, 1992).

Ein Maß für die Helligkeit von Licht auf einer Fläche ist die Beleuchtungsstärke, gemessen in Lux (lx). Die Beleuchtungsstärke beschreibt den Lichtstrom, gemessen in Lumen (lm), der auf eine bestimmte Fläche fällt. Die Beleuchtungsstärke auf der beleuchteten Fläche ist somit auch immer

abhängig von der Entfernung zur Lichtquelle. In Arbeitsräumen, wie in Klassenräumen, wird die Beleuchtungsstärke üblicherweise horizontal in einer Höhe von 0.75 m über den gesamten Fußboden gemessen (vgl. Baer, 2006; Lange, 1992). Das entspricht 3 cm über der Bewertungsfläche der aktuellen Norm DIN EN 12464-1 (DIN, 2006). Die Beleuchtungsstärke im Freien, erzeugt durch natürliche Lichtquellen, ist mit den künstlich generierten Beleuchtungsstärken nicht zu vergleichen. Auch ist unser Auge in Bezug auf unterschiedliche Helligkeitsniveaus sehr anpassungsfähig. Um einen Eindruck von der Bandbreite der Beleuchtungsstärke und der Anpassungsfähigkeit unseres Auges zu bekommen, hier zwei Beispiele: An unbewölkten, sonnigen Sommertagen werden im Freien Beleuchtungsstärken von bis zu 100.000 Lux gemessen. Bei Vollmond in einer klaren Nacht wird dagegen nur eine Beleuchtungsstärke von 0.5 Lux gemessen (vgl. z. B. Baer, 2006; Lange, 1992). In Innenräumen werden für ständig besetzte Arbeitsplätze Beleuchtungsstärken von 200 lx bis 1500 lx, je nach Arbeitsaufgabe, vorgeschrieben (DIN, 2006). Mit zunehmender Beleuchtungsstärke verbessert sich das Sehvermögen zunächst einmal, wie jeder aus eigener Erfahrung weiß. Bis zu einem gewissen Maß können sogar Beeinträchtigungen des Sehvermögens durch höhere Beleuchtungsstärken ausgeglichen werden. So benötigt z. B. ein durchschnittlicher Sechzigjähriger eine vielfach höhere Beleuchtungsstärke als ein durchschnittlicher Zehnjähriger für die gleiche Leseaufgabe (van Bommel, van den Beld & Fassian, 2004).

Als Lichtfarbe wird die Farbtemperatur oder ähnlichste Farbtemperatur einer Lichtquelle bezeichnet. Diese wird in Kelvin (K) gemessen. Die Farbtemperatur entspricht der Temperatur, die ein glühender idealisierter schwarzer Körper (schwarzer Strahler, Planckscher Strahler) annehmen müsste, um eine entsprechende Farbempfindung hervorzurufen. Die Bezeichnung „idealisierter schwarzer Körper“ meint dabei eine vollständige (ideale) Absorption von Licht aller Wellenlängen. Darüber hinaus ist der „idealisierte schwarze Körper“ die Idealvorstellung einer thermischen Strahlungsquelle, welche elektromagnetische Strahlung nur mit einem von der Temperatur abhängigen Spektrum aussendet. Insbesondere Materialeigenschaften haben beim „idealisierten schwarzen Körper“ also keinen Einfluss. Bei Leuchtstofflampen wird von ähnlichster Farbtemperatur gesprochen, da hier der Farbeindruck nicht nur durch Gasentladungsvorgänge entsteht, sondern die Lampen von innen mit einem fluoreszierenden Leuchtstoff beschichtet sind, um den gewünschten Farbeindruck zu erzeugen.

Als ähnlichste Farbtemperatur wird hier der Farbeindruck bezeichnet, der der Farbtemperatur eines glühenden Körpers entsprechen würde. Niedrige Farbtemperaturen erscheinen als warmer Farbeindruck wie rot oder gelb. Hohe Farbtemperaturen weisen kalte Farben, wie weiß oder blau, auf (siehe Abbildung 2). Sonnenlicht um die Mittagszeit liegt bei ca. 5600 Kelvin (vgl. z. B. Baer, 2006; Lange, 1992). Da es sich bei den hier verwendeten Lampen um Leuchtstofflampen handelt, wird fortan der Begriff „ähnlichste Farbtemperatur“ verwendet. Dem entsprechend werden ähnlichste Farbtemperaturen von ca. 3000 Kelvin als warmweiß benannt. Als neutralweiß werden ähnlichste Farbtemperaturen um 4000 Kelvin bezeichnet und als tageslichtweiß ab 5600 Kelvin (vgl. ebenda).



Abbildung 2

*Ungefähre Farbtemperatur in Kelvin*

Die Unterscheidung in direktes und indirektes Licht soll dagegen nur am Rande zum Verständnis der folgenden zitierten Studien erwähnt werden. Als direktes Licht wird Licht bezeichnet, welches unmittelbar auf einen Gegenstand fällt, zum Beispiel bei einem Spot oder bei Anbauleuchten. Bei der indirekten Beleuchtung dagegen, wird das Licht von einem ersten Gegenstand indirekt auf einen zweiten Gegenstand reflektiert, z. B. über die Decke bei einem Deckenfluter (vgl. ebenda).

Ebenso soll die spektrale Verteilung von Licht auch nur am Rande erwähnt werden. Die spektrale Zusammensetzung des Lichts beschreibt die einzelnen Farbbestandteile des Lichts. Die ähnlichste Farbtemperatur des Lichts ist zunächst unabhängig von dessen spektraler Zusammensetzung. Allerdings wird die Lichtfarbe durch die Mischung verschiedener Wellenlängen des Lichts erzeugt: Obwohl z. B. weißes Licht aus einem Farbgemisch besteht, sind nicht alle weißen Farben gleich, da sie von ihren jeweiligen Farbbestandteilen abhängen. Somit erscheint ein Weiß mit einem höheren Rot-Anteil wärmer und ein Weiß mit einem höheren Blau-Anteil kühler. Zur Beschreibung des Farbeindrucks von weißem Licht wird der oben beschriebene Begriff der (ähnlichsten) Farbtemperatur verwendet. Der Anteil der einzelnen Farbbestandteile des Lichts wird durch die spektrale Verteilung

beschrieben. In der älteren Literatur sind Studien mit sogenannten Vollspektrumlampen zu finden, wobei die Begrifflichkeit „Vollspektrum“ umstritten ist. Hierbei ist grundsätzlich zu klären, ob ein breites Lichtspektrum im sichtbaren Bereich gemeint ist und/oder nicht sichtbare UV-Anteile bzw. nicht sichtbare Infrarotanteile gemeint sind. Es wurde lange Zeit davon ausgegangen, dass sich die spektrale Verteilung des Lichts ursächlich auf die circadiane Rhythmik und auf die lichtabhängigen Reaktionen im menschlichen Erleben und Verhalten auswirkt. Aus heutiger Sicht lässt sich die Wirksamkeit von Licht eindeutig auf die Beleuchtungsstärke und die ähnlichste Farbtemperatur zurückführen (Berson, Dunn & Takao, 2002; Brainard et al., 2001; Hattar et al., 2002). Die ähnlichste Farbtemperatur und die verwendete Beleuchtungsstärke sind möglicherweise die entscheidenden Ursachen für positive Evaluationsergebnisse in der älteren Literatur, nämlich dann, wenn Vollspektrumlampen mit entsprechend hellem tageslichtweißen Licht verwendet wurden (vgl. McColl & Veitch, 2001).

Die Farbwiedergabe beschreibt die Fähigkeit einer Lichtquelle, die Farbe von Objekten korrekt, d.h. wie bei natürlichem Tageslicht, wiederzugeben. Für die Farbwiedergabe spielt die spektrale Zusammensetzung des Lichts eine wichtige Rolle, da Farbeindrücke dadurch entstehen, dass der angestrahlte Gegenstand nur bestimmte Wellenlängen des Lichts reflektiert (vgl. z. B. Baer, 2006; Lange, 1992). Der Farbeindruck wird also durch die Wechselwirkung der spektralen Reflexionseigenschaften des Gegenstandes und der spektralen Zusammensetzung des Lichts bestimmt. Korrekte Farbwahrnehmung bei künstlichem Licht ist eine wichtige Aufgabe guter Beleuchtung. Farben wirken dann natürlich, wenn die spektrale Zusammensetzung der Beleuchtung dem natürlichen Tageslicht ähnlich ist. Lichtquellen, die ein möglichst breites Spektrum von Licht im sichtbaren Bereich erzeugen, verfügen über eine gute Farbwiedergabe. Zur Beschreibung der farblichen Wirkung der Lichtquellen werden deren Farbwiedergabeeigenschaften angegeben. Der Farbwiedergabeindex Ra kennzeichnet das Maß der Übereinstimmung der Körperfarbe mit ihrem Aussehen unter der jeweiligen Bezugslichtquelle. Für die meisten ständig besetzten Arbeitsplätze im Innenraum wird nach DIN EN 12464-1 ein Farbwiedergabeindex  $>80\%$  vorgeschrieben (DIN, 2006).

Je nach Fragestellung gibt es also entsprechend unterschiedlich relevante Eigenschaften von Licht, mit unterschiedlichen Maßeinheiten. Für das Verständnis der nachfolgenden Abschnitte sind die Beleuchtungsstärke und die ähnlichste Farbtemperatur von zentraler Bedeutung.

### **1.3.2. Funktionshypothesen zur Wirkung von Licht auf den Menschen**

Derzeit werden vor allem drei Funktionsweisen zur generellen Wirkung von Licht auf den Menschen diskutiert:

1. Licht trifft auf der Netzhaut (Retina) auf Zapfen zur Farb- und auf Stäbchen zur Helligkeitswahrnehmung, die zunächst über Ganglienzellen und dann über den Nervus Opticus zum Sehzentrum im Okzipitallappen gelangen (siehe Abbildung 3), wo ein visueller Eindruck entsteht (vgl. z. B. Birbaumer & Schmidt, 2006; Pinel, 2009; Reuss, 1993). Eine Erhöhung der Beleuchtungsstärke führt zunächst zu einer Verbesserung der visuellen Wahrnehmung durch erhöhte Helligkeits- und Farbkontraste (vgl. Goldstein, 2002). Deshalb können so auch Sehbeeinträchtigungen bis zu einem gewissen Grad entgegen gewirkt werden (van Bommel, van den Beld & Fassian, 2004). Außerdem kann eine erhöhte Beleuchtungsstärke Ermüdungserscheinungen wie Augen- oder Kopfschmerzen entgegenwirken (vgl. Goldstein, 2002; van Bommel, van den Beld & Fassian, 2004). Dennoch lässt sich dieser Erklärungsansatz nicht auf andere beobachtete Wirkungen von Licht auf den Menschen übertragen: Beispielsweise die Steigerung von prosozialen Verhaltensweisen bei dunkel-warmem Licht (Fleischer, 2001; Baron, Rea & Daniels, 1992) oder die Reduktion von depressiver Symptomatik durch Lichttherapie mit hellem-tageslichtweißem Licht (Martiny et al., 2005; Beauchemin & Hays, 1997, Yamada et al., 1995). Die Wirkfunktion der visuellen Wahrnehmung und die entsprechenden Anforderungen an die Beleuchtung sind umfangreich erforscht und bereits Teil verbindlicher Normen: Eine Übersicht über Grundlagen der Beleuchtungstechnik bieten z.B. Baer (2006), Lange (1992) und verbindliche Anforderungen liegen z.B. mit der DIN EN 12464-1 (DIN,

2006) vor. Visuelle Erklärungsansätze sollen hier nur am Rande erwähnt werden, da zwar eine Beeinflussung der visuellen Testaufgaben dieser Studie wahrscheinlich erscheint, der Schwerpunkt jedoch auf den nachfolgenden „nicht visuellen“ Wirkfunktionen liegen soll.

2. Neben den beschriebenen Zapfen für die Farbwahrnehmung und Stäbchen für die Lichtstärke ist ein dritter Rezeptortyp für die circadiane Synchronisierung aktiv, die sogenannten intrinsically photo sensitive retinal cells (siehe 1.3.3.2, S. 20; Berson, Dunn & Takao, 2002; Brainard et al., 2001; Hattar et al., 2002). Diese Ganglienzellen ziehen sich wie ein Spinnennetz über die Retina und sind über den retino-hypothalamischen Trakt (RHT) direkt mit dem Nucleus Suprachiasmus (SCN) verbunden (siehe Abbildung 3). Der SCN ist der primäre Taktgeber für alle circadianen Körperfunktionen und steuert diese durch die Hormone Melatonin und Cortisol (siehe 1.3.3.3, S. 21) sowie die Proteine Cry und Per (siehe 1.3.3.4, S. 22). Die Synchronisation der circadianen Rhythmik durch Licht wirkt sich demnach auf die Tagesaktivität, den Schlaf und die Stimmung aus. Der Zusammenhang zwischen den circadianen Funktionsweisen von Licht und den hier betrachteten eher kurzfristigen Erlebens- und Verhaltensänderungen während der Tageszeit im Unterricht sind bis heute letztlich aber nicht geklärt. Dennoch spielen sie als Wirkhypothese in der vorliegenden Studie eine wichtige Rolle und sollen weiter ausgeführt werden (1.3.3, S. 19), da durch die langfristige Nutzung des Lichts im Regelunterricht außerhalb der Testungen eine circadiane Wirkung nahe liegt und die unmittelbare Wirkung durch vergleichbare Wirkungsmechanismen wahrscheinlich erscheint. So werden beispielsweise durch kurzfristige Lichtinterventionen am Tage Hirnareale aktiviert, die dem circadianen System zuzuordnen sind (Vandewalle, 2009).
3. Ebenfalls werden konditionierte Erfahrungen als Wirkungshypothese diskutiert: So führen Baron und Rea (1991) den Einfluss von Licht auf das menschliche Erleben und Verhalten auf die Konditionierung von individuellen Erfahrungen und der Beleuchtung zurück. Angenehme Erinnerungen werden demnach eher mit dunkel-warmem Licht gekoppelt und unangenehme Erfahrungen mit dunkel-kaltem Licht. Die psychologischen Grundlagen zur Wirkung von Licht sollen ebenfalls detaillierter dargestellt werden (siehe 1.3.4, S. 26).

Die Funktionsweise der Wirkung von Licht auf unmittelbare Erlebens- und Verhaltensänderungen am Tage ist letztendlich nicht geklärt. Neben der Dauer und Intensität der Lichtexposition spielen auch individuelle und situative Faktoren bei der Lichtanwendung im Alltag eine Rolle (siehe 1.3.4.2, S. 28): So haben beispielsweise als individuelle Faktoren Alter und Geschlecht (Knez & Enmarker, 1998; Knez, 1995) sowie anatomische Merkmale (Rea, 2002) einen Einfluss auf die Wirkung von Licht. Als situative Faktoren von Lichtanwendungen werden unter anderem der Ort, der Anlass und die Begebenheit sowie die Form der Beziehung zu den beteiligten Personen bezeichnet (vgl. z.B. Biner & Butler, 1989). Auch sollen die gesundheitlichen Bedenken zur Melatoninsuppression durch Lichtanwendungen diskutiert werden (siehe 1.3.3.5; S. 23).

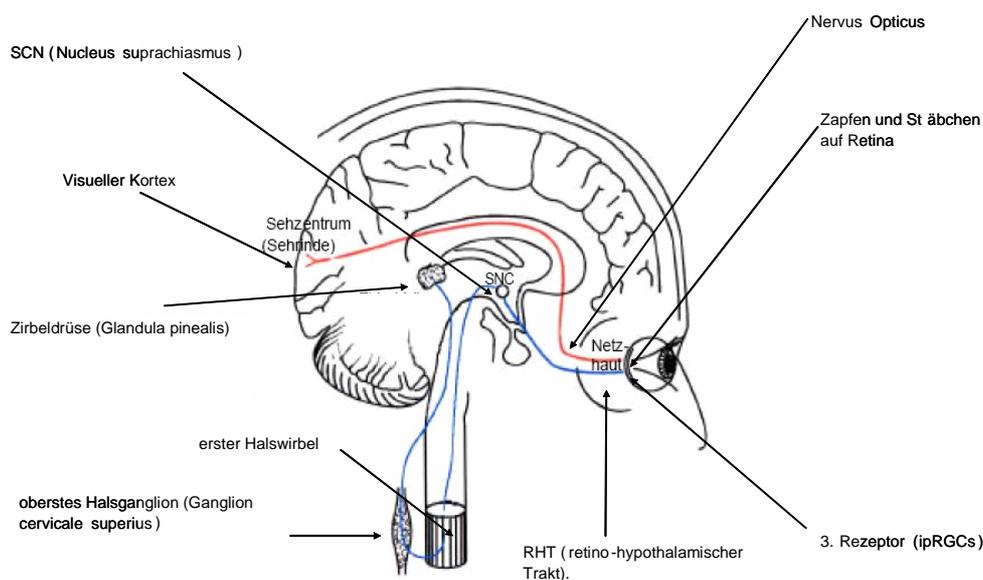


Abbildung 3

*Anatomische Grundlagen zu der Wirkung von Licht auf die Körperfunktionen (van Bommel, van den Beld & Fassian, 2004)*

### 1.3.3. Neurobiologische Grundlagen

#### 1.3.3.1. Licht als Zeitgeber für saisonale und circadiane Rhythmen

Licht ist der stärkste Zeitgeber für die circadiane Rhythmik des Menschen. Daneben sind soziale Hinweisreize (z. B. Gruppenrhythmus oder sozialer Druck), die Verfügbarkeit von Nahrung und Flüssigkeit weitere Zeitgeber. Ohne Zeitgeber ist die Periodik circadianer Rhythmen sowohl beim Menschen, als auch bei Tieren etwas länger oder kürzer als 24 Stunden (vgl. Birbaumer & Schmidt, 2006) und desynchronisiert nach längeren Zeiträumen in Isolation, ohne jegliche zeitliche Hinweisreize und soziale Interaktion, vollständig (Zulley et al., 1993).

Der Nucleus Suprachiasmus (SCN) ist der Taktgeber für alle untergeordneten Oszillatoren. Unter dem Begriff Oszillator, der einen technischen Ursprung hat, werden in diesem Zusammenhang funktionale Systeme des Körpers mit einem wiederkehrenden zeitlichen Verlauf verstanden. Nicht alle Oszillatoren eines Menschen weisen einen parallelen Verlauf auf (siehe Abbildung 4; vgl. z. B. Birbaumer & Schmidt, 2006). Vielmehr sind die Phasen vieler Oszillatoren zeitlich versetzt. Auch stimmen selten die externen Zeitgeber, wie das Licht, exakt mit den körpereigenen (endogenen) Rhythmen überein. Die Folge sind Phasenverschiebungen (Birbaumer & Schmidt, 2006; Rea, 2002).

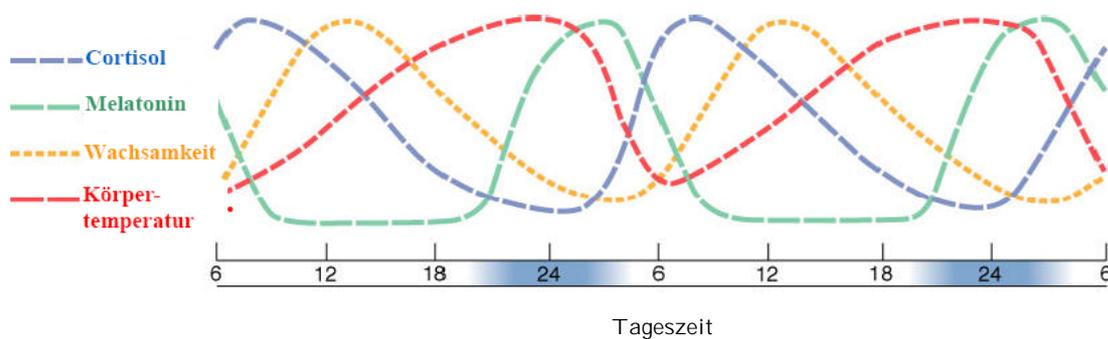


Abbildung 4

*Zeitlicher Verlauf unterschiedlicher circadianer Körperfunktionen (van Bommel, van den Beld, & Fassian, 2004).*

Innerhalb des sogenannten Mitnahmebereiches passen sich die endogenen Oszillatoren den externen Zeitgebern an. Für unterschiedliche Oszillatoren wurden unterschiedliche Mitnahmebereiche gefunden: Die Körpertemperatur ist beispielsweise nicht so sehr von externen Zeitgebern beeinflussbar wie der Wach-Schlaf-Rhythmus (Birbaumer & Schmidt, 2006).

Der circadiane Verlauf, der für diese Arbeit wichtigen kognitiven Leistungsfähigkeiten, lässt sich wie folgt beschreiben: Zunächst gibt es einen kontinuierlichen Anstieg in der Leistungsfähigkeit bei der Bewältigung von Rechenaufgaben bis ca. 12-13 Uhr, dem Tagesmaximum. Dann folgt der kontinuierliche Abfall in der Leistungsfähigkeit beim Lösen von Rechenaufgaben bis 17 Uhr, danach ist ein wechselnder Verlauf mit Spitzen gegen 20 und 22 Uhr zu beobachten. Das Tagesminimum der Rechengeschwindigkeit wird gegen Mitternacht erreicht (Birbaumer & Schmidt, 2006; Folkard & Monk 1983; Hildebrandt, 1978). Der Leistungsverlauf sprachlich-logischer Denkaufgaben lässt sich als glockenförmig mit einem Tagesmaximum gegen 14 Uhr beschreiben (vgl. Birbaumer & Schmidt, 2006; Hildebrandt, 1978). Der Gipfel der beruflichen Fehlerrate in der normalen Arbeitszeit (keine Schichtarbeit) liegt zwischen 14 und 15 Uhr, dem so genannten Mittagstief (vgl. Birbaumer & Schmidt, 2006; Hildebrandt, 1978).

Die Wahrnehmung des Lichts als wichtigsten Zeitgeber für die hier beschriebenen circadianen Rhythmen findet im Auge über spezielle Ganglienzellen statt, wie im nächsten Abschnitt beschrieben wird.

### **1.3.3.2. Der dritte Rezeptortyp**

Licht trifft auf der Retina auch auf melanopsinhaltige Photorezeptoren, so genannte intrinsically photo sensitive retinal ganglion cells. Sie bilden neben Zapfen und Stäbchen einen dritten Rezeptortyp. Dieser dritte Rezeptortyp zieht sich wie ein Spinnennetz über die Retina und ist direkt mit dem SCN,

der inneren Hauptuhr, verbunden. Die Verbindung zwischen dem dritten Rezeptor und dem SCN ist der RHT (retino-hypothalamischer Trakt). Bei dem RHT handelt es sich, anatomisch gesehen, um bestimmte Fasern des Sehnerves, dem Nervus Opticus (Birbaumer & Schmidt, 2006; Reuss, 1993).

Bis zu den Untersuchungen von Berson, Dunn & Takao im Jahre 2002 (vgl. 1.3.3.6, S. 25) wurde angenommen, dass diese Ganglienzellen lediglich Informationen aus den Zapfen und Stäbchen verarbeiten (vgl. Birbaumer & Schmidt, 2006). Zwar übernimmt dieser Rezeptor auch diese Funktion, doch für die circadiane Rhythmik ist diese nebensächlich und die eigene Photosensitivität ist von zentraler Bedeutung.

Die Aktivität des dritten Rezeptors ist abhängig von der Beleuchtungsstärke, der ähnlichsten Farbtemperatur sowie des Winkels des einfallenden Lichts. Bei steigender Beleuchtungsstärke steigt die Aktivität und bei ca. 2000 Lux tritt ein Sättigungseffekt ein. Noch höhere Beleuchtungsstärken führen zu keiner nennenswerten Vergrößerung der Aktivität. Zwar führt Licht jeder Farbe zur Aktivität des dritten Rezeptors, das stärkste Aktionspotential wird jedoch durch Licht mit bläulicher Farbe hervorgerufen (Berson, Dunn & Takao, 2002; Brainard et al., 2001; Hattar et al., 2002). Die dritten Rezeptoren scheinen nach neuesten Erkenntnissen im unteren Teil der Netzhaut zur Nase hin gelegen (nasal) besonders empfindlich zu sein (Fördergemeinschaft Gutes Licht, 2010).

### **1.3.3.3. Cortisol und Melatonin**

Melatonin spielt für den Wach-Schlaf-Rhythmus eine entscheidende Rolle. Liebermann et al. (1984) konnten die sedativen Eigenschaften von Melatonin an Probanden, maßgeblich durch verringerte Aufmerksamkeit und langsamere Reaktionen, belegen. Melatonin wird in der Zirbeldrüse (Glandula pinealis), einem Teil der Hirnanhangsdrüse (Epiphyse), aus dem Ausgangsprodukt Serotonin erzeugt und beim Ausbleiben von Licht vermehrt ausgeschüttet, bzw. durch Licht unterdrückt (vgl. z.B.

McIntyre et al., 1989; Lewy et al., 1980). Die Zirbeldrüse ist durch das oberste Halsganglion (Ganglion cervicale superius), einem Nervenknotten im Seitenhorn des Rückenmarks auf Höhe des ersten Halswirbels, mit dem SCN verbunden (Reuss, 1993).

Die Cortisolausschüttung verläuft unter normalen Umständen nahezu gegensätzlich zur Melatoninausschüttung. Cortisol wird auch wie die Katecholamine Adrenalin und Noradrenalin vermehrt bei Stress ausgeschüttet und bereitet den Körper somit auf herausfordernde Ereignisse vor. Veränderungen des Cortisolspiegels bei Stressreaktionen sind aber zeitlich träger als die Veränderung der Adrenalin- und Noradrenalinpiegel und haben ein sehr breites Wirkungsspektrum im Stoffwechsel des Körpers. Cortisol wird normalerweise in den frühen Morgenstunden vermehrt von der Nebennierenrinde ausgeschüttet. Der niedrigste Cortisolspiegel wird gegen Mitternacht gemessen. (Birbaumer & Schmidt, 2006; Wetterberg, 1999). Der Cortisolspiegel wird durch die ACTH-Ausschüttung in der Hypophyse gesteuert. Die Hypophyse ist über den Hypophysenstiel (Infundibulum) mit dem Hypothalamus und somit auch mit dem SCN verbunden. Die Hormone Melatonin und Cortisol steuern also maßgeblich, zusammen mit Cry- und Per- Proteinen (siehe 1.3.3.4, S. 22), die Aktivität der circadianen Körperfunktionen. Inwieweit die lichtabhängigen Reaktionen am Tage auf die hormonellen Veränderungen zurückzuführen sind, ist bis zum heutigen Zeitpunkt jedoch nicht geklärt.

#### **1.3.3.4. Bildung von Cry und Per Proteinen im Nucleus suprachiasmaticus**

Viele Körperfunktionen haben einen eigenen circadianen Rhythmus, aber keine direkte Nervenverbindung zum SCN, der Hauptuhr des Körpers. Der Rhythmus dieser „sekundären Oszillatoren“ wird durch hormonelle Wirkungen (1.3.3.3, S. 21) sowie durch die Cry- und Per-Proteine moderiert. Die Aktivität der Axone der dritten Rezeptortypen führt zur Ausschüttung von Glutamat in den Neuronen des SCN im Hypothalamus. Das Glutamat vergrößert die Durchlässigkeit der Zellkernmembranen im SCN. Bestimmte Proteine, die sogenannten Clock und Timer, verbinden sich zu einem Dimer und können nun vermehrt durch die erhöhte Durchlässigkeit an die DNA im

Zellkern der SCN Zellen gelangen. Im Zellkern beeinflussen die Dimere die Translation der Cry- und Per-Proteine. Die vermehrte Ausschüttung der Cry- und Per-Proteine in den Organismus führt mit zeitlicher Verzögerung zur Bindung mit einem dritten Protein (Tau) und zu einer Hemmung der Generierung von Dimeren. Die Translation von Cry- und Per-Proteinen wird somit gehemmt (negative Rückkopplung). Sind die Tauproteine abgebaut, wird die Erzeugung von Dimeren nicht mehr gehemmt und diese können erneut die Translation von Cry- und Per-Proteinen fördern. Dieser Rhythmus dauert ca. 25 Stunden und dient der körpereigenen (endogenen) Steuerung der circadianen Körperfunktionen ohne externe Zeitgeber wie Licht. Das Licht hat, durch die Beeinflussung der Durchlässigkeit der Zellkernmembranen des SCN für die Dimerproteine, einen moderierenden Einfluss auf diesen Prozess und synchronisiert den endogenen Rhythmus an die Umweltbedingungen (vgl. z. B. Birbaumer & Schmidt, 2006; Kavaklı & Sancar, 2002; van Gelder, 2002).

#### **1.3.3.5. Exkurs 1 Zusammenhang von nächtlicher Melatoninsuppression und Krebs**

Da bei der nichtwissenschaftlichen Veröffentlichung der Studienergebnisse wiederholt Nachfragen und Unsicherheiten bezüglich der sogenannten „Melatoninhypothese“ auftauchten, soll diese hier umrissen werden. Die Hypothese, dass permanente Melatoninsuppression durch Licht in der Nacht die Auftretenswahrscheinlichkeit von Krebserkrankungen erhöhe, wurde erstmals von Stevens (1987) mit der höheren Prävalenz von Brustkrebs in westlichen Industrienationen begründet. Auch wird von einer geringeren Brustkrebsprävalenz bei blinden Frauen berichtet (Coleman & Reiter, 1992; Feychting, Osterlund & Ahlbom, 1998; Hahn 1991). Biologisch lässt sich die Melatoninhypothese zum einen durch den steigenden Östrogenspiegel und dem damit steigenden Brustkrebsrisiko bei permanenter Melatoninsuppression begründen (Stevens, 1987). Zum anderen bindet Melatonin freie Sauerstoffradikale, welche zu Mutationen an den Erbinformationen in den Zellkernen führen können (Reiter et al., 2003). Insbesondere Mutationen der Per-Proteine, die als Botenstoff eine wichtige Rolle bei circadianen Funktionen spielen (vgl. 1.3.3.4, S. 22), werden als ursächlich diskutiert (Blask et al., 2005).

In einem Review von Kolstad (2007) über 13 internationale epidemiologische Studien zum Thema Krebsrisiko bei Nachtschichtarbeit berichten acht davon über einen moderaten Unterschied in der Prävalenz von Krebserkrankungen zwischen Schichtarbeitern und normal tätigen Arbeitnehmern. Einen Überblick über Laborstudien zur Melatoninhypothese bieten beispielsweise Navarra und Nelson (2007). Beispielsweise wurde in den aufwändig durchgeführten Laborexperimenten von Blask et al. (2005) sowie von Nelson und Bloom (1994) ein schnelleres Krebswachstum bei Lichteinwirkung in der Nacht von bereits schwer erkrankten bzw. mit krebserregenden Mitteln infizierten Versuchstieren festgestellt.

Insgesamt betrachtet spricht zwar die knappe Mehrheit der Korrelationsstudien für die Melatoninhypothese, doch Korrelationsstudien lassen bekanntlich keine Schlüsse auf Ursache und Wirkung zu und Nachtschichtarbeiter sind einer Vielzahl an Belastungsfaktoren ausgesetzt. Darüber hinaus können fünf der dreizehn Korrelationsstudien, von denen Kolstad (2007) berichtet, keine derartigen Zusammenhänge finden. Der Publikations-Bias spielt ebenfalls eine wichtige Rolle. Durch die aufgeführten Studien wird nicht deutlich, wie groß der Effekt der Melatoninsuppression im Vergleich zu anderen Wirkungsfaktoren ist. Die Laborexperimenten von Blask et al. (2005) sowie von Nelson und Bloom (1994) weisen auch lediglich auf ein schnelleres Krebswachstum bei Lichteinwirkung in der Nacht von bereits schwer erkrankten, bzw. mit krebserregenden Mitteln infizierten, Versuchstieren hin. Des Weiteren ist ebenfalls nicht geklärt, inwieweit der Schlafentzug, der bekanntermaßen auch mit anderen Mitteln als mit Licht erfolgen kann, für das Fortschreiten der Erkrankung ursächlich ist. Somit ist nicht einschätzbar, wie groß die Gefährdung durch Licht am Abend und in der Nacht tatsächlich ist. Bei der Interpretation der Studien und Laborexperimente darf nicht der Schluss gezogen werden, dass Licht generell, insbesondere blaues Licht, das Krebsrisiko erhöhe. Vorsichtshalber sollten Schichtarbeiter vielleicht dennoch, neben vielen weiteren gesundheitlichen Aspekten, auf eine ausreichende Lichthygiene (z.B. durch Verdunklung des Schlafraumes) während des Tages achten. Normaltätige Menschen sollten vorsichtshalber hohe Beleuchtungsstärken, insbesondere mit hohem Blauanteil und in einem flachen Winkel zu den Augen (z. B. die Neonröhre im Spiegelschrank des Badezimmers), während der Nacht vermeiden, schon um anschließend besser schlafen zu können.

### **1.3.3.6. Exkurs 2 Nachweis der Funktionsweise des dritten Rezeptors (intrinsically photo sensitive retinal ganglion cells).**

Neben ihrer wichtigen Funktion zur Synchronisation des circadianen Systems sind intrinsically photo sensitive retinal ganglion cells möglicherweise auch an der kurzfristigen Wirkung von Licht am Tage beteiligt, so sprechen beispielsweise Studien mit bildgebenden Verfahren für Parallelen (Vandewalle, 2009). Die Funktionsweise der Ganglienzellen ist für die vorliegende Studie relevant, da mit dem Forschungsgegenstand Dynamischem Licht sowohl die kurzfristige Wirkungsweise von Licht am Tage als auch die circadiane Synchronisation verfolgt wird. Von entscheidender Bedeutung für das Verständnis von der neuronalen Wirkung des Lichts ist die Studie von Berson, Dunn und Takao (2002), da die bisherigen Wirkungsannahmen über eine Verschaltung von Zapfen und Stäbchen in den Ganglienzellen zu circadianen Informationen revidiert werden mussten: Neben Zapfen und Stäbchen sind die Ganglienzellen selbständige, lichtempfindliche Photorezeptoren.

Im ersten Schritt der Untersuchung von Berson et al. (2002) wurden fluoreszierende Substanzen in das SCN von lebenden Ratten injiziert, um die Ganglienzellen farblich markieren zu können. Im zweiten Schritt wurden die Ratten getötet und die Augen entfernt. Die Netzhaut wurde isoliert und unter aufwändigen Verfahren funktionstüchtig erhalten. Es konnten intensive neuronale Aktivitäten gemessen werden, wenn Licht auf eine solche Netzhaut traf. Die Reaktion blieb darüber hinaus stabil, wenn die Zapfen und Stäbchen auf der Netzhaut mit einer Cobaltchlorid-Mixtur gehemmt wurden. Dies war der erste Hinweis darauf, dass es sich bei diesen Ganglienzellen um einen selbstständigen Photorezeptor handelt. Im darauf folgenden Schritt der Untersuchung, wurden die farblich markierten Ganglienzellen einzeln vollständig aus der Netzhaut heraus präpariert und weiterhin funktionstüchtig erhalten. Wurden diese nun völlig isolierten Ganglienzellen erneut beleuchtet, rief dies wieder eine neuronale Reaktion hervor. Diese neuronale Reaktion auf Licht ließ sich nur damit erklären, dass es sich bei diesen Ganglienzellen um selbstständige Lichtrezeptoren handelt. Deshalb spricht Berson von „intrinsically photosensitiv retinal ganglion cells“, also von wirklich photosensitiven Ganglienzellen.

Des Weiteren stellten Berson et al. (2002) durch Beleuchtung dieser isolierten Ganglienzellen fest, dass Licht jeder Farbe zu Aktionspotentialen führt. Der beste Schnittpunkt einer Funktion aus Wellenlänge und Ausprägung des Aktionspotentials des Lichts liegt aber bei blauem Licht (484 nm). Auch weitere Untersuchungen zeigen vergleichbare Ergebnisse (vgl. z. B. Brainard et al., 2001; Hattar et al., 2002).

Durch die Photosensitivität des dritten Rezeptors konnte nun auch erklärt werden, warum Versuchsmäuse, die eine Retina ohne Stäbchen und Zapfen besaßen, einen gesunden circadianen Rhythmus aufwiesen (vgl. Freedmann et al., 1999). Seit diesem Zeitpunkt steht fest, dass Menschen über eine dritte Art von Lichtrezeptoren verfügen, ebenso wie alle anderen Säugetiere, Reptilien, Fische und Vögel.

### **1.3.4. Psychologische Grundlagen**

#### **1.3.4.1. Der Einfluss des Lichts auf das allgemeine menschliche Verhalten und Erleben**

Neben der beschriebenen neurobiologischen Wirkungsweise des Lichts auf die physischen Reaktionen mit der Folge von Auswirkungen auf die menschliche Psyche, wird auch umgekehrt diskutiert, dass bestimmtes Licht psychische Reaktionen hervorruft, die dann physische Auswirkungen zur Folge haben. So kann zum Beispiel dunkles Neonlicht angstbezogene Erinnerungen hervorrufen und körperliche Angstsymptome, wie Herzklopfen oder Schweißausbrüche, auslösen. Baron und Rea (1991) führen den Einfluss von Licht auf die Konditionierung zwischen individuellen Erfahrungen unter verschiedener Beleuchtung zurück. So werden angenehme Erinnerungen mit hoher Wahrscheinlichkeit mit Erlebnissen bei dunkel-warmem Licht gekoppelt und unangenehme Erfahrungen mit dunkel-kaltem Licht:

- Zum Beispiel kann Neonlicht mit weniger schönen Orten und Gefühlen in Verbindung gebracht werden, wie Garagen, Keller oder an Krankenhausaufenthalte erinnern und bewirkt dann eine Verschlechterung der Stimmung.
- Der Schein von Kerzen wird dagegen eher mit glücklichen Momenten, zum Beispiel mit dem Liebespartner, in Verbindung gebracht und führt neben einem Gefühl der Liebe und Geborgenheit auch zu körperlicher Entspannung.

Die Folgen von Licht sind - egal ob die neurobiologischen Reaktionen zu Emotionen führen oder umgekehrt - unterschiedliche Verhaltensweisen von Menschen:

- So führt warmes Licht mit niedrigen Beleuchtungsstärken zu einem ruhigen und entspannten Zustand in dem wir sehr viel besser auf andere Menschen eingehen und sie verstehen können, also empathischer werden als in Stress- oder Angstzuständen (vgl. Baron, Rea & Daniels, 1992; Fleischer, 2001).
- Andererseits ist die Aufmerksamkeits-/Konzentrationsleistung im Zustand von gesunder Aktivierung bei hellem, tageslichtweißen Licht in hoher Beleuchtungsstärke weitaus besser (vgl. Boyce et al., 1997; Campbell & Dawson, 1990; Figueiro et al., 2001; Fleischer, 2001).

Licht beeinflusst auch die Selbsteinschätzung und das Sozialverhalten:

- So führt indirektes Licht zu einer erhöhten Einschätzung der eigenen Dominanz (Fleischer, 2001). Auch werden Personen, die vor einer indirekt beleuchteten Wand sitzen, als eloquenter wahrgenommen (ebenda). Das Gegenteil ist in Lichtsituationen, wie wir sie aus Verhören in Krimis kennen, der Fall: Der Verhörte sitzt in einem dunklen Raum, die Schreibtischleuchte ist direkt auf ihn gerichtet, so dass sie ihn zum einen blendet und er zum anderen die

Ermittelnden und deren Reaktionen nicht sehen kann. Auf diese Weise wird das Machtungleichgewicht der Situation durch das Licht betont und verstärkt.

- Bei Versuchspersonen steigt die Hilfsbereitschaft bei warmen Farbtemperaturen und niedriger Beleuchtungsstärke, wie Fleischer (2001) sowie Baron und Rea (1991) zeigen konnten: In dieser Lichtsituation waren die Versuchspersonen vermehrt dazu bereit, zusätzliche Aufgaben zu übernehmen (siehe 1.3.5.2, S. 34). Auch scheint diese Lichtsituation für die Kommunikation vorteilhaft zu sein (Fleischer, 2001).

Die meisten Menschen wissen zumindest unbewusst von der Wirkung des Lichts und rufen durch Veränderungen der Beleuchtungsstärke und der Farbtemperatur gezielt entsprechendes Erleben und Verhalten hervor, wie im nächsten Abschnitt gezeigt wird.

#### **1.3.4.2. Wahl der Lichtsituation im Alltag und persönliche Präferenzen**

Die wenigsten Menschen haben zwar eine detaillierte Vorstellung vom Einfluss des Lichts und unterschätzen die Wirkung, doch setzen wir alle Licht im Alltag meist unbewusst ein. So nutzen wir helles Licht zum Lesen und wählen dunkleres Kerzenlicht oder Kaminfeuer zur Entspannung. Dies spiegeln auch die Ergebnisse der Untersuchung von Biner und Butler (1987) wieder. Diese stellten bei ihren Versuchspersonen eine Präferenz für hohe Beleuchtungsstärken bei visuellen Aufgaben fest, für Treffen mit dem Lebenspartner dagegen eine Präferenz für niedrige Beleuchtungsstärken. Generell werden bei Anwesenheit des Lebenspartners signifikant niedrigere Beleuchtungsstärken bevorzugt als bei Anwesenheit von anderen Personen (Biner et al., 1989; Butler & Biner, 1987).

In Räumen, in denen Kommunikation sowie Entspannung wichtige Stellenwerte einnehmen, wird ebenfalls eher abgedunkeltes und warmes Licht bevorzugt. Dies ist zum Beispiel in Lokalen, Kneipen, Wohn-, Schlafzimmern und Konferenzräumen der Fall. Neben der Nutzung eines Raumes und der Vertrautheit der Kommunikationspartner scheint es auch unterschiedliche Präferenzen zwischen den

Geschlechtern bei der Wahl der Beleuchtung zu geben. So bevorzugen Frauen unabhängig von der Situation niedrigere Farbtemperaturen und niedrigere Beleuchtungsstärken als Männer (Knez & Enmarker, 1998). Während Männer also eher leistungssteigernde Lichtsituationen bevorzugen, bevorzugen Frauen Lichtsituationen, die Empathie und Kommunikationsvermögen erhöhen. Neben einer evolutionär-psychologischen Erklärung, dass die Beleuchtung entsprechend der erfolgreich zu erfüllenden Aufgaben und Rollenverteilungen gewählt wird, bieten auch die Untersuchungsergebnisse des schwedischen Forschers Igor Knez eine wahrnehmungspsychologische Erklärung an:

- So empfinden Frauen Licht mit (der gleichen) hohen Beleuchtungsstärke heller als Männer (Knez, 1995).
- Frauen empfinden Licht mit hoher Farbtemperatur kälter als Männer. Männer dagegen empfinden Licht mit niedriger Farbtemperatur wärmer als Frauen (Knez & Enmarker, 1998).
- Als unangenehm empfinden dagegen Frauen und Männer gleichermaßen dunkel-kaltes Licht, dass zum Beispiel für Herbsttage typisch ist (Knez & Enmarker, 1998).

Demnach wird Licht von Frauen und Männern unterschiedlich wahrgenommen und die Intensität von nicht bevorzugten Lichtsituationen höher empfunden, so dass Knez (1995) unterschiedliche Beleuchtung für Männer und Frauen am Arbeitsplatz empfiehlt.

Aber nicht nur das Geschlecht spielt eine entscheidende Rolle für die Wahl der Beleuchtung, sondern auch das Alter der Menschen. Hier scheinen physiologische Gründe eine besonders wichtige Rolle zu spielen.

- Aufgrund der altersbedingten Trübung der Augenflüssigkeit und der verminderten Leistungsfähigkeit der Linse, die zur Kurz- und Weitsichtigkeit führt, werden höhere Beleuchtungsstärken mit steigendem Alter benötigt, um den Verlust der visuellen Leistung kompensieren zu können (vgl. z. B. van Bommel, van den Beld & Fassian, 2004).

- Knez und Kers (2000) fanden einen Unterschied zwischen jüngeren und älteren Menschen. Die jüngeren Probanden empfanden, unabhängig von der objektiven Beleuchtungsstärke und Farbtemperatur, Licht subjektiv heller und kälter als die älteren Menschen. Dies ist möglicherweise die Folge der altersbedingten Trübung der Augenflüssigkeit, da mit zunehmender Trübung weniger Licht und weniger Blauanteile des Lichts durchgelassen werden (vgl. van Bommel, van den Beld, & Fassian, 2004).
- Die Verschlechterung der Stimmung kann während langer Leistungstests bei jungen Menschen unter kaltem Licht besser aufgehoben werden und bei älteren Menschen unter warmem Licht (Knez & Kers, 2000). Dies kann dagegen nicht ohne weiteres auf die altersbedingten Veränderungen der physiologischen Eigenschaften des Auges zurückgeführt werden.

Weitere wichtige Ursachen für die Präferenzen bei der Wahl der Beleuchtung könnten auch die anatomische Beschaffenheit des Gesichts und die übliche Körperhaltung eines Menschen sein: Denn die Lichtmenge, die auf das menschliche Auge fällt, kann bei gleich bleibender Beleuchtungsstärke aufgrund des Winkels der Kopfhaltung und der anatomischen Beschaffenheit des Gesichts erheblich unterschiedlich ausfallen (vgl. z. B. Rea, 2002).

Die Lichtpräferenzen und Lichtbedürfnisse sind demnach nicht nur situationsabhängig, sondern auch individuell verschieden und haben Einfluss auf die Leistungsfähigkeit und das Wohlbefinden. Dies spricht für veränderbare – dynamische – Lichtlösungen, um die Beleuchtung individuell an die unterschiedlichen Präferenzen von Menschen anzupassen.

### **1.3.4.3. Saisonaler Verlauf von Stimmungsschwankungen, Depressionen sowie Alkoholkonsum**

Winterliche Lichtverhältnisse mit kurzer Sonnenscheindauer und geringer Beleuchtungsstärke werden mit dem Anstieg von depressiven Symptomen in Verbindung gebracht (Rosenthal et al., 1984). In Deutschland leidet ca. ein Prozent der Bevölkerung unter saisonalen affektiven Stimmungsschwankungen (vgl. Ärztliche Praxis, 2006). In Alaska dagegen leiden 28 Prozent der Bevölkerung unter saisonalen Stimmungsschwankungen (Hellekson, 1989).

Die Saisonal abhängige Depression (SAD) wird als eigenes Störungsbild von der Fachöffentlichkeit kontrovers diskutiert, nicht aber die Existenz von saisonalen Stimmungsschwankungen. Die Entdeckung von SAD geht auf Rosenthal et al. (1984) zurück. Die Symptome von SAD wie Stimmungsschwankungen, Energielosigkeit, gesteigerte Ängstlichkeit und übermäßiger Appetit treten überwiegend nur im Winter und nicht im Sommer auf (Dalglish, Rosen & Marks, 1996). Die durchschnittliche Episodendauer einer SAD Phase dauert ungefähr 5 Monate und variiert um ein bis zwei Monate (Kasper et al., 1989; Hellekson, 1989). SAD kann ab dem 10. Lebensjahr beobachtet werden (Rosenthal et al., 1986) und ca. 80 % der Erkrankten sind Frauen (Brühl, 1992; Hellekson, 1989). Bei der Entstehung von SAD scheinen die Schwankungen der absoluten Melatoninwerte keine wesentliche Rolle zu spielen. Vielmehr scheinen die Phasenverschiebungen des Melatoninspiegels und somit auch die darauf beruhende Verschiebung des circadianen Rhythmus entscheidend zu sein: So weisen SAD Patienten höhere Cortisolwerte und Melatoninspitzen zu einem früheren Zeitpunkt im circadianen Verlauf auf, als gesunde Patienten (Wetterberg, 1999). Auch die Veränderungen in der individuellen Lichtsensitivität in beide Richtungen sowie die Rolle der Neurotransmitter Dopamin, Serotonin und Noradrenalin werden als Ursachen diskutiert (Dalglish, Rosen & Marks, 1996).

Die beschriebene Verschlechterung der Stimmung, bis hin zur Entwicklung einer depressiven Störung mit den Begleiterscheinungen von u. a. Angstsymptomen und der Erhöhung des Suizidrisikos, steht im Zusammenhang mit einer weiteren problematischen Verhaltensweise: Der Wissenschaftler Irving

Geller (1971) stellte regelrechte Alkoholexzesse bei seinen Versuchsratten am Wochenende fest. Die Tiere hatten zuvor stets Wasser bevorzugt. Der verblüffte Stressforscher stellte einen Defekt in der Beleuchtungsautomatik fest. Die Ratten saßen am Wochenende im Dunkeln. Neben dieser zufälligen Entdeckung des Stressforschers Irving Geller belegen zahlreiche Studien den Zusammenhang zwischen dem Mangel an Tageslicht im Winter und dem Alkoholkonsum auch bei Menschen: So zeigt eine Studie von Kiester (1981) den starken Anstieg des Alkoholkonsums in Norwegen während der lichtlosen Zeit in den Polarnächten. Auch wird eine erhöhte Inanspruchnahme von ambulanten Therapieeinrichtungen von Alkoholabhängigen in den Wintermonaten verzeichnet (Goff, McGrath & Pitzutelli, 1988).

Saisonale Stimmungsschwankungen und Depressionen mit ihren schwerwiegenden Folgen können durch natürliches oder künstliches Tageslicht reduziert werden. Die systematische Anwendung durch Lichtexposition in der Behandlung mit Lichttherapie wird im nächsten Abschnitt beschrieben. Eine Übersicht zu der umfangreichen Forschung zum Thema saisonal abhängige Depressionen bietet z. B. Hilger (2004).

### **1.3.5. Systematische Anwendung von Licht**

#### **1.3.5.1. Lichttherapie**

Die Anwendung von Licht kann auch zu Behandlungszwecken eingesetzt werden, wie in der Lichttherapie. Unter Lichttherapie wird die gezielte Anwendung von Licht zu einer Heilentwicklung verstanden (vgl. Baumeier, 2000; Terman & Terman, 2005). Lichttherapie wird zur Behandlung von folgenden Beschwerden angewendet (vgl. Baumeier, 2000; Terman & Terman, 2005):

- bei saisonal abhängigen Depressionen (SAD) und saisonalen Stimmungsschwankungen
- bei Schlafstörungen
- bei Essstörungen
- bei Magen- und Darmbeschwerden

- bei herabgesetzter Aufmerksamkeit
- zur Verminderung und Vorbeugung von Jetlagbeschwerden
- bei Verwirrung der „inneren Uhr“ und den damit verbundenen Beschwerden bei der Schichtarbeit
- zur Minderung von Begleitsymptomen von Alkoholabhängigen beim Entzug (vgl. Dietzel et al., 1989; Röpke, 1993).
- bei bestimmten Hautkrankheiten (Wilkens, 2008)

Die wiederentdeckte Behandlungsmöglichkeit von Neurodermitis und anderen Hautkrankheiten hat eine lange Tradition in der Geschichte der Lichttherapie. So wurde sie vor der Entdeckung von Antibiotika als Standardbehandlung von Hautkrankheiten eingesetzt (Baumeier, 2000). Heute wird die Lichttherapie überwiegend zur Behandlung von saisonalen Stimmungsschwankungen und SAD angewendet. Lichttherapie erweist sich auch wirksam in der begleitenden Behandlung von Erwachsenen mit depressiver Symptomatik (z. B. Beauchemin & Hays, 1997; Martiny et al., 2005; Yamada et al., 1995). Die begleitende lichttherapeutische Anwendung bei Patienten mit AD(H)S ist derzeit noch sehr unzureichend erforscht, dennoch spricht eine erste Studie für die Wirksamkeit bei Erwachsenen (Rybak et al., 2006). Als Nebenwirkungen von Lichttherapie treten in seltenen Fällen auf: leichte Augenreizungen, leichte Kopfschmerzen, trockene Haut und unerwünschte Antriebssteigerungen (Baumeier, 2000).

Bei lichttherapeutischen Anwendungen wird üblicherweise für die Behandlung der meisten Störungen sehr helles Licht von 10000 Lux verwendet. Ab einer Beleuchtungsstärke von 2500 Lux wird von einer effektiven Wirkung ausgegangen (Dalglish, Rosen & Marks, 1996). Bei einer Beleuchtungsstärke von 2500 Lux dauert die Behandlung täglich zwei Stunden, bei 10000 Lux nur 40 min (Baumeier, 2000). Neuere Forschungserkenntnisse deuten aber darauf hin, dass die Wirkung auch energieeffizienter mit geringerer Beleuchtungsstärke und höherem Wirkungsgrad durch erhöhten Blauanteil erreicht werden kann (Meesters & Ruiters, 2009).

Üblicherweise werden bei lichttherapeutischen Anwendungen also 10-fach höhere Beleuchtungsstärken als bei der Maximaleinstellung von Dynamischem Licht, wie zum Beispiel in der hier vorliegenden Schul- und Laborstudie, verwendet. In beiden Studien wird das Licht entsprechend zur Arbeitsaufgabe gewählt, um die Arbeitsbedingungen kollektiv für eine Schulklasse oder eine Kleingruppe im Labor zu optimieren. Bei der hier vorliegenden Anwendung handelt es sich also um keinen lichttherapeutischen Ansatz.

### **1.3.5.2. Anwendung von Licht in Arbeitssituationen**

Wie im normalen Alltag wählen Menschen auch bei der Arbeit mehrheitlich unbewusst die richtige Beleuchtung für unterschiedliche Aufgaben, wie die Studie von Fleischer (2001) zeigt (vgl. 1.4.3, S. 40). Sie wählen z. B. für visuelle Aufgaben wie Schreibtischarbeit höhere Beleuchtungsstärken als für Kommunikationsaufgaben. Die Wahl der richtigen Lichtsituation ist vorteilhaft, da sich bestimmte Lichteinstellungen positiv bei der Arbeit auswirken. Problematisch sind jedoch ungünstige statische Lichtsituationen, die meist aus ökonomischen Gründen gewählt werden. Jüngst werden auch ökologische Gesichtspunkte als immer relevanter wahrgenommen. Die Bedürfnisse, die Gesundheit und nicht zuletzt die Leistungsfähigkeit spielen dabei häufig eine untergeordnete Rolle. Die Abwägung der Kosten-, Nutzenfrage und ökologische Gesichtspunkte werden im Diskussionsteil noch einmal aufgegriffen (siehe 4.3, S. 175; 4.4, S. 189).

Generell problematisch für den Arbeitenden sind Lichtsituationen:

- mit einer statischen (unveränderbaren) Beleuchtung, besonders bei Aufgaben, die ohnehin wenig Abwechslung bieten. So konnte ein beginnender Abfall der neuronalen Aktivität bereits nach zwanzig Minuten gleich bleibenden Lichts festgestellt werden (Berson, Dunn & Takao, 2002).
- die nicht durch einfache Maßnahmen, wie z. B. individuell zuschalt- und ausrichtbare Schreibtischleuchten, verändert werden können.

- bei denen die Norm DIN EN 12464-1 (DIN, 2006) als ein Mindestmaß für die Anforderung an die Beleuchtungsstärke nicht eingehalten wird, da zu niedrige Beleuchtungsstärken bei Aufgaben mit visuellen Anforderungen zu vorzeitigen Ermüdungserscheinungen führen (vgl. Frieling, 1982; van Bommel, van den Beld & Fassian 2004).
- wenn ein erheblicher Mangel an natürlichem Tageslicht zur Beeinträchtigung des circadianen Rhythmus führt (vgl. Rea, Figueiro & Bullough, 2002). Dies kann der Fall bei Nachtschichtarbeit und in großen fensterlosen Räumen, wie Fertigungsanlagen, sein. Auch Großraumbüros mit großer Raumtiefe und somit mit wenig Tageslicht bieten dem circadianen System wenig Anreiz.
- bei flackerndem Licht, wie es z. B. bei alten Neonröhren oder alten Monitoren der Fall ist. Die Pupille des menschlichen Auges reagiert hier auf die unterschiedliche Beleuchtungsstärke und ermüdet vorzeitig.

Durch Einhalten von Mindestanforderungen, die in der DIN 12464-1 formuliert sind, lassen sich negative Folgen vermeiden. Deutliche Steigerungen in Leistung und sozialem Verhalten bei der Arbeit lassen sich aber nur durch die Verfügbarkeit von Lichtsituationen gewährleisten, die veränderbar sind und über bestimmte Merkmale verfügen. So zeigen sich Lichtsituationen mit hohen Beleuchtungsstärken (> 1000 Lux) und tageslichtweißen Farbtemperaturen (5000 - 6500 Kelvin) für Arbeitsaufgaben mit hohen Anforderungen an die Aufmerksamkeit/Konzentration vorteilhaft. Mit diesem Licht kann beispielsweise die Leistungsfähigkeit von Nachtschichtarbeitern erhöht werden (Campbell & Dawson, 1990; Figueiro et al., 2001; Boyce et al., 1997) und die Vigilanz, die Daueraufmerksamkeit, gesteigert werden (Fleischer, 2001). Auch die Leseleistung, die Aufmerksamkeit und Konzentration erfordert, kann deutlich verbessert werden (ebenda). Ebenso steigt tendenziell die Aufmerksamkeit/Konzentration von Schülern im Unterricht (Küller & Lindsten, 1992). Die Wirkung des tageslichtweißen Lichts wird bewusst in der Arbeitswelt eingesetzt. Besonders dort, wo Fehler zu schwerwiegenden Folgen oder Unfällen führen können, wie dies in Produktionsanlagen oder in Kontrollständen, z. B. in Kernkraftwerken, der Fall sein kann. In Büros wird die

konzentrationssteigernde Wirkung von tageslichtweißem Licht (6500 K) bisher zu selten genutzt. Hier wird überwiegend warmes Licht (3000 K) oder neutralweißes Licht (4000 K) entsprechend dem Standard verwendet.

Für Arbeitsaufgaben, die Anforderungen an Sozialverhalten und Kommunikation stellen, erweisen sich dagegen Beleuchtungsstärken um 500 Lux mit warmweißer (3000 K) Farbtemperatur als geeignet:

- Sowohl für Besprechungen am Tisch, als auch für längere Telefonate sind solche Lichteinstellungen überlegen (Fleischer, 2001).
- Bei warmen Farbtemperaturen und niedriger Beleuchtungsstärke konnte eine steigende Hilfsbereitschaft und das vermehrte Übernehmen von freiwilligen Aufgaben nachgewiesen werden (Baron, Rea & Daniels, 1992).
- Bewerbungsunterlagen imaginärer Angestellter werden unter solcher Beleuchtung positiver im Hinblick auf berufliche Fähigkeiten und Leistung eingeschätzt (Baron, Rea & Daniels, 1992; Knez & Enmarker, 1998).
- Die Zusammenarbeit in Konfliktsituationen ist besser als bei anderer Beleuchtung (Baron, Rea & Daniels, 1992).

Warmweißes Licht mit verringerter Beleuchtungsstärke ist auch für Aufgaben bei der Arbeit vorteilhaft, wenn komplexere kognitive Anforderungen im Vordergrund stehen und Konzentration eine weniger wichtige Rolle spielt:

- Zum Nachdenken erwiesen sich ebenfalls warmweiße Farbtemperaturen gegenüber tageslichtweißen Farbtemperaturen als überlegen (Fleischer, 2001).
- Die Einordnung von schwierigen Wörtern gelingt unter abgedunkeltem Licht besser als unter hellem Licht (Baron, Rea & Daniels, 1992).

Die entspannende Wirkung und gemütliche Atmosphäre die von warmem Licht ausgeht, kann dort verwendet werden, wo Kommunikation eine wichtige Rolle spielt, z. B. in Konferenzräumen oder in Empfangshallen. Auch lässt sich solches Licht zur Entspannung in Pausenräumen oder Speiseräumen verwenden. Eine weitere positive Folge ist, dass die Angestellten ihre eigene Leistungsfähigkeit unter dunkel-warmem Licht am höchsten einschätzen (Baron, Rea & Daniels, 1992).

Die Wirkung von indirektem Licht hat dagegen Einfluss auf die Wahrnehmung von Dominanz und Kompetenz:

- Hohe Beleuchtungsstärken mit hohem Indirektanteil führen dagegen zu einer erhöhten Einschätzung der eigenen Dominanz (Fleischer, 2001).
- Menschen vor einer indirekt beleuchteten Wand wird größere Macht und Kompetenz zugesprochen als bei einer anderen Beleuchtungssituation (Fleischer, 2001).

Des Weiteren müssen individuelle Unterschiede in der Wirkung und bei der Präferenz von Licht (1.3.4.2, S. 28) auch am Arbeitsplatz berücksichtigt werden. So empfiehlt Knez (1995). aufgrund der Geschlechtsunterschiede bei der Auswirkung von Licht auf die Stimmungslage und die Arbeitsleistung, individuelle Beleuchtungseinstellungen. Auch weil das Alter die visuelle Wahrnehmung beeinflusst (van Bommel, van den Beld & Fassian, 2004), spricht dies für individuell veränderbare Lichteinstellungen (Knez & Kers, 2000). Die Beleuchtung am Arbeitsplatz sollte demnach veränderbar sein:

- um vorzeitige Ermüdungserscheinungen zu vermeiden,
- um individuelle Unterschiede berücksichtigen zu können,
- um die Synchronisation von circadianen Rhythmen auch während der Arbeitszeit zu gewährleisten,
- um optimale Leistungen bei wechselnden Aufgaben und Anforderungen an einem örtlichen Arbeitsplatz zu erreichen.

Licht scheint somit nicht nur einen physiologischen Einfluss zu haben, wie die hormonelle Steuerung des circadianen Systems, sondern auch eine unmittelbare Wirkung auf das Verhalten und Erleben von Menschen. Um dieses Fazit weiter zu verdeutlichen, werden im nächsten Abschnitt die wichtigsten Studien detailliert dargestellt.

## **1.4. Stand der empirischen Forschung**

### **1.4.1. Einfluss von Licht auf die Aufmerksamkeit/Konzentration von Nachtschichtarbeitern**

Campbell und Dawson (1990) untersuchten in ihrer Studie den Zusammenhang von Licht und Aufmerksamkeit am Arbeitsplatz. Es wurden zwei Nachtschichten in der Länge von acht Stunden im Kontrollstand eines Kraftwerkes am Computer simuliert und durch Konzentrationstests ergänzt. Verwendet wurden ein Reaktionstest (Wilkinson & Houghton, 1975), eine Leistungstestbatterie (Thorne et al., 1985) sowie ein Test für logisches Schlussfolgern (Baddeley, 1968). In der ersten Nacht (Adaption) durften alle Probanden genau acht Stunden schlafen. Die Länge des Schlafes, der Kaffeekonsum und die Tagesaktivität der 25 Probanden waren während der drei Tage streng festgelegt. Die Teilnehmer erhielten am Ankunftsabend eine Einführung. Am darauf folgenden Morgen führten sie die o.g. Leistungstests zu Übungszwecken 2-3 Stunden lang durch und gingen danach ihren normalen täglichen Aktivitäten außerhalb des Labors nach. In der zweiten Nacht absolvierten alle Probanden eine Nachtschicht zu Kontrollzwecken bei einer Beleuchtungsstärke von 10-20 Lux in der Zeit von 23:00 bis 7:00 Uhr. Danach durften sie acht Stunden schlafen und verbrachten den Tag in Labor-Apartments bei freier Zeiteinteilung. In der dritten Nacht wurden die Probanden in zwei Gruppen geteilt (dunkel: 100 Lux und hell: 1000 Lux) und absolvierten eine Nachtschicht unter ansonsten identischen Bedingungen wie in der Nacht zuvor. Campbell und Dawson (1990) stellten bei der 1000 Lux-Gruppe unter hellem Licht in der dritten Nacht eine signifikant verbesserte Aufmerksamkeit und höhere kognitive Leistungen fest als bei der 100 Lux Gruppe. So kann die 1000 Lux-Gruppe während der gesamten Nachtschicht die Aufmerksamkeit beim stündlich wiederholten Reaktionstest besser aufrechterhalten. Unter Kontrollbedingungen in der ersten Nacht

beginnen beide Gruppen mit einer verringerten Aufmerksamkeit und sinken in der zweiten Hälfte der Nachtschicht noch weiter ab. Die 1000 Lux-Gruppe verbessert sich deutlich stärker von der ersten zur zweiten Nachtschicht als die 100 Lux-Gruppe, sowohl bei den Ergebnissen der Leistungstestbatterie als auch beim logischen Schlussfolgern. Zu dem Ergebnis, dass helles Licht die Leistungsfähigkeit von Nachtschichtarbeitern erhöht, gelangen übereinstimmend ebenso jüngere Studien (Boyce et al., 1997; Figueiro et al., 2001).

#### **1.4.2. Effekte von Kunstlicht auf die Leistung in Konzentrationstests und das Sozialverhalten bei der Arbeit**

Baron, Rea und Daniels (1992) untersuchten in insgesamt drei zusammengefassten Studien den Einfluss von Licht auf das Sozialverhalten bei der Arbeit. Ein 3 x 3 Meter großer Raum wurde mit insgesamt 8 verschiedenen Lichtsituationen beleuchtet. Die Stichprobengröße der drei zusammengefassten Studien variierte zwischen (n = 92) und (n = 72). Ähnlichste Farbtemperaturen (warmweiß 3000 K, naturweiß 3600 K, neutralweiß 4200 K und „Design 50“ - tageslichtweiß 5000 K) lagen in jeweils zwei Beleuchtungsstärken (dunkel: 150 Lux und hell: 1500 Lux) vor. Die Versuchspersonen bewerteten unter anderem die Bewerbungsunterlagen einer fiktiven Sekretärin, suchten Preise in einer Liste (Baron, 1988), kategorisierten schwierige Wörter nach Isen und Daubman (1984), mussten sich zwischen Verhaltenssituationen bei einer imaginären Konfliktsituation entscheiden, bei der ein Kollege eine Deadline nicht einhält (Thomas, 1992) und führten eine freiwillige Arbeitsaufgabe aus. Die Studie kam zu folgenden Ergebnissen:

- Die Bewerbungsunterlagen der imaginären Sekretärin wurden unter warm-dunklem Licht (3000 K, 150 Lux) im Hinblick auf berufliche Fähigkeiten und Leistung positiver eingeschätzt, als unter hellerem oder kälterem Licht.
- Für das Suchen von Preisen in einer Liste konnten keine signifikanten Unterschiede zwischen verschiedenen Beleuchtungsstärken und Farbtemperaturen festgestellt werden.
- Angestellte schätzten ihre eigene Leistungsfähigkeit unter dunkel-warmem Licht am höchsten ein.

- Bei dunkel-warmem Licht wurden freiwillige Arbeitsaufgaben über einen längeren Zeitraum mit höherem Output ausgeführt als bei anderer Beleuchtung.
- Bei dunkel-warmem Licht war die Zusammenarbeit in Konfliktsituationen besser als bei anderer Beleuchtung.
- Die Einordnung von schwierigen Wörtern gelang unter dunkel-warmem Licht besser als unter hellem Licht.

### **1.4.3. Die psychologische Wirkung veränderlicher Kunstlichtsituationen auf den Menschen**

Die Dissertation von Susanne Fleischer (2001) an der Technischen Hochschule Zürich besteht aus zwei separaten Teilen, einem Feldversuch und einem Laborversuch. Der Feldversuch fand in einem Großraumbüro statt, getestet wurden Tageslicht und zeitabhängige Lichtszenarien aus direktem und indirektem Kunstlicht. Relevant für die Fragestellung dieser Untersuchung ist jedoch die zweite Versuchsreihe, der Laborversuch. Der Laborversuch fand in einem 3 x 6 m großen Raum statt. Der Tageslichteinfall wurde durch einen Sensor, der die Jalousie steuerte, konstant bei 50 Lux gehalten. Die Versuchspersonen (n = 28) ohne spezielle Lichtkenntnisse nahmen an dieser Untersuchung teil, 14 Männer und 14 Frauen. Diese wurden über Aushänge gesucht und erhielten eine Aufwandsentschädigung. Getestet wurden Lichtszenarien, die aus drei unterschiedlichen Lichtfarben (tageslichtweiß 5600K, neutralweiß 4000K, warmweiß 3000K), zwei Beleuchtungsstärken (dunkel: 300 Lux und hell: 500 Lux) sowie aus verschiedenen Anteilen von direktem und indirektem Licht bestanden. Die Auswahl der 21 Lichtsituationen lassen Schnittpunktberechnungen zu. So konnten optimale Lichteinstellungen für die unterschiedlichen Arbeitsaufgaben, welche die Versuchspersonen durchführten, festgelegt werden. Die hier beschriebenen Ergebnisse beziehen sich immer auf 100 % direktes Licht, in Bezug auf den Untersuchungsgegenstand dieser Studie. Zu den Arbeitsaufgaben zählten Arbeiten am Monitor (lesen, Listen abgleichen, einen Fehler suchen) und die Organisation einer Tagung mit unterschiedlichen Aufgaben (lesen am Tisch, Feinarbeit am Tisch, Besprechung am

Tisch, längeres Telefonieren). Die Eignung des Lichts für die entsprechende Arbeitssituation wurde nach Einschätzung der Teilnehmer auf einer kontinuierlichen Skala (von ungeeignet bis geeignet) erhoben. Des Weiteren wurde die Stimmung der Teilnehmer mit Adjektiv-Skalen, basierend auf dem PAD Modell (Mehrabian, 1995), gemessen. Das PAD Modell (**P**leasure **A**rousal **D**ominance) steht in der Tradition dimensionaler Emotionstheorien und ordnet Emotionen durch die Ausprägung auf den drei basalen Faktoren Valenz, Aktivierung und Dominanz an (vgl. Bradley & Lang, 2007; Schacter, Gilbert, Wegner & Hood, 2011). Dementsprechend lassen sich Skalen aus Adjektivpaaren bilden, wie z.B. glücklich (hohe Valenz, hohe Aktivierung und hohe Dominanz) und unglücklich (niedrige Valenz, niedrige Aktivierung und niedrige Dominanz).

Die Versuchspersonen aus der Studie von Fleischer (2001) bevorzugten folgende Beleuchtungsstärken:

- Zum Lesen und Schreiben am Schreibtisch 825 Lux, für Bildschirmarbeit 450 Lux, für Feinarbeit am Schreibtisch 900 Lux, für kreatives Arbeiten / Nachdenken 775 Lux, für konzentriertes Arbeiten 775 Lux und für Besprechungen 575 Lux.
- Die höchste Benutzerakzeptanz beim Arbeiten erzielte eine Beleuchtungsstärke von 1600 Lux und war unabhängig von der Lichtfarbe.

Das Lesen am Arbeitsplatz wird nach Fleischer (2001) durch Licht auf folgende Weise beeinflusst:

- Eine Steigerung der Leseleistung mit Zunahme der indirekten Beleuchtungsstärke ab 500 Lux konnte experimentell nachgewiesen werden.
- Für Schreibtischarbeiten werden höhere Beleuchtungsstärken benötigt als bei der Kommunikation.
- Es kann nicht ohne weiteres von einer sofortigen Wirkung aktivierenden Lichts auf die Leseleistung ausgegangen werden.
- Für das Lesen am Bildschirm zeigten sich Beleuchtungsstärken bis 425 Lux als geeignet.

Licht beeinflusst die Kommunikation und das Sozialverhalten bei der Arbeit (Fleischer, 2001):

- Für Besprechungen am Tisch erwiesen sich Beleuchtungsstärken ab 500 Lux mit warmweißer Farbtemperatur (3000 K) als geeignet.
- Für längere Telefonate zeigten sich warmweiße Farbtemperaturen gegenüber tageslichtweißen als überlegen.
- Hohe Beleuchtungsstärken mit 50 % Indirektanteil führten zu einer erhöhten Einschätzung der eigenen Dominanz.

Das richtige Licht am Arbeitsplatz verbessert ebenfalls die Aufmerksamkeit und Aktivität positiv (Fleischer, 2001):

- Zum konzentrierten Nachdenken erwiesen sich ebenfalls warmweiße Farbtemperaturen gegenüber tageslichtweißen als überlegen.
- Hohe Beleuchtungsstärken führten zu erhöhter Vigilanz.
- Die tageslichtweiße Lichtfarbe wirkt aktivierend.
- Die aktivierende Wirkung von tageslichtweißem Kunstlicht wird von Probanden in den Wintermonaten als stärker empfunden.

In dieser Arbeit wird die Wirkung von unterschiedlichen Lichtsituationen in praxisnahen Arbeitssituationen deutlich.

#### 1.4.4. Wirkung von Licht auf Gesundheit und Verhalten von Schülern

In der Feldstudie von Küller und Lindsten (1992) wurde der Einfluss von natürlichem und künstlichem Licht auf den Cortisolspiegel und das Verhalten von Schülern untersucht. An dem Versuch nahmen insgesamt 83 schwedische Grundschüler im Alter von acht bis neun Jahren teil. Das Licht in den Räumen (6 m x 8 m) der vier Klassen wurde wie folgt operationalisiert: Künstliches Licht warmweiß (3000 K / 300 lx) und tageslichtweiß (5500 K / 200 lx) wurde jeweils in einem verdunkelten und einem nicht verdunkelten Klassenraum installiert. Der Cortisolspiegel in Urinproben wurde durch das Zentrallabor des Universitätsklinikums Lund verblindet analysiert. Das Verhalten der Schüler wurde von einem Experten während standardisierten Unterrichts mit einem strukturierten Beobachtungssystem (Küller & Lindsten, 1991) gemessen. Aufmerksamkeit wurde über selbstständiges Arbeiten operationalisiert. Kommunikation wurde sowohl über prosoziale Verhaltensweisen als auch über Unterrichtsstörungen operationalisiert. Des Weiteren wurden Fehltag und Körpertemperatur gemessen.

In der Analyse des Cortisolspiegels wurde ein signifikant verzögerter saisonaler Verlauf in der verdunkelten Klasse mit warmweißem Licht festgestellt. Weiter wurden, entgegen der Theorie, in der unverdunkelten Klasse mit warmweißem Licht die signifikant höchsten Cortisolwerte über das gesamte Schuljahr gemessen, gefolgt (absteigend) von der verdunkelten Klasse mit Tageslicht, der unverdunkelten Klasse mit Tageslicht und schließlich der verdunkelten Klasse mit warmweißem Licht. Die Autoren vermuten einen Settingeffekt als Ursache. Im Schuljahresverlauf der beobachteten Aufmerksamkeit/Konzentration wurden signifikant höhere Werte in der unverdunkelten Klasse mit Tageslicht festgestellt, im Vergleich (absteigend) zu der verdunkelten Klasse mit warmweißem Licht, der unverdunkelten Klasse mit warmweißem Licht und der verdunkelten Klasse mit Tageslicht. Im Schuljahresverlauf der Kommunikation im Unterricht wurden dagegen signifikant höhere Werte in der unverdunkelten Klasse mit warmweißem Licht festgestellt, im Vergleich (absteigend) zu der

verdunkelten Klasse mit tageslichtweißem Licht, der unverdunkelten Klasse mit tageslichtweißem Licht und der verdunkelten Klasse mit warmweißem Licht. Darüber hinaus konnten keine signifikanten Unterschiede zwischen den Klassen im Verlauf der Körpertemperatur sowie im Wachstum der Kinder festgestellt werden.

Die Autoren folgerten aus diesen Ergebnissen, dass natürliches oder künstliches Tageslicht der Zeitgeber für den saisonalen Cortisolverlauf ist. Des Weiteren schlossen sie, dass ein Mangel an natürlichem Tageslicht generell ungünstig ist. Zudem wurde deutlich, dass die Höhe der morgendlichen Cortisolwerte positiv mit dem sozialen Verhalten und negativ mit der Konzentration korreliert.

#### **1.4.5. Dynamisches Licht in englischen Grundschulen**

Die Studie zur Wirksamkeit von Dynamischem Licht in Schulen wurde von Philips in England in Auftrag gegeben. Die Studie von Aizlewood und Hamilton wurde jedoch nicht wissenschaftlich veröffentlicht. Eine interne Kurzmitteilung von Philips International (Knoop, 2008) ist die einzige vorliegende Informationsgrundlage: In einer Grundschule in der Nähe von Manchester wurden 232 Schüler von fünf bis elf Jahren in einer Querschnittsstudie untersucht. Eine erste und eine sechste Klasse, ausgestattet mit Dynamischem Licht, sowie jeweils eine Kontrollgruppe mit statischem Licht wurden während acht Terminen mit einem Fragebogen befragt und absolvierten außerdem einen computerbasierten Reaktionstest. Im Reaktionstest wurden keine bedeutenden Unterschiede zwischen den Interventionsklassen und den Kontrollklassen gefunden.

#### 1.4.6. Diskussion der empirischen Studien

Insgesamt betrachtet sprechen die Ergebnisse der Studien für die Wirksamkeit von Licht auf das Erleben und Verhalten von Menschen bei der Arbeit. Der aktuelle Kenntnisstand (siehe Tabelle 1, S. 48) kann wie folgt zusammengefasst werden:

- Licht mit hoher Beleuchtungsstärke und tageslichtweißer Farbe führt zu erhöhter Aufmerksamkeit/Konzentration. Mit solchem Licht kann beispielsweise die Leistungsfähigkeit von Nachtschichtarbeitern erhöht (Boyce et al., 1997; Campbell & Dawson, 1990; Figueiro et al., 2001) und die Vigilanz gesteigert werden (Fleischer, 2001). Auch die Leseleistung, die Aufmerksamkeit/Konzentration erfordert, kann deutlich verbessert werden (vgl. ebenda).
- Für face to face Kommunikation und Telefonate erweist sich dagegen Licht in warmweißer Farbe mit niedriger Beleuchtungsstärke als vorteilhaft (vgl. Baron, Rea & Daniels, 1992; Fleischer, 2001).

Die dargestellten empirischen Studien (Übersicht siehe Tabelle 1, S. 48) bieten einerseits praxisnahe Aussagen zur Wirkung von Licht am Arbeitsplatz, andererseits können folgende Kritikpunkte geäußert werden:

- **Psychometrische sowie sozialwissenschaftliche Methoden sollten zur Messung des Verhaltens und Erlebens verstärkt angewendet werden:** So ist beispielsweise einer der möglichen Gründe für den gescheiterten Wirkungsnachweis des Konzentrationslichts bei Baron, Rea und Daniels (1992), dass statt eines normierten und standardisierten psychometrischen Leistungstests eine einfache Suchaufgabe in einer Preisliste gewählt wurde. Zwar ist die Aufgabe sehr praxisnah und sie wurde auch bereits in anderen Studien verwendet (z.B. Baron, 1988), doch sind Aufmerksamkeits-/Konzentrationstests sehr viel umfangreicher validiert. Für den Wirkungsnachweis von prosozialem Verhalten im Büro scheinen die

verwendeten Aufgaben besser geeignet gewesen zu sein. Auch in der Untersuchung von Küller und Lindsten (1992) wäre die Messung von Aufmerksamkeit/Konzentration durch einen validierten und normierten Leistungstest ergänzend zur Selbsteinschätzung wünschenswert gewesen. Fleischer (2001) setzt beispielsweise unter anderem Fragebogenverfahren mit Adjektivpaaren auf einer Osgood Skala ein. Zur Messung von Veränderungen des Verhaltens und Erlebens sind diese nicht unproblematisch, da die Bedeutung der Adjektive unterschiedlich verstanden werden kann und die Zwischenkategorien frei interpretierbar bleiben. Auch hier wäre der Einsatz von Leistungstests oder die ergänzende Erhebung von objektiven Outcomevariablen der Büroarbeit wünschenswert gewesen.

- **Es wurde kein ausreichender Kontrast bei den verwendeten Lichtprogrammen gewählt:** So ist beim gescheiterten Wirkungsnachweis der konzentrationssteigernden Wirkung von Baron, Rea und Daniels (1992) der Blauanteil in den optimierten Lichtszenarien mit maximal 5000 K möglicherweise zu gering und der Kontrast zu den zahlreichen Vergleichsprogrammen (4200 K, 3600 K und 3000 K) zu klein gewesen, um eine Wirkung auf die Aufmerksamkeit/Konzentration nachweisen zu können. Bei Küller und Lindsten (1992) ist die geringe Beleuchtungsstärke von ca. 200 Lux in den beiden Klassen mit tageslichtweißem Licht problematisch. Dunkles Tageslicht gilt als kontraindikativ: In der verdunkelten Klasse herrscht ein Schuljahr lang „Novemberlicht“, das ungünstigste aller Lichtszenarien für Leistung und Wohlbefinden. Das dunkle Konzentrationslicht kann dagegen in den unverdunkelten Klassen durch natürliches Tageslicht kompensiert werden. So sind im Schuljahresverlauf dort fast ausnahmslos 500 Lux gemessen worden (vgl. ebenda). Möglicherweise liegt die geringe Beleuchtungsstärke an Kostengründen für die Ausstattung. Aufgrund des dunklen Konzentrationslichts können die Ergebnisse insgesamt nicht klar interpretiert werden. Zwischen den unverdunkelten Klassen mit Fenstern zeichnet sich jedoch eine Steigerung der Aufmerksamkeit/Konzentration bei tageslichtweißer Beleuchtung und für Kommunikation bei warmweißer Beleuchtung ab.

- **Ungünstiger Messzeitpunkt in der circadianen Rhythmik festgelegt:** Dies ist vermutlich die Hauptursache des gescheiterten Wirkungsnachweises von Dynamischem Licht in englischen Grundschulen. Die computerbasierten Leistungstests fanden nach der Lunchpause am Mittag statt. Die Kinder waren zu diesem Zeitpunkt nicht nur auf einem hohen Aktivitätsniveau des circadianen Rhythmus für Aufmerksamkeit/Konzentration, sondern hatten auch die Möglichkeit sich auf dem Pausenhof bei Bewegung und Tageslicht auszuruhen. Unter Umständen sind auch a priori Leistungsunterschiede sowie weitere Störfaktoren ein möglicher Grund für den gescheiterten Wirkungsnachweis, denn Maßnahmen zur Kontrolle werden in dem kurzen Mitteilungspapier nicht erwähnt (Knoop, 2008).

Es ist also sinnvoll in interdisziplinärer Zusammenarbeit mit technisch orientierten Disziplinen verstärkt psychologische und medizinische Untersuchungsmethoden und Expertise zur Messung der Zielvariablen zu verwenden. Dies wurde zum Beispiel in der Studie von Campbell und Dawson (1990) gezeigt: Hier wurde durch validierte psychometrische Verfahren und durch physische Messungen die Bestimmung der Zielvariablen adäquat vorgenommen. Dies erforderte jedoch einen hohen Aufwand für den technischen Aufbau und die Methodik sowie einen hoch standardisierten Versuchsablauf in einer praxisnahen Tätigkeit unter strengsten Laborbedingungen.

Die insgesamt festgestellte Wirksamkeit von Licht am Arbeitsplatz legt nahe, die Wirkung von Licht auch im Schulunterricht zu untersuchen. Die Wirkung von modernen Beleuchtungskonzepten ist aber, wie gezeigt wurde, nur in zwei Studien erfolgt. Diese lassen - auch aufgrund des methodischen Vorgehens - jedoch keine einheitlichen und eindeutigen Aussagen zu. Deshalb sind weitere Evaluationsstudien an Schulen notwendig, um empirisch zu prüfen, ob sich die Wirkung von Licht auch in diesem Setting feststellen lässt. Insbesondere die Evaluation von Dynamischem Licht im Schulunterricht scheint, aufgrund der häufigen Wechsel von Arbeitsaufgaben und Unterrichtssituationen und den dafür unterschiedlichen optimalen Lichtsituationen, besonders sinnvoll zu sein.

Tabelle 1: Übersicht Stand der empirischen Forschung.

Fragestellung	Autor	Jahr	Setting	Design	Lichtexposition	Instrument	Stichprobe n (w/m)	Ergebnis	Fazit
Einfluss von Licht auf die Aufmerksamkeit/Konzentration von Nachtschichtarbeitern	Campbell & Dawson	1990	Laborstudie simulierte Nachtschichten (8 Stunden) im computersimulierten Kontrollstand eines Kraftwerkes.	querschnittliches, kontrolliertes Design über zwei Nachtschichten in drei Nächten (2. und 3. Nacht)  kontrollierte Schlafphasen während des Tages	Nacht 1: beide Gruppen 8 Stunden Schlaf, kein Licht  Nacht 2: beide Gruppen Nachtlicht 10 bis 20 lx  Nacht 3: EG hell 1000 lx, KG dunkel 100 lx	Reaktionstest (Wilkinson & Houghton, 1975);  Leistungstestbatterie (Thorne et al., 1985);  Test für logisches Schlussfolgern (Baddely, 1968)	25 (-/-)	signifikant verbesserte Aufmerksamkeit und höhere kognitive Leistungen der Experimentalgruppe unter hellem Licht	zeigt die Wirksamkeit von hellem Licht bei Aufmerksamkeits-/Konzentrationsaufgaben
Effekte von Kunstlicht auf die Leistung in Konzentrationstests und das Sozialverhalten bei der Arbeit	Baron, Rea & Daniels	1992	Laborraum ohne Tageslicht: Simulierte Büroarbeit in insgesamt drei zusammengefassten Studien	querschnittliches, kontrolliertes Design mit praxisnahen Aufgaben	8 verschiedene Lichtsituationen:  Ähnlichste Farbtemperaturen (warmweiß 3000 K, naturweiß 3600 K, neutralweiß 4200 K und tageslichtweiß -5000 K)  In jeweils zwei Beleuchtungsstärken (dunkel 150 lx und hell 1500 lx)	Kategorisierung von schwierigen Wörtern (Isen & Daubman, 1984)  entscheiden zwischen Verhaltenssituationen bei einer imaginären Konfliktsituation (Thomas, 1992)  praxisnahe Arbeitsaufgaben: Bewertung Bewerbungsunterlage, suchen von Preisen (Baron, 1988), Suche nach Freiwilligen	Studie 1: 91 (27/64)  Studie 2: 72 (13/59)  Studie 3: 80 (16/64)  alle Studierende	warm-dunkles Licht: - positivste Einschätzung Bewerbungsunterlagen - höchste Einschätzung der eigenen Leistungsfähigkeit - häufiger freiwillige Aufgaben übernommen - beste Zusammenarbeit bei Konflikten - beste Einordnung von schwierigen Wörtern	zeigt die Wirksamkeit von warm-dunklem Licht im Büro bei Kommunikation und bei Aufgaben, die hohe soziale Kompetenz erfordern
Die psychologische Wirkung veränderlicher Kunstlichtsituationen auf den Menschen	Fleischer	2001	u.a simulierte Arbeitssituation im Labor	Laborversuch  Versuchsreihen mit unterschiedlichen Lichtexpositionen	Lichtfarben (tageslichtweiß 5600 K, neutralweiß 4000 K, warmweiß 3000 K)  Beleuchtungsstärken (dunkel 300 lx und hell 500 lx)  direkt/indirekt Anteil	Befragung mit Fragebogen u. a.  Adjektiv-Skalen nach dem PAD Modell (Mehrabian, 1995)  Praxisnahe Arbeitsaufgaben und Situationen	28 (14/14) über Aushänge gesuchte, bezahlte Teilnehmer	Verbesserung der Kommunikation und des Sozialverhaltens bei warmweißem Licht  Verbesserung der Aufmerksamkeit und Aktivität sowie des Lesens am Arbeitsplatz bei tageslichtweißem Licht	zeigt die Optimierung durch veränderbare Lichtsituationen bei verschiedenen Arbeitsaufgaben im Büro
Wirkung von Licht auf die Gesundheit und das Verhalten von Schülern	Küller & Lindsten	1992	Grundschüler	kontrollierte Feldstudie: längs- und querschnittliches Vorgehen	Jeweils verdunkelt und unverdunkelt: warmweiß (3000 K / 300 lx) und tageslichtweiß (5500 K / 200 lx)	Cortisolspiegel im Urin  Verhaltensbeobachtung (Küller & Lindsten, 1991)	83 (40/43) schwedische Schüler von acht bis neun Jahren	Verzögerung des saisonalen Verlaufs des Cortisolspiegels ohne künstliches oder natürliches Tageslicht  tendenzielle Steigerung (Klassen mit Fenstern) der Aufmerksamkeit/Konzentration bei tageslichtweißer und der Kommunikation bei warmweißer Beleuchtung	aufgrund vermuteter Settingeffekte und zu geringer Beleuchtungsstärke des tageslichtweißen Kunstlichts schwer interpretierbar
Wirksamkeit von Dynamischem Licht in englischer Grundschule	zitiert nach Knoop	2008	Erste und sechste Schulklassen	kontrollierte Feldstudie: längs- und querschnittliches Vorgehen	Dynamisches Licht, Einstellung der Lichtprogramme nicht bekannt	Fragebogenbefragung, computerbasierte Reaktionstests	232 (-/-) Schüler von fünf bis elf Jahren	gescheiterter Wirkungsnachweis des Kunstlichts	vermutlich wegen Tageszeitpunkt der Messungen (nach der Lunchpause am Mittag im Freien) gescheitert

## 1.5. Fragestellung und Hypothesen

Um das primäre Ziel dieser Studie zu erreichen, die Gewinnung wissenschaftlich gesicherter Erkenntnisse zur Wirkung von Dynamischem Licht auf das Erleben und Verhalten im Schulunterricht, sind folgende Fragestellungen zu prüfen:

Inwieweit führt Dynamisches Licht zu einer Verbesserung folgender **primärer Zielgrößen** im Schulunterricht:

1. **Aufmerksamkeit/Konzentration:** Steigt kurzfristig die Konzentrationsleistung in Leistungstests an? Eine Selbsteinschätzung der Aufmerksamkeit/Konzentration wurde letztendlich nicht vorgenommen (siehe 2.3.1.1, S. 68).
2. **Hyperaktivität:** Sind die Schüler bei Einzelarbeiten ruhiger? Schätzen sich die Schüler im Schuljahresverlauf selbst ruhiger ein?
3. **Aggression:** Sind die Schüler bei einem Wettkampf in Arbeitsgruppen weniger aggressiv? Beziehungsweise zeigen sie mehr prosoziale oder empathische Verhaltensweisen? Schätzen sich die Schüler im Schuljahresverlauf selbst weniger aggressiv ein?

Inwieweit führt Dynamisches Licht zu einer Verbesserung folgender **sekundärer Zielgrößen** im Schulunterricht:

1. Verbessert das Dynamische Licht das **Klassenklima** im Schuljahresverlauf?
2. Ist eine Verbesserung des **allgemeinen Wohlbefindens** (physische und psychische Gesundheit) im Schuljahresverlauf feststellbar oder gibt es Nebenwirkungen durch den Einsatz von Dynamischem Licht?

Ergänzend sollen einige **Prozessvariablen** zur Beantwortung folgender Fragestellungen erhoben werden:

1. Wie bewerten die Schüler und Lehrer aus ihrer Sicht die mögliche Wirkung des Lichts (**Bewertung der Wirkung**)?
2. Wie stellt sich das rein subjektive **Gefallen der Lichtprogramme** dar, unabhängig von deren Wirkung?
3. Wie werden **Ökonomie und Ökologie** von Schülern und Lehrern beurteilt: Wie schätzen die Schüler und Lehrer die Kosten und den Energieverbrauch persönlich ein, ohne dass sie über den tatsächlichen Verbrauch und die Kosten informiert sind?
4. Wie wird die **Handhabung** von den Lehrern beurteilt?
5. Wie wird **Dynamisches Licht im Schulalltag eingesetzt**?
  - 5a) Gibt es einen Zusammenhang zwischen der tatsächlichen Programmwahl in der Praxis und der von den Lehrern verwendeten Unterrichtsform, der so genannten Arbeits- und Sozialform?
  - 5b) Gibt es einen Zusammenhang zwischen der Tageszeit und der Verwendung der Lichtprogramme bei freier Wahl?
6. Welche **weiteren Erfahrungen** werden von Schülern und Lehrern im Unterricht gemacht und welche Optimierungsmöglichkeiten können daraus abgeleitet werden?

Die anschließende Laborstudie diente der Überprüfung der Fragestellung, ob sich etwaige im Schulsetting gefundene Effekte auch unter Laborbedingungen an einer Erwachsenenstichprobe wiederfinden lassen. In dieser experimentellen Studie wurden Störgrößen stärker kontrolliert und Probanden zufällig der Experimental- oder Kontrollgruppe zugewiesen.

## 1.6. Ziel der Arbeit

Primäres Ziel ist die Evaluation des Forschungsgegenstandes Dynamisches Licht, um die praktische Eignung im Schulunterricht zu prüfen. Die vorliegende Studie soll dazu beitragen zu verstehen, inwieweit durch Optimierung von Umgebungsvariablen, zum Beispiel mit speziellen Beleuchtungstechnologien, die Rahmenbedingungen für erfolgreichen Unterricht verbessert werden können. Des Weiteren soll die Studie durch ein Laborexperiment mit einer stärkeren Kontrolle von Störgrößen ergänzt werden.

## 2. Methode

### 2.1. Design

#### 2.1.1. Feldstudie

Die Evaluation der Wirkungsweise des Lichts wurde zunächst in einem kontrollierten Feldexperiment durchgeführt. Dies hatte den Vorteil, eine Lichttestung unter realistischen Bedingungen an den Schulen mit echten Klassen in ihrer natürlichen Umgebung durchführen zu können. Den Anfälligkeiten von Feldexperimenten für Störgrößen wurde durch eine Parallelisierung, Eliminierung und einer aufwändigen Kontrolle der internen und externen Störgrößen entgegengewirkt. Außerdem wurde, wie im nächsten Abschnitt beschrieben wird, mit Erwachsenen eine Laborstudie durchgeführt, bei der eine höhere Kontrolle von Störgrößen möglich war.

Bei der Feldstudie wurden längs- und querschnittliche Methoden kombiniert. Es handelte sich um ein quasiexperimentelles Vorgehen, da die Zuweisung auf die Interventions- und Kontrollgruppe nicht durch Zufall erfolgte, sondern bereits bestehende Schulklassen exemplarisch ausgewählt wurden. D.h., die Schüler wurden nicht zufällig aus der Gesamtpopulation von Schülern der beteiligten Schulen gezogen und den Untersuchungsbedingungen zugeteilt. Der Vorteil der Feldstudie war, den Wirksamkeitsnachweis mit natürlichen Klassenverbänden unter realen Schulbedingungen durchführen zu können. Allerdings waren hier a priori Gruppenunterschiede und Störgrößen schwerer zu kontrollieren. Setting- und Selektionseffekte sind somit durch die geringe Anzahl der Klassen nicht auszuschließen.

Ein experimentelles Vorgehen an Schulen wäre zwar theoretisch denkbar gewesen, indem die mit Dynamischem Licht ausgestatteten Schulräume als Labore benutzt und aus der Schülerpopulation der jeweiligen Schule je eine Experimental- und eine Kontrollgruppe von Probanden zufällig gezogen worden wäre. Dieses Vorgehen war aber aus praktischen Gründen nicht möglich und widerspricht der Zielvorgabe einer Anwendungsevaluation innerhalb von Klassen.

Die zufällige Unterteilung der Schüler innerhalb der Klassen in zwei Gruppen war ebenfalls aus den oben genannten Gründen nicht möglich. Sie hätte durch den höheren Zeitaufwand den Unterricht mehr gestört und zu unrealistisch kleinen Gruppengrößen geführt. Um dennoch zu rein experimentell erzeugten Daten zu kommen, wurde zusätzlich das Lichtlabor in der Klinik und Poliklinik für Kinder- und Jugendpsychosomatik des Universitätsklinikums Hamburg-Eppendorf eingerichtet.

Zur Beantwortung der Fragestellungen wurden verschiedene Datenqualitäten berücksichtigt, wie Einstellung, Erleben, Verhalten, Leistung und physikalische Daten. Eine weiter zu unterscheidende Datenqualität ergibt sich aus den zwei verschiedenen zeitlichen Bezügen: In der Befragung entstanden von tages- und wochenspezifischen Programmabläufen unabhängige Globaldaten, in den Testungen entstanden zeitlich kontrollierte Daten (Wochentag, Uhrzeit, Dauer der Exposition etc.). Als Datenerhebungsverfahren wurden studienspezifisch entwickelte sowie etablierte Fragebögen, Leistungstests, Interviews, Aktdaten und physikalische Messungen verwendet. Als Informationsquellen standen die Schüler, Lehrer sowie routinemäßig anfallende und studienspezifisch implementierte Dokumentationen zur Verfügung. Grundsätzlich wird im Design dieser Studie zwischen Befragungen und Testungen (Testmodule) wie folgt unterschieden:

**Befragungen** wurden mit Fragebogenverfahren zur Erhebung eher langfristiger Effekte durchgeführt. Die Gesamtwirkung von Dynamischem Licht in den Schulklassen wurde über standardisierte Prä-Post-Befragungen von Schülern und Lehrern am Beginn und Ende des Schulhalbjahres sowohl für die primären als auch für die sekundären Zielgrößen erfasst. Dabei wurden mit schwerpunktmäßig evaluativen Methoden extern valide Anwendungseffekte sowie Prozessvariablen gemessen. Der Zeitraum der Prä-Post-Messung erstreckte sich über das gesamte Schuljahr. Selbstverständlich wurde weder in den Unterricht, noch in die Verwendung der verschiedenen Lichtprogramme während des Schuljahres eingegriffen. Die verwendeten Unterrichtsformen und die Anwendung der

Lichtprogramme wurden in Form von Protokollen über Zeitstichproben kontrolliert. Die Befragungen gewährleisteten neben einer sehr ökonomischen Datenerhebung das geringste Ausmaß an Störungen durch die Untersuchung im laufenden Unterricht während des Schuljahres.

- **Testmodule** dienten zur Erhebung eher kurzfristiger Effekte durch physische Messungen, psychometrische Leistungstests oder strukturierte Verhaltensbeobachtungen. Die Testmodule prüften die Wirksamkeit der Einzelprogramme mit experimentellen Methoden und intern valide Wirkungseffekte. Sie fanden in extra zur Verfügung gestellten Schulstunden mit völlig standardisiertem Ablauf statt. Die einzelnen Testmodule wurden in ungefähr monatlichen Abständen immer donnerstags oder freitags in der Zeit von 8 - 10 Uhr durchgeführt. Die Testmodule lieferten durch den standardisierten Ablauf und durch die verwendeten Messinstrumente die objektiveren Daten. Aufgrund des hohen Zeitaufwandes bei der Datenerhebung und der höheren Störung des Unterrichts konnten sie nur zur Untersuchung von eher kurzfristigen Effekten der primären Zielgrößen eingesetzt werden.

Die im Folgenden beschriebenen Untersuchungsmethoden gelten für alle drei Schulen gleichermaßen und wurden, soweit mit den jeweiligen Schulabläufen vereinbar, zeitlich parallel umgesetzt. Eine Ausnahme bildete die Grundschulklasse, deren durchschnittlich 9 Jahre alten Schüler alters- und reifungsbedingt nur über ein eingeschränktes Reflexions-, Sprach-, Schreib- und Selbstauskunftsvermögen verfügten und daher nicht in dem gleichen Umfang und mit identischen Befragungsmethoden untersucht werden konnten, wie die anderen Klassen. Etwaige Abweichungen werden deshalb für diese Klasse gesondert ausgewiesen.

Das recht umfangreiche Design mit seiner Vielzahl an Zielgrößen, berücksichtigten Störgrößen, verwendeten Messinstrumenten, Methoden und Vorgehensweisen soll an Abbildung 5 verdeutlicht werden. Zur Wahrung der Übersichtlichkeit werden alle weiteren Abschnitte thematisch nach den entsprechenden Zielgrößen unterteilt.

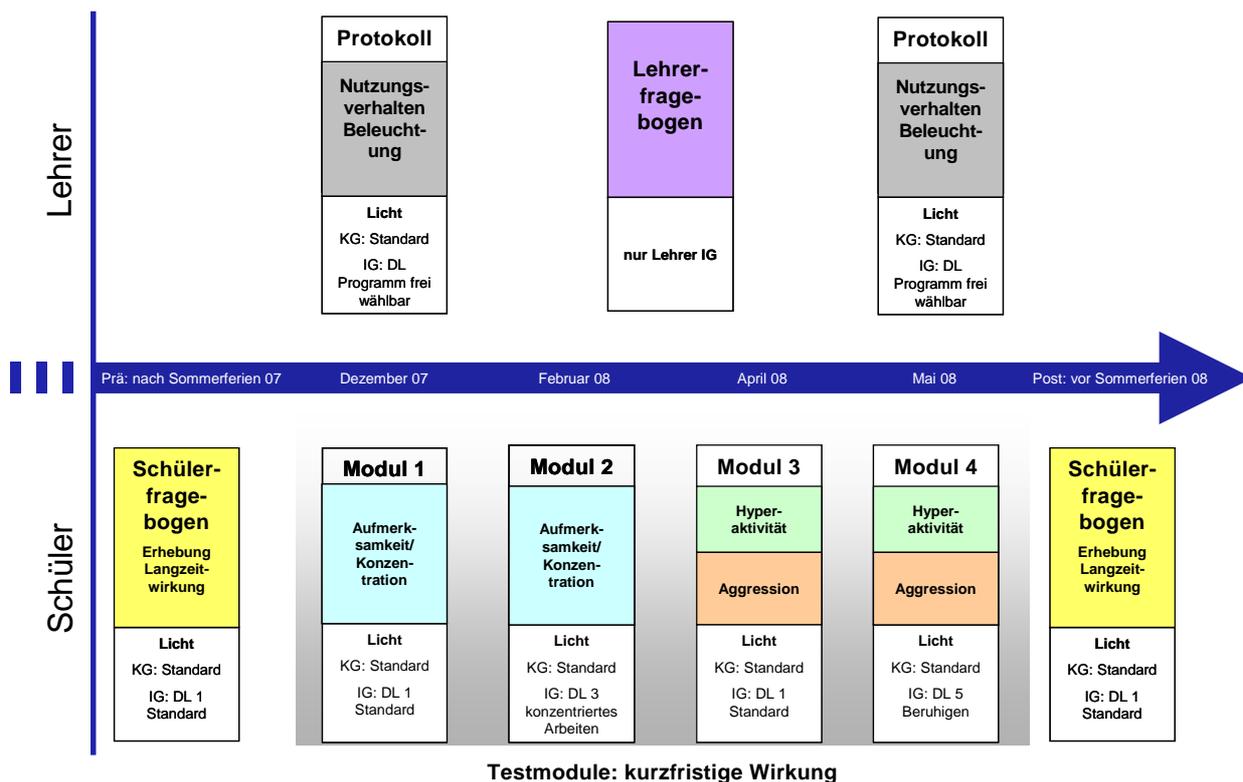


Abbildung 5

### Design der Feldstudie

Anmerkungen. IG = Interventionsgruppe, KG = Kontrollgruppe, DL = Dynamisches Licht.

### 2.1.2. Laborstudie

Die Laborstudie im Lichtlabor an der Klinik und Poliklinik für Kinder- und Jugendpsychosomatik des Universitätsklinikums Hamburg-Eppendorf diente einem komplementären Vergleich zwischen Feld- und Laborbedingungen. Die Laboruntersuchung ermöglichte ein noch höheres Maß der Eliminierung, Parallelisierung und Kontrolle von Störgrößen.

In der separaten Laborstudie erfolgte die Aufteilung der erwachsenen Teilnehmer response-adaptiv randomisiert nach Studienfach/Beruf der Teilnehmer (vgl. 2.6.1.6, S. 103). Die Datenerhebung fand in Kleingruppen von drei bis vier Teilnehmern statt (2.6.2, S. 103). Aufgrund der Vergleichbarkeit werden die folgenden primären Zielgrößen mit den gleichen Methoden wie in der Feldstudie untersucht (siehe Tabelle 2): Aufmerksamkeit/Konzentration, Hyperaktivität (motorische Unruhe) und prosoziales Verhalten. Abweichend von der Feldstudie werden aber nur die kurzfristigen Effekte des Lichts getestet.

In der Laborstudie wurde auf eine längsschnittliche Betrachtung der Daten verzichtet und die Wirkung rein querschnittlich, durch den Vergleich zwischen Experimental- und Kontrollgruppe, getestet. Die Teilnehmer mussten somit nur zu einem Termin im Labor erscheinen. Zum anderen wurde a priori aufgrund des verringerten Einflusses der Stör- und Kontrollgrößen beim experimentellen Vorgehen im Labor mit größeren Effekten (mindestens mittlere Effekte) als in der Schulstudie gerechnet und somit keine Notwendigkeit einer Ausgangsmessung unter Kontrollbedingungen für beide Gruppen gesehen. Ein Überblick über die gemeinsamen und unterschiedlichen Merkmale der Feld- und der Laborstudie wird unter Abschnitt 2.10 auf S. 112 dargestellt.

Tabelle 2

*Ablauf der Laborstudie*

Zeit	10 min	10 min	15 min	10 min	3 min	15 min	10 min
Ablauf	FB ausfüllen	A/K Test	Lesetest	Kopfrechnen	Zahlen verbinden	Spiel	FB ausfüllen
Zielgröße	Adaption/ Kontrollgrößen	A/K	A/K	Motorische Unruhe	Motorische Unruhe	Pro-soziales Verhalten	Gefallen
KG (n = 45)	500 lx 3200 K	500 lx 3200 K	500 lx 3200 K	500 lx 3200 K	500 lx 3200 K	500 lx 3200 K	500 lx 3200 K
IG (n = 45)	1300 lx 5600 K	1300 lx 5600 K	1300 lx 5600 K	600 lx 3000 K	600 lx 3000 K	600 lx 3000 K	500 lx 3200 K

*Anmerkungen.* A/K = Aufmerksamkeit/Konzentration; KG = Kontrollgruppe; EG = Experimentalgruppe; FB = Fragebogen; K = Kelvin; lx = Lux; min = Minuten.

## 2.2. Variablen und Operationalisierung des

### Forschungsgegenstandes Dynamisches Licht

Das Ziel Dynamischen Lichts ist es, die Dynamik des natürlichen Tageslichts in Arbeitsräume zu bringen, um die Gesundheit und Leistungsfähigkeit der arbeitenden Menschen positiv zu beeinflussen. Dynamisches Licht wird als Ergänzung zum natürlichen Tageslicht verstanden, das in den meisten Fällen in Gebäuden in diesen Breitengraden nicht genügt, um eine ausreichende biologische Wirkung zu erzielen (vgl. 1.3.2, S. 16 & 1.3.3.1, S. 19).

Dynamisches Licht kann automatisch an den natürlichen Tagesverlauf oder, wie bei dieser Studie, individuell an Bedürfnisse und Stimmungen des Nutzers angepasst werden. Der Nutzer hat dabei die Möglichkeit, abgespeicherte Lichtszenen, die sich in Beleuchtungsstärke und ähnlichster Farbtemperatur unterscheiden, aufzurufen. Die Lichtprogramme können außerdem stufenlos den individuellen Bedürfnissen in ähnlichster Farbtemperatur und Beleuchtungsstärke angepasst werden.

Von Philips wird das Konzept „Dynamisches Licht“ mit Leuchten für stabförmige Leuchtstofflampen umgesetzt. Um eine entsprechend große Variationsmöglichkeit in der Änderung der Farbtemperatur und in der Beleuchtungsstärke zu gewährleisten, werden die Leuchten (siehe Abbildung 6, links) mit drei Lampen (zwei mit kaltem und eine mit warmem Licht), die separat gesteuert werden können, ausgestattet. Eine spezielle Microlinsenoptik sorgt für die Einhaltung der geforderten Normen in Bezug auf die Blendungsbegrenzung der Leuchten und einen gleichmäßigen Lichteindruck der verschiedenfarbigen Lampen (siehe Abbildung 7).

Im Setting Schule sind im Lehrplan die unterschiedlichsten Lernaufgaben und Lösungsanforderungen für die Schüler enthalten. Diese verlangen, wie z. B. für Büro- oder Industriearbeitsplätze in Normen festgelegt, für unterschiedliche Aufgabenstellungen auch unterschiedliche Beleuchtungsniveaus. Die aktuelle europäische Norm DIN EN 12464-1 schreibt für die Schulbeleuchtung jedoch nur ein geringes Beleuchtungsniveau von 300 lx für Normalklassen bzw. 500 lx für Fachklassen oder Erwachsenenbildung vor (DIN, 2006). Über die biologische Wirkung von Licht wird nicht gesprochen. An diesem Punkt setzt diese Studie an.

Das Dynamische Licht wurde über die Installation von zwei Lichtbändern mit jeweils 5 Savio Anbauleuchten (siehe Abbildung 6 links) mit Lichtfarbveränderung (Bestückung: 2 x TL5-54W/452 Activiva Active, 1 x TL5-54W/827 glühlampenähnlich) und zwei nicht farbveränderlichen Tafelleuchten der Familie Arano (Bestückung: 1 x TL5-49W/840 neutralweiß) sowie einer wandhängenden Bedienungskonsole (System MultiDim DCMD125 und DCMD200S) pro Klassenraum in der Interventionsgruppe operationalisiert. Die Verteilung der Leuchten für Dynamisches Licht wird für einen exemplarischen Klassenraum in

Abbildung 8 skizziert. Die Geometrie und Raumhöhe aller Klassenräume wird in Tabelle 4 wiedergegeben.

In den Klassenräumen der Kontrollgruppe befand sich die in Hamburg üblicherweise verwendete Schulbeleuchtung: 2 Lichtbänder mit jeweils vier Prismen-Wannenleuchten (1 x TL-D58W/840), siehe Abbildung 6 rechts.



Abbildung 6

*links Philips Savio, rechts Beispiel für Prismen-Wannenleuchte*

Die Lichtprogramme des Dynamischen Lichts (siehe Tabelle 3) wurden in dieser Studie speziell auf die unterschiedlichen Arbeits-/Sozialformen im Unterricht zugeschnitten. Bei den hervorgehobenen Programmen handelt es sich um die Hauptprogramme des Dynamischen Lichts. Die anderen Programme sind Variationen zu diesen, mit und ohne Tafelbeleuchtung. Die sieben Lichtprogramme wurden gemäß der aktuellen Norm, des Stands der Forschung (vgl. 1.4, S. 38), den technischen Möglichkeiten des Beleuchtungssystems sowie in Abstimmung mit Lichtexperten und den Lehrern der teilnehmenden Schulen ausgewählt und eingestellt.

Die Lehrer wählen während des Unterrichts eines der sieben fest eingestellten Lichtprogramme für die gesamte Beleuchtung im Klassenzimmer. Damit werden Störungen im Unterricht durch 25 sich anarchisch wechselnder und vermischender Lichtpräferenzen im Falle einer individuellen Steuerung durch die Schüler vermieden und die Durchführung der Untersuchung wesentlich vereinfacht.

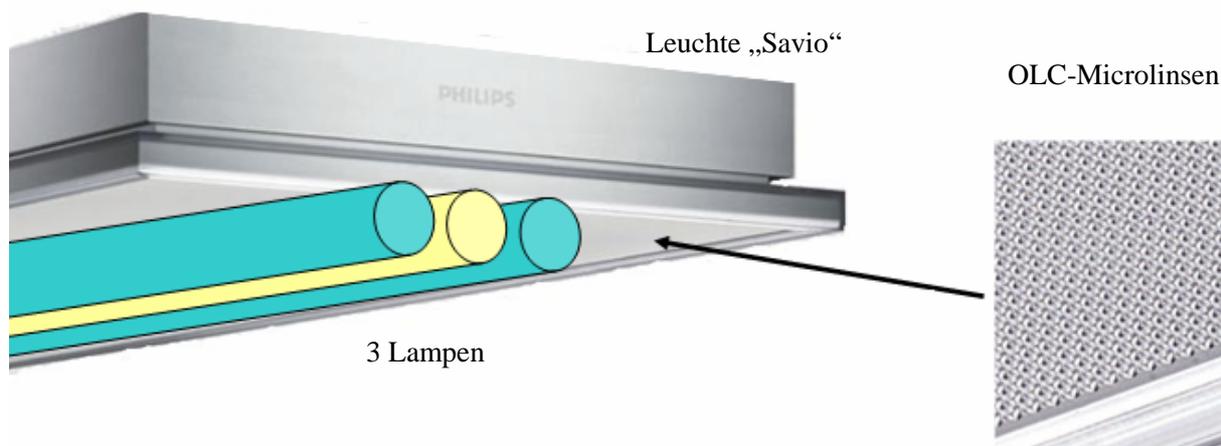


Abbildung 7

*Aufbau der Anbauleuchte „Savio“ zur Umsetzung von Dynamischem Licht*

Im normalen Schulunterricht standen den Lehrern alle sieben Lichtprogramme zur freien Verfügung. Die angegebenen Werte für Beleuchtungsstärke und ähnlichste Farbtemperatur beziehen sich auf Mittelwerte für das Dynamische Licht in den Klassenräumen der Interventionsklassen. Nach der Installation der Leuchten und Programmierung der Lichtszenen wurden die Lampen eingebrennt. Anschließend wurde nach DIN 5035-6 eine normgerechte Beleuchtungsstärkemessung der Nutzebene in 0,75 m Höhe im Raum durchgeführt. Da von einer Verdunklung der Klassenräume abgesehen wurde, erfolgte die Messung nach Sonnenuntergang. Die ähnlichste Farbtemperatur wurde spektral auf der leuchtenden Fläche aufgenommen. Die durchschnittlichen Werte der Lichtprogramme pro Klassenraum wurden über die Klassenräume der Interventionsgruppe gemittelt und werden in Tabelle 3 wiedergegeben.

Tabelle 3

Übersicht über die (**Haupt-**) Lichtprogramme des Dynamischen Lichts in der Schulstudie

Lichtprogramm	Anwendung	Beleuchtungsstärke [lx]	ähnlichste Farbtemperatur [K]	Tafelbeleuchtung
<b>1</b> Vergleichssituation "vorher"	<b>normaler Unterricht</b>	<b>300</b>	<b>4000</b>	<b>aus</b>
2 Konzentration auf die Tafel	wichtige Erklärungen an der Tafel	300	3800	ein
<b>3</b> Konzentriertes Arbeiten	<b>wichtige Rechen- oder Schreibaufgaben bzw. Klassenarbeiten</b>	<b>1060</b>	<b>5800</b>	<b>aus</b>
<b>4</b> Aktivieren	<b>in der ersten Schulstunde am Morgen, ca. 15 min.</b>	<b>675</b>	<b>11000</b>	<b>aus</b>
<b>5</b> Beruhigen	<b>bei unruhigen Schulstunden, Gruppendiskussionen, nach Klassenarbeiten, in Pausen</b>	<b>325</b>	<b>3500</b>	<b>aus</b>
6 Nur Tafel	Variation zu 2	aus	aus	ein
7 Extremes Beruhigen	Variation zu 5: wenn nicht geschrieben oder gelesen wird	275	3500	aus

Zur Abschätzung der Übereinstimmung der Werte mit den verwendeten Lichtprogrammen wurde eine punktuelle Messung in der Mitte des Klassenraumes kurz vor der Durchführung der Testmodule vorgenommen. Dabei wurde zur Ermittlung des Anteils des Kunstlichtes eine Differenzmessung mit und ohne eingeschalteter künstlicher Beleuchtung vorgenommen. Ausführliche Messungen bei Tageslicht konnten in diesem Feldversuch aufgrund der zeitlichen Vorgaben der Schulen nicht durchgeführt werden. Die Details der standardisierten Versuchsabläufe werden in der Beschreibung der Datenerhebung (siehe 2.6.1, S. 95) dargestellt. Die Tageslichtmessungen wurden bei der Kontrolle der Störgrößen berücksichtigt (siehe 2.3.4, S. 84).

Tabelle 4

*Raummaße aller teilnehmenden Klassen*

Schule	Gruppe	Geometrie	Raumhöhe
in der Alten Forst	IG	8.96 x 8.97 m <sup>2</sup>	3.05 m
	KG	8.96 x 8.97 m <sup>2</sup>	3.05 m
Emilie-Wüstenfeld-Gymnasium	IG	7.47 x 6.16 m <sup>2</sup>	3.30 m
	KG	7.47 x 6.16 m <sup>2</sup>	3.30 m
am Eichthalpark	IG	8.04 x 6.00 m <sup>2</sup>	3.77 m
	KG	8.00 x 6.26 m <sup>2</sup>	3.75 m

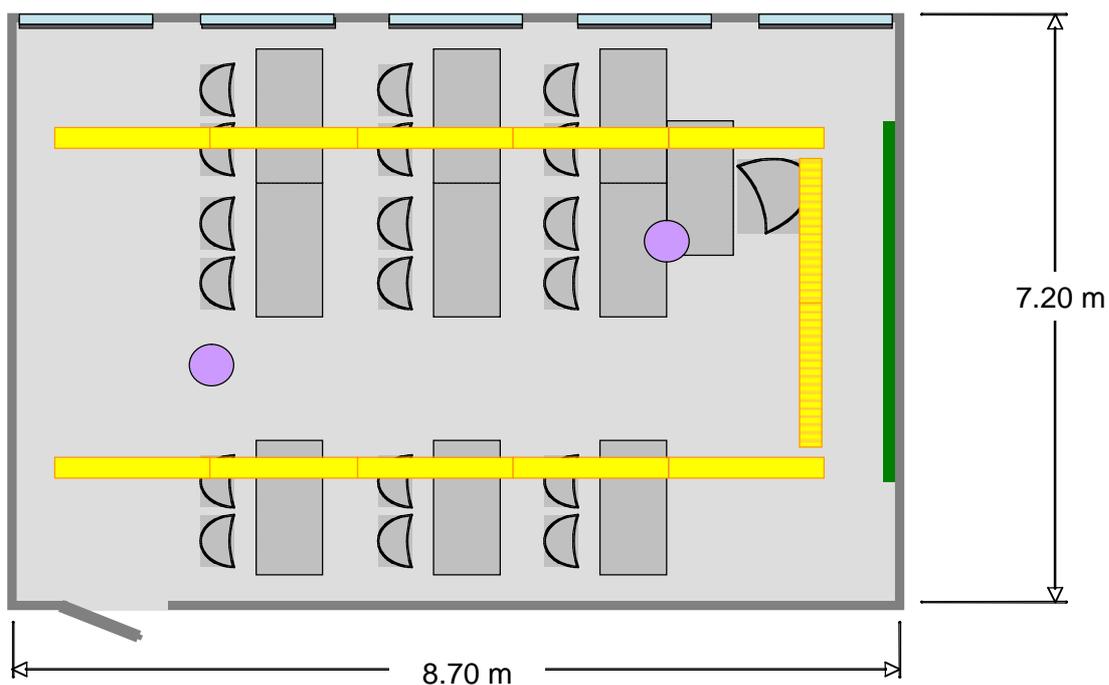


Abbildung 8

*Beispielklassenraum mit zwei Lichtbändern für Dynamisches Licht und statischem Tafellicht*

Für die Laborstudie stand ein 6.65 m x 5.65 m großer Raum in der Kinder- und Jugendpsychosomatik des Universitätsklinikums Hamburg Eppendorf zur Verfügung. Eine Skizze des Laborraums zeigt Abbildung 9. Der Raum konnte während der Durchführung des Experiments so stark verdunkelt werden, dass selbst an Sonnentagen maximal fünf Lux Tageslicht in den Raum eindringen. Die Einstellungen des Kunstlichts entsprechen somit den tatsächlichen Lichtverhältnissen bei der Durchführung des Experiments. Der Laborraum diente zur Datenerhebung sowohl bei der Experimentalgruppe als auch bei der Kontrollgruppe. Für die Kontrollgruppe wurde das Vergleichslicht über das Lichtprogramm 1 (Vergleichssituation „vorher“) gegeben.

Die Lichtlösung mit Dynamischem Licht wurde im Laborraum in folgender Weise umgesetzt: Über den Untersuchungstischen wurden zwei Anbauleuchten der Familie Savio TCS770 3 x TL5-49W/452/827/452 AC-MLO (Bestückung: 2 x 49W/452 Activiva Active, 1 x 49W/827 glühlampenähnlich) installiert. Die vor den Fenstern angeordneten Schreibtische erhielten zur zusätzlichen Ausleuchtung des Raumes zwei Pendelleuchten der Familie Savio TPS772 3 x 54W/452/827/452 AC-MLO (Bestückung: 2 x 54W/452 Activiva Active, 1 x 54W/827 glühlampenähnlich). Mit einer Funkfernbedienung (IRT7090/00) wurden alle Leuchten angesteuert und die programmierten Lichtszenen aufgerufen.

Für die Ergänzungsstudie im Labor wurden ebenfalls die Zielvorgaben der Lichtprogramme aus der Schulstudie verwendet. Aufgrund der abweichenden technischen Ausstattungen und da die gemessenen Werte aus den Schulen zum Zeitpunkt der Einstellung im Labor noch nicht bekannt waren, weichen die gemessenen Werte geringfügig von der Schuleinstellung ab (siehe Tabelle 5).

Tabelle 5

Übersicht über die Lichtprogramme des Dynamischen Lichts in der Laborstudie

Nr.	Lichtprogramm	Beleuchtungsstärke [lx]	Ähnlichste Farbtemperatur [K]
1	Vergleichssituation „vorher“	500	3200
3	Konzentriertes Arbeiten	1300	5600
5	Beruhigen	600	3000

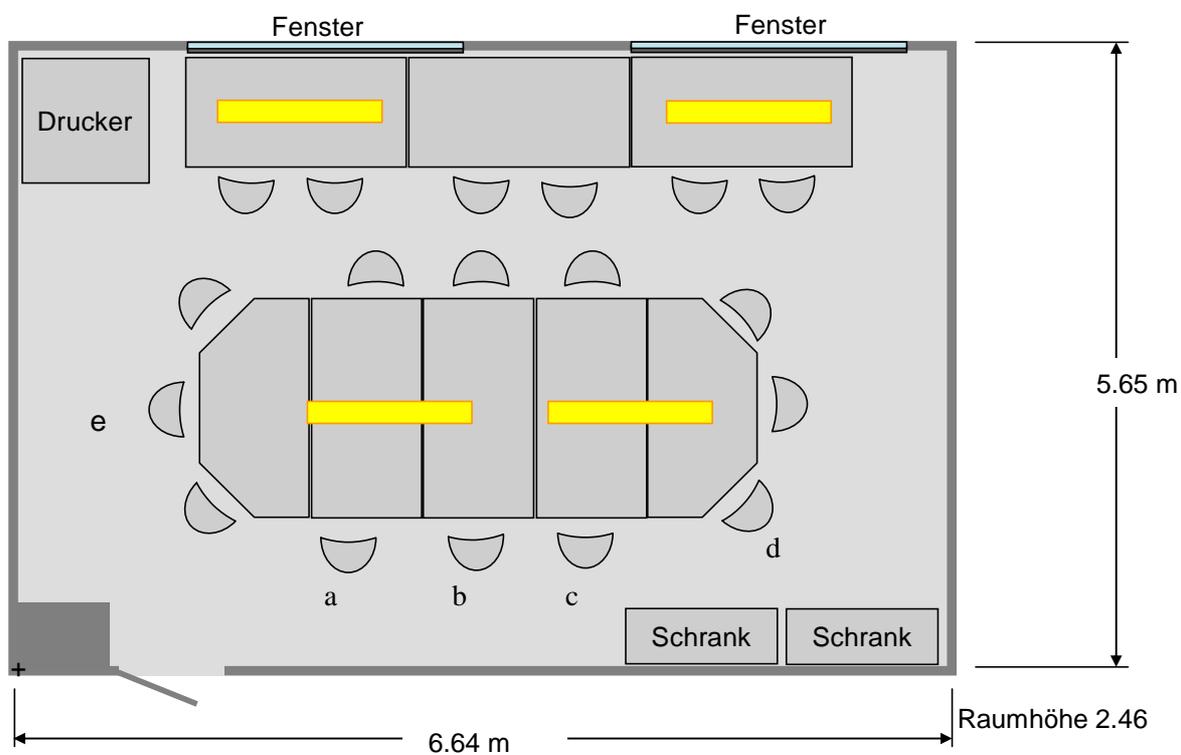


Abbildung 9

Skizze Laborraum, über Besprechungstisch 2 x Anbauleuchte Savio, vor den für den Versuch verdunkelten Fenstern 2 x Pendelleuchte Savio

Anmerkungen. <sup>a-c</sup> Sitzplätze der Teilnehmer, <sup>d</sup> vierter Sitzplatz wurde nur in vierer Testungen besetzt, <sup>e</sup> Sitzplatz Testleiter, + Koordinatenursprung.

### 2.3. Variablen und Operationalisierung der Feldstudie

Als **primäre Zielgrößen** werden die Variablen festgelegt, deren kurzfristige Veränderung durch den Einfluss von Dynamischem Licht mit möglichst objektiven Messverfahren untersucht werden sollen und deren langfristige Veränderung zusätzlich in einer Prä-Post-Befragung erhoben wurde.

**Sekundäre Zielgrößen** sind Zielgrößen, bei denen nach Einschätzung von Experten aus dem Bereich der Kinder- und Jugendpsychosomatik die mögliche Wirkung des Lichts ausschließlich langfristig eintreten würde. Die sekundären Zielgrößen allgemeines Wohlbefinden und Klassenklima wurden ausschließlich in der Fragebogenbefragung zur langfristigen Wirkung des Dynamischen Lichts erhoben (siehe 2.1, S. 52) und wurden wie folgt definiert und operationalisiert:

**Die Fragebogenerhebung** diente dazu, die langfristige Wirkung (Prä-Post-Vergleich) des Dynamischen Lichts über ca. ein Schuljahr zu messen. Zusätzlich diente der Fragebogen zur Erhebung von einigen Kontrollgrößen sowie der Prozess- und Einstellungsvariablen der Schüler. Bei der Auswahl der verwendeten Messinstrumente zur Messung des Langzeiteffekts wurde wie folgt vorgegangen: Zunächst wurden thematisch passende Inventare ermittelt, wie in der Literaturrecherche beschrieben (siehe 1.2, S. 11). Wichtige Entscheidungspunkte bei der ersten Vorauswahl waren Passung des Alters und Übertragbarkeit auf das Setting „Schule“. Im nächsten Schritt wurde ein Itempool gebildet, der aus 15 Messinstrumenten mit 25 Skalen und ca. 450 Items besteht. Die Items wurden primär nach ihrer Passung zu den Ziel- und Kontrollgrößen sowie nach der dem Alter und Setting angemessenen Formulierung ausgewählt. Sekundär wurden für die Auswahl die Testgütekriterien der Instrumente, das Vorliegen von adäquaten Normen und die Länge der Skalen beachtet. Der Fragebogen wurde so konzipiert, dass er innerhalb einer Schulstunde von den Schülern ausgefüllt werden konnte. Das bedeutet, der Fragebogen für die älteren Schüler durfte nicht mehr als 150 Items enthalten und der Fragebogen für die Grundschüler nicht mehr als 100 Items. Die thematische Passung wurde den Altersangaben im Zweifelsfall vorgezogen. Eine Übersicht über die verschiedenen Zielgrößen und verwendeten Instrumente des Fragebogens gibt Tabelle 6 und die Auswahl wird in den folgenden Abschnitten pro Zielgröße erläutert.

Tabelle 6

*Übersicht über die verwendeten Skalen in der Fragebogenbefragung zur Erhebung der Langzeiteffekte über ca. ein Schuljahr (Prä-Post)*

Messgröße	Skala	Testname und Quelle
<u>Primäre Zielgrößen</u>		
Aufmerksamkeit/ Konzentration <sup>a</sup>	-	-
Hyperaktivität	Conners Rating Scales	Conners Rating Scales (Steinhausen, 2004)
Aggressivität	Aggressives Verhalten	YSR (Döpfner et al., 1998)
<u>Sekundäre Zielgrößen</u>		
Allgemeines Wohlbefinden	Symptom Checkliste	HBSC (Ravens-Sieberer & Thomas, 2002)
Klassenklima	Klassenklima	FEES 3-4 (Rauer & Schuck, 2003)

*Anmerkung.* <sup>a</sup> Für Aufmerksamkeit/Konzentration konnte letztendlich keine Skala im Selbstrating vorgesehen werden (siehe 2.3.1.1, S. 68).

In den **Testmodulen** sollte, wie beschrieben (vgl. 2.1, S. 52), mit möglichst objektiven Verfahren das Outcome der experimentellen Versuchsanordnungen gemessen werden. Dazu wurden die Zielvariablen möglichst direkt gemessen mit psychometrischen Leistungstests, standardisierten Verhaltensbeobachtungen und technischen Messverfahren. Die Auswahl der verwendeten Skalen wird in den folgenden Abschnitten pro Zielgröße erläutert. Eine kurze Übersicht über die in den Testmodulen verwendeten Verfahren wird in Tabelle 7 dargestellt.

Tabelle 7

*Übersicht über die verwendeten Messinstrumente in den Testmodulen*

Primäre Zielgrößen in den Testmodulen	Testname und Quelle
Aufmerksamkeit/Konzentration	d2 Aufmerksamkeits-Belastungs-Test (Brickenkamp, 2002)  ELFE1-6 (Lenhard & Schneider, 2006) oder LGVT6-12 (Schneider, Schlagmüller & Ennemoser, 2007)
Hyperaktivität (motorische Unruhe)	optische Bewegungsmessung Childmove (Wessolowski, Barkmann & Koenig, 2010; 2011)
Aggression	Verhaltensbeobachtung BASYS (Wettstein, 2008)

**2.3.1. Primäre Zielgrößen****2.3.1.1. Aufmerksamkeit/Konzentration***Messung langfristiger Effekte mit Fragebogenverfahren*

Anders als die anderen primären Zielgrößen Hyperaktivität und Aggression wurde Aufmerksamkeit/Konzentration nicht im Fragebogen abgefragt, da diese als konkret erbrachte momentane Leistung aufgefasst wurde (vgl. Brickenkamp, 2002, S. 6, S.9). Zur Langzeitmessung im Selbstrating sollte ursprünglich, statt Aufmerksamkeit/Konzentration, ein anderes separates Konstrukt verwendet werden. Die Wahl fiel auf die Skala Anstrengungsbereitschaft des FEES (Rauer & Schuck, 2003), weil diese als wichtige Subskala des Konstruktes Leistungsmotivation die grundsätzliche und eher langfristige Bereitschaft misst, sich auf unbekannte Aufgaben einzulassen und durch eigenes Bemühen zu bewältigen (vgl. Rauer & Schuck, 2003). Vom Autor wurde das separate Konstrukt Motivation als eine wichtige Voraussetzung für die Erbringung leistungsbezogener Aufmerksamkeits-/Konzentrationsleistungen gesehen. So zeigten beispielsweise Brose et al. (2012) einen signifikanten Zusammenhang zwischen der Motivation und den

Leistungstestergebnissen junger Erwachsener. Das ursprünglich als separate Zielgröße vorgesehene Konstrukt Leistungsmotivation stellte sich während der Auswertung als aussagekräftige Kontrollgröße für alle weiteren Zielgrößen heraus. Somit wurde die Leistungsmotivation als Kontrollgröße, statt als sekundäre Zielgröße verwendet und wird dort beschrieben (2.3.4, S. 84).

### *Messung kurzfristiger Effekte in Testmodulen*

Zur Messung von Aufmerksamkeit/Konzentration wurde der d2 Aufmerksamkeits-Belastungs-Test von Brickenkamp (2002) aufgrund der umfangreichen Validierung und der großen Verbreitung verwendet. Es liegen umfangreiche Normdaten für alle Altersgruppen vor. Der Test wird sowohl zu Zwecken der Berufseignungsdiagnostik, als auch im schulischen und klinischen Kontext eingesetzt. Er konnte für beide Altersgruppen gleichermaßen verwendet werden und setzt lediglich die Fähigkeit Buchstaben unterscheiden zu können, ausreichende Sehkraft und motorische Fähigkeiten voraus. Mit dem d2 Test bearbeiteten die Schüler also einen Konzentrationstest, der wenige Vorkenntnisse erfordert und nahezu sprach- und kulturfrei funktioniert.

Aufmerksamkeit/Konzentration wurde in dieser Studie entsprechend des d2 Tests definiert und als Fähigkeit gesehen, relevante von irrelevanten Informationen zur Erledigung einer Aufgabe zu unterscheiden. Bei diesem Test müssen unter Einhaltung von sehr knappen Zeitvorgaben „d“ mit zwei Strichen aus jeweils einer Zeile aus „d“ und „p“ bestehend mit einer unterschiedlichen Anzahl von Strichen markiert werden.

Für den Wirkungsnachweis wurden zwei unabhängige Parameter aus den Messgrößen des d2 Tests ausgewählt:

- Arbeitsgeschwindigkeit: Anzahl der markierten (gekennzeichneten) Zeichen (GZ)
- Anzahl der Gesamtfehler: Auslassungsfehler und falsch markierte Zeichen

Alle weiteren Parameter des d2 Tests sind nicht voneinander unabhängig: GZ-F (Gesamtzeichen minus Gesamtfehler) und dem Konzentrationsleistungswert KL (richtige Zeichen minus falsch markierte Zeichen). Diese Werte des d2 Tests sind möglicherweise für Einzelfalldiagnostiken sinnvoll, im Rahmen eines Wirkungsnachweises stellen sie jedoch eine weitere Anzahl von scheinbar separaten Messgrößen dar, die jedoch primär von der Arbeitsgeschwindigkeit und sekundär von der Gesamtfehlerzahl abhängig sind. Die Parameter GZ-F und KL sind ebenfalls insofern problematisch, als sie den Teilnehmern durch die standardisierte Anweisung sowohl für Erwachsene als auch in der Kinderversion suggeriert, Geschwindigkeit und Genauigkeit seien gleich gewichtet: „Arbeiten Sie so schnell wie möglich, aber natürlich auch ohne Fehler!“ (ebenda, S. 16). Dies widerspricht der Auswertung, bei der von sehr vielen bearbeiteten Zeichen sehr wenige Fehler, meist Auslassungsfehler, abgezogen werden, die darüber hinaus keine Arbeitszeit beim Markieren binden. Bei den Fehler-Messgrößen des d2 Tests wird primär die Gesamtfehlersumme untersucht, da einerseits laut Auswertungsinstruktion Auslassungsfehler und falsch markierte Zeichen gleichermaßen gewichtet werden. Dennoch wurden die einzelnen Fehlertypen zusätzlich separat im Wirkungsnachweis überprüft, weil sie andererseits ein ganz anderes Niveau der Aufmerksamkeit messen, denn Auslassungsfehler treten weitaus häufiger auf als falsch markierte Zeichen.

Neben dem d2 Test fiel die Wahl auf einen Lesetest, der ebenfalls ein hohes Maß an Aufmerksamkeit/Konzentration bei den Schülern erfordert, aber eine komplexere Aufgabenstellung bei der Unterscheidung von relevanten und irrelevanten Informationen vorgibt. Lesetests sind natürlich sprach- und kulturabhängig, doch kann davon ausgegangen werden, dass die Mehrheit der Schüler in normalen Regelklassen unabhängig von der Herkunft ein ausreichendes sprachliches Wissen mitbringen, um die verwendeten Verfahren zu bewältigen. Die Herkunft wurde, wie der Sprach- und Kulturhintergrund, über die Störgrößenanalyse kontrolliert.

Für die älteren Klassenstufen wurde der Lesegeschwindigkeits- und -verständnistest für die Klassen 6-12 als Lesetest verwendet (LGVT 6-12, Schneider, Schlagmüller & Ennemoser, 2007). Die Wahl fiel auf dieses Instrument, da es eine komplexe Aufmerksamkeits-/Konzentrationsleistung erfordert und ein aktueller Test ist, der über eine umfangreiche deutsche Normierung über die Klassenstufen 6 bis 12 für unterschiedlichste Schulformen verfügt. Beim LGVT müssen die Schüler innerhalb von vier

Minuten einen langen Text von bis zu vier Seiten lesen und Textlücken füllen. Die Lücken stellen inhaltliche Fragen zum Text. Der LGVT ermittelt die Lesegeschwindigkeit über die Anzahl der gelesenen Worte und das Leseverständnis über Punkte für richtig beantwortete Verständnisfragen. Für die Grundschüler wurde der Subtest „Textverständnis“ des ELFE 1-6 verwendet (Ein Leseverständnistest für Erst- bis Sechstklässler, Lenhard & Schneider, 2006). Dieser Subtest steht mit dem Konstrukt Aufmerksamkeit/Konzentration in Zusammenhang: Unter knappen Zeitbedingungen (7 min) müssen von den Grundschulern kurze Texte gelesen (Lesegeschwindigkeit), sich wichtige Fakten gemerkt (Kurzeitgedächtnis) und danach multiple-choice Fragen zum Textverständnis beantwortet werden. Für die Klassenstufe 4 stehen Normdaten zur Verfügung. Das Textverständnis wird über Punkte für richtig beantwortete Aufgaben berechnet. Eine Variable zur Ermittlung der Lesegeschwindigkeit ist von den Autoren nicht vorgesehen, kann jedoch über die Anzahl der bearbeiteten Aufgaben selbst ermittelt werden.

### **2.3.1.2. Hyperaktivität**

Die Hyperaktivität wird in dieser Studie nicht als das klinische Störungsbild aufgefasst. Vielmehr werden die Symptome, die einzeln auch bei gesunden Schülern auftauchen können, abgefragt und gemessen.

#### ***Messung langfristiger Effekte mit Fragebogenverfahren***

Zur Messung der langfristigen Wirkung des Dynamischen Lichts auf Symptome der Hyperaktivität in der Schule wurde die Conners-Rating-Scale in der Übersetzung von Steinhausen (2004) verwendet. Die Wahl fiel auf die Conners-Scale, weil sie eines der etabliertesten Instrumente zur Quantifizierung von Hyperaktivität ist. Sie beinhaltet die häufigsten Symptome von Hyperaktivität und fragt diese kurz, verständlich und direkt ab. Die Conners-Scale ist für die Fremdbeurteilung vorgesehen, doch lassen sich die Items auch im Selbstrating in unveränderter Formulierung verwenden, anders als z. B. im Fragebogen zum Hyperkinetischen Syndrom (Klein, 1993) oder in der Skala Hyperaktivität des

Verhaltensbeurteilungsbogens für Vorschulkinder (VBV, Döpfner et al., 1993). Da eine weitere Befragung der Lehrer zur Einzelbeurteilung der Schüler oder eine Elternbefragung, zusätzlich zur optischen Messung in den Testmodulen, zu aufwändig gewesen wäre, wurde von einer Fremdbeurteilung abgesehen. Stattdessen werden die 10 Symptome im Selbstrating der Schüler auf einer Skala von 0 (überhaupt nicht) bis 3 (sehr stark) abgefragt. Diese wurden in dieser Studie zu einem Mittelwert pro Schüler zusammengefasst.

### ***Messung kurzfristiger Effekte in Testmodulen***

Ziel war es, zusätzlich zu der Messung der langfristigen Effekte mit einem Fragebogenverfahren, die Ausprägung von Symptomen durch ein möglichst objektives Messverfahren zur Ermittlung von kurzfristigen Effekten zu erheben. Da Tonmessungen zum einen durch die Entfernung von besonders lauten Schülern und zum anderen von Reflexionseigenschaften der Wände gestört werden, fiel die Entscheidung auf eine Videoaufzeichnung der entsprechenden Testmodule mit einer Kamera und auf ein optisches Messverfahren zur Erfassung der motorischen Unruhe.

In Zusammenarbeit mit Herrn Dipl. Ing. Koenig von der TU-Harburg wurde das optische Messverfahren „Childmove“ zur Messung von motorischer Unruhe für diese Studie entwickelt (Wessolowski, Barkmann & Koenig, 2011; 2010). Die Prozedur und der zugrunde liegende Algorithmus der optischen Bewegungsmessung lassen sich wie folgt beschreiben:

1. Zunächst wurden mit iMovie (HD 6.0.3 unter MacOS X 10.4.11) Filmsequenzen herausgeschnitten, die nicht zu den Standardsituationen gehörten:
  - bei denen Schüler ihre Plätze und somit ihren Messbereich verließen.
  - wenn der Testleiter oder Lehrer durch Interaktion mit den Schülern gezwungen war vor die Kamera zu treten und den Bildausschnitt zu verdecken. Dies passierte typischerweise als Reaktion auf Unterrichtstörungen oder zur Beantwortung von Zwischenfragen (vgl. 2.6.1.4, S. 99).
  - alle nicht standardisierten Situationen vor und nach der Filmsequenz.
  
2. Die auf diese Weise bearbeitete Videodatei wurde mit Grafikkonverter V4.0 (unter MacOS X 10.4.11) in Standbilder (10 Bilder pro Sekunde; PGM-Format in 256 Graustufen, Auflösung 320 x 240 Pixel) zerlegt. Jedes dieser Standbilder besteht aus 320 x 240 Bildpunkten, den sogenannten Pixeln. Jeder dieser Bildpunkte wird im verwendeten Format mit einem Wert zwischen 0 (schwarz) und 255 (weiß) beschrieben. Dieser Pixelwert gibt also eine der maximal 256 darstellbaren Graustufen in diesem Format wieder.
  
3. Im nächsten Schritt wurde in Childmove (Java-Anwendung, Ausführung über das Unix-Terminal 1.5 unter MacOS X) die Größe der Messpunkte festgelegt. In der vorliegenden Studie wurden Messpunkte in der Größe von jeweils 10 x 10 Pixel ausgewählt. Somit besteht jedes Standbild aus einem Raster mit  $32 \times 24 = 768$  Messpunkten (siehe Abbildung 10). Childmove berechnete für jeden der 768 Messpunkte eines Standbildes die Varianz, d.h. die Summe der quadrierten Abweichungen der Pixelwerte auf den jeweils entsprechenden Messpunkt in den nächsten zehn Standbildern. Der zeitliche Bezugsrahmen ist in Childmove frei wählbar. Für diese Untersuchung wurde ein Bezugsrahmen von 10 Bildern (entspricht einer Sekunde) festgelegt. Von jedem der über 6000 Standbilder einer einzigen Bewegungsmessung entsteht also eine Matrix mit der Varianz der Pixelwerte für jeden Messpunkt auf den jeweils entsprechenden Messpunkt



4. Nachdem Childmove die Bewegungsrohwerte ermittelt hat, werden die Daten in ein Excel-Sheet (Excel 2004, MacOS X und Excel 2003, WindowsNT) übertragen. Pro Schüler wird manuell ein Messbereich um dessen Kopf festgelegt. Mit Hilfe eines Rasters, das über die Standbilder gelegt wird (siehe Abbildung 12), können die Koordinaten bestimmt und somit die Messbereiche pro Schüler festgelegt werden. Diese Messbereiche bestehen also aus definierten Messpunkten der Childmoveauswertung. Die Bestimmung der Messbereiche erfolgt, um relevante Bewegungen (hier Kopfbewegungen) von irrelevanten zu unterscheiden und die Bewegung pro Person ermitteln zu können.

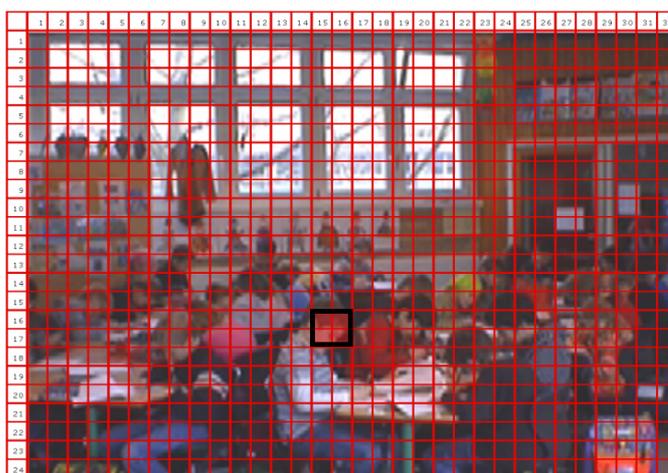


Abbildung 12

*Beispiel für einen Messbereich, der um den Kopf des mittig sitzenden Schülers festgelegt wurde*

5. Die Bewegungsrohwerte der personenbezogenen Messbereiche werden mit einem VBA-Makro (Visual Basic for Applications) über alle Standbilder, bzw. Ergebnismatrizen, innerhalb eines festgelegten Zeitintervalls aufsummiert. Die Zeitintervalle, in der die Bewegungswerte aufsummiert werden, sind technisch variabel und können theoretisch von der Einzelauswertung jedes Standbildes bis zur Gesamtauswertung des Films reichen. Für diese Untersuchungen wurde für alle 2.5 Minuten eine Zwischensumme gebildet. Die

(Kopf-) Bewegung der Schüler wird somit über die Summe von Pixelwertvarianzen innerhalb der relevanten Messbereiche ermittelt. Diese Zwischensummen wurden durch die Größe des Messbereiches dividiert. Folglich ist die Messung nahezu unabhängig von der Entfernung der Schüler zur Kamera. Um die Zahlen für die varianzanalytische Auswertung in SPSS handlich zu halten, wurden alle Summen, die eine Spannweite von 0 bis 250000 hatten, durch den Faktor 10 dividiert. Anschließend wurden alle Intervallergebnisse unter 100 als Missing definiert, da sich dieser Grenzwert als sicheres Anzeichen dafür erwies, dass ein Schüler zwischenzeitlich seinen Messbereich verlassen hatte (z. B. durch weites Zurücklehnen etc.). Ruhige Schüler erreichten innerhalb eines 2.5 min Intervalls einen Bewegungswert von knapp unter 1000. Einen ebensolchen Wert erreichte zu Kontrollzwecken auch ein Lehrer, der angewiesen war, sich so wenig wie möglich zu bewegen. Sehr unruhige Schüler dagegen lagen bei einem Wert von 25000.

6. In einem nächsten Schritt wurden die Zwischensummen durch die Anzahl der anwesenden Schüler dividiert, um eine Korrektur der Wechselwirkung der interagierenden Schüler vorzunehmen. Somit handelt es sich bei den Bewegungswerten der Childmoveauswertung um bereinigte Summen von Pixelwertvarianzen.

Das Verfahren Childmove ist eine eigene Entwicklung, deshalb liegen keine Veröffentlichungen zur Normierung und Validierung vor. Pixelwertveränderungen werden aber für eine Vielzahl von technischen Fragestellungen verwendet. Beispielsweise zoomen sich Überwachungskameras durch diese Vorgehensweise automatisch auf Bildausschnitte, auf denen Bewegungen erkennbar sind. Pixelwertveränderungen sind auch die technische Grundlage für Messverfahren am Institut für Strömungsmechanik an der TU-Harburg, bei denen der Austritt von Flüssigkeiten oder Gasen unter bestimmten Laborbedingungen nachvollzogen wird. Childmove wurde wie in der Bewegungsmessung von Kindern und Jugendlichen üblich, praktischen Tests unterzogen. Ebenfalls wurde zu diesem Zweck eine Pilotvalidierung vorgenommen. Die Pilotvalidierung der optischen Bewegungsmessung Childmove soll erste Aussagen zur Reliabilität, zur konvergenten und diskriminanten Validität ermöglichen (siehe 3.4.2, S. 167).

### **2.3.1.3. Aggression**

Als Aggressionen werden in dieser Studie absichtliche Verhaltensweisen aufgefasst, die erstens Gegenstände zerstören oder deren Wert vermindern und zweitens andere Menschen physisch oder psychisch beeinträchtigen. Es werden aufgrund der besseren Beobachtbarkeit nur externale Aggressionen, also nach außen dringende Aggressionen, erfasst. Internale Aggressionen wie Selbstherabsetzungen oder Selbstverletzungen werden nicht erfasst. Ziel war, wieder entsprechend den primären Zielgrößen, ein möglichst objektives Verfahren zur Messung der kurzfristigen Effekte und ein geeignetes Fragebogeninstrument zur Messung der langfristigen Effekte zu finden, wie in den folgenden zwei Abschnitten beschrieben wird.

#### ***Messung langfristiger Effekte mit Fragebogenverfahren***

Zur Messung des langfristigen Effekts wurde, wie bei den anderen Zielgrößen, ein Fragebogenverfahren eingesetzt. Aus folgenden Gründen wurde die Skala Aggressivität des Youth Self-Report verwendet (YSR, Döpfner, 1998): Die Zielgröße Aggressivität wird mit für Kinder und Jugendliche gut verständlichen und sprachlich passenden, wertneutralen Items erhoben. Darüber hinaus handelt es sich bei dem YSR um ein modernes, etabliertes Instrument, für das eine internationale Normierung vorliegt. Die Skala Aggressivität umfasst 19 Items auf einer dreistufigen Skala von 0 (nicht zutreffend) bis 2 (genau oder häufig zutreffend). Diese wurden in dieser Studie zu einem Mittelwert pro Schüler zusammengefasst.

#### ***Messung kurzfristiger Effekte in Testmodulen***

Ein objektives Verfahren zur Messung von Aggressionen stellt die Verhaltensbeobachtung dar. Diese konnte über die bereits aufgezeichneten Videobänder zur Messung von Hyperaktivität durchgeführt werden. Für eine systematische Verhaltensbeobachtung von Aggression im Schulsetting kamen zwei Verfahren in Frage: Das „Beobachtungssystem zur Analyse von aggressionsbezogenen Interaktionen“

(BAVIS) von Humpert und Dann (1988) und das „Beobachtungssystem zur Analyse aggressiven Verhaltens in schulischen Settings“ (BASYS) von Wettstein (2008). Da es sich beim BAVIS um ein älteres Instrument handelt und das BASYS nicht nur die Handlung kodiert, sondern unter anderem auch den Kontext, die Form und das Handlungsmotiv, wurde das BASYS ausgewählt. Für diese Studie stellte Herr Dr. Wettstein aus Bern freundlicherweise sein 2008 erschienenes Beobachtungssystem schon vor der Veröffentlichung mit der Zustimmung des Hogrefe Verlages zur Verfügung. BASYS ist ein strukturiertes Beobachtungssystem speziell für die Erfassung von Aggressionen im Schulunterricht. BASYS wird eigentlich als Analyse für längere Zeiträume von ein bis zwei Wochen für gezielte Ansätze von Anti-Gewalt-Programmen in Schulklassen eingesetzt. In dieser Studie wurden die Kategorien, die Formen, die Ziele und die Funktionen von BASYS zur Auszählung verwendet:

- Die **Kategorien** der Aggressionen definieren, in welchem Kontext Aggressionen auftreten (oppositionelles Verhalten gegen die Lehrkraft, aktiv gegen Fremdpersonen - offen direkt, aktiv gegen Fremdpersonen – verdeckt hinterhältig, Aggression gegen Gegenstände, Partei ergreifend gegen Fremdperson – offen direkt, Partei ergreifend gegen Fremdperson - verdeckt-hinterhältig, Restkategorie und nicht erkennbar).
- Die **Formen** der Aggressionen unterscheiden zwischen körperlicher und verbaler Gewalt und einer Variablen für das gleichzeitige Auftreten beider Formen.
- Die **Ziele** kodieren, auf wen die Aggressionen gerichtet sind (Schüler, Lehrkraft, Fremdperson – nicht anwesende Person, Gegenstand, Restkategorie und nicht erkennbar).
- Die **Funktionen** der Aggressionen beschreiben das Motiv der zu Grunde liegenden Aggression (Abwehr, Überforderung, Dominanz, Erwerb von Ressourcen, Manipulation des sozialen Status, Spaß, Identifikation, Restkategorie und nicht erkennbar).

Eine beobachtete Aggression wird also immer mit einer Kategorie, einer Form, einem Ziel und einer Funktion sowie dem Namenskürzel des Aggressors kodiert. Für die Fragestellung dieser Studie wurde eine Gesamtsumme über die Anzahl der Aggressionen gebildet, auch wenn dieses beim BASYS aufgrund der anderen Zielsetzung ursprünglich nicht vorgesehen ist. Neben der Anzahl der Aggressionen wurde zusätzlich auch die Länge der aggressiven Verhaltensweisen erfasst.

Für prosoziale Verhaltensweisen, die als Gegenpol zu aggressiven Verhaltensweisen aufgefasst werden können, wurden die Kategorien für erwünschtes Zielverhalten ebenfalls aus dem BASYS verwendet. Diese haben ihren Ursprung in Petermann und Petermann (2005). Die Kategorien wurden hier nach Anzahl und Länge des Auftretens ausgezählt: Selbstbehauptung (in angemessener Weise Interessen durchsetzen), Kooperation (Kompromissbereitschaft/diplomatisches Verhalten), Selbstkontrolle (bei Wut die Kontrolle über sich behalten) und Empathie (Einfühlen und Eindenken).

Für die systematische Verhaltensbeobachtung zur Messung von Aggression und prosozialem Verhalten werteten zwei unabhängige und verblindete Gutachterinnen das Videomaterial mit dem Beobachtungssystem BASYS aus. Verblindet bedeutet in diesem Fall, dass die Gutachterinnen bei der Bewertung der Filme nicht wussten, ob es sich um eine Aufzeichnung aus einer Klasse der Kontrollgruppe oder der Interventionsgruppe handelte. Sie erhielten lediglich einen Plan auf denen die Sitzplätze und die Codes zur Zuordnung der Schüler vermerkt waren.

## **2.3.2. Sekundäre Zielgrößen**

### **2.3.2.1. Allgemeines Wohlbefinden**

Allgemeines Wohlbefinden umfasst die physische und psychische Gesundheit über vier Wochen. Zur Messung des allgemeinen Wohlbefindens wurde die Symptom Checkliste HBSC verwendet (Health Behaviour in Schol-Aged Children, Ravens-Sieberer & Thomas, 2002), weil sie sowohl physische als auch psychische Symptome umfasst, die auch bei gesunden Schülern auftreten. Darüber hinaus ist der HBSC ein weltweit etabliertes Instrument, für das internationale Normdaten vorliegen. Die Skala Allgemeines Wohlbefinden besteht aus nur 11 Items, die in dieser Studie pro Schüler zu einem Mittelwert zusammengefasst werden.

### **2.3.2.2. Klassenklima**

Das Klassenklima wurde mit der gleichnamigen Skala des Fragebogens zur Erfassung emotionaler und sozialer Schulerfahrungen (FEESS, Rauer & Schuck, 2003) gemessen. Die Auswahl fiel auf die Skala dieses Instruments, weil die Items nicht klinisch ausgerichtet sind und das Konstrukt gut wiedergeben. Für die älteren Schüler wurden bei dieser Skala die Formulierungen der Items leicht modifiziert, um eine altersgemäße Wortwahl und damit eine höhere Akzeptanz zu erzielen. So wurde statt von „anderen Kindern“ von „Mitschülern“ und „Klassenkameraden“ gesprochen. Der Inhalt wurde nicht verändert. Die Definition wird, entsprechend des FEESS, als individuelle Einschätzung der sozialen Interaktion zwischen den Schülern einer Klasse festgelegt. Des Weiteren werden ein positives Klassenklima und die gegenseitige Akzeptanz zwischen den Klassenmitgliedern als Voraussetzung für soziales Lernen gesehen (vgl. Petillon, 1998). Die Skala Klassenklima besteht aus 12 vierstufigen Items und wird hier über den Mittelwert gebildet.

### 2.3.3. Prozessbezogene Variablen

Ergänzend zu den beschriebenen Variablen der primären und sekundären Zielgrößen, welche die Wirkung des Lichts beschreiben, sollen ergänzend prozessbezogene Variablen untersucht werden:

Die **Bewertung der Wirkung** beschreibt die empfundene, generelle Zufriedenheit der Lehrer zur Wirkung des Dynamischen Lichts im Unterricht. Die Bewertung der Wirkung wurde direkt mit 7 Items auf einer fünfstufigen Skala erfasst: „Inwieweit stimmen Sie folgenden Aussagen zu? Dynamisches Licht verbessert die Aufmerksamkeit/Konzentration.“

Die **Zufriedenheit mit den Programmen** ist die rein subjektive Zufriedenheit mit den einzelnen Lichtprogrammen, unabhängig von deren Wirkung. Die Zufriedenheit wurde quantitativ auf einer Skala von null bis vier erhoben. Die Lehrer wurden durch offene Fragen nach prägnanteren Benennungen der vorhandenen Programme gefragt. Auf Helligkeits- und Farbstreifen (kontinuierliche Skalen) wurden Wünsche zur Änderung der Lichtprogramme erhoben. Sowohl Schüler als auch Lehrer wurden, ebenfalls auf einer fünfstufigen Skala die obligatorische Frage gestellt, ob sie Dynamisches Licht weiterempfehlen würden.

**Ökologie und Ökonomie** ist die subjektive Einschätzung der Kosten und des Energieverbrauchs, die von Lehrern und Schülern getroffen wurde, wobei diese nicht über den tatsächlichen Verbrauch und die Kosten informiert waren. Die subjektive Einschätzung des Energieverbrauchs wurde auf einer Skala von null bis vier vorgenommen. Mit dichotomen nein/ja Items wurde die Einstellung zum Energieverbrauch abgefragt:

- Darf Dynamisches Licht generell mehr Energie verbrauchen?
- Ist dies auch der Fall, wenn die Wirkung wissenschaftlich belegt ist?
- Ist dies auch der Fall, wenn an anderer Stelle Energie eingespart wird?

Die Höhe der akzeptierten Anschaffungskosten wurde durch freie Angaben in Euro ermittelt, mit dem Hinweis, eine herkömmliche Ausstattung koste 1000.- Euro. Gleichermaßen wurde der höchste akzeptierte Preis abgefragt, wenn die Wirkung wissenschaftlich belegt wäre. Der verwendete Referenzwert für eine Klassenzimmerausstattung von 1000.- Euro bezieht sich laut Vertriebsmitarbeitern von Philips (persönliche Mitteilung) auf das günstigste Angebot auf dem Markt inklusive Einbaukosten. Bei den Grundschulern wurde gefragt, wie viel Geld sie für das Licht ausgeben würden, wenn Sie insgesamt 10 Euro für die Klassenzimmereinrichtung hätten, um im Rahmen von bekannten und begreifbaren Geldmengen zu bleiben: Der genannte prozentuale Anteil wurde, bei der Annahme von Kosten von 20.000 Euro für eine Klassenzimmerausstattung, auf den höchsten akzeptierten Preis, wie bei den älteren Schülern, umgerechnet. Die Annahme für die Kosten einer Klassenzimmerausstattung basiert auf aktuellen Webangeboten für Schulmöbel (z. B. Arnulf Betzold GmbH, 2009; Školičky, 2009; Stange & Roitsch GmbH, 2009), die für 25 Schüler in etwa überschlagen und um Kosten für weitere Ausstattungsgegenstände (Beleuchtung, Projektor, Rollos usw.) ergänzt wurden. Auf Nachfrage bei den Schulleitern wurde die Preiskalkulation als in etwa realistisch für eine günstige Standardausstattung eingestuft. (Reale Angebote konnten nicht als Grundlage herangezogen werden, da die Ausstattung nicht komplett und speziell für eine einzelne Klasse angeschafft wurde.)

**Didaktische Arbeits-/Sozialform und Verwendung des Lichts:** Die didaktische Sozialform beschreibt die Interaktion der Schüler und Lehrer im Unterricht, also zum Beispiel, ob einzeln oder in Gruppen gearbeitet wird (vgl. Meyer, 2003; 2002). Die Arbeitsform beschreibt dagegen die Handlung, ob z. B. ein Vortrag gehalten oder ein Unterrichtsgespräch geführt wird (vgl. ebenda). Vom theoretischen Standpunkt her sind Arbeits- und Sozialform zwar separat zu betrachten, in der Praxis ist es jedoch durchaus sinnvoll, die Kategorien beider zusammen zur Beschreibung verschiedener Unterrichtsphasen zu verwenden, weil manche Kombinationen theoretisch weniger sinnvoll (z. B. Diktat und Unterrichtsgespräch) oder selbstverständlich sind (z. B. Tests in Einzelarbeit). Mit den kombinierten Kategorien soll in einfacher Weise der Unterricht praxisnah beschrieben werden. Das Protokoll in Form eines Zeitstrahls wurde so kurz und einfach wie möglich gestaltet, um das korrekte Aufzeichnen in kleinen Unterrichtspausen zu ermöglichen. Die Entwicklung des Protokolls wurde eng mit den beteiligten Lehrern abgestimmt, um eine große Akzeptanz zu erreichen. Somit beteiligten sich

bis auf wenige Ausnahmen alle Lehrer an dem Protokoll. Da die Protokollierung der Arbeits-/ Sozialform nicht fortlaufend über das gesamte Schuljahr von den Lehrern bewerkstelligt werden konnte, wurde ein Zeitstichprobenverfahren eine Woche nach Beginn und eine Woche vor Ende des Projektes angewandt. Die Aufzeichnung der Benutzung des Lichts im Schulalltag (außerhalb der standardisierten Testmodule) konnte aus Kostengründen nicht technisch erfolgen. Das Protokoll wurde um die Verwendung des jeweiligen Lichts pro Zeitintervall ergänzt. Dies geschah durch zwei Kreuze von dem jeweils unterrichtenden Lehrer auf einem Zeitstrahl, getrennt für die verwendete Arbeits- und Sozialform und für das verwendete Lichtprogramm. Ein Zeitintervall betrug 15 Minuten, so dass eine Schulstunde von 45 Minuten in Anfang, Mitte und Ende unterteilt war. In beiden Versuchsgruppen wurde gleichermaßen die verwendete didaktische Arbeits- / Sozialform für diese Zeitintervalle erhoben (Frontalunterricht, Lehrervortrag, Unterrichtsgespräch, Gruppenarbeit / Partnerarbeit, Einzelarbeit). In den Interventionsklassen wurde die Verwendung der sieben Lichtprogramme pro Zeitintervall protokolliert. In den Kontrollklassen mit einer herkömmlichen Schulbeleuchtung markierten die Lehrer ebenfalls für jedes Zeitintervall die verwendete Beleuchtung (aus, halbe Beleuchtung an, ganze Beleuchtung an).

Die **Handhabung** beschreibt die Bedienbarkeit des Dynamischen Lichts im Schulunterricht aus der Sichtweise der Lehrer. Die Handhabung wurde in der Lehrerbefragung auf einer fünfstufigen Skala bewertet.

**Unterrichtserfahrungen** mit Dynamischem Licht beschreiben weitere Erfahrungen, die von den Schülern und Lehrern im Unterricht gemacht werden. Durch offene Fragen sollen hier Aussagen gesammelt und verwertet werden, die über die Hypothesen und deren quantitativer Untersuchung dieser Studie hinausgehen, um erstens neuen Input für zukünftige Fragestellungen und Hypothesen zu erhalten und zweitens, um die subjektive Sichtweise derjenigen, die mit Dynamischem Licht im Unterricht tagtäglich arbeiten, zu berücksichtigen.

### 2.3.4. Kontrollgrößen

Die Wirkung des Lichts ist selbstverständlich nur ein Wirkfaktor von vielen für erfolgreichen Unterricht an einer Schule. Deshalb war in diesem Feldversuch die Kontrolle der Störgrößen von zentraler Bedeutung. Zwar ist es wichtig, die Wirkung unter realistischen Bedingungen im Feldversuch zu testen und die Ergebnisse unter der Annahme der Gleichverteilung der Störgrößen unkorrigiert darzustellen. Andererseits ist es auch wichtig, den Einfluss dieser Störgrößen oder den Einfluss des alltäglichen Lebens, wie der Nichtwissenschaftler zu Recht sagen würde, zu kontrollieren (statistisch zu berücksichtigen), zu parallelisieren (Einfluss der Störgrößen für beide Gruppen gleich zu gestalten) und zu eliminieren (Einfluss der Störgrößen im Vorfeld zu beseitigen), um weitere Hinweise für einen kausalen Zusammenhang zwischen Intervention und Wirkung zu erhalten.

Die Maßnahmen zur Parallelisierung und Eliminierung werden in der Datenerhebung beschrieben (2.6.1, S. 95). Bei den Messungen in den Schulen wurden im Feldversuch über 31 Kontrollgrößen erhoben. Die Kontrollgrößen konnten aufgrund der wachsenden Freiheitsgrade durch Vergrößerung der Anzahl bei gegebener Stichprobengröße nicht einzeln mit der Kovarianzanalyse kontrolliert werden (vgl. Bortz & Schuster, 2010). Aus diesem Grund wurden die Kontrollgrößen zunächst zu neun Skalen zusammengefasst. Die Skalen wurden primär unter inhaltlichen Gesichtspunkten gebildet. Sekundär wurde diese inhaltliche Zusammenfassung unter Gesichtspunkten von faktorenanalytischen Verfahren und Reliabilitätsanalysen überprüft und entsprechend modifiziert. Die Skalen zur Kontrolle der Störgrößen wurden wie folgt definiert und operationalisiert:

- 1) **Ausgangswerte:** Als Ausgangswerte werden die der Zielgröße entsprechenden Prä-Werte bezeichnet. Dies waren in der Prä-Post-Befragung die individuellen Werte kurz nach Beginn der Studie und in den Testmodulen die Messwerte unter Kontrollbedingungen für alle Gruppen. Eine Ausnahme bildet die Messung der motorischen Unruhe. Hier wurde als Ausgangswert der erste Messzeitpunkt pro Testmodul und Testtermin verwendet, da der Referenzpunkt für Beruhigung die Veränderung vom aktuellen Ausgangspunkt ist (siehe 3.1, S. 114).

- 2) **Alter** der Kinder in Jahren bei der ersten Fragebogenerhebung
- 3) **Geschlecht:** weiblich oder männlich
- 4) **Soziale Schicht:** Die Skala soziale Schicht wurde aus Variablen des Sozialenschichtindex des Elternhauses von Winkler und Stolzenberg (1999) gebildet. Da den Grundschulern nur sehr einfache Fragen gestellt werden konnten und da die Vergleichbarkeit gewahrt werden sollte, wurde die soziale Schicht wie folgt berechnet: Einen Punkt gab es, wenn mindestens ein Elternteil mindestens eine abgeschlossene Berufsausbildung hatte oder die Grundschüler einen Ausbildungsberuf nannten. Einen weiteren Punkt gab es, wenn mindestens ein Elternteil eine Vollzeitstelle hatte (über 37.5 Stundenwoche) oder wenn die Grundschüler angaben, der Vater oder die Mutter sei den ganzen Tag bei der Arbeit. Die Skala soziale Schicht kann dementsprechend Werte von 0 bis 2 annehmen.
- 5) **Gesundheitliche Belastungen:** Die Skala Gesundheitliche Belastungen wurde für die Kontrolle der Störgrößen aus den folgenden dichotomen oder künstlich dichotomisierten Variablen pro Schüler aufsummiert (pro Zustimmung ein Punkt),
  - a. wenn eine Behinderung oder chronische Erkrankung vorlag.
  - b. wenn die Belastung durch körperliche Beschwerden mit ziemlich oder sehr auf der fünfstufigen Skala angegeben wurde.
  - c. wenn Brillen oder Kontaktlinsen von den Schülern verwendet wurden.
  - d. wenn eine ärztlich diagnostizierte Lese-Rechtschreibschwäche (Legasthenie) vorlag.
  - e. wenn eine ärztlich diagnostizierte Rechenschwäche (Dyskalkulie) vorlag.
- 6) **Veränderung von Umweltbedingungen:** Als Veränderung von Umweltbedingungen werden Veränderungen in der natürlichen Umgebung der Schüler sowie abweichende Untersuchungsbedingungen bezeichnet. Bei der Skala Veränderung von Umweltbedingungen

wurde bei folgenden dichotomen oder künstlich dichotomisierten Variablen jeweils der Wert Eins pro Schüler addiert,

- a. wenn die Tageszeit der Testung zwischen den beiden Terminen eines Testmoduls innerhalb einer Klasse um mehr als eine Schulstunde abwich.
  - b. wenn die Prä- und Postmessungen nicht auf den gleichen Wochentag fielen.
  - c. wenn die Temperatur (Thermometer) innerhalb des Klassenzimmers bei einem Messtermin nicht zwischen 18 und 20 Grad Celsius lag.
  - d. wenn die Sitzplatzverteilung (graphische Repräsentation) verändert war, d.h., wenn der Sitzplatz eines Schülers um mehr als ca. 1m<sup>2</sup> abwich.
  - e. wenn eine Belastung durch klassenspezifische Ereignisse vorlag, also ein Wert von „stark“ oder „sehr stark“ auf der fünfstufigen Skala angegeben wurde.
  - f. wenn eine Belastung durch das soziale Umfeld vorlag, also ein Wert von „stark“ oder „sehr stark“ auf der fünfstufigen Skala angegeben wurde.
  - g. wenn zwischen den Terminen eines Testmoduls ein Wechsel des begleitenden Lehrers vorlag.
  - h. wenn eine Abweichung von 100 Lux und/oder 500 Kelvin des kombinierten Lichts von den angegebenen Werten des (reinen) Kunstlichts vorlag. Die Kombination aus Tageslicht und Kunstlicht wurde mit einem Lichtmessgerät (Gigaherz Optik, HCT-99) gemessen. Ermittelt wurden die Beleuchtungsstärke und die ähnlichste Farbtemperatur bei jedem Termin im Klassenzimmer.
- 7) **Motivation:** Die Kontrolle der Motivation der Schüler erfolgte über den Mittelwert der Skala Anstrengungsbereitschaft (Rauer & Schuck, 2003), da diese mit nur 13 zeitgemäß formulierten Items die Schulmotivation erhebt. Anstrengungsbereitschaft ist gemäß der Definition des FEES die Motivation, Lernanforderungen trotz empfundener Widerstände fortzusetzen und die Bereitschaft, trotz vermuteter Widerstände auf neue Lerninhalte zuzugehen (vgl. Rollett, 1977).

- 8) **Erwartungen:** Hier wurde vor Beginn der Studie abgefragt, inwieweit die Schüler glauben, eine Veränderung der jeweiligen primären und sekundären Zielgrößen könne durch das Licht herbeigeführt werden.
- 9) **Nationalität und Muttersprache:** Der Einfluss von Nationalität und Sprache wurde über die im häuslichen Alltag verwendete Sprache und den Einfluss der Nationalität von Kind, Vater und Mutter gebildet, um behelfsweise den Bezug zur deutschen Nationalität und Sprache quantifizierbar zu machen. Folgende dichotome Items wurden bei positiver Antwort aufsummiert: Deutsch wird nicht überwiegend im häuslichen Alltag verwendet, Kind, Vater, Mutter jeweils nicht deutscher Nationalität.

Da aufgrund der vorliegenden Stichprobengröße in der kovarianzanalytischen Überprüfung maximal drei Kontrollgrößen als Kovariaten einbezogen werden konnten (vgl. Bortz & Schuster, 2010), wurden die drei Kontrollgrößen mit den größten Regressionswerten ausgewählt. Die Regression beschreibt, wie gut die gemessenen Werte der Zielvariablen durch andere Variablen, in diesem Falle die Störgrößenskalen, vorausgesagt werden können. Durch dieses Vorgehen konnten die methodischen Voraussetzungen für die kovarianzanalytische Überprüfung der Zielgrößen erfüllt werden, wie im Ergebnisteil (siehe 3.3.1.6, S. 132) beschrieben wird.

## 2.4. Variablen und Operationalisierung der Laborstudie

Für die Laboruntersuchungen wurden ebenfalls die beschriebenen primären Zielgrößen Aufmerksamkeit/Konzentration, Hyperaktivität (motorische Unruhe) und Aggression ausgewählt sowie ergänzend prozessbezogene Variablen erhoben.

Für die Laborstudie wurden die Störgrößen aus der Schulstudie übernommen und auf mehr als 80 Störgrößen erweitert, die eliminiert, parallelisiert oder kontrolliert wurden. Für die statistische Kontrolle der Störgrößenverfahren mit kovarianzanalytischen Verfahren musste die Anzahl der berücksichtigten Kontrollvariablen (Kovariaten) auf drei reduziert werden (vgl. Bortz & Schuster, 2010). In einem ersten Schritt wurden die erhobenen Kontrollgrößen auf die Relevanz zur Vorhersage der Zielgrößen überprüft. Somit wurde die Regression jeweils aller Kontrollgrößen auf alle Zielgrößen berechnet und Kontrollgrößen mit einem kleineren Beta als .300 ausgeschlossen.

Auf diese Weise wurden die 30 relevantesten Kontrollgrößen festgestellt und mit einer Faktorenanalyse (Varimax rotiert) zu vierzehn Störfaktoren gebündelt. Im nächsten Schritt wurde die interne Reliabilität der Störfaktoren überprüft und die Faktoren ggf. unter Ausschluss von Kontrollgrößen höchstmöglich optimiert. Somit liegen die Cronbachs Alpha der Störfaktoren durchschnittlich bei .700. Eine Ausnahme bildet der Faktor „Störung der Bewegungsmessung“ mit .365, für den keine bessere Faktorenlösung gefunden wurde.

Bei der Berechnung der Skalenwerte der Störfaktoren wurde beachtet, dass die einzelnen Kontrollgrößen in die gleiche Richtung wirken. Die Polung erfolgte in die Richtung der Benennung, eine hohe Ausprägung bedeutet also immer ein hohes Ausmaß. Eine Polung nach theoretischen Kriterien wurde nicht vorgenommen, da diese für das kovarianzanalytische Verfahren nicht erforderlich ist und es inhaltlich schwer zu entscheiden wäre, ob beispielsweise im Faktor „Umwelteinflüsse“ ein später Beginn von Vor- oder Nachteil für die Teilnehmer ist. Denn der circadiane Anstieg von Aufmerksamkeit/Konzentration im Verlauf des frühen Abends könnte durch größere Müdigkeit nach einem längeren Arbeitstag ausgeglichen werden.

Die vierzehn Störfaktoren können wie folgt beschrieben und operationalisiert werden:

- 1) **Alter** der Teilnehmer in Jahren
- 2) **Geschlecht:** weiblich oder männlich
- 3) **Umwelteinflüsse** beschreiben Abweichungen von Umweltbedingungen außerhalb des Laborraums, die nicht parallelisiert oder eliminiert werden konnten, da sie nicht oder nur bedingt vom Testleiter beeinflusst werden konnten: Helles natürliches Tageslicht am Nachmittag/Abend (außerhalb des verdunkelten Labors), zu hohe oder zu tiefe Raumtemperatur (ohne Klimaanlage) und Gruppen, die erst nach 17:30 Uhr beginnen konnten.

Die Veränderung der Raumtemperatur wurde mit einem Thermometer gemessen. Das Tageslicht außerhalb des verdunkelten Testraums wurde an einem südseitigen Fenster direkt vor dem Termin gemessen. Dabei wurde mit einem Lichtmessgerät (Gigaherz Optik, HCT-99) die Beleuchtungsstärke und die ähnlichste Farbtemperatur erhoben. Die ähnlichste Farbtemperatur wies insgesamt wenig Varianz auf, verfügte demnach über eine geringe Regression und wurde im ersten Reduktionsschritt (siehe oben) aussortiert. Ein früher Testtermin begann zwischen 16:00 und 17:29 Uhr.

Die Skala wurde über die Summe oben genannter künstlich dichotomisierter Variablen gebildet. Jeweils ein Punkt wurde vergeben,

- a. wenn die Beleuchtungsstärke des natürlichen Tageslichts außerhalb des verdunkelten Labors über 1000 Lux lag.
- b. wenn die Raumtemperatur nicht zwischen 20 und 22 Grad Celsius lag.
- c. bei einem späten Testtermin, d.h. zwischen 17:30 und 18:30 Uhr.

- 4) **Einstellung zu Dynamischem Licht:** Hat das subjektive Gefallen von Dynamischem Licht einen Einfluss auf die Ergebnisse? Die Skala wurde über die Summe eben genannter künstlich dichotomisierter Variablen gebildet. Für die künstlich dichotomisierten Variablen wurde jeweils ein Punkt vergeben,
- a. wenn der akzeptierte Preis für eine Raumausstattung Dynamisches Licht größer/gleich 2000.- Euro lag.
  - b. wenn der akzeptierte Preis bei erfolgreichem Wirkungsnachweis ebenfalls größer / gleich 2000.- Euro lag.
  - c. wenn die Teilnehmer Dynamisches Licht „ziemlich“ oder „sehr“ weiter empfahlen.
- 5) **Koffein-Konsum vor der Testung:** Es gab jeweils einen Punkt für Kaffee-Konsum innerhalb der letzten 60 Minuten und einen weiteren Punkt bei Kaffee-Konsum seit dem Aufstehen. Auf weitere Gewichtung wurde verzichtet, da Kaffeekonsum innerhalb der letzten 60 Minuten auch immer Konsum im Laufe des Tages bedeutete und somit ohnehin mit zwei Punkten summiert wurde. Demnach bedeutet ein Punkt Kaffeekonsum im Laufe des Tages, der mehr als 60 Minuten zurückliegt und 0 Punkte kein Kaffee seit dem Aufstehen.

- 6) **Belastungen** bilden ein Maß für die individuelle Erschöpfung der Teilnehmer, bezogen auf die laufende Woche. Die Störfaktorenskala wird auf einer fünfstufigen Skala (0 gar nicht - 4 sehr) über den Mittelwert folgender fünfstufiger Kontrollgrößen gebildet:
- a. Ausmaß der empfundenen Belastung in dieser Woche durch Beruf, Studium und Privatleben
  - b. Maß der selbst eingeschätzten Aggressivität vor Beginn der Testung
  - c. momentaner Belastungswert zwischen den einzelnen Subtests der Testung: aufmerksam/konzentriert (umgepolt), erschöpft/müde, gestresst
- 7) **Nationalität:** Jeweils ein Punkt wurde vergeben bei nicht deutscher Staatsbürgerschaft oder nicht Deutsch als Muttersprache.
- 8) **Abweichungen bei Licht,** sind Abweichungen der Beleuchtungsstärke und Abweichungen der ähnlichsten Farbtemperatur zwischen dem Sitzplatz des Teilnehmers und dem jeweiligen Gruppenmittelwert. Beide Abweichungen wurden z-transformiert, negative Vorzeichen ggf. umgekehrt und der Mittelwert aus beiden Größen gebildet.
- 9) **Sehhilfe:** Tragen einer Brille oder von Kontaktlinsen (ja/nein)
- 10) **Allgemeine Gesundheit:** Mittelwert aus den fünfstufigen Items zur Einschätzung der allgemeinen Gesundheit und momentanen körperlichen Beschwerden (umgepolt)
- 11) **Medizinstudium:** laufend oder abgeschlossen

Nur bei der optischen Messung der Bewegungsunruhe wurden folgende Störfaktoren berücksichtigt:

12) **Störung der optischen Bewegungsmessung:** Es wurde jeweils ein Punkt vergeben, wenn:

- a. die Teilnehmer helle Oberbekleidung trugen.
- b. die Teilnehmer beim Kopfrechnen über dem Mittelwert (37.66 Rohwert Punkte für richtig gelöste Aufgaben) lagen. Der Einfluss der erbrachten Leistung im Kopfrechnen sollte kontrolliert werden, da auch das Notieren der Lösungen Bewegungen erfordert und Childmove nicht aufgabenrelevante Bewegungen von anderen Bewegungen unterscheiden kann.
- c. die Teilnehmer beim Zahlenverbinden über dem Mittelwert (210 als Anzahl der richtig verbundenen Zahlen) lagen, da auch hier gute Leistungen der Teilnehmer zu mehr Bewegungen führen.

13) **Ausgangswerte bei Bewegungsmessung:** gemessene Rohwerte zum ersten Messzeitpunkt nach 2.5 Minuten (der insgesamt 12.5-minütigen Messung).

Die Eliminierung oder Parallelisierung der Kontrollgrößen wird in der Beschreibung der Datenerhebung erläutert (siehe 2.6.1.6, S. 103).

## 2.5. Stichprobenansatz

### 2.5.1. Feldstudie

Für den Feldversuch wurden drei Hamburger Schulen exemplarisch ausgewählt. Da vorab keine Erkenntnisse über die Wirkung von Licht auf verschiedene Altersgruppen und Schulformen vorlagen, wurden explorativ für diesen Feldversuch drei Schulformen (Grundschule, Haupt- und Realschule, Gymnasium) mit den Altersgruppen (8, 12 und 16 Jahre) ausgewählt, um ein möglichst breites

Spektrum abdecken zu können. Besondere Ein- und Ausschlusskriterien innerhalb der Schüler einer Klasse gab es dabei nicht. Ausreichende physische und psychische Gesundheit sowie ausreichende Lese- und Rechenfähigkeit wurde durch die Anwesenheit in diesen Regelklassen sichergestellt.

An den drei Schulen wurde jeweils eine Klasse mit Dynamischem Licht ausgestattet und eine Parallelklasse als Kontrollklasse bestimmt. Die Vergleichbarkeit von Interventions- und Kontrollgruppen (Parallelklassen) wurde hinsichtlich Alter, Geschlecht, sozialer Schicht, physischer und psychischer Gesundheit, Veränderung von Umweltbedingungen, Motivation und Ausgangswerten der Zielgrößen kontrolliert. Möglichst vergleichbare Raumeigenschaften wie Raumgröße, Anzahl und Himmelsrichtung der Fenster sowie Rauminventar wurden sichergestellt. Zu Beginn des Projektes bestand die Stichprobe des Feldversuchs aus insgesamt 166 Schülern und 18 Lehrern (siehe Tabelle 8). Die Stichprobengröße wurde durch eine Mindestfallzahlbestimmung bei einer Testpower von 80 % bei einer zweiseitigen Hypothesenprüfung mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit von insgesamt 5 % für kleine und mittlere Effekte auch dann als ausreichend betrachtet, wenn eine Schule die Teilnahme während der Studie abbrechen sollte (vgl. Faul et al., 2009; Bortz & Döring, 2002).

Methodisch betrachtet kann die Stichprobe nur die getesteten Klassenstufen der jeweiligen Schule repräsentieren. Doch sowohl die ersichtliche Generalisierbarkeit der Effekte zwischen den unterschiedlichen Altersstufen und Schulformen, als auch die Ergebnisse der Ergänzungsstudie an Erwachsenen im Labor und die Prä-Messwerte innerhalb der jeweiligen Norm sprechen für die Repräsentativität der Stichprobe für alle bundesdeutschen Schüler.

Tabelle 8

*Übersicht Stichprobe Feldversuch*

Schule	Gruppe	Schüler	Stufe	Alter <sup>a</sup>
Schule in der Alten Forst (Grundschule)	IG	30	3	8
	KG	30	3	8
Emilie-Wüstenfeld- Gymnasium	IG	28	7	12
	KG	28	7	12
Schule am Eichtalpark (Haupt- und Realschule)	IG	25	10	16
	KG	25	10	16

*Anmerkungen.* Die Personenstichprobe umfasste insgesamt 166 Schüler und 18 Lehrer zu Projektbeginn. <sup>a</sup> Durchschnittsalter in ganzen Jahren.

### 2.5.2. Laborstudie

Die Teilnehmer wurden über Aushänge im UKE und der Uni Hamburg sowie über die Webseite des Fachbereichs Psychologie gesucht. Die Teilnehmer erhielten bei Bedarf drei Versuchspersonenstunden (VP-Stunden), die in bestimmter Anzahl vorgewiesen werden müssen, um das Vordiplom / den Bachelor der Psychologie zu bestehen oder die Voraussetzungen für das Nebenfach Psychologie zu erfüllen. Sofern die Teilnehmer keine VP-Stunden benötigten, erhielten sie Senseo II Kaffeemaschinen von Philips als Aufwandsentschädigung. Ein- oder Ausschlusskriterien gab es nicht. Die Interessenten mussten lediglich einen passenden Terminvorschlag zusagen und wurden ggf. nach ihrem Studienfach gefragt (siehe unten). Somit repräsentiert die Stichprobe die verfügbaren Teilnehmer.

Die Teilnehmer wurden je nach Zeitpräferenzen zu Gruppen von drei bis vier Teilnehmern zusammengestellt. Diese Kleingruppen wurden zunächst per Zufall auf die Experimental- oder Kontrollgruppe verteilt. Dieses Vorgehen wurde im weiteren Verlauf der Testungen jedoch zu Gunsten einer response-adaptiv-randomisierten Zuteilung auf die Experimental- oder Kontrollgruppe nach dem Merkmal Medizinstudium, wie im nächsten Abschnitt zur Datenerhebung beschrieben wird, aufgegeben.

Bei der Mindestfallzahlbestimmung wurden bei einer Testpower von 80 % und einer einseitigen Irrtumswahrscheinlichkeit von 5 % bei vergleichbaren kleinen bis mittleren Effekten mindestens  $N = 90$  Teilnehmer als ausreichend angesehen, um statistische Signifikanz der Effekte zu erreichen (vgl. Bortz & Döhning, 2002; Faul et al., 2009). In der Schulstudie wurden für den Fall, dass eine Schule die Teilnahme über ein Jahr an der Studie abbricht, bei vergleichbaren Parametern zwei Klassenzüge zusätzlich untersucht. Im Labor war jedoch nicht davon auszugehen, dass ein Teilnehmer die Teilnahme während der eineinhalbstündigen Testung abbricht.

## **2.6. Datenerhebung**

### **2.6.1. Feldstudie**

Im Emilie-Wüstenfeld-Gymnasium konnten mehrheitlich keine Testtermine (für die Testmodule) sichergestellt werden, die den definierten Anforderungen entsprachen (vgl. 2.6.1.2, S. 96). Deshalb mussten sämtliche Daten beider Klassen des Emilie-Wüstenfeld-Gymnasiums vollständig aus allen Auswertungen ausgeschlossen werden, um vergleichbare Untersuchungsbedingungen zu wahren.

Grundsätzlich gab es keine weiteren Schwierigkeiten oder Abweichungen bei der Durchführung der Testungen und Befragungen. Kleinere Abweichungen, die sich in einem Feldversuch und im Schulalltag selbstverständlich nicht völlig vermeiden lassen, stellten bei den einzelnen Testungen Ausnahmen dar und werden detailliert in den folgenden Abschnitten beschrieben, um eine größtmögliche Transparenz zu wahren.

### **2.6.1.1. Prä-Post Befragung zur Langzeitwirkung (primäre und sekundäre Zielgrößen)**

Die Prä-Post-Befragung diente zur Erfassung von langfristigen Effekten bei den primären und sekundären Zielgrößen über nahezu das gesamte Schuljahr (vgl. 2.1, S. 52). Die Beantwortung des Fragebogens fand im eigenen Tempo unter der bisherigen Beleuchtungssituation bei der Kontrollgruppe statt. Der Fragebogen wurde ebenso in den Interventionsklassen unter dem DL1 Standardsituation „vorher“ ausgefüllt. Die Termine für die Befragung Prä fanden in allen Klassen während der Zeit vom 30.10. bis zum 2.11.2007 statt. Für diese Erhebungen wurden keine speziellen Terminvorgaben hinsichtlich Wochentag und Uhrzeit gemacht. Deshalb konnten die Befragungen passend innerhalb von Organisationsstunden stattfinden. Anwesend waren der Testleiter und mindestens ein Klassenlehrer. Beide standen den Schülern für Verständnisfragen zur Verfügung und unterbanden auch Gespräche über die Beleuchtung zwischen den Schülern. Auf diese Weise wurde die individuelle Beantwortung der Fragebögen sichergestellt. In der Grundschule las der Testleiter den Schülern im Klassenverband die Fragen nacheinander laut vor. Die Grundschüler kreuzten dann die entsprechenden Antworten an. Es gab in allen Klassen bei beiden Zeitpunkten der Befragung keine besonderen Vorkommnisse. Die Schülerbefragung Post fand im Zeitraum vom 8.5. bis 30.6.2008 statt. Der Ablauf der Datenerhebung war exakt der Gleiche wie bei der Erhebung Prä.

### **2.6.1.2. Grundsätzliches Vorgehen in den Testmodulen (primäre Zielgrößen)**

Zur Messung der Zielgrößen Aufmerksamkeit/Konzentration und Aggression / Hyperaktivität wurden jeweils zwei Testtermine angesetzt. Bei den jeweils ersten Terminen wurden die nachfolgend beschriebenen Abläufe sowohl in den Interventionsklassen als auch in den Kontrollklassen unter der bisherigen Beleuchtungssituation, beziehungsweise DL1 Standardsituation „vorher“, durchgeführt. Bei dem zweiten Testtermin erhielt die Interventionsgruppe eine jeweils auf die Zielgröße optimierte Lichtsituation und die Kontrollklassen wieder die bisherige Beleuchtungssituation bei gleichen standardisierten Abläufen.



Abbildung 13

*Grundschüler nach dem Konzentrationstest*

Die Testtermine fanden aufgrund circadianer Schwankung und der steigenden Arbeitsbelastung grundsätzlich zum Ende der Woche, an einem Donnerstag oder Freitag, in der Zeit zwischen 8 und maximal 10 Uhr statt. Die Testmodule wurden von dem gleichen Testleiter zu allen Terminen in allen Klassen durchgeführt. Die Testmodule einer Zielgröße wurden zusätzlich nach Möglichkeit immer von demselben Lehrer, bestenfalls vom Klassenlehrer, begleitet. Bei den Erklärungen und den Durchführungen der verschiedenen Tests wurde vom Testleiter immer darauf geachtet, eine möglichst freundliche, stressfreie und dennoch hoch standardisierte Umgebung zu schaffen. Die Schüler berichteten, sie hätten die Atmosphäre als ähnlich der einer mittelwichtigen Klassenarbeit (z. B. einem Zwischentest) empfunden. Von einer Verdunkelung der Klassen vom natürlichen Tageslicht wurde abgesehen, um in diesen Feldtest unter praxisnahen Bedingungen zu testen. Der weitere Ablauf gestaltete sich für die Hauptzielgrößen Aufmerksamkeit/Konzentrationen (Testmodul 1 und 2) und motorische Unruhe / Aggression (Testmodul 3 und 4) wie in den folgenden Abschnitten beschrieben.

### 2.6.1.3. Primäre Zielgröße Aufmerksamkeit/Konzentration (Testmodul 1 und 2)

Die Durchführung der Testmodule 1 und 2 fand unter den oben genannten allgemeinen Voraussetzungen in einer extra reservierten Schulstunde statt. Bei dem ersten Termin (Testmodul 1) erhielten beide Gruppen die bisherige Beleuchtungslösung, bzw. Dynamisches Licht (DL) 1 Standardsituation „vorher“ (300 Lux / 4000 Kelvin). Bei dem zweiten Testtermin (Testmodul 2) erhielt die Interventionsgruppe DL 3 „Konzentriertes Arbeiten“ (1060 Lux / 5800 Kelvin) und die Kontrollgruppe wiederholt die bisherige Beleuchtungslösung (siehe Tabelle 9). Während der zehnmütigen Eingangsphase, die dazu diente, die Ausgangssituation für die Kinder soweit wie möglich anzugleichen und die jeweils verwendete Lichtexposition wirken zu lassen, füllten die Kinder begleitende Fragebögen aus. Währenddessen wurde vom Testleiter die Raumtemperatur gemessen.

Tabelle 9

*Übersicht über Lichtexpositionen im Testmodul 1 und 2 (Aufmerksamkeit/Konzentration)*

Gruppe	Testmodul 1	Testmodul 2
KG	DL 1 Vergleichssituation „vorher“	DL 1 Vergleichssituation „vorher“
IG	DL 1 Vergleichssituation „vorher“	DL 3 Konzentriertes Arbeiten

In beiden Testmodulen wurde danach der d2 Test (Brickenkamp, 2002) gemäß den Testinstruktionen zunächst erklärt und dann durchgeführt. Beides zusammen nahm in etwa 15 Minuten Zeit in Anspruch. Nach der Durchführung des Konzentrationstests wurde eine Pause von 5 Minuten eingelegt. Anschließend wurde eine kurze Feedbackrunde durchgeführt.

Darauf folgten die Erklärung und die Durchführung des jeweils verwendeten Lesetests gemäß den Instruktionen. Die Grundschüler erhielten einen anderen, dem Alter entsprechenden Lesetest, als die älteren Schüler (vgl. 2.3.1.1, S. 68). Bei beiden Tests musste innerhalb einer knappen Zeitvorgabe ein Text gelesen und Verständnisfragen beantwortet werden. Während des Lesetests nahm der Testleiter

eine Lichtmessung inklusive Kontrollmessung punktuell in der Mitte des Klassenzimmers vor, um das Kunstlicht und das durch die Fenster einfallende, natürliche Tageslicht zu erfassen (vgl. 2.3.4, S. 84). Auch nach den Lesetests gab es eine kurze Feedbackrunde darüber, wie der Lesetest von den Schülern und Schülerinnen empfunden wurde.

Es gab keine besonderen Vorkommnisse oder Abweichungen vom standardisierten Ablauf. Bei beiden Terminen erhielten die Schüler als Dankeschön und zur Erfrischung immer einen Schokoriegel (Milchschnitte, Twix oder Knoppers) und eine Mandarine nach der Testung. Die Auswahl wurde den Vorlieben der jeweiligen Altersstufe angepasst. Es wurde aber immer darauf geachtet, dass die jeweilige Kontrollklasse exakt das Gleiche wie die entsprechende Interventionsklasse erhielt.

#### **2.6.1.4. Primäre Zielgrößen Hyperaktivität / Aggression (Testmodul 3 und 4)**

Die Messung von Hyperaktivität und Aggression fand separat in aufeinander folgenden Settings innerhalb einer Schulstunde statt. Das methodische Vorgehen in diesen Testmodulen ist mit den Testmodulen 1 und 2 für Aufmerksamkeit/Konzentration vergleichbar: Bei dem ersten Termin (Testmodul 3) erhielten beide Gruppen die bisherige Beleuchtungslösung, bzw. DL 1 Standardsituation „vorher“ (300 Lux / 4000 Kelvin). Bei dem zweiten Testtermin (Testmodul 4) erhielt die Interventionsgruppe eine optimierte Lichtexposition DL 5 „Beruhigen“ (325 Lux / 3500 Kelvin) und die Kontrollgruppe wiederholt die bisherige Beleuchtungslösung (siehe Tabelle 10). Die Durchführung der Testmodule 3 und 4 fand unter den o.g. Termin-Bedingungen in einer extra dafür verwendeten Schulstunde statt. Die Termine fanden im Zeitraum von 2.4.-30.5.2008 statt.

Der gesamte Ablauf wurde mit einer Videokamera festgehalten. Der Einsatz der Kamera wurde mit den Schulleitern aller Schulen telefonisch oder persönlich vorab besprochen. Es gab keine grundlegenden Einwände von Seiten der Schulleiter. Ein Elternbrief zur Information wurde auf Wunsch der Schulleiter erstellt. Der Einsatz der Kamera war für die eingesetzten Messverfahren Childmove für Hyperaktivität (vgl. 2.3.1.2, S. 71) und BASYS (vgl. 2.3.1.3, S.77) für Aggression notwendig. Vor Beginn, bevor die Schüler den Klassenraum betraten, wurde die Kamera vom

Testleiter auf einem Stativ aufgebaut und die Tische so hingerückt, dass möglichst viele Schüler ins Bild passten. In der Grundschule in der Alten Forst wurden die Tische von Klassenlehrerinnen und Schülern gemeinsam schon am Vortag in die abgesprochene Position in den sechseckigen Klassenzimmern gebracht. Der Standort der Kamera und die Ausrichtung der Tische wurde pro Klassenzimmer festgehalten und beim zweiten Termin möglichst exakt repliziert. Der Testleiter nahm zwei punktuelle Licht- und eine Temperaturmessung vor (vgl. 2.6.1.3, S. 98).

Tabelle 10

*Übersicht über die Lichtexpositionen in Testmodul 3 und 4*

Gruppe	Testmodul 3	Testmodul 4
KG	DL 1 Vergleichssituation „vorher“	DL 1 Vergleichssituation „vorher“
IG	DL 1 Vergleichssituation „vorher“	DL 5 Beruhigen

Die nacheinander eintreffenden Schüler konnten frei einen der vorbereiteten Sitzplätze wählen. Von den begleitenden Lehrern und dem Testleiter wurde darauf geachtet, dass dabei so wenig Unruhe wie möglich entstand. In der Regel gelang es, drei Viertel der anwesenden Schüler in den recht kleinen Klassenzimmern von der Kamera zu erfassen. Die Durchführbarkeit vom Sitzplatz aus war von zentraler Bedeutung, um personengebundene Daten mit den Daten aus allen anderen Untersuchungskomponenten zusammenführen zu können. Neben der graphischen Repräsentation des Sitzplatzes auf dem Testbogen der Schüler wurde der begleitende Lehrer gebeten, einen Sitzplan mit den Namenskürzeln der Schüler zu erstellen. Auf diese Weise war eine zweifelsfreie Zusammenführung der Daten möglich. Die Testung wurde in einem standardisierten Setting durchgeführt, das zusammen mit Herrn Bromund von der Klinikschule des UKEs abgestimmt wurde. Zunächst gab es eine Stillarbeitsphase von 15 Minuten. In dieser Zeit wurden Kopfrechen- und Zahlenverbindungs-Aufgaben gelöst. Beide Aufgabentypen basierten auf modifizierten Testverfahren, dem Konzentrations-Leistungs-Test (Dücker & Lienert, 1965) und dem Zahlen-

Verbindungs-Test (Oswald & Roth, 1987). Beide Verfahren dienten ausschließlich dazu, eine einheitliche und standardisierte Beschäftigung der Schüler zu gewährleisten und wurden nicht zur Messung der Zielgröße Hyperaktivität verwendet.

In den nächsten 15 Minuten fand eine Gruppenarbeitsphase statt. Die Klasse wurde in zwei Teams aufgeteilt: linke gegen rechte Klassenhälfte. Diese räumliche Aufteilung war vorteilhaft, da sie nicht aufwändig ist und gruppendynamische Verhaltensweisen unterstützt (vgl. Stroebe & Jonas, 2003; Witte, 1989). Somit war sofort ersichtlich, wer zu welcher Gruppe gehört. Die beiden Teams traten dann in einem Spiel gegeneinander an, in dem Begriffe umschrieben, gezeichnet oder pantomimisch dargestellt werden müssen. Dazu wurde eine modifizierte Variante des Gesellschaftsspiels Activity (Piatnik, 2007) verwendet, in dem Begriffskarten für verschiedene Altersgruppen enthalten sind. Die Verhaltensbeobachtung BASYS wurde über das Videomaterial der gesamten Testmodule durchgeführt, wobei das Kommunikationsspiel für solche Verhaltensweisen vermehrt Gelegenheit bot. Während der Testungen sorgte der Testleiter, unterstützt durch den jeweils anwesenden und zuvor gebrieften Lehrer, für die Aufrechterhaltung des Settings. Störungen durch aggressive Verhaltensweisen und Unruhe wurden toleriert, wenn sie die Fortführung des Settings nicht gefährdeten oder keine Fremd-/Eigengefährdungen vorlagen, um das Auftreten der zu messenden Verhaltensweisen nicht zu unterbinden. Bei der Durchführung der Testmodule 3 und 4 kam es zu folgenden Abweichungen vom standardisierten Ablauf:

- Im Emilie-Wüstenfeld-Gymnasium fiel im vierten Testmodul die Unterstützung durch die angekündigte Lehrkraft aus, so dass die Testung nur durch den Testleiter ausgeführt wurde. Dies ist für die weitere Auswertung der Daten jedoch unerheblich, da die dort erhobenen Daten aus der Stichprobe ausgeschlossen wurden (vgl. 2.6.1, S. 95).
- Beim ersten Termin dieser Testmodule in der Interventionsklasse der Schule am Eichtalpark fiel die Videokamera komplett aus. Nach einer Verzögerung von 10 Minuten wurde die Testung abgebrochen. Nach längerer Trennung von der Stromzufuhr ließ sich die Kamera jedoch wieder starten, so dass der zweite geplante Testtermin in der Parallelklasse (Kontrollgruppe) pünktlich gestartet werden konnte. Die Testung in der Interventionsgruppe

wurde in der dritten Stunde (10:05 Uhr) nachgeholt, da dies eine höhere Vergleichbarkeit zur Kontrollgruppe gewährleistete als bei einer Ersatztestung an einem anderen Tag. Fortan wurde eine Ersatzkamera vom Testleiter mitgeführt.

- In der Interventionsklasse der Grundschule führte ein Blackout beim Kommunikationsspiel bei einem Schüler zu Tränen, dieser konnte aber rasch durch die Klassenlehrerin und eine Mitschülerin getröstet werden.

Ansonsten traten keine besonderen Vorkommnisse auf und der Ablauf fand wie beschrieben statt. Alle Schüler erhielten gleichermaßen nach dem jeweiligen Testtermin einen Fruchtsaft als Dankeschön für die Teilnahme.

#### **2.6.1.5. Prozess- und Einstellungsvariablen**

Die **schülerbezogenen Daten** wurden wie beschrieben am Anfang der Testmodule 1 und 2 (vgl. 2.6.1.3, S. 98) sowie am Ende des Post-Fragebogens (vgl. 2.6.1.1, S. 96) erhoben. Eine Ausnahme bei der Beantwortung des Fragebogens im eigenen Tempo unter der bisherigen Beleuchtungssituation stellten die Items zum Gefallen der Lichtprogramme dar. Diese wurden nur in den Interventionsklassen unter Verwendung des jeweiligen Lichtprogramms erhoben.

Die **Lehrerbefragung** wurde in Form von Fragebögen durchgeführt, die den Lehrern per Post in die Schule geschickt wurden. Die Lehrer beantworteten die Fragebögen zu Hause oder in Pausen in der Schule und sandten diese in den beigefügten Rückumschlägen zurück. Die Befragung fand im Februar 2009 statt.

Das **Licht- und Unterrichtsprotokoll** wurde von den Lehrern insgesamt zweimal je eine Woche lang am Stück geführt: vom 10.12. bis 15.12.07 und vom 2.6. bis 5.6.2008. Das Lehrerprotokoll wurde vorab eng mit den beteiligten Lehrern abgestimmt und zusammen entwickelt, um eine hohe Akzeptanz

zu erreichen. Jeder Lehrer benutzte pro Tag einen Protokollbogen, der auf seinen Stundenplan abgestimmt war. Der Versand erfolgte per Post. Die ausgefüllten Bögen wurden im Schulbüro hinterlegt und vom Testleiter bei Terminen vor Ort eingesammelt. Dieses Verfahren führte in einigen Fällen zu Schwierigkeiten bei der Rückführung der Protokolle, so dass bei der zweiten Protokollführung beschriftete und frankierte Rückumschläge für jeden Lehrer beigelegt wurden.

#### **2.6.1.6. Kontrollgrößen**

Die Erhebung der schülerbezogenen und zeitstabilen Störgrößen fand als Teil der Prä-Befragung (vgl. 1.1.1.1, S. 96) und ergänzend zu Kurzfragebögen in den Testmodulen statt. Klassenspezifische Kontrollgrößen wie z. B. Sitzplatzveränderung, zeitsensible Kontrollgrößen, wie z. B. Tageslicht oder momentaner Gesundheitszustand wurden, entsprechend während des Ablaufes der Testmodule erhoben (vgl. 2.6.1.2, S. 96).

#### **2.6.2. Laborstudie**

Die Versuche unter Laborbedingungen mit freiwilligen Teilnehmern fanden vom 5.12.2008 bis zum 9.7.2009 im Seminarraum der Kinder- und Jugendpsychosomatik des Universitätsklinikums Hamburg-Eppendorf statt. Die Teilnehmer wurden über Aushänge und die Internetseite des Fachbereichs Psychologie an der Uni sowie über persönliche Kontakte des Testleiters angeworben. Die Psychologiestudierenden erhielten drei Versuchspersonenstunden, die zum Abschluss des Vordiploms / Bachelor benötigt werden. Teilnehmer, die diese nicht benötigten, oder gemischte Gruppen erhielten Sandwiches nach der Testung. Ab dem 10.6.2009 erhielten alle Teilnehmer, die keine Vp-Stunden benötigten, auch rückwirkend eine Senseo II Kaffeemaschine. Diese wurden von Philips zur Verfügung gestellt. Die Interessenten wurden nach Terminpräferenzen zu Teilnehmergruppen von drei oder vier Personen zusammengestellt. Termine waren mittwochs und donnerstags zwischen 16 und 18 Uhr (Beginn) möglich. Die zusammengestellten Teilnehmergruppen wurden zunächst per Zufall auf die Experimentalgruppe (EG) oder die Kontrollgruppe (KG) aufgeteilt. Zwischenzeitlich wurde

festgestellt, dass die Medizinstudenten, die überdurchschnittlich gut im d2 Test abschnitten, nicht gleichmäßig auf beide Gruppen verteilt waren. Deshalb wurden dann verstärkt Medizinstudenten mit den Incentives geworben und diese gleichmäßig auf beide Gruppen verteilt (adaptiv-randomisierte Zuteilung).



Abbildung 14

*Teilnehmer der Laborstudie*

Bevor die Teilnehmer eintrafen, wurde die Raumtemperatur vom Testleiter so reguliert, dass sie im Bereich von 20-22 Grad Celsius lag. Weiter wurde das Tageslicht direkt an einem südseitigen Fenster gemessen, der Raum verdunkelt, die erste verwendete Lichtsituation eingestellt (EG: „DL3 Konzentriertes Arbeiten“ / KG: DL1 „bisherige Beleuchtungslösung“), die Kamera aufgebaut sowie Getränke und Erfrischungen für die Teilnehmer bereitgestellt. Die Testteilnehmer, die in der Regel kurz nacheinander eintrafen, wurden vom Testleiter empfangen und gebeten, gemeinsam mit dem Testleiter zu warten, bis die übrigen Teilnehmer eingetroffen waren. Aufgrund von Verzögerungen (mehr als 15 min.) musste kein Teilnehmer ausgeschlossen werden. Bei kurzfristigen Absagen konnten entsprechende Ersatzteilnehmer einspringen.

Die Teilnehmer füllten in den ersten 10 Minuten den Teil des Fragebogens aus, der die Kontrollgrößen erhob. Somit waren die Wirkungsdauer des Lichts und möglichst vergleichbare Ausgangsbedingungen gewährleistet. Der d2 Test wurde gemäß der Instruktion erklärt und durchgeführt. Direkt nach jedem Test beantworteten die Probanden drei Fragen im Testheft, die danach fragten, wie es ihnen nach dem Test ging. Es folgte eine kurze Pause von ca. 3 bis 5 Minuten, je nach Bedarf der Teilnehmer. In allen Pausen hatten die Teilnehmer Gelegenheit zu essen und zu trinken. Der Lesetest LGVT wurde gemäß der Instruktion erklärt und durchgeführt. Nach Ende des Tests erhielten die Teilnehmer wieder die drei Fragebogenfragen, die danach fragten, wie es ihnen direkt nach der Testung ging.

Bei der EG wurde nun das Lichtprogramm auf DL5 „Beruhigen“ gewechselt, die KG behielt weiter DL1 „bisherige Beleuchtung“. Es wurde eine kurze Pause gemacht. Der Rechentest wurde vom Testleiter an der Tafel erklärt. Die Erklärung blieb während der Durchführung an der Tafel stehen, so dass die Teilnehmer sich jederzeit über die Regeln des Rechenverfahrens informieren konnten. Beide Gruppen erhielten vom Testleiter eine Vereinfachung der Regel in Form von Faustregeln. Nach der Durchführung der Rechenaufgaben, nach fünf Minuten, folgten ebenfalls die drei Fragen zur Befindlichkeit und es gab wieder eine kurze Pause. Das Zahlenverbinden wurde vom Testleiter ebenfalls an der Tafel erklärt. Das Zahlenverbinden wurde von den Teilnehmern in 2.5 Minuten ausgeführt. Die Teilnehmer wurden wiederholt im Fragebogen nach der Befindlichkeit befragt und es wurde eine Pause gemacht. Das Kommunikationsspiel wurde vom Testleiter erklärt. Dabei handelte es sich um Activity-Karten (Piatnik, 2007). Die Spielregeln wurden leicht abgewandelt: Der Gruppe wurde erklärt, dass sie nun ein Team seien und bei dieser Übung so viele Punkte wie möglich erreichen sollten. Jeder Teilnehmer der Gruppe müsse über zwei Runden den anderen einen Begriff umschreiben, pantomimisch darstellen oder malen. Sei der Begriff richtig geraten worden, gebe es einen Punkt. Pro Runde könne jeder Teilnehmer eine Karte ohne Punktabzug weglegen. Eine Runde dauere die Länge einer Sanduhr.

Der letzte Teil der Untersuchung war ein Fragebogenteil zum Gefallen der einzelnen Lichtprogramme. Die Teilnehmer wurden vom Testleiter gebeten, mit der Beantwortung der jeweilige Frage zu warten, bis das entsprechende Lichtprogramm eingestellt war und sich die Augen an die neue Lichtsituation gewöhnt hatten. Die restlichen Fragen zur Ökonomie und Ökologie wurden unter Standardlicht beantwortet. Der Testleiter bedankte sich bei den Teilnehmern. Die Teilnehmer bekamen nun entweder VP-Stunden ausgestellt oder die Kaffeemaschinen überreicht und hatten nun die Möglichkeit, Fragen zur Untersuchung zu stellen.

## **2.7. Vortest**

Beim Feldversuch waren keine Vortests möglich. Gleichwohl wurden die standardisierten Abläufe der Testungen vom Testleiter mit Mitarbeitern geübt. Für die Ergänzungsstudie im Labor kann die Feldstudie als Vortest angesehen werden.

## **2.8. Ethik**

Die Feldstudie wurde eng mit der damaligen Schulsenatorin Frau Alexandra Dinges-Dierig und der Leitung der Behörde für Bildung und Sport abgestimmt und gemeinsam mit der Behörde durchgeführt. Weiter holten die Schulleiter die Einverständniserklärungen der Eltern von den beteiligten Schülern ein. Auf einen Ethikantrag bei der Ärztekammer wurde verzichtet, da durch die gegebenen Lichtsituationen keine medizinische Indikation erfolgte, keine medizinische Untersuchungen stattfanden und keine Patienten involviert waren. Diese Auffassung teilt die Ärztekammer Hamburg (persönliche Mitteilung, 07.10.2009). Dieses galt auch für das identische Vorgehen bei der nachfolgenden Laborstudie. Auf die Abstimmung mit der Schulbehörde und den Eltern konnte hier verzichtet werden, da keine Schüler teilnahmen, sondern volljährige, freiwillige Teilnehmer.

## 2.9. Auswertungsverfahren

Als Hauptanalyseverfahren für die Überprüfung der Hypothesen wurde die Kovarianzanalyse verwendet. Das Verfahren basiert bei der hier vorliegenden Anwendung auf der kovarianzanalytischen Überprüfung des Post-Gruppeneffektes unter Berücksichtigung der Ausgangswerte und optional weiterer Kontrollgrößen als Kovariaten. Dieses Vorgehen wurde einer Varianzanalyse mit Messwiederholungen vorgezogen, weil auf diese Weise der Einfluss der Ausgangswerte weitestgehend vollständig „neutralisiert“ wird und optional die Kontrolle von mehreren Kontrollgrößen mit kleineren Stichprobengrößen als bei mehrfaktoriellen Verfahren möglich ist (vgl. Bortz & Schuster, 2010). Eine Ausnahme stellt die optische Bewegungsmessung zur motorischen Unruhe dar, bei der ein situationspezifischer Verlauf mit mehreren Messzeitpunkten erhoben wurde (s. u.). Bei Hypothesen, die eine Verbesserung der Zielgrößen postulieren, wird einseitig mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit von 5 % getestet. Bei Hypothesen, die eine unbestimmte Veränderung postulieren, wird mit einer ebensolchen Irrtumswahrscheinlichkeit zweiseitig getestet. Die statistischen Berechnungen erfolgten mit SPSS 15.0 für Windows.

Die berechneten „partial eta-squared“ Werte sind aufgrund der verwendeten einfaktoriellen Kovarianzanalysen mit „eta-squared“ Werten identisch (vgl. z.B. Levine & Hullett, 2002) und können nach Cohen (1973) als große, mittlere und kleine Effekte interpretiert werden. Erwartet werden mindestens kleine Effektgrößen nach Cohen (1988). Kleine Effektgrößen wurden aufgrund des explorativen Charakters der Feldstudie und aufgrund der Vielzahl an anderen Wirkfaktoren im Setting Schule als ausreichend angesehen. Des Weiteren besitzen auch kleine Effekte eine nicht unerhebliche praktische Relevanz für die Leistungen der Schüler, wie die deskriptiven Darstellungen der Ergebnisse verdeutlichen (vgl. z.B. 3.3.1.1, S. 119).

Die Voraussetzungen für das kovarianzanalytische Verfahren wurden nach Bortz und Schuster (2010) überprüft:

- 1) Die Normalverteilung der Zielgrößen wurde über Inspektion der Verteilungsform und dem Kolmogorov-Smirnov-Test (KS-Test) mit Lilliefors-Korrektur überprüft. In fünf von 26 Fällen wurde eine Abweichung von der Normalverteilung beobachtet (vgl. Tabelle 29, S. 208). Der KS-Test wurde in 22 von 26 Fällen signifikant ( $p < .050$ ).
- 2) Die Gruppengrößen sind vergleichbar (vgl. Tabelle 29, S. 208).
- 3) Die Varianzhomogenität der Gruppen wurde mit dem Levene-Test überprüft (siehe Tabelle 30, S. 209). Bei fünf von 13 Zielgrößen war keine ausreichende Varianzhomogenität gegeben, der Test wurde signifikant ( $p < .050$ ).
- 4) Eine mindestens kleine Korrelation zwischen Kovariate und Zielgröße (Tabelle 31, S. 210) war in sechs von 39 Fällen nicht gegeben.
- 5) Im Falle von Messwiederholungen, wie bei den Bewegungsmessungen im Modul 3 und 4, waren mindestens kleine Korrelationen zwischen den einzelnen Messzeitpunkten gegeben (siehe Tabelle 32 und Tabelle 33, S. 212).
- 6) Eine Abweichung der Innerhalb-Regressionen von höchstens  $\beta \leq .40$  wurde in geringfügiger Größe in vier von 39 Fällen festgestellt (Tabelle 34, S. 213).
- 7) Gleichsinnigkeit der Regression innerhalb und zwischen den Gruppen (siehe Tabelle 35, S. 215). Bei 16 von 39 der verglichenen Regressionen wurde eine unterschiedliche Richtung und somit eine Verletzung der Voraussetzungen festgestellt.
- 8) In Tabelle 36 auf S. 217 ist die Überprüfung der Normalverteilung der Regressionsresiduen dargestellt. Das Ergebnis des KS-Tests zeigt nur in 10 von 39 Fällen

eine Annahme der Normverteilung. Die Überprüfung von Verteilungsform (hier nicht dargestellt), Schiefe und Kurtosis zeigt dagegen in 11 von 39 Fällen eine geringfügige Verletzung.

Aufgrund der festgestellten Abweichungen von den Voraussetzungen für kovarianzanalytische Verfahren, wurden die Zielgrößen mit dem natürlichen Logarithmus (ln) entsprechend Schmidt (2010) transformiert und die Voraussetzungen erneut überprüft. Die kovarianzanalytische Überprüfung der transformierten Werte zeigte vergleichbare Ergebnisse, wie die der untransformierten Werte. Aufgrund der besseren Transparenz von untransformierten Werten (vgl. Tabachnick & Fidell, 2007), wurde die weitere Darstellung auf diese beschränkt. Für die Laborstudie wurden die Voraussetzungen für die verwendeten kovarianzanalytischen Verfahren in gleicher Weise überprüft (siehe Tabelle 37, S. 219 bis Tabelle 43, S. 227) und bei Abweichungen ebenfalls eine Transformation (ln) vorgenommen. Wie bei den Schuluntersuchungen sind hier die Ergebnisse der kovarianzanalytischen Überprüfung der transformierten und untransformierten Laborwerte vergleichbar.

Zunächst werden bei der Darstellung der Ergebnisse die jeweiligen Analysen ohne Berücksichtigung von Kontrollgrößen vorgenommen, weil diese deskriptiven Werte im Schulalltag relevant sind. So können sich beispielsweise die Schüler nicht die ungünstige Raumtemperatur auf das Ergebnis ihrer Leistung in Mathematik anrechnen lassen. Als Kovariaten dienten lediglich die jeweiligen Ausgangswerte. Die Messdaten wurden hier nur minimal um die Extremwerte getrimmt, um das Outcome möglichst praxisnah zu messen. Minimal getrimmt heißt, es wurden Ausreißer mit mehr als 1,5-facher Abweichung vom 95. bzw. 5. Perzentil der Interventions- oder Kontrollgruppe ausgeschlossen. Als Ausgangswerte werden bei der Langzeitmessung die Prä-Werte der primären und sekundären Zielgrößen bezeichnet. Bei den Testmodulen der primären Zielgrößen Aufmerksamkeit/Konzentration und Aggression / prosoziale Verhaltensweisen wurden als Ausgangswerte für alle Klassen die Ergebnisse der Messung unter Kontrollbedingungen herangezogen, die ungefähr einen Monat zuvor erhoben wurden. Anders verhält es sich bei der Messung Hyperaktivität (motorische Unruhe). Hier wurde als Ausgangswert der erste Messzeitpunkt

im Zeitverlauf des jeweiligen Testmoduls verwendet. Dieses Vorgehen hat den Vorteil, dass ein zeitnaher Bezugspunkt zu den situativ abhängigen Ausgangspunkten der motorischen Unruhe berücksichtigt werden konnte.

Entsprechend wissenschaftlicher Analysen wurden in einem weiteren Rechenschritt die Haupteffekte aller primären und sekundären Zielgrößen unter Berücksichtigung der Ausgangswerte und der Kontrollgrößenskalen untersucht, um die Aussagekraft zur internen Validität zu erhöhen. Bei der kovarianzanalytischen Überprüfung der Effekte mit Berücksichtigung weiterer Kontrollgrößenskalen wurden die jeweiligen Ausgangswerte sowie die beiden Kontrollgrößenskalen mit der höchsten Regression auf die jeweilige Zielgröße berücksichtigt. Ausreißer wurden hier für eine angemessene Bereinigung der Daten winsorisiert. Dabei erhielten alle Werte unter dem 5. Perzentil den Wert des 5. Perzentils und alle Werte über dem 95. Perzentil erhielten den Wert des 95. Perzentils. Fehlende Werte in den Zielgrößen wurden nicht ersetzt, um die Signifikanzmessungen nicht zu beeinflussen. Fehlende Werte in den Kontrollgrößen wurden durch den Expectation-Maximation-Algorithmus ersetzt. Bei diesem werden fehlende Werte geschätzt und ersetzt, unter der Berücksichtigung des vorliegenden Mittelwertes, der Streuung und der Korrelation zu anderen Variablen. Das Modell zur Schätzung der fehlenden Werte wird dabei so lange angepasst bis der neue Mittelwert, die Streuung und die Korrelationen möglichst ähnlich zum originalen Datensatz sind (vgl. Little & Rubin, 2002; Wirtz, 2004). Für die Ersetzung von fehlenden Werten in den Kontrollgrößenskalen der vorliegenden Arbeit wurden die anderen Kontrollgrößenskalen herangezogen und bei 25 Iterationen (maximal 25-facher Anpassung des Modells) ermittelt.

Die Prozess- und Einstellungsvariablen wurden überwiegend deskriptiv, ohne Bereinigung von Extremwerten und Ersetzung fehlender Werte, beschrieben. Unter anderem werden auch die berichteten Erfahrungen der Schüler und Lehrer exemplarisch wiedergegeben und qualitativ ausgewertet.

Die Laborstudie diente zum komplementären Vergleich der gefundenen kurzfristigen Effekte in der Schulstudie. Anders als in der Feldstudie wurden bei der Darstellung der Ergebnisse der Laborstudie gleich die Kontrollgrößenskalen als Kovariaten berücksichtigt, da diese ausschließlich Abweichungen

von den erzeugten Laborbedingungen sind und nicht, wie im Feldtest, natürliche Einflüsse auf den alltäglichen Schulunterricht in der Praxis darstellen. Die Berücksichtigung von Ausgangswerten als Kovariaten entfiel aufgrund des querschnittlichen Designs der Laborstudie. Um Störungen durch Extremwerte zu vermeiden, wurden die Daten zuvor auf gleiche Weise wie in der Schulstudie winsorisiert. Eine Ersetzung von fehlenden Werten fand aufgrund vollständiger Angaben aller Teilnehmer nicht statt. Die Auswertung der Prozess- und Einstellungsvariablen der Laborstudie erfolgte analog zur Feldstudie. Die Pilotvalidierung des für diese Studie entwickelten optischen Messverfahrens für motorische Unruhe „Childmove“ wird schwerpunktmäßig mit deskriptiven und korrelativen Methoden beschrieben, ebenso wie eine Pilotstudie, die als Vortestung für einen geplanten hormonellen Wirkungsnachweis durchgeführt wurde.

## 2.10. Merkmale der Feld- und Laborstudie

In Tabelle 11 soll ein zusammenfassender Überblick über die zuvor dargestellten methodischen Merkmale der Feld- und der Laborstudie gegeben werden. Die Abweichungen zwischen Feld- und Laborstudie werden im Abschnitt Methodische Kritik diskutiert (siehe 4.2.2, S. 178).

Tabelle 11: *Übersicht über die Lichtprogramme des Dynamischen Lichts in der Schulstudie*

<b>Merkmal</b>	<b>Schulstudie</b>	<b>Laborstudie</b>
<b>Design</b>	quasiexperimentell	experimentell
- kontrollierte Studie	ja	ja
- Vorgehen	längs- und querschnittlich	querschnittlich
- Zuteilung auf Untersuchungsgruppe	natürliche Schulklassen wurden exemplarisch ausgewählt	response-adaptiv randomisierte Zuteilung
- Untersuchungszeitraum	lang- und kurzfristig	kurzfristig
- Messwiederholung	ja	nein <sup>1</sup>
- Datenerhebungsverfahren		
- Befragung	ja	ja
- Leistungstest	ja	ja
- Interviews	ja	nein
- Aktendaten	ja	nein
- physikalische Messung	ja	ja
<b>Variablen und Operationalisierung</b>		
- unabhängige Variable Licht <sup>2</sup>		
- DL 1 Vergleichssituation „vorher“	300 lx / 4000 K	500 lx / 3200 K
- DL 3 „Konzentriertes Arbeiten“	1060 lx / 5800 K	1300 lx / 5600 K
- DL 5 „Beruhigen“	325 lx / 3500 K	600 lx / 3000 K
	Aufmerksamkeit/Konzentration:	Aufmerksamkeit/Konzentration:
	- d2 Test (Brickenkamp, 2002)	- d2 Test (Brickenkamp, 2002)
	- ELFE1-6 (Lenhard & Schneider, 2006) oder LGVT6-12 (Schneider, Schlagmüller & Ennemoser, 2007)	- LGVT6-12 (Schneider, Schlagmüller & Ennemoser, 2007)
- abhängige Variablen (Überprüfung kurzfristiger Wirkung)	Hyperaktivität:	Hyperaktivität:
	- optische Bewegungsmessung Childmove (Wessolowski, Barkmann & Koenig, 2010; 2011)	optische Bewegungsmessung Childmove (Wessolowski, Barkmann & Koenig, 2010; 2011)

<b>Merkmal</b>	<b>Schulstudie</b>	<b>Laborstudie</b>
- abhängige Variablen (Überprüfung kurzfristiger Wirkung)	Aggression: - Verhaltensbeobachtung BASYS (Wettstein, 2008)	Aggression: - Verhaltensbeobachtung BASYS (Wettstein, 2008)
- abhängige Variablen (Überprüfung langfristiger Wirkung)	<p>Aufmerksamkeit/Konzentration: - entfällt (vgl. 2.3.1.1, S. 68)</p> <p>Hyperaktivität: - Conners Rating Scales (Steinhausen, 2004)</p> <p>Aggression: - YSR (Döpfner et al., 1998)</p> <p>allgemeines Wohlbefinden: - HBSC (Ravens-Sieberer &amp; Thomas, 2002)</p> <p>Klassenklima: - FEES (Rauer &amp; Schuck, 2003)</p>	entfällt
<b>Kontrollgrößen</b>	9 Skalen	13 Skalen
<b>Stichprobenansatz</b>	n = 110 Schüler - n = 60 Grundschüler - n = 50 Haupt- und Realschüler n = 11 Lehrer	n = 95 Erwachsene
<b>Datenerhebung</b>		
- Anzahl und Art	2 Befragungen und 4 Testmodule	eine Testung
- Dauer	jeweils ca. 45 Min	ca. 60 min
- Zeit	Do oder Fr zwischen 8 und 10 Uhr	Mi und Do zwischen 16 und 18 Uhr
- Untersuchungszeitraum	30.10.2007-30.6.2008	5.12.2008-9.7.2009
- Setting	im Klassenverband in gewohnter Umgebung	in Kleingruppen von 3-4 Teilnehmern in einem Laborraum
<b>Vortest</b>	nein	ja, Schulstudie
<b>Auswertungsverfahren</b>	deskriptiv, kovarianzanalytisch und qualitativ	deskriptiv, kovarianzanalytisch und qualitativ

*Anmerkungen.* 1. Eine Ausnahme stellte die Verlaufsmessung der motorischen Unruhe dar. 2. Die Darstellung beschränkt sich in der Schulstudie auf die in den Testmodulen verwendeten Lichtprogramme.

## 3. Ergebnisse

### 3.1. Art der Ergebnisdarstellung

Der erste Teil der **Hauptergebnisse** stellt die Ergebnisse der Feldstudie dar. Hier erfolgt die Auswertung des Langzeiteffektes (9 Monate Prä-Post) zunächst ohne Berücksichtigung der Kontrollgrößen. Ebenso werden die Testmodule zunächst ohne Berücksichtigung der Kontrollgrößen ausgewertet. In einem weiteren Rechenschritt wurden die Haupteffekte aller primären und sekundären Zielgrößen unter Berücksichtigung der Ausgangswerte und der Kontrollgrößenskalen untersucht (siehe 3.3.1.6, S. 132). Schließlich werden die Prozess- und Einstellungsvariablen (siehe 3.3.1.7, S. 136) überwiegend deskriptiv, ohne Bereinigung von Extremwerten und Ersetzung fehlender Werte, beschrieben.

Im zweiten Teil der Hauptergebnisse werden die Ergebnisse der Laborstudie gezeigt (siehe 3.3.2, S. 143).

In den **Nebenergebnissen** wird die Pilotstudie zur hormonellen Wirksamkeit dargestellt (siehe 3.4.1, S. 160) und die Pilotvalidierung des für diese Studie entwickelten optischen Messverfahrens für motorische Unruhe Childmove beschrieben (siehe 3.4.2, S. 167).

### 3.2. Stichprobenbeschreibung

#### 3.2.1. Feldstudie

Wie dargestellt (vgl. 2.6, S. 95), wurde das Emilie-Wüstenfeld-Gymnasium aus der Auswertung des Feldversuchs komplett heraus genommen, um für jeden Untersuchungsabschnitt einheitlich und in gleicher Weise Daten, die unter identischen Untersuchungsbedingungen erhoben wurden, auszuwerten. Die Stichprobe umfasst somit insgesamt 110 Schüler und 11 Lehrer aus den Schulen in

der Alten Forst und am Eichthalpark. Das durchschnittliche Alter beträgt bei den Grundschulern acht und bei den Realschülern sechzehn Jahre. Die Geschlechtsverteilung in der Haupt- und Realschule am Eichthalpark ist völlig ausgeglichen, wohingegen die männlichen Schüler in beiden Klassen der Grundschule in der Alten Forst mit ca. 60 % geringfügig häufiger vertreten sind. Die Klassengrößen der Haupt- und Realschule (n = 25 Schüler) und der Grundschule (n = 30 Schüler) variieren um 5 Schüler. Keine nennenswerten Abweichungen zwischen den Schulen sind hinsichtlich des sozialen Status feststellbar. Ein zweiseitiger Migrationshintergrund ist in der Haupt- und Realschule am Eichthalpark insgesamt ca. 15 % häufiger feststellbar als in der Grundschule. In der Grundschule in der Alten Forst ist in der Interventionsklasse der zweiseitige Migrationshintergrund um 9 % häufiger als in der Kontrollklasse (siehe Tabelle 12).

Aufgrund der geringen Fallzahlen wurde eine inferenzstatistische Überprüfung der Unterschiede zwischen der Interventionsgruppe (IG) und der Kontrollgruppe (KG) auf die Gesamtstichprobe beschränkt. Dabei wurde kein bedeutsamer Unterschied in den oben genannten Merkmalen festgestellt.

Tabelle 12

*Übersicht Stichprobenmerkmale der Schüler pro Schule und der Gesamtstichprobe*

	Grundschule in der Alten Forst		Haupt- und Realschule am Eichthalpark		Gesamtstichprobe		
	IG	KG	IG	KG	IG	KG	Signifikanztest
n	30	30	25	25	55	55	$X^2 = 0.010, p = .922$
Alter M (SD)	8.1 (0.44)	8.4 (0.57)	15.6 (0.82)	15.9 (1.11)	11.5 (3.80)	11.6 (3.82)	$T = 0.014, p = .907$
Geschlecht w/m (%)	38/62	40/60	50/50	50/50	43/57	44/56	$X^2 = 0.007, p = .931$
Sozialer Status M (SD)	2.0 (0.14)	1.8 (0.89)	1.8 (1.21)	2.1 (0.83)	1.9 (0.95)	1.9 (0.87)	$T = 0.047, p = .829$
Zweiseitiger Migrationshintergrund (%)	21	12	30	33	27	21	$X^2 = 0.554, p = .457$

*Anmerkungen.* T = zweiseitiger T-Test,  $X^2$  = Chi-Quadrat-Test auf Gleichverteilung.

Weiter wurde die Vergleichbarkeit zwischen den Gruppen hinsichtlich der Erwartung der Ausgangswerte der Messgrößen a priori betrachtet. Die IG hat hoch-signifikant höhere Erwartungen an das Dynamische Licht, als die KG an die Standardbeleuchtung (einfaktorielle Varianzanalyse,  $n = 104$ ,  $F = 29.091$ ,  $df = 1$ ,  $p = .000$ ,  $\eta^2 = .222$ ). Die Gefahr eines Placeboeffekts bei den Untersuchungen durch die unterschiedliche Erwartungshaltung lässt sich somit nicht mit vollständiger Sicherheit ausschließen, doch wird diese als Kontrollgröße berücksichtigt und ggf. durch die gewählten kovarianzanalytischen Verfahren herauspartialisiert.

Der Vergleich zwischen der IG und der KG bei der Prä-Messung zeigt keine nennenswerten Unterschiede in den Zielgrößen (siehe Tabelle 13). Ausnahmen stellen lediglich die Ausgangswerte der Vergleichsmessung motorische Unruhe (Modul 3) und die Selbsteinschätzung der hyperaktiven Verhaltensweisen dar (siehe Tabelle 13). Bei letzteren wird der Einfluss der Ausgangswerte durch die gewählten kovarianzanalytischen Verfahren bei gegebenen Voraussetzungen (vgl. 2.9, S. 107) herauspartialisiert. Bei den Bewegungsmessungen wird der Einfluss der Ausgangswerte dagegen nicht als Kovariate herangezogen, weil (ko-)varianzanalytische Verfahren mit Messwiederholungen verwendet wurden. Das Ergebnis dieser Verfahren ist somit stark abhängig von den Ausgangswerten. In der entscheidenden Haupttestung im Modul 4 unter Experimentalbedingungen für die IG und Kontrollbedingungen für die KG sind die Ausgangswerte aber vergleichbar (3.3.1.3, S. 124). Die Testung der Bewegung unter Vergleichsbedingungen wurde als Testlauf für das neu entwickelte Verfahren durchgeführt und sollte mögliche klassentypische Verlaufsmuster aufzeigen. Die situative Beeinflussung von den Ausgangswerten der Bewegungsmessung wird in der Diskussion der Hauptergebnisse noch einmal näher betrachtet (vgl. 4.3, S. 175).

Keine Klasse weist a priori bedeutsame Unterschiede von mehr als zwei Standardabweichungen zu den jeweiligen Normen der verwendeten Messinstrumente auf. Lediglich schätzen sich die Schüler der Gesamtstichprobe etwas gesünder als die Normpopulation ein. Dies betrifft insbesondere die Kontrollklasse der Haupt- und Realschule (siehe Tabelle 13), wohingegen sich dort die Interventionsklasse etwas schlechter einschätzt.

Tabelle 13: Übersicht über a priori Merkmale der Schulklassen und der Gesamtstichprobe sowie entsprechende Normwerte.

	G Alte Forst		HRS Eichtalpark		Gesamtstichprobe						Referenzwerte BRD	
	IG M (SD)	KG M (SD)	IG M (SD)	KG M (SD)	IG M (SD)	KG M (SD)	F	df	p	$\eta^2$	Grundschüler	HRS Schüler
Primäre Messgröße Aufmerksamkeit/Konzentration (Modul 1, Vergleichsbedingungen für beide Klassen)												
d2 Fehler – gesamt (F)	15.4 (18.52)	16.7 (17.41)	24.2 (23.60)	25.6 (23.20)	19.3 (21.19)	20.3 (20.19)	0.058	1	.809	.001	11 (k.A.) <sup>a</sup>	15 (k.A.) <sup>a</sup>
d2 Auslassungsfehler (F1)	8.4 (10.25)	11.3 (13.89)	21.8 (20.40)	23.0 (19.70)	14.4 (16.80)	16.0 (17.28)	0.224	1	.637	.002	k.A. <sup>a</sup>	k.A. <sup>a</sup>
d2 falsch markierte Zeichen (F2)	4.2 (5.70)	5.4 (6.47)	1.1 (1.90)	1.6 (2.30)	2.8 (4.67)	3.8 (5.51)	0.991	1	.322	.010	k.A. <sup>a</sup>	k.A. <sup>a</sup>
d2 markierte Zeichen (GZ)	271.0 (44.22)	262.8 (40.47)	417.9 (66.20)	459.9 (66.10)	336.0 (91.61)	341.6 (110.38)	0.079	1	.779	.001	294 (k.A.) <sup>a</sup>	431 (k.A.)
Leseverständnis	13.1 (4.16)	12.7 (4.20)	9.9 (5.80)	12.7 (6.19)	47.1 (9.29)	48.7 (9.25)	0.715	1	.400	.007	10.7 (4.48) <sup>b</sup>	12.0 (k.A.) <sup>c</sup>
Lesegeschwindigkeit	15.6 (4.14)	14.5 (3.79)	779.8 (309.81)	874.5 (321.30)	48.8 (9.78)	48.1 (8.94)	0.143	1	.706	.001	k.A. <sup>b</sup>	707.5 (k.A.) <sup>c</sup>
Primäre Messgröße Hyperaktivität (Modul 3, Vergleichsbedingungen für beide Klassen)												
Motorische Unruhe (nach 2.5 Minuten)	435.1 (300.06)	1516.1 (748.81)	476.3 (597.80)	1453.6 (717.30)	451.1 (432.62)	1489.3 (722.57)	50.972	1	.000	.451	-	-
Primäre Messgröße Aggressivität (Modul 3, Vergleichsbedingungen für beide Klassen)												
Aggression (Beobachtung)	0.3 (0.61)	0.0 (0.00)	0.4 (0.60)	0.5 (0.70)	0.3 (0.61)	0.2 (0.54)	0.288	1	.593	.004	-	-
prosoziales Verhalten (Beobachtung)	0.1 (0.49)	0.3 (0.70)	0.3 (0.40)	0.7 (0.90)	0.2 (0.46)	0.5 (0.82)	3.685	1	.059	.050	-	-
Primäre und sekundäre Zielgrößen zum Fragebogen der Langzeitwirkung (Prä-Befragung)												
Aggression	0.3 (0.22)	0.3 (0.23)	0.4 (0.20)	0.4 (0.30)	0.3 (0.22)	0.4 (0.26)	1.973	1	.163	.019	0.1 (k.A.) <sup>d</sup>	0.1 (k.A.) <sup>d</sup>
Hyperaktivität	0.7 (0.41)	0.9 (0.32)	0.9 (0.40)	1.1 (0.40)	0.8 (0.44)	1.0 (0.38)	6.285	1	.014	.058	0.5 (k.A.) <sup>e</sup>	k.A. <sup>e</sup>
allgemeines Wohlbefinden (hoch % /niedrig % )	90 / 10	87 / 13	71 / 29	91 / 9	80 / 20	89 / 11	1.082	1	.301	.010	81 / 19 <sup>f</sup>	78 / 22 <sup>f</sup>
Klassenklima	2.1 (0.43)	1.9 (0.38)	2.0 (0.5)	1.7 (0.5)	2.1 (0.48)	1.8 (0.40)	1.389	1	.121	.016	2.0 (0.5) <sup>g</sup>	k.A. <sup>g</sup>

*Anmerkungen.* Gruppenunterschied zwischen Untersuchungsgruppen (einfaktorielle Varianzanalyse, zweiseitige Testung), HRS - Haupt- und Realschule, G Grundschule, <sup>a</sup> Brickenkamp (2002), <sup>b</sup> Lenhard & Schneider (2006), <sup>c</sup> Schneider, Schlagmüller & Ennemoser (2007), <sup>d</sup> Döpfner et al. (1998), <sup>e</sup> Huss et al. (2002) - Referenzwerte bezogen auf Fremdurteil (Lehrer), <sup>f</sup> Ottova, Hillebrand & Ravens-Sieberer (2012), <sup>g</sup> Rauer & Schuck (2003).

### 3.2.2. Laborstudie

An den Laboruntersuchungen zur Ergänzung der Feldstudie haben 95 freiwillige Teilnehmerinnen und Teilnehmer teilgenommen. Die Stichprobe bestand zum größten Teil aus Studierenden verschiedener Fachrichtungen. Die größten Anteile haben Psychologie- und Medizinstudierende, mit jeweils 16.8 % Anteil von allen Teilnehmern. Die Berufstätigen sind überwiegend UKE-Mitarbeiter, in absteigender Häufigkeit Psychologen, Ärzte, Assistenten und kaufmännische Berufe. Insgesamt waren drei Viertel der Teilnehmer weiblich und ein Viertel männlich. Das Durchschnittsalter betrug 29 Jahre, war jedoch erwartungsgemäß zwischen Studierenden (25 Jahre) und Berufstätigen (36 Jahre) mit 10 Jahren Differenz sehr unterschiedlich. Eine Übersicht über die Merkmale der Stichprobe wird in Tabelle 14 gezeigt. Hinsichtlich Gruppengröße, Alter, Geschlecht, Anteil der Berufstätigen und Studierenden wurden keine bedeutsamen Unterschiede zwischen der Experimental- und der Kontrollgruppe festgestellt (siehe Tabelle 14).

Durch das breite Alters- und insgesamt breite Berufsspektrum innerhalb dieser Stichprobe und wiederum der hohen Generalisierbarkeit der Effekte in den Stichproben der gesichteten empirischen Literatur bestehen im Großen und Ganzen keine Anhaltspunkte für eine stichproben-spezifische Wirkung.

Tabelle 14

*Übersicht der Stichprobe des Laborversuchs*

	Gesamt	EG	KG	Signifikanztest
n (%)	95 (100)	49 (52)	46 (48)	$X^2 = 0.095, p = .758$
Alter in Jahren (SD)	29.0 (9.05)	29.8 (9.65)	28.1 (8.39)	$T = 0.803, p = .373$
weiblich	74.7 %	75.5 %	73.9 %	$X^2 = 0.032, p = .858$
Studierende	59.0 %	59.3 %	58.7 %	$X^2 = 0.163, p = .687$
Berufstätige	32.6 %	36.7 %	28.3 %	$X^2 = 0.775, p = .379$

*Anmerkungen.* T zweiseitiger T-Test,  $X^2$  Chi-Quadrat-Test auf Abweichung von der Gleichverteilung.

### 3.3. Hauptergebnisse

#### 3.3.1. Feldstudie

##### 3.3.1.1. Primäre Zielgröße Aufmerksamkeit/Konzentration (Testmodul 1 und 2)

Die Ergebnisse des einfaktoriellen kovarianzanalytischen Vergleiches der Interventions- und Kontrollgruppe hinsichtlich der Anzahl bearbeiteter Zeichen, Gesamtfehler, Auslassungsfehler und falscher Zeichen im d2-Aufmerksamkeits-/Konzentrationstest wird in Tabelle 15 gezeigt. Weil insgesamt  $n = 18$  Schüler entweder bei der Prä- oder Postmessung fehlten, reduziert sich die effektive Fallzahl für diese Analysen auf  $n = 94$ . Als Kovariate fungierte der individuelle Ausgangswert der jeweiligen Zielgröße. Die Ergebnisse zeigen einen signifikanten Effekt kleiner Größe für die Gesamtfehlerzahl, der im Wesentlichen auf der Anzahl der Auslassungsfehler sowie auf den bedeutend selteneren falsch markierten Zeichen beruht (vgl. Tabelle 15). Deskriptiv betrachtet bedeutet dies, dass ein Schüler der Interventionsgruppe unter DL 3 „Konzentriertes Arbeiten“ durchschnittlich 32% weniger Gesamtfehler als ein Schüler der Kontrollgruppe unter Standardlicht macht (siehe Abbildung 15). Werden die Auslassungsfehler separat betrachtet, zeichnet sich ein vergleichbares Bild wie bei den Gesamtfehlern ab (siehe Tabelle 15), die Signifikanz wird aber knapp verfehlt. Werden die falsch angestrichenen Zeichen des d2 Tests separat betrachtet, wird ein kleiner Effekt zugunsten der Interventionsgruppe erreicht, die Signifikanz aber knapp verfehlt. Bei der Arbeitsgeschwindigkeit (Anzahl bearbeiteter Zeichen) konnte kein Vorteil zu Gunsten der Interventionsgruppe festgestellt werden. Die Ausgangswerte zwischen den Gruppen weichen lediglich bei den falsch markierten Zeichen leicht ab. Der Einfluss der Ausgangswerte ist jedoch jeweils hochsignifikant (siehe Tabelle 15).

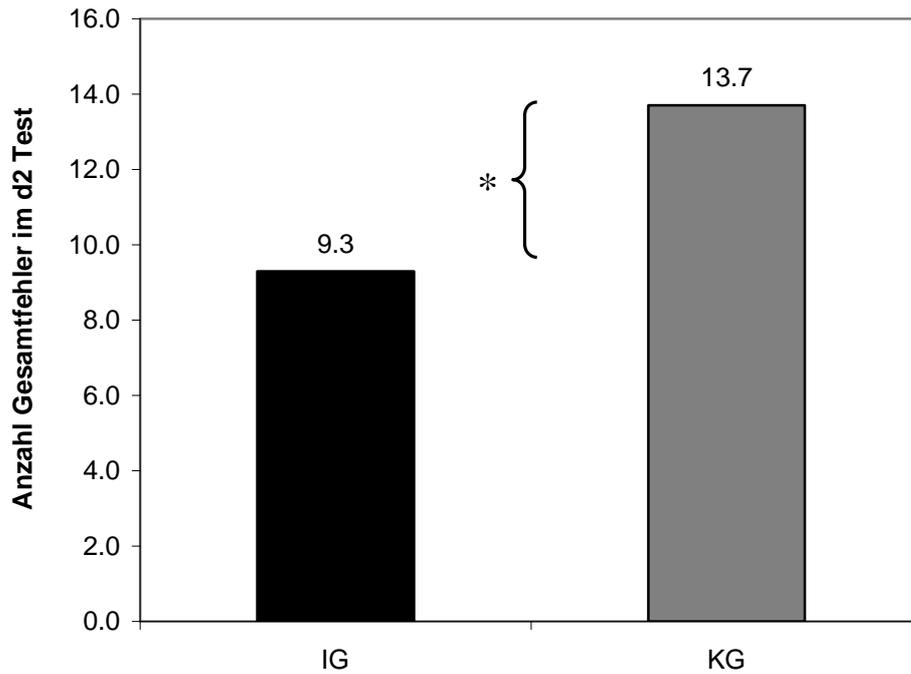


Abbildung 15

*Ergebnis der Gesamtfehler des d2 Tests zwischen IG (Lichtprogramm Konzentriertes Arbeiten) und KG (Lichtprogramm Vergleichssituation „vorher“) zur Postmessung (einfaktorielle Kovarianzanalyse,  $n = 94$ ,  $F = 2.983$ ,  $df = 1$ ,  $p = .044$ ,  $\eta^2 = .034$ )*

Tabelle 15

*Ergebnisse d2 Aufmerksamkeitsbelastungstest (einfaktorielle Kovarianzanalyse)*

Messgröße d2	Prä		Post		F	df	p	$\eta^2$	Kovariate
	IG M (SD)	KG M (SD)	IG M (SD)	KG M (SD)					
F1 Auslassungsfehler	12.3 (13.76)	12.8 (12.56)	8.4 (8.05)	12.5 (13.93)	2.615	1	.055	.030	Ausgangswerte***
F2 falsche Zeichen	1.9 (2.52)	3.7 (5.66)	0.4 (0.62)	1.2 (1.91)	1.665	1	.100	.019	Ausgangswerte***
F Gesamtfehler	16.3 (13.67)	16.4 (13.69)	9.3 (8.25)	13.7 (14.78)	2.983	1	.044	.034	Ausgangswerte***
GZ bearbeitete Zeichen	335.9 (92.64)	343.5 (119.13)	384.0 (113.66)	405.0 (120.11)	1.456	1	.116	.016	Ausgangswerte***

Die Ergebnisse von Aufgaben mit hohem Konzentrationsanteil in alltagsnahen Anwendungen der Schüler am Beispiel der verwendeten Lesetests wird in Tabelle 16 dargestellt. Hier wird im einfaktoriellen kovarianzanalytischen Vergleich der Unterschied zwischen Interventions- und Kontrollgruppe in der Lesegeschwindigkeit und im Leseverständnis beschrieben. Weil, wie oben ausgeführt, Schüler entweder bei der Prä- oder der Postmessung fehlten und dem Alter angemessene, unterschiedliche Lesetests verwendet wurden, reduziert sich die Stichprobe auf  $n = 56$  Grundschüler und  $n = 37$  Haupt- und Realschüler. Das Hauptergebnis des Lesetests, die z-transformierten Ergebnisse beider Teilstichproben, bezieht sich auf  $n = 93$ . Als Kovariate fungieren die Ausgangswerte. Die Ergebnisse zeigen tendenziell einen Vorteil im Leseverständnis für die Interventionsgruppe und einen signifikanten Gruppeneffekt kleiner Größe für die Lesegeschwindigkeit. In der Grundschule konnten keine Effekte festgestellt werden. In der Haupt- und Realschule zeigen die Ergebnisse einen kleinen Effekt (n.s.) im Leseverständnis und einen signifikanten Gruppeneffekt großer Größe für die Lesegeschwindigkeit. Deskriptiv, am Beispiel der Haupt- und Realschule betrachtet, bedeutet dies: Ein Schüler der Interventionsgruppe erreichte bei DL 3 „Konzentriertes Arbeiten“ durchschnittlich 4 % mehr Punkte in den Verständnisfragen des Lesetests als ein Schüler der Kontrollgruppe unter Standardlicht (siehe Abbildung 16). Für die Lesegeschwindigkeit bedeutete dies am gleichen Beispiel, dass ein durchschnittlicher Schüler der Interventionsgruppe unter DL 3 „Konzentriertes Arbeiten“ 20 % mehr Wörter las als Schüler der Kontrollgruppe unter Standardlicht (siehe Abbildung 17). Die Ausgangswerte weisen einen leichten Niveauunterschied in der Haupt- und Realschule zu Ungunsten der Interventionsgruppe auf, ansonsten sind sie in etwa vergleichbar. Der Einfluss der Ausgangswerte ist jedoch jeweils hochsignifikant (siehe Tabelle 16).

Alle beschriebenen signifikanten Ergebnisse der Konzentrations- und Lesetestungen konnten darüber hinaus mit kovarianzanalytischen Verfahren gegen den Einfluss der Kontrollgrößen statistisch abgesichert werden (siehe 3.3.1.6, S. 132).

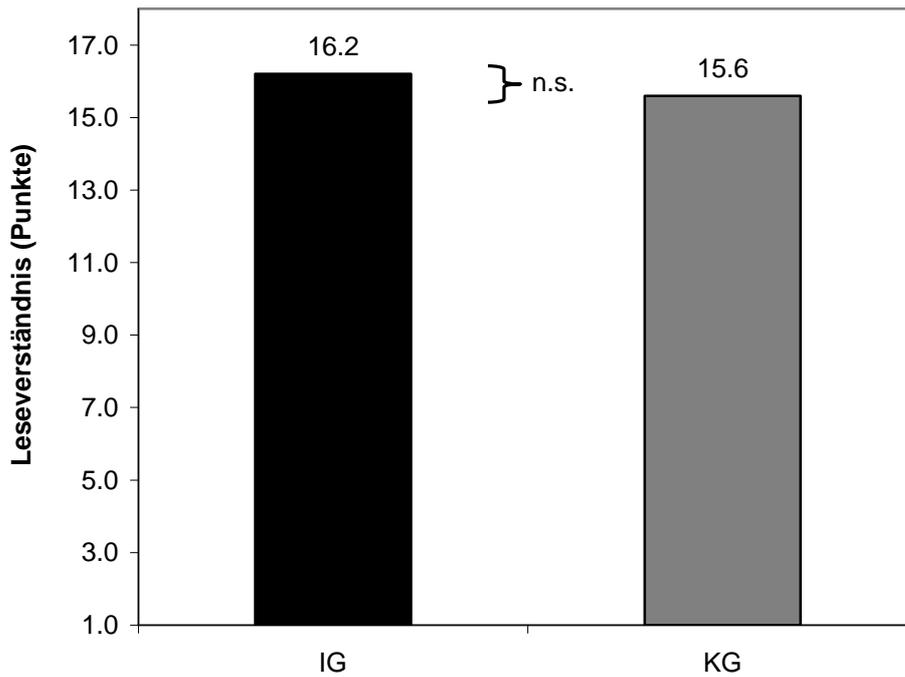


Abbildung 16: Ergebnis des Leseverständnisses im Lesetest in der Haupt- und Realschule zwischen IG (Lichtprogramm Konzentriertes Arbeiten) und KG (Lichtprogramm Vergleichssituation vorher) zum Zeitpunkt Post, einfaktorische Kovarianzanalyse ( $n = 37$ ,  $F = 0.315$ ,  $df = 1$ ,  $p = .289$ ,  $\eta^2 = .009$ )

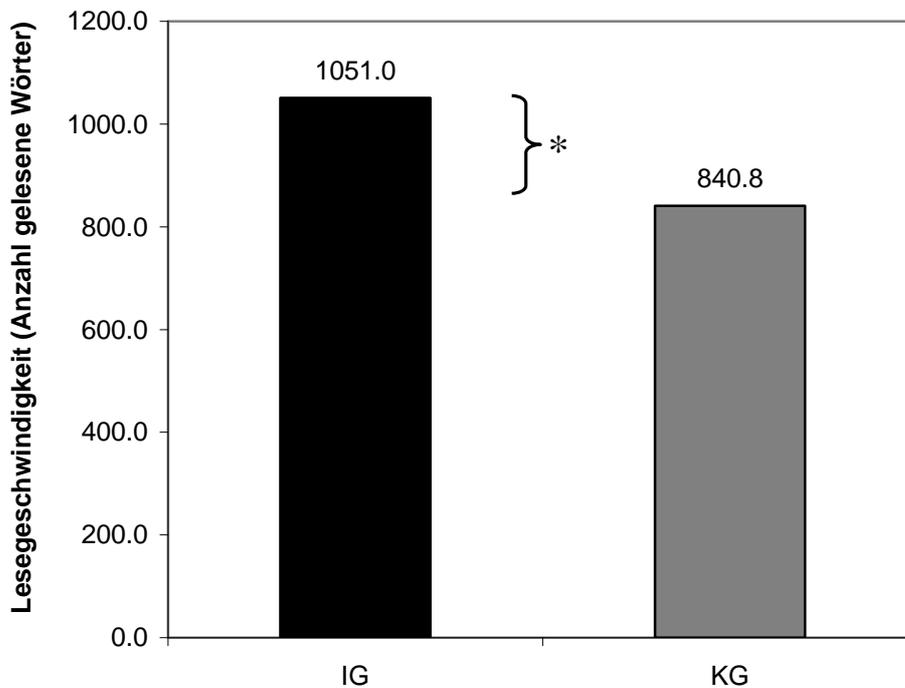


Abbildung 17: Ergebnis der Lesegeschwindigkeit im Lesetest in der Haupt- und Realschule zwischen IG (Lichtprogramm Konzentriertes Arbeiten) und KG (Lichtprogramm Vergleichssituation vorher), einfaktorische Kovarianzanalyse ( $n = 37$ ,  $F = 7.004$ ,  $df = 1$ ,  $p = .006$ ,  $\eta^2 = .171$ )

Tabelle 16

*Ergebnisse Lesetest (einfaktorielle Kovarianzanalyse)*

Messgröße	n	Prä		Post		F	df	p	$\eta^2$	Kovariate
		IG M (SD)	KG M (SD)	IG M (SD)	KG M (SD)					
Leseverständnis (Grundschule)	56	13.1 (4.16)	12.7 (4.20)	14.6 (4.40)	14.8 (4.47)	0.101	1	.376	.002	Ausgangswerte***
Lesegeschwindigkeit (Grundschule)	56	15.6 (4.14)	14.5 (3.79)	16.9 (4.08)	17.3 (3.62)	0.289	1	.296	.005	Ausgangswerte***
Leseverständnis (HRS)	37	9.9 (5.80)	12.7 (6.19)	16.2 (8.00)	15.6 (5.76)	0.315	1	.289	.009	Ausgangswerte***
Lesegeschwindigkeit (HRS)	37	779.8 (321.30)	874.5 (309.81)	1051.0 (419.44)	840.8 (219.87)	7.004	1	.006	.171	Ausgangswerte***
Leseverständnis (gesamt T-Wert)	102	47.2 (9.58)	48.6 (9.87)	54.0 (11.71)	53.2 (10.15)	0.232	1	.315	.003	Ausgangswerte***
Lesegeschwindigkeit (gesamt T-Wert)	93	49.2 (10.68)	48.5 (10.42)	55.8 (12.80)	52.4 (8.44)	3.386	1	.035	.036	Ausgangswerte***

**3.3.1.2. Vortestung primäre Zielgröße Hyperaktivität (Testmodul 3)**

Die Vortestungen in Testmodul 3 zur Messung motorischer Unruhe wurden erstens zu Vergleichszwecken unter Kontrollbedingungen für beide Gruppen durchgeführt und zweitens, um das neu entwickelte optische Messverfahren „Childmove“ (vgl. 2.3.1.2, S. 71) in den Schulen vor Ort zu erproben. In Abbildung 18 werden die Randmittel der zweifaktoriellen Varianzanalyse mit Messwiederholung über den zeitlichen Verlauf der Kontrollmessung gezeigt. Da Schüler bei den Messungen fehlten und nicht alle anwesenden Schüler trotz der optimierten Anordnung von Tischen und Stühlen (siehe 2.6.1.4, S. 99) von der Kamera erfasst werden konnten, reduziert sich die Stichprobengröße auf  $n = 55$  Schüler. Unter Vergleichsbedingungen für beide Gruppen wurde ein Rückgang der motorischen Unruhe von maximal 57.5 % (Kontrollgruppe nach 5 min) beobachtet. Auch illustriert die Abbildung zu der Vergleichsmessung den Unterschied der Ausgangswerte zwischen den Gruppen und die situative Abhängigkeit des Verlaufes von diesen: So konnte aufgrund der geringen Ausgangswerte bei der Interventionsgruppe unter Vergleichsbedingungen kein größerer Rückgang von Unruhe beobachtet werden und der Gruppenunterschied bleibt im Verlauf der Messung weiter bestehen (hier nicht dargestellt). So wurde ein signifikanter Effekt großer Größe für den Faktor Gruppe festgestellt ( $df = 1$ ,  $F = 29.080$ ,  $p = .000$ ,  $\eta^2 = .354$ ), ebenfalls wurde ein signifikanter Effekt

großer Größe für den Faktor Zeit festgestellt ( $df = 3, F = 14.927; p = .000, \eta^2 = .220$ ) und die Wechselwirkung der Faktoren Gruppe x Zeit wiesen einen signifikanten Effekt mittlerer Größe auf ( $df = 3, F = 6.524, p = .004, \eta^2 = .110$ ).

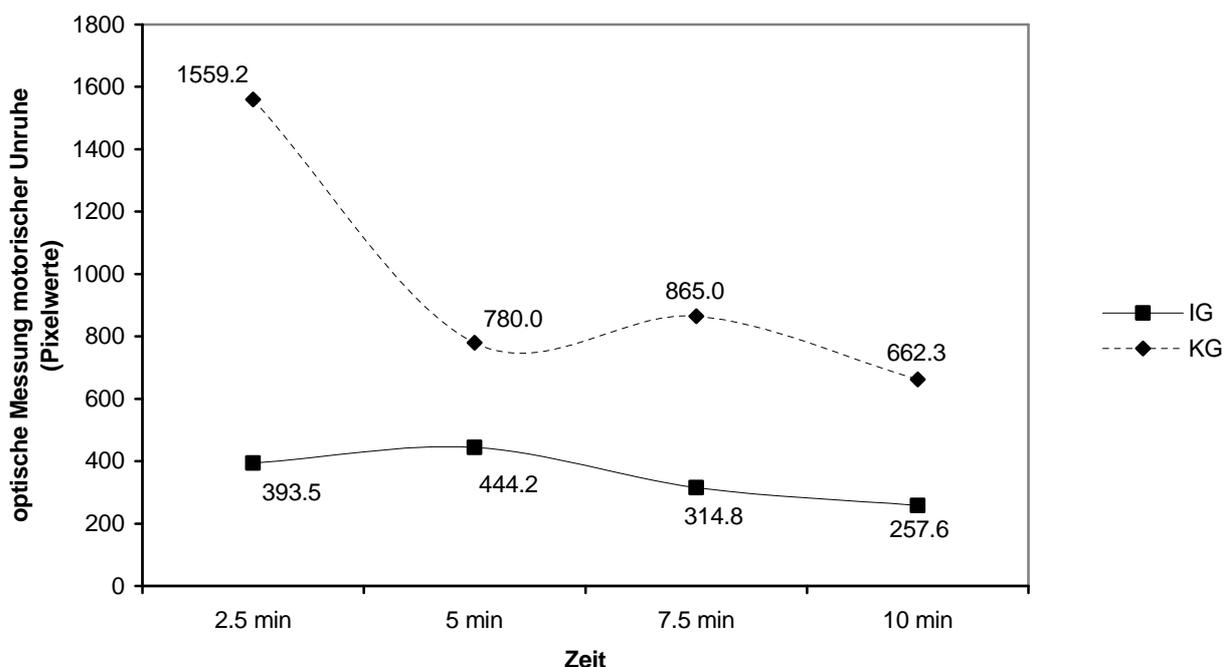


Abbildung 18

*Prä-Messung motorischer Unruhe (Modul 3): Interventionsgruppe und Kontrollgruppe mit Vergleichslicht (zweifaktorielle Varianzanalyse mit Messwiederholungen, Gruppe x Zeit,  $n = 55, df = 3, F = 6.524; p = .004, \eta^2 = .110$ )*

### 3.3.1.3. Haupttestung primäre Zielgröße Hyperaktivität

In Tabelle 17 werden die Ergebnisse des zweifaktoriellen varianzanalytischen Vergleiches des zeitlichen Verlaufes der Interventionsgruppe mit dem Lichtprogramm „Beruhigen“ und der Kontrollgruppe mit dem Vergleichslicht für die einzelnen Messzeitpunkte gezeigt. Aufgrund der situationsspezifischen Ausgangswerte bei der Messung von motorischer Unruhe wurde zur Evaluation der Wirkung der zeitliche Verlauf im Testmodul 4 unter Interventionsbedingungen herangezogen.

Tabelle 17

*Einzelkontraste der Post-Messung (Modul 4) motorische Unruhe: Interventionsgruppe mit Lichtprogramm „Beruhigen“ und Kontrollgruppe mit Vergleichslicht (zweifaktorielle Varianzanalyse mit Messwiederholung, Faktor Gruppe)*

Aufsummierte Pixelwertvarianz	IG M (SD)	KG M (SD)	F	df	p	$\eta^2$
nach 2.5 min	1437.3 (792.47)	1280.5 (999.98)	0.139	1	.445	.000
nach 5 min	711.6 (422.66)	1205.3 (927.69)	5.509	1	.011	.099
nach 7.5 min	336.0 (307.55)	1145.7 (1396.97)	5.599	1	.011	.101
nach 10 min	444.9 (520.03)	1175.6 (1396.57)	3.826	1	.028	.071

Weil Schüler bei den Messungen fehlten und nicht alle anwesenden Schüler trotz der optimierten Anordnung von Tischen und Stühlen (siehe 2.6.1.4, S. 99) von der Kamera erfasst werden konnten, reduziert sich die Stichprobengröße bei der optischen Bewegungsmessung auf  $n = 56$  Schüler. Das Gesamtergebnis der Verlaufsmessung zeigt einen signifikanten Effekt von mittlerer Größe zwischen den zeitlichen Verläufen in der motorischen Unruhe der beiden Gruppen: Bei Lichtprogramm 5 (Beruhigen) für die Interventionsklassen wurde ein größerer Rückgang als bei Vergleichslicht für die Kontrollklassen festgestellt (Gruppe x Zeit,  $df = 3$ ,  $F = 3.491$ ,  $p = .018$ ,  $\eta^2 = .065$ ). Ein durchschnittlicher Schüler der Interventionsgruppe wies demnach unter DL5 „Beruhigen“ bei vergleichbaren Ausgangswerten einen schnelleren und größeren Rückgang der motorischen Unruhe von maximal 76.7 % (nach 7.5 min) auf, als ein Schüler der Kontrollgruppe unter Vergleichslicht mit maximal 10.5 % (ebenfalls nach 7.5 min, siehe Abbildung 19). Weiter wurde insgesamt ein signifikanter Rückgang der motorischen Unruhe großer Effektgröße über den zeitlichen Verlauf

(Faktor Zeit,  $df = 3$ ,  $F = 8.539$ ,  $p = .000$ ,  $\eta^2 = .146$ ), sowie ein Gruppenunterschied mittlerer Größe festgestellt (Faktor Gruppe,  $df = 1$ ,  $F = 4.648$ ,  $p = .018$ ,  $\eta^2 = .085$ ). Die Ausgangswerte beider Gruppen wiesen keine bedeutsamen Unterschiede auf (vgl. Tabelle 17).

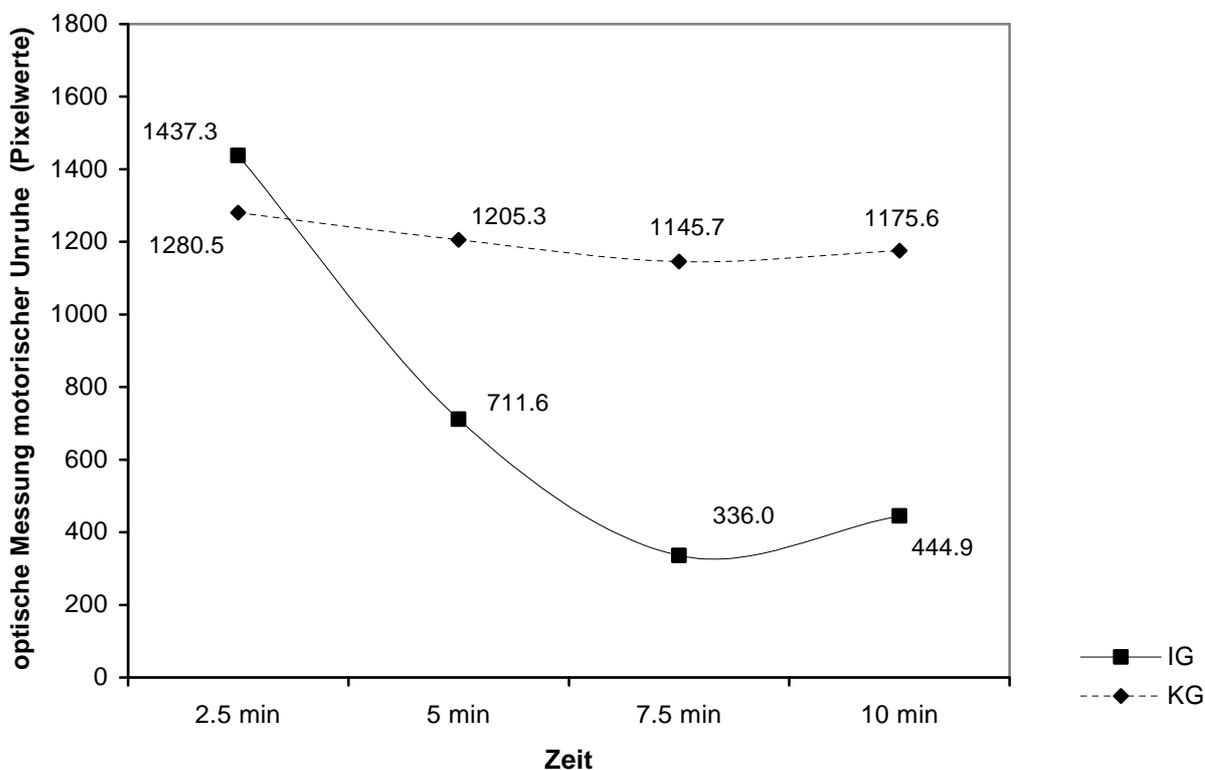


Abbildung 19

*Post-Messung (Modul 4) motorischer Unruhe: Interventionsgruppe mit Lichtprogramm „Beruhigen“ und Kontrollgruppe mit Vergleichslicht (zweifaktorielle Varianzanalyse mit Messwiederholungen, Gruppe x Zeit,  $n = 56$ ,  $df = 3$ ,  $F = 3.491$ ,  $p = .018$ ,  $\eta^2 = .065$ )*

Die Rechenleistungen als Teil des standardisierten Unterrichts waren während der Bewegungsmessung in beiden Gruppen vergleichbar (siehe Tabelle 18). Somit zeigen die Daten einen größeren Rückgang der motorischen Unruhe in der Interventionsgruppe als in der Kontrollgruppe bei vergleichbarer Rechenleistung. Der höchste Rückgang motorischer Unruhe wurde also von der Interventionsgruppe unter dem Lichtprogramm „Beruhigen“ bei vergleichbaren Ausgangswerten und vergleichbarem Arbeitspensum zur Kontrollgruppe unter dem Vergleichslicht erzielt.

Tabelle 18

*Unterrichtsleistung im standardisierten Setting von Modul 4 (einfaktorielle Kovarianzanalysen)*

Standardisierte Unterrichtsaufgaben	IG M (SD)	KG M (SD)	<i>F</i>	<i>df</i>	<i>p</i>	$\eta^2$
Kopfrechnen (Anzahl richtig gelöster Aufgaben)	5.3 (2.68)	5.5 (2.42)	0.353	1	.554	.004
Zahlenverbinden (Anzahl richtig verbundener Zahlen)	126.1 (90.74)	134.1 (93.21)	0.183	1	.670	.002

*Anmerkungen.* Einfaktorielle Varianzanalyse, zweiseitige Testung,  $n = 86$ .

#### **3.3.1.4. Primäre Zielgrößen Aggression und prosoziales Verhalten (Testmodul 2 & 3)**

Die Ergebnisse des einfaktoriellen kovarianzanalytischen Vergleiches der systematischen Verhaltensbeobachtung hinsichtlich aggressiver und prosozialer Verhaltensweisen bei Interventions- und Kontrollgruppe werden in Tabelle 19 gezeigt. Weil Schüler entweder bei Prä- oder Postmessungen fehlten oder nicht ausreichend von der Kamera erfasst wurden, reduziert sich die effektive Fallzahl für diese Analysen auf  $n = 56$ . Als Kovariate fungierte der Ausgangswert der jeweiligen Prä-Messung. Das Ergebnis zeigt in der Tendenz einen geringen Vorteil zugunsten der Interventionsgruppe bei Verwendung des Lichtprogramms 5 „Beruhigen“. Es wird aber sowohl für die aggressiven, als auch für die prosozialen Verhaltensweisen weder ein Gruppeneffekt, noch Signifikanz erreicht. Dennoch zeigt, deskriptiv betrachtet, ein durchschnittlicher Schüler der Interventionsgruppe unter DL 5 „Beruhigen“ 40 % weniger aggressive Verhaltensweisen als ein durchschnittlicher Schüler der Kontrollgruppe unter Standardlicht (siehe Abbildung 20). Ein durchschnittlicher Schüler der Interventionsgruppe zeigt unter DL 5 „Beruhigen“ ebenfalls 8 % mehr prosoziale Verhaltensweisen als ein Schüler der Kontrollgruppe unter Standardlicht (siehe Abbildung 21). Die Ausgangswerte der aggressiven als auch der prosozialen Verhaltensweisen weisen einen leichten Unterschied zwischen den Gruppen auf (siehe Tabelle 19). Der Einfluss der Ausgangswerte ist jeweils hochsignifikant (siehe ebenda).

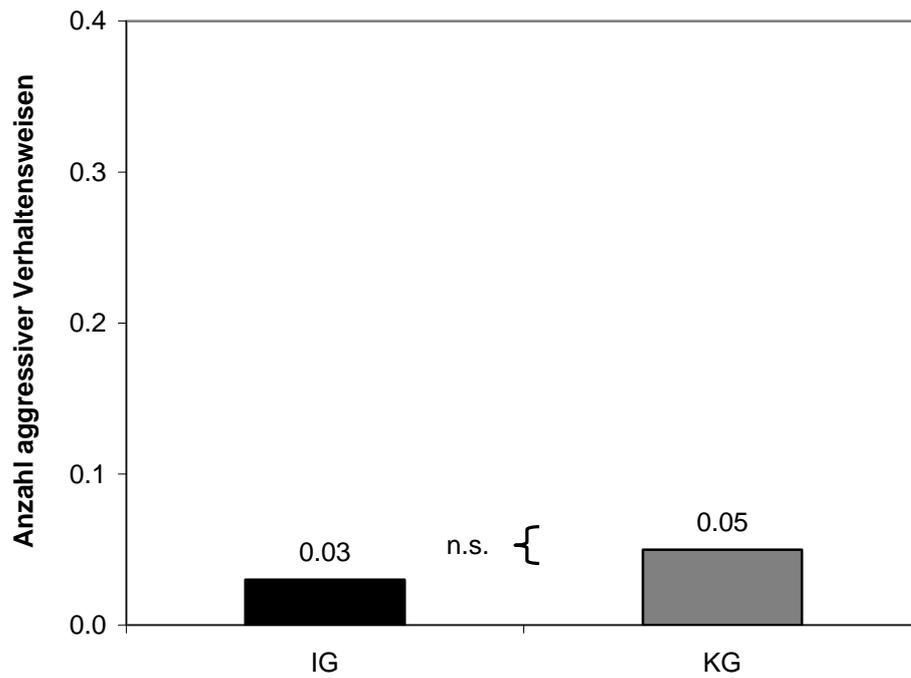


Abbildung 20

*Anzahl aggressiver Verhaltensweisen der systematischen Verhaltensbeobachtung zwischen IG (Lichtprogramm Beruhigen) und KG (Lichtprogramm Vergleichssituation „vorher“) zum Zeitpunkt Post (einfaktorielle Kovarianzanalyse,  $n = 56$ ,  $F = 0.211$ ,  $df = 1$ ,  $p = .324$ ,  $\eta^2 = .004$ )*

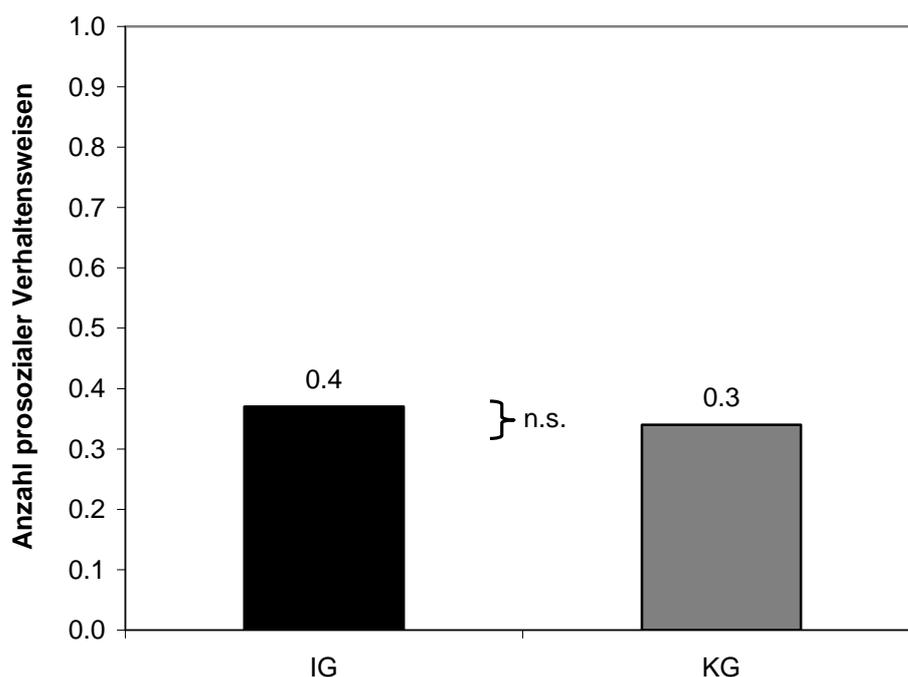


Abbildung 21

Anzahl prosozialer Verhaltensweisen der systematischen Verhaltensbeobachtung zwischen IG (Lichtprogramm Beruhigen) und KG (Lichtprogramm Vergleichssituation „vorher“) zum Zeitpunkt Post (einfaktorielle Kovarianzanalyse,  $n = 56$ ,  $F = 0.033$ ,  $df = 1$ ,  $p = .433$ ,  $\eta^2 = .001$ )

Tabelle 19

Ergebnisse der systematischen Verhaltensbeobachtung (einfaktorielle Kovarianzanalyse)

Messgröße	Prä		Post		F	df	p	$\eta^2$	Kovariate
	IG M (SD)	KG M (SD)	IG M (SD)	KG M (SD)					
aggressive Verhaltensweisen	0.37 (0.77)	0.18 (0.23)	0.03 (0.18)	0.05 (0.20)	0.211	1	.324	.004	Ausgangswerte***
prosoziale Verhaltensweisen	0.29 (0.47)	0.46 (1.12)	0.37 (0.79)	0.34 (0.81)	0.033	1	.433	.001	Ausgangswerte***

Anmerkung.  $n = 56$ .

### 3.3.1.5. Prä-Post Langzeitwirkung auf die primären und sekundären Zielgrößen

Die Ergebnisse des einfaktoriellen kovarianzanalytischen Vergleiches der Interventions- und Kontrollgruppe im Prä-Post-Vergleich über ca. ein Schuljahr wird in Tabelle 20 gezeigt. Sowohl die primären Zielgrößen Aggression und Hyperaktivität, als auch die sekundären Zielgrößen allgemeines Wohlbefinden, Schuleinstellung und Klassenklima werden hinsichtlich der langfristigen Wirkung betrachtet. Weil Schüler entweder bei Prä- oder Postmessungen fehlten und Extremwerte nicht berücksichtigt wurden, reduziert sich die effektive Fallzahl für diese Analysen auf  $n = 93$  bis minimal  $n = 84$  (vgl. Tabelle 20). Als Kovariate fungierten die Ausgangswerte. Die Ergebnisse zeigen einen Gruppeneffekt kleiner Größe für die Selbsteinschätzung der Aggressivität, welcher die Signifikanzgrenze aber knapp verfehlt. Deskriptiv betrachtet schätzt sich ein durchschnittlicher Schüler der Interventionsgruppe am Ende des Schuljahres um 33 % weniger aggressiv ein als ein durchschnittlicher Schüler der Kontrollgruppe (siehe Abbildung 22). Für die anderen Messgrößen konnten keine bedeutsamen Unterschiede in der Langzeitmessung festgestellt werden (siehe Tabelle 20). Ein bedeutsamer Effekt in den Nebenwirkungen im Bereich der physischen und psychischen Gesundheit (allgemeines Wohlbefinden) konnte ebenfalls nicht festgestellt werden. Der tendenzielle Unterschied in der selbst eingeschätzten Aggression konnte durch ein kovarianzanalytisches Verfahren nicht gegen den Einfluss der Kontrollgrößen statistisch abgesichert werden (siehe Tabelle 21, S. 133). Zwischen den Ausgangswerten der Gruppen ist kein nennenswerter Unterschied feststellbar (siehe Tabelle 20). Der Einfluss der Ausgangswerte ist jedoch jeweils hochsignifikant (siehe ebenda).

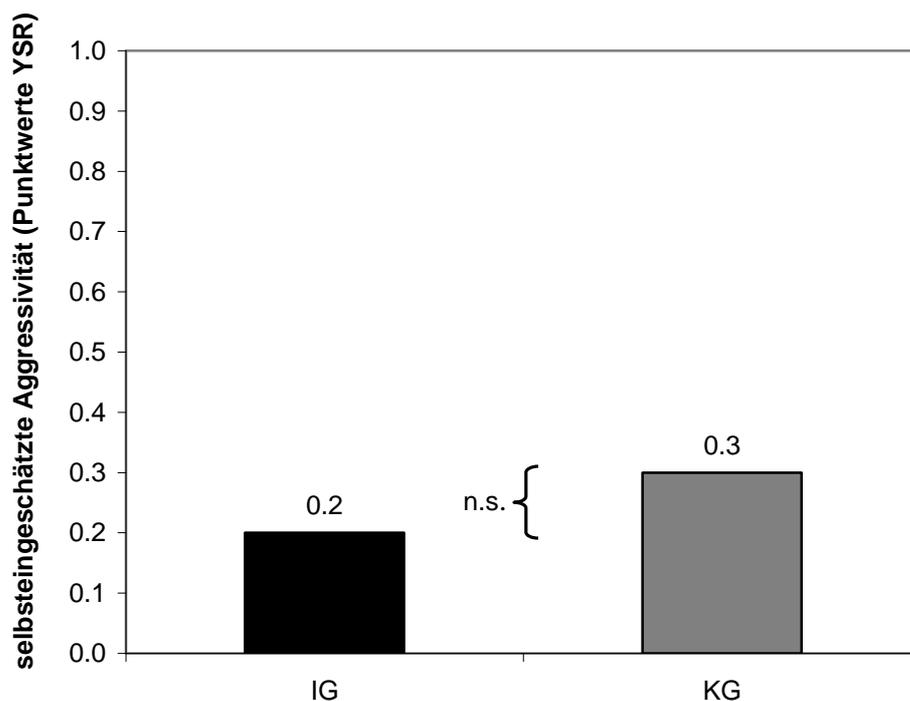


Abbildung 22

*Ergebnis Schülerbefragung zur langfristigen Wirkung von Dynamischem Licht auf Aggression zwischen IG (freie Anwendung) und KG (Vergleichssituation „vorher“) zum Zeitpunkt Post (einfaktorielle Kovarianzanalyse,  $n = 89$ ,  $F = 2.275$ ,  $df = 1$ ,  $p = .068$ ,  $\eta^2 = .026$ )*

Tabelle 20

*Ergebnisse Prä-Post Schülerbefragung zur langfristigen Wirkung von Dynamischem Licht (einfaktorielle Kovarianzanalysen)*

Messgröße	n	IG Prä M (SD)	KG Prä M (SD)	IG Post M (SD)	KG Post M (SD)	F	df	p	$\eta^2$	Kovariate
primäre Zielgrößen										
Aggression	89	0.3 (0.22)	0.4 (0.27)	0.2 (0.24)	0.3 (0.29)	2.275	1	.068	.026	Ausgangswerte***
Hyperaktivität	91	0.8 (0.45)	1.0 (0.42)	1.9 (0.87)	1.9 (0.79)	0.004	1	.474	.000	Ausgangswerte***
sekundäre Zielgrößen										
Allgemeines Wohlbefinden	93	2.5 (0.40)	2.4 (0.34)	2.6 (0.48)	2.7 (0.36)	3.859	1	.053	.041	Ausgangswerte***
Klassenklima	93	2.0 (0.51)	1.8 (0.42)	2.0 (0.62)	1.9 (0.42)	0.209	1	.325	.002	Ausgangswerte***

### 3.3.1.6. Einfluss der Kontrollgrößen

In Tabelle 21 werden die Ergebnisse des kovarianzanalytischen Vergleiches der Interventions- und Kontrollgruppe hinsichtlich der Haupteffekte der primären und sekundären Zielgrößen und der Einfluss der Kontrollgrößenskalen gezeigt. Weil Schüler entweder bei Prä- oder Postmessungen fehlten, reduziert sich die effektive Fallzahl für diese Analysen wie in Tabelle 21 wiedergegeben wird. Aufgrund winsorierter Daten entstehen durch Extremwerte keine Missings, ebenso wurden fehlende Werte in den Kontrollgrößen mit dem Expectation-Maximation-Algorithmus ersetzt. Als Kovariate fungierten die drei Kontrollgrößenskalen mit der höchsten Regression auf die jeweilige Zielgröße. Da aus methodischen Gründen bei der gegebenen Stichprobengröße lediglich drei Kontrollgrößen in der kovarianzanalytischen Auswertung berücksichtigt werden konnten (vgl. 2.3.4, S. 84), wurde zuvor die Regression der neun Kontrollgrößenskalen pro Zielgröße ermittelt. Ausgewählt wurden die drei Kontrollgrößenskalen mit der höchsten Regression, mit denen also die Ausprägung der jeweiligen Zielgröße am besten vorhergesagt werden konnte. Alle bisher gezeigten signifikanten Effekte der Schulstudie, d.h. ohne Kontrolle der Störgrößen, konnten gegen den Einfluss der Kontrollgrößenskalen abgesichert werden (siehe Tabelle 21 und Tabelle 22). Dies bedeutet, die Gruppeneffekte als Haupteffekte bleiben trotz Berücksichtigung der Kontrollgrößenskalen stabil und erreichten ein vergleichbares Signifikanzniveau. In der Tendenz vergrößern sich die Haupteffekte bei Berücksichtigung der Störgrößen. Den größten Einfluss (mittlere bis große Effekte nach Cohen, 1973) auf alle Zielgrößen hatten auch hier die individuellen Ausgangswerte der Schüler.

Tabelle 21

*Kovarianzanalytische Überprüfung unter Berücksichtigung der Kontrollgrößenskalen*

	n	IG M (SD)	KG M (SD)	F	df	p	$\eta^2$	Kovariaten
Primäre Messgröße Aufmerksamkeit/Konzentration (einfaktorielle Kovarianzanalyse)								
Anzahl d2 Fehler (gesamt)	94	13.9 (20.00)	19.9 (23.84)	2.657	1	.053	.030	Ausgangswerte***, Alter, soziale Schicht*
Anzahl d2 Auslassungsfehler (F1)	94	11.4 (14.15)	16.4 (19.74)	4.206	1	.022	.047	Ausgangswerte***, Alter, soziale Schicht**
Anzahl d2 falsch markierte Zeichen (F2)	94	1.2 (2.06)	1.1 (2.18)	0.087	1	.384	.001	Ausgangswerte*** Geschlecht, Erwartungen
Anzahl d2 markierte Zeichen (GZ)	94	389.9 (108.33)	399.8 (118.37)	0.675	1	.207	.008	Ausgangswerte***, Erwartungen, Alter
Leseverständnis (T-Werte)	93	55.0 (10.79)	53.2 (10.09)	0.928	1	.169	.013	Ausgangswerte***, Erwartungen, gesundheitliche Belastungen
Lesegeschwindigkeit (T-Werte)	93	55.8 (12.80)	52.4 (8.44)	7.272	1	.004	.076	Ausgangswerte***, Alter, Umwelt
Primäre Messgröße Hyperaktivität (zweifaktorielle Kovarianzanalyse)								
motorische Unruhe nach 2.5 Minuten (Pixelwerte)		1698.3 (704.64)	986.0 (895.12)					(Gruppe)
motorische Unruhe nach 5 Minuten (Pixelwerte)	39	1007.4 (370.44)	842.5 (832.99)	0.655	1	.212	.019	(Zeit)
motorische Unruhe nach 7.5 Minuten (Pixelwerte)		657.1 (578.89)	1008.9 (1110.56)	3.993	3	.011	.105	(Gruppe x Zeit) gesundheitliche Belastungen, Umwelt, Erwartungen
motorische Unruhe nach 10.5 Minuten (Pixelwerte)		1037.3 (867.65)	800.5 (1339.14)	3.181	3	.023	.086	
Primäre Messgröße Aggressivität								
Anzahl Aggression (Beobachtung)	58	0.0 (0.19)	0.4 (0.71)	6.013	1	.009	.102	Ausgangswerte, Umwelt, Alter**
Anzahl prosoziales Verhalten (Beobachtung)	51	0.6 (0.69)	0.7 (1.24)	0.046	1	.416	.001	Ausgangswerte**, Erwartungen, Umwelt
Primäre und sekundäre Zielgrößen Messgrößen zum Fragebogen der Langzeitwirkung (einfaktorielle Kovarianzanalyse)								
Aggressivität (Score)	92	0.3 (0.29)	0.2 (0.27)	2.605	1	.055	.029	Ausgangswerte***, Umwelt***, Geschlecht**
Hyperaktivität (Score)	92	2.0 (0.85)	1.9 (0.77)	0.176	1	.338	.002	Ausgangswerte, Schulmotivation***, Geschlecht
Allgemeines Wohlbefinden (Score)	69	2.6 (0.46)	2.8 (0.33)	3.294	1	.037	.050	Ausgangswerte***, gesundheitliche Belastungen, Geschlecht
Klassenklima (Score)	93	1.9 (0.53)	2.0 (0.42)	1.389	1	.121	.016	Ausgangswerte***, Umwelt***, Schulmotivation**

Tabelle 22

*Kovarianzanalytische Überprüfung der Zielgrößen der Schulstudie unter Berücksichtigung der Kontrollgrößen (Ausgangswerte und die beiden Störgrößen mit den höchsten Regressionen) in  $\eta^2$*

Zielgrößen	Störgrößen									
	Haupteffekt	1. Ausgangswerte	2. Alter	3. Geschlecht	4. Soziale Schicht	5. Gesundheit	6. Umwelt	7. Schulmotivation	8. Erwartung	9. Kopfrechnen <sup>b</sup>
Primäre Zielgröße Aufmerksamkeit/Konzentration										
d2 Fehler (gesamt)	.030 <sup>o</sup>	.607***	.029	-	.096*	-	-	-	-	-. <sup>b</sup>
d2 Auslassungsfehler (F1)	.047*	.675***	.016	-	.132**	-	-	-	-	-. <sup>b</sup>
d2 falsch markierte Zeichen (F2)	.001	.517***		.018	-	-	-	-	.001	-. <sup>b</sup>
d2 markierte Zeichen (GZ)	.008	.492***	.025	-	-	-	-	-	.007	-. <sup>b</sup>
Leseverständnis	.013	.491***	-	-	-	.003	-	-	.052	-. <sup>b</sup>
Lesegeschwindigkeit	.076**	.465***	.010	-	-	-	.040	-	-	-. <sup>b</sup>
Primäre Zielgröße Hyperaktivität										
optische Messung motorische Unruhe (post)	.086*	-. <sup>a</sup>	-	-	-	.068	.060	-	.025	-
Primäre Zielgrößen Aggressivität und prosoziales Verhalten										
Aggression (Beobachtung)	.102**	.004	.120**	-	-	-	.047	-	-	-. <sup>b</sup>
prosoziales Verhalten (Beobachtung)	.001	.162**	-	-	-	-	.035	-	.056	-. <sup>b</sup>

Zielgrößen	Störgrößen									
	Haupteffekt	1. Ausgangswerte	2. Alter	3. Geschlecht	4. Soziale Schicht	5. Gesundheit	6. Umwelt	7. Schulmotivation	8. Erwartung	9. Kopfrechnen <sup>b</sup>
Primäre und sekundäre Zielgrößen zum Fragebogen der Langzeitwirkung										
Aggressivität	.029°	.297***		.082**	-	-	.285***	-	-	- <sup>b</sup>
Hyperaktivität	.002	.002	-	.001	-	-	-	.377***	-	- <sup>b</sup>
Allgemeines Wohlbefinden	.050*	.208***	-	.000	-	.009	-	-	-	- <sup>b</sup>
Klassenklima	.016	.207***	-	-	-	-	.149***	.104**	-	- <sup>b</sup>

*Anmerkungen.* <sup>a</sup> Für die Kovarianzanalyse mit Messwiederholungen entfällt der situationsspezifische erste Messzeitpunkt innerhalb des Termins als Kovariate, aufgrund der Messwiederholung. <sup>b</sup> Kopfrechnen, als standardisierte Beschäftigung während der Bewegungsmessung, wurde nur bei der Bewegungsmessung erfasst, jedoch aufgrund zu niedriger Regression dort nicht als Kovariate berücksichtigt.

### 3.3.1.7. Prozess und Einstellungsvariablen

#### *Erleben und Bewertung der Wirkung aus Sicht der Schüler und Lehrer*

Die Erfahrungen mit Dynamischem Licht im Schulalltag wurden mit offenen Fragen in den Interventionsklassen erhoben. Von insgesamt 42 antwortenden Schülern berichteten 38 (91 %) über positive und 4 (10 %) über negative Erfahrungen mit Dynamischem Licht im Unterricht (Mehrfachnennungen möglich, auf ganze % gerundet). Als besonders angenehm wurde die Anpassung des Lichts an die entsprechende Arbeitssituation und an die Stimmung in der Klassengemeinschaft von 17 Schülern (41 %) erlebt. Ein neunjähriger Grundschüler schreibt beispielsweise, ihm habe gefallen, „[...] dass es viele Möglichkeiten gibt, das Licht zu ändern. Dass das Licht hell oder entspannend ist.“

Von Erfahrungen mit der konzentrationsfördernden Wirkung des Dynamischen Lichts wird von 7 Schülern (17 %) berichtet, ebenso wie über die fokussierte Aufmerksamkeit auf die Tafelbeleuchtung (5 Schüler; 12 %). So schreibt eine achtjährige Grundschülerin: „Das Licht finde ich gut, weil ich mich bei dem Licht gut konzentrieren kann.“ Ein fünfzehnjähriger Realschüler berichtet: „Ich kann mich besser auf die Tafel konzentrieren.“

Über Erfahrungen mit der aktivierenden und beruhigenden Wirkung des Lichts im Unterricht wird ebenfalls berichtet. Der oben genannte Fünfzehnjährige berichtet über die Wirkung in der Schule: „Ich werde früher schneller wach.“

Eine Grundschülerin wünscht sich, ebenso wie einige Erwachsene in der Laborstudie, einen weniger abrupten Übergang beim Wechseln der Lichtprogramme: „Nicht gut gefallen hat mir, dass wenn man auf einmal ein anderes Licht anmacht, dass das dann so blendet.“ In einem weiteren Fall wird berichtet, dass zu häufiges Wechseln der Programme ablenkend sei. Ein Schüler und eine Schülerin der Haupt- und Realschule klagten über Kopfschmerzen durch das Lichtprogramm DL 3 „Konzentriertes Arbeiten“.

Die positive Bewertung spiegelt sich auch darin wieder, dass 70.5 % der befragten Schüler das Dynamische Licht an Lehrer, Eltern und andere Schüler weiterempfehlen würden. Auch die Lehrer können die Wirkung von Dynamischem Licht im Unterricht beobachten und würden es größtenteils weiter empfehlen.

### *Subjektives Gefallen der Lichtprogramme*

In Abbildung 23 werden die deskriptiven Ergebnisse hinsichtlich des subjektiven Gefallens der Lichtprogramme aus der Sichtweise der Schüler dargestellt. Befragt wurden die Schüler der Interventionsklassen. Weil Schüler bei der Befragung fehlten und einzelne Programme ggf. nicht bewertet wurden, schwankt die Stichprobengröße zwischen  $n = 43$  und  $n = 45$ . Die Schüler bewerten die drei am häufigsten eingesetzten Lichtprogramme DL 3 „Konzentriertes Arbeiten“, DL 4 „Aktivieren“ und DL 5 „Beruhigen“ mindestens mit „gut“. Das zweitbeliebteste Programm der Schüler, DL6 „Nur Tafel“, wird von den Lehrern allerdings nur sehr vereinzelt verwendet (siehe S. 139).

DL4 „Aktivieren“ und DL6 „Nur Tafel“ werden am besten im subjektiven Gefallen der Lichtprogramme bewertet. Beide werden in einer Größe von mehr als zwei Standardfehlern besser als „gut“ bewertet. Im Mittelfeld des Rankings stehen DL5 „Beruhigen“, DL3 „Konzentriertes Arbeiten“ and DL 2 „Konzentration auf die Tafel“. Dieses Mittelfeld erreicht Benotungen von 2.5 bis 3 (gut), mit der eindeutigen Tendenz zu 3 (gut). Ein signifikanter Unterschied großer Effektgröße in den Bewertungen der Schülerinnen ( $2.1 =$  mittelmäßig) und Schüler ( $3.1 =$  gut) zeigt sich beim Lichtprogramm DL2 „Konzentration auf die Tafel“ (einfaktorielle Varianzanalyse, zweiseitige Testung,  $n = 44$ ,  $df = 1$ ,  $F = 8.866$ ,  $p = .005$ ,  $\eta^2 = .174$ ).

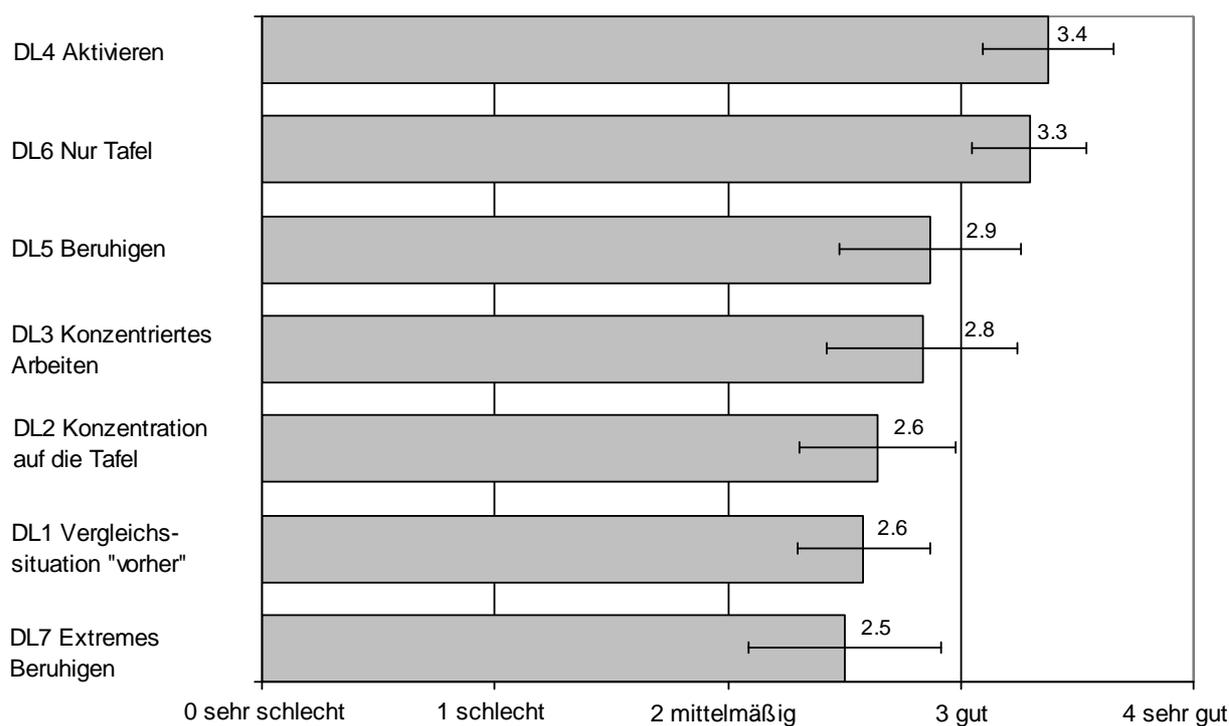


Abbildung 23

### *Bewertung der Lichtprogramme des Dynamisches Lichts durch die Schüler*

Das subjektive Gefallen wurde bei den Lehrern nicht programmspezifisch abgefragt, hier standen Veränderungswünsche in der Einstellung der Programme und deren Benennung im Vordergrund. Allerdings äußerte sich zu diesen Fragen keiner der befragten Lehrer.

### ***Ökonomie und Ökologie***

Die Schüler finden den doppelten Preis der Standardbeleuchtung für Dynamisches Licht angemessen (Ökonomie). Nach Schülermeinung darf Dynamisches Licht nicht mehr Energie verbrauchen als die Standardbeleuchtung (Ökologie). Allerdings darf, nach ihrer Ansicht, Dynamisches Licht mehr Energie verbrauchen, wenn an anderer Stelle eingespart wird oder die Wirkung wissenschaftlich

belegt ist. Der Lehrerfragebogen ergab, übereinstimmend mit der Schülerbefragung, dass ein höherer Anschaffungspreis und ein höherer Energieverbrauch akzeptiert werden, wenn die Wirkung des Lichts wissenschaftlich belegt ist oder an anderer Stelle in der Schule Energie eingespart wird.

### *Verwendung von Dynamischem Licht im Schulalltag*

Die Protokollierung der Lichtenwendung und der Arbeits-/Sozialform von den beteiligten Lehrern zeigt folgendes Bild für die Verwendung von Dynamischem Licht im Schulalltag: Bei dem ersten Protokoll kurz nach Studienbeginn, im Dezember 2007, wurden am häufigsten die Programme DL3 „Konzentriertes Arbeiten“, DL4 „Aktivieren“ und DL5 „Beruhigen“ verwendet (insgesamt 74.8 %). DL1 Vergleichssituation „vorher“ wurde nur in 7.8 % der protokollierten Zeiteinheiten im regulären Unterricht benutzt (siehe Abbildung 24).

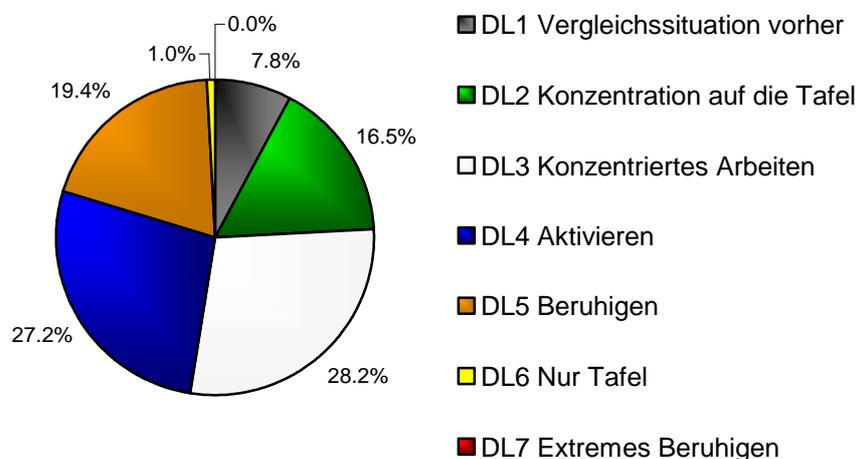


Abbildung 24

*Verwendung der Lichtprogramme im Dezember 2007*

Beim zweiten Lichtprotokoll im Juni 2008, wurden in 82.7 % der protokollierten Zeit die Programme DL3 „Konzentriertes Arbeiten“, DL4 „Aktivieren“ und DL5 „Beruhigen“ verwendet (siehe Abbildung 25). Die Nutzung von DL1 Vergleichssituation „vorher“ nahm leicht ab, verglichen mit dem ersten Protokoll. Ebenso wurde Programm DL3 „Konzentriertes Arbeiten“ etwas weniger häufig benutzt. Häufiger verwendet wurden dagegen die beruhigenden Programme (DL5, DL7) und DL4 „Aktivieren“ (siehe Abbildung 26).

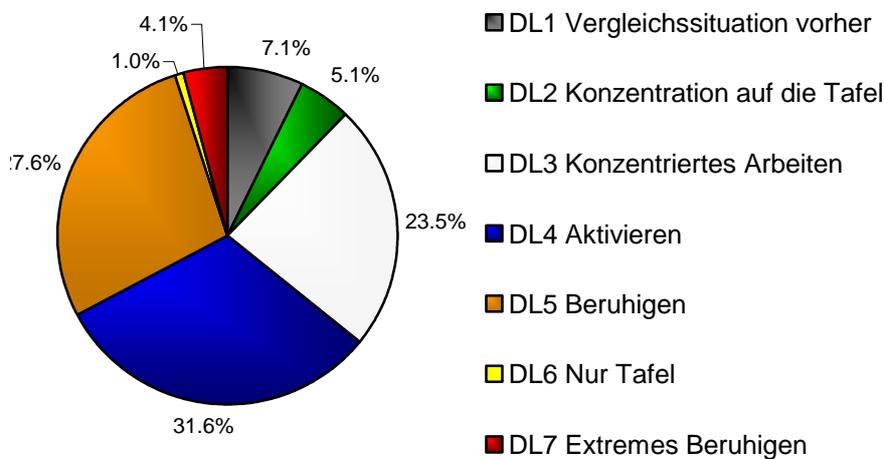


Abbildung 25

*Verwendung der Lichtprogramme im Juni 2008*

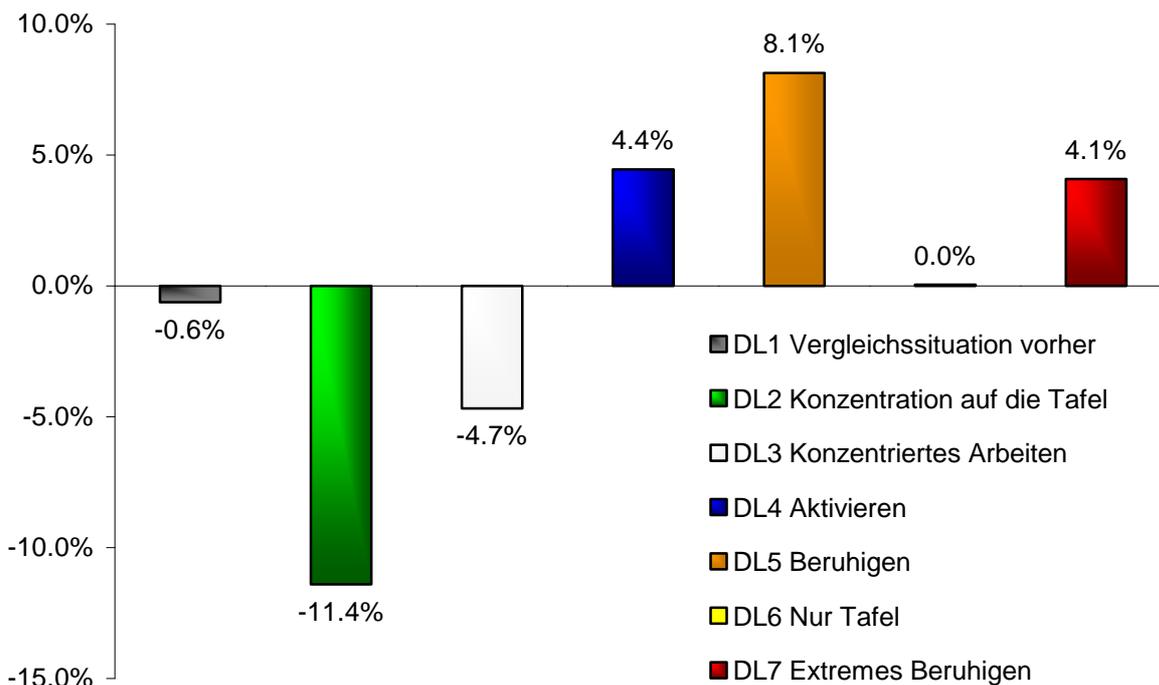


Abbildung 26

*Veränderungen (Prä/Post) in der freien Nutzung der Lichtprogramme*

Werden beide Zeitstichproben gemeinsam betrachtet, lässt sich folgendes feststellen: Zu ungefähr gleichen Anteilen wurden die Programme DL4 „Aktivieren“, DL3 „Konzentrieren“ und DL5 „Beruhigen“ verwendet (siehe Abbildung 27).

In der Früh- und ersten Stunde wurden vorwiegend DL3 „Konzentriertes Arbeiten“, DL4 „Aktivieren“ und DL5 „Beruhigen“ benutzt. In den Mittagsstunden wurde am häufigsten DL3 Konzentriertes Arbeiten verwendet. In der letzten Schulstunde werden am häufigsten die Programme DL4 „Aktivieren“ und DL5 „Beruhigen“ benutzt (siehe Tabelle 45, S. 231).

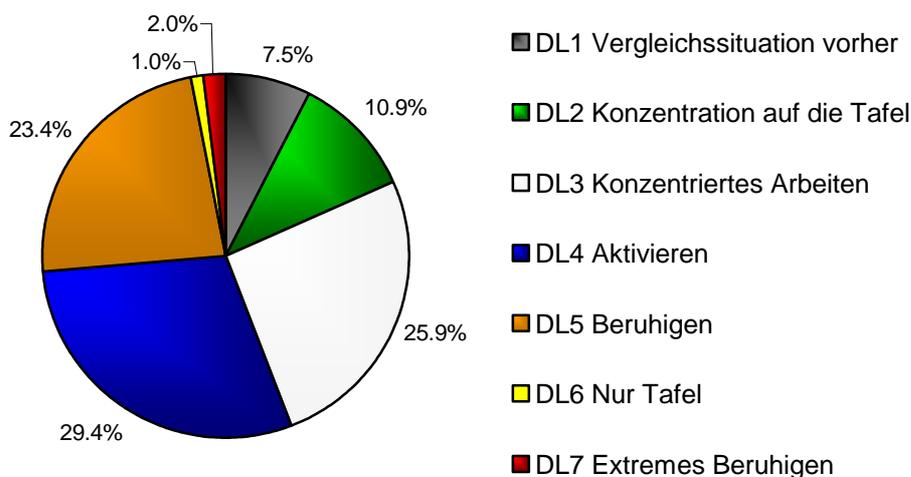


Abbildung 27

#### *Verwendung der Lichtprogramme im Alltag des Schuljahres 2007/2008*

Ebenfalls wurde vom Protokoll die verwendete Arbeits-/Sozialform erfasst. Die Auswertung ergab, dass sich der Unterrichtsstil kaum zwischen den beteiligten Lehrern unterschied. Alle Lehrer wählten für die Gestaltung ihres Unterrichts in etwa jeweils ein Viertel Frontalunterricht (inkl. Lehrervortrag), Unterrichtsgespräch, Gruppen- und Einzelarbeit (vgl. Tabelle 44, S. 230). Des Weiteren wurden die Lichtprogramme erwartungsgemäß zur Arbeits-/Sozialform bei freier Lichtprogrammwahl im Schulalltag benutzt (vgl. ebenda).

#### ***Handhabung und weitere Erfahrungen***

Die Praxistauglichkeit (**Handhabung**) und die Akzeptanz der Programme des Dynamischen Lichts im Schulunterricht wird durch die erwartungsgemäße Nutzung von Dynamischem Licht belegt (vgl. Tabelle 44, S. 230). Allerdings wird in der Befragung der Lehrer der Wunsch nach weniger Programmen geäußert.

**Weitere Erfahrungen** aus dem Einsatz im Schulalltag sind: Die befragten Lehrer wünschen sich ein Lichtprogramm mit einer noch wärmeren ähnlichsten Farbtemperatur als DL5 „Beruhigen“ (< 3000 K). Besonders geschätzt wird von den Lehrern, neben der beschriebenen Wirkung des Dynamischen Lichtes, die Möglichkeit, einzelne Unterrichtsabschnitte visuell von einander abgrenzen zu können.

### **3.3.2. Laborstudie**

Tabelle 23 gibt eine Übersicht über die in der Laborstudie festgestellten Effekte. Diese werden in den folgenden Abschnitten (3.3.2.1, S. 145 bis 3.3.2.7, S. 160) näher dargestellt.

Tabelle 23: Kovarianzanalytische Überprüfung der Laborstudie unter Berücksichtigung der Kontrollgrößen (jeweils drei höchsten Regressionen) in  $\eta^2$ 

Zielgrößen	Störgrößen													
	Haupteffekt	1. Ausgangswerte	2. Alter	3. Geschlecht	4. Umwelt	5. Gefallen DL	6. Kaffeekonsum	7. Belastungen	8. Nationalität und Sprache	9. Abweichung Licht	11. Sehhilfe	12. Gesundheit	13. Medizin Studium	14. Abw. bei Bewegungsmessung <sup>b</sup>
Primäre Zielgröße Aufmerksamkeit/Konzentration														
d2 Fehler (gesamt)	.031*	-	.036*	-	-	-	-	.000	-	-	.017	-	-	-
d2 Auslassungsfehler (F1)	.033*	-	.035*	-	-	-	-	.001	-	-	.016	-	-	-
d2 falsch markierte Zeichen (F2)	.004	-	-	-	.015	-	-	-	-	-	-	.007	-	-
d2 markierte Zeichen (GZ)	.065*	-	.039	-	.053*	-	-	-	.008	-	-	-	-	-
Leseverständnis	.005	-	-	.005	-	.023	-	-	.004	-	-	-	-	-
Lesegeschwindigkeit	.007	-	-	.000	.016	-	-	-	-	-	.005	-	-	-
optische Messung motorische Unruhe	.026*	- <sup>a</sup>	-	-	-	-	-	-	-	.019	.008	-	.016	-
Primäre Zielgrößen Aggressivität und prosoziales Verhalten														
Aggression (Beobachtung) <sup>c</sup>	-. <sup>c</sup>	-. <sup>c</sup>	-. <sup>c</sup>	-. <sup>c</sup>	-. <sup>c</sup>	-. <sup>c</sup>	-. <sup>c</sup>	-. <sup>c</sup>	-. <sup>c</sup>	-. <sup>c</sup>	-. <sup>c</sup>	-. <sup>c</sup>	-. <sup>c</sup>	-. <sup>c</sup>
prosoziales Verhalten (Beobachtung)	.041*	-	-	-	-	-	-	-	-	.012	.108**	-	.073**	-

Anmerkungen. <sup>a</sup> Für die Kovarianzanalyse mit Messwiederholungen entfällt der Ausgangswert der Zeitreihe als Kovariate. <sup>b</sup> Abweichungen bei der Bewegungsmessung wurden nur bei dieser erfasst, jedoch aufgrund zu niedriger Regression dort nicht als Kovariate berücksichtigt. <sup>c</sup> In der Laborstudie konnte keine einzige aggressive Verhaltensweise beobachtet werden.

### 3.3.2.1. Aufmerksamkeit/Konzentration

In Tabelle 20 werden unter anderem die Ergebnisse des einfaktoriellen kovarianzanalytischen Vergleiches der Experimental- und der Kontrollgruppe hinsichtlich der Anzahl bearbeiteter Zeichen, Gesamtfehler, Auslassungsfehler und falscher Zeichen im d2-Aufmerksamkeits-/Konzentrationstest gezeigt. Die effektive Fallzahl reduziert sich in der Laborstudie nicht, da keiner der freiwilligen Teilnehmer die Teilnahme verweigerte und Extremwerte winsorisiert wurden. Somit beträgt die Fallzahl  $n = 95$ . Als Kovariaten fungierten die drei Kovariaten mit dem jeweils höchsten Einfluss auf die jeweilige Zielgröße (vgl. Tabelle 23, S. 144). Die Ergebnisse zeigen einen signifikanten Gruppeneffekt kleiner Größe für die Gesamtfehlerzahl, der im Wesentlichen auf der Zahl der Auslassungsfehler beruht und einen Gruppeneffekt kleiner Größe für die bearbeiteten Zeichen (Geschwindigkeit) im d2 Test.

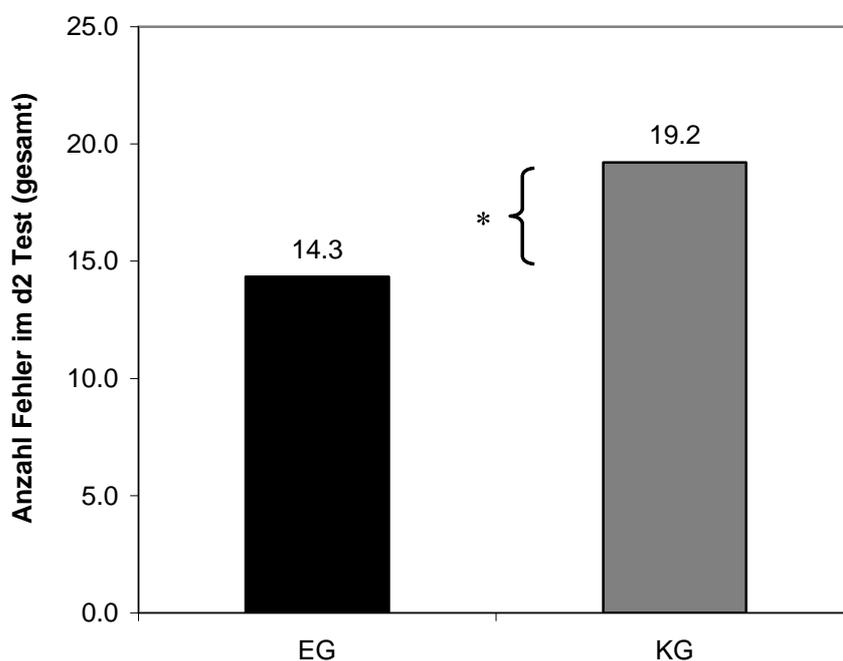


Abbildung 28

*Ergebnis der Gesamtfehler des d2 Tests zwischen EG (Lichtprogramm Konzentriertes Arbeiten) und KG (Lichtprogramm Vergleichssituation „vorher“), (einfaktorielle Kovarianzanalyse,  $n = 95$ ,  $F = 2.839$ ,  $df = 1$ ,  $p = .048$ ,  $\eta^2 = .031$ )*

Ein durchschnittlicher Teilnehmer der Experimentalgruppe macht demnach unter DL 3 „Konzentriertes Arbeiten“ 25 % weniger Gesamtfehler als ein Teilnehmer der Kontrollgruppe unter Vergleichslicht (siehe Abbildung 28).

Ebenso ist die Arbeitsgeschwindigkeit der Teilnehmer aus der Experimentalgruppe um 11 % höher als die derer aus der Kontrollgruppe (siehe Abbildung 29). Hier wird ein signifikanter Effekt mittlerer Größe festgestellt. Weiterhin wird ein signifikanter Gruppeneffekt kleiner Größe bei den Auslassungsfehlern festgestellt. Dies bedeutet einen Vorteil von 26 % für die Experimentalgruppe (siehe Abbildung 30). Kein Effekt kann dagegen bei den selteneren vorkommenden falschen Zeichen festgestellt werden, obwohl die Experimentalgruppe, deskriptiv betrachtet, durchschnittlich 17 % weniger Zeichen falsch markiert (siehe Abbildung 31).

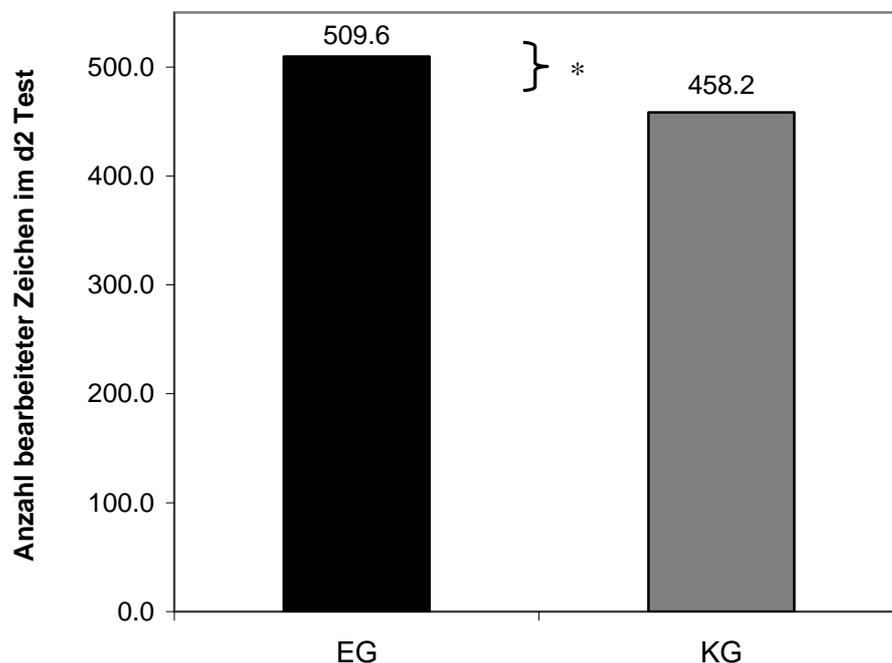


Abbildung 29

*Ergebnis Arbeitsgeschwindigkeit des d2 Tests zwischen EG (Lichtprogramm Konzentriertes Arbeiten) und KG (Lichtprogramm Vergleichssituation „vorher“), (einfaktorielle Kovarianzanalyse,  $n = 95$ ,  $F = 3.808$ ,  $df = 1$ ,  $p = .028$ ,  $\eta^2 = .065$ )*

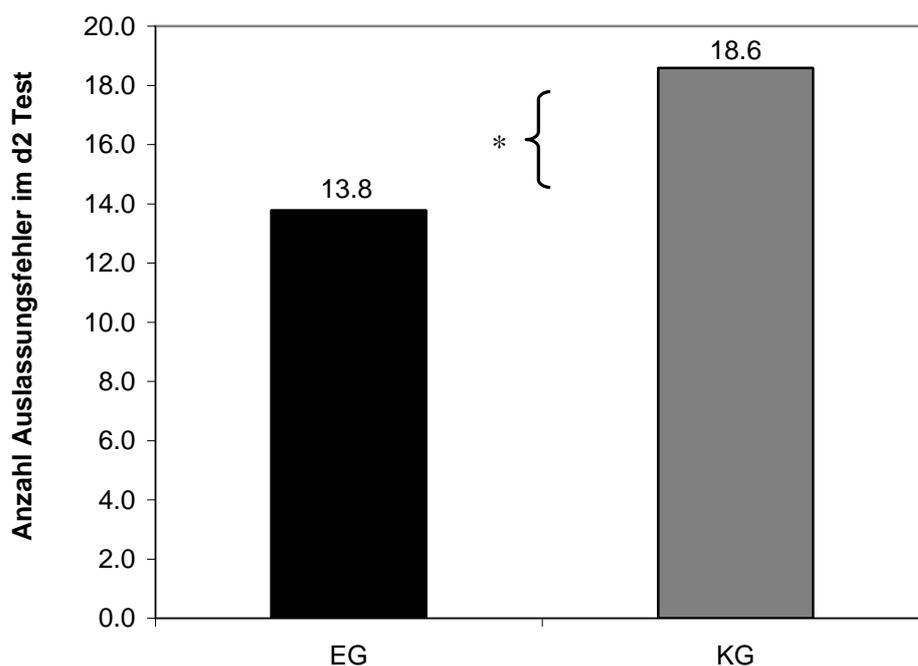


Abbildung 30

*Ergebnis der Auslassungsfehler des d2 Tests zwischen EG (Lichtprogramm Konzentriertes Arbeiten) und KG (Lichtprogramm Vergleichssituation „vorher“), (einfaktorielle Kovarianzanalyse,  $n = 95$ ,  $F = 2.956$ ,  $df = 1$ ,  $p = .045$ ,  $\eta^2 = .033$ )*

Insgesamt hat das Geschlecht, neben dem subjektiven Gefallen von Dynamischem Licht und der Gesundheit der Teilnehmer, den größten Einfluss auf die dargestellten Haupteffekte (siehe Tabelle 23, S. 144). Aufgrund der einmaligen Messung und des querschnittlichen Vorgehens standen keine Ausgangswerte als Kovariaten zur Verfügung, im Gegensatz zur Schulstudie.

In Tabelle 24 werden ebenfalls die Ergebnisse des kovarianzanalytischen Vergleiches der Interventions- und Kontrollgruppe hinsichtlich der Lesegeschwindigkeit und des Leseverständnisses im Lesetest gezeigt. Die effektive Fallzahl ist für diese Analysen nicht reduziert und beträgt  $n = 95$ . Als Kovariate fungierten die drei Kovariaten mit dem jeweils höchsten Einfluss auf die jeweilige Zielgröße (siehe Tabelle 23, S. 144). Die Ergebnisse zeigen keinerlei Gruppeneffekte, weder für die Lesegeschwindigkeit (siehe Abbildung 32), noch für das Leseverständnis (siehe Abbildung 33).

Demnach weisen die Teilnehmer der Experimentalgruppe keine höhere Lesegeschwindigkeit und kein höheres Leseverständnis als die Teilnehmer der Kontrollgruppe auf, es ist zwischen beiden Gruppen kein bedeutsamer Unterschied feststellbar. Die Betrachtung der Kontrollgrößen ergibt, abweichend von den bisherigen Ergebnissen, lediglich maximal kleine Effekte. So ist das subjektive Gefallen des Dynamischen Lichts die Kontrollgröße mit dem höchsten Einfluss auf das Leseverständnis. Die Lesegeschwindigkeit wird am stärksten von abweichenden Umweltbedingungen außerhalb des Labors moderiert (siehe Tabelle 23, S. 144).

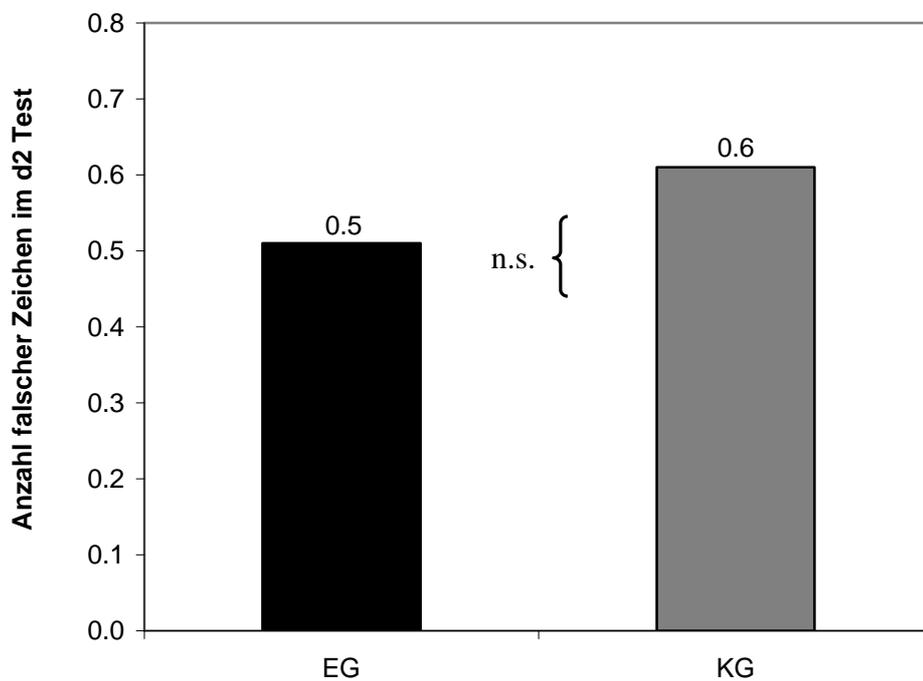


Abbildung 31

*Ergebnis der falsch markierten Zeichen des d2 Tests zwischen EG (Lichtprogramm Konzentriertes Arbeiten) und KG (Lichtprogramm Vergleichssituation „vorher“), (einfaktorielle Kovarianzanalyse,  $n = 95$ ,  $F = 0.225$ ,  $df = 1$ ,  $p = .319$ ,  $\eta^2 = .004$ )*

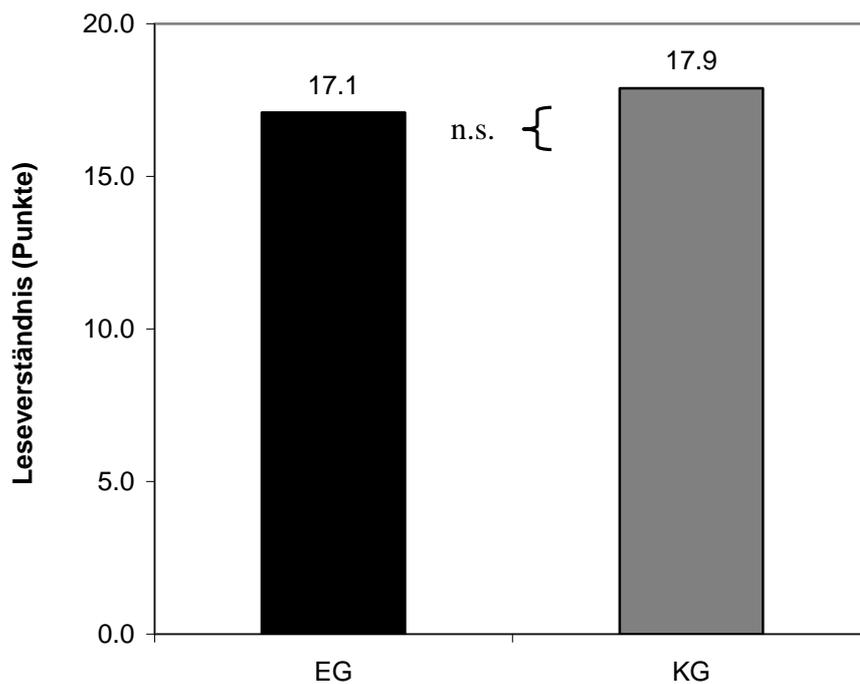


Abbildung 32: Ergebnis Lesegeschwindigkeit des LGVT zwischen EG (Lichtprogramm Konzentriertes Arbeiten) und KG (Lichtprogramm Vergleichssituation „vorher“), (einfaktorielle Kovarianzanalyse,  $n = 95$ ,  $F = 0.399$ ,  $df = 1$ ,  $p = .265$ ,  $\eta^2 = .007$ )

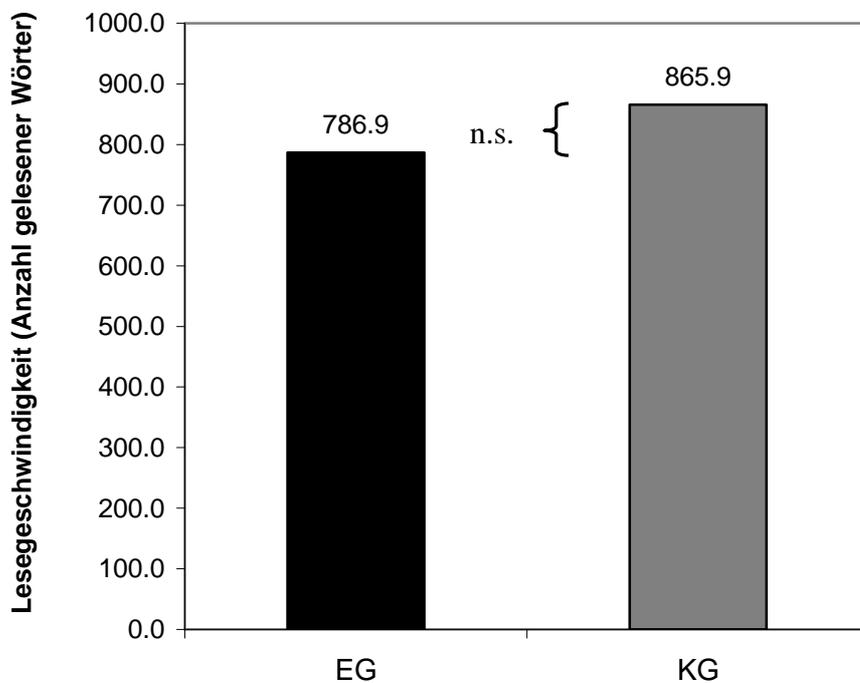


Abbildung 33: Ergebnis Leseverständnis des LGVT zwischen EG (Lichtprogramm Konzentriertes Arbeiten) und KG (Lichtprogramm Vergleichssituation „vorher“), (einfaktorielle Kovarianzanalyse,  $n = 95$ ,  $F = 0.470$ ,  $df = 1$ ,  $p = .247$ ,  $\eta^2 = .005$ )

Tabelle 24

*Ergebnisse Laborstudie Aufmerksamkeit/Konzentration (einfaktorielle Kovarianzanalyse)*

Ergebnis unter Berücksichtigung der Kontrollgrößenskalen	EG M (SD)	KG M (SD)	F	df	p	$\eta^2$	Kovariaten
F: Gesamtfehler d2	14.3 (13.99)	19.2 (13.51)	2.839	1	.048	.031	Alter*, Belastungen, Sehhilfe
F1: Auslassungsfehler d2	13.8 (13.48)	18.6 (13.13)	2.956	1	.045	.033	Alter*, Belastungen, Sehhilfe
F2: falsche Zeichen d2	0.5 (0.99)	0.6 (0.95)	0.225	1	.318	.004	Belastungen, Umwelt, Einstellung zu DL
GZ: bearbeitete Zeichen d2	509.6 (67.32)	458.2 (72.90)	3.808	1	.028	.065	Alter, Umwelt*, Nationalität und Sprache
LGVT01: Leseverständnis	17.1 (3.81)	17.9 (5.75)	0.470	1	.247	.005	Nationalität und Sprache, Einstellung zu DL, Geschlecht
LGVT02: Lesegeschwindigkeit	786.9 (144.29)	865.9 (175.65)	0.399	1	.265	.007	Geschlecht, Sehhilfe, Umwelt

*Anmerkung.* n = 95.

### 3.3.2.2. Hyperaktivität (motorische Unruhe)

Die Ergebnisse des Vergleiches der Experimental- und Kontrollgruppe hinsichtlich der motorischen Unruhe, gemessen durch eine optische Bewegungsmessung, zeigt Tabelle 25 (zweifaktorielle Kovarianzanalyse mit Messwiederholungen). Die effektive Fallzahl ist für diese Analysen aufgrund fehlender Angaben um einen Fall reduziert und beträgt  $n = 94$ . Als Kovariate fungierten die drei Kontrollgrößenskalen mit der höchsten Regression auf den jeweiligen Messzeitpunkt. Bei der Bewegungsmessung im Labor lässt sich, wie in der Schulstudie, eine signifikant größere und schnellere Beruhigung zugunsten der Experimentalgruppe feststellen (Faktor Gruppe x Zeit,  $F = 2.306$ ,  $df = 1$ ,  $p = .044$ ,  $\eta^2 = .026$ ). Allerdings ist der Gesamteffekt hier mit einer kleinen Effektstärke geringer als in der Schule mit einer mittleren Effektstärke. Ein durchschnittlicher Teilnehmer der Experimentalgruppe im Labor beruhigt sich um 40 % und ein Teilnehmer der Kontrollgruppe um 28 % bis zum Ende des Beobachtungszeitraumes (vgl. Abbildung 34). Demnach ist eine Differenz von 12 Prozentpunkten feststellbar. Keinen bedeutsamen Einfluss haben die geringfügigen Abweichungen der Lichteinstellungen zwischen den einzelnen Sitzplätzen der Teilnehmer, ob die Teilnehmer ein Medizinstudium absolvierten oder abgeschlossen hatten sowie ob die Teilnehmer eine Sehhilfe nutzten oder nicht (siehe Tabelle 23, S. 144). Obwohl dies die drei Störgrößenskalen mit den höchsten Regressionen auf die Zielgröße waren. Die Gruppen weisen signifikant unterschiedliche Ausgangswerte auf. Der Gruppenunterschied wird im Laufe der Zeit aber immer geringer und beträgt am Ende des Messzeitraumes  $\eta^2 = .000$  (siehe Tabelle 25). Auch spricht dies neben dem berichteten Gruppen x Zeit Effekt für die stärkere Reduktion von Unruhe in der Experimentalgruppe. Insgesamt wird für den Gruppenunterschied ein nicht signifikanter Effekt kleiner Größe festgestellt (Faktor Gruppe,  $df = 1$ ,  $F = 3.155$ ,  $p = .079$ ;  $\eta^2 = .036$ ) und über den gesamten Zeitverlauf wird ein hochsignifikanter Rückgang großer Effektstärke hinsichtlich motorischer Unruhe gefunden (Faktor Zeit,  $df = 4$ ,  $F = 69.239$ ,  $p = .000$ ,  $\eta^2 = .449$ ).

Bei der ergänzenden Messung von Hyperaktivität mit der Conners Rating Scale durch eine verblindete Gutachterin konnte bei keinem Teilnehmer der Laborstudie ein Symptom festgestellt werden. Demnach kann nicht zwischen den Gruppen verglichen werden.

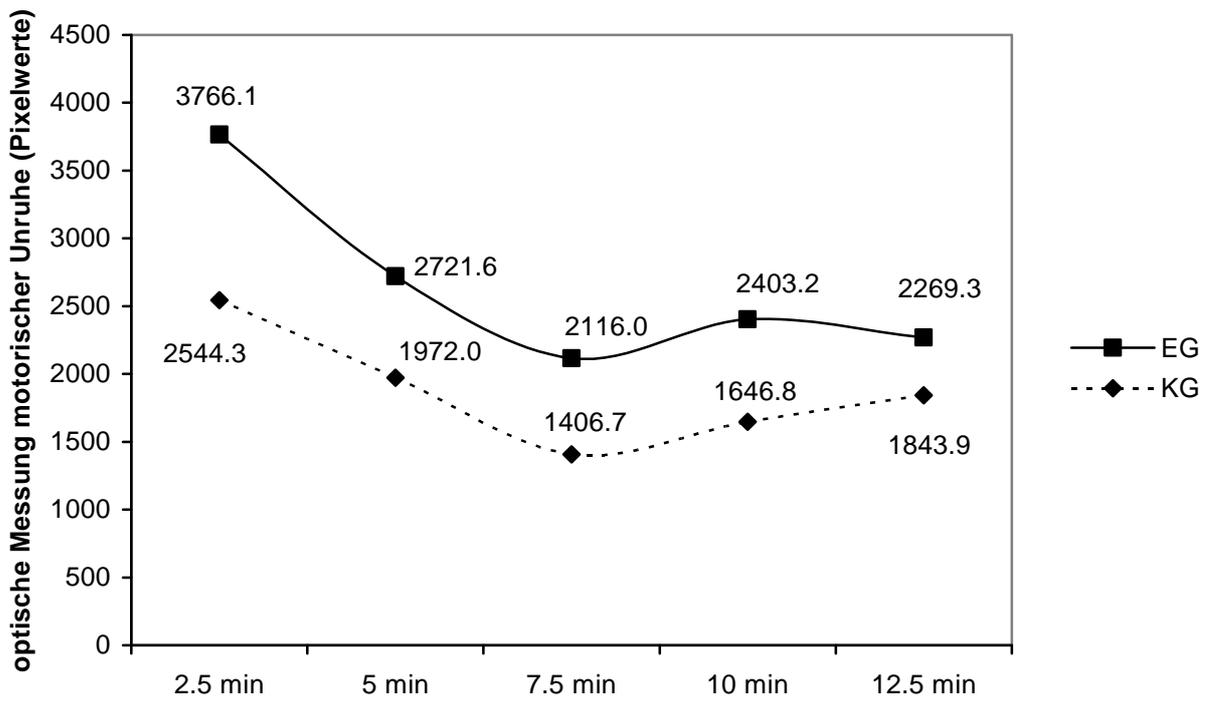


Abbildung 34

*Ergebnisse Laborstudie Hyperaktivität (motorische Unruhe): Experimentalgruppe mit Lichtprogramm „Beruhigen“ und Kontrollgruppe mit Vergleichslicht (Faktor Gruppe x Zeit,  $n = 94$ ,  $F = 2.306$ ,  $df = 1$ ,  $p = .044$ ,  $\eta^2 = .026$ )*

Tabelle 25

*Einzelkontraste der Verlaufsmessung motorische Unruhe unter Berücksichtigung der Kontrollgrößenskalen in der Laborstudie (zweifaktorielle Kovarianzanalyse mit Messwiederholungen, Faktor Gruppe)*

Ergebnis der Bewegungsmessung	EG M (SD)	KG M (SD)	F	df	p	$\eta^2$	Kovariaten
nach 2.5 min	3766.1 (1495.28)	2544.3 (1461.96)	1.735	1	.043	.034	Abw-Licht, Medizin, Sehhilfe
nach 5 min	2721.6 (1228.68)	1972.0 (1084.30)	1.448	1	.076	.024	Abw-Licht, Medizin, Sehhilfe
nach 7.5 min	2116.0 (1101.38)	1406.7 (994.55)	1.349	1	.091	.021	Abw-Licht, Medizin, Sehhilfe
nach 10 min	2403.2 (1132.13)	1646.8 (1051.95)	1.069	1	.144	.013	Abw-Licht, Medizin, Sehhilfe
nach 12.5 min	2269.3 (1189.15)	1843.9 (1090.03)	0.155	1	.439	.000	Abw-Licht, Medizin, Sehhilfe

*Anmerkungen.* n = 94, Abw-Licht (Lichtabweichungen zwischen den Sitzplätzen der Teilnehmer), Medizin (Medizinstudium).

### 3.3.2.3. Aggression und prosoziales Verhalten

Bei der Messung von Aggression konnte mit der strukturierten Verhaltensbeobachtung BASYS durch eine verblindete Gutachterin bei keinem Teilnehmer der Laborstudie eine aggressive Verhaltensweise beobachtet werden. Demnach entfällt der kovarianzanalytische Gruppenvergleich.

In Tabelle 26 sind die Ergebnisse des einfaktoriellen kovarianzanalytischen Vergleiches der Experimental- und der Kontrollgruppe der strukturierten Verhaltensbeobachtung hinsichtlich der Anzahl prosozialer Verhaltensweisen dargestellt. Die effektive Fallzahl ist für diese Analysen nicht reduziert und beträgt n = 95. Als Kovariate fungierten die drei Kovariaten mit dem jeweils höchsten Einfluss auf die jeweilige Zielgröße (siehe Tabelle 23, S. 144). Die Ergebnisse zeigen einen signifikanten Gruppeneffekt kleiner Größe für die Anzahl prosozialer Verhaltensweisen. Ein

durchschnittlicher Teilnehmer der Experimentalgruppe zeigt demnach mehr als eineinhalb Mal so viele prosoziale Verhaltensweisen unter DL5 „Beruhigen“ wie ein Teilnehmer der Kontrollgruppe unter Vergleichslicht (siehe Abbildung 35). Mindestens mittlere Effektgrößen, welche Signifikanz erreichen, weisen die Kontrollgrößenkalen Sehstörung und Medizinstudium auf. Keinen bedeutsamen Einfluss zeigt dagegen die Abweichung der Beleuchtungsstärke auf den Sitzplätzen der Teilnehmer, obwohl sie die dritthöchste Regression auf die prosozialen Verhaltensweisen aufwies (siehe Tabelle 23, S. 144).

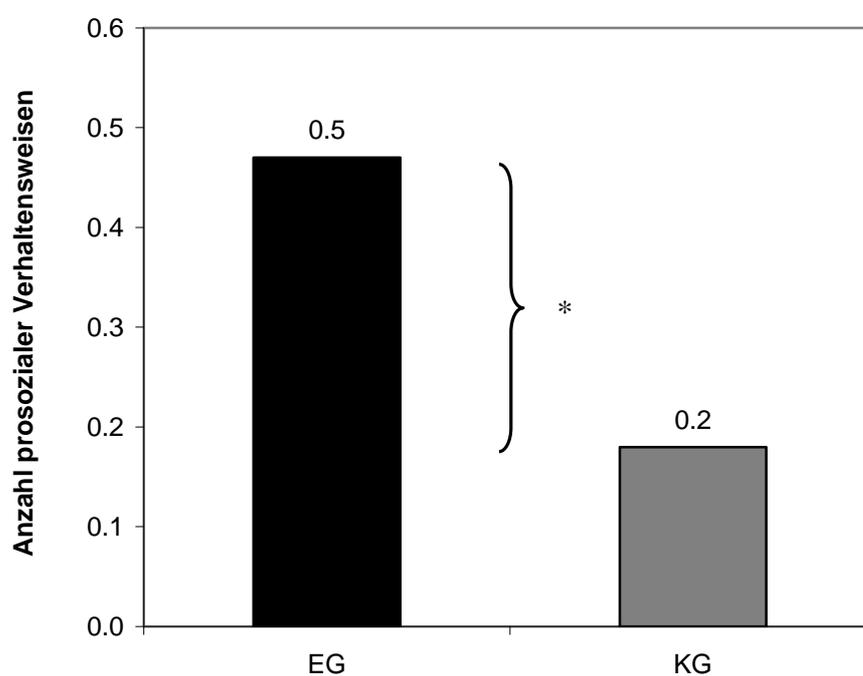


Abbildung 35

*Ergebnis prosozialer Verhaltensweisen der Teilnehmer der Laborstudie gemessen durch die systematische Verhaltensbeobachtung von einer verblindeten Gutachterin (EG mit Lichtprogramm „Beruhigen“, KG mit Vergleichslicht), (Einfaktorielle Kovarianzanalyse,  $n = 95$ ,  $F = 3.641$ ,  $df = 1$ ,  $p = .030$ ,  $\eta^2 = .039$ )*

Tabelle 27

*Ergebnisse Laborstudie Aggression und prosoziale Verhaltensweise unter Berücksichtigung der Kontrollgrößenskalen (einfaktorielle Kovarianzanalyse)*

Ergebnisse der Verhaltensbeobachtung	EG M (SD)	KG M (SD)	F	df	p	$\eta^2$	Kovariaten
aggressives Verhalten	-	-	-	-	-	-	-
prosoziales Verhalten	0.5 (0.63)	0.2 (0.44)	3.641	1	0.030	0.039	Abweichungen Licht, Medizinstudium**, Sehhilfe **

Anmerkung. n = 95.

### 3.3.2.4. Prozess und Einstellungsvariablen

Anders als in der Schulstudie, entfiel im Laborversuch die freie Anwendung der Lichtprogramme und damit auch die Einschätzung der Handhabung, denn das Dynamische Licht wurde im standardisierten Ablauf vom Testleiter erhoben. Die übrigen Prozess- und Einstellungsvariablen wurden wie in der Schulstudie gemessen. Die Ergebnisse sollen in den nächsten Abschnitten beschrieben werden.

### 3.3.2.5. Erleben und Bewertung der Wirkung aus Sicht der Berufstätigen und Studierenden

Die Grundidee des Dynamischen Lichts, der Wechsel zwischen den Lichtprogrammen, wurde von der großen Mehrheit der Versuchsteilnehmer positiv aufgenommen: Ungefähr 70 % der Teilnehmer der Laborstudie würden Dynamisches Licht Vorgesetzten, Kollegen, Kommilitonen und Hochschulverantwortlichen weiterempfehlen.

Die Teilnehmer empfanden Dynamisches Licht unter anderem deshalb als sinnvoll, da die Lichtverhältnisse entsprechend der vorliegenden Arbeitsaufgabe angepasst werden können. Eine Teilnehmerin (Studentin der Psychologie, 21 Jahre) begründete dies folgendermaßen: „Die Idee finde

ich sinnvoll und gut durchdacht, da die Lichtverhältnisse ein wichtiger Moderator für gutes Arbeiten sind.“ Neben den Erfahrungen mit der Wirkung des Dynamischen Lichts, wurde von den Teilnehmern die visuell wahrnehmbare Veränderbarkeit des Lichts geschätzt. Eine Teilnehmerin (Studentin der Psychologie, 20 Jahre) berichtete: „Durch das Dynamische Licht entsteht eine angenehme Atmosphäre in fast allen Arbeitsaufgaben.“ Somit unterstützt Dynamisches Licht auch visuell die Struktur von Arbeitsabläufen.

In den offenen Fragen wiesen 29 % der Teilnehmer explizit darauf hin, dass sie es angenehm finden, das Licht bei der Arbeit an ihre Stimmung anpassen zu können: „Die Möglichkeit des Anpassens des Lichtes an die Stimmung ist sehr angenehm.“, so eine Teilnehmerin der Studie (24 Jahre, Studentin der Medizin). Die Teilnehmer waren aber auch der Meinung, dass die Abstimmung problematisch sei, wenn sich mehrere Personen mit unterschiedlichen Arbeitsaufgaben im Raum aufhielten oder diese in unterschiedlicher emotionaler Stimmung seien. Zwei Teilnehmer kritisierten das Konzept insofern, als dass es „zu viele Variationsmöglichkeiten“ gäbe und der Wechsel der Lichtprogramme „Spielerei“ sei. Die Frage, inwiefern Dynamisches Licht mit Ressourcen für andere Arbeitsmittel konkurriert und welcher Anwendung Priorität gewährt werden sollte, ist in der Tat ein wichtiger Bestandteil, den es zu diskutieren gilt (siehe 4.4, S. 189).

Die Wirkung der einzelnen Programme des Dynamischen Lichts wurde von den Versuchsteilnehmern wie folgt erlebt:

Das Programm DL3 „Konzentriertes Arbeiten“ wurde von den Teilnehmern mehrheitlich als aktivierend, erfrischend, leistungssteigernd und konzentrationsfördernd erlebt:

- „Konzentriertes Arbeiten schafft wie von selbst ein produktiveres Arbeitsklima. Man ist gezwungen, sich zu konzentrieren.“ (Studentin der Medizin , 21 Jahre)
- „Die Einstellung Konzentriertes Arbeiten wirkt auflockernd, erfrischend und ist sehr angenehm.“ (Studentin der Medizin, 28 Jahre)

- „Trotz starker Müdigkeit konnte ich mich gut auf die Konzentrationstests konzentrieren.“  
(Versicherungsfachwirtin, 27 Jahre)
- „Konzentriertes Arbeiten gefiel mir sehr gut, weil ich das Gefühl hatte, frisch und voller Energie zu sein.“ (Studentin der Psychologie, 27 Jahre)

Von den Versuchsteilnehmern wird am Lichtprogramm DL3 „Konzentriertes Arbeiten“ vor allem die zu hohe Beleuchtungsstärke bemängelt: So vermerkten 20 % aller Teilnehmer (dies entspricht rund der Hälfte aller negativen Erfahrungen), dass sie das Lichtprogramm als zu „grell“ empfinden. In der Betreuung von Schulen, die Dynamisches Licht einsetzten, zeigte sich immer wieder, dass das Konzentrationslicht selten gleich zu Beginn geschätzt wird. Häufig ist eine gewisse Gewöhnungszeit notwendig und das Licht wird ab dem Zeitpunkt geschätzt, ab dem erste positive Erfahrungen mit der leistungssteigernden Wirkung gemacht werden. So berichtete eine 22-jährige Studentin der Medizin:

- „Es ist etwas gewöhnungsbedürftig (hell und grell), aber es steigert meine Aufmerksamkeit.“

Zwar mag die kurze Zeit des Experiments nicht für die Gewöhnung an die hohe Beleuchtungsstärke ausgereicht haben, trotzdem sollte eine Verringerung der Beleuchtungsstärke auch unter dem Gesichtspunkt von Energieeinsparung diskutiert werden (siehe 4.3, S. 175 und 4.4, S. 189).

Die Teilnehmer empfanden das Lichtprogramm DL5 „Beruhigen“ als „beruhigend“ und entspannend:

- „Es entstand schnell eine entspannte Atmosphäre.“ (Versicherungsfachwirtin, 27 Jahre)
- „Das beruhigende Licht erinnerte mich an Urlaubsstimmung und weckte positive Empfindungen.“  
(Sekretärin, 41 Jahre)

- „Stress abbauend“ (Bibliotheksmitarbeiter, 47 Jahre)
  
- „wirkt beruhigend, angenehm und warm“ (Jura- und Psychologiestudentin, 28 Jahre)
  
- „auch für diagnostische Gespräche anwendbar“ (Medizinstudentin, 24 Jahre)

Außerdem wird auf die Möglichkeit hingewiesen, anhand dieses Programms die Aufmerksamkeit/Konzentration zu steigern, zum Beispiel bei Stress, Anspannung, Aufregung sowie bei vertiefendem Nachdenken. Vereinzelt wird gewünscht, dieses Programm etwas heller zu gestalten, um die beruhigende Wirkung zu reduzieren und so länger in einem entspannten Zustand arbeiten zu können.

Bezüglich des Lichtprogramms DL7 „Extremes Beruhigen“ gab es nur sehr wenige Rückmeldungen. Diese beinhalteten sehr geteilte Meinungen. Während die Hälfte der Versuchsteilnehmer die beruhigende und entspannende Wirkung lobte und diese als angenehm für die Augen empfand, beurteilten die anderen Teilnehmer das Licht als zu einschläfernd und durch die geringe Beleuchtungsstärke als belastend für die Augen.

Zur globalen Verbesserung der eingestellten Programme wurden weniger extreme Programmunterschiede vorgeschlagen. So sollte die Beleuchtungsstärke von DL3 „Konzentriertes Arbeiten“ reduziert und die von DL5 „Beruhigen“ erhöht werden, was es nicht zuletzt aufgrund des Aspektes der Energieeinsparung zu diskutieren gilt. Nahezu jeder zehnte Teilnehmer empfand die Programmwechsel als zu abrupt und wünscht sich einen weicheren Übergang beim Wechsel der Programme.

Zusammenfassend wird festgehalten, dass Dynamisches Licht von der großen Mehrheit der Teilnehmer sehr positiv aufgenommen wird. Die leistungssteigernde und beruhigende Wirkung wird unmittelbar erlebt und durch die reflektierten Anmerkungen werden wertvolle Hinweise für die stetige Weiterentwicklung und Optimierung gegeben.

### 3.3.2.6. Subjektives Gefallen der Lichtprogramme

Im Labor konnten nur vier der sieben Programme aus technischen Gründen voreingestellt werden, deshalb konnten nur diese berücksichtigt werden.

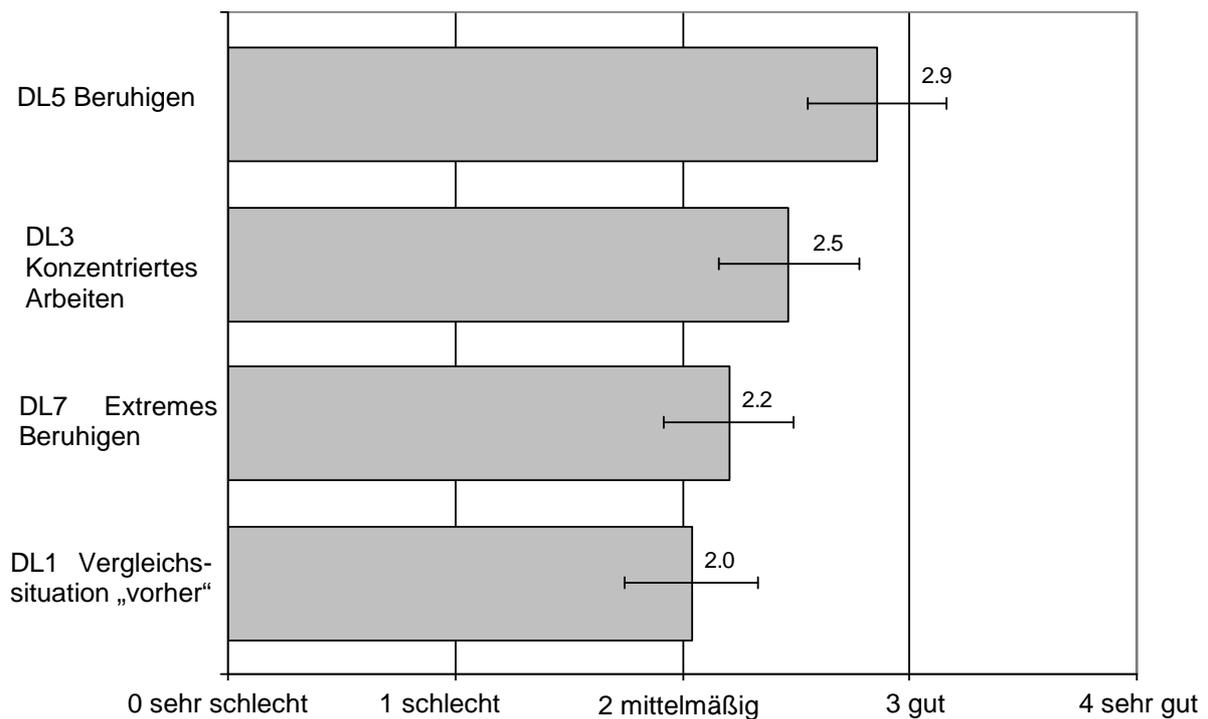


Abbildung 36

*Subjektives Gefallen der Lichtprogramme von den Teilnehmern der Laborstichprobe*

In Abbildung 34 werden die Bewertungen des subjektiven Gefallens der einzelnen Programme veranschaulicht. Entsprechend der Berichte über die Zufriedenheit mit der Wirkung der Lichtprogramme, werden auch im Rating des subjektiven Gefallens die Programme DL5 „Beruhigen“ und DL3 „Konzentriertes Arbeiten“ favorisiert: Beide Programme werden durchschnittlich mit „gut“ bewertet. Die Programme DL7 „Extremes Beruhigen“ und DL1 Vergleichssituation „vorher“ (die Abfrage diene lediglich zu dem Zweck des Vergleichs) wurden nur mit „mittelmäßig“ bewertet. Die Verallgemeinerung dieser Aussage ist vorsichtig zu interpretieren, denn die beiden mittleren Programme dieses Rankings (DL3 und DL7) weisen keinen Unterschied in Größe von mehr als zwei Standardfehlern zu den anderen Programmen auf. Dennoch ist die Tendenz eindeutig erkennbar. Das beliebteste Programm DL5 „Beruhigen“ und das am wenigsten beliebte Programm DL 1 Vergleichssituation „vorher“ unterscheiden sich in Größe von mehr als zwei Standardfehlern (vgl. Abbildung 36).

### **3.3.2.7. Ökonomie und Ökologie**

Die begleitende Befragung der Teilnehmer der Laborstudie zeigt: Dynamisches Licht darf nicht mehr Energie verbrauchen als Standardlicht, außer die Wirksamkeit ist wissenschaftlich belegt. Die Teilnehmer würden durchschnittlich 1600 € als angemessenen Preis betrachten. Ist die Wirkung wissenschaftlich belegt, würden sie 2100 € als angemessenen betrachten.

## **3.4. Nebenergebnisse**

### **3.4.1. Pilotstudie zur hormonellen Wirksamkeit**

Der Wirkmechanismus von Licht am Tage auf eher kurzfristige Verhaltensweisen, wie die beschriebenen Aufmerksamkeitssteigerungen (Fleischer, 2001; Küller & Lindsten, 1992) oder den positiven Einfluss auf soziale Verhaltensweisen und Kommunikation (Baron, Rea & Daniels, 1992), ist bis heute nicht eindeutig klärbar. Parallelen zum circadianen Wirkungsansatz scheinen aber

naheliegend, da Aufmerksamkeit/Konzentration einen circadianen Verlauf aufweist, der in etwa gegensätzlich zum Spiegel des „Schlafhormones“ Melatonin und parallel zum Spiegel des aktivierenden Hormones Cortisol verläuft (vgl. 1.3.3.3, S. 21; Birbaumer & Schmidt, 2006; Folkard & Monk, 1983, Hildebrandt, 1978.). In der Nacht führen hohe Melatoninwerte zu einer Verlangsamung von Reaktionszeiten und Fehlern bei Aufmerksamkeits-/Konzentrationsaufgaben (Liebermann et al., 1984). Dementsprechend wäre denkbar, dass auch kurzfristige Veränderungen der Aufmerksamkeit/Konzentration durch Licht am Tage durch diese Hormone moderiert werden. Auch der festgestellte Einfluss von Licht auf das Sozialverhalten könnte hormonell bedingt sein. So könnte die Verringerung des „Aktivitäts- und Stresshormons“ Cortisol (vgl. 1.3.3.3, S. 21) oder die Verringerung der Melatoninsuppression zu Entspannung und Ruhe führen und Empathie und prosoziales Handeln begünstigen.

Dementsprechend liegt es nahe zu prüfen, ob kurzfristige Lichtexpositionen am Tage zu Veränderungen des Cortisol-, beziehungsweise des Melatoninspiegels führen. Zur Klärung dieser Fragestellung ist eine weitere Pilotstudie erforderlich, da es keine verlässlichen Aussagen darüber gibt, ob sich die Tageswerte von Melatonin innerhalb der Nachweisgrenze des verwendeten Verfahrens befinden (Demeditec, 2008). Auch empirische Studien zur Melatoninsuppression beziehen sich ausschließlich auf die Nacht (z.B. Lewy et al., 1980; McIntyre, 1989). Die Pilotstudie zur Bestimmung der Nachweisgrenze und eines optimalen Tageszeitpunktes zur Messung der Hormone Melatonin und Cortisol mit einem Salviatest ist Bestandteil dieser Arbeit. Die Durchführung der Hauptstudie, die Untersuchung der Wirkung von Licht auf den Melatonin- und Cortisolspiegel, konnte aus organisatorischen Gründen nicht mehr in diese Arbeit einfließen.

Bei der Pilotstudie zur hormonellen Wirksamkeit handelte es sich um eine längsschnittliche Untersuchung des Tagesverlaufs von Melatonin und Cortisol im Speichel (Saliva) von 10 gesunden Probanden. Das Ziel dieser Untersuchung war die Testung der neuen Verfahren „Cortisol in Saliva“ (Demeditec, 2010) und „Direct Saliva Melatonin ELISA“ (Demeditec, 2008). Des Weiteren sollte ein geeigneter Tageszeitpunkt für einen hormonellen Wirkungsnachweis gefunden werden. Ergänzt wurde dies durch einen Cortisolverlauf über den Tag von einer Kollegin, die aufgrund einer Erkrankung kein

Melatonin in ihrer Zirbeldrüse erzeugen kann und querschnittlich pro Messzeitpunkt mit den gesunden Probanden verglichen wird. Durch diesen Vergleich kann der ungefähre Anteil des lichtabhängigen Melatonins vom Gesamtanteil (durch z.B. lichtunabhängige Produktion im Darm) bestimmt werden.

Bei den ELISA Tests (Enzyme Linked Immunosorbent Assay) binden sich bestimmte Proteine (Antikörper) an die zu messenden Stoffe (Antigene). Mit einem weiteren Enzym, einem sogenannten Enzymmarker, werden die Antikörper-Antigen-Verbindungen markiert. Unter Zugabe weiterer Substanzen entsteht ein Farbprodukt, welches durch Licht einer bestimmten Wellenlänge quantifiziert werden kann. Der Spiegel der beiden Hormone hätte im Blut (Serum) genauer bestimmt werden können, doch wäre dazu eine Blutentnahme und somit ein wesentlich invasiverer Eingriff notwendig gewesen. Insbesondere beim Pilottest, dem Erstellen des Tagesverlaufs, war die ELISA Methode von Vorteil, da ansonsten mehrfach Blut hätte entnommen werden müssen.

Für den Pilottest zur hormonellen Wirksamkeit wurden Kontrollgrößen durch einen Fragebogen auf Itemebene und ein Protokoll erhoben um Erfahrungen für die Hauptuntersuchung zu sammeln. Für den Pilottest konnten diese jedoch aufgrund der kleinen Stichprobenanzahl ( $n = 11$ ) nicht berechnet werden und wurden lediglich per Augenschein kontrolliert:

- Geschlecht
- Alter
- Bildung / Beruf
- normale Aufstehenszeit, normale Einschlafenszeit, Uhrzeit des Aufstehens am Messtag, Uhrzeit des Einschlafens am Vortag, Schlaf während des Tages
- Gesundheit, Beeinträchtigung durch Konflikte, körperliche Beschwerden, Belastung durch Arbeitswoche
- Arbeitszeit, Pause oder Freizeit
- Sport / körperliche Bewegung, Tätigkeit im Freien
- Stress, Müdigkeit, Ärger / Wut , Aktivität / Entspannung, Aufmerksamkeit/Konzentration
- Einnahme hormonhaltiger Medikamente (z. B. Verhütungsmittel)

- Einnahme von Milchprodukten, Sojaprodukten und Gurken
- Einnahme entgegen der Anweisung: Koffein, Teein, Alkohol, Getränke, die Farbstoffe enthalten

Für folgende Confounder werden die Zeitpunkte bei allen Probanden einheitlich festgelegt:

- Aufstehen: Spätestens um 7 Uhr morgens
- Zähneputzen: Spätestens bis 7:30 Uhr, dann bis zur letzten Messung um 20 Uhr ganz unterlassen
- kein Interkontinentalflug in den letzten vier Wochen
- gleiche Region (Hamburg und Umgebung), gleicher Messtag und gleiche Uhrzeiten für die Entnahme der Proben

Die Pilotstudie fand am 03.6.2009 statt. Für die Durchführung der Pilotstudie wurde ein Mittwoch gewählt, denn in der Mitte der Woche konnte gewährleistet werden, dass sich der Wach-Schlaf-Rhythmus normalisiert hatte und nicht mehr durch das Wochenende beeinflusst wurde. Die Probanden wurden angewiesen, spätestens um 7 Uhr morgens am Mittwoch, den 3. Juni 2009, aufzustehen. Weiter wurden sie gebeten, das morgendliche Zähneputzen vor 7:30 Uhr zu erledigen, um die Messung nicht zu beeinträchtigen. Um 8 Uhr fand die erste Messung statt. Weitere Messungen fanden alle zwei Stunden bis 20 Uhr statt.

Die Probanden wurden weiter angeleitet, von 0 bis 20 Uhr des Messtages keinen Kaffee, keinen Alkohol und keine Getränke mit Lebensmittelfarbe zu sich zu nehmen. Auch sollte eine halbe Stunde vor den Messungen auf Speisen und Getränke jeglicher Art verzichtet werden. Die Probanden wurden per Anruf oder SMS an die Messungen erinnert. Die Speichelproben wurden von den Probanden während ihrer normalen Tagesbeschäftigung in Salivetten gesammelt. Die Probanden erhielten neben den benötigten 7 Salivetten eine Kühltasche, ein Kühlaggregat, einen Hygienebeutel sowie einen Fragebogen (siehe Abbildung 37). Die Speichelproben wurden tagsüber in der Kühltasche und im Hygienebeutel verwahrt. Abends wurde der Hygienebeutel aus der Kühltasche in den Kühlschrank des

Probanden gelegt oder direkt abgegeben. Sofern letzteres nicht geschah, wurden die gekühlten Proben am nächsten Tag vom Testleiter eingesammelt und in das Zentrallabor des UKEs zur Auswertung gebracht.



Abbildung 37

*Ausstattung zur Sammlung der Speichelproben*

Bei der hier beschriebenen Pilotstudie nahmen ausschließlich 11 freiwillige, volljährige Kollegen mit medizinischem Berufshintergrund teil, die ausdrücklich mit den Untersuchungsbedingungen einverstanden waren. Bei dem epidemiologischen Vorgehen dieses Pilottests waren weder Patienten als Teilnehmer involviert, noch erfolgte eine Indikation oder eine medizinische Untersuchung: Das gegebene Umgebungslicht wurde nicht beeinflusst und die Entnahme der Speichelproben erfolgte durch die Teilnehmer selbst. Aus diesen Gründen wurde auf einen Ethikantrag verzichtet.

Insgesamt bestand die Stichprobe für die Pilotstudie aus elf Teilnehmern, acht Frauen und drei Männern im Alter zwischen 23 und 41 Jahren (Durchschnittsalter: 30 Jahre). Bis auf die Kollegin, die an einer Erkrankung der Zirbeldrüse leidet, erfreuten sich alle übrigen Teilnehmer bester Gesundheit (3,2 auf einer fünfstufigen Skala von 0 bis 4). Die Teilnehmer stehen für gewöhnlich (außer am standardisierten Testtag) durchschnittlich um sieben Uhr morgens auf (6:15 bis 8:00 Uhr) und gehen durchschnittlich um null Uhr zu Bett (23:00 bis 01:00 Uhr). Überlegungen zur Repräsentativität der

Stichprobe standen hier nicht im Vordergrund. Ziel war es vielmehr, erste praktische Erfahrungen mit dem neuartigen Messverfahren zur Erhebung während des Tages zu sammeln. Die Tagesverläufe von Melatonin und Cortisol werden deskriptiv dargestellt.

Die Ergebnisse des deskriptiven Vergleiches des Melatoninverlaufs am Tage zwischen gesunden Kollegen (n = 10) und einer Kollegin (n = 1) ohne körpereigene (endogene) Melatoninbildung in der Zirbeldrüse zeigt Abbildung 38. In der Tendenz bilden die Werte den erwarteten Tagesverlauf ab. Die Tageswerte des Melatoninspiegels unterscheiden sich tendenziell zwischen den gesunden Teilnehmern und der Teilnehmerin ohne endogene Melatoninsekretion in der Zirbeldrüse (vgl. Abbildung 35). Demnach wiesen die Teilnehmer einen normalen Tagesverlauf von Melatonin auf, der knapp oberhalb der Nachweisgrenze des verwendeten Verfahrens liegt und tendenziell höher ist als die Werte besagter Kollegin. Die Streuungen innerhalb der Messzeitpunkte zwischen den zehn gesunden Teilnehmern waren sehr groß (siehe Abbildung 35). Die höchsten Werte werden ab 16 Uhr gemessen, die geringsten Streuungen am Morgen zwischen 8 und 10 Uhr. Der Ausreißer beim Messwert der Kollegin um 14 Uhr konnte weder durch den begleitenden Fragebogen noch durch persönliche Nachfrage aufgeklärt werden.

Die Menge des entnommenen Speichels in den Salivetten reichte nicht zur zusätzlichen Analyse des Cortisolspiegels aus und kann aus diesem Grund nicht dargestellt werden.

Die wichtigsten Einschränkungen ergeben sich aus dem Charakter der Pilotstudie. Durch den Pilottest konnten einerseits viele praktische Erfahrungen in der Durchführung zur Entnahme und Auswertung der Speichelproben gesammelt werden, doch kann eine ausreichende Sensibilität des Melatonintests am Tage nicht eindeutig festgestellt werden. Eine größere Pilotstichprobe hätte zwar einerseits die Aussage diesbezüglich erhöht, andererseits wurde diese jedoch a priori aufgrund der Kosten des ELISA-verfahrens gering gehalten.

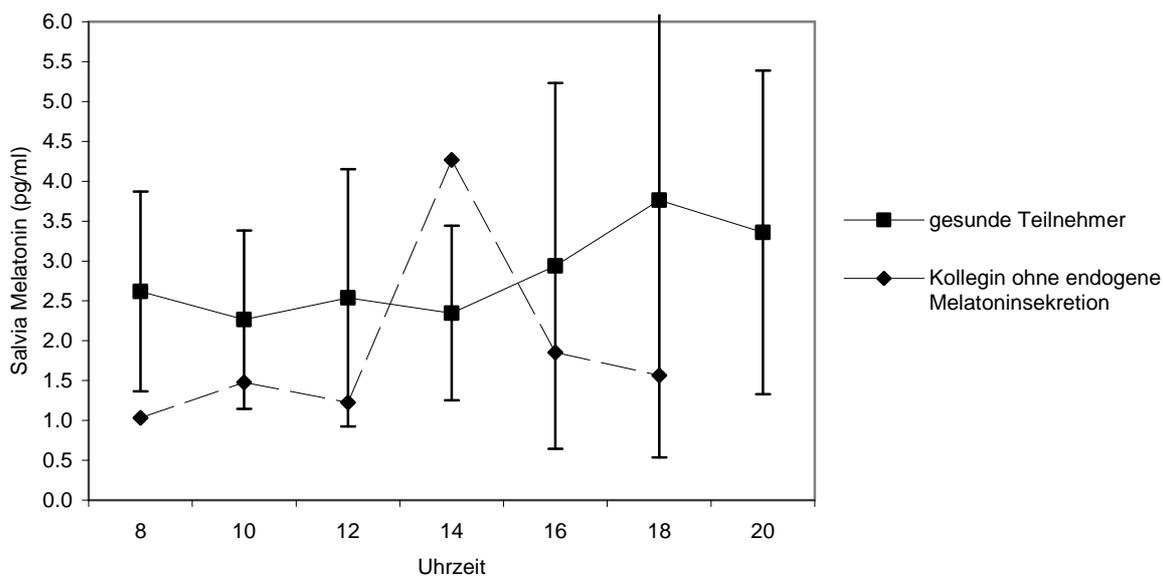


Abbildung 38

*Tagesverlauf Melatoninspiegel von 11 freiwilligen UKE-Mitarbeitern*

*Anmerkung.* Abweichend stellen die Balken den einfachen und nicht den doppelten Standardfehler des Mittelwerts, aufgrund der Abbildbarkeit, dar.

Nach Rücksprache mit dem Zentrallabor des Instituts für Klinische Chemie des UKEs kann folgendes Fazit aus den Ergebnissen der Pilotstudie gezogen werden: Die Ergebnisse des verwendeten Verfahrens liegen auch am Tage knapp innerhalb der Nachweisgrenze. Dementsprechend kann das verwendete Instrument eingeschränkt zum Nachweis einer lichtabhängigen Reaktion eingesetzt werden. Als Zeitpunkt für die Hauptstudie kommt am ehesten der frühe Morgen zwischen 8 und 9 Uhr in Frage, da die Messwerte dort die geringste Streuung aufweisen. Wie groß der Anteil der lichtunabhängigen Melatoninproduktion im Darm ist, kann aufgrund der hohen Standardabweichung zwischen den gesunden Teilnehmern jedoch nicht eindeutig festgestellt werden.

Aufgrund der insgesamt hohen Streuung wäre es zum Nachweis einer lichtabhängigen Reaktion am Tage sinnvoll, Ausgangswerte, zum Beispiel in einem verdunkelten Raum, zu gewinnen und danach eine zweite Speichelprobe bei einer entsprechenden Lichtexposition zu sammeln. Somit könnte die

Wirksamkeit über die Differenz pro Person ermittelt werden. Ein gelungener Wirkungsnachweis würde dafür sprechen, dass die festgestellten kurzfristigen Vorteile in der Aufmerksamkeit/Konzentration durch Licht am Tage hormonell moderiert werden. Würde ein Wirkungsnachweis keine bedeutsamen hormonellen Unterschiede zwischen Licht mit verschiedenen Eigenschaften zeigen, wäre dies ein Hinweis um nach alternativen biologischen Erklärungsmodellen zu suchen und würde Diskussionen über die Möglichkeit von Nebenwirkungen der Melatonin-suppression am Tage überflüssig machen.

### 3.4.2. Pilotvalidierung Childmove

Die Pilotvalidierung der optischen Bewegungsmessung Childmove soll erste Aussagen zur Reliabilität sowie zur konvergenter und diskriminanter Validität ermöglichen. Dazu wurden die Bewegungswerte von Childmove mit der Conners Rating Scale (Steinhausen, 2004) verglichen und der Unterschied zwischen Schülern und Erwachsenen überprüft. Bei letzteren kann von weniger motorischer Unruhe ausgegangen werden, wenn diese die gleiche standardisierte Beschäftigung ausüben, da diese über einen geringeren Bewegungsdrang verfügen (vgl. z.B. Hauner & Berg, 2000; Mensink, 2003; 2002). Ein Indiz für die verringerte motorische Unruhe bei Erwachsenen ist auch die geringere Prävalenz von ADHS bei Erwachsenen als bei Kindern (vgl. z.B. Polanczyk, 2007).

Weil insgesamt  $n = 54$  Schüler bei Prä- oder Postmessung fehlten oder nicht durch die Kamera für das optische Messverfahren erfasst werden konnten, reduzierte sich die effektive Fallzahl für die Schülerstichprobe zur Bestimmung der **Split-Half Reliabilität** auf  $n = 62$ . Die Stichprobe zur Ermittlung der Split-Half Reliabilität bei den Laborteilnehmern reduziert sich nicht und beträgt  $n = 95$ . Zur Berechnung der Split-Half Reliabilität wurden die ersten Messwerte und die letzteren Messwerte der jeweiligen Messung gemittelt und eine Produkt-Moment-Korrelationen zwischen ihnen gebildet. Die Split-Half Reliabilität von Childmove weist an der Schülerstichprobe  $r = .690^{**}$  und an der Erwachsenenstichprobe  $r = .885^{**}$  auf. Dies bedeutet eine große Korrelation zwischen der ersten und zweiten Hälfte der Messung, sowohl bei den Schülern als auch bei den Erwachsenen.

Zum Zwecke einer Überprüfung der **konvergenten Validität** bewerteten zwei verblindete Gutachter das Verhalten von aus der Stichprobe zufällig gezogenen Schülern ( $n = 21$ ) per Video mit der Conners Rating Scale (Steinhausen, 2004). In der Laborstudie wurden alle Teilnehmer ( $n = 95$ ) von einer verblindeten Gutachterin anhand der Conners Rating Scale beurteilt. Zwischen den Ausprägungen der Beurteilungen der Gutachter und den Messwerten der optischen Bewegungsmessung wurde eine Produkt-Moment-Korrelation gebildet. Dabei wurden kleine bis mittlere Korrelationen zwischen den einzelnen Items zur motorischer Unruhe und Childmove festgestellt. Insgesamt beträgt die Korrelation zwischen der Conners Rating Scale und Childmove  $r = .290$  (n.s.). Demnach besteht ein kleiner Zusammenhang (vgl. Cohen, 1988) zwischen der Beurteilung anhand der klinisch ausgerichteten Conners Rating Scale und der Childmove-Messung bei gesunden Schülern, der jedoch keine Signifikanz aufweist und somit nicht verallgemeinerbar über die Stichprobe hinaus wäre. In der Laborstudie konnte bei jungen Erwachsenen keinerlei Symptomausprägung auf der Conners Rating Scale festgestellt und somit keine Korrelation zu Childmove berechnet werden. Die globale Selbsteinschätzung der Unruhe aller Teilnehmer auf einer fünfstufigen Ein-Item-Skala („Als wie unruhig würden Sie sich jetzt einschätzen?“) wies jedoch eine große Korrelation zu Childmove auf ( $r = .889^{**}$ ).

Bei der Berechnung der **diskriminanten Validität** reduziert sich die Stichprobe, wie oben beschrieben, auf  $n = 101$ . Die Schülerwerte der Prä-Messung ohne Einfluss einer speziellen Lichtexposition und die Messwerte der Kontrollgruppe der Laborstichprobe, ebenfalls unter Standardlichtbedingungen, wurden deskriptiv verglichen. Hierbei zeigte ein Vergleich transformierter Mittelwerte zweier Stichprobenpopulationen deutliche Unterschiede zwischen Schülern und Erwachsenen (siehe Abbildung 39). Dies bedeutet, ein Schüler liegt durchschnittlich 0.5 bis 1.7 Standardabweichungen über dem Bewegungswert der Erwachsenen im Labor. Eine Überprüfung durch eine zweifaktorielle Varianzanalyse mit Messwiederholungen zeigte einen hochsignifikanten Gruppenunterschied großer Effektstärke zwischen der Schüler- und Erwachsenenpopulation (Faktor

Gruppe,  $n = 101$ ,  $df = 1$ ,  $F = 23.634$ ,  $p = .000$ ,  $\eta^2 = .193$ ). Des Weiteren wurde ein hochsignifikanter Rückgang großer Größe über den zeitlichen Verlauf festgestellt (Faktor Zeit,  $df = 3$ ,  $F = 21.102$ ,  $p = .000$ ,  $\eta^2 = .176$ ) sowie ein signifikant unterschiedlicher zeitlicher Verlauf mittlerer Größe zwischen den beiden Gruppen (Faktor Zeit x Gruppe,  $df = 3$ ,  $F = 8.534$ ,  $p = .001$ ,  $\eta^2 = .079$ ).

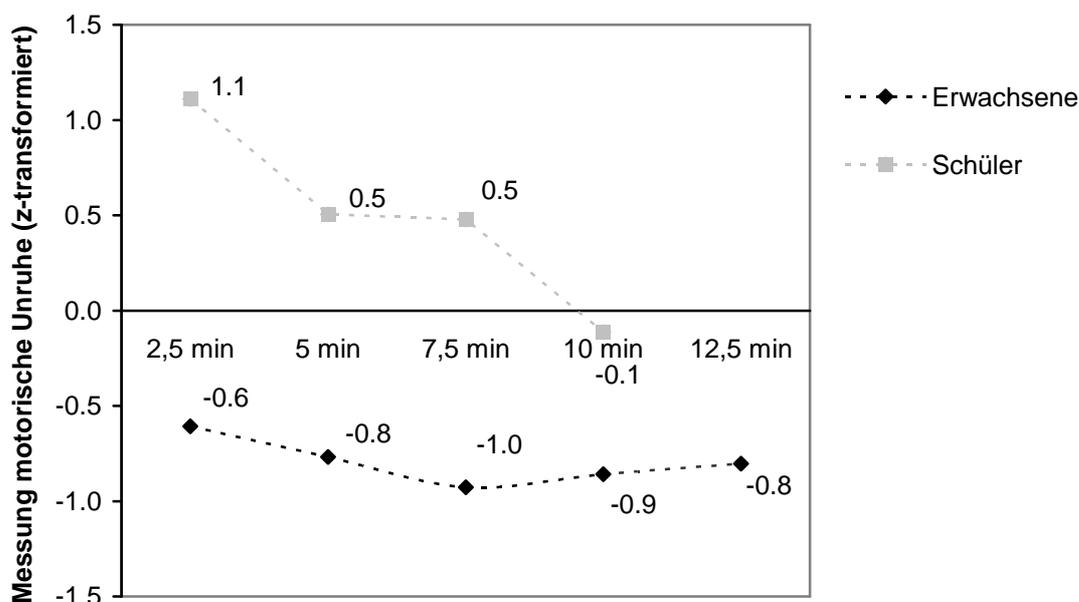


Abbildung 39

Schüler und junge Erwachsene im Vergleich unter Kontrollbedingungen

*Anmerkungen.* Aufgrund der an das Setting angepassten Einstellungsparameter von Childmove wurden die Werte beider Studien z-transformiert um einen Vergleich zu ermöglichen. Die beschriebene Berücksichtigung der Gruppengröße (vgl. 2.3.1.2, S. 71) wurde aufgrund der z-Transformation entfernt.

## 4. Diskussion

### 4.1. Hauptergebnisse

#### 4.1.1. Feldstudie

Die Hauptergebnisse für die **kurzfristige Wirkung** lassen sich für die **primären Zielgrößen** wie folgt zusammenfassen:

1. **Aufmerksamkeit/Konzentration:** Bei der Verwendung von Dynamischem Licht wurden bei drei von sechs getesteten Parametern des d2 Tests und des Lesetests mindestens kleine und in der Tendenz signifikante Effekte gefunden.
2. **Hyperaktivität:** Bei der kurzfristigen Verwendung von Dynamischem Licht wurde ein signifikant schnellerer und größerer Rückgang mittlerer Effektgröße der motorischen Unruhe festgestellt.
3. **Aggression und prosoziale Verhaltensweisen:** Bei der Verwendung von Dynamischem Licht wurden tendenzielle Vorteile festgestellt.

Für die **primären und sekundären Zielgrößen** ließen sich **langfristig** nach Ablauf des Schuljahres keine bedeutsamen Effekte feststellen, lediglich in der Selbsteinschätzung aggressiver Verhaltensweisen wurde ein in der Tendenz signifikanter Vorteil kleiner Effektgröße gefunden.

Für die ergänzenden **Prozessvariablen** können folgende Hauptergebnisse zusammengefasst werden: Im Schulalltag eingesetzt wurden überwiegend die drei Hauptprogramme DL4 „Aktivieren“, DL3 „Konzentriertes Arbeiten“ und DL5 „Beruhigen“. Mehrheitlich berichteten Schüler und Lehrer über positive Erfahrungen mit Dynamischem Licht, würden es weiterempfehlen und akzeptierten einen höheren Preis für das Produkt. Ein höherer Energieverbrauch wurde nur unter der Voraussetzung akzeptiert, dass die Wirkung belegbar ist oder Energie an anderer Stelle eingespart wird. Nach

Meinung der Lehrer sollte die Anzahl der Programme auf die vier Hauptprogramme reduziert werden und es sollte ein noch wärmeres Lichtprogramm ( $<3000\text{ K}$ ) geben. Die Schüler wünschten sich einen weicheren Übergang beim Wechseln der Programme.

#### 4.1.2. Laborstudie

Die Hauptergebnisse für den komplementären Vergleich der kurzfristigen Wirkung unter Laborbedingungen lassen sich wie folgt zusammenfassen:

1. **Aufmerksamkeit/Konzentration:** Bei der Verwendung von Dynamischem Licht wurden bei drei von vier getesteten Parametern des d2 Tests mindestens signifikante Unterschiede kleiner Effektgröße gefunden. Hinsichtlich der beiden Parameter des verwendeten Lesetests ließ sich kein bedeutsamer Unterschied feststellen.
2. **Hyperaktivität:** Bei der Verwendung von Dynamischem Licht wurde ein signifikant größerer und schnellerer Rückgang (kleiner Effektgröße) motorischer Unruhe festgestellt.
3. **Aggression und prosoziale Verhaltensweisen:** Bei der Verwendung von Dynamischem Licht wurde ein signifikanter Vorteil kleiner Effektstärke in der Anzahl der beobachteten prosozialen Verhaltensweisen festgestellt. Aggressive Verhaltensweisen konnten weder in der Experimental- noch in der Kontrollgruppe beobachtet werden.

Die Betrachtung der **sekundären Zielgrößen und der langfristigen Wirksamkeit** entfiel in der Laborstudie.

Für die ergänzenden **Prozessvariablen** können folgende Hauptergebnisse zusammengefasst werden:

Die Wirkung von Dynamischem Licht wurde von den Teilnehmern mehrheitlich positiv aufgenommen. Mehrheitlich empfahlen die Teilnehmer Dynamisches Licht weiter und würden einen höheren Preis für das Produkt akzeptieren. Höherer Energieverbrauch wurde nur unter der Voraussetzung akzeptiert, dass die Wirkung belegbar ist oder Energie an anderer Stelle eingespart

wird. Die Teilnehmer regten dazu an, die Einstellungen der verwendeten Programme weniger extrem zu gestalten, also anzugleichen. Außerdem schlugen sie weichere Übergänge beim Wechseln der Programme vor.

## **4.2. Methodische Kritik**

### **4.2.1. Feldstudie**

Der methodische Hauptkritikpunkt der Feldstudie liegt auf der Auswahl und Größe der Stichprobe. Zwar war die anfängliche Stichprobengröße von ungefähr 160 Schülern bei erwarteten kleinen bis mittleren Effekten und einer angenommenen Testpower von 0.80 zunächst ausreichend (vgl. Bortz & Döring, 2006), doch musste mit dem blockweisen Ausscheiden mindestens eines Klassenzuges gerechnet werden. Die Ausstattung weiterer Klassen bzw. Schulen war aus finanziellen Gründen nicht möglich. Als Kritikpunkt kann die geringe Fallzahlenkalkulation angesehen werden, wenn die jeweils drei in der Stichprobe enthaltenen Schulformen und Altersgruppen separat betrachtet werden: Aus methodischer Sicht handelt es sich hier um drei Stichproben mit ungefähr jeweils 50 Schülern. Es wären also mindestens 160 Schüler pro Schulform und Alterstufe, also pro Zelle, wünschenswert gewesen. Dies wäre jedoch nur wieder mit der Vergrößerung der Gesamtstichprobe erreicht worden, oder mit der Beschränkung auf eine Schulform und eine Alterstufe bei gleich bleibender Fallzahl. Methodische Gesichtspunkte waren aber nur ein Teilaspekt in der Entscheidungsfindung bei der Planung. Erstens wurde die Evaluation von allen Beteiligten des Projekts anfänglich mit großer Skepsis betrachtet: Mit einer so deutlichen Abbildung der Wirkung durch wissenschaftliche Methoden hatte zu diesem Zeitpunkt keiner der beteiligten Projektpartner gerechnet. Deshalb waren die Ziele der Evaluation ursprünglich sehr viel explorativer gesetzt worden. Bei explorativer Zielsetzung einer Pilotstudie machte es durchaus Sinn, Tendenzen in möglichst vielen Schulformen und Altersstufen zu betrachten. Zweitens war es zur Außendarstellung des Gesamtprojekts wichtig, möglichst viele verschiedene Schulformen, Stadtteile und Altersstufen zu integrieren.

Auch sind aufgrund der Stichprobenauswahl und der geringen Stichprobengröße Selektions- und Settingeffekte nicht auszuschließen. So könnte sowohl die Richtung als auch die Höhe von Effekten durch z.B. die Auswahl von Schulen, die sich aus Eigenmotivation zur Studienteilnahme angemeldet hatten oder durch z.B. die ausgewählten Altersgruppen bedingt sein. Die Repräsentativität der Stichprobe scheint durch ihre Auswahl, Struktur und Größe eingeschränkt. Allerdings lassen sich die gefundenen Ergebnisse neurobiologisch erklären und entsprechen dem Stand der empirischen Forschung (vgl. 1.3.2, S. 16; 1.4, S.38). Somit weist die Stichprobe erklärbare Effekte weitestgehend in gleicher Richtung wie bei Vergleichsstudien im Schulsetting als auch bei Studien mit abweichenden Stichprobenpopulationen auf (vgl. ebenda). Des Weiteren wichen die Klassen der Stichproben im Mittel bei allen normierten Ziel- und Kontrollgrößen nicht bedeutsam von der entsprechenden bundesdeutschen Norm ab (vgl. ebenda). Dies deutet eher auf Repräsentativität als auf eine selektive Stichprobe hin.

Die kleine Stichprobengröße wirkt sich ebenfalls beeinträchtigend auf die Kontrolle der Störgrößen bei dem kovarianzanalytischen Verfahren aus, da bei der gegebenen Stichprobengröße neben den Ausgangswerten nur die beiden Kontrollgrößen mit der höchsten Regression auf die Zielgröße berücksichtigt werden können. Die Vergleichbarkeit zwischen den jeweiligen Interventions- und Kontrollklassen wurde aber a priori sichergestellt und überprüft (vgl. 3.2.1, S. 114).

Ein weiterer Kritikpunkt ist, dass es notwendig gewesen wäre, die Langzeiteffekte mit einem umfangreicheren Design zu untersuchen. Im Design dieser Studie wurde lediglich ein Fragebogen zum Zeitpunkt Prä und ein weiterer zum Zeitpunkt Post verwendet. Das Design zur Langzeitwirkung wurde, hauptsächlich aufgrund von zeitlichen Beschränkungen vor Projektbeginn und geringen Erfolgsaussichten bei kumulativer Wirkung der Störgrößen über diesen langen Zeitraum, recht einfach gehalten. Der eingesetzte Fragebogen war möglicherweise auch aufgrund der verwendeten Skalen zu klinisch ausgerichtet. Die klinischen Skalen verfügen zwar meist über eine gute Validierung und sind normiert, doch sind sie bei gesunden Schülern nicht immer sensitiv genug. Somit bleiben die Ursachen für das Ausbleiben der entsprechenden Wirkungsnachweise der Langzeitwirkungen unklar und sind möglicherweise unter anderem in der Methodik zu suchen.

#### 4.2.2. Laborstudie

Methodische Kritik an der Vergleichbarkeit der ergänzenden Laborstudie kann in den leichten Abweichungen des methodischen Vorgehens zur Schulstudie geübt werden: Die kurzfristige Wirkung wurde hier einmalig innerhalb von ca. eineinhalb Stunden getestet, die Einstellung der Lichtprogramme variierte anlagen- und messbedingt leicht und es wurde an Erwachsenen statt an Kindern getestet.

- Die Variation der Einstellung der Lichtprogramme hat vor allem messbedingte Gründe. Zum Zeitpunkt als die Datenerhebungen der Laborstudie begannen, waren nur die Soll-Einstellungen der Lichtprogramme bekannt und die tatsächliche Einstellung des Lichts (Ist-Einstellung) in den einzelnen Klassenzimmern noch nicht exakt ausgemessen (vgl. 2.2, S. 57). Demnach wurde der Referenzpunkt für das Kontrolllicht DL1 Vergleichssituation „vorher“ in der Beleuchtungsstärke höher als in der Schulstudie eingestellt und die ähnlichste Farbtemperatur wurde statt mit neutralweiß auf warmweiß festgelegt. Von diesem Referenzwert aus wurde die Beleuchtungsstärke DL5 „Beruhigen“ ebenfalls zu hoch eingestellt. Außerdem kam es anlagenbedingt zu leichten Variationen, da sich die Einstellungen der kleineren Anlage in dem kleineren Laborraum nicht völlig identisch mit denen des Schulraumes festlegen ließen.
- Der Ablauf der Testung wurde aus ökonomischen Gründen vereinfacht. So wurden a priori durch die Laborbedingungen größere Effekte als in der Schulstudie erwartet und deshalb beschlossen, die Teilnehmer nur einmalig zu testen und die Gruppen querschnittlich zu vergleichen.
- Die Wahl der Stichprobenpopulation kann durchaus kontrovers diskutiert werden. Einerseits wurde an einer anderen Population getestet, andererseits sprechen die Ergebnisse für eine altersunabhängige Wirkung. Auch hätten für eine bessere Vergleichbarkeit der Studien Schüler unter Laborbedingungen getestet werden müssen. Die Wahl der

Stichprobenpopulation fiel trotzdem auf Erwachsene, insbesondere Studenten, weil diese wesentlich einfacher und günstiger zu rekrutieren waren. Für die Laborstudie Schüler über die Schulen zu gewinnen wurde verworfen, da die Schüler ins Labor hätten kommen müssen und die Eltern dem nicht zugestimmt hätten. Eine Rekrutierung von schulpflichtigen Kindern außerhalb der Schulzeit über Anzeigen und Incentives wurde aus Kostengründen nicht vorgenommen.

Insgesamt betrachtet muss festgestellt werden, dass durch die Veränderung der Studienbedingungen vom realen Klassenzimmer in Laborräume ohnehin Modifikationen notwendig waren. Die Schulstudie wurde so gut wie möglich unter den gegebenen Mitteln ins Labor übertragen. Eine Übersicht über die Gemeinsamkeiten und Unterschiede zwischen Feld- und Laborstudie wird in Abschnitt 2.10 (S. 112) geboten. Bei der Durchführung der Laborstudie stand die verbesserte Eliminierung und Kontrolle von Störgrößen im Vordergrund.

### **4.3. Diskussion der Einzelergebnisse der Feldstudie**

Die Ergebnisse der **primären Zielgröße Aufmerksamkeit/Konzentration** zeigten in drei von sechs Parametern des d2 Tests und des Lesetests mindestens in der Tendenz signifikante Vorteile kleiner bis mittlerer Effektgrößen. Die festgestellten bedeutsamen Effekte hinsichtlich der Gesamt- und Auslassungsfehler des d2 Tests bilden einen wichtigen Aspekt des Konstrukts Aufmerksamkeit/Konzentration direkt ab. Aufmerksamkeit/Konzentration ist in besonders hohem Maße notwendig, um die relevanten Reize von den irrelevanten Reizen zu unterscheiden. Mangelnde Aufmerksamkeit/Konzentration führt direkt zu Fehlern bei der Bearbeitung des Tests. Andere kognitive Fähigkeiten spielten bei der Testdurchführung eine sehr untergeordnete Rolle (vgl. Brickenkamp, 2002). Die Frage, warum die Arbeitsgeschwindigkeit des d2 Tests bei Verwendung von Dynamischem Licht nicht anstieg, kann nicht eindeutig geklärt werden. Denkbar wäre, dass der d2 Test per se einen hohen Wettbewerbsdruck durch den zwanzig-sekündigen Zeilenwechsel bei den

Schülern erzeugte und die Schüler sich an der Geschwindigkeit ihrer Sitznachbarn orientierten. Die schnellen Zeilenwechsel und der Gruppendruck führten also vermutlich zu einem erhöhten Arbeitstempo. Das Arbeitstempo im d2 lässt sich extrem steigern, wenn mehr Fehler, insbesondere Auslassungsfehler (die keine Arbeitszeit binden) gemacht werden, aber nicht mit falsch markierten Zeichen (die Arbeitszeit beim Markieren binden). Die bedeutsam erhöhte Lesegeschwindigkeit im Lesetest lässt indirekt auf erhöhte Aufmerksamkeit/Konzentration schließen, weil mehr Buchstaben und Wörter entschlüsselt wurden. Der Zeitdruck durch die Instruktion ist in den Lesetests geringer als im d2 Test. Dies könnte eine Erklärung für die höhere Geschwindigkeit im Lesetest, im Gegensatz zur Geschwindigkeit im d2 Test, darstellen. Eine Geschwindigkeitssteigerung auf Kosten des Textverständnisses kann ausgeschlossen werden, da diese tendenziell stieg. Das hinsichtlich des Textverständnisses nur eine tendenzielle Verbesserung festgestellt wurde, scheint nur den ersten Blick widersprüchlich. So mag eine Aktivierung der Körperfunktion durch Dynamisches Licht zu einer Verbesserung der Aufmerksamkeit/Konzentration führen und somit auch die Lesegeschwindigkeit erhöhen, die gesteigerte Aufmerksamkeit/Konzentration fördert das inhaltliche Textverständnis jedoch wiederum nur indirekt durch eine höhere Lesegeschwindigkeit: Somit können einige Fragen mehr bearbeitet und Verständnispunkte erreicht werden. Dynamisches Licht erhöht aber selbstverständlich nicht die intellektuellen Fähigkeiten der Schüler.

Die festgestellten Effekte in der Aufmerksamkeit/Konzentration sind vergleichbar mit dem empirischen Forschungsstand: So konnten Küller und Lindsten (1992) eine tendenzielle Steigerung der Aufmerksamkeit/Konzentration von Schülern im Unterricht bei Tageslichtbedingungen feststellen. Diese beobachteten auch einen Vorteil in der Bewältigung von selbstständigen Arbeitsaufgaben (vgl. 1.4.4, S. 43). Weitere Studien zur Wirkung von Licht auf die Aufmerksamkeit/Konzentration von Schülern im Unterricht liegen zum gegenwärtigen Zeitpunkt nicht vor (vgl. 1.2, S. 11). Die festgestellten Effekte zeigen sich aber vergleichbar mit den Ergebnissen empirischer Studien zur Wirkung von Licht in der Arbeitswelt. Beispielsweise bewerten Studienteilnehmer ihre Aufmerksamkeit und ihre Leseleistung in bürorelevanten Testaufgaben unter hellem tageslichtähnlichem Licht am höchsten (Fleischer, 2001). Auch zeigen Nachtschichtarbeiter bei hellen Lichtbedingungen bessere Leistungen hinsichtlich der Aufmerksamkeit/Konzentration (vgl. Boyce et

al., 1997; Campbell & Dawson, 1990; Figueiro et al., 2001). In der Studie von Campbell und Dawson (1990) beispielsweise erzielten Nachtschichtarbeiter bessere Reaktionszeiten und bessere kognitive Leistungen in einer Leistungstestbatterie (vgl. 1.4.1, S. 38). Auch konnten Kent et al. (2009) einen Zusammenhang zwischen natürlichem Tageslicht (gemessen von Wettersatelliten der NASA) und dem lokalen Abschneiden im Aufmerksamkeits-/Konzentrationstest feststellen. Die gefundenen Effekte in der Aufmerksamkeit/Konzentration entsprechen den Funktionshypothesen (vgl. 1.3.2, S. 16) zur Wirkung von Licht in sofern, als dass erstens eine Erhöhung der Beleuchtungsstärke zur Verbesserung der visuellen Wahrnehmung führt (vgl. Goldstein, 2002; van Bommel, van den Beld & Fassian, 2004), zweitens, dass durch hohe Beleuchtungsstärken, insbesondere mit hohem Blauanteil, die Ganglienzellen des circadianen Systems aktiviert werden (vgl. Berson, Dunn & Takao, 2002; Brainard et al., 2001; Hattar et al., 2002) sowie drittens, dass helles Tageslicht mehrheitlich mit Aktivität konditioniert zu sein scheint (vgl. 1.3.2, S. 16) und die Stimmung bei Leistungstest am besten aufrecht erhält (Knez & Kers, 2000). Inwieweit die gefundenen Effekte auf einer Verbesserung der visuellen Bedingungen begründet sind, ist durch den methodischen Aufbau dieser Untersuchung, die zur Evaluation und nicht der Grundlagenforschung diente, nicht zu klären. Insgesamt betrachtet werden bei der Verwendung des Lichtprogrammes DL 3 „Konzentriertes Arbeiten“ bedeutsame Vorteile in schulrelevanten Aufgaben, die ein hohes Ausmaß an Aufmerksamkeit/Konzentration erfordern, aufgrund bisheriger Befunde erwartungsgemäß festgestellt. Dies spricht für die aufmerksamkeits-/konzentrationsfördernde Wirkung von Dynamischem Licht.

Motorische Unruhe stellt einen Teilaspekt des Konstrukts **Hyperaktivität** dar und ist bekanntlich auch bei gesunden Kindern in abgeschwächter Form beobachtbar (vgl. z.B. Huss et al., 2002). Bei der Verwendung des Lichtprogrammes „Beruhigen“ wurde ein signifikanter Effekt mittlerer Größe (Gruppe x Zeit) hinsichtlich der motorischen Unruhe festgestellt. Grundsätzlich ist zu diskutieren, in wie weit für die Reduktion von motorischer Unruhe die Höhe der Ausgangswerte ursächlich ist, denn für einen großen Rückgang der motorischen Unruhe ist ein hoher Ausgangswert notwendig. Bei niedrigen Ausgangswerten ist ein weiterer Rückgang nicht möglich. Dies zeigt sich beispielsweise in der Kontrollmessung (Testmodul 3), in der beide Gruppen Vergleichslicht erhielten und signifikant unterschiedlich starteten (3.3.1.2, S. 123). Bei der Interventionsgruppe konnte schon aufgrund der

niedrigen Ausgangswerte kein weiterer Rückgang erwartet werden. Die Abhängigkeit der Messungen von den Ausgangswerten wirft die Frage auf, ob situative Ereignisse stärker zu kontrollieren gewesen wären. Beispielsweise durch eine längere und standardisierte Ruhezeit vor den eigentlichen Testungen. Doch hätte auch dies zu niedrigeren Ausgangswerten geführt. Eine vorherige Stimulierung der Unruhe (d.h. alle Gruppen werden der gleichen Belastungssituation ausgesetzt) wäre ebenfalls mit Schwierigkeiten verbunden gewesen. Insbesondere wären Schwierigkeiten bezüglich der Durchführbarkeit in der Praxis, der zeitlichen Vorgaben an den Schulen und der ethischen Vertretbarkeit zu erwarten gewesen. Durch die Vortestung kann ebenfalls ausgeschlossen werden, dass das Ergebnis durch schulklassenspezifische Eigenschaften hervorgerufen wurde. Dort starteten die Interventionsklassen auf einem niedrigen Niveau, sie begannen also nicht üblicherweise sehr unruhig und beruhigten sich dann stark. Die Kontrollklassen begannen dagegen im Testmodul 3 sehr unruhig und beruhigten sich dann. Es handelt sich also nicht um chronisch ruhige oder unruhige Klassen mit einem typischen Verlaufsmuster. Der Einfluss gruppenspezifischer Prozesse auf die Unruhe einer Schulklasse scheint naheliegend, da zu vermuten ist, dass sich die Schüler gegenseitig in ihrem Verhalten beeinflussen. Zum anderen können die Größe der Gruppe und die damit verbundenen Möglichkeiten zur Interaktion die Unruhe beeinflussen. Die Gruppengröße wurde bei der Berechnung mit Childmove berücksichtigt (vgl. 2.3.1.2, S. 71). Die gefundenen Effekte hinsichtlich der motorischen Unruhe sind nicht auf verminderte Leistungen in den standardisierten Matheaufgaben des Settings zurückzuführen, denn es wurden unter beiden Lichtbedingungen vergleichbare Leistungen erzielt (vgl. Tabelle 18, S. 127). Festzuhalten bleibt, dass in der entscheidenden Messung (Modul 4) bei der die Interventionsklassen das Lichtprogramm DL5 „Beruhigen“ und die Kontrollgruppen das Vergleichslicht erhielten, der höchste Rückgang bei vergleichbaren Ausgangswerten von der Interventionsgruppe erzielt wurde.

Vergleichbare Studien, die den Einfluss von Licht auf die motorische Unruhe untersuchen, sind nicht bekannt (vgl. 1.3.4, S. 26). Allerdings stellen Küller und Lindsten (1992) bei der Verwendung von warm-weißem Licht einen signifikanten Rückgang von Unterrichtsstörungen fest (vgl. 1.4.4, S. 43). Eine naheliegende Frage ist, warum entgegen der Funktionshypothese (1.3.2, S. 16) mit einer höheren Beleuchtungsstärke im Programm DL5 „Beruhigen“ (325 Lux) eine größere Beruhigung der

Schüler als bei DL1 Standardsituation „vorher“ (300 Lux) erzielt wurde? Dies ist einfach zu beantworten: Die Angaben zum Kunstlicht beziehen sich verständlicherweise auf Messungen bei Nacht in den nicht verdunkelten Klassen. Aus den kombinierten Lichtmessungen aus Tages- und Kunstlicht in den Testmodulen geht hervor, dass die Beleuchtungsstärke durch das eindringende natürliche Tageslicht ohnehin größeren Abweichungen unterworfen und hoch zeitsensitiv ist. Entscheidend für die Wirkung ist somit die ähnlichste Farbtemperatur, die in den kombinierten Messungen im Testmodul 4 in den Interventionsklassen durchschnittlich 1000 K weniger als in den Kontrollklassen beträgt. Somit wurde erwartungsgemäß der größte Rückgang motorischer Unruhe bei der Interventionsgruppe festgestellt, wenn diese das „wärmere“ Programm DL5 „Beruhigen“ benutzte. Dennoch kann nicht von der Hand gewiesen werden, dass die Ausgangswerte der motorischen Unruhe möglicherweise durch Außeneinflüsse und gruppenspezifische Prozesse beeinflusst wurden. Die Überprüfung im Labor mit 29 Kleingruppen (3-4 Teilnehmer) war deshalb erforderlich (vgl. 3.3.2.2, S. 151).

Deskriptiv betrachtet wurden bei der Verwendung des Lichtprogrammes Beruhigen in der Interventionsgruppe tendenziell weniger **aggressive Verhaltensweisen** und tendenziell mehr **prosoziale Verhaltensweisen** als bei der Kontrollgruppe mit Standardlicht festgestellt, dies konnte jedoch nicht in der signifikanzstatistischen Überprüfung bestätigt werden. Erst bei der Berücksichtigung von Störgrößen in dem kovarianzanalytischen Verfahren wird hinsichtlich der Aggressivität ein signifikanter Effekt mittlerer Größe gefunden, wohingegen bei den prosozialen Verhaltensweisen kein bedeutsamer Unterschied festgestellt wurde. Möglicherweise sind diese Widersprüche durch die geringe Auftretenswahrscheinlichkeit innerhalb des kurzen Beobachtungszeitraums (2 mal 45 min) bedingt. So kann deskriptiv ein Gruppenunterschied bei den selten auftretenden Verhaltensweisen festgestellt werden, ein signifikanzstatistischer Nachweis gelingt aber erst unter der Bereinigung von Störfaktoren. Der kurze Zeitraum für die Beobachtung war bei der Planung jedoch aufgrund der zeitlichen Vorgaben der Schulen, der begrenzten Zeit für standardisierten Unterricht, der technischen Schwierigkeit längerer Aufzeichnungen sowie der durchaus verständlichen mangelnden Bereitschaft der teilnehmenden Schüler und Lehrer an einer dauerhaften Verhaltensbeobachtung mit der Videokamera ausgewählt worden. Eine Erhöhung der

Auftretenswahrscheinlichkeit von aggressiven und prosozialen Verhaltensweisen hätte auch durch eine Verschärfung der Konkurrenzsituation der gegeneinander antretenden Gruppen im Kommunikationsspiel erhöht werden können. Dies hatte Herr Wettstein, der Autor des Erhebungsinstrument BASYS (Wettstein, 2008), für das experimentelle Vorgehen dieser Studie vorgeschlagen. Mehr Konkurrenz hätte beispielsweise durch einen Gewinn für die Siegergruppe oder durch bewusstes Frustrieren der Schüler, indem z. B. systematisch Spielpunkte vorenthalten worden wären, erreicht werden können. Dies wurde aber bei der Planung der Studie, aufgrund der längeren Vorbereitung und der befürchteten Schwierigkeit bei der Durchführung, verworfen.

Empirische Studien sprechen dafür, dass durch warmweiße Lichtszenarien mit verringerter Beleuchtungsstärke die Kommunikation verbessert, vermehrt prosoziale Verhaltensweisen und somit weniger aggressive Verhaltensweisen gewählt werden: So stellen Küller und Lindsten (1992) in Schulklassen mit warmweißer Beleuchtung eine signifikante Verbesserung der Kommunikation über den Schuljahresverlauf fest, die durch die Anzahl von Unterrichtstörungen quantifiziert wurde. Eine Studie von Fleischer (2001) aus der Büroarbeitswelt zeigt, dass warme Farbtemperaturen und niedrige Beleuchtungsstärken für kommunikative Aufgaben, Besprechungen am Konferenztisch und längere Telefonate von den Teilnehmern als am geeignetsten empfunden wurden. Im Setting Büroarbeitswelt kann ebenfalls ein Anstieg prosozialer Verhaltensweisen durch solche Lichtszenarien beobachtet werden. So zeigten zwei unabhängige Studien, dass Bewerbungsunterlagen imaginärer Angestellter positiver im Hinblick auf berufliche Fähigkeiten und Leistung eingeschätzt werden (Baron, Rea & Daniels, 1992; Knez & Enmarker, 1998). Auch in Konfliktsituationen werden mehrheitlich lösungsorientierte Kommunikationsstrategien gewählt, wie eine Studie von Baron, Rea und Daniels (1992) zeigt. Bei dieser experimentellen Studie hielt ein imaginärer Kollege eine Deadline nicht ein. Bei warmweißer Beleuchtung erfragten die Teilnehmer den Grund für die Verspätung sachlicher, verhielten sich empathischer und boten häufiger Unterstützung an als mit Konsequenzen zu drohen (vgl. ebenda). Diese beobachtete Wirkung von Licht kann mit den psychologischen Aspekten der Funktionshypothese erklärt werden, denn die Koppelung von warmweißer Beleuchtung und angenehmen Erinnerungen scheint eine empathische Bewertung der Kommunikationssituation und die Wahl von prosozialen Verhaltensweisen zu begünstigen (vgl. 1.3.2, S. 16; 1.3.4, S. 26). In wieweit

neurobiologische Erklärungen für die kurzfristige Wirkung von Licht auf aggressive und prosoziale Verhaltensweisen während der Tageszeit herangezogen werden können, ist letztlich nicht geklärt und visuelle Funktionsweisen scheinen diesbezüglich weniger plausibel (vgl. 1.3.2, S. 16). Hinsichtlich aggressiver Verhaltensweisen sind die Ergebnisse dieser Studie in etwa vergleichbar mit den Ergebnissen anderer empirischer Studien, insbesondere dann, wenn Störgrößen berücksichtigt werden und auch im Hinblick auf den beobachteten langfristigen Effekt (siehe nächster Absatz). Bei den prosozialen Verhaltensweisen kann zumindest in der interferenzstatistischen Überprüfung kein bedeutsamer Effekt und keine Übereinstimmung zu anderen Ergebnissen empirischer Studien festgestellt werden und sollte deshalb noch einmal genauer unter Laborbedingungen überprüft werden.

Die Ergebnisse nach der **langfristigen Anwendung** von Dynamischem Licht über ein Schuljahr zeigen bei einer von vier getesteten Zielgrößen (selbst wahrgenommene Aggressivität) einen in der Tendenz signifikanten Gruppenunterschied kleiner Effektgröße. Die Interpretation der drei übrigen, gescheiterten Wirkungsnachweise (Hyperaktivität, Klassenklima, allgemeines Wohlbefinden) bleibt dabei offen. Die Ursache kann sowohl in der mangelnden Wirksamkeit, als auch in der methodischen Vorgehensweise begründet sein. Hinsichtlich der methodischen Vorgehensweise stellt sich die Frage, ob die Selbstauskunft der Schüler ausreichend war, oder um die Befragung der Lehrer und Eltern hätte erweitert werden müssen. Dies ließ sich aber unter den gegebenen Mitteln und zeitlichen Vorgaben ebensowenig wie häufigere Messwiederholungen bewerkstelligen. Stattdessen wurde der Schwerpunkt auf die experimentelle Überprüfung der kurzfristigen Wirksamkeit von Dynamischem Licht gelegt. Möglicherweise waren die ausgewählten Instrumente für eine Langzeitmessung auch zu klinisch ausgerichtet und für die überwiegend gesunden Schüler somit nicht optimal (siehe 4.2.1, S. 172). Insbesondere die verwendete Conners Rating Scale scheint nicht sensitiv genug für gesunde Kinder zu sein. Die Auswahl der Fragebogenskalen erfolgte aber auch im Hinblick darauf, dass die Wirkung von Licht erst seit wenigen Jahren mit psychometrischen Methoden untersucht wird und es wenige Vorstudien gab. Bei der Vielzahl von langfristig wirkenden Störfaktoren wurde dann auf etablierte, normierte und standardisierte Instrumente gesetzt, die eben häufig aus der klinischen Forschung stammen. Auch kann die Langzeitmessung nicht gegen saisonale Effekte abgesichert werden, da die

Prä Befragung unter herbstlich, winterlichen Bedingungen stattfand und die Post Befragung im Sommer. Andererseits waren sowohl Interventions-, als auch Kontrollgruppen diesem Einfluss gleichermaßen ausgesetzt.

Der Rückgang der selbst wahrgenommenen Aggressivität ist konform zu den empirischen Studien, die wie beschrieben, einen Rückgang von Unterrichtsstörungen (Küller & Lindsten, 1992) und einen Anstieg von prosozialen Verhaltensweisen feststellten (Baron & Rea, 1991; Knez & Enmarker, 1998). Allerdings wäre aufgrund der Studie von Küller und Lindsten (1992) auch ein langfristiger Effekt hinsichtlich weniger hyperaktiver Verhaltensweisen zu erwarten gewesen. Auch im Hinblick auf die kommunikationsfördernde Wirkung von Licht (Fleischer, 2001) und dem Anstieg prosozialer Verhaltensweisen (Baron & Rea, 1991; Knez & Enmarker, 1998) wäre eine Verbesserung des Klassenklimas zu erwarten gewesen. Hinsichtlich der Funktionshypothese kommen, neben einer denkbaren Addition der beschriebenen kurzfristigen Effekten des Lichts, für den langfristigen Zeitraum der Anwendung über ein Schuljahr auch die Synchronisation des circadianen Rhythmus und somit neurobiologische Wirkungsfunktionen in Betracht (vgl. 1.3.2, S. 16). So wäre es denkbar, dass die Lichtprogramme DL 3 „Konzentriertes Arbeiten“ und DL 4 „Aktivieren“ die Leistungsfähigkeit durch die Unterstützung circadianer Rhythmen fördern. Als Folge der verbesserten Leistungsfähigkeit oder durch die Verwendung der Kontrastprogramme wären dann ein Rückgang hyperaktiver Verhaltensweisen, Aggressionen und eine Verbesserung des Klassenklimas sowie des allgemeinen Wohlbefindens denkbar. Zusammenfassend gesagt, bleibt die Interpretation der Ergebnisse zum langfristigen Effekt von Dynamischem Licht auf Hyperaktivität, Klassenklima und allgemeines Wohlbefinden offen, da die Ursachen für die gescheiterten Wirkungsnachweise nicht aufgeklärt werden konnten. Der festgestellte tendenzielle langfristige Effekt auf die selbst wahrgenommene Aggressivität ist erwartungsgemäß.

Die kovarianzanalytische Auswertung zeigt stabile Effekte, auch unter **Berücksichtigung der Kontrollgrößen**, gleichwohl haben diese einen großen Einfluss. Die Ausgangswerte haben, wie zu erwarten war, den größten Einfluss auf die Höhe des Ergebnisses bei der Folgetestung. Denn das Ergebnis der Folgetestung ist nicht unabhängig von den individuellen Ausgangswerten. Danach

wurden Einflüsse der Umweltbedingungen, Alter und Erwartungen mehrheitlich als Kontrollgröße herangezogen, d.h. sie besitzen mehrheitlich die höchste Regression auf die Zielgrößen und erreichen kleine bis große Effekte.

Der Einfluss der Kontrollgrößen kann nicht mit dem Ergebnis anderer Studien verglichen werden, da für das Setting Schule keine Studie bekannt ist, welche den Einfluss von Störgrößen kovarianzanalytisch kontrollierte. Doch entsprechen die gefundenen Einflüsse der Kontrollgrößen dem theoretischen Forschungsstand hinsichtlich des Einflusses der Umweltbedingungen, Alter und Erwartungen. So beschreibt Rea (2002) die Variation der individuellen empfangenen Beleuchtungsstärke am Auge, den Zeitpunkt und die Dauer der Lichtexposition als wesentliche Einflussgrößen auf die nichtvisuelle Wirksamkeit von Licht. Dies sind Einflussgrößen, die unter anderem auf der Kontrollgrößenskala „Umwelt“ zusammengefasst wurden (vgl. 2.3.4, S. 84). Die gefundenen Effekte des Alters spiegeln die entwicklungs- und reifebedingten Einflüsse wieder, die bei sozialwissenschaftliche Fragestellungen erwartet werden (vgl. Bortz & Döhring, 2002). Die Beeinflussung der Wirkung von Interventionen durch die Vorerwartung der Teilnehmer, auch als sogenannter Placeboeffekt bezeichnet (vgl. Bortz & Döhring, 2002), konnten ebenfalls erwartungsgemäß in der vorliegenden Studie festgestellt und kontrolliert werden. Der erwartete Einfluss des Geschlechts (vgl. Knez, 1995; Knez & Enmarker, 1998) wird dagegen in der vorliegenden Studie nur vereinzelt festgestellt. Somit entsprechen die festgestellten Einflüsse der Kontrollgrößen mehrheitlich den Erwartungen. Aufgrund der stabilen Haupteffekte sind die gefundenen Unterschiede nicht auf die erhobenen Begleitumstände (Kontrollgrößen) zurückzuführen, sondern auf den Gruppenunterschied und somit auf die Wirkung der entsprechenden Lichtprogramme. Trotzdem haben die Kontrollgrößen einen großen Einfluss und sind der Grund für die teilweise Verfehlung der Signifikanz bei einigen Messgrößen. Um einerseits Settingeffekte durch die Auswahl der Stichprobe und andererseits eine bessere Kontrolle der Störgrößen schon bei der Datenerhebung von vorneherein gewährleisten zu können und nicht im Nachhinein statistisch berücksichtigen zu müssen, war die Ergänzungsstudie unter Laborbedingungen erforderlich.

**Subjektiv** sind die Schüler und Lehrer mit dem Dynamischen Licht im Schulalltag insgesamt zufrieden und würden Dynamisches Licht weiterempfehlen. Die offenen Fragen zeigen: Die Lehrer schätzten Dynamisches Licht als Werkzeug, das erstens optimale Voraussetzungen für ihren Unterricht schafft und zweitens hilft, ihren Unterricht optisch zu gestalten. Die Möglichkeit, durch Dynamisches Licht den Unterricht auch optisch zu gestalten und strukturieren zu können, zeigt den Vorteil der offenen Fragen, denn dies wurde vor der Durchführung der Studie und bei der Hypothesenbildung nicht berücksichtigt und ist eine neue Erkenntnis, wie sich das Dynamische Licht zusätzlich verwenden lässt. Darüber hinaus wird berichtet, dass die gewünschte Wirkung durch konditionierte Erfahrungen im Unterricht verstärkt wird, was von den Lehrern ebenfalls sehr geschätzt wurde und der psychologischen Funktionshypothese nach Baron und Rea (1991) entspricht. Die Schüler schätzen besonders die Möglichkeit, optimale Voraussetzungen für ihren Lernerfolg zu erhalten. Das bedeutet für sie, dass sie leichter und mit weniger Lärm und Belastungen im Klassenzimmer bessere Ergebnisse erzielen. Dies entspricht in etwa den Ergebnissen von Küller und Lindsten (1992), die bei tageslichtweißem Licht einen Anstieg der Aufmerksamkeit/Konzentration von Schülern feststellten und bei der Verwendung warmweißer Lichtszenarien weniger Unterrichtsstörungen beobachteten. Von den Schülern wird eine positive Aktivierung und höhere Motivation über den gesamten Tag wahrgenommen, dies kann durch die circadiane Aktivierung von Licht (vgl. Berson, Dunn & Takao, 2002; Brainard et al., 2001; Hattar et al., 2002 oder 1.3.2, S. 16) begründet werden. Außerdem wurde die rein visuelle Verbesserung des Sehens durch Dynamisches Licht sowie das geringere Auftreten von Kopfschmerzen lobend hervorgehoben. Dies entspricht ebenfalls den postulierten Erwartungen hinsichtlich der Erhöhung der Beleuchtungsstärke (Goldstein, 2002; van Bommel, van den Beld & Fassian, 2004).

Selbstverständlich zeigten sich, wenn auch nur sehr vereinzelt, negative Erfahrungen mit dem Dynamischen Licht, wie Blendung und/oder eine Zunahme von Kopfschmerzen. Diese Einzelfälle sollten ernst genommen werden, da die Wahrnehmung von Licht individuell sehr stark verschieden sein kann (Rea, 2002; oder vgl. 1.3.4.2, S. 28), andererseits muss natürlich nicht zwangsläufig ein kausaler Zusammenhang zwischen dem Licht und den berichteten Beschwerden bestehen. Unabhängig

von der Ursache, sollte jedoch auf die Betroffenen eingegangen werden. Wie die Erfahrungen aus der Betreuung weiterer Schulen zeigt, führen schon sehr einfache Maßnahmen zum gewünschten Erfolg, wie beispielsweise die lichtempfindlichen Personen etwas weiter von den Leuchten entfernt zu setzen.

Die drei am häufigsten verwendeten Lichtprogramme (DL3 „Konzentriertes Arbeiten“, DL4 „Aktivieren“, DL5 „Beruhigen“) werden mit mindestens „gut“ von den Teilnehmern bewertet. Somit spiegelt auch die subjektive Meinung der Teilnehmer die festgestellten Effekte hinsichtlich der Wirkung wider. Die Anmerkungen zum Gefallen der Lichtprogramme wurden ebenfalls in der neuen Konfiguration der Programme berücksichtigt (siehe Tabelle 28, S. 188).

Die Ergebnisse zur **Ökonomie und Ökologie** zeigen, dass die Betroffenen in etwa das doppelte des Preises einer herkömmlichen Beleuchtung angemessen finden und der Mehraufwand von Energie durch den Nutzen gerechtfertigt sein oder an anderer Stelle neutralisiert werden muss. Dies zeigt die Relevanz des Themas Umweltschutz für die Teilnehmer. Diese Einschätzung weist beispielsweise Parallelen zur Shell-Jugendstudie auf, wonach etwa die Hälfte der Befragten Energie im Alltag bewusst spart (vgl. Albert, Hurrelmann & Quenzel, 2010). Weiter zeigen diese Einschätzungen auch, wie ernsthaft sich die Schüler mit den Befragungen auseinandergesetzt haben und die Erprobung des Dynamischen Lichtes reflektieren.

Die beschriebene **Verwendung von Dynamischem Licht im Schulalltag** zeigt, dass die Lehrer durch die Wahl der Lichtprogramme den circadianen Verlauf des natürlichen Tageslichts imitieren, davon abweichen, wenn es die Unterrichtssituation erfordert und das Licht theoriekonform hinsichtlich der Arbeits- und Sozialform nutzen. Aus Sicht des Autors hat die Protokollierung des Nutzungsverhaltens insbesondere auch dazu geführt, dass nun auch diejenigen Lehrer Dynamisches Licht in ihrem Unterricht erprobten, die dieses bisher vermieden hatten. Die Beschränkung auf die drei Hauptprogramme (DL3 „Konzentriertes Arbeiten“, DL4 „Aktivieren“, DL5 „Beruhigen“) gibt ein realistisches Bild des Unterrichts wieder. Im Unterricht stehen die Lehrer vor der großen Herausforderung eine positive Lernatmosphäre zu schaffen, zwanzig oder mehr Schüler im Blick zu behalten und letztendlich Wissen zu vermitteln. Bei den hohen Anforderungen, die an die Lehrer im

Schulunterricht gestellt werden, ist es absolut nachvollziehbar eine reduzierte Auswahl aus den Hauptprogrammen zu verwenden, statt aus einer Vielzahl an (Test-)Lichtprogrammen in unterschiedlichen Abstufungen und Feinheiten auszuwählen. Diese Erfahrung wurde in der Nachfolgeversion Schoolvision berücksichtigt. Schoolvision ist auf die drei Hauptprogramme, ein Standardprogramm und separat zuschaltbares Tafellicht reduziert (siehe Tabelle 28, S. 188).

Die Übereinstimmung zwischen der Wahl der Lichtprogramme und den circadianen Anforderungen an die Beleuchtung zeigt sich darin, dass die neurobiologisch wirksamsten Lichtprogramme mit einem hohen Blauanteil (vgl. Berson, Dunn & Takao, 2002; Brainard et al., 2001; Hattar et al., 2002 oder 1.3.2, S. 16) DL 3 „Konzentriertes Arbeiten“ und DL4 „Aktivieren“ die am meisten verwendeten Programme von der ersten bis zur dritten Unterrichtsstunde waren (siehe Tabelle 45, S. 231). Abweichungen, wie die häufige Nutzung des Lichtprogrammes Beruhigen in der Frühstunde, hängen mit dem situativen Auftreten von Unruhe zu dieser Zeit zusammen, wie dem Autor in Gesprächen mit Lehrern berichtet wurde. Dennoch werden auch in der Frühstunde mehrheitlich biologisch wirksame Programme mit hohem Blauanteil verwendet (vgl. ebenda). Die aufgrund der Vorstudien adäquate Wahl bei der Verwendung der Lichtprogramme, entsprechend der Arbeits- und Sozialform, zeigt sich in der vermehrten Nutzung von Lichtprogrammen mit hoher Beleuchtungsstärke und hohem Blauanteil (DL 3 „Konzentriertes Arbeiten“ und DL 4 „Aktivieren“) bei aufmerksamkeits-/konzentrationsintensiven Einzel- und Partnerarbeiten (siehe Tabelle 45, S. 231). So stellten Küller und Lindsten (1992) eine aufmerksamkeitssteigernde Wirkung von Tageslicht bei Schülern fest, entsprechend zur vergleichbaren Wirkung in verschiedenen Settings der Arbeitswelt (vgl. z.B. Campbell & Dawson, 1990; Fleischer, 2001). Weiter zeigt sich die angemessene Auswahl der Lichtprogramme hinsichtlich der Arbeits- und Sozialform, auch bei der mehrheitlichen Verwendung kommunikationsfördernder und beruhigender warmweißer Lichtprogramme in Unterrichtsgesprächen (siehe Tabelle 45, S. 231). So werden bei der Verwendung vergleichbarer Lichtszenarien eine signifikante Verbesserung der Kommunikation von Schülern festgestellt (Küller & Lindsten, 1992) und eine lösungsorientierte Kommunikation im Setting Büroarbeit beobachtet (Baron, Rea & Daniels, 1992). Auch die offenen Kommentare in der Lehrerbefragung lassen darauf schließen, dass die verschiedenen Lichtprogramme entsprechend der Angaben verwendet und ausprobiert wurden. Die

passende Verwendung der Lichtprogramme hinsichtlich der circadianen Anforderungen und der Arbeits-/Sozialform im Unterricht zeigt die Praxistauglichkeit des Dynamischen Lichts und die Akzeptanz durch die Lehrer.

Auch aufgrund der Erfahrungsberichte hinsichtlich der **Handhabung** und der daraufhin direkt geäußelter Veränderungswünsche, wird Dynamisches Licht zukünftig in Schulen auf die drei Hauptprogramme (DL3 „Konzentriertes Arbeiten“, DL4 „Aktivieren“, DL5 „Beruhigen“) und ein Standardprogramm reduziert. Des Weiteren wird im Programm DL3 „Konzentriertes Arbeiten“ der Blauanteil erhöht sowie der Farbeindruck von DL5 „Beruhigen“ noch wärmer gestaltet. Die von den Lehrern direkt gewünschte Reduktion der Lichtprogramme auf die drei Hauptprogramme entspricht den Ergebnissen der tatsächlichen Nutzung aus den Protokollen. Bei Unsicherheit in der Auswahl der Lichtprogramme steht den Lehrern weiterhin das Programm Standard zur Verfügung, welches der herkömmlichen Beleuchtung in Klassenzimmern nach der Norm DIN EN 12464-1 (DIN, 2006) entspricht. Die durch die Erhöhung des Blauanteils ermöglichte leichte Reduktion der Beleuchtungsstärke des Programms DL3 „Konzentriertes Arbeiten“ führt letztendlich zu einer Verringerung des Energiebedarfes und kommt somit der beschriebenen ökologisch orientierten Einstellung der Benutzer entgegen. Die Erhöhung des Blauanteils im Programm DL3 „Konzentriertes Arbeiten“ und vor allem im Programm DL4 „Aktivieren“ führt auch zu einer Optimierung hinsichtlich der nichtvisuellen neurobiologischen Wirkung des Lichts (vgl. Berson, Dunn & Takao, 2002; Brainard et al., 2001; Hattar et al., 2002 oder 1.3.2, S. 16). Der direkt geäußerte Wunsch der Lehrer nach einem Licht mit einem noch wärmeren Farbeindruck und die damit verbundene Erhöhung des Rotanteils im Lichtprogramm DL5 „Beruhigen“ ermöglicht, die Kontraste zwischen den Lichtprogrammen hinsichtlich der ähnlichsten Farbtemperatur zu erhöhen und hinsichtlich der Beleuchtungsstärke verringern zu können. Die Verringerung der Kontraste in der Beleuchtungsstärke zwischen den Programmen trägt dazu bei, diese weniger extrem und den Wechsel zwischen ihnen weicher zu gestalten, wie dies die Teilnehmer der Laborstudie wünschten (siehe 4.4, S. 189). Die Verringerung der Kontraste in der Beleuchtungsstärke erleichtert auch die Adaption des Auges, d.h. die Anpassung an unterschiedliche Beleuchtungsniveaus (vgl. z. B. Baer, 2006). Die geplante Veränderung der ähnlichsten Farbtemperatur im Lichtprogramm DL5 „Beruhigen“ von 3500 auf 2700 Kelvin gestaltet

dieses wärmer als die Lichtszenarien aus den Studien von Baron, Rea und Daniels (1992), Fleischer (2001), sowie Knez und Enmarker (1998). Die Ergebnisse dieser Studien sprechen für die Eignung von warmweißem Licht für Kommunikation und für die Förderung von prosozialen Verhaltensweisen im Setting der Arbeitswelt. Dementsprechend dürfte die Anpassung des Lichtprogrammes DL 5 „Beruhigen“ die Wirkung erhöhen.

Zusammengefasst lässt sich sagen: Die Wünsche der Lehrer nach einer reduzierten Auswahl von Lichtprogrammen und einem noch wärmeren und damit beruhigenderen Licht sind aufgrund des häufig turbulenten Unterrichtsgeschehens durchaus verständlich und wurden in der Nachfolgeversion Schoolvision umgesetzt (siehe Tabelle 28). Die Veränderungen in der Gestaltung der Lichtprogramme entspricht darüber hinaus größten Teils den Wünschen und Einstellungen der Schüler sowie der Teilnehmer der Laborteilnehmer, verringert den Energieverbrauch und optimiert die Wirkung des Lichts auf das menschliche Verhalten und Erleben.

Tabelle 28

Überarbeitete und umbenannte Programme für Dynamisches Licht im Schulunterricht

Lichtprogramm	Beleuchtungsstärke	ähnlichste Farbtemperatur	Wandtafel
1. Standard in Normalklassen	300 lx	4000 K	500 lx
oder Standard in Fachklassen	500 lx	4000 K	500 lx
2. Aktivieren (z. B. nach dem Mittag)	650 lx	12000 K	500 lx
3. Konzentrieren (z. B. Klassen- arbeit)	1000 lx	6000 K	500 lx
4. Beruhigen (z. B. face to face Kommu- nikation)	300 lx	2700 K	500 lx

Insgesamt kann festgehalten werden, dass fünf von dreizehn geprüften Zielgrößen signifikante Unterschiede kleiner bis mittlerer Effektgröße hinsichtlich eines Vorteils für die Interventionsgruppe aufweisen (vgl. Tabelle 21, S. 133). Besonders häufig sind signifikante Effekte in den experimentellen Testmodulen zu finden (vgl. ebenda). In der Fragebogenbefragung zu den langfristigen Effekten über das Schuljahr wird dagegen nur bei einer von vier Zielgrößen ein in der Tendenz signifikanter Effekt gefunden (vgl. ebenda). Dieses Ergebnis des Fragebogens kann aber, wie bereits diskutiert, durch methodische Ursachen mitbedingt sein, u.a. durch die mangelnde Sensitivität der verwendeten Skalen aus dem klinischen Kontext. Aufgrund der Problematik des Fragebogens, des explorativen Charakters der Studie sowie der Vielzahl an anderen wirkenden Faktoren im komplexen System Schule sind die festgestellten Effekte um so beachtlicher und weisen auf die Wirksamkeit des Dynamischen Lichtes hin. Auch wenn diese, aufgrund der nicht auszuschließenden Sample- und Settingeffekte, einer Überprüfung unter Laborbedingungen bedürfen.

#### 4.4. Diskussion der Einzelergebnisse der Laborstudie

Alle vier gemessenen Parameter des d2 Tests in der Labortestung weisen mindestens eine positive Tendenz zugunsten der Experimentalgruppe auf und bei drei von vier Zielgrößen wurden kleine bis mittlere Effekte festgestellt, die Signifikanz erreichen. Die Verfehlung der Signifikanz bei den falsch markierten Zeichen wird, vermutlich wie in der Schulstudie, durch die geringe absolute Auftretenswahrscheinlichkeit bedingt (vgl. 4.3, S. 175). Die Ergebnisse der **Aufmerksamkeits-/Konzentrations**messung mit dem d2 Test unter Laborbedingungen spiegeln die Ergebnisse aus der Schuluntersuchung wider und weisen einen zusätzlichen Effekt in der Anzahl der bearbeiteten Zeichen auf. Ein anderes Bild zeigt sich in den Ergebnissen des Lesetests. Hier wurden keine bedeutsamen Effekte zwischen der Experimental- und der Kontrollgruppe gefunden und somit konnten die Ergebnisse aus der Schulstudie nicht wiederholt werden. Vermutlich ist dies durch die Stichprobe und den verwendeten Lesetest (LGVT) bedingt. Eingesetzt wurde der Test in der Absicht, das gleiche Instrument wie in der Schulstudie zu verwenden, auch wenn dieses nur bis Klasse 12 normiert ist. Die Stichprobe bestand größtenteils aus Studenten, die vermutlich daran gewöhnt sind, auch unter

ungünstigen Rahmenbedingungen, wie in überfüllten Hörsälen, ein sehr hohes Aufmerksamkeits- und Lesepensum abzurufen. So entsprechen die durchschnittlich erreichten Verständnispunkte der Laborstichprobe, sowohl in der Experimental- als auch in der Kontrollgruppe, dem Prozentrang 72 bundesdeutscher Gymnasiasten der Klassenstufe 12 und Prozentrang 60 in der Lesegeschwindigkeit (vgl. Schneider, Schlagmüller & Ennemoser, 2007). Dementsprechend war die Schwierigkeit des verwendeten Lesetests für die Teilnehmer wahrscheinlich nicht ausreichend und der Test nicht sensitiv genug, um bei Studenten und Berufstätigen in medizinischen Berufen einen Gruppenunterschied festzustellen. Die Ergebnisse des d2 Tests entsprechen den Ergebnissen empirischer Vorstudien, die eine gesteigerte Aufmerksamkeit bei Schülern mit Tageslicht (Küller & Lindsten, 1992), bei Nachtschichtarbeitern mit hellem Licht (Campbell & Dawson, 1990) und die besondere Eignung von tageslichtweißem Licht mit hoher Beleuchtungsstärke für Konzentrationsaufgaben in der Büroarbeitswelt (Fleischer, 2001) feststellen (vgl. 4.3, S. 175). Ein anderes Bild zeigt sich in den Ergebnissen des Lesetests: Hier wurden keine Effekte festgestellt, obwohl dies entsprechend der eben genannten Studien zu erwarten gewesen wäre, da die Lesegeschwindigkeit ein hohes Maß an Konzentration erfordert und die Anzahl der zu erreichenden Leseverständnispunkte nicht unabhängig von der Lesegeschwindigkeit ist (vgl. 4.3, S. 175). Auch aufgrund der Studie von Fleischer (2001) wären Effekte zu erwarten gewesen, da die Teilnehmer dieser Studie tageslichtweißes Licht mit hoher Beleuchtungsstärke für Leseaufgaben im Büro für besonders geeignet hielten. Die Vergleichbarkeit der Wirkung des Konzentrationslichts im Labor wird als gegeben angesehen, insbesondere aufgrund der Ergebnisse des d2 Tests. Denn bei dem d2 Test handelt es sich um das besser validierte Instrument, das Aufmerksamkeit/Konzentration direkt erfasst und so gut wie keine Vorkenntnisse oder andere Fähigkeiten erfordert (Brickenkamp, 2002).

Das Ergebnis der optischen Bewegungsmessung in der Laborstudie zeigt einen größeren Rückgang über den zeitlichen Verlauf **motorischer Unruhe** bei der Experimentalgruppe. Wie in der Schulstudie, wurde auch in der Laborstudie ein signifikant schnellerer und größerer Rückgang motorischer Unruhe festgestellt, allerdings ist der relevante Gruppen x Zeit Effekt mit kleiner Größe hier geringer. Wie bereits in der Schulstudie festgestellt wurde, ist der Rückgang der motorischen Unruhe und damit auch letztendlich die Größe des Effektes von den Ausgangswerten abhängig (vgl. 4.3, S. 175). Unter

Beachtung der geringen Ausgangswerte der Teilnehmer der Laborstudie (berufstätige oder studierende Erwachsene), auch im Vergleich zu den Werten der Schüler, wird deutlich, dass ein weiterer Rückgang bei dem ohnehin niedrigen Niveau nicht möglich zu sein scheint (siehe Abbildung 40). Der gefundene Effekt spricht daher umso mehr für die beruhigende Wirkung von Dynamischem Licht.

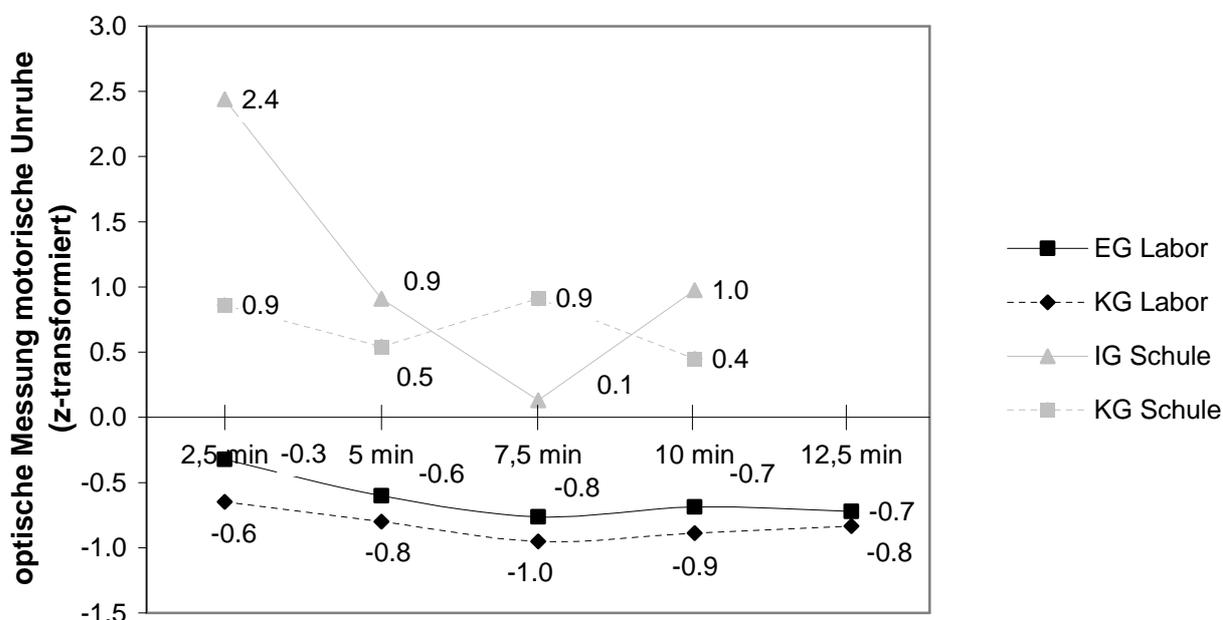


Abbildung 40

Vergleich der z-transformierten Werte der Messung von motorischer Unruhe mit Childmove zwischen Schülern (vgl. 3.3.1.3, S. 124) und Teilnehmern der Laborstudie (vgl. 3.3.2.2, S. 151)

*Anmerkungen.* Aufgrund der an das Setting angepassten Einstellungsparameter von Childmove wurden die Werte beider Studien z-transformiert um einen Vergleich zu ermöglichen. Die beschriebene Berücksichtigung der Gruppengröße (vgl. 2.3.1.2, S. 71) wurde aufgrund der z-Transformation entfernt. KG = Kontrollgruppe; EG = Experimentalgruppe; IG = Interventionsgruppe (Quasiexperiment).

Weiter sind die gefundenen Effekte erwartungsgemäß, d.h. entsprechend der Funktionshypthesen. So wird warmweißem Licht eine geringere neurobiologische Wirksamkeit zugeschrieben, welche möglicherweise auch die Aktivierung des Körpers am Tage reduziert (vgl. 1.3.2, S. 16). Auch sei nach der Konditionierungshypothese von Baron und Rea (1991) warmweißes Licht mit überwiegend angenehmen Erinnerungen gekoppelt. Diese wiederum begünstigen die Auftretenswahrscheinlichkeit von ruhigen und ausgeglichenen Verhaltensweisen (vgl. 1.3.2, S. 16). Demnach ließ sich der in der Schulstudie gefundene erwartungsgemäße Effekt erfolgreich unter Laborbedingungen mit Erwachsenen wiederfinden.

Bei der systematischen Verhaltensbeobachtung durch eine verblindete Gutachterin konnten keinerlei **aggressive Verhaltensweisen**, aber ein signifikanter Effekt kleiner Größe hinsichtlich der **prosozialen Verhaltensweisen** zu Gunsten der Experimentalgruppe bei der Verwendung des warmweißen Lichtprogrammes DL5 „Beruhigen“ festgestellt werden. In der Schulstudie wurden insgesamt mehr aggressive Verhaltensweisen und ein tendenzieller Vorteil, sowohl lang- als auch kurzfristig, für die Interventionsgruppe festgestellt (vgl. 3.3.1.4, S. 127; 3.3.1.5, S. 131). Aufgrund dessen wurden auch weniger aggressive Verhaltensweisen in der Laborstudie bei der Verwendung von DL 5 „Beruhigen“ erwartet. In der Laborstudie konnte jedoch in keiner Gruppe auch nur eine einzige aggressive Verhaltensweise beobachtet werden. Dies kann unter anderem durch die Stichprobe (Studierende und Angestellte in überwiegend medizinischen Berufen), die kleinere Gruppengröße und das Fehlen einer Konkurrenzsituation bedingt sein. Aufgrund der Gruppengröße war keine weitere Unterteilung von zwei konkurrierenden Gruppen möglich. Um die Schulstudie möglichst ähnlich widerzuspiegeln, wurde das Kommunikationsspiel nicht weiter verändert. Auch die Dauer der Beobachtung konnte aus zeitlichen Gründen ebenfalls nicht ausgedehnt werden, obwohl schon a priori mit einer noch geringeren Auftretenshäufigkeit aggressiver Verhaltensweisen als in der Schulstudie gerechnet wurde. Im Gegensatz zur Schulstudie wurde in der Laborstudie eine deutlich höhere Auftretenshäufigkeit von prosozialen Verhaltensweisen bei der Verwendung von Dynamischem Licht festgestellt. In der Schulstudie wurde aber ein tendenziell geringeres Auftreten aggressiver Verhaltensweisen beobachtet. Wenn aggressives und prosoziales Verhalten als gegensätzliche Pole des Sozialverhaltens aufgefasst werden (vgl. Petermann & Petermann, 2005; Wettstein, 2008), werden

die Ergebnisse der Schulstudie hinsichtlich des Sozialverhaltens somit gewissermaßen bestätigt. Eine Verhaltensänderung tritt demzufolge immer am jeweiligen Pol auf, an dem a priori die höhere oder überhaupt eine Ausprägung festzustellen ist. Demnach würden durch eine Intervention aggressive Teilnehmer zunächst einmal weniger aggressiv werden, bevor sie möglicherweise dann auch mehr prosoziale Verhaltensweisen zeigen. Das Verhalten prosozial eingestellter Teilnehmer würde dagegen weiter verstärkt werden. Studien zur Wirkung von Licht auf aggressive Verhaltensweisen sind nicht bekannt. Der festgestellte Effekt hinsichtlich des prosozialen Verhaltens in der Laborstudie entspricht den Ergebnissen von Studien in der Arbeitswelt (vgl. 1.3.5.2, S. 34 und 4.3.3. S. 182): So werden bei warmem Licht mit niedrigen Beleuchtungsstärken vermehrt freiwillige Aufgaben übernommen (Baron, Rea & Daniels, 1992), Bewerbungsunterlagen positiver bewertet (Baron, Rea & Daniels, 1992; Knez & Enmarker, 1998) und die Kommunikation in Konfliktsituationen verbessert (Baron, Rea & Daniels, 1992). Demnach sprechen, zusammengefasst betrachtet, die Ergebnisse für die Wirksamkeit von Dynamischem Licht auf das Sozialverhalten von Schülern und Erwachsenen unterschiedlicher Altersgruppen und Umgebungsbedingungen.

Die Befragten, zu einem großen Teil Studenten oder Akademiker, setzten sich differenziert mit der Wirkung des Lichts auseinander und **erleben die Wirkung** positiv. Die Meinung von zwei Teilnehmern, nach der die Vorteile von Dynamischem Licht nicht die Kosten rechtfertigen, kann selbstverständlich diskutiert werden. Bei privaten Endverbrauchern entscheidet der Kunde selbst, ob er eine solche Beleuchtungslösung einsetzen möchte oder eben nicht. Bei öffentlichen Mitteln muss die Verwendung selbstverständlich gesellschaftlich diskutiert werden und ist letztendlich eine politische Entscheidung. Diese Studie zeigt den positiven Einfluss von Licht auf die Arbeitsleistung und die Verminderung von Unruhe. Somit werden die Belastungen von Schülern und Lehrern sowie von berufstätigen oder studierenden Erwachsenen reduziert. Letztendlich wird durch die Optimierung von Hintergrundbedingungen ein Vorteil für alle Beteiligten erzielt und somit eine Verbesserung der Ausbildungs- und Arbeitsbedingungen. Selbst bei begrenzten Mitteln ist es auch an staatlichen Schulen mit viel Engagement möglich, neben einem überzeugenden Unterrichtskonzept, die gesamte Ausstattung aller Klassenräume auf modernstes Niveau zu bringen (z. B. mit ergonomischem Mobiliar, schallschluckenden Decken und Dynamischem Licht), wie es eindrucksvoll in der Schule in

der Alten Forst gezeigt wird. Auch soll an dieser Stelle auf den Einwand der beiden Teilnehmer eingegangen werden, dass Dynamisches Licht nur den mehrheitlichen Bedürfnissen von Schülern gerecht werde. Dies leisten herkömmliche Lichtsysteme ebenfalls, mit der Folge von nicht optimierten Lernbedingungen für die Mehrheit der Klasse. Eine tatsächliche „Personalisierung“ im Sinne einer Individualisierung von Lichtsystemen wäre sicherlich wünschenswert, doch müssten hierfür auch räumlich abgetrennte Arbeitsbereiche für Arbeitsgruppen mit unterschiedlichen Lernaufgaben geschaffen werden. Neben den größtenteils positiven Erfahrungen mit Dynamischem Licht gaben die Teilnehmer wertvolle Hinweise zur weiteren Optimierung: Die Verwendung weniger extrem eingestellter Programme und der weniger abrupte Wechsel zwischen den Programmen. Die sehr großen Unterschiede der Programme in Beleuchtungsstärke und ähnlichster Farbtemperatur sind aufgrund des Wirkungsnachweises so eingestellt worden, um eine maximale Wirkung zu erzielen. In der Ausstattung von Schulen mit Dynamischem Licht außerhalb dieser Studie wurden auch unter Gesichtspunkten der Energieeinsparung die Programme bereits modifiziert (vgl. Tabelle 44, S. 230). Der weniger abrupte Wechsel zwischen den Programmen sollte ebenfalls schnellst möglich umgesetzt werden, um ein komfortableres Wechseln zu ermöglichen.

Die in dieser Studie gezeigte Wirkung wurde von den Teilnehmern auch subjektiv erlebt. So wurde beispielsweise das Erleben des Programms DL3 „Konzentriertes Arbeiten“ wie folgt beschrieben: „Konzentriertes Arbeiten gefiel mir sehr gut, weil ich das Gefühl hatte, frisch und voller Energie zu sein“ (Psychologiestudentin, 27 Jahre). Dies entspricht empirischen Studien, die wie beschrieben (vgl. 4.3, S. 175) bei Verwendung von Licht mit hoher Beleuchtungsstärke oder tageslichtweißer ähnlichster Farbtemperatur eine Steigerung der Aufmerksamkeit/Konzentration feststellen (vgl. Campbell & Dawson, 1990; Küller & Lindsten, 1992). Auch entspricht die erlebte Wirkung der Teilnehmer den Erwartungen hinsichtlich der Funktionshypothese (1.3.2, S. 16), die für solche Lichtszenarien eine höhere neurobiologische Aktivierung postuliert (vgl. Berson, Dunn & Takao, 2002; Brainard et al., 2001; Hattar et al., 2002) und solchen Lichtszenarien eine konditionierte Wirkung auf aktive Verhaltensmuster zuschreibt (vgl. Baron & Rea, 1991). Die Wirkung des Programms DL5 „Beruhigen“ wird von den Teilnehmern direkt erlebt: „Es entstand schnell eine entspannte Atmosphäre“ (Versicherungsfachwirtin, 27 Jahre), „Stress abbauend“

(Bibliotheksmitarbeiter, 47 Jahre) und das Lichts sei „auch für diagnostische Gespräche anwendbar“ (Medizinstudentin, 24 Jahre). Diese Wahrnehmungen entsprechen der Funktionshypothese (vgl. 1.3.2, S. 16), die für dieses Licht eine geringere körperliche Aktivierung (vgl. Berson, Dunn & Takao, 2002; Brainard et al., 2001; Hattar et al., 2002) und durch Konditionierungseffekte (vgl. Baron & Rea, 1991) das Hervorrufen von angenehmen Erinnerungen postuliert. Des Weiteren wird das Erleben der Eignung von warmweißen Lichtszenarien für die Kommunikation, wie beschrieben (vgl. 4.3, S. 175), durch die Ergebnisse empirischer Studien bestätigt (vgl. Baron, Rea & Daniels, 1992; Fleischer, 2001; Küller & Lindsten, 1992). Insgesamt betrachtet, spiegelt die offene Befragung der Laborteilnehmer zu den Prozess- und Einstellungsvariablen die positiven Ergebnisse der Schülerbefragung wider.

**Das subjektive Gefallen der Lichtprogramme** fällt bei den Teilnehmern der Laborstudie mit der Note „mittelmäßig“ anscheinend verhaltener aus als bei den Schülern (vgl. Abbildung 36, S. 159 und Abbildung 23, S. 138). Die beiden beliebtesten Programme der Schülerbefragung DL3 „Aktivieren“ und DL6 „Nur Tafel“ standen den Teilnehmern der Laborstudie jedoch nicht zur Verfügung. Das Ranking der übrigen Programme entspricht in etwa dem der Schulstudie. Die beiden vorhandenen Hauptprogramme DL3 „Konzentriertes Arbeiten“ und DL5 „Beruhigen“ werden auch von den Teilnehmern der Laborstudie mit „gut“ bewertet. Wie in der Schülerbefragung wird das Programm DL 7 „Extremes Beruhigen“ sehr verhalten bewertet, so dass dieses Programm zu Gunsten von mehr Übersichtlichkeit und der von den Lehrern gewünschten Vereinfachung der Programmauswahl in der optimierten Einstellung des Dynamischen Lichts aufgegeben wurde (vgl. 4.3, S. 175).

Die Teilnehmer der Laborstudie würden, wie die Schüler, für Dynamisches Licht 50 % mehr Geld ausgeben. Wenn die Wirkung wissenschaftlich nachgewiesen wäre, sogar doppelt soviel wie für die günstigste Standardbeleuchtung. Ein Mehrverbrauch von Energie wird ebenfalls nur toleriert, wenn die Wirkung durch wissenschaftliche Untersuchungen belegt ist. Dieses Ergebnis weist Parallelen zur großen Relevanz des Themas Ökologie für Erwachsene auf (vgl. z.B. Dunlap & Scarce, 1991; Krause,

1993). Die begleitende Befragung der Laborteilnehmer spiegelt auch für die Themen **Ökonomie und Ökologie** die Ergebnisse der Schuluntersuchung wider sowie die reflektierte Auseinandersetzung mit dem Thema.

Insgesamt betrachtet werden in der Laborstudie bei fünf von neun getesteten Variablen signifikante Effekte kleiner bis mittlerer Größe gefunden. Mehrheitlich werden also signifikante Effekte festgestellt, obwohl der aus zwei Zielgrößen bestehende Lesetest wie dargestellt für die Erwachsenenpopulation nicht sensitiv genug war und die Überprüfung hinsichtlich aggressiver Verhaltensweisen an insgesamt mangelndem Auftreten scheiterte. Auf den ersten Blick scheinen die Ergebnisse im Vergleich zur Feldstudie in Schulen heterogen, denn nur drei von neun Variablen der Laborstudie weisen Effekte in die gleiche Richtung wie in der Schulstudie auf. Doch dieser Eindruck relativiert sich, wenn die bearbeiteten Zeichen des d2 Tests und die Geschwindigkeit im Lesetest als das selbe Konstrukt „Arbeitsgeschwindigkeit“ aufgefasst wird, welches, wie ausgeführt, in den Einzelergebnissen der beiden Variablen aufgrund der unterschiedlichen Stichprobenpopulation sowie des Settings variiert. Weiter kann das Sozialverhalten als ein Konstrukt betrachtet werden, auf das sich Licht wie in der Schulstudie im geringeren Auftreten aggressiver und in der Laborstudie im vermehrten Auftreten prosozialer Verhaltensweisen auswirkt. Werden diese leichten Variationen hinsichtlich einzelner Skalen der Messinstrumente als vergleichbare Konstrukte betrachtet, entsprechen alle bedeutsamen Effekte der Laborstudie den Ergebnissen der vorangegangenen Feldstudie an Schulen.

#### **4.5. Zusammenfassende Diskussion und Ausblick**

Insgesamt sprechen die Ergebnisse für die Wirksamkeit des Dynamischen Lichts insbesondere für die Lichtprogramme DL3 „Konzentriertes Arbeiten“ und DL5 „Beruhigen“ im Schulunterricht. Die festgestellten kleinen bis mittleren Effektgrößen entsprachen den Erwartungen an die explorative Feldstudie und besitzen eine nicht unerhebliche praktische Relevanz für die Schüler, wie die deskriptiven Ergebnisse zeigen. Dynamisches Licht bietet einen zusätzlichen Baustein zur

Optimierung der Rahmenbedingungen schulischen Lernens, denn es optimiert die Voraussetzungen für Leistungssteigerungen sowie für eine ruhigere und störungsfreiere Lernumgebung. Diese Wirkung wurde auch von den Anwendern, den Schülern und Lehrern im Schulalltag, gleichermaßen erlebt und von diesen insgesamt positiv beurteilt. Die aus der Arbeitswelt bekannten positiven Effekte spezieller Beleuchtungstechniken lassen sich somit prinzipiell auf den Schulunterricht übertragen. Auch wurden in der Ergänzungsstudie im Labor mit erwachsenen Teilnehmern weitestgehend vergleichbare Ergebnisse mit leichten Variationen einzelner Skalen der Messinstrumente festgestellt.

Aufgrund der inhomogenen Stichprobenstruktur und der geringen Stichprobengröße der Schulstudie sind Selektions- und Settingeffekte nicht auszuschließen, obwohl diese sehr unwahrscheinlich erscheinen: So zeigen die verglichenen a priori Werte keine nennenswerten Unterschiede zur entsprechenden Normierstichprobe, die gefundenen Ergebnisse weisen viele Parallelen zu Studien zur neurobiologischen Wirkungsweise der circadianen Funktionen auf, entsprechen dem Stand der empirischen Forschung und stimmen weitestgehend mit den Ergebnissen der Laborstudie überein.

Durch die in dieser Studie festgestellte Wirksamkeit von Dynamischem Licht im Unterricht profitieren Schüler und Lehrer gleichermaßen. Die Schüler können durch die konzentrationsfördernde und beruhigende Wirkung von Dynamischem Licht den Unterrichtsstoff leichter erarbeiten. Davon profitieren nicht nur leistungsschwache Schüler, sondern dies führt zu Erfolgserlebnissen für alle Kinder und somit zu mehr Spaß und Motivation im Unterricht. Den Lehrerinnen und Lehrern wird ein wirkungsvolles Werkzeug zur Verbesserung des Unterrichts zur Verfügung gestellt. Denn einerseits optimiert Dynamisches Licht die Lernverhältnisse und schafft Rahmenbedingungen für einen störungsfreieren und konzentrierteren Unterricht, andererseits kann die Lehrkraft durch die Konditionierung der Effekte direkt das Geschehen im Klassenzimmer moderieren. Darüber hinaus ist es möglich, verschiedene Unterrichtsabschnitte optisch zu gestalten und die Struktur des Unterrichts zu verdeutlichen. Es gelingt somit sozusagen Farbe in den oft grauen Unterrichtsalltag zu bringen.

Natürlich darf Dynamisches Licht nicht als alleinige Lösung der schulischen und gesellschaftlichen Probleme gesehen werden. Dynamisches Licht ist vielmehr als ein wissenschaftlich evaluiertes Hilfsmittel und als Teil einer ganzheitlichen Lösung für lehrreichen und verantwortungsvollen Unterricht zu verstehen, wie dieses beispielsweise eindrucksvoll in der Schule in der Alten Forst demonstriert wird.

Aus Sicht der Forschung wäre eine Replikation der Studie an einer ausreichend großen Stichprobe wünschenswert, um Aussagen auf Schulebene treffen zu können. Des Weiteren sollten die pädagogischen Fragestellungen zur Nutzung von Dynamischem Licht im Unterricht weiter erörtert werden. Auch sollte der genaue zeitliche Verlauf der Wirkung einerseits sowie der Einfluss auf langfristige Einstellungsvariablen andererseits näher betrachtet werden. Eine Variation der Messinstrumente und eine Vergrößerung des Zielgrößenspektrums erscheint ebenfalls sinnvoll: Denn die gezeigte Wirkungsweise von Dynamischem Licht legt die therapiebegleitende Anwendungserprobung bei depressiver Symptomatik und Aufmerksamkeitsdefizit-/Hyperaktivitätsstörung von Kindern und Jugendlichen nahe, wie sie derzeit in einer Nachfolgestudie erfolgt. Außerdem ist weitere Grundlagenforschung notwendig, um die Wirkung von Licht auf das Erleben und Verhalten, insbesondere am Tage, zu verstehen und Licht für weitere Anwendungsfelder nutzbar zu machen. Als weitere Anwendungsfelder für den gezielten Einsatz von Licht kommen beispielsweise die Regulierung des Schlafverhaltens, Rhythmisierung, Angststörungen, Stressbelastungen, Teilleistungsstörungen, Steigerung der Aktivität und Motivation, Sport- und Bewegungsförderung sowie die Optimierung von Arbeitsprozessen in Frage. Somit ist die Erforschung und die verständliche Veröffentlichung von Informationen ein wichtiger Beitrag zur Verbesserung unser aller Leistungsfähigkeit und Wohlbefinden, speziell auch der unserer Kinder.

## Literatur

- Albert, M., Hurrelmann, K., Quenzel, G. & TNS Infratest Sozialforschung (2010). *Jugend 2010. 16. Shell Jugendstudie*. Frankfurt am Main: Fischer Taschenbuch Verlag.
- Arnulf Betzold GmbH (2009). *Homepage Arnulf Betzold GmbH*. Zugriff am 5.11.2009  
<http://www.betzold.de/kontakt.html>
- ÄRZTLICHE PRAXIS (2006). Häufen sich zurzeit die Seelentiefs? Lichtblicke fürs Gemüt. *ÄRZTLICHE PRAXIS*, 2006(5), 12.
- Baddeley, A. (1968). A 3-minute reasoning test based on grammatical transformations. *Psychonomic Science*, 10, 341-342.
- Baer, R. (2006). *Grundlagen Beleuchtungstechnik*. Berlin: Huss-Medien.
- Baron, R. A. (1988). Negative effects of destructive criticism: Impact on conflict, self-efficacy and task performance. *Journal of Applied Psychology*, 73, 199-207.
- Baron, R. A. & Rea, M. S. (1991). Lighting to soothe the mood - Color and illuminance affect our moods. *LD+A*, 1991(December), 30-32.
- 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. *Motivation and Emotion*, 16(1), 1-33.
- Baumeier, D. (2000). *Der Einfluss von Licht auf die Psyche*. Universität Leipzig, Leipzig.
- Beauchemin, K. M. & Hays, P. (1997). Phototherapy is a useful adjunct in the treatment of depressed in-patients. *Acta Psychiatrica Scandinavica*, 95(5), 424-427.
- Berson, D. M., Dunn, F. A. & Takao, M. (2002). Phototransduction by Retinal Ganglion Cells That Set the Circadian Clock. *Science*, 295, 1070-1073.
- Biner, P. M., Butler, D. L., Fischer, A. R. & Westergrene, A. J. (1989). An Arousal Optimization Model of Lighting Level Preferences. *Environment and Behavior*, 21, 3-16.
- Birbaumer, N. & Schmidt, R.-F. (2006). *Biologische Psychologie* (6., vollst. ueberarb. Aufl.). Berlin: Springer.
- Blask, D. E., Brainard, G. C., Dauchy, R. T., Hanifin, J. P., Davidson, L. K., Krause, J. A. et al. (2005). Melatonin-Depleted Blood from Premenopausal Women Exposed to Light at Night Stimulates Growth of Human Breast Cancer Xenografts in Nude Rats. *Cancer Research*, 65(23), 11174-11184.
- Bortz, J. & Döring, N. (2002). *Forschungsmethoden und Evaluation für Human- und Sozialwissenschaftler*. Berlin: Springer.
- Bortz, J. & Schuster, C. (2010). *Statistik für Human- und Sozialwissenschaftler*. Berlin: Springer.
- Boyce, P., Beckstead, J. W., Eklund, N. H., Strobel, R. & Rea, M. S. (1997). Lighting the graveyard shift: The influence of a daylight-simulating skylight on task performance and mood of night-shift workers. *Lighting Research and Technology*, 29(3), 105-134.

- Bradley, M. M. & Lang, P. J. (2007). The International Affective Picture System (IAPS) in the study of emotion and attention. In J. A. Coan & J. J. B. Allen (Hrsg.), *Handbook of Emotion Elicitation and Assessment* (S. 29-46). Oxford: Oxford University Press
- Brainard, G. C., Hanifin, J. P., Greeson, J. M., Byrne, B., Glickman, G., Gerner, E. et al. (2001). Action Spectrum for Melatonin Regulation in Humans: Evidence for a Novel Circadian Photoreceptor. *The Journal of Neuroscience*, 21(16), 6405-6412.
- Brickenkamp, R. (2002). *d2 Aufmerksamkeits-Belastungs-Test* (Bd. 9., überarbeitete und neu normierte Auflage). Göttingen: Hogrefe.
- Brose, A., Schmiedek, F., Loevden, M. & Lindenberger, U. (2012). Daily variability in working memory is coupled with negative affect: The role of attention and motivation. *Emotion*, 12(3), 605-617.
- Brühl, T. (1992). *Der Einfluß von Licht auf die circadiane Rhythmik von cAMP, Melantonin und Cortisol bei gesunden Probanden*. Johann-Wolfgang-Goethe-Universität, Frankfurt am Main.
- Butler, D. L. & Biner, P. M. (1987). Preferred Lighting Levels: Variability among Settings, Behaviors, and Individuals. *Environment and Behavior*, 19(11), 695 - 721.
- Campbell, S. S. & Dawson, D. (1990). Enhancement of Nighttime Alertness and Performance with Bright Ambient Light. *Physiology & Behavior*, 48, 317-320.
- Cohen, J. (1973). Eta-squared and partial eta-squared in fixed factor ANOVA designs. *Educational and Psychological Measurement*, 33(1), 107-112.
- Cohen, J. (1988). *Statistical power analysis for the behavioral sciences* (2.). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Coleman, M. & Reiter, R. (1992). Breast cancer, blindness and melatonin. *European Journal of Cancer*, 28, 501-503.
- Dalgleish, T., Rosen, K. & Marks, M. (1996). Rhythm and blues: the theory and treatment of seasonal affective disorder. *British journal of clinical psychology*, 35, 163-182.
- Demeditec (2008). *Direct Saliva MELATONIN ELISA*. Kiel: Demeditec Diagnostics GmbH.
- Demeditec (2010). *Cortisol in saliva Cortisol in saliva ELISA sensitive procedure*. Zugriff am 4.3.2010 [http://www.demeditec.com/de/produkte/product\\_details/backPID/56/proview/cortisol\\_in\\_saliva/](http://www.demeditec.com/de/produkte/product_details/backPID/56/proview/cortisol_in_saliva/)
- Dietzel, M., Saletu, B., Veit, I., Birsak, L., Bach, M., Gruber, U. et al. (1989). Biologisch aktives Licht: Eine wirksame Therapie im schweren Alkoholentzug. In B. Pflug & B. Lemmer (Hrsg.), *Chronobiologie und Chronopharmakologie*. Stuttgart: Fischer.
- DIN Deutsches Institut für Normung (Hrsg.) (2006). *Leitfaden zur DIN EN 12464-1*. Berlin: Beuth Verlag GmbH.
- Döpfner, M., Arbeitsgruppe Deutsche Child Behavior Checklist & Arbeitsgruppe Kinder- Jugend- und Familiendiagnostik (1998). Deutsche Bearbeitung des Youth Self-Report (YSR) der Child Behavior Checklist: Einführung und Anleitung zur Handauswertung. Bd. 52.
- Döpfner, M., Berner, W., Fleischmann, T. & Schmidt, M. (1993). *Verhaltensbeurteilungsbogen für Vorschulkinder*. Göttingen: Hogrefe.
- Düker, H. & Lienert, G. A. (1965). *Konzentrations-Leistungs-Test (Mappe komplett) : K-L-T ; Handanweisung* (2. Aufl.). Göttingen: Verl. für Psychologie.

- Dunlap, R. E. & Scarce, R. (1991). Poll Trends: Environmental Problems and Protection. *The Public Opinion Quarterly*, 55(4), 651-667.
- Faul, F., Erdfelder, E., Buchner, A. & Lang, A.-G. (2009). Statistical power analyses using G\*Power 3.1: Tests for correlation and regression analyses. *Behavior Research Methods*, 41(4), 1149-1160.
- Ferguson, R. V., Munson, P. A. & Victoria, B. C. (1987). *The effects of artificial illumination on the behaviour of elementary school children (Final report to Extramural Research Programs Directorate Health Services and Promotions Branch Health and Welfare Canada)*. Victoria (Canada): University of Victoria.
- Feychting, M., Osterlund, B. & Ahlbom, A. (1998). Reduced cancer incidence among the blind. *Epidemiology*, 9, 490-494.
- Figueiro, M. G., Rea, M. S., Boyce, P., White, R. & Kolberg, K. (2001). The effects of bright light on day and night shift nurses' performance and well-being in the NICU. *Neonatal Intensive Care*, 14(1), 29-32.
- Fleischer, S. E. (2001). *Die psychologische Wirkung veränderlicher Kunstlichtsituationen auf den Menschen*. TU Berlin, Berlin.
- Folkard, S. & Monk, T. M. (1983). Chronopsychology: Circadian rhythm and human performance. In A. Gale & J. A. Edwards (Hrsg.), *Physiological correlates of human behaviour* (S. 57-78). London: Academic Press.
- Fördergemeinschaft Gutes Licht (Hrsg.) (2010). *Wirkung des Lichts auf den Menschen* (Bd. 19). Lage/Lippe: Druckhaus Haberbeck.
- Freedman, M. S., Lucas, R. J., Soni, B., Schantz, M. v., Munoz, M., David-Gray, Z. et al. (1999). Regulation of Mammalian Circadian Behavior by Non-rod, Non-cone, Ocular Photoreceptors. *Science*, 284, 502-504.
- Frieling, H. (1982). *Licht und Farbe am Arbeitsplatz*. Bad Wörishofen: Verlagsgemeinschaft für Wirtschaftspublizistik.
- Geller, I. (1971). Ethanol preference in the rat as function of photoperiod. *Science*, 173, 456-458.
- Goff, A. B., McGrath, R. E. & Pitzutelli, J. (1988). *Season patterns in an outpatient mental health population*. Atlanta: American Psychological Association Convention.
- Goldstein, E. B. (2002). *Sensation and perception* (6.). Pacific Grove, CA: Wadsworth.
- Hahn, R. (1991). Profound bilateral blindness and the incidence of breast cancer. *Epidemiology*, 208-210.
- Hattar, S., Liao, H.-W., Takao, M., Berson, D. M. & Yau, K.-W. (2002). Melanopsin-Containing Retinal Ganglion Cells: Architecture, Projections, and Intrinsic Photosensitivity. *Science*, 295(5557), 1065 - 1070.
- Hauner, H. & Berg, A. (2000). Körperliche Bewegung zur Prävention und Behandlung der Adipositas. *Deutsches Ärzteblatt*, 97(12), 768-774.
- Hellekson, C. (1989). Phenomenology of seasonal affective disorders and alaskan perspective. In N. E. Rosenthal & M. C. Blehar (Hrsg.), *Seasonal affective disorders and phototherapy* (S. 33-45). New York: Guilford.
- Hildebrandt, G. (1978). Chronobiologische Probleme in der Nacht und Schichtarbeit. In H. Heimann & B. Pflug (Hrsg.), *Rhythmusprobleme in der Psychiatrie* (S. 29-39). Stuttgart: Fischer.

- Hilger, E. (2004). Lichttherapie bei SAD und S-SAD Light therapy in seasonal affective disorders (SAD) and subsyndromal seasonal affective disorders. In S. Kasper & H.-J. Moeller (Hrsg.), *Herbst-/Winterdepression und Lichttherapie* (S. 65-77). Wien: Springer.
- Humpert, W. & Dann, H.-D. (1988). *Das Beobachtungssystem BAVIS : ein Beobachtungsverfahren zur Analyse von aggressionsbezogenen Interaktionen im Schulunterricht*. Göttingen: Verl. für Psychologie.
- Huss, M., Stadler, C., Salbach, H., Mayer, P., Ahle, M. & Lehmkuhl, U. (2002). ADHS im Lehrerurteil: Ein Vergleich von klinischer und Normstichprobe anhand der Conners-Skalen. *Kindheit und Entwicklung, 11*, 90-97.
- Isen, A. M. & Daubman, K. A. (1984). The Influence of Affect on Categorization. *Journal of Personality and Social Psychology, 47*(6), 1206-1217.
- Kasper, S., Rogers, S. L. B., Yancey, A., Schulz, P. M., Skwerer, R. G. & Rosenthal, N. E. (1989). Phototherapy in individuals with and without subsyndromal seasonal affective disorder. *Archives of General Psychiatry, 46*(9), 837-844.
- Kavaklı, İ. H. & Sancar, A. (2002). Circadian Photoreception in Humans and Mice. *Molecular Interventions, 2*(8), 484-492.
- Kent, S. T., McClure, L. A., Crosson, W. L., Arnett, D. K., Wadley, V. G. & Sathiakumar, N. (2009). Effect of sunlight exposure on cognitive function among depressed and non-depressed participants: a REGARDS cross-sectional study. *Environmental Health, 8*(34).
- Kiester, E. (1981). The light and the dark. In W. W. Norton (Hrsg.), *Fire of life* (S. 194-203). London: Tablock.
- Klein, L. (1993). *Fragebogen zum Hyperkinetischen Syndrom und Therapieleitfaden (HKS)*. Weinheim: Beltz Test GmbH.
- Knez, I. (1995). Effects of indoor lighting on mood and cognition. *Journal of Environmental Psychology, 15*(1), 39-51.
- Knez, I. & Enmarker, I. (1998). Effects of Office Lighting on Mood and Cognitive Performance And A Gender Effect in Work-related Judgment. *Environment and Behavior, 30*(4), 553-567.
- Knez, I. & Kers, C. (2000). Effects of Indoor Lighting, Gender, and Age on Mood and Cognitive Performance. *Environment and Behavior, 32*(6), 817-831.
- Knoop, M. (2008). *Dynamic Lighting at schools. Investigation at Green End Primary School*. Eindhoven: Philips Lighting.
- Kolstad, H. A. (2007). *Nightshift work and risk of breast cancer and other cancers. A critical review of the epidemiological evidence*. Aarhus, Dänemark: Aarhus University Hospital, Department of Occupational Medicine.
- Krause, D. (1993). Environmental Consciousness: An Empirical Study. *Environment and Behavior, 25*(1), 126-142.
- Küller, R. & Lindsten, C. (1991). *Health effects of work in windowless classrooms*. Stockholm: Swedish Council for Building Research.
- Küller, R. & Lindsten, C. (1992). Health and behavior of children in classrooms with and without windows. *Journal of Environmental Psychology, 12*, 305-317.
- Lange, H. (1992). *Handbuch für Beleuchtung*. Landsberg: Ecomed.

- Lenhard, W. & Schneider, W. (2006). *ELFE 1-6 Leseverständnistest für Erst- bis Sechstklässler*. Göttingen: Hogrefe.
- Levine, T. R. & Hullett, C. R. (2002). Eta Squared, Partial Eta Squared and the Misreporting of Effect Size in Communication Research. *Human Communication Research*, 28, 612-625.
- Lewy, A. J., Wehr, T. A., Goodwin, F. K., Newsome, D. A. & Markey, S. P. (1980). Light suppresses melatonin secretions in humans. *Science*, 210, 1267-1269.
- Lieberman, H. R., Waldhauser, F., Garfield, G., Lynch, H. J. & Wurtman, R. J. (1984). Effects of melatonin on human mood and performance. *Brain Res.*, 323(1984), 201-207.
- Little, R. J. A. & Rubin, D. B. (2002). *Statistical analysis with missing data* (2.). Hoboken, NJ: Wiley.
- Litzcke, S. M. & Schuh, H. (2005). *Stress, Mobbing und Burn-out am Arbeitsplatz*. Berlin: Springer.
- Martiny, K., Lunde, M., Uden, M., Dam, H. & Bech, P. (2005). Adjunctive bright light in non-seasonal major depression: Results from patient-reported symptom and well-being scales. *Acta Psychiatrica Scandinavica*, 111(6), 453-459.
- Mayron, L. W., Ott, J. N., Nations, R. & Mayron, E. L. (1974). Light, radiation and academic behaviour. *Academic Therapy*, 10, 33-47.
- McCull, S. & Veitch, J. A. (2001). Full-spectrum fluorescent lighting : a review of its effects on physiology and health. *Psychological Medicine*, 31, 949-964.
- McIntyre, I., Norman, T. R., Burrows, G. D. & Armstrong, S. M. (1989). Human Melatonin Suppression by Light is Intensity Dependent. *Journal of Pineal Research*, 6(2), 149-156.
- Meesters, Y. & Ruiter, M. J. (2009). The effects of low intensity blue-enriched white light treatment compared to standard light treatment in SAD. In Society for Light Treatment and Biological Rhythms (Hrsg.), *Program and Abstracts: 21st Annual Meeting 2009* (Bd. 21). Berlin.
- Mehrabian, A. (1995). Relationships Among Three General Approaches to Personality Description. *Journal of Psychology*, 129(5), 565-581.
- Mensink, G. (2002). Körperliches Aktivitätsverhalten in Deutschland. In G. Samitz & G. Mensink (Hrsg.), *Körperliche Aktivität in Prävention und Therapie*. München: Marseille.
- Mensink, G. (2003). *Bundes-Gesundheitssurvey: Körperliche Aktivität - Aktive Freizeitgestaltung in Deutschland*. Berlin: Mercedes-Druck.
- Meyer, H. (2002). *Unterrichtsmethoden: Theorieband*. Berlin: Cornelsen Scriptor.
- Meyer, H. (2003). *Unterrichtsmethoden: Praxisband*. Berlin: Cornelsen Scriptor.
- Navara, K. J. & Nelson, R. J. (2007). The dark side of light at night: physiological, epidemiological, and ecological consequences. *Journal of Pineal Research*, 43, 215-224.
- Nelson, R. J. & Bloom, J. M. C. (1994). Photoperiodic Effects on Tumor Development and Immune Function. *Journal of Biological Rhythms*, 9, 233-249.
- Oswald, W. D. & Roth, E. (1987). *Der Zahlen-Verbindungs-Test (ZVT): Ein sprachfreier Intelligenz-Test zur Messung der "kognitiven Leistungsgeschwindigkeit"* (2., überarb. und erw. Aufl.). Göttingen: Hogrefe.

- Ottova, V., Hillebrandt, D. & Ravens-Sieberer, U. (2012). Trends in der subjektiven Gesundheit und des gesundheitlichen Wohlbefindens von Kindern und Jugendlichen in Deutschland: Ergebnisse der Health Behaviour in School-aged Children (HBSC) Studie 2002 bis 2010. *Gesundheitswesen*, 74(Suppl 1), 15-24.
- Petermann, F. & Petermann, U. (2005). *Training mit aggressiven Kindern* (11., vollst. überarb. Aufl.). Weinheim: Beltz, Psychologie Verl. Union.
- Petillon, H. (1998). Soziale Beziehungen. In D. H. Rost (Hrsg.), *Handwörterbuch Pädagogische Psychologie* (S. 473-478). Weinheim: Psychologie Verlags Union.
- Piatnik (2007). *Activity Original*. Wien: Wiener Spielkartenfabrik Ferd. Piatnik & Söhne.
- Pinel, J. P. J. (2009). *Biopsychology* (7th ed). Boston, MA: Pearson.
- Polanczyk, G., de Lima, M. S., Horta, B. L., Biederman, J. & Rohde, L. A. (2007). The Worldwide Prevalence of ADHD: A Systematic Review and Metaregression Analysis. *Am J Psychiatry*, 164, 942-948.
- Quah, C., Koh, D. & Ng, V. (2009). *Protocol Light for Learning*. Singapore: National University of Singapore.
- Rauer, W. & Schuck, K. D. (2003). *Fragebogen zur Erfassung emotionaler und sozialer Schulerfahrungen von Grundschulkindern dritter und vierter Klassen: FEES 3-4; Manual*. Göttingen: Hogrefe.
- Ravens-Sieberer, U. & Thomas, C. (2002). *Gesundheitsverhalten von Schülern in Berlin. Ergebnisse der HBSC-Jugendgesundheitsstudie 2002 im Auftrag der WHO*. Berlin: Robert Koch-Institut.
- Rea, M. S. (2002). *Light - much more than vision*. Zugriff am 25.11.2009  
[www.lrc.rpi.edu/programs/lightHealth/pdf/moreThanVision.pdf](http://www.lrc.rpi.edu/programs/lightHealth/pdf/moreThanVision.pdf)
- Rea, M. S., Figueiro, M. & Bullough, J. (2002). Circadian photobiology: an emerging framework for lighting practice and research. *Lighting Research and Technology*, 34(3), 177-190.
- Reiter, R. J., Tan, D.-x., Mayo, J. C., Sainz, R. M., Leon, J. & Czarnocki, Z. (2003). Melatonin as an antioxidant: biochemical mechanisms and pathophysiological implications in humans. *Acta Biochimica Polonica*, 50(4), 1129-1146.
- Reuss, S. (1993). Das Werk der inneren Uhr. Zur Neuroanatomie des circadianen Systems der Säuger. *Naturwissenschaften*, 80(11), 501-510.
- Rollet, B. (1977). *Anstrengungsvermeidungstest*. Braunschweig: Westermann.
- Röpke, H. (1993). *Lichttherapie im akuten, psychopharmakafreien Alkoholentzug*. Freie Universität Berlin, Berlin.
- Rosenthal, N. E., Sack, D. A., Gillin, J. C., Lewy, A. J., Goodwin, F. K., Davenport, Y. et al. (1984). Seasonal affective disorder: A description of the syndrome and preliminary findings with light therapy. *Archives of General Psychiatry*, 41, 72-80.
- Rosenthal, N. E., Sack, D. A., Jacobsen, F. M., James, S. P., Parry, B. L., Ahrendt, J. et al. (1986). Melatonin in seasonal affective disorder. *Journal of Transmission*, 21, 257-267.
- Rybak, Y. E., McNeely, H. E., Mackenzie, B. E., Jain, U. R. & Levitan, R. D. (2006). An open trial of light therapy in adult attention-deficit/hyperactivity disorder. *Journal of Clinical Psychiatry*, 67(10), 1527-1535.

- Schacter, D. L., Gilbert, D. T., Wegner, D. M. & Hood, B. (2011). *Psychology* ([Nachdr.]). New York, NY: Worth Publ.
- Schmidt, A. (2010). *Normalverteilungsannahme und Transformationen bei Regressionen*. Zugriff am 4.2.2013 <http://www.bwl.uni-kiel.de/bwlinstitute/grad-kolleg/new/index.php?id=267>
- Schneider, W., Schlagmüller, M. & Ennemoser, M. (2007). *Lesegeschwindigkeits- und -verständnistest für die Klassen 6-12*. Göttingen: Hogrefe.
- Skolicky (2009). *Skolicky Schulmöbel*. Zugriff am 5.11.2009 <http://schul-mobel.de>
- Stange & Roitsch GmbH (2009). *Homepage Stange & Roitsch GmbH*. Zugriff am 5.11.2009 <http://www.schuleinrichtung.de/schulmoebel.html>
- Steinhausen, H.-C. (2004). *Conners-Skalen zum Hyperkynetischen Syndrom (CS-HKS)*. Zugriff am 13.3.2009 [www.uni-kassel.de/fb7/psychologie/pers/zimmermann/ws2004/Conners-Skala.pdf](http://www.uni-kassel.de/fb7/psychologie/pers/zimmermann/ws2004/Conners-Skala.pdf)
- Stevens, R. G. (1987). Electric power use and breast cancer: A Hypothesis. *American journal of epidemiology*, 125(4), 556-561.
- Stroebe, W. & Jonas, K. (2003). *Sozialpsychologie: eine Einführung*. Berlin: Springer.
- Tabachnick, B. G. & Fidell, L. S. (2007). *Using Multivariate Statistics*. Boston: Pearson.
- Terman, M. & Terman, J. S. (2005). Light Therapy for Seasonal and Nonseasonal Depression: Efficacy, Protocol, Safety, and Side Effects. *CNS Spectrums*, 10(8), 647-663.
- Thomas, K. W. (1992). Conflict and negotiation processes. In M. Dunnette (Hrsg.), *Handbook of industrial and organizational psychology*. Palo Alto (USA): Consulting Psychologists Press.
- Thorne, D., Genser, S., Sing, H. & Hegge, F. (1985). The Walter Reed performance assessment battery. *Neurobehav Toxicol Teratol*, 7(4), 415-418.
- van Bommel, W. J. M., van den Beld, G. & Fassian, M. (2004). *Beleuchtung am Arbeitsplatz: Visuelle und biologische Effekte*. Eindhoven: Philips Lighting.
- van Gelder, R. N. (2002). Tales from the Cryptochromes. *Journal of Biological Rhythms* 17(2), 110-120.
- Vandewalle, G., Maquet, P. & Dijk, D.-J. (2009). Light as a modulator of cognitive brain function. *Trends in Cognitive Sciences*, 13(10), 429-438.
- Wessolowski, N., Barkmann, C. & Koenig, H. (2010). Childmove- ein Verfahren zur optischen Bewegungsmessung. In P. U. Koglin (Hrsg.), *47. Kongress der Deutschen Gesellschaft für Psychologie 26. bis 30. September 2010 in Bremen* (S. 186). Lengerich: Pabst Science Publishers.
- Wessolowski, N., Barkmann, C. & Koenig, H. (2011). *Childmove- ein Verfahren zur optischen Bewegungsmessung*. Zugriff am 19.5.2011 <http://www1.dgkjp-kongress.de/guest/AbstractView?ABSID=5936>
- Wetterberg, L. (1999). Melatonin and clinical application. *Reproduction Nutrition Development*, 39, 367-382.
- Wettstein, A. (2008). *BASYS Beobachtungssystem zur Analyse aggressiven Verhaltens in schulischen Settings*. Göttingen: Hogrefe.
- Wilkens, J. H. (2008). *Lichtklinik*. Zugriff am 4.3.2010 [www.lichtklinik.de](http://www.lichtklinik.de)

- Wilkinson, R. & Houghton, D. (1975). Portable four choices reaction time test with magnetic tape memory. *Behavioural Research Methods and Instrumentation*, 7, 441-446.
- Winkler, J. & Stolzenberg, H. (1999). Der Sozialschichtindex im Bundesgesundheitsurvey. *Gesundheitswesen*, 61 (1999)(Sonderheft 2), 178-183.
- Wirtz, M. (2004). Über das Problem fehlender Werte: Wie der Einfluss fehlender Informationen auf Analyseergebnisse entdeckt und reduziert werden kann. *Rehabilitation*, 43(02), 109-115.
- Witte, E. H. (1989). *Sozialpsychologie: ein Lehrbuch*. München: Psychologie-Verl.-Union.
- Wohlfarth, H. & Gates, C. (1985). The effects of color-psychodynamic environmental color and lighting modification of elementary schools on blood pressure and mood: A controlled study. *International Journal of Biosocial Research*, 7, 9-16.
- Yamada, N., Martin-Iverson, M. T., Daimon, K., Tsujimoto, T. & Takahashi, S. (1995). Clinical and Chronobiological Effects of Light Therapy on Nonseasonal Affective Disorders. *Biological Psychiatry* 37(12), 831-897.
- Zulley, J., Haen, E., Lund, R. & Roenneberg, T. (1993). *Schlafen und Wachen als biologischer Rhythmus* (Bd. 2). Regensburg: S. Roderer Verlag.

## Anhang

Tabelle 29

*Überprüfung der Zielgrößen der Schulstudie hinsichtlich Normalverteilung*

Zielgrößen	IG					KG				
	n	Schiefe	Kurtosis	Statistik KS	Signifikanz KS	n	Schiefe	Kurtosis	Statistik KS	Signifikanz KS
Primäre Zielgröße Aufmerksamkeit/Konzentration										
d2 Fehler (gesamt)	49	2.893	8.334	0.263	.000	48	2.121	4.048	0.228	.000
d2 Auslassungsfehler (F1)	49	2.827	9.190	0.240	.000	48	1.816	2.675	0.217	.000
d2 falsch markierte Zeichen (F2)	49	2.886	7.756	0.350	.000	48	2.001	3.527	0.276	.000
d2 markierte Zeichen (GZ)	49	0.572	-0.568	0.142	.015	48	0.377	-1.007	0.120	.081
Leseverständnis (T-Werte)	48	-0.128	0.813	0.087	.200	48	-0.362	-0.573	0.105	.200
Lesegeschwindigkeit (T-Werte)	48	0.568	0.467	0.204	.000	48	-0.549	-0.587	0.141	.018
Primäre Zielgröße Hyperaktivität: motorische Unruhe										
	33	0.178	-0.906	0.091	.200	32	0.541	-0.949	0.156	.047
Primäre Zielgröße Aggressivität und prosoziales Verhalten										
Aggression (Beobachtung)	37	6.083	37.000	0.538	.000	38	2.077	2.869	0.487	.000
prosoziales Verhalten (Beobachtung)	37	2.638	6.441	0.471	.000	36	0.915	-0.744	0.333	.000
Primäre und sekundäre Zielgrößen zum Fragebogen der Langzeitwirkung										
Aggressivität	46	1.782	2.525	0.251	.000	46	1.026	0.268	0.210	.000
Hyperaktivität	46	-0.611	-1.069	0.159	.005	46	-0.580	-1.048	0.173	.001
Allgemeines Wohlbefinden	47	0.651	-0.604	0.162	.004	46	0.355	-0.304	0.110	.200
Klassenklima	47	-0.751	-0.678	0.185	.000	46	-0.545	-0.787	0.174	.001

*Anmerkung.* Kolmogorov-Smirnov Test auf Normalverteilung (KS)..

Tabelle 30

*Überprüfung auf Varianzhomogenität der Zielgrößen aus der Schulstudie mit dem Levene-Test auf Gleichheit der Fehlervarianzen*

Zielgrößen	F	df1	df2	p
Primäre Zielgröße Aufmerksamkeit/Konzentration				
d2 Fehler (gesamt)	2.060	5	88	.078
d2 Auslassungsfehler (F1)	3.512	5	88	.006
d2 falsch markierte Zeichen (F2)	2.442	3	90	.069
d2 markierte Zeichen (GZ)	0.216	1	92	.643
Leseverständnis (T-Werte)	0.067	1	74	.796
Lesegeschwindigkeit (T-Werte)	0.155	1	91	.695
Primäre Zielgröße Hyperaktivität				
motorische Unruhe*	0.362	5	-	.000
Primäre Messgröße Aggressivität				
Aggression (Beobachtung)	9.627	1	56	.003
prosoziales Verhalten (Beobachtung)	5.665	1	49	.021
Primäre und sekundäre Zielgrößen zum Fragebogen der Langzeitwirkung				
Aggressivität	2.863	3	88	.041
Hyperaktivität	1.958	3	88	.126
Allgemeines Wohlbefinden	1.249	3	65	.299
Klassenklima	0.106	1	91	.745

*Anmerkung.* \* Mauchly-Test auf Sphärizität.

Tabelle 31

Überprüfung der Produktmomentkorrelationen zwischen den Zielgrößen der Schulstudie und den jeweils drei berücksichtigten Kovariaten in den Kovarianzanalysen

Zielgrößen	Störgrößen								
	1. Ausgangs- werte	2. Alter	3. Geschlecht	4. Soziale Schicht	5. Gesundheit	6. Umwelt	7. Schul- motivation	8. Erwartung	9. Kopf- rechnen
Primäre Zielgröße Aufmerksamkeit/Konzentration									
d2 Fehler (gesamt)	.79**	.26*		-.17				.79**	
d2 Auslassungsfehler (F1)	.84**	.36**		-.21*					
d2 falsch markierte Zeichen (F2)	.72**		.13					.02	
d2 markierte Zeichen (GZ)	.90**	.79**						-.48**	
Leseverständnis	.70**				-.16			-.13	
Lesegeschwindigkeit	.67**	.10				-.01			
Primäre Zielgröße Hyperaktivität									
optische Messung motorische Unruhe (post)					-.07	-.29*		-.18	
Primäre Zielgröße Aggressivität und prosoziales Verhalten									
Aggression (Beobachtung)	.15	.30*				-.25*			
prosoziales Verhalten (Beobachtung)	.46**					-.37**		-.42**	
Primäre und sekundäre Zielgrößen zum Fragebogen der Langzeitwirkung									
Aggressivität	.59**		.15			-.53**			
Hyperaktivität	-.20		.05				.63**		

Zielgrößen	Störgrößen								
	1. Ausgangs- werte	2. Alter	3. Geschlecht	4. Soziale Schicht	5. Gesundheit	6. Umwelt	7. Schul- motivation	8. Erwartung	9. Kopf- rechnen
Allgemeines Wohlbefinden	.53**		-.21*		.48**				
Klassenklima	.49**					.37**	-.02		

*Anmerkung.* Zweiseitige Signifikanztestung.

Tabelle 32

*Produktmoment-Korrelation zwischen den Messzeitpunkten der Prä-Messung (Modul 3) motorische Unruhe: Interventionsgruppe und Kontrollgruppe mit Standardlicht*

Messzeitpunkte	nach 2.5 min	nach 5 min	nach 7.5 min	nach 10 min
nach 2.5 min	1	.67**	.43**	.31*
nach 5 min	.67**	1	.91**	.84**
nach 7.5 min	.43**	.91**	1	.89**
nach 10 min	.31*	.84**	.89**	1

*Anmerkung.* Zweiseitige Signifikanztestung.

Tabelle 33

*Produktmomentkorrelation zwischen den Messzeitpunkten der Post-Messung (Modul 4) motorische Unruhe: Interventionsgruppe mit Lichtprogramm „Beruhigen“ und Kontrollgruppe mit Standardlicht*

Messzeitpunkte	nach 2.5 min	nach 5 min	nach 7.5 min	nach 10 min
nach 2.5 min	1	.54**	.24	.27*
nach 5 min	.54**	1	.69**	.67**
nach 7.5 min	.24	.69**	1	.83**
nach 10 min	.27**	.67**	.83**	1

*Anmerkung.* Zweiseitige Signifikanztestung.

Tabelle 34

*Überprüfung der Innerhalb-Regressionen (Schulstudie)*

Zielgröße – Kontrollgröße	IG Beta	KG Beta	Diff- erenz
Primäre Zielgröße Aufmerksamkeit/Konzentration			
d2 Fehler (gesamt) – Ausgangswert	-0.165	-0.172	0.006
d2 Fehler (gesamt) – Sozialer Schicht Index	-0.061	-0.286	0.225
d2 Fehler (gesamt) – Alter	0.278	0.248	0.030
d2 Auslassungsfehler (F1) – Ausgangswert	0.852	0.843	0.009
d2 Auslassungsfehler (F1) – Sozialer Schicht Index	-0.156	-0.277	0.121
d2 Auslassungsfehler (F1) – Alter	0.491	0.274	0.217
d2 falsch markierte Zeichen (F2) – Ausgangswert	0.677	0.763	-0.086
d2 falsch markierte Zeichen (F2) – Erwartung	0.125	0.037	0.088
d2 falsch markierte Zeichen (F2) – Geschlecht	0.064	0.206	-0.142
d2 markierte Zeichen (GZ) – Ausgangswert	0.910	0.902	0.008
d2 markierte Zeichen (GZ) – Alter	0.797	0.786	0.011
d2 markierte Zeichen (GZ) – Erwartung	-0.414	-0.582	0.168
Leseverständnis (T-Werte) – Ausgangswert	0.667	0.745	-0.079
Leseverständnis (T-Werte) – Erwartung	-0.291	-0.043	-0.248
Leseverständnis (T-Werte) – Gesundheit	0.026	-0.382	0.407
Lesegeschwindigkeit (T-Werte) – Ausgangswert	0.416	0.679	-0.263
Lesegeschwindigkeit (T-Werte) – Alter	0.211	-0.064	0.275
Lesegeschwindigkeit (T-Werte) – Umwelt	-0.222	0.043	-0.266

Primäre Zielgröße Hyperaktivität

motorische Unruhe – Ausgangswert	0.068	-0.246	0.314
motorische Unruhe – Umwelt	-0.407	-0.278	-0.129
motorische Unruhe – Erwartung	-0.057	-0.379	0.322

---

Primäre Zielgröße Aggressivität und prosoziales Verhalten

Aggressivität (Beobachtung) – Ausgangswert	0.559	0.095	0.464
Aggressivität (Beobachtung) – Alter	-0.142	0.448	-0.590
Aggressivität (Beobachtung) – Umwelt	-0.003	-0.195	0.192
prosoziales Verhalten (Beobachtung) – Ausgangswert	0.377	0.435	-0.059
prosoziales Verhalten (Beobachtung) – Erwartung	-0.020	-0.476	0.456
prosoziales Verhalten (Beobachtung) – Umwelt	-0.199	-0.400	0.281

---

Primäre und sekundäre Zielgrößen zum Fragebogen der Langzeitwirkung

Aggressivität – Ausgangswert	0.537	0.402	0.135
Aggressivität – Geschlecht	0.190	0.133	0.056
Aggressivität – Umwelt	-0.452	-0.604	0.152
Hyperaktivität – Ausgangswert	-0.178	-0.209	0.032
Hyperaktivität – Geschlecht	0.041	0.057	-0.128
Hyperaktivität – Schulmotivation	0.572	0.700	-0.128
Allgemeines Wohlbefinden – Ausgangswert	0.505	0.541	-0.036
Allgemeines Wohlbefinden – Geschlecht	-0.112	-0.326	0.213
Allgemeines Wohlbefinden – Gesundheit	0.563	0.380	0.183
Klassenklima – Ausgangswert	0.532	0.370	0.162
Klassenklima – Umwelt	0.395	0.273	0.122
Klassenklima – Schulmotivation	-0.072	0.034	-0.106

---

Tabelle 35

*Gleichsinnigkeit der Regression innerhalb und zwischen den Gruppen der Schulstudie*

Zielgröße – Kontrollgröße	Gesamt-Beta	Aus Gruppen-mittelwerte
Primäre Zielgröße Aufmerksamkeit/Konzentration		
d2 Fehler (gesamt) – Ausgangswert	0.903	-0.112
d2 Fehler (gesamt) – Sozialer Schicht Index	0.788	0.112
d2 Fehler (gesamt) – Alter	-0.481	0.112
d2 Auslassungsfehler (F1) – Ausgangswert	-0.162	0.157
d2 Auslassungsfehler (F1) – Sozialer Schicht Index	-0.174	0.157
d2 Auslassungsfehler (F1) – Alter	0.260	0.157
d2 falsch markierte Zeichen (F2) – Ausgangswert	0.838	0.089
d2 falsch markierte Zeichen (F2) – Erwartung	-0.214	-0.089
d2 falsch markierte Zeichen (F2) – Geschlecht	0.358	-0.089
d2 markierte Zeichen (GZ) – Ausgangswert	0.724	0.086
d2 markierte Zeichen (GZ) – Alter	0.018	0.086
d2 markierte Zeichen (GZ) – Erwartung	0.134	-0.086
Leseverständnis (T-Werte) – Ausgangswert	0.704	0.000
Leseverständnis (T-Werte) – Erwartung	-0.131	0.000
Leseverständnis (T-Werte) – Gesundheit	-0.162	0.000
Lesegeschwindigkeit (T-Werte) – Ausgangswert	0.492	-0.180
Lesegeschwindigkeit (T-Werte) – Alter	0.098	-0.180
Lesegeschwindigkeit (T-Werte) – Umwelt	-0.010	0.180

---

 Primäre Zielgröße Hyperaktivität

motorische Unruhe – Ausgangswert	-0.081	0.178
motorische Unruhe – Umwelt	-0.346	-0.178
motorische Unruhe – Erwartung	-0.336	-0.178

---

## Primäre Zielgröße Aggression und prosoziales Verhalten

Aggression (Beobachtung) – Ausgangswert	0.145	-0.267
Aggression (Beobachtung) – Alter	0.296	0.267
Aggression (Beobachtung) – Umwelt	-0.246	-0.267
prosoziales Verhalten (Beobachtung) – Ausgangswert	0.462	0.278
prosoziales Verhalten (Beobachtung) – Erwartung	-0.417	-0.278
prosoziales Verhalten (Beobachtung) – Umwelt	-0.373	-0.278

---

## Primäre und sekundäre Zielgrößen zum Fragebogen der Langzeitwirkung

Aggression – Ausgangswert	0.649	0.148
Aggression – Geschlecht	-0.058	-0.148
Aggression – Umwelt	-0.039	-0.148
Hyperaktivität – Ausgangswert	-0.199	-0.056
Hyperaktivität – Geschlecht	0.052	0.056
Hyperaktivität – Schulmotivation	0.633	0.056
Allgemeines Wohlbefinden – Ausgangswert	0.492	0.135
Allgemeines Wohlbefinden – Geschlecht	0.150	-0.135
Allgemeines Wohlbefinden – Gesundheit	-0.530	0.135
Klassenklima – Ausgangswert	0.529	0.170
Klassenklima – Umwelt	-0.213	0.170
Klassenklima – Schulmotivation	0.481	0.170

---

Tabelle 36

*Überprüfung auf Normalverteilung der Regressionsresiduen (Schulstudie)*

Zielgröße – Kontrollgröße	Schiefe	Kurtosis	Kolmogorov-Smirnov-Test		
			Statistik	df	Signifikanz
Primäre Zielgröße Aufmerksamkeit/Konzentration					
d2 Fehler (gesamt) – Ausgangswert	0.373	6.312	0.171	94	.000
d2 Fehler (gesamt) – Sozialer Schicht Index	2.317	5.122	0.232	97	.000
d2 Fehler (gesamt) – Alter	2.366	5.650	0.210	97	.000
d2 Auslassungsfehler (F1) – Ausgangswert	0.862	4.256	0.122	94	.002
d2 Auslassungsfehler (F1) – Sozialer Schicht Index	2.044	4.082	0.214	97	.000
d2 Auslassungsfehler (F1) – Alter	2.028	4.822	0.175	97	.000
d2 falsch markierte Zeichen (F2) – Ausgangswert	2.367	10.940	0.216	94	.000
d2 falsch markierte Zeichen (F2) – Erwartung	2.357	4.919	0.291	97	.000
d2 falsch markierte Zeichen (F2) – Geschlecht	2.257	4.598	0.258	97	.000
d2 markierte Zeichen (GZ) – Ausgangswert	0.604	7.899	0.087	94	.076
d2 markierte Zeichen (GZ) – Alter	0.523	0.724	0.093	97	.037
d2 markierte Zeichen (GZ) – Erwartung	0.467	-0.382	0.092	97	.040
Leseverständnis (T-Werte) – Ausgangswert	0.171	1.187	0.055	93	.200
Leseverständnis (T-Werte) – Erwartung	-0.200	-0.832	0.074	96	.200
Leseverständnis (T-Werte) – Gesundheit	-0.359	-0.618	0.076	76	.200
Lesegeschwindigkeit (T-Werte) – Ausgangswert	1.218	3.384	0.148	93	.000
Lesegeschwindigkeit (T-Werte) – Alter	0.406	0.593	0.154	96	.000
Lesegeschwindigkeit (T-Werte) – Umwelt	0.496	1.017	0.168	96	.000

## Primäre Zielgröße Hyperaktivität:

motorische Unruhe – Ausgangswert	1.117	0.841	0.151	49	.007
motorische Unruhe – Umwelt	0.967	1.086	0.103	66	.081
motorische Unruhe – Erwartung	0.750	0.376	0.095	66	.200

---

## Primäre Zielgröße Aggression und prosoziales Verhalten

Aggression (Beobachtung) – Ausgangswert	2.561	5.593	0.483	58	.000
Aggression (Beobachtung) – Alter	2.581	6.438	0.405	75	.000
Aggression (Beobachtung) – Umwelt	2.795	7.460	0.370	75	.000
prosoziales Verhalten (Beobachtung) – Ausgangswert	0.939	1.063	0.338	51	.000
prosoziales Verhalten (Beobachtung) –	1.304	1.460	0.150	73	.000
prosoziales Verhalten (Beobachtung) –	1.064	0.365	0.197	73	.000

---

## Primäre und sekundäre Zielgrößen zum Fragebogen der Langzeitwirkung

Aggression – Ausgangswert	1.389	2.342	0.149	92	.000
Aggression – Geschlecht	1.267	0.901	0.180	92	.000
Aggression – Umwelt	1.225	2.707	0.152	92	.000
Hyperaktivität – Ausgangswert	-0.765	-0.661	0.158	92	.000
Hyperaktivität – Geschlecht	-0.560	-1.053	0.150	92	.000
Hyperaktivität – Schulmotivation	-0.282	-0.142	0.088	92	.076
Allgemeines Wohlbefinden – Ausgangswert	0.395	0.245	0.063	93	.200
Allgemeines Wohlbefinden – Geschlecht	0.366	-0.584	0.076	93	.200
Allgemeines Wohlbefinden – Gesundheit	0.271	-0.177	0.077	69	.200
Klassenklima – Ausgangswert	-0.586	-0.262	0.137	93	.000
Klassenklima – Umwelt	-0.402	-0.511	0.101	93	.020
Klassenklima – Schulmotivation	-0.546	-0.785	0.112	93	.006

---

Tabelle 37

Überprüfung der Zielgrößen der Laborstudie hinsichtlich der Normalverteilung

	IG					KG				
	n	Schiefe	Kurtosis	Statistik KS	Signifikanz KS	n	Schiefe	Kurtosis	Statistik KS	Signifikanz KS
Primäre Zielgröße Aufmerksamkeit/Konzentration										
d2 Fehler (gesamt)	49	1.487	1.160	0.261	.000	46	1.061	0.628	0.135	.036
d2 Auslassungsfehler (F1)	49	1.453	1.071	0.268	.000	46	1.030	0.528	0.141	.022
d2 falsch markierte Zeichen (F2)	49	1.672	1.420	0.423	.000	46	1.460	1.006	0.404	.000
d2 markierte Zeichen (GZ)	49	0.031	-1.238	0.109	.200	46	-0.022	-1.195	0.087	.200
Leseverständnis (T-Werte)	49	0.024	-0.249	0.112	.166	46	0.241	-1.446	0.149	.012
Lesegeschwindigkeit (T-Werte)	49	0.533	-0.303	0.113	.152	46	-0.085	-1.176	0.114	.172
Primäre Zielgröße Hyperaktivität: motorische Unruhe										
	49	0.985	0.181	0.136	.024	46	1.172	1.294	0.124	.074
Primäre Zielgröße Aggressivität und prosoziales Verhalten										
Aggression (Beobachtung)										
prosoziales Verhalten (Beobachtung)	49	1.540	1.240	0.433	.000	46	2.573	6.468	0.502	.000

Anmerkung. Kolmogorov-Smirnov Test auf Normalverteilung (KS).

Tabelle 38

*Überprüfung auf Varianzhomogenität der Zielgrößen aus der Laborstudie mit dem Levene-Test auf Gleichheit der Fehlervarianzen*

	F	df1	df2	p
<b>Primäre Zielgröße Aufmerksamkeit/Konzentration</b>				
d2 Fehler (gesamt)	0.278	3	90	.841
d2 Auslassungsfehler (F1)	0.349	3	90	.790
d2 falsch markierte Zeichen (F2)	0.881	1	58	.352
d2 markierte Zeichen (GZ)	0.430	3	57	.732
Leseverständnis (T-Werte)	5.352	3	87	.002
Lesegeschwindigkeit (T-Werte)	0.363	6	54	.899
<b>Primäre Zielgröße Hyperaktivität: motorische Unruhe*</b>				
	0.328	9	-	.000
<b>Primäre Messgröße Aggressivität und prosoziales Verhalten</b>				
prosoziales Verhalten (Beobachtung)	2.589	3	91	.058

*Anmerkung.* \* Mauchly-Test auf Sphärizität.

Tabelle 39

Überprüfung der Produktmomentkorrelationen zwischen den Zielgrößen der Laborstudie und den jeweils drei berücksichtigten Kovariaten in den Kovarianzanalysen

Zielgrößen	Störgrößen											
	1. Alter	2. Ge- schlecht	3. Umwelt	4. Gefallen DL	5. Kaffee- konsum	6. Belast- ungen	7. Natio- nalität und Sprache	8. Abw. Licht	9. Sehhilfe	10. Gesund- heit	11. Medi- zin Stud- ium	12. Abw. bei Beweg- ungs- messung <sup>b</sup>
Primäre Zielgröße Aufmerksamkeit/Konzentration												
d2 Fehler (gesamt)	.18	-	-	-	-	-.04	-	-	-.08	-	-	-
d2 Auslassungsfehler (F1)	.18	-	-	-	-	-.04	-	-	-.08	-	-	-
d2 falsch markierte Zeichen (F2)	-	-	.11	-.04	-	.00	-	-	-	-	-	-
d2 markierte Zeichen (GZ)	-.25*	-	.18	-	-	-	-.10	-	-	-	-	-
Leseverständnis	-	-.07	-	-.15	-	-	.09	-	-	-	-	-
Lesegeschwindigkeit	-	-.14	.13	-	-	-	-	-	.22*	-	-	-
Optische Messung motorische Unruhe	-	-	-	-	-	-	-	-.22*	.13	-	.10	-
Primäre Zielgröße Aggressivität und prosoziales Verhalten												
Aggression (Beobachtung)	<sub>a</sub>	<sub>a</sub>	<sub>a</sub>	<sub>a</sub>	<sub>a</sub>	<sub>a</sub>	<sub>a</sub>	<sub>a</sub>	<sub>a</sub>	<sub>a</sub>	<sub>a</sub>	<sub>a</sub>
prosoziales Verhalten (Beobachtung)	-.14	-	-	-	-	-	-	-	-	.08	.17	-

Anmerkungen. Zweiseitige Signifikanztestung. <sup>a</sup> In der Laborstudie konnte keine einzige aggressive Verhaltensweise beobachtet und dementsprechend keine Korrelation berechnet werden. <sup>b</sup> Kopfrechnen, als standardisierte Beschäftigung während der Bewegungsmessung, wurde nur bei der Bewegungsmessung erfasst, jedoch aufgrund zu niedriger Regression dort nicht als Kovariate berücksichtigt.

Tabelle 40

*Produktmomentkorrelation zwischen den Messzeitpunkten der Laborstudie für die Zielgröße motorische Unruhe*

Messzeitpunkte	nach 2.5 min	nach 5 min	nach 7.5 min	nach 10 min	nach 12.5 min
nach 2.5 min	1	.85**	.78**	.80**	.81**
nach 5 min	.85**	1	.90**	.89**	.86**
nach 7.5 min	.78**	.90**	1	.91**	.88**
nach 10 min	.80**	.89**	.91**	1	.92**
nach 12.5 min	.81**	.86**	.88**	.92**	1

*Anmerkung.* Zweiseitige Signifikanztestung.

Tabelle 41

*Gleichsinnigkeit der Regression innerhalb und zwischen den Gruppen der Laborstudie*

Zielgröße – Kontrollgröße	Gesamt-Beta	aus Gruppen- mittel- werten
Primäre Zielgröße Aufmerksamkeit/Konzentration		
d2 Fehler (gesamt) – Sehhilfe	-0.082	0.149
d2 Fehler (gesamt) – Alter	0.178	-0.149
d2 Fehler (gesamt) – Belastungen	-0.041	0.149
d2 Auslassungsfehler (F1) – Sehhilfe	-0.075	0.156
d2 Auslassungsfehler (F1) – Alter	0.178	-0.156
d2 Auslassungsfehler (F1) – Belastungen	-0.042	0.156
d2 falsch markierte Zeichen (F2) – Belastungen	0.002	-0.004
d2 falsch markierte Zeichen (F2) – Umwelt	0.109	0.004
d2 falsch markierte Zeichen (F2) – Gefallen	-0.036	-0.004
d2 markierte Zeichen (GZ) – Nationalität und Sprache	-0.096	-0.003
d2 markierte Zeichen (GZ) – Alter	-0.250	0.003
d2 markierte Zeichen (GZ) – Umwelt	0.184	0.003
Leseverständnis – Geschlecht	-0.071	0.078
Leseverständnis – Nationalität und Sprache	0.089	0.078
Leseverständnis – Gefallen	-0.150	0.078
Lesegeschwindigkeit – Sehhilfe	0.224	0.135
Lesegeschwindigkeit – Geschlecht	-0.135	0.135
Lesegeschwindigkeit – Umwelt	0.131	-0.135

Zielgröße – Kontrollgröße	Gesamt-Beta	aus Gruppen- mittel- werten
Primäre Zielgröße Hyperaktivität		
motorische Unruhe – Sehhilfe	0.111	-0.058
motorische Unruhe – Medizin Studium	0.101	0.058
motorische Unruhe – Abw. Licht	-0.018	-0.058
Primäre Zielgröße Aggression <sup>a</sup> und prosoziales Verhalten		
prosoziales Verhalten (Beobachtung) – Medizin Studium	0.167	0.175
prosoziales Verhalten (Beobachtung) – Gesundheit	0.082	0.175
prosoziales Verhalten (Beobachtung) – Alter	-0.142	0.175

*Anmerkung.* <sup>a</sup> In der Laborstudie konnte keine einzige aggressive Verhaltensweise beobachtet werden.

Tabelle 42

*Überprüfung der Innerhalb-Regressionen (Laborstudie)*

Zielgröße – Kontrollgröße	IG Beta	KG Beta	Differenz
<b>Primäre Zielgröße Aufmerksamkeit/Konzentration</b>			
d2 Fehler (gesamt) – Sehhilfe	-0.010	-0.197	0.187
d2 Fehler (gesamt) – Alter	0.118	0.292	-0.174
d2 Fehler (gesamt) – Belastung	-0.213	0.145	-0.358
d2 Auslassungsfehler (F1) – Sehhilfe	0.012	-0.205	0.216
d2 Auslassungsfehler (F1) – Alter	0.119	0.294	-0.175
d2 Auslassungsfehler (F1) – Belastungen	-0.210	0.137	-0.346
d2 falsch markierte Zeichen (F2) – Belastungen	-0.192	0.238	-0.429
d2 falsch markierte Zeichen (F2) – Umwelt	0.080	0.138	-0.058
d2 falsch markierte Zeichen (F2) – Gefallen	0.071	-0.160	0.230
d2 markierte Zeichen (GZ) – Nationalität und Sprache	-0.243	0.069	-0.312
d2 markierte Zeichen (GZ) – Alter	-0.291	-0.205	-0.086
d2 markierte Zeichen (GZ) – Umwelt	-0.160	0.398	-0.558
Leseverständnis (T-Werte) – Geschlecht	-0.042	-0.097	0.055
Leseverständnis (T-Werte) – Nationalität und Sprache	0.069	0.105	-0.036
Leseverständnis (T-Werte) – Gefallen	-0.219	-0.112	-0.107
Lesegeschwindigkeit (T-Werte) – Sehhilfe	0.371	0.082	0.289
Lesegeschwindigkeit (T-Werte) – Geschlecht	-0.149	-0.132	-0.017
Lesegeschwindigkeit (T-Werte) – Umwelt	0.026	0.213	-0.186

Zielgröße – Kontrollgröße	IG Beta	KG Beta	Differenz
Primäre Zielgröße Hyperaktivität			
motorische Unruhe – Sehhilfe	0.134	0.129	0.005
motorische Unruhe – Medizin Studium	0.179	0.003	0.175
motorische Unruhe – Abw. Licht	0.140	0.299	-0.158
Primäre Zielgröße Aggression <sup>a</sup> und prosoziales Verhalten			
prosoziales Verhalten (Beobachtung) – Medizin Studium	0.226	0.081	0.145
prosoziales Verhalten (Beobachtung) – Gesundheit	0.114	0.031	0.083
prosoziales Verhalten (Beobachtung) – Alter	-0.285	0.055	-0.341

*Anmerkung.* <sup>a</sup> In der Laborstudie konnte keine einzige aggressive Verhaltensweise beobachtet werden.

Tabelle 43

*Überprüfung auf Normalverteilung der Regressionsresiduen (Laborstudie)*

Zielgröße – Kontrollgröße	Schiefe	Kurtosis	KS Statistik	df	KS Signifikanz
Primäre Zielgröße Aufmerksamkeit/Konzentration					
d2 Fehler (gesamt) – Sehhilfe	1.217	0.620	0.155	94	.000
d2 Fehler (gesamt) – Alter	1.141	0.514	0.140	95	.000
d2 Fehler (gesamt) – Belastungen	1.205	0.580	0.165	95	.000
d2 Auslassungsfehler (F1) – Sehhilfe	1.184	0.547	0.152	94	.000
d2 Auslassungsfehler (F1) – Alter	1.110	0.416	0.138	95	.000
d2 Auslassungsfehler (F1) – Belastungen	1.168	0.489	0.160	95	.000
d2 falsch markierte Zeichen (F2) – Belastungen	1.573	1.206	0.413	95	.000
d2 falsch markierte Zeichen (F2) – Umwelt	1.377	0.570	0.374	61	.000
d2 falsch markierte Zeichen (F2) – Gefallen	1.586	1.319	0.391	91	.000
d2 markierte Zeichen (GZ) – Nationalität und Sprache	0.021	-1.203	0.094	95	.038

Zielgröße – Kontrollgröße	Schiefe	Kurtosis	KS Statistik	df	KS Signifikanz
d2 markierte Zeichen (GZ) – Alter	0.015	-1.030	0.077	95	.200
d2 markierte Zeichen (GZ) – Umwelt	-0.355	-1.053	0.089	61	.200
Leseverständnis (T-Werte) – Geschlecht	0.263	-0.891	0.080	95	.159
Leseverständnis (T-Werte) – Nationalität und Sprache	0.281	-0.919	0.084	95	.092
Leseverständnis (T-Werte) – Gefallen	0.274	-0.800	0.086	91	.090
Lesegeschwindigkeit (T-Werte) – Sehhilfe	0.173	-0.873	0.093	94	.044
Lesegeschwindigkeit (T-Werte) – Geschlecht	0.269	-0.875	0.103	95	.014
Lesegeschwindigkeit (T-Werte) – Umwelt	0.212	-0.978	0.114	61	.049
<b>Primäre Zielgröße Hyperaktivität</b>					
motorische Unruhe – Sehhilfe	1.086	0.731	0.115	94	.004
motorische Unruhe – Medizin Studium	1.098	0.699	0.116	95	.003
motorische Unruhe – Abw. Licht	1.062	0.559	0.123	95	.001

Zielgröße - Kontrollgröße	Schiefe	Kurtosis	KS Statistik	df	KS Signifikanz
Primäre Zielgröße Aggression und prosoziales Verhalten					
prosoziales Verhalten (Beobachtung) - Medizin Studium	1.953	3.167	0.443	95	.000
prosoziales Verhalten (Beobachtung) - Gesundheit	1.932	2.874	0.379	95	.000
prosoziales Verhalten (Beobachtung) - Alter	1.883	2.764	0.321	95	.000

*Anmerkung.* Kolmogorov-Smirnov Test auf Normalverteilung (KS).

Tabelle 44

*Nutzung Dynamisches Licht und Unterrichtssituation (gesamt)*

Dynamisches Licht Programm		Unterrichtsform					Gesamt
		Frontal	Lehrer- vortrag	Gespräch	Gruppen- /Partner- arbeit	Einzel- arbeit	
aus	Anzahl	0	1	0	0	5	6
	Anteil	0.0 %	16.7 %	0.0 %	0.0 %	83.3 %	100.0 %
DL1 vorher	Anzahl	6	1	2	1	0	10
	Anteil	60.0 %	10.0 %	20.0 %	10.0 %	0.0 %	100.0 %
DL2 Konzentration auf die Tafel	Anzahl	11	5	2	2	1	21
	Anteil	52.4 %	23.8 %	9.5 %	9.5 %	4.8 %	100.0 %
DL3 Konzen- triertes Arbeiten	Anzahl	1	0	2	26	18	47
	Anteil	2.1 %	0.0 %	4.3 %	55.3 %	38.3 %	100.0 %
DL4 Aktivieren	Anzahl	2	3	12	19	11	47
	Anteil	4.3 %	6.4 %	25.5 %	40.4 %	23.4 %	100.0 %
DL5 Beruhigen	Anzahl	4	6	18	4	2	34
	Anteil	11.8 %	17.6 %	52.9 %	11.8 %	5.9 %	100.0 %
DL6 Nur Tafel	Anzahl	0	0	0	0	0	0
	Anteil	0.0 %	0.0 %	0.0 %	0.0 %	0.0 %	0.0 %
DL7 Extremes Beruhigen	Anzahl	0	0	0	3	0	3
	Anteil	0.0 %	0.0 %	0.0 %	100.0 %	0.0 %	100.0 %
Gesamt	Anzahl	24	16	36	55	37	168
	Anteil	14.3 %	9.5 %	21.4 %	32.7 %	22.0 %	100.0 %

*Anmerkung.* Anteil entspricht der Unterrichtsform pro DL Programm.

Tabelle 45

Nutzung Dynamisches Licht nach Tageszeit (gesamt)

Schulstunde	aus	DL1 vorher	DL2 Konzentration auf die Tafel	DL3 Konzentriertes Arbeiten	DL4 Aktivieren	DL5 Beruhigen	DL6 Nur Tafel	DL7 Extremes Beruhigen	
0 (Frühstunde)	Anzahl	0	2	0	3	7	7	0	1
	Programm pro Std.	0.0 %	10.0 %	0.0 %	15.0 %	35.0 %	35.0 %	0.0 %	5.0 %
1 (8-8:45 Uhr)	Anzahl	1	2	5	10	6	5	1	0
	Programm pro Std.	3.3 %	6.7 %	16.7 %	33.3 %	20.0 %	16.7 %	3.3 %	0.0 %
2 (8:50-9:30 Uhr)	Anzahl	0	0	3	14	8	3	1	1
	Programm pro Std.	0.0 %	0.0 %	10.0 %	46.7 %	26.7 %	10.0 %	3.3 %	3.3 %
3 (10-10:45)	Anzahl	0	1	3	11	9	5	0	0
	Programm pro Std.	0.0 %	3.5 %	10.3 %	37.9 %	31.0 %	17.2 %	0.0 %	0.0 %
4 (10:50- 11:35)	Anzahl	0	2	9	5	7	5	0	0
	Programm pro Std.	0.0 %	7.1 %	32.1 %	17.9 %	25.0 %	17.9 %	0.0 %	0.0 %
5 (11:55- 12:40)	Anzahl	2	2	2	7	10	4	0	1
	Programm pro Std.	7.1 %	7.1 %	7.1 %	25.0 %	35.7 %	14.3 %	0.0 %	3.6 %
6 (12:45- 13:30)	Anzahl	3	2	0	2	7	9	0	1
	Programm pro Std.	12.5 %	8.3 %	0.0 %	8.3 %	29.2 %	37.5 %	0.0 %	4.2 %

## Danksagungen

Mein Dank gilt den vielen Menschen, die meine Arbeit unterstützt haben, insbesondere den Schülerinnen und Schülern sowie den Teilnehmern der Laborstudie.

Claus Barkmann danke ich dafür, dass er jederzeit mit Rat & Tat, Praxisgespür & Methodikkenntnissen und nicht zuletzt mit viel Humor und Weisheit meine Arbeit unterstützte.

Herrn Schulte-Markwort danke ich für die smarte Außendarstellung der Studie, Verhandlungsgeschick und dafür, dass Sie als letzte Instanz bei Gegenwind immer verlässlich zur Stelle waren.

Den Kolleginnen und Kollegen der Kinder- und Jugendpsychiatrie danke ich für die vielen großen und kleinen Hilfestellungen, insbesondere bei Ester Kuhlmann und Josephine Schulz für das Redigieren der Arbeit sowie bei Uta Borszik, Marie Niemeyer, Sigrid Wegner, Anika Hauschild, Dirk Hillebrand, Anja Wermann, Lydia Schaub, Ann-Christin Haag und Lydia Yao Stuhmann.

Matthias Fassian von Philips Lighting danke ich für die Unterstützung bei Fragen zur Technik, zum Hintergrundwissen zur Wirkung von Licht und zum who-is-who der Lichtforscher.

Philips Lighting danke ich für die Unterstützung und der jederzeit fairen und vertrauensvollen Zusammenarbeit, insbesondere bei Herrn Wentze, Herrn Pfarwallner und Herrn Hohensee sowie Herrn Wiesemann.

Bei den Lehrerinnen und Lehrern der teilnehmenden Schulen möchte ich mich bedanken, besonders bei Herrn Wiedemann und Frau Schwindt von der Schule In der Alten Forst, sowie bei Herrn Rambke, Frau Danneberg und Herrn Eliftheriadis von der Schule am Eichtalpark und Herrn Rangnick vom Emilie-Wüstenfeld-Gymnasium.

René Bromund von der Klinikschule des UKEs danke ich für seine Unterstützung bei pädagogischen Fragen.

Heiko Koenig von der Technischen Universität Hamburg-Harburg: Ein riesengroßes Dankeschön für Deine Idee des Pixelzählens bei der Bewegungsmessung und für die große Hilfe bei der Anpassung von Childmove von der Strömungsmechanik hin zum Einsatz im Klassenzimmer. Gerne erinnere ich mich an Deinen abendlichen Update-Service und die Testläufe zurück !

Herrn Alexander Wettstein von der Pädagogischen Hochschule Bern danke ich dafür, dass er sein Beobachtungssystem BASYS schon vor dem Erscheinen mit Einverständnis des Hogrefe Verlags zur Verfügung stellte, zu Vergleichszwecken selbst ein Video auswertete und mit sehr viel Engagement meine Fragen zur Aggressionsbeobachtung beantwortete.

Ich danke Herrn Jung, Herrn Nordholdt und Herrn Streichert vom Zentrallabor des UKEs für die große Unterstützung bei der Pilotstudie zur hormonellen Wirkung von Licht. Ich würde mich sehr freuen, wenn es uns gelänge Forschungsmittel für die Hauptstudie zu gewinnen!

Kathrin Wormitt von der Medizinischen Psychologie des UKEs: Egal ob bei Visual Basic-Problemen bei der Bewegungsauswertung, bei der Übersetzung englischer Texte oder beim Korrekturlesen, auf Dich ist Verlass!

Meinen Eltern Waldtraud und Peter Wessolowski danke ich für die Unterstützung gerade zu Beginn der Promotion sowie für das Ausleihen von Videokameras und Ersatzauto. Meinen Geschwistern Mona und Mario Wessolowski danke für die Hilfe beim Gegenlesen der Arbeit. Uhrenmachermeister a.D. Kurt Wessolowski danke ich dafür, dass er ausführlicher als alle anderen diese Arbeit lesen wird.

Sandra Gaßner danke ich für die liebevolle Unterstützung, das große Verständnis für meine Arbeit und die großen und kleinen Hilfen während der nicht immer ganz leichten Zeit.

# Lebenslauf

Nino Wessolowski  
 Palmaille 64  
 22767 Hamburg

ninowessolowski@yahoo.de

## Persönliche Daten

geboren: 1979 in Hamburg  
 Familienstand: ledig  
 Staatsangehörigkeit: deutsch

## Ausbildung

06/1999 **Abitur** an der Gesamtschule Bergedorf (Hamburg)

10/2001 – 12/2006 **Studienfach Psychologie** an der Universität Hamburg mit den Schwerpunkten: Klinische Psychologie sowie Arbeits-, Betriebs- und Organisationspsychologie. Nebenfach: Betriebswirtschaftslehre / Personalwirtschaft.

**Diplomarbeit** im Institut und Poliklinik für Medizinische Psychologie des Universitätsklinikums Hamburg-Eppendorf: „Prüfung von Usability-Anforderungen bei der Optimierung einer Webseite zur Qualitätssicherung von Prävention und Gesundheitsförderungen“:

05/2011 Fortbildung zum zertifizierten **Licht-Planer** für Innenbeleuchtung (PLA)

## Berufliche Tätigkeiten

09/1999 – 09/2000 Bahnhofsmision Hamburg, **Zivildienst**: Umsteige Helfen und sozialarbeiterische Tätigkeiten

12/2000 – 07/2002 Peek & Cloppenburg KG, Hamburg, Zentralverwaltung - EDV, **IT-Operator** (Teilzeit): Steuerung und Überwachung des Mainframes

05/2003 - 03/2004 Universität Hamburg, Fachbereich Psychologie, **studentische Hilfskraft**: Dateneingabe und Literatur-Recherche

04/2004 – 09/2007 Institut und Poliklinik für Medizinische Psychologie des UKE Arbeitsgruppe Qualitätssicherungsforschung, **studentische Hilfskraft / freier Mitarbeiter**: Projektassistenz zu Prävention und Gesundheitsförderung

09/2007 - laufend Klinik für Kinder- und Jugendpsychiatrie, -psychotherapie und -psychosomatik des UKE, **Wissenschaftlicher Mitarbeiter**: u.a. Durchführung einer Feld- und einer Laborstudie zur Wirksamkeit von Dynamischem Licht in Schulen sowie in der klinischen Anwendung; Anwendung von iPads in der KJP

10/2011 - laufend Deutsches Institut für Normung, Berlin, **Mitglied im Ausschuss „Wirkung des Lichts auf den Menschen“**

01/2013 - laufend Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg, Department Medientechnik, **freier Mitarbeiter**: methodische Beratung

## **Erklärung**

**Eidesstattliche Erklärung nach § 9 Abs. 1, Nr. d der Promotionsordnung zur Doktorin/ zum Doktor der Philosophie oder der Naturwissenschaften des Fachbereichs Psychologie der Universität Hamburg vom 03. Februar 2004**

Hiermit erkläre ich an Eides statt, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig und ohne fremde Hilfe verfasst habe. Andere als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel habe ich nicht benutzt und die wörtlich oder inhaltlich übernommenen Stellen als solche kenntlich gemacht.

Nino Wessolowski

Hamburg, den 20.05.2014