

*Dynamische Beleuchtung in Unterrichtsräumen:
Ein neues interaktives Unterrichtsmittel*

Kathrine Schledermann¹, Henrika Pihlajaniemi^{2,1},
Sumit Sen¹ und Ellen Kathrine Hansen¹

¹ Lighting Design, Department of Architecture, Design and Media Technology.
Aalborg University, A.C. Meyers Vænge 15, 2450 Copenhagen SV, Dänemark
ekh@create.aau.dk, kathrine@schleder.dk, sumit.sen571@gmail.com

² Oulu School of Architecture, University of Oulu. Pentti Kaiteran katu 1, 90014 Oulu, Finnland
henrika.pihlajaniemi@oulu.fi

Zusammenfassung

Dieser Artikel stellt die Ergebnisse einer Feldstudie über den Einsatz von Beleuchtung als Mittel zur Strukturierung und Unterstützung von Lehr- und Lernaktivitäten vor. Die Unterrichtsräume einer dänischen Grundschule wurden mit dynamischer Beleuchtungstechnik ausgestattet, die eine Auswahl aus vier verschiedenen Beleuchtungsszenarien ermöglicht. Wie die Lehrkräfte mit der Beleuchtung arbeiten, wurde mithilfe von qualitativem Forschungsmaterial aus Beobachtungen und Interviews sowie anhand von quantitativen Daten aus dem Lichtsteuerungssystem analysiert, das die vom Lehrpersonal gewählten spezifischen Lichtszenarien aufzeichnete. Diese Studie zeigte unterschiedliche Motivationen für die Interaktion mit der Beleuchtung auf: die Unterstützung und Strukturierung von Lernaktivitäten; die Kommunikation mittels Beleuchtung und die Einbeziehung der Schulkinder; die Beeinflussung des Aktivitätsniveaus und des Verhaltens der Schulkinder; die Schaffung einer bestimmten Atmosphäre; die Unterstützung bei Sehaufgaben und verbesserter Sehkomfort. All diese Motivationsaspekte sollten bei der Konzeption dynamischer Beleuchtungssysteme für Lernumgebungen berücksichtigt werden, um Lehrkräften ein neues interaktives Unterrichtsmittel an die Hand zu geben.

Stichwörter: interaktive Beleuchtung, dynamische Beleuchtung, Lichtdesign, Lernumgebung, Unterrichtsmittel, Feldstudie, Interaktion, nutzerorientierte Gestaltung

1 Einführung

Nach Angaben des dänischen Bildungsministeriums verbringen Schulkinder 13.000 Stunden in der Schule[1]. Den größten Teil dieser Zeit verbringen sie in Unterrichtsräumen, die vor der Entwicklung dynamischer Beleuchtungstechnologien und digitaler Geräte wie Smartboards und Tablets entworfen wurden. Weder die Unterrichtsräume noch die Beleuchtung sind für den schnellen Wechsel unterschiedlicher Aktivitäten konzipiert, den moderne pädagogische Ansätze mit sich bringen. Obwohl dieser Umstand das Potenzial maßgeschneiderter Beleuchtungsszenarien für verschiedene Lernsituationen verdeutlicht, mangelt es noch an Wissen darüber, wie Lehrkräfte dynamische Beleuchtung praktisch anwenden und als interaktives Unterrichtsmittel integrieren können.

1.1 Licht zum Lernen

Frühere Studien kamen zu dem Ergebnis, dass Schulkinder, die langfristig Licht mit hohem Blauanteil ausgesetzt werden, bessere schulische Leistungen, Konzentration und Fortschritte aufweisen – insbesondere im Vormittagsunterricht [3, 4, 5, 6, 7, 8]. Bei Studien, die schulische Leistung als Testparameter zugrunde legen, besteht jedoch ein Widerspruch zwischen den Ergebnissen aus Feldstudien und kontrollierten Experimenten [2]. Andere Studien deuten darauf hin, dass warmes Licht Aggressionen reduzieren und das Sozialverhalten positiv beeinflussen kann [7, 8, 9]. Es besteht jedoch eindeutig die Notwendigkeit, sich mit einem ganzheitlicheren Forschungsansatz auf die Bedürfnisse der Nutzer zu konzentrieren. Deshalb kommt bei dieser Feldstudie eine ganzheitliche Methodik zum Einsatz, bei der mehrere Faktoren – inklusive deren Wechselbeziehungen – untersucht werden. So soll gezeigt werden, wie Lehrkräfte im Unterrichtsraum mit Licht interagieren und wodurch dies im Einzelnen motiviert ist.

Dieser Artikel stellt die Ergebnisse einer Fallstudie zur interaktiven Beleuchtung in Unterrichtsräumen vor. Drei Unterrichtsräume einer dänischen Grundschule wurden mit einem neuen Beleuchtungssystem ausgerüstet, mit dem verschiedene Beleuchtungsszenarien ausgewählt werden konnten. Vor der Auswertung wurde im Jahr 2016 eine Analyse des Unterrichtsraums vorgenommen, bei der die Bedürfnisse von Lehrkräften und Schulkindern sowie die Auswirkungen der vorhandenen Beleuchtung auf das Verhalten der Schulkinder untersucht wurden [10]. Auf der Grundlage dieser Analyse wurden vier verschiedene dynamische Lichtszenarien definiert. Diese wurden dann in den Unterrichtsräumen implementiert und 2017 in einer abschließenden Testphase des Forschungsprojekts ausgewertet. Die Hypothese war, dass die Lichtszenarien den Lehrkräften bei der Strukturierung ihres Unterrichts helfen würden.

Dieser Artikel soll zeigen und auswerten, wie Lehrkräfte dynamische Beleuchtung als Mittel und als Rahmen zur Unterstützung verschiedener Lernaktivitäten in ihrem Unterricht einsetzen können. Die Kernfragen dabei lauten: *Besteht ein Zusammenhang zwischen dem Einsatz von Beleuchtung durch die Lehrkräfte und den Unterrichtsaktivitäten? Welche Motivationen beeinflussen den Einsatz dieser Beleuchtungsszenarien?*

2 Methoden und Materialien

In dieser Forschungsarbeit wird das gesamte im Unterrichtsraum wahrgenommene Licht, d. h. sowohl Tageslicht als auch Kunstlicht, berücksichtigt. Es wurde eine Feldstudie mit einem gemischten Methodenansatz durchgeführt [11,12]. Dabei wurden quantitative Daten mit qualitativen Informationen kombiniert, um ein umfassendes Verständnis davon zu erhalten, wie Lehrkräfte mit der Beleuchtung interagieren. Durch die nicht teilnehmenden Beobachtungen und das strukturierte Datenprotokoll des Lichtsteuerungssystems konnten die Forscher die tatsächlichen Verwendungsweisen des Beleuchtungssystems nachvollziehen. Die Interviews ermöglichten wertvolle Einblicke in die persönlichen Erfahrungen der Lehrkräfte.

2.1 Forschungsumgebung und Beleuchtungsszenarien

Die Feldstudie wurde in drei Unterrichtsräumen mit Fenstern an einer Seite durchgeführt. Bei der Modernisierung der Räume wurden Leuchtstoffröhren-Deckenleuchten durch steuerbare LED-Beleuchtung ersetzt. Die Beleuchtungsszenarien erhielten die folgenden Bezeichnungen: Standard, Smartboard, Fresh und Relax.



Ceiling luminaires	300 lx / 3500 K
Board luminaires	500 lx / 3000 K
Wall washers	off



Ceiling luminaires	300 lx / 3500 K
Board luminaires	(one above SB off)
Board luminaires	300 lx / 3000 K
Wall washers	300 lx / 4000 K



Ceiling luminaires	500 lx / 5000 K
Board luminaires	500 lx / 3000 K
Wall washers	420 lx / 4000 K



Ceiling luminaires	100 lx / 3000 K
Board luminaires	300 lx / 3000 K
Wall washers	75 lx / 4000 K

Abbildung 1. Beleuchtungsstärke und ähnlichste Farbtemperaturen der verschiedenen Leuchtengruppen, die für die vier Beleuchtungsszenarien eingesetzt wurden.

Die Lehrkräfte konnten zwischen diesen Szenarien wählen oder die Leuchten komplett ausschalten und hatten zudem die Möglichkeit, die ähnlichste Farbtemperatur (CCT) sowie die Beleuchtungsstärke (Lux) jedes Szenarios manuell anzupassen. Das Standardszenario erfüllte konzeptionsgemäß die Anforderungen der Norm DS/EN 12464-1 DK NA. Beim Szenario „Smartboard“ ging es hauptsächlich darum, eine Kontrastschwächung des projizierten Bildes durch Kunstlicht zu verhindern und den Schulkindern gleichzeitig die Arbeit an ihren Tischen zu ermöglichen. Durch das Szenario „Fresh“ sollten die Schul Kinder „aktiviert“ und ihre Aufmerksamkeit gesteigert werden, wobei die Konzentration zugleich auf die Lehrkraft oder die jeweilige Aufgabe gelenkt werden sollte. Das Szenario „Relax“ schließlich war dazu vorgesehen, durch warme, gedimmte Beleuchtung eine entspannende und informelle Atmosphäre im Unterrichtsraum zu schaffen.

2.2 Datenerhebungs- und Analysemethoden

Die Daten wurden über einen Zeitraum von dreieinhalb Monaten vom 4. September bis 15. Dezember 2017 erhoben und enthielten quantitative Daten aus dem Datenprotokoll der Beleuchtungsanlage sowie qualitative Informationen, die bei Interviews und Beobachtungen während zweier kürzerer Zeitabschnitte von jeweils wenigen Wochen zusammengetragen wurden. An der Studie nahmen Lehrkräfte und Schul Kinder aus drei Klassen teil: X, Y und Z. In jedem Unterrichtsraum wurden zwischen 22 und 24 Kinder im Alter von 11 bis 12 Jahren unterrichtet. In den drei Klassen unterrichteten jeweils eine Hauptlehrerin sowie fünf weitere, wechselnde Lehrkräfte (zwei Frauen und drei Männer). Eine Lehrerin war über 50 Jahre alt, alle anderen Lehrkräfte zwischen 30 und 40.

2.2.1 Quantitative Daten: Datenprotokoll der Kunstlichtsteuerung

Das Datenprotokoll des Beleuchtungssystems umfasste quantitative Daten vom 4. September bis zum 15. Dezember 2017. Zeiträume mit Abwesenheiten, Tagesausflüge und Ferientage wurden von der Analyse ausgeschlossen. Im Datenprotokoll wurden das gewählte Beleuchtungsszenario sowie jegliche manuelle Anpassungen der Beleuchtung erfasst. Die Analyse umfasste die effektive Nutzungsdauer jedes Beleuchtungsszenarios in Minuten sowie die gewählten Instanzen, berechnet als die Häufigkeit, mit der eine Einstellung gewählt wurde. Pausenzeiten wurden bei der Analyse der Nutzungsdauer nicht einbezogen, wohl aber bei der Anzahl der Instanzen. Zur Auswertung der Entwicklungen bei der Nutzung wurde die Gesamthäufigkeit je Kalenderwoche in einem Diagramm erfasst. Die 42. Kalenderwoche und vereinzelte weitere Tage wurden aufgrund von Ferien, Abwesenheit von den Unterrichtsräumen oder fehlenden Daten nicht in die Analyse einbezogen.

2.2.2 Qualitative Daten: Interviews und Beobachtungen

Die ersten Beobachtungen wurden 2017 in den Kalenderwochen 37 und 38 durchgeführt, die zweite Beobachtungsrunde fand in den Wochen 48 bis 50 statt. Die Beobachter konzentrierten sich auf spezifische Themen, die aus den Beobachtungen vor der Modernisierung abgeleitet worden waren. Sie hatten jedoch die Möglichkeit, weitere relevante Informationen zu ergänzen. Während das Datenprotokoll Informationen darüber lieferte, wie die Lehrkräfte mit dem Beleuchtungssystem interagierten, gingen aus den Beobachtungen die Gründe und Motivationen für die Wahl des Szenarios und deren Auswirkungen auf das Verhalten der Schüler hervor. Der Schwerpunkt der Beobachtungen lag auf der Art und Weise, wie die Lehrkräfte im Unterricht mit der Beleuchtung interagierten. Gleichzeitig wurde das Verhalten der Schüler überwacht und die Unterrichtsaktivitäten wurden aufgezeichnet.

Im September und im Dezember wurden Leitfadenterviews [12] mit denselben Lehrkräften durchgeführt, um ihre Erfahrungen und eventuelle Änderungen ihrer Präferenzen oder ihrer Meinung zu erfassen. In diesen Interviews ging es um die Erfahrungen der Lehrkräfte mit der neuen Beleuchtung, die Motivationen für die Nutzung der Szenarien, die Anpassung der Beleuchtung an ihre Unterrichtsstrategien und eventuelle Veränderungen des Schülerverhaltens. Im Rahmen des Forschungsprojekts wurden acht Lehrkräfte beobachtet; sechs nahmen an Gruppeninterviews teil, die mit jeweils zwei oder vier Lehrkräften durchgeführt wurden. Die Gruppeninterviews (20–30 Minuten) wurden durchgeführt, um den Lehrkräften einen Austausch ihrer Erfahrungen untereinander und den Einstieg in eine Diskussion zu ermöglichen [12].

2.2.3 Verknüpfung der quantitativen und qualitativen Daten

Die Daten aus den Beobachtungen wurden bei einer inhaltlichen Analyse in die Hauptkategorien der Lehr- und Lernaktivitäten unterteilt [12]. Anschließend wurden diese Daten für die einzelnen Lehrkräfte auf Zeitleisten visualisiert und um die Nutzungszeiten der von ihnen laut Datenprotokoll gewählten Beleuchtungsszenarien ergänzt. So ließ sich die Nutzungsdauer jedes Beleuchtungsszenarios gemeinsam mit ihrer spezifischen Aktivität bewerten. Anhand der Zeitleisten konnten die individuell unterschiedlichen Nutzungsmuster der Beleuchtungsszenarien durch die Lehrkräfte inklusive der jeweiligen Aktivitäten miteinander verglichen werden. Die Zeitleisten von drei Lehrkräften (L1, L2 und L3) wurden für eine weitere Analyse ausgewählt und die relative Nutzung jedes Beleuchtungsszenarios für bestimmte Aktivitäten wurde als Prozentwert berechnet. Diese Lehrkräfte wurden deshalb ausgewählt, weil ihr Unterricht sowohl im Herbst als auch im Winter beobachtet wurde und weil ihr Unterricht sämtliche relevanten Aktivitäten umfasste. Bei der Analyse der Interviews zeigen sich auch einige Beispiele dafür, wie andere Lehrkräfte die Beleuchtung als Unterrichtsmittel einsetzten.

3 Ergebnisse

Durchschnittlich wurde jedes Beleuchtungsszenario in einem Unterrichtsraum viermal pro Tag angewählt. Dieser Durchschnittswert umfasst auch die Möglichkeit, die Leuchten komplett auszuschalten oder manuell anzupassen. Bei der Auswertung wurde nur der Vormittagsunterricht berücksichtigt. Die Nutzung nahm zu Beginn der Studie zu und sank dann allmählich auf ein konstantes Niveau ab, bevor sie in der letzten Woche ihren Höhepunkt erreichte. Die verstärkte Nutzung der Beleuchtungsszenarien während der ersten Wochen ist auf die Neugier an der neuen Technologie sowie auf die Lust, mit ihr zu experimentieren und zu spielen, zurückzuführen. In einem der Interviews brachte eine Lehrkraft zum Ausdruck, dass dieser Glanz des Neuen schließlich verblasste: „Ich achte nicht mehr bewusst auf das Licht. Anfangs war es spannend, aber jetzt spielt das Licht keine so große Rolle mehr. [...] Es gibt zehntausend andere Dinge.“ [L2: 18.12.2017] Das Auswählen einer Szene war weder ein automatischer Bestandteil des Unterrichtsablaufs noch vorderste Priorität der Lehrkräfte. Vielmehr mussten die Lehrkräfte die Beleuchtungsszenarien an ihre Unterrichtsstrategien, die Bedürfnisse der Schüler und ihren Unterricht anpassen.

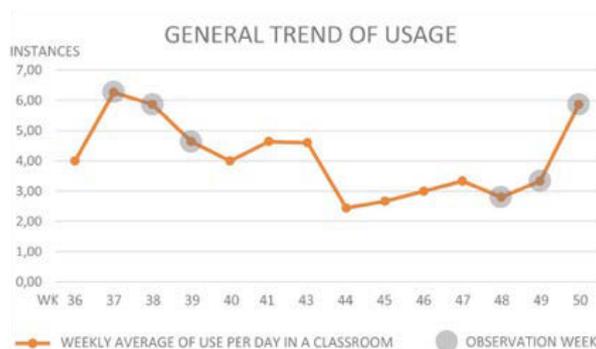


Abbildung 2. Durchschnittliche tägliche Nutzung der Beleuchtungsszenarien im Unterrichtsraum nach Wochen. Wiederholte schnelle Beleuchtungswechsel mit Intervallen von nur 1–60 Sekunden wurden als eine Instanz gewertet.

Die Analyse ergab, dass die Nutzung der Beleuchtungsszenarien von fünf verschiedenen Faktoren abhing.

3.1 Unterstützung und Strukturierung von Lernaktivitäten

Aus der vergleichenden Analyse der Unterrichtsaktivitäten und der Nutzung der Beleuchtungsszenarien durch die Lehrkräfte ging hervor, dass Veränderungen des Beleuchtungsszenarios im Unterricht häufig mit einem Wechsel der Aktivität zusammenfielen. Dies wurde in den Interviews mit L3 bestätigt. Diese Lehrkraft erklärte, dass die Wahl der Beleuchtung mit der Lernsituation zusammenhänge. L4 gab hingegen an, dass er die Beleuchtung nur an die Aktivität anpasste, wenn er den Unterrichtsraum betrat. Während des Unterrichts passte er das Beleuchtungsszenario zumeist nur dann an, wenn er ein Video auf dem Smartboard zeigen wollte oder wenn jemand die Einstellungen geändert hatte, während er nicht im Unterrichtsraum war. Aus den Daten geht eindeutig hervor, dass die Interaktion der Lehrkräfte mit der Beleuchtung sehr individueller Natur ist. Ein gutes Beispiel dafür sind die Leseinheiten (Abbildung 3), bei denen die Schüler still lesen oder die Lehrkraft laut vorliest. Aus den folgenden Diagrammen geht hervor, dass L1 das Szenario „Relax“ vorzog, während L2 nur das Szenario „Fresh“ wählte und L3 sich überwiegend für das Szenario „Standard“ entschied. L3 änderte jedoch gegen Ende des Jahres seine Präferenz und begann, das Szenario „Relax“ für Weihnachtsgeschichten zu nutzen.

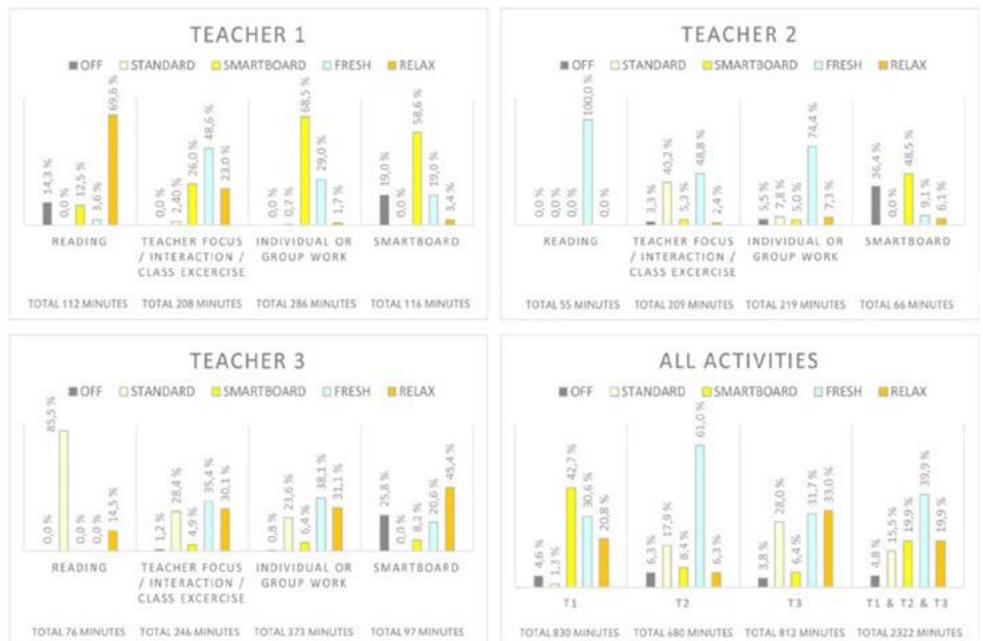


Abbildung 3. Relative Nutzungshäufigkeit der Beleuchtungsszenarien bei ausgewählten Unterrichtsaktivitäten und Gesamtnutzungszeiten.

L3 gab in einem Interview an, dass seine Entscheidungen mit Unterschieden in der Lernsituation zusammenhingen. Während des Religionsunterrichts dürfen die Schüler den Unterrichtsraum verlassen und ihre Aufgaben außerhalb des Raums bearbeiten. Das Kommen und Gehen der Schüler kann den Unterricht erheblich stören. L3 entschied sich in diesen Situationen deshalb entweder für das Szenario „Standard“ oder „Fresh“, da er diese als stimulierend empfand. Er erklärte, dass das Szenario „Relax“ für diese Art von aktiven Lerneinheiten ungeeignet sei. Für den Mathematikunterricht hingegen, bei dem die Schüler zur Einzel- oder Kleingruppenarbeit im Unterrichtsraum bleiben, sei es von Vorteil, da die Schüler Mathematik nun mit einer ruhigen und ungestörten Lernumgebung in Verbindung brächten. Diese Lehrkraft beschrieb die interaktive Beziehung zwischen Lernaktivitäten und Beleuchtung wie folgt: *„Jede Aktivität hat ihr eigenes Szenario. [...] Die [Lern]szenarien beeinflussen die Beleuchtung und die Beleuchtung beeinflusst die jeweiligen [Lern]szenarien.“* [L3: 15.12.2017] Neben der Motivation, eine bestimmte Aktivität durch ein passendes Beleuchtungsszenario zu unterstützen, bestand auch der Anreiz, die Beleuchtung als Mittel zur Strukturierung der Lernaktivitäten einzusetzen. Im Interview erklärte L3, dass er die Beleuchtung auch eingesetzt habe, um auf den Beginn einer neuen Aktivität hinzuweisen, z. B. wenn die Schüler etwas lesen sollten. Insofern hing die Wahl der Beleuchtungsszenarien stärker von der Lernaktivität als vom eigentlichen Unterrichtsinhalt ab. L3 verwies auch auf einen neuen pädagogischen Ansatz, der auf dynamischen Unterricht mit wechselnden Aktivitäten und Arbeitsmethoden setzt: *„Diese Verbesserung führt vor allem zu einem dynamischeren Unterrichtsstil, der nicht eintönig und somit langweilig für die Kinder ist. Dass man dabei auch die Beleuchtungsszenarien ändern kann, bedeutet nicht, dass die Kinder an diesem Tag still sitzen. Auch die großen Akustikpaneele tragen nicht dazu bei, dass die Kinder ruhig bleiben. Es bedeutet aber, dass die Kinder [den Tag über] einige unterhaltsame Veränderungen erleben. Und darauf kommt es an.“* [L3: 15. Dezember 2017]

3.2 Kommunikation mittels Beleuchtung und Einbeziehung der Schulkinder

Das Beispiel von L3, der Licht verwendet, um auf einen Aktivitätswechsel hinzuweisen, zeigt, dass Beleuchtung als Mittel zur Kommunikation mit den Schülern eingesetzt werden kann. Während der Beobachtungsrunde im September wurde festgestellt, dass L4 eine ähnliche Art der Unterrichtsstrukturierung durch Beleuchtungswechsel einsetzte. Er kommunizierte seine Auswahl des Beleuchtungsszenarios den Schülern auch mündlich als klare Ansage dieses Wechsels. Basierend auf den Beobachtungen und Interviews konnte festgestellt werden, dass die Lehrkräfte die Schüler in ihre Interaktion mit der Beleuchtung einbezogen und nachfragten, welches Beleuchtungsszenario diese bevorzugen würden. Die Schüler äußerten sich oft spontan mit Kommentaren und Wünschen zu der Beleuchtung, auf die die Lehrkräfte mit einer Anpassung der Beleuchtung reagierten. Nachdem sie sich mit dem neuen Maß an Flexibilität vertraut gemacht hatten, erinnerten die Schüler die Lehrkräfte gelegentlich daran, die Beleuchtung für eine bestimmte Aktivität zu wechseln, wenn diese nicht daran gedacht hatten.

3.3 Beeinflussung des Aktivitätsniveaus und des Verhaltens der Schüler

Die Beleuchtung wurde auch mit der Absicht eingesetzt, das Aktivitätsniveau und das Verhalten der Schüler zu beeinflussen. So nutzte L4 beispielsweise das Szenario „Fresh“, um den Schülern mitzuteilen, dass sie sich konzentrieren sollten, während L2 und T5 ihre Beleuchtungsinteraktion vom Energieniveau der Schüler abhängig machten. Sie erklärten, dass sie, wenn es im Unterrichtsraum zu lebhaft zuginge, zum Szenario „Relax“ wechseln würden, um die Schüler zu beruhigen. Nach ihrer Erfahrung funktionierte das gut. L3 hingegen hatte sich gegen die Verwendung der Beleuchtung entschieden, wenn die Schulkinder laut waren, mit der Begründung, dass die Schüler das Licht nur sehen, aber nicht hören würden. Ein akustisches Signal sei erforderlich, um abschweifendes Verhalten zu unterbinden. Darüber hinaus ging aus den Interviews mit L3 und L4 im Dezember hervor, dass es sehr schwierig war, die Auswirkung der Beleuchtung einzuschätzen und die Wirksamkeit anderer Faktoren in den modernisierten Unterrichtsräumen (z. B. der neuen Akustikpaneele) zu beurteilen. Darüber hinaus waren die Schüler um ein Jahr reifer und es hatte auch Veränderungen in der Zusammensetzung der Gruppen gegeben.

3.4 Schaffen einer bestimmten Atmosphäre

Eine spezifische Motivation für den Einsatz von Beleuchtung als Unterrichtsmittel bestand darin, die richtige Atmosphäre für die jeweilige Lernsituation oder Aktivität zu schaffen. Dies hing teilweise mit dem Reifegrad der Gruppe zusammen. L3 erklärte im zweiten Interview, dass er das Szenario „Relax“ gewählt und manuell weiter gedimmt habe, um eine betont gemütliche Atmosphäre zu schaffen, als er der Klasse eine Weihnachtsgeschichte vorlas. Im zweiten Interview erklärte L4, dass der Reifegrad der Klasse eine größere Rolle als die spezifische Lernsituation gespielt habe. So wählte er Licht mit warmen Tönen, um eine gemütliche Atmosphäre und damit eine angenehme Lernumgebung für Schüler zu schaffen, die hinterherhinkten. L4 versuchte durch manuelle Anpassungen eine Beleuchtungssituation zu schaffen, die geeignete Beleuchtungsstärken mit einer warmen CCT kombiniert, da ein solches Szenario unter den vorgegebenen Szenarien fehlte. Die Analyse ergab gewisse jahreszeitbedingte Unterschiede bezüglich der bevorzugten Szenarien. Mit dem Herannahen des Winters verlagerte sich die bevorzugte CCT hin zu wärmeren Tönen und die gewählten Beleuchtungsstärken nahmen mit sinkender Tageslichthelligkeit ab. Dies wird durch die häufigere Nutzung des Szenarios „Relax“ belegt. Sowohl L3 als auch L4 erklärten in den Interviews im Winter, dass sie nun wärmere Optionen einsetzten, die sie teilweise manuell an noch niedrigere Farbtemperaturen anpassten. L4 brachte die Entscheidung für ein warmes Szenario mit der Tageslichtsituation im Freien in Verbindung und mit dem starken Kontrast zwischen den Lichtverhältnissen innen und außen während der dunklen Jahreszeit. Obwohl dies über den Rahmen dieser Studie hinausgeht, ist der Zusammenhang zwischen dem Einsatz der Szenarien und der jahreszeitlichen Tageslichtbedingungen eine interessante vorläufige Erkenntnis, die es sicherlich wert ist, mit statistischen Methoden weiter untersucht zu werden.

3.5 Unterstützung bei Sehaufgaben und Verbesserung des Sehkomforts

Schließlich interagierten die Lehrkräfte mit der Beleuchtung, um geeignete Lichtverhältnisse zu schaffen, die Sehaufgaben unterstützten und zum dauerhaften Sehkomfort beitrugen. In den meisten Fällen wurde dies durch eine manuelle Regulierung der Jalousien oder das Zuziehen der Vorhänge erreicht, um die Blendung durch direktes Sonnenlicht zu reduzieren. Diese Methoden wurden auch eingesetzt, um die Ablesbarkeit des Smartboards zu erhöhen.

Die Grafik in Abbildung 3 zeigt, dass das Szenario „Smartboard“ häufig gewählt wurde, wenn das Smartboard im Einsatz war. Allerdings äußerten sich die Lehrkräfte in den Interviews gelegentlich kritisch über dieses Szenario. Mehrere Lehrkräfte behaupteten, dass das Szenario keine gute Ablesbarkeit des Smartboards gewährleiste, und vertraten die Ansicht, dass auch die runden Deckenleuchten hätten ausgeschaltet werden sollen statt nur der Leuchten in der Mitte. Die Lehrkräfte lösten das Problem der Ablesbarkeit, indem sie entweder das Szenario „Relax“ (L3) mit seinen niedrigeren Beleuchtungsniveaus wählten oder die Leuchten vollständig ausschalteten (L2 und L4).

4 Diskussion und Schlussfolgerung

Durch den Einsatz gemischter Methoden kommt diese Studie zu dem Ergebnis, dass die visuellen Effekte für Komfort und Ablesbarkeit eine Schlüsselrolle für das Wohlbefinden und die Zufriedenheit sowohl der Lehrkräfte als auch der Schüler spielen. Während die Präferenzen in Bezug auf die Beleuchtungsszenarien zuvor in Labortests [2] untersucht wurden, trägt diese Studie zum vorhandenen Wissen [2, 4, 5, 14] durch die Analyse einer Feldstudie bei, bei der das Tageslicht als Einflussfaktor berücksichtigt wird.

Die vor der Modernisierung der Unterrichtsräume durchgeführte Vorabanalyse ergab, dass Licht einen unterbewussten Faktor im täglichen Umgang mit dem Unterrichtsraum darstellt. Im Gegensatz dazu bewies die Auswertung der Interaktion der Lehrkräfte mit der dynamischen Beleuchtung, dass die Lehrkräfte ein Bewusstsein für ihre Nutzungsweise der Beleuchtung entwickelt hatten. Als Konsequenz daraus hatten sie auch die Möglichkeiten erkannt, die mit der Nutzung der Beleuchtung als Unterrichtsmittel verbunden sind.

Ein Vergleich zwischen der Wahl der Beleuchtungsszenarien und den Lernaktivitäten ergab einen Zusammenhang zwischen diesen Faktoren: Die Lehrkräfte wählten Beleuchtungsszenarien und passten die Beleuchtung an, um Aktivitäten zu unterstützen und den Unterricht zu strukturieren. Die Nutzungsweise der Beleuchtungsszenarien (d. h. welches Szenario für welche Aktivität ausgewählt wurde) hing jedoch stark von der jeweiligen Lehrkraft ab, von deren persönlichem Geschmack und ihren individuellen pädagogischen Ansätzen.

Der Stichprobenumfang für diese Studie war gering: Drei Lehrkräfte der Fallstudie und fünf weitere Lehrkräfte wurden fünf Wochen lang beobachtet. Weitere Studien mit einer größeren Gruppe von Lehrkräften und einem längeren Beobachtungszeitraum kombiniert mit statistischen Analysen könnten in Ergänzung zu den individuellen Präferenzen auch einige allgemeine Muster und Zusammenhänge zwischen den gewählten Beleuchtungsszenarien und Unterrichtsaktivitäten aufzeigen.

Eine Analyse der Interviews und Beobachtungen ergab, dass unterschiedliche Strategien angewandt wurden. Die Lehrkräfte waren sich bewusst, wie die Szenarien ein bestimmtes Verhalten prägten, und maßen der Beleuchtung aufgrund ihrer Erfahrungen eindeutig eine Wirkung bei. Darüber hinaus zeigte die Analyse auch, dass die Lehrkräfte bestrebt waren, das Verhalten der Schüler den Tag über zu beeinflussen, indem sie die Beleuchtungssituation an wechselnde Unterrichtsaktivitäten anpassten. Anhand der Ergebnisse wird weiterhin deutlich, dass die Jahreszeiten darauf Einfluss hatten, wie die Lehrkräfte eine bestimmte Atmosphäre erzeugen wollten. Dies zeigt sich an der verstärkten Nutzung der Szene „Relax“ beim Lesen von Weihnachtsgeschichten oder daran, wie oft die Beleuchtung ausgeschaltet wurde, als die Schüler Weihnachtssendungen schauten.

Die Beobachtungen zeigten, dass die Schüler teilweise über die Auswahl der Beleuchtungsszenarien mitentscheiden durften. Entweder bezogen die Lehrkräfte sie bei der Auswahl eines Szenarios aktiv ein oder die Schüler äußerten spontan Vorschläge. Auf diese Weise konnten die Schüler bei der Festlegung geeigneter Unterrichtsräume mitwirken und könnten als Mitentscheider bei der Auswahl der ihrer Ansicht nach optimalen Lernumgebung für bestimmte Aufgaben angesehen werden. Die vier Beleuchtungsszenarien können daher als Mittel betrachtet werden, das die Interaktion zwischen Schülern und Lehrkräften fördert. Die Mitgestaltung von Lernumgebungen kann die Motivation positiv beeinflussen: „Die verbesserte

Übereinstimmung zwischen den Perspektiven der Schüler und denjenigen, die die Lernumgebung schaffen (d. h. den Lehrkräften und Urhebern des didaktischen Designs), wird also wahrscheinlich den Lernerfolg der Schüler verbessern.“ [13]

Laut den Interviews ist die nach der Anfangsphase seltenere Nutzung des Beleuchtungssystems auf die vollen Unterrichtspläne zurückzuführen. Die Beleuchtung war nicht unbedingt die Hauptpriorität der Lehrkräfte und wurde nicht in die Unterrichtsplanung einbezogen, sondern eher spontan eingesetzt. Somit lohnt es sich, das Konzept zu überdenken und ein autonomeres Beleuchtungssystem in Erwägung zu ziehen. Früheren Forschungen zufolge ist eine Hybridlösung zwischen einem vollständig autonomen System und einer manuellen Steuerung am wünschenswertesten. Denn die Möglichkeit, die Beleuchtung manuell zu verändern, habe einen positiven Einfluss auf Wohlbefinden und Komfort [15]. Auf der Grundlage dieser Erkenntnisse sollte das Gleichgewicht zwischen einem vollständig automatisierten System und einer interaktiven Steuerung unbedingt berücksichtigt werden.

Abschließend hat diese Studie gezeigt, wie Beleuchtung zum integralen Bestandteil künftiger pädagogischer Ansätze werden kann. Es wurden fünf Motivationen für die Nutzung von Beleuchtung als Instrument zur Unterstützung des Unterrichts identifiziert:

- Unterstützung und Strukturierung von Lernaktivitäten
- Kommunikation mittels Beleuchtung und Einbeziehung der Schüler
- Beeinflussung des Aktivitätsniveaus und des Verhaltens der Schüler
- Schaffen einer bestimmten Atmosphäre
- Unterstützung bei der Bearbeitung von Sehaufgaben und Verbesserung des Sehkomforts

Wir sprechen uns dafür aus, diese Motivationen bei der Gestaltung interaktiver Systeme zur dynamischen Beleuchtungssteuerung in Unterrichtsräumen zu berücksichtigen. Die Ergebnisse zeigen, dass jede Lehrkraft nach einem persönlichen Schema vorgeht und das Mittel Beleuchtung auf individuelle Weise einsetzt. Ein Beleuchtungssystem sollte daher diese Vielseitigkeit und Anpassungsfähigkeit ermöglichen und unterstützen. Neben dem Interaktionspotenzial könnte sich ein stärker automatisiertes, selbstlernendes System im Falle weniger motivierter Lehrkräfte als nützlich erweisen, bei dem auch jahreszeitbedingte Veränderungen der verfügbaren Tageslichtmenge berücksichtigt würden.

Diese Ergebnisse werfen auch die Frage auf, ob die Beleuchtung im Unterrichtsraum in Zukunft nicht ausschließlich nach den DS/EN-Normen für die Beleuchtung gestaltet werden sollte, sondern vielmehr auch stärker an den Anforderungen der Nutzer hinsichtlich unterschiedlicher Lichtszenen in Unterrichtsumgebungen ausgerichtet werden sollte. Dies könnte beispielsweise die Entwicklung von Beleuchtungstypologien und -szenarien umfassen, die es Lehrkräften ermöglichen, im Rahmen ihrer täglichen Unterrichtspraxis ein Gefühl von Raum zu vermitteln und unterschiedliche Atmosphären zu schaffen. Diese Studie verdeutlicht außerdem, wie wichtig es ist, Lösungen nach der anfänglichen Implementierungsphase zu beurteilen, um sicherzustellen, dass die Konzepte für die Beleuchtungsplanung tatsächlich den Bedürfnissen der Nutzer entsprechen – in theoretischer wie in praktischer Hinsicht.

Danksagungen

Wir danken der Kommune Albertslund sowie den Lehrkräften und Schülern der 6. Klasse der Herstedlund-Schule sowie unseren Interreg-Projektpartnern: Zumtobel, Sweco und Lighting Metropolis. Unser Dank gilt weiterhin der Akademie von Finnland für die Bereitstellung der Mittel, die H. Pihlajaniemi die Mitarbeit an diesem Projekt als Gastwissenschaftlerin an der Universität Aalborg ermöglichten.

Quellenangaben

1. Undervisningsministeriet, <https://www.uvm.dk/statistik/grundskolen/elever/elevtal-i-grundskolen>. <https://www.uvm.dk/folkeskolen/fag-timetotal-og-overgange/undervisningens-samlede-laengde>, letzter Abruf am 14.12.2017.
2. Hansen, E. K. Lourcing Nielsen, S. M. Georgieva, D. & Schlederermann, K. M.: The Impact of Dynamic Lighting in Classrooms. A review on Methods. Institute for Computer Sciences, Social Informatics, Telecommunications Engineering 2018. ArtsIT 2017/DLI 2017, LNICST 229, S. 314–323 (2018)
3. Barkmann, C., Wessolowski N. und Schulte-Markwort, M. Applicability and efficacy of variable light in schools. *Physiol. Behav.* 105, 621–627 (2012)
4. Mott, M.S., Robinson, D.H., Walden, A., Burnette, J., Rutherford, A.S.: Illuminating the effects of dynamic lighting on student learning. *SAGE Open* 2012, 1–9 (2012)
5. Slegers, P.J.C., Moolenaar, N.M., Galetzka, M., Pruyn, A., Sarroukh, B.E., van der Zande, B.: Lighting affects students' concentration positively: findings from three Dutch studies. *Lighting Res. Technol.* 45, 159–175 (2013)
6. Keis, O., Helbig, H., Streb, J., Hille, K.: Influence of blue-enriched classroom lighting on students' cognitive performance. *Trends Neurosci. Educ.* 3, 8–92 (2014)
7. Choi, K., Suk, H.J.: Dynamic lighting system for the learning environment: performance of elementary students. *Opt. Soc. Am. (OSA)*, 24(10) (2016)
8. Wessolowski, N., Koenig, H., Schulte-Markwort, M., Barkmann, C.: The effect of variable light on the fidgetiness and social behavior of pupils in school. *J. Environ. Psychol.* 39, 101–108 (2014)
9. BRANZ Ltd.: *Designing Quality Learning Spaces: Lighting*. New Zealand: Ministry of Education (2007). ISBN 0-478-13619-6; WEB ISBN 0-478-13624-2
10. Georgieva, D. Schlederermann, K. M. Lourcing Nielsen, S. M. & Hansen, E. K. (2018): *Designing User Centred Intelligent Classroom Lighting*. Institute for Computer Sciences, Social Informatics, Telecommunications Engineering 2018. ArtsIT 2017/DLI 2017, LNICST 229, S. 314–323 (2018)

11. Creswell, J.W.: *Research Design: Qualitative, Quantitative, and Mixed Methods Approaches*, 4. Aufl. SAGE Publications Inc., USA (2014)
12. Bryman, A.: *Social Research Methods*, 4. Aufl. Oxford University Press, New York (2012)
13. Könings, K. D., Seidel, T., & van Merriënboer, J. J. G. Participatory design of learning environments: integrating perspectives of students, teachers, and designers. *Instr Sci*, 42(1–9). (2014)
14. van Someren, K.L., Beaman, C. P. and Shao, L.: Users' experience of lighting controls: A case-study. *Lighting Res. Technol.* 2017; 0: 1–16 (2017)
15. van Essen H, Offermans S & Eggen B: Exploring the Role of Autonomous System Behavior in Lighting Control. In: *Proceedings of Designing Interactive Lighting workshop at DIS 12, Newcastle, Great Britain* (2012)