

Die Steigerung der Energieeffizienz und des visuellen Komforts – Regelstrategien für die Beleuchtung in Büroräumen

Florian Nieter, Stefan Thiel, Stephan Völker
Fachgebiet Lichttechnik, Technische Universität Berlin
Einsteinufer 19, 10587 Berlin

Zusammenfassung

Es wurde im Rahmen dieser Arbeit an Büroräumen exemplarisch untersucht, wie sich bestimmte Maßnahmen im Bereich der Lichtsteuerung auf die Beleuchtungsqualität auswirken und welches Energieeinsparpotenzial damit verbunden ist. Dazu wurde eine Testumgebung auf Basis eines Standardbüros geschaffen, dass mit einem Gebäudeautomatisierungssystem (GA-System) und entsprechendem Messequipment ausgestattet wurde. So ist es möglich, die Auswirkungen der Veränderung einzelner Systemparameter gegenüber einer Standardinstallation unter gleichen Randbedingungen zu vergleichen. Mit Hilfe statistischer Annahmen bei der Versuchsplanung wurden die Einflussgrößen mit dem größten Potenzial ausgewählt und darauf aufbauend die Stärke ihrer Wirkung auf den Energieverbrauch durch künstliche Beleuchtung und den subjektiven visuellen Komfort auf der Basis von Messdaten bewertet. Daraus konnten Empfehlungen als Grundlage der Beleuchtungsplanung und Systemparametrierung abgeleitet werden.

Einleitung

In einem typischen modernen Bürogebäude liegt der Anteil der Beleuchtung am gesamten Umsatz elektrischer Energie bei ca. 40 %. Neben der Flexibilität der Installation ist daher die Nutzung von Energieeinsparpotenzialen in dieser Art von Gebäuden das größte Argument für den Einsatz von Automatisierungstechnik. Mit ihr werden gewerkeübergreifend Funktionen aus den Bereichen Lichttechnik, Heizungs- und Klimatechnik, Verfahrenstechnik sowie Sicherheitstechnik logisch miteinander zu Applikationen verknüpft. Ziel ist es, die Anforderungen an den energetisch sinnvollen Betrieb der Anlage und an den Komfort des Arbeitsumfeldes anwendungsbezogen zu erfüllen. Gerade in der Lichttechnik werden hier bislang Potenziale verschenkt. Schon durch geltende Normen und Richtlinien ergeben sich konkurrierenden Anforderungen an die Beleuchtung von Arbeitsplätzen. Ein Beispiel hierfür ist die Umsetzung der Nutzung des Tageslichtangebotes bei gleichzeitiger Begrenzung von Blendung und Raumerwärmung. Die Betreiber von Bürogebäuden sind verpflichtet, Maßnahmen zur energieeffizienten Gebäudenutzung zu ergreifen und deren Umsetzung zu dokumentieren [1], [2]. Gleichwohl haben Sie die Anforderungen an den Arbeitsschutz zu erfüllen.

Nach wie vor dominiert in der Planung der technischen Gebäudeausrüstung die Berücksichtigung der Erstellungs- und in zunehmendem Maße der Betriebskosten. Anforderungen an z. B. die Qualität der Beleuchtung werden in den dafür heranzuziehenden Normen [3], [4] jedoch nicht ausreichend berücksichtigt. Die Trennung der Gewerke bei Konzeption und Ausführung erschwert eine ganzheitliche Konzeption. Zusätzlich ist die zweckgebundene Planung und Programmierung eines GA-Systems nicht ohne fundierte Fachkenntnisse zu erreichen, zumal entscheidende Auswahl- und Konfigurationshinweise von Seiten der Gerätehersteller oft fehlen.

Im folgenden Abschnitt werden die genutzten Möglichkeiten zur Steigerung der Energieeffizienz der Beleuchtung eines Raumes näher beschrieben. Anschließend wird der Ansatz erläutert, mit dem es möglich ist, die Nutzung von Potenzialen mit der Festlegung dafür notwendiger Parameter in Verbindung zu bringen. Daran schließt sich eine Beschreibung der Testumgebung und eine kurze Einführung in den Aufbau und die Funktionsweise von GA-Systemen an. Abschließend werden einige Ergebnisse der Arbeit exemplarisch dargestellt und deren praktische Relevanz erläutert. Es sei ausdrücklich darauf hingewiesen, dass sich diese Arbeit ausschließlich auf den Bereich Beleuchtung beschränkt.

Grundlagen des Lichtmanagements

Um den visuellen Komfort bei möglichst hoher Energieeffizienz zu steigern, gibt es im Bereich der Tageslichttechnik zwei grundsätzlich verschiedene Ansätze zur Auswahl und Steuerung des Fensterbegrabs. Der Eine ist die Lichtlenkung, der Andere die Verschattung mittels einer entsprechenden Verschattungseinrichtung. Die Nutzung eines Fensterbegrabs ist aufgrund von Blendungserscheinungen und Einschränkungen im Bereich der Bildschirmarbeit bei hohen und mittleren Außenbeleuchtungsstärken obligatorisch.

Die Tageslichtlenkung zielt darauf ab, vor allem gerichtetes Tageslicht über eine Lichtlenk-jalousie an die Decke des entsprechenden Raumes zu lenken und so eine indirekte Beleuchtung zu schaffen. Dieser Jalousietyp hat zumeist einseitig verspiegelte Lamellen, an denen das Tageslicht reflektiert wird. Die Lamellen müssen so eingestellt sein, dass einerseits keine Blendung im Raum entsteht, andererseits jedoch möglichst viel Licht auf die gewünschten Teile der Decke reflektiert wird. Da sich der Sonnenstand permanent ändert, ist dies nur durch ein schrittweises Anpassen des Öffnungswinkels der Jalousielamellen möglich. Mit Kenntnis der geographischen Lage und der Ausrichtung des Raumes, sowie des Datums und der Uhrzeit kann der Sonnenstand relativ zu den Fensterflächen errechnet und daraus die optimale Lamellenanstellung vorgenommen werden. Diese Aufgabe wird durch spezielle Steuergeräte im GA-System gelöst, die mit den nötigen Parametern versehen werden müssen. Die Schwierigkeit dabei ist es, die richtige Balance zwischen möglichst großer Tageslichtnutzung und der Verhinderung von Blendung sowie zu starker Raumerwärmung zu finden [5]. Lichtlenksysteme werden aus Gründen der Durchführbarkeit der Lichtlenkung und der Verschmutzung fast ausschließlich im Innenraum installiert.

Bei einer Verschattungseinrichtung handelt es sich zumeist um einen reflektierenden oder stark absorbierenden Fensterbegrab. Dieser kann im Außenbereich oder im Innenraum installiert sein. Die Begrablänge bzw. Lamellenstellung, können meist in mehreren Stufen vorgegeben werden, um eine oder mehrere Zwischenpositionen zu ermöglichen, die bei mittleren vertikalen Außenbeleuchtungsstärken am Fenster angefahren werden können. Darüber hinaus bieten viele Geräte-Implementierungen eine Lamellenansteuerung für die Reaktion auf kurzzeitige Änderungen des Himmelszustandes an, um so die Nutzerakzeptanz durch eine bewusste Verringerung geräuschintensiver Jalousiefahrten zu erhöhen.

Sowohl Lichtlenkung als auch Verschattung werden erst bei Beleuchtungsstärken am Fenster aktiviert, bei denen eine Einschränkung des visuellen Komforts im Innenraum auftreten würde [8]. Um eine möglichst konstante Beleuchtung auf dem Arbeitsplatz zu erreichen, werden Tageslichtsysteme häufig mit einer „Konstantlichtregelung“ kombiniert. Diese soll durch das Dimmen des künstlichen Lichtes den Lichtstrom der Leuchte automatisch so anpassen, dass eine zeitlich annähernd konstante Beleuchtungsstärke in den Bereichen der Sehaufgabe gehalten wird. Eine zusätzliche Präsenzdetektion kann in dieser Kombination dafür sorgen, dass die Beleuchtung bei Abwesenheit ausgeschaltet wird.

Die Verschattung wurde, trotz ihrer zu erwartenden Nachteile in Bezug auf den Leistungsumsatz der Beleuchtung gegenüber der Tageslichtlenkung, betrachtet, weil sie nach [5] das Mittel der Wahl zur Senkung der Kühllasten durch Sonneneinstrahlung ist.

Im Rahmen dieser Arbeit wurde aufgrund bautechnischer Vorgaben ausschließlich die Verschattung mit Hilfe von innenliegenden Jalousien betrachtet, obwohl, mit Blick auf die Klimatisierung des Raumes, die Anbringung an der Außenfassade aus Gründen des verringerten Wärmeeintrages deutlich effizienter ist [6]. Lichttechnisch spielt die Anordnung der Verschattungseinrichtung eine untergeordnete Rolle. Daher wird für energetische Betrachtungen für die Verschattung generell eine Außenanbringung unterstellt.

Es ist anzumerken, dass die Untersuchungen hier exemplarisch mit einem EIB/KNX-System durchgeführt wurden, sich die Ergebnisse aber auch auf andere GA-Systeme übertragen lassen.

Die Einstellung des GA-Systems erfolgt über die Festlegung geräteinterner Parameter und Prozeduren. Der dezentrale Charakter des Netzwerkes stellt dabei eine große Herausforderung dar, da ungünstige Kombinationen verschiedener Geräteeinstellungen die gewünschten Applikationen beeinträchtigen oder sogar verhindern können. Um die Einflüsse der verschiedenen Ausstattungs- und Regelungsvarianten zu beurteilen, gibt es eine Vielzahl von Abhängigkeiten zu berücksichtigen. Grundsätzlich ist es sinnvoll, diese in einem repräsentativen Testraum im Rahmen von separaten Testläufen in Bezug auf die Energieeffizienz zu erfassen und durch Testpersonen gleichzeitig den visuellen Komfort und die allgemeine Tauglichkeit bei der Arbeit beurteilen zu lassen. Der Raum muss hierzu eine geeignete Installation aufweisen, also mit einem Gebäudeautomatisierungssystem ausgestattet sein. Zusätzlich werden Sensoren benötigt, mit deren Messdaten die

Gütemerkmale der Beleuchtung und die Energieeinsparung bewertet werden kann.

Forschungsansatz

Zu Beginn wurden, in Anlehnung an die in [3] definierten Energieeffizienzklassen für GA, verschiedene Varianten der Automatisierung festgelegt. Diese spiegeln die unterschiedlichen Grade der technischen Gebäudeausstattung sowie der verwendeten Steuerungs- und Regelstrategien wieder. So geben die Ergebnisse der jeweiligen Ausbaustufe Aufschluss darüber, welche Steigerung des Nutzens die getroffenen Maßnahmen verglichen mit einem Büroraum mit konventioneller Elektroinstallation (Referenz) haben. Die festgelegten Automatisierungsvarianten sind:

- **Referenz**
 - ohne Automatisierung (*Worst-Case-Szenario*)
 - Beleuchtung wird bei Präsenz und zu geringen Beleuchtungsstärken in den Bereichen der Sehaufgabe eingeschaltet (ungedimmter Betrieb)
- **Variante 1**
 - manuelle Jalousiesteuerung
 - manuelle Dimmung der Beleuchtung
- **Variante 2**
 - Tageslichtlenksystem (dem Sonnenstand automatisch nachgeführte Jalousien)
 - Konstantlichtregelung (durch automatisches Dimmen der Beleuchtung)
 - Präsenzdetektion (Erkennung der Präsenz und entsprechendes schalten der künstlichen Beleuchtung)
 - kein manueller Nutzereingriff
- **Variante 3**
 - automatische Verschattung mit Jalousie
 - Konstantlichtregelung
 - Präsenzdetektion
 - kein manueller Nutzereingriff

Diese Varianten wurden in der Umsetzung durch Veränderung der Parametrierung der eingesetzten GA-Systemkomponenten implementiert. Sie wurden in Bezug auf das Energieeinsparpotential und den visuellen Komfort bewertet.

Testraum

Der für die Untersuchungen verwendete Testraum (siehe Abbildung 1) liegt im vierten Obergeschoss eines Bürogebäudes der Technischen Universität Berlin und ist mit einem Gebäudeautomatisierungssystem des Standards KNX ausgestattet. Der Raum repräsentiert mit einer Fläche von ca. 17,5 m² einen typischen Büroraum für die Nutzung von ein bis zwei Personen.

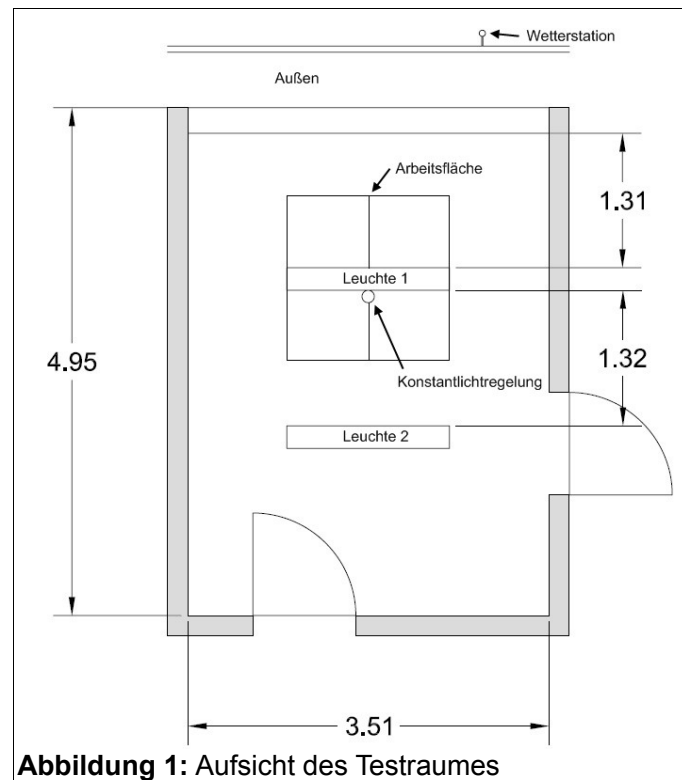


Abbildung 1: Aufsicht des Testraumes

Wände und Decke des Raumes sind matt weiß, der Fußbodenbelag rotbraun. Die künstliche Beleuchtung erfolgt durch zwei abgependelte Büroarbeitsplatzleuchten (Leuchtenklasse D53 gemäß [7]). Die Leuchten sind über die DALI-Schnittstellen ihrer Vorschaltgeräte ansteuerbar. Diese sind Bestandteil einer DALI-Raumsteuerung, die über ein Gateway mit dem KNX-Bus verbunden ist. Bestückt sind die Leuchten mit jeweils zwei T5-Leuchtstofflampen mit einer Nennleistung von je 35 W. Die genaue Position der Leuchten und der Arbeitsfläche ist Abbildung 1 zu entnehmen. Die Höhe der Arbeitsfläche im Testraum beträgt 0,73 m. Sie ist gleichzeitig die bewertete Fläche für den Beleuchtungsstärkesensor der Konstantlichtregelung, der an Leuchte 1 befestigt ist (siehe ebenfalls Abbildung 1). Der Anteil der Fensterfläche an der Außenwand beträgt ca. 60 %. Sie ist nach Süden ausgerichtet.

Weiterhin ist im Testraum eine Lichtlenkjalousie mit verspiegelten Lamellen auf der Oberseite installiert. Diese sind halbseitig perforiert, um auch bei geschlossenem Behang

eine minimale Sichtverbindung nach Außen zu gewährleisten.

Die installierten KNX-Geräte stammen von verschiedenen Herstellern. Hierdurch wird erreicht, dass eventuelle „Spezialabstimmungen“ von Geräten eines Herstellers untereinander weitgehend unberücksichtigt bleiben. So wird die Untersuchung allgemeingültig gehalten, denn gerade die Interoperabilität zwischen Komponenten verschiedener Hersteller wird als großer Vorteil standardisierter Kommunikationssysteme propagiert.

Die Geräte sind mit ihrer Funktion in der genutzten Installation in Tabelle 1 aufgelistet. Zusätzlich zu den GA-Komponenten wurden im Testraum Sensoren angebracht, die Beleuchtungsstärken am Fenster, in den Bereichen der Sehaufgabe und in deren Umgebungen aufzeichnen.

Tabelle 1: KNX-Geräte in der Testumgebung

Gerät	Hersteller	Bezeichnung	Funktion
Spannungsversorgung	Siemens	N22	Busspannung
USB Schnittstelle	Siemens	N148/11	Schnittstelle Bus/PC
IP-Router	Siemens	N 146	Fernwartung
Tastsensor 6-fach	GIRA	Tastsensor 2 6fach mit Controller	Benutzerschnittstelle
EnOcean Gateway	Wieland	Gesis EIB V-56/4 (RC)	Bereitstellung kabelloser Taster
DALI-Gateway	Siemens	DALI GE 141	Schnittstelle KNX /DALI
Konstantlichtregelung / Präsenzmelder	Merten	KNX ARGUS Präsenz / Lichtregelung	Präsenzdetektion / Konstantlichtregelung
Jalousieaktor	WAREMA	EIBMSE6	Ansteuerung der Jalousiemotoren
Funkschaltuhr	ABB	FW/S4.5 4f-Funk-Jahresschaltuhr	Zeit- und Datumsserver
Jalousiesteuerbaustein	ABB	JSB/S1.1	Berechnung der Jalousie- / Lamellenstellung
Wetterstation	Jung	Wetterstation Home	Feststellung Himmelszustand

Die prinzipielle Funktionsweise der Lichtregelung mit einem GA-System sei nachfolgend beispielhaft dargestellt, um die Bedeutung der Parameter darin zu verdeutlichen.

KNX

Der Konnex (KNX)-Standard¹ ist eine Erweiterung des EIB und stellt ein Datenbussystem für Installationskomponenten dar. Diese werden über Datentelegramme angesteuert, die über den Bus versendet werden. Es gibt keine zentrale Steuereinheit.

Die in dieser Arbeit in Bezug auf den KNX-Bus verwendeten Begriffe seien hier kurz erläutert.

Unter dem Begriff „*Teilnehmer*“ wird ein an den Bus angeschlossenes Gerät verstanden, das mit diesem über das selbe Protokoll kommunizieren kann. Die Bezeichnung

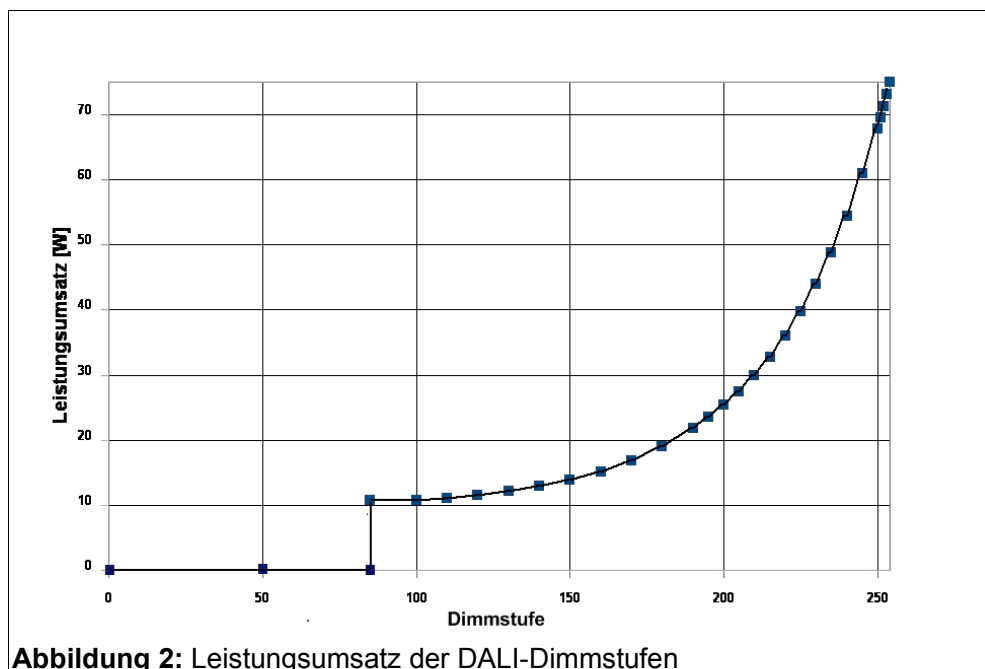
¹ ©KNX Association setzt Standard EN 50090 (international ISO/IEC 14543-3) um

„Funktion“ beschreibt die Verarbeitung von Signalen, Messwerten, Parametern etc. Sie kann dabei neue Werte, Signale oder Parameter generieren und weitergeben, oder z. B. auch auf Basis der verarbeiteten Werte ein Endgerät ansteuern.

Ein „Objekt“ bezeichnet die Zusammenfassung einer oder mehrerer Funktionen und der dazugehörigen Ein- und Ausgänge eines Teilnehmers, über die die Kommunikation mit dem Bus abgewickelt wird. Unter dem Begriff „Applikation“ wird eine für den Benutzer zur Verfügung stehende Verknüpfung von Funktionen verstanden, die einen vom Anwender gestellten Anspruch (z.B. „konstante Beleuchtungsstärke auf der Arbeitsfläche“) erfüllen soll. Diese sind oft mit Schnittstellen wie Tastern oder mit zeitlichen Vorgaben verknüpft. Unter „Parametern“ sind Werte zu verstehen, die innerhalb eines Teilnehmers gesetzt werden und mit deren Hilfe die Applikationen individuell einstellbar sind (z. B. Schwellenwerte oder vorgegebene Zeiten zwischen verschiedenen Aktionen).

Die Applikationen entstehen in einem KNX-System erst durch die Verknüpfung von Objekten verschiedener Teilnehmer und die Vorgabe der benötigten Parameter, die sog. Parametrierung. Diese Vorgänge werden zusammenfassend als Inbetriebnahme bezeichnet und versetzen das System erst in einen funktionsfähigen Zustand.

Datenerhebung



Die Datenerhebung wurde in mehreren Testläufen durchgeführt. Ein Testlauf bildet jeweils die repräsentative Nutzungsdauer des Gebäudes ab.

Aufgezeichnet wurden dabei die vertikale Beleuchtungsstärke am Fenster und horizontale Beleuchtungsstärken auf den Arbeitsflächen und in deren unmittelbaren Umgebungen. Weiterhin wurde der Energieumsatz durch die künstliche Beleuchtung für jeden Testlauf bestimmt. Dazu wurden die installierten Leuchten vor Einbau lichttechnisch und elektrisch vermessen. Jeder Dimmstufe der Lampen wurde so eine Systemleistung und eine Lichtausbeute zugeordnet (siehe Abbildung 2). Während der Testläufe wurden die Bustelegramme der Teilnehmer und somit auch die momentanen Dimmstufen der Lampen mit den Messdaten zeitlich synchronisiert erfasst.

Damit konnte in der anschließenden Auswertung der Leistungsumsatz durch die Beleuchtung errechnet und die Regelparameter entsprechend angepasst werden. Die Ergebnisse und Maßnahmen zur Optimierung der Automatisierungsfunktionen werden hier exemplarisch anhand eines konkreten Testlaufes beschrieben.

Auswertung

Exemplarisch ist in Abbildung 3 für einen Tag der zeitliche Verlauf der relativen Werte der horizontalen Beleuchtungsstärke auf der Arbeitsfläche, der vertikalen Beleuchtungsstärke am Fenster und der Dimmstufe des Kunstlichts dargestellt. Dabei wurde Variante 3 der Automatisierungsstufen gemäß des Forschungsansatzes gewählt. Es handelte sich um einen Sommertag mit vorwiegend bedecktem Himmel.

Mit Hilfe der aufgezeichneten Bustelegramme konnte der zeitliche Verlauf mit den entsprechenden Regelungsereignissen synchronisiert werden. So war es möglich, signifikante Änderungen in Bezug auf ihre lichttechnische Auswirkung zu beurteilen und Schwächen der momentanen Parametrierung aufzuzeigen. Es wurden in diesem Fall 13 Zeitpunkte von signifikanten Regelungsereignissen zur Untersuchung ausgewählt. Die Korrelation mit den entsprechenden äußeren Einflussgrößen ist in Tabelle 2 dargestellt.

Die Behanglänge zu Beginn der Darstellung ist maximal, da bei niedrigem Sonnenstand sonst mit Blendung zu rechnen ist. Gleichzeitig wird so der Erwärmung am frühen Morgen vorgebeugt. Die Steuerung der Jalousien wird nicht von der Präsenzdetektion beeinflusst. Diese registriert in dieser Zeit keine Anwesenheit und das Kunstlicht ist ausgeschaltet.

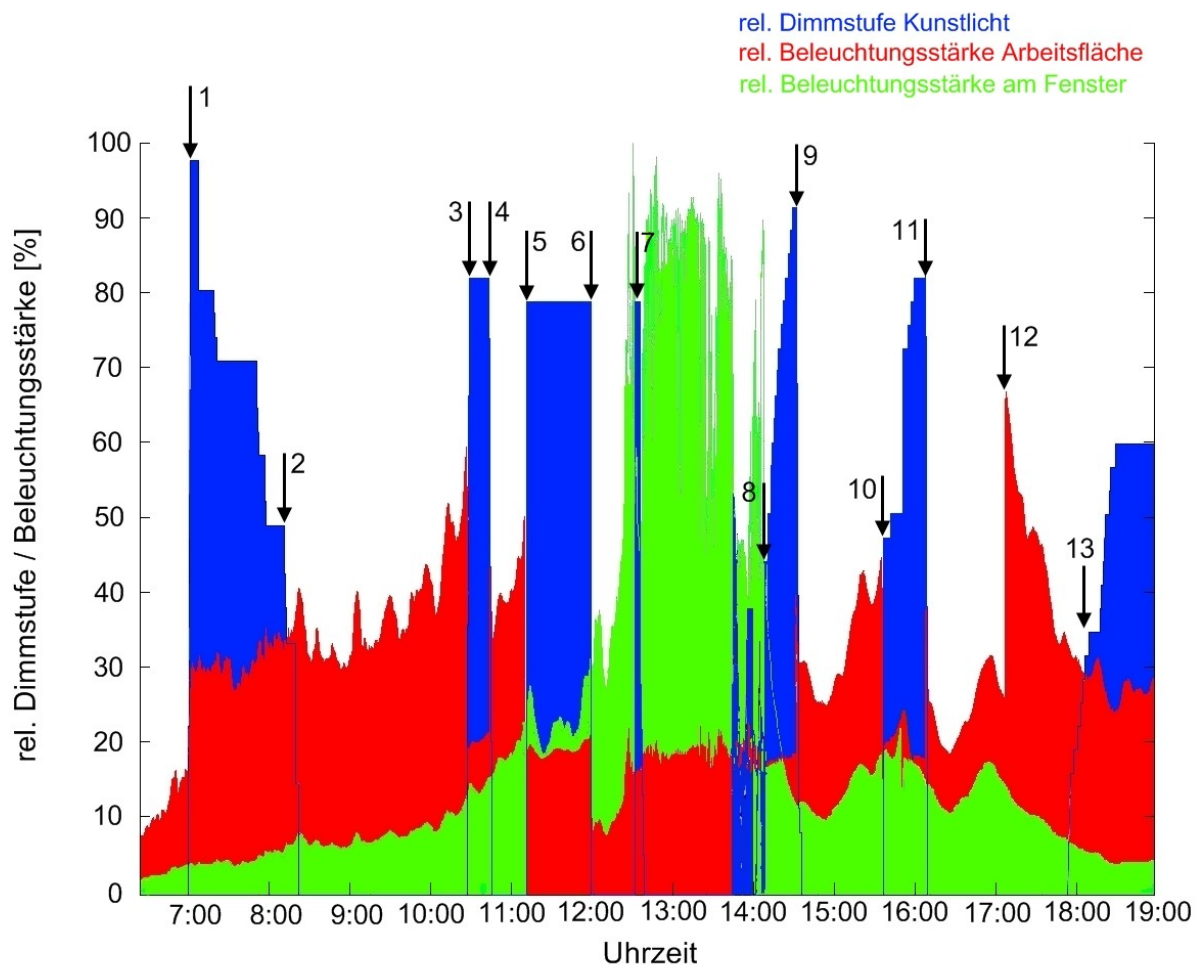


Abbildung 3: Verlauf Konstantlichtregelung bei automatischer Verschattung und Präsenzdetection

Tabelle 2: Korrelation Zeitpunkt / Regelungsereignis

Zeitpunkt	Ereignis	Grund
1	Einschalten der Konstantlichtregelung	Arbeitsbeginn, Präsenzdetection löst aus
2	Behanglänge wird verringert	Sonnenstand hoch genug, dass keine Blendung zu erwarten ist
3	Behanglänge wird vergrößert	–
4	Behanglänge wird verringert	–
5	Behanglänge wird vergrößert	Hohe Außenbeleuchtungsstärke
6	Konstantlichtregelung und Kunstlicht werden ausgeschaltet	Mittagspause, Abwesenheit detektiert
7	Konstantlichtregelung wird auf hoher Dimmstufe eingeschaltet	Einschaltzeitpunkt bei temporärem Einbruch der Außenbeleuchtungsstärke
8	Konstantlichtregelung dimmt hoch	Außenbeleuchtungsstärke fällt
9	Behanglänge wird verringert	Außenbeleuchtungsstärke niedrig genug
10	Behanglänge wird vergrößert	Außenbeleuchtungsstärke gestiegen
11	Behanglänge wird verringert	Außenbeleuchtungsstärke niedrig genug
12	Jalousie wird geöffnet	Außenbeleuchtungsstärke niedrig genug
13	Konstantlichtregelung dimmt hoch	Außenbeleuchtungsstärke sinkt

Zu den Zeitpunkten 3 und 4 in Abbildung 3 konnte anhand der dargestellten Größen keine Begründung für die Regelereignisse gefunden werden. Daher wurden die Parameter der beteiligten Objekte untersucht und in diesem konkreten Fall die Hysteresen für Schaltzeiten und Schwellenwerte als Ursachen ausgemacht. Eine Variation der Parameter, die als Grund für solche scheinbar unmotivierten Regelereignisse in Frage kommen, soll deren Beteiligung an der Entstehung dieser Regelereignisse in weiteren Testläufen klären.

Nachdem gezeigt werden konnte, dass die gemessenen Größen dazu geeignet sind, die Regelstrategien zu bewerten und gezielt zu optimieren, soll der nächste Schritt der Untersuchungen den Bezug zur Qualität der Beleuchtung herstellen. Hier ist zu prüfen, inwiefern durch die Regelmaßnahmen Beleuchtungsergebnisse erzielt werden, die von den Nutzern nicht nur akzeptiert, sondern eine Verbesserung bedeuten. Ist dies nicht der Fall, so muss eine Variation der Parameter der an den betroffenen Applikationen beteiligten Objekte in weiteren Testläufen durchgeführt werden.

So entsteht mit der Zeit ein Katalog derjenigen Parameterkombinationen, die stark mit den gewünschten Beleuchtungssituationen korrelieren. Die Empfehlung dieser Kombinationen und die Abschätzung des sich daraus ableitbaren Potenzials ist das Ziel der angestrebten Regelstrategien.

Ergebnisse und Diskussion

Die hier exemplarisch dargestellte Verschattung wird wegen erheblicher Einschränkung des Blickkontakts nach außen als unangenehm empfunden. Blendungen und andere Einschränkungen des visuellen Komforts treten allerdings kaum auf. Wegen der großen energetischen Vorteile in Bezug auf die Kühllast ist die Verschattung besonders bei unverbauten Fassaden mit südlicher Ausrichtung in den Sommermonaten zu empfehlen. Ein Lichtlenksystem sollte aufgrund der hohen Außenbeleuchtungsstärken die Lamellen auch für relativ lange Zeit geschlossen halten (Verschattungsmodus), um Blendung zu verhindern. Allerdings ist dann zu erwarten, dass der energetische Mehraufwand für die Kühlung im Vergleich zu einer außen liegenden Verschattung in diesem Falle die Einsparungen im Bereich der Leistungsaufnahme der künstlichen Beleuchtung übersteigen würde.

Grund ist die schlechtere Ausschöpfung des Einsparpotentials an elektrischer Energie durch den Verschattungsmodus.

Der Einfluss der Präsenzdetektion zeigt sich besonders bei Nutzungsszenarien, in denen

der Raum oder die jeweilige Beleuchtungszone für längere Zeit unbesetzt ist, wobei hier die eingestellte Schalthysterese wesentlich zur Akzeptanz des Systems beiträgt.

Da Präsenzmelfunktionen oft in andere Geräte integriert sind und sich nicht nachteilig auf visuellen Komfort und Leistungsaufnahme für künstliche Beleuchtung auswirken, ist es empfehlenswert, diese Funktionen in die Regelungsstrategie mit einzubeziehen.

Für den dargestellten Testlauf ergab sich ein Leistungsumsatz für elektrische Energie durch künstliche Beleuchtung, der bei ca. 28 % des Umsatzes der Referenznutzung liegt. Bemerkenswert hierbei ist, dass dieser Wert bei vorwiegend bedecktem Himmel beobachtet wurde. Hier würde man eigentlich mit einem kleineren Leistungsumsatz rechnen, da eine große Einsparung bei mittleren Außenbeleuchtungsstärken ohne Berücksichtigung des visuellen Komforts einfach erscheint. Ein gut parametrisiertes Lichtlenksystem könnte hier durch angepasste weitere Öffnung der Lamellen noch Verbesserung bringen.

Tabelle 3: Ergebnisse für den Energieumsatz für elektrische Beleuchtung

	Leistungsumsatz (7:00 – 15:30 Uhr) in [kWh]	Vergleich mit Referenz
Referenz	0,64	100%
Testlauf	0,18	28%

Ausblick

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass sich vor allem durch die Nutzung eines geeigneten Tageslichtsystems in Verbindung mit der Regelung der künstlichen Beleuchtung Energie einsparen lässt. Das vorhandene Potenzial kann jedoch aufgrund des Auftretens von Blendung nicht voll ausgeschöpft werden. Eine kritische Bewertung hinsichtlich des energetischen Nutzens dieser Systeme ist erst in der Betrachtung der Gesamtenergiebilanz des Raumes sinnvoll möglich. Hier steht die Einordnung in den anfangs erwähnten Systemgedanken in der Planung noch aus.

Mit Hilfe der vorgestellten Forschungsergebnisse ist die Basis für die Planung umfassender Versuchsreihen für Regelungsstrategien geschaffen. Die daraus entwickelbaren Modelle sind notwendig, um quantifizierbare Zusammenhänge zwischen Einflussvariablen und Beleuchtungsergebnissen zu liefern. Die Erforschung des Nutzens unterschiedlicher Regelstrategien der Beleuchtung mit Gebäudeautomatisierungssystemen bildet die Grundlage weiterführender Untersuchungen auf diesem Gebiet. Deren Ziel ist es, alle gebäudetechnischen Anlagen (also auch Raumkühlung, Lüftung, Heizung

etc.) in ihrem Zusammenspiel energetisch zu betrachten, ganzheitliche Konzepte für die gesamte Gebäudetechnik zu erarbeiten und so einen wichtigen Beitrag zu Normen wie [9] zu leisten, die den anderen Gewerken Vorgaben bezüglich Funktion und Schnittstellen machen.

Quellenverzeichnis

- [1] EnEV 2007 : *Verordnung über energiesparenden Wärmeschutz und energiesparende Anlagentechnik bei Gebäuden*. Bundesgesetzblatt Jahrgang 2007 Teil 1 Nr. 34. Ausg. vom 26.07.2007. - S. 1519 – 1563
- [2] DIN V 18599 02.2007 : *Energetische Bewertung von Gebäuden - Berechnung des Nutz-, End- und Primärenergiebedarfs für Heizung, Kühlung, Lüftung, Trinkwarmwasser und Beleuchtung*.
- [3] DIN EN 15232 11.2007 : *Energieeffizienz von Gebäuden - Einfluss von Gebäudeautomation und Gebäudemanagement*.
- [4] VDI 3813 Blatt 1 05.2007 : *Raumautomation – Grundlagen*.
- [5] VDI 2078 07.1996 : *Berechnung der Kühllast klimatisierter Räume*.
- [6] KUHN, T. E. ; BUHLER, C. ; PLATZER, W. J. : *Evaluation of overheating protection with sun-shading systems*. In: Solar Energy, Volume 69, Supplement 6, July 2001 , pp. 59 - 74 (16)
- [7] DIN 5040-2 07.1995 *Leuchten für Beleuchtungszwecke Teil 2: Innenleuchten; Begriffe, Einteilung*.
- [8] MOOSMANN, C. ; WAGNER, A. ; WIENOLD, J. ; WITTWER, V. : *Nutzerbewertung von Tageslicht am Büroarbeitsplatz*. In: Tagungsband Licht 2008
- [9] DIN EN 15603 07.2008 : *Energieeffizienz von Gebäuden - Gesamtenergiebedarf und Festlegung der Energiekennwerte*.
- [10] IEA (Hrsg.): *Daylight in Buildings : A source book on daylighting systems and components*. Report of IEA Task 21/ECBCS Annex 29, July 2000