

LESO-PB

Energieeffiziente Bürobeleuchtung - Das Projekt "Green Lighting"

Linhart, F.
Scartezzini, J.-L.

15. Schweizerisches Status-Seminar, ETH Zürich

11-12 September 2008

ÉCOLE POLYTECHNIQUE
FÉDÉRALE DE LAUSANNE

Français | English

INFOSCIENCE

LE PORTAIL D'INFORMATION SCIENTIFIQUE

EPFL > infoscience > Submit > Conference Paper > Submission

[> Upload file](#) | [Back to main menu](#)**Submission sent**

CONFERENCE PAPER

Energieeffiziente Bürobeleuchtung - Das Projekt "Green Lighting"**Linhart, F. ; Scartezzini, J.-L.****Presented at:** 15. Schweizerisches Status-Seminar, Zurich, September 11-12, 2008.**In:** Status Seminar, 2008, p. 155-162

Zurich : ETH-Zürich, 2008.

The „Green Lighting“ project, started in 2006 at the Solar Energy and Building Physics Laboratory of Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne (EPFL), explores different ways to combine modern day- and artificial lighting technologies. The main objective of the project is the development of energy-efficient integrated solutions which minimize the electric lighting load while maximizing the building occupants' visual comfort and wellbeing. This article gives an overview of recent developments within the project's framework. It comes to the conclusion that lighting power densities of less than 5 W/m² are already achievable in today's office rooms, provided that daylight is used intensively.

Keyword(s): Green Lighting**Reference:** LESO-PB-CONF-2008-030**Solar Energy and Building Physics Laboratory**

Record created on 2008-10-23, modified on 2008-10-23

Your document has reference **LESO-PB-CONF-2008-030**.

It will soon appear on Infoscience.

Please be aware that it can take up to **15 minutes** until the document will be available.[Link to document](#) | [Submit another document](#)

©2004–2007 EPFL, 1015 Lausanne, tél. ++41 +21 693 11 11,
infoscience@epfl.ch

Powered by **CDS Invenio** v0.93.50.20070904,

Energieeffiziente Bürobeleuchtung - Das Projekt "Green Lighting"

Friedrich Linhart und Jean-Louis Scartezzini

Labor für Solarenergie und Gebäudephysik (LESO-PB), Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne (EPFL),
1015 Lausanne, Schweiz

Zusammenfassung

Am Labor für Solarenergie und Gebäudephysik der Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne (EPFL) wurde Mitte 2006 das Projekt „Green Lighting“ ins Leben gerufen, in dessen Rahmen unterschiedliche Kombinationsmöglichkeiten von modernen Tages- und Kunstlichttechnologien untersucht werden. Ziel des Projekts ist die Entwicklung von energieeffizienten integrierten Lösungen, welche bei minimalem Stromverbrauch Sehkomfort und Wohlbefinden der Gebäudebenutzer maximieren. Dieser Artikel gibt einen Überblick über die bisherige Entwicklung des Projekts und kommt zu dem Ergebnis, dass zum heutigen Zeitpunkt bei intensiver Tageslichtnutzung in Büroräumen bereits Lichtleistungsdichten von weniger als 5 W/m^2 realisierbar sind.

Abstract

The „Green Lighting“ project, started in 2006 at the Solar Energy and Building Physics Laboratory of Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne (EPFL), explores different ways to combine modern day- and artificial lighting technologies. The main objective of the project is the development of energy-efficient integrated solutions which minimize the electric lighting load while maximizing the building occupants' visual comfort and wellbeing. This article gives an overview of recent developments within the project's framework. It comes to the conclusion that lighting power densities of less than 5 W/m^2 are already achievable in today's office rooms, provided that daylight is used intensively.

1. Einführung

Eine rationelle Verwendung von elektrischer Energie in Gebäuden ist zu Zeiten steigender Energiepreise und globaler Erwärmung (unter anderem bedingt durch exzessiven Umgang mit Primärenergieträgern) dringend erforderlich. In Bürogebäuden sind oft über 30% des Stromverbrauchs auf elektrische Beleuchtung zurückzuführen [1,2,3], wobei der grösste Bedarf zu Spitzenlastzeiten auftritt. Elektrische Beleuchtung muss daher als besonders CO_2 -intensiv angesehen werden [4]. Gleichwohl steht in unseren Breitengraden über weite Strecken normaler Bürozeiten eigentlich genügend natürliches Licht zur Verfügung: Die im Freien vorherrschenden Beleuchtungsstärken (erzeugt durch direktes Sonnenlicht und diffuses Licht) übersteigen bei Weitem die in den einschlägigen Normen geforderten Minimalwerte für Beleuchtungsstärken an Büroarbeitsplätzen (typischerweise mindestens 300 bis 500 Lux).

Die Nutzbarmachung des externen natürlichen Lichts im Gebäudeinneren ist jedoch nicht unproblematisch. Bei herkömmlichen Fensterfassaden steht in Fensternähe oft zu viel Tageslicht zur Verfügung, was in diesem Bereich oft zu unangenehm hohen Beleuchtungsstärken und Blendungen führt. Andererseits fallen bei solchen Fassaden mit zunehmender Entfernung vom Fenster die Beleuchtungsstärken sehr schnell ab, so dass sich düstere Bereiche im Gebäudeinneren ergeben, welche von den Gebäudebenutzern dann als unangenehm empfunden werden. Dieses Problem wird oft zusätzlich verschärft, wenn die vorhandenen Jalousien oder Rollos heruntergelassen werden, um Blendungen in Fensternähe zu vermeiden. In solchen Fällen

wird dann oftmals elektrische Beleuchtung zugeschaltet, obwohl eigentlich genügend natürliches Licht zur Verfügung stünde.

Spezielle Tageslichtsysteme, welche die angenehme Nutzung von Tageslicht im Gebäudeinneren ermöglichen, sind daher seit vielen Jahren Gegenstand intensiver Forschung und Entwicklung. Einige solcher Tageslichtsysteme haben sich bereits als sehr effizient erwiesen, und es stehen immer mehr Performancedaten (aus Messungen, Simulationen und Nutzerbefragungen) für verschiedenartige Systeme zur Verfügung. Röhrenförmige Lichtleiter („Lightpipes“), welche das Tageslicht auf dem Dach über passive Öffnungen oder aktive „Heliostats“ einspeisen und dann im Gebäudeinnern verteilen, und deren Performance sind kürzlich beispielsweise von Rosemann und Kaase [5] oder Al Marwae und Carter [6] diskutiert worden. Auch auf dem Gebiet der fassadenintegrierten Tageslichtsysteme [1,7-10] wird derzeit intensiv geforscht.

Doch selbst das beste Tageslichtsystem kann zu Zeiten externer Dunkelheit (z.B. an Winterabenden oder bei Gewittern und sehr dunklem Himmel) nicht die zur Büroarbeit erforderlichen Beleuchtungsstärken bereitstellen. Ein zusätzliches elektrisches Beleuchtungssystem ist daher in allen Fällen zwingend erforderlich, um auch unter „worst case“ – Bedingungen ein angenehmes Arbeiten zu ermöglichen. Damit sich jedoch das volle Potential eines Tageslichtsystems entfalten kann, müssen beide Systeme optimal aufeinander abgestimmt sein. Allgemein sollte Kunstlicht nur dann beigesteuert werden, wenn wirklich nicht genügend Tageslicht zur Verfügung steht. Allein hierdurch können grosse Mengen an elektrischer Energie eingespart werden [2,3]. In gleichem Masse sollte es vermieden werden, die elektrischen Beleuchtungssysteme überzudimensionieren: Ein zu leistungsstarkes elektrisches Beleuchtungssystem kann dazu führen, dass Bürobutzer (aus Faulheit oder Unkenntnis) dauerhaft bei heruntergelassenen Rollos und eingeschaltetem Kunstlicht arbeiten. Das enorme Stromsparingpotential eines Tageslichtsystems ist in einem solchen Fall gleich null. Die Erfahrung zeigt, dass Benutzer den Umgang mit einem Tageslichtsystem erst lernen müssen, dass anschliessend jedoch Akzeptanz und Zufriedenheit stark ausgeprägt sind.

Am Labor für Solarenergie und Gebäudephysik (LESO-PB) der Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne (EPFL) wurde Mitte 2006 das Projekt „Green Lighting“ ins Leben gerufen, in dessen Rahmen unterschiedliche Kombinationsmöglichkeiten von modernen Tages- und Kunstlichttechnologien untersucht werden. Ziel des Projekts ist die Entwicklung von energieeffizienten integrierten Lösungen, welche bei minimalem Stromverbrauch Sehkomfort und Wohlbefinden der Gebäudebenutzer maximieren.

In Kapitel 2 dieses Artikels wird die genaue Zielsetzung des Projekts „Green Lighting“ erklärt und das Funktionsprinzip des zugrundeliegenden Tageslichtsystems erläutert. Kapitel 3 gibt anschliessend einen Überblick über die wichtigsten Ergebnisse des Projekts, die bis zum jetzigen Zeitpunkt vorliegen. Hierbei liegt der Fokus mehr auf der Vermittlung eines möglichst kompletten Überblicks als auf der detaillierten Diskussion von Teilergebnissen. An den entsprechenden Stellen wird daher auf diverse weiterführende Veröffentlichungen verwiesen. Abschliessend werden in Kapitel 4 die wichtigsten Fakten nochmals zusammengefasst und Pläne für weitergehende Forschungen dargelegt.

2. Das Projekt „Green Lighting“: Ausgangslage und Zielsetzung

Das LESO-Experimentalgebäude („LESO solar experimental building“), welches sich auf dem Campus der EPFL im Westen Lausannes befindet, wurde Mitte der 80er-Jahre erbaut und im Jahr 1999 renoviert. Im Rahmen der Renovierungsarbeiten wurde die Südseite des Gebäudes (siehe Abbildung 1 (links)) mit sogenannten anidolischen (von Griechisch „an“ = ohne und „eidolon“ = Bild) Fassadenelementen ausgestattet, welche nicht nur die effektive Nutzung von Tageslicht zu Zwecken der Bürobeleuchtung ermöglichen, sondern auch aus architektonischer Sicht reizvoll sind: Eine leichte Zickzack-Bewegung setzt die unterschiedlichen Fassadenmaterialien gekonnt in Szene [11].

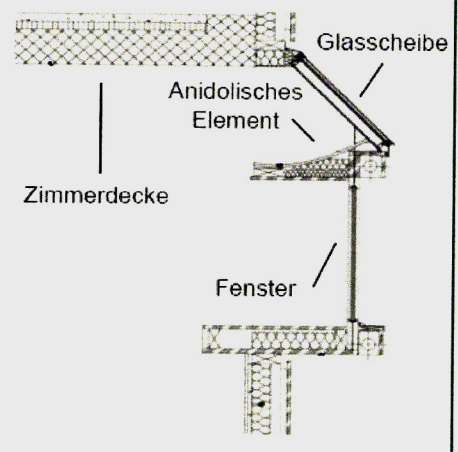
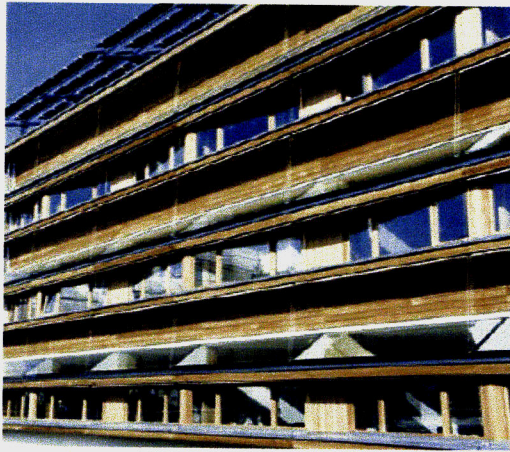


Abbildung 1: Südseite des LESO-Experimentalgebäudes mit anidolischen Fassadenelementen (links) und Querschnitt durch ein solches Fassadenelement (rechts). Das durch die schräge Glasscheibe eintretende Licht wird vom anidolischen Element an die weisse Zimmerdecke umgeleitet und von dort diffus in den gesamten Raum hineinreflektiert.

Ein anidolisches Fassadenelement ist eine spezielle Form der anidolischen Tageslichtsysteme [12], welche auf der Theorie der nicht bildgebenden Optik („non-imaging optics“) [13] beruhen: Solche Systeme zeichnen sich dadurch aus, dass sie ein Maximum an eintreffenden Lichtstrahlen mit einem Minimum an Reflexionen (und daher unter minimalen Verlusten) von der Aussenseite eines Gebäudes in dessen Inneres umleiten und dort grossflächig verteilen können. Abbildung 1 (rechts) zeigt einen Querschnitt durch ein anidolisches Fassadenelement. Direkte Sonnenstrahlen und diffuse Strahlen vom Himmelszelt passieren zunächst eine schräge Glasscheibe. Sie treffen anschliessend auf ein aluminiumbeschichtetes anidolisches Element auf, welches sie an die weisse Zimmerdecke umleitet. Von dort aus wird das Licht diffus reflektiert und verteilt sich vergleichsweise gleichmässig im Raum. Auf diese Weise werden die in Kapitel 1 beschriebenen Hauptprobleme der Tageslichtnutzung in Büroräumen vermieden: Zum einen werden die dunklen Bereiche im Rauminneren merklich aufgehellt, zum anderen wird direktes Licht in Fensternähe teilweise ausgeblockt und Blendungen somit stark reduziert [11,14].

Wie in Kapitel 1 erläutert, wird elektrische Energie jedoch nicht direkt durch die Nutzbarmachung von möglichst viel Tageslicht im Gebäudeinneren, sondern vielmehr durch eine einhergehende optimale Anpassung der Kunstlichtanlage an das Tageslichtsystem eingespart. In diesem Kontext ist die Zielsetzung des Projekts „Green Lighting“ zu sehen: Die Entwicklung von integrierten Beleuchtungskonzepten, welche es ermöglichen, die enormen Potentiale moderner Tageslichtsysteme voll auszuschöpfen. Folgende konkrete Ziele wurden für „Green Lighting“ definiert:

- Identifikation und Test von geeigneten hocheffizienten Leuchtmitteln und Leuchten
- Durchführung von Computersimulationen zur Erstellung eines optimalen Beleuchtungskonzepts für ein Testbüro auf der Südseite des LESO-Experimentalgebäudes
- 1:1-Umsetzung des entwickelten Beleuchtungskonzepts und Optimierung mit Hilfe von Messungen und Tests mit Versuchspersonen
- Untersuchung des Potentials von Weisslicht emittierenden Dioden (weissen LEDs) und organischen Licht emittierenden Dioden (OLEDs) zu Bürobeleuchtungszwecken, gegebenenfalls Installation im Testbüro
- Untersuchung der Möglichkeit des Einsatzes von anidolischen Leuchtengeometrien und neuartigen Beschichtungsmaterialien in Tageslichtsystemen zur weiteren Optimierung des Gesamtsystems
- Einsatz intelligenter Kontrollalgorithmen zur Steuerung des Gesamtsystems

Das Projekt „Green Lighting“ wird vom Schweizerischen Bundesamt für Energie gefördert. Weitere Unterstützung wird oder wurde bisher von den Firmen Relux, Regent, Tulux, OSRAM und Philips geleistet. Ausserdem bestehen Kollaborationen mit der National University of Singapore (NUS) und der Universität Basel.

3. Resultate

3.1 Beleuchtungssituation im LESO-Experimentalgebäude

Zu Beginn des Projekts „Green Lighting“ wurden die elektrischen Beleuchtungssysteme in allen Büros auf der Südseite des LESO-Experimentalgebäudes eingehend untersucht. Es zeigte sich, dass die verschiedenen Büros zum Teil sehr unterschiedlich ausgestattet sind, und dass in punkto Lichtleistungsdichten (auch: installierte Leistungen) erhebliche Unterschiede bestehen. Abbildung 2 zeigt die installierte Leistung für jedes der 15 Büros. Der Maximalwert der installierten Leistung liegt bei 13.7 W/m² (Büro 2204), der Minimalwert („best practice“) von 4.5 W/m² wird in Büro 002 erreicht. Es ergibt sich ein vergleichsweise niedriger Mittelwert von 9.1 W/m² [9]. Die drei folgenden Gründe für eine Erhöhung der Lichtleistungsdichten im Vergleich zum „best practice“-Büro (BPB) konnten ausgemacht werden:

1. Arbeitsplatzbeleuchtung (task lighting) mit herkömmlichen Glühlampen anstelle von kompakten Leuchtstofflampen
2. Hoher Anteil von Indirektbeleuchtung
3. Leicht überdimensionierte Umgebungsbeleuchtung (ambient lighting)

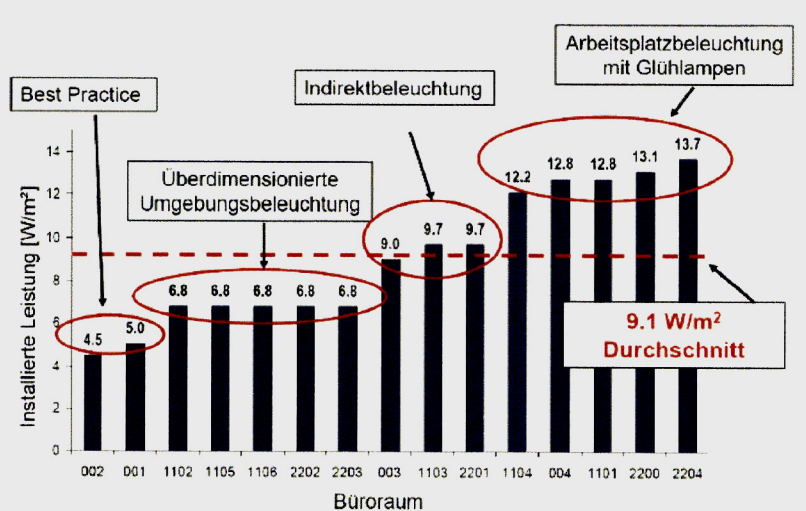


Abbildung 2: Installierte Leistung für jedes der 15 Büros im LESO-Experimentalgebäude. Bei einem Maximum von 13.7 W/m² und einem „best practice“-Wert von 4.5 W/m² ergibt sich ein arithmetischer Mittelwert von 9.1 W/m². Einsatz von Glühbirnen und indirekt strahlenden Leuchten sowie leichte Überdimensionierung der Umgebungsbeleuchtung sind Gründe dafür, dass die „best practice“-Werte nicht in jedem Büro erreicht werden [9,14].

Die Zufriedenheit der Bürobutzer wurde Anfang 2007 mittels Fragebögen und persönlicher Interviews ermittelt. Es zeigte sich, dass die überwiegende Mehrzahl der befragten Personen überaus zufrieden mit der Beleuchtung ihres Arbeitsplatzes und ihres Büros ist. Eine Abhängigkeit von der installierten Leistung konnte nicht nachgewiesen werden [9,14]. Dies ist nicht weiter verwunderlich, da in allen betrachteten Büros vorwiegend bei Tageslicht gearbeitet wird. Die elektrische Beleuchtungsanlage wird meist nur in Ausnahmefällen zugeschaltet.

3.2 Minimierung der installierten Lichtleistung

Die während der eingehenden Analyse der aktuellen Beleuchtungssituation im LESO-Experimentalgebäude gewonnen Erkenntnisse legten die Vermutung nahe, dass die in den BPBs installierten Kunstlichtsysteme ausreichen, um die Tageslichtperformance der anidolischen Fassadenelemente zu ergänzen. Zwar ist die Beleuchtungssituation in diesen Büros aus lichtplanerischer Sicht nicht ganz optimal: zum einen werden die geforderten minimalen Beleuchtungsstärken auf den entsprechenden Referenzflächen nicht erreicht, zum anderen kommen Deckenleuchten zum Einsatz, welche ihr Licht ausschliesslich direkt in den Raum abstrahlen (zur Verbesserung des Wohlbefindens wird ein grosser Anteil an indirekter Beleuchtung empfohlen). Dies scheint jedoch von den Bürobenutzern nicht als unangenehm empfunden zu werden. Möglicherweise bewirkt die intensive Tageslichtexposition eine gewisse „Toleranz“ gegenüber zeitlich begrenzten Perioden von a priori suboptimaler Kunstlichtbeleuchtung.

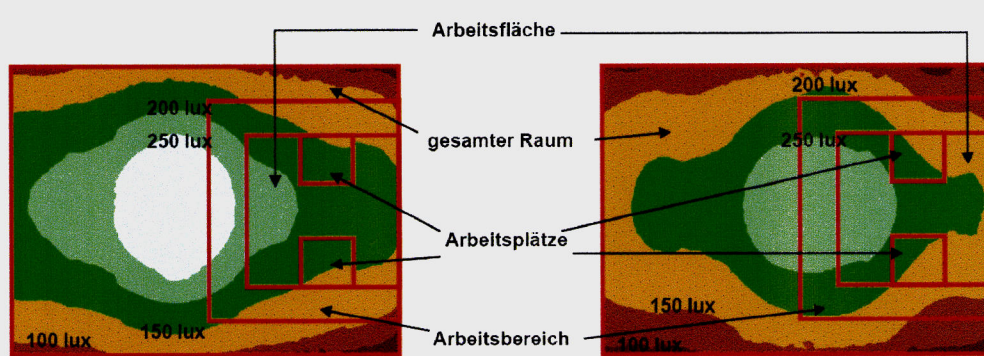


Abbildung 3: Vergleich der Beleuchtungssituation in einem der BPBs mit der Situation, welche durch Installation eines neuartigen Leuchtentyps entstünde. Werden Beleuchtungsstärken und Gleichmässigkeiten für alle fünf definierten Referenzflächen einzeln verglichen, so zeigt sich, dass beide Systeme ähnlich gut abschneiden [9,14].

Es wurde also die Annahme getroffen, dass Kunstlichtsysteme, welche ähnliche Beleuchtungsverhältnisse wie die Systeme der BPBs schaffen, ebenfalls von den Bürobenutzern akzeptiert werden würden.

Mit Hilfe des Softwareprogramms RELUX Vision [15] wurden die Beleuchtungsverhältnisse in den BPBs realistisch simuliert und mit alternativen Kunstlichtsystemen verglichen (siehe Abbildung 3). Hierzu wurden fünf separate Referenzflächen im von zwei Personen besetzten Büro eingeführt: zwei individuelle Arbeitsplätze (Ort der anspruchsvollsten Sehauaufgaben), eine Arbeitsfläche (entspricht der von den beiden Schreibtischen aufgespannten Fläche), ein Arbeitsbereich (um die Arbeitsfläche herum) sowie eine Referenzfläche „gesamter Raum“. Abbildung 3 (links) visualisiert die Situation in einem der BPBs mit einer Lichtleistungsdichte von 4.5 W/m^2 , Abbildung 3 (rechts) die Situation, welche sich durch Installation eines hocheffizienten Leuchtentyps ergäbe (3.5 W/m^2). Beide Lösungen sind in punkto Beleuchtungsstärke und Gleichmässigkeit vergleichbar [9,14].

Um die Akzeptanz der verschiedenen auf diese Weise simulierten elektrischen Beleuchtungssysteme mit realen Versuchspersonen testen zu können, wurde im LESO-Experimentalgebäude Ende 2007 ein Testbüro mit Deckenschienensystem aufgebaut [8]. Letzteres ermöglicht ein schnelles Austauschen und einfaches Positionieren unterschiedlicher Leuchtentypen. Die Ergebnisse einer ersten Vergleichsstudie werden derzeit analysiert.

3.3 Bürobeleuchtung mit Weisslicht emittierenden Dioden (weisse LEDs)

Bis vor einigen Jahren waren LEDs nur in den Farben Rot, Grün und Gelb erhältlich und wurden beispielsweise als Statusanzeigen in Elektrogeräten eingesetzt. Die Einführung von extrem hellen, blauen LEDs und die dadurch möglich gewordene Entwicklung weisser LEDs haben das Interesse

der Beleuchtungsindustrie an der LED-Technologie geweckt und kontinuierlich wachsen lassen [16]. Vor allem von Seiten der grossen Konzerne wird die weisse LED als Lichtquelle der Zukunft schlechthin propagiert. Jenkins und Newborough haben 2007 unter anderem ein futuristisch anmutendes, LED-basiertes Beleuchtungskonzept für das Jahr 2030 vorgestellt, welches davon ausgeht, dass weisse LEDs bis dahin Lichtausbeuten von 150 lm/W erreichen [17]. Eine vergleichbare Studie wurde im Rahmen des Projekts „Green Lighting“ Gabrani und Linhart durchgeführt [18]. Verschiedene LED-Beleuchtungsszenarien wurden mit dem Softwareprogramm RELUX Vision simuliert und verglichen. Abbildung 4 zeigt ein Szenario, welches von einer Lichtausbeute der verwendeten weissen LEDs von 80 lm/W ausgeht. Bei entsprechender Anordnung und Ausrichtung der LEDs (Ausrichtung symbolisiert durch Pfeile in Abbildung 4 (links)) entsteht eine Beleuchtungssituation (Abbildung 4 (rechts)), welche sich durchaus mit der Ausgangssituation in den BPBs des LESO-Experimentalgebäudes vergleichen lässt [18].

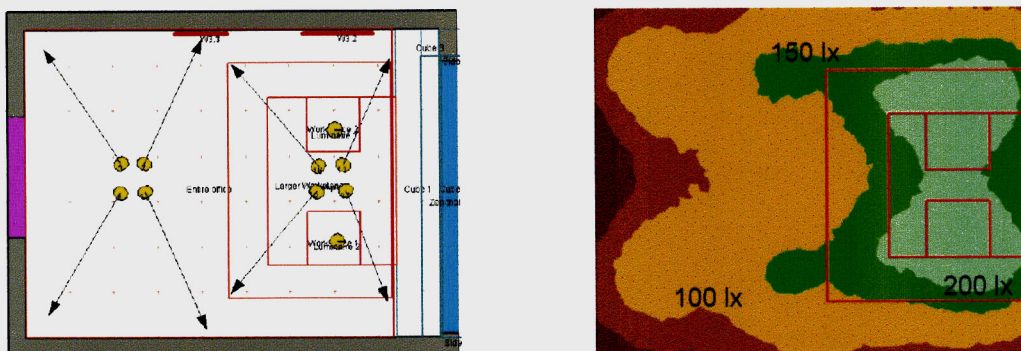


Abbildung 4: LED-Beleuchtungsszenario für ein typisches Büro im LESO-Experimentalgebäude. Durch entsprechende Positionierung und Ausrichtung (markiert durch Pfeile, links) wird ein Beleuchtungsszenario mit adäquatem Sehkomfort und einer Lichtleistungsdichte von 3.3 W/m² erreicht [18].

Das in Abbildung 4 vorgestellte Beleuchtungsszenario entspricht einer Lichtleistungsdichte von 3.3 W/m². Obwohl bis zum effektiven und effizienten Einsatz von weissen LEDs zur Bürobeleuchtung noch zahlreiche Hindernisse überwunden werden müssen (z.B. tatsächliches Erreichen der prognostizierten Lichtausbeuten und Lebensdauern, Verbesserung der Farbwiedergabeeigenschaften, Verfügbarkeit entsprechender Leuchten), konnte das Potential von weissen LEDs zur energieeffizienten Bürobeleuchtung im Rahmen des Projekts „Green Lighting“ bestätigt werden.

3.4 „Green Lighting“ – Konzepte ausserhalb der Schweiz

Rationelle Energieverwendung ist natürlich auch ausserhalb der Schweiz ein hochaktuelles Thema. An der National University of Singapore (NUS) wurde vor einiger Zeit die Performance des „Anidolic Integrated Ceiling“ (AIC) [12] für verschieden Standorte weltweit simuliert [1,7]. Beim AIC wird das Tageslicht im Vergleich zum in Kapitel 2 beschriebenen System nicht lediglich an die Zimmerdecke reflektiert, sondern in einem Lichtkanal weiter ins Rauminnere hinein geleitet. Eine schematische Darstellung des AIC findet sich in Abbildung 5 (links). Auf der Basis der an der NUS erzeugten Simulationsergebnisse wurde im Rahmen des Projekts „Green Lighting“ ein passendes energieeffizientes Gesamtbeleuchtungskonzept für ein Grossraumbüro mit 8 Arbeitsplätze) in Singapur (siehe Abbildung 5 (rechts)) erstellt [8].

Im Rahmen einer weitergehenden Zusammenarbeit mit der NUS wird derzeit auch an der Optimierung von AICs für den Einsatz in tropischen Klimazonen gearbeitet.

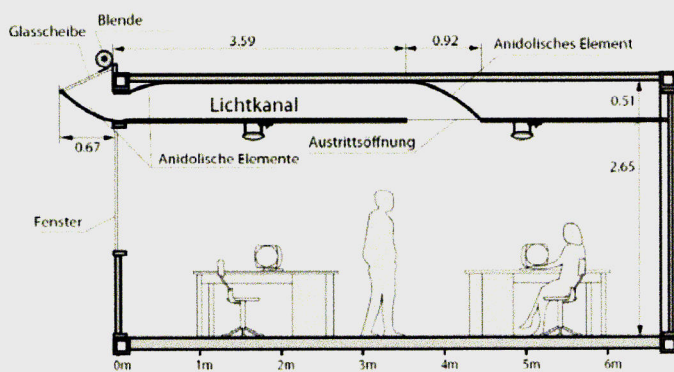


Abbildung 5: Schematische Darstellung des Anidolic Integrated Ceiling (AIC) (links) und Grossraumbüro mit Gesamtbeleuchtungskonzept (AIC und passendes Kunstlichtsystem) (rechts). Das Gesamtbeleuchtungskonzept wurde auf Basis von an der NUS durchgeführten Simulationsergebnissen entworfen [8].

4. Zusammenfassung und Ausblick

Das Ziel dieses Artikels war es, einen möglichst kompletten Überblick über die aktuellsten Entwicklungen im Rahmen des Projekts „Green Lighting“ am LESO-PB zu geben, welches die Entwicklung von energieeffizienten Beleuchtungskonzepten für Büroräume zum Ziel hat. Zusammenfassend kann gesagt werden, dass in Verbindung mit leistungsstarken Tageslichtsystemen Lichtleistungsdichten unter 5 W/m^2 bei gutem Arbeitskomfort bereits heute realisierbar sind. Die Autoren sind zuversichtlich, in naher Zukunft einen Büroprototypen mit einer Lichtleistungsdichte von nur 3 W/m^2 , gutem Arbeitskomfort und extrem niedrigem Stromverbrauch präsentieren zu können. Hierzu sind jedoch unter anderem noch weitere in-situ-Tests mit Versuchspersonen sowie Optimierungen im Bereich von Leuchten und Steuerungseinrichtungen erforderlich.

5. Referenzen

- [1] Wittkopf, S.K., Yuniarti, E. und Soon, L.K.: Prediction of energy savings with anidolic integrated ceiling across different daylight climates. *Energy and Buildings* 38, pp. 1120-1129, 2006
- [2] Li, D.H.W., Lam, T.N.T. und Wong, S.L.: Lighting and energy performance for an office using high frequency dimming controls. *Energy Conversion and Management* 47, pp 1133-1145, 2006.
- [3] Wah Tong To, D., Sing, L.K., Chung, T.M. und Leung, C.S.: Potential energy saving for a side-lit room using daylight-linked fluorescent lamp installations. *Lighting Research and Technology* 34, pp. 121-133, 2002.
- [4] Aries, M.B.C. und Newsham, G.R.: Effect of daylight saving time on lighting energy use: A literature review. *Energy Policy* 36, pp. 1858-1866, 2008.
- [5] Rosemann, A. und Kaase, H.: Lightpipe applications for daylighting systems. *Solar Energy* 78, pp. 772-780, 2005.
- [6] Al Marwae, M. und Carter, D.J.: A field study of tubular daylight guidance installations. *Lighting Research and Technology* 38, pp. 241-258, 2006.
- [7] Wittkopf, S.K.: Daylight performance of anidolic ceiling under different sky conditions. *Solar Energy* 81, pp. 151-161, 2006.

- [8] Linhart, F. und Scartezzini, J.-L.: Efficient lighting strategies for office rooms in tropical climates. In *PLEA 2007*, pp. 360-367, Singapore, 2007.
- [9] Linhart, F. und Scartezzini, J.-L.: Minimizing connected lighting power in office rooms equipped with anidolic daylighting systems. In *C/SBAT 2007*, pp. 421-426, Lausanne, 2007.
- [10] Beltrán, L.O. und Mogo, B.M.: Development of optical light pipes for office spaces. In *PLEA 2007*, pp. 368-374, Singapore, 2007.
- [11] Altherr, R. und Gay, J.-B.: A low impact anidolic facade. *Building and Environment* 37, pp. 1409-1419, 2002.
- [12] Scartezzini, J.-L. und Courret, G.: Anidolic daylighting systems. *Solar Energy* 73, pp. 123-135, 2002.
- [13] Welford, W. T. und Wilson, R.: *Non-Imaging Optics*. Academic Press, New York, 1989.
- [14] Linhart, F. und Scartezzini, J.-L.: Green Lighting project focuses on energy-efficient offices, SPIE Newsroom, 2007.
- [15] www.relux.ch, last visited 06/2008.
- [16] Narendran, N., Gu, Y., Freyssinier, J.P., Yu, H. und Deng, L.: Solid-state lighting: failure analysis of white LEDs. *Journal of Crystal Growth* 268, pp. 449–456, 2004.
- [17] Jenkins, D. und Newborough, M.: An approach for estimating the carbon emissions associated with office lighting with a daylight contribution. *Applied Energy* 84, pp.608-622, 2007.
- [18] Gabrani, A. und Linhart, F.: White LEDs for office lighting: Technical background, available products and possible integration. *Praktikumsbericht*, EPFL, Lausanne, 2007.