Entwicklung eines vereinfachten, spektral- und richtungsauflösenden Tageslichtsensors

Weber, N.; Knoop, M.; Völker, S. | Technische Universität Berlin

In diversen Studien wie (Heerwagen, J. H., & Heerwagen, D. R. (1986), Boyce et al. 2003 oder Galasiu, A. D., & Veitch, J. A. (2006)) wird Tageslicht als die bevorzugte Lichtquelle für Bürobeleuchtung genannt. Auch der positive Einfluss des Tageslichtes auf die Gesundheit und das Wohlbefinden wird immer wieder hervorgehoben. Trotz dieser Erkenntnis ist der genaue Wirkmechanismus unbekannt. Hinzu kommt, dass derzeit nicht eindeutig beschrieben werden kann, was das Tageslicht so einzigartig macht und es von bisher existierenden, künstlichen Beleuchtungslösungen unterscheidet. Unterschiede in der Leuchtdichteverteilung der Himmelskuppel sind weitgehend bekannt, aber insbesondere die zeitliche sowie örtliche Änderung der Farbtemperatur und somit der spektralen Anteile des Tageslichts sind bisher nicht ausreichend erforscht worden. Aus diesem Grund ist die Quantifizierung und Charakterisierung der Lichtquelle Tageslicht ein Forschungsschwerpunkt des Fachgebiet Lichttechnik der Technischen Universität Berlin (TUB) und seit 2014 werden daher spektral- und richtungsauflösende Messdaten mit einem spektralen Sky-Scanner erfasst (Knoop 2014). Im hier beschriebenen Projekt soll der Focus auf dem im Gebäude verfügbaren Tageslicht und dessen spektraler Zusammensetzung liegen, charakterisiert durch $E_{\mathrm{e,\,vert}}(\lambda)$ und E_{hor} (Abbildung 3).

Abbildung 2: Spektraler Sky-Scanner mit einer räumlichen Auflösung von 145 Himmelsbereichen

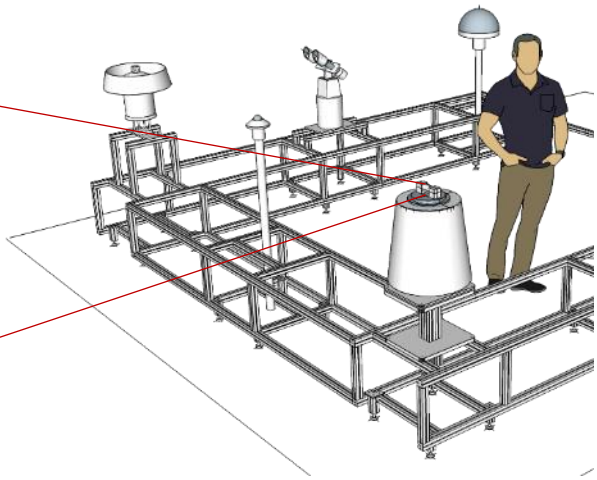

Abbildung 1: Tageslichtmessplatz der Technischen Universität Berlin (TUB)

Der spektrale Sky-Scanner misst die spektrale Strahldichte im sichtbaren Bereich mit einer Auflösung <1nm. Die Messungen werden alle zwei Minuten für 145 unterschiedliche Richtungen (Himmelsbereiche) durchgeführt, wobei der Öffnungswinkel jeder Messrichtung 10° entspricht (Abbildung 1). Die Position der Messrichtungen ist an die Tregenza-Verteilung angelehnt (Tregenza 2004). Mit dem beschriebenen, kostenintensiven Messgerät ist eine hochaufgelöste Vermessung des Himmelslichts ortsfest (TUB Tageslichtmessplatz, Abbildung 2) möglich. Um jedoch ein größeres Verständnis der Lichtquelle Tageslicht und der daraus resultierenden Tageslichtversorgung zu erhalten, sollte auch an anderen Orten

das Tageslicht spektral- sowie richtungsaufgelöst erfasst werden. Für eine ganzheitliche Beschreibung wäre ein Netz aus Sensoren eine ideale Lösung, um an unterschiedlichen Orten eine zeitgleiche Messung durchführen zu können. Aus diesem Grund muss der vorgestellte spektrale Sky-Scanner so vereinfacht werden, dass die Herstellung von mehreren Messköpfen finanzierbar ist, die erforderlichen Messwerte aber trotzdem mit einer ausreichenden Präzision erhoben werden können. Denkbar ist auch, dass die Messdaten dieser vereinfachten Dach-Sensoren später zum einen für auch nicht-visuell wirksame Lichtsteuerung verwendet werden könnten und die Informationen aus dem Sensor-Netz zum anderen auch für die Tageslichtplanung von neuen Gebäuden herangezogen werden.

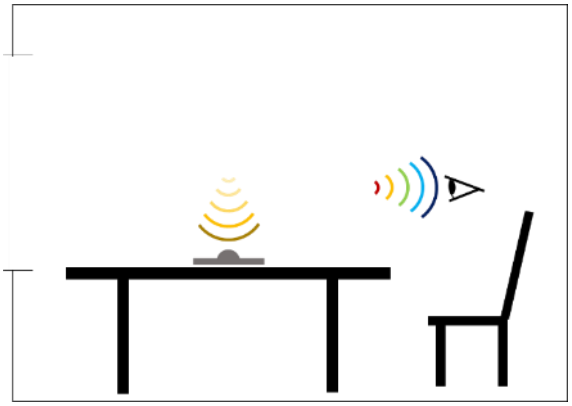

Abbildung 3: Zu bestimmende Zielgrößen: horizontale Beleuchtungsstärke E_{hor} und spektral aufgelöste, vertikale Bestrahlungsstärke $E_{\mathrm{e,\,vert}}(\lambda)$

Um aus Messwerten auf dem Dach neben der horizontalen Beleuchtungsstärke auch die vertikale, spektrale Bestrahlungsstärke im Innenraum ableiten zu können (Zielgrößen: Abbildung 3), muss der Dachsensor die richtungsabhängigen Unterschiede der Leuchtdichte sowie die spektrale Zusammensetzung des Tageslichts erfassen können (Abbildung 4). Um Langzeitmessungen durchführen zu können, soll der Wartungsaufwand für den Sensor minimal sein.

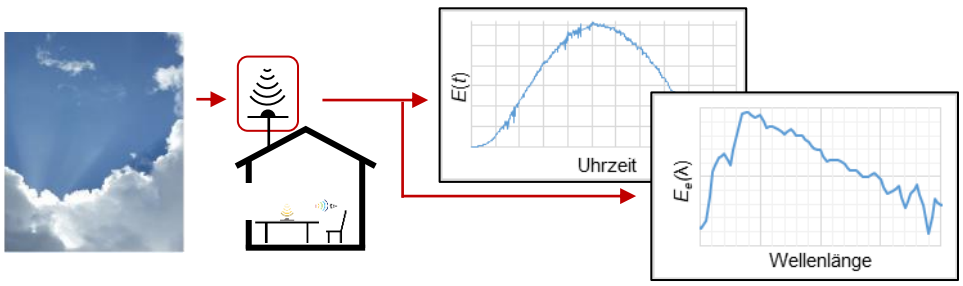

Abbildung 4: Dachsensor zur Bestimmung des spektral und räumlich aufgelösten Tageslichtangebots

Um den spektralen Sky-Scanner zu vereinfachten, wird die Arbeit in zwei Arbeitspakete unterteilt. Auf der einen Seite muss die spektrale Messung selbst vereinfacht werden, auf der anderen Seite sollte die Auflösung (derzeit 145 Himmelsbereiche) verringert werden. Eine Vereinfachung der spektralen Messungen ist über die Farbortbestimmung mit Hilfe von RGB-Sensoren geplant, da zwischen Farbort und spektraler Energieverteilung des Tageslichtes ein eindeutiger Zusammenhang besteht (CIE 15:2004, Abbildung 5). Um die Anzahl (örtliche Auflösung) sowie die ideale Ausrichtung (Messrichtungen) der einzelnen Sensoren zu ermitteln, die zusammen den vereinfachten Tagelichtsensor-Messkopf bilden,

wird zunächst ein skaliertes Modell eines tageslichtversorgten Büros aufgebaut und mit Messgeräten bestückt. Zunächst werden die Innenwände schwarz ausgeführt, um möglichst keine interne Reflexion zu erhalten. Auf diese Weise ist es möglich, die zu bestimmenden Zielgrößen (E_{hor} und $E_{\mathrm{e,\,vert}}(\lambda)$) direkt zu messen und auch mit Hilfe der Sky-Scanner-Messwerte rechnerisch bestimmen zu können[1]. Anschließend werden schrittweise die pro Messung aufgenommen 145 Messwerte des spektralen Sky-Scanners zu immer größeren Messfeldern zusammengefasst (Abbildung 6). Zu Vergleichszwecken sollen rechnerisch auch die Vereinfachungen von Chain (Chain 2004) und Kobav (Kobav 2009) überprüft werden. Die somit schrittweise reduzierte Auflösung der Sky-Scanner-Messwerte sollte ab einer zu bestimmenden Schwelle nicht mehr ausreichen, um die Zielgrößen richtig zu berechnen (vergleich mit Messdaten im skalierten Modell). Mit dieser Methode sollen die minimal benötigte Anzahl sowie die optimale Ausrichtung für den vereinfachten Tageslichtsensor ermittelt werden[2]. Um den Einfluss der internen Reflexion sowie unterschiedlicher Ausrichtung zu überprüfen, werden außerdem Modelle mit weißen Wänden und anderer Orientierung aufgebaut.

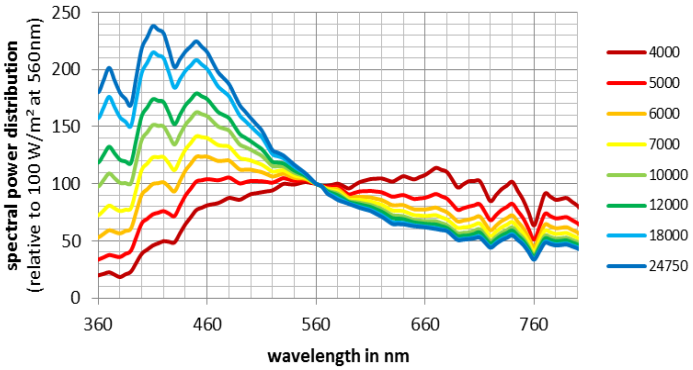

Abbildung 6: Expliziter Zusammenhang bei Tageslicht zwischen Farbtemperatur und spektraler Verteilung

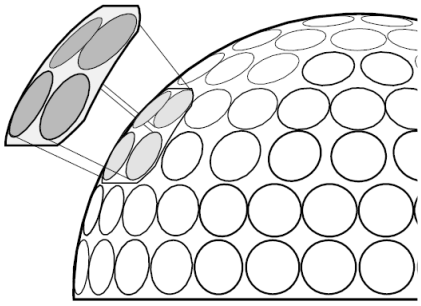

Abbildung 5: Gruppierung, rechnerische Zusammenfassung von Messfeldern

In einem folgenden Schritt soll ein Prototyp des vereinfachten, spektral- und richtungsauflösenden Tageslichtsensors aufgebaut werden. Außerdem gilt es, eine für Tageslichtmessungen geeignete Kalibrierung zu entwerfen, die in jährlichen Zyklen wiederholt werden kann. Abschließend sollen in einer längeren Messphase die Messdaten des vereinfachten Sensors mit denen des spektralen Sky-Scanners verglichen werden.

---

[1] Hypothese 1: Die Berechnung der Tageslichtversorgung (charakterisiert durch E_{hor} und $E_{\mathrm{e,\,vert}}(\lambda)$) in einem standardisierten Büroraum ist mit Hilfe der Sky-Scanner-Messdaten („open loop“-Ansatz) möglich.

[2] Hypothese 2: Mit einem stark vereinfachten Sensor – basierend auf dem System des spektralen Sky-Scanners – ist es möglich, die Tageslichtversorgung charakterisiert durch E_{hor} und $E_{\mathrm{e,\,vert}}(\lambda)$ für standardisierte Büros in Echtzeit zu berechnen.

References:

Boyce, P., Hunter, C., Howlett, O. (2003). The benefits of daylight through windows. Troy, New York: Rensselaer Polytechnic Institute.

Chain, C. 2004. Caractérisation spectrale et directionnelle de la Lumière naturelle : Application à l Éclairage des Bâtiments. Thesis of ENTPE, Laborataire des Sciences de l'Habitat, Département Génie Civil et Bâtiment.

CIE (2004): Colorimetry. 3. ed. Vienna: CIE Central Bureau (Technical report / CIE, 15).

Galasiu, A. D., & Veitch, J. A. (2006). Occupant preferences and satisfaction with the luminous environment and control systems in daylit offices: a literature review. Energy and Buildings, 38(7), 728-742.

Heerwagen, J. H., & Heerwagen, D. R. (1986). Lighting and psychological comfort. Lighting Design and Application, 16(4), 47-51.

Knoop, M. 2014: Analysis of spatially resolved measurements approaches to assess spectral characteristics of sky patches. In: Proceedings of CIE 2014 "Lighting Quality and Energy Efficiency". 23 - 26 April 2014, Hotel Istana, Kuala Lumpur, Malaysia (CIE X, 039), S. 130–139.

Kobav, M. B. 2009. Development and validation of methods used to compute time values of indoor daylight illuminances (Doctoral dissertation, Laboratory of the Lighting and Photometry, Faculty of Electrical Engineering, University of Ljubljana).

Tregenza, P. R. (2004): Analysing sky luminance scans to obtain frequency distributions of CIE Standard General Skies. In: Lighting Research and Technology 36 (4), S. 271-279.