

Qualitative und quantitative tageslichttechnische Fassadenplanung

Dipl.-Ing. Simon Wössner 1), Eike Budde 1), Dr.-Ing. Jan de Boer 1), Dipl.-Ing. Daniel Witzel 2), Dipl.-Inf. Marco Seegers 2) 1) Fraunhofer-Institut für Bauphysik, Stuttgart, 2) DIAL GmbH, Lüdenscheid

Problemstellung und Forschungsfragen

Im Bereich der Lichttechnik von Fassaden und Dachoberlichtern herrscht bis heute Planungsunsicherheit. Es fehlt eine geeignete Beratungssoftware mit darauf abgestimmten Systemdaten. Dies kann zu planerischen Fehlentscheidungen führen. Mit einem von der Deutschen Bundesstiftung Umwelt (DBU) geförderten Verbund-Forschungsvorhaben von Fraunhofer IBP, DIAL, Hochschule Rosenheim, Rateg Licht und zahlreichen Herstellern von Fassadensystemen und Dachoberlichtern wird Planern die Möglichkeit gegeben, die Tageslichtnutzung über lichtdurchlässige Fassadensysteme (Sonnen- und Blendschutzsysteme, Lichtlenkgläser) physikalisch richtig und einfach anwendbar zu planen.

Stand der Wissenschaft/Technik

Es gibt bereits Ansätze zur Beschreibung der Systemdaten, Berechnungsmodule für die Bewertung des Tageslichteintrags durch einzelne Schichten sowie am Markt erhältliche Lichtplanungsprogramme, die jedoch den Bereich Tageslicht bislang eher spärlich berücksichtigen. Diese Teile sind nicht aufeinander abgestimmt und es gibt keinen durchgängigen Prozess, der es Anwendern mit konkreten Herstellerdaten möglich macht Fassaden tageslichttechnisch und zudem zusammen mit Kunstlicht zu planen. Dadurch werden Potentiale der Fassadentechnik nicht im möglichen Umfang genutzt.

Forschungshypothesen

Es benötigt aufeinander abgestimmte Komponenten (Messdaten, Berechnungsbibliothek, Oberfläche mit geeigneten Ausgabemöglichkeiten), um Qualitative und quantitative tageslichttechnische Fassadenplanung in der Praxis überhaupt zu ermöglichen.

Versuchsaufbau

Fassadensysteme und Dachoberlichter werden in einem weiterentwickelten Goniophotometer lichttechnisch korrekt vermessen. Auf den Messdaten aufsetzende Algorithmen ermöglichen Kombinationen von verschiedenen Schichten (Glas oder Verschattungssystem) und Berechnung des Tageslichts in Menge und Richtung im Innenraum. Diese Daten bilden auch die Grundlage für die Erstellung von elektronischen Produktkatalogen, in denen Hersteller Ihre Fassadensysteme oder Dachoberlichter mit den relevanten technischen und marketingbezogenen Informationen für den Planer hinterlegen können.

Ergebnisse im Vergleich mit bisherigen Ergebnissen

Planer erhalten so die Möglichkeit, einfach aber korrekt die Tageslichtplanung im Lichtplanungsprozess zu integrieren. Hersteller erhalten die Gelegenheit, die Vorteile ihrer Produkte dem Kunden deutlich zu machen.

Qualitative and quantitative design of facades with complex fenestration systems

Dipl.-Ing. Simon Wössner, Eike Budde *, Dr.-Ing. Jan de Boer *, Dipl.-Ing. Daniel Witzel**, Dipl.-Inf. Marco Seegers * - * Fraunhofer-Institut für Bauphysik, Stuttgart, **DIAL GmbH, Lüdenscheid*

Research issues

Regarding light technology issues relating to facades/ CFS and rooflights, the current situation is still marked by significant uncertainty in planning. Due to the lack of reliable consultancy software and adapted system data, this situation may cause mistakes in planning. Thanks to a *DBU (German Federal Environmental Foundation)* funded joint research project conducted by *Fraunhofer IBP, DIAL, Hochschule Rosenheim, Rateg Licht* and many manufacturers of facade systems and rooflights, planners will now be given the opportunity to design the use of daylight through transparent facade systems (shading and glare protection systems, light-redirecting glazing) in a physically correct and easily applicable manner.

State of science/ technology

It is true that approaches to describe system data have been available for some time, just like calculation modules for assessing the amount of daylight entering a building through individual layers, along with customary light planning software, but these programmes do not take sufficient account of daylighting. These components are however not coordinated and there is no consistent process, which enables users to design the daylight performance of facades based on concrete manufacturers' data in conjunction with artificial lighting. As a consequence, potential options of facade technology are not tapped to the full extent.

Research hypothesis

It takes coordinated components (measured data, calculation library, interface with appropriate output options) to provide a practical basis for qualitative and quantitative daylight planning of complex fenestration systems.

Experimental setup

The optical properties of facade systems and rooflights will be correctly measured in an advanced goniophotometer. Algorithms based on the measured data allow comparing combinations of different layers (glazing or shading system) and calculating daylight incidence (amount and direction) in interior spaces. This data will also establish the basis for compiling electronic product catalogues, in which manufacturers will provide planners with relevant technical and marketing-related information about their facade systems or rooflights.

Results in comparison with previous findings

In this way, planners are given the opportunity to integrate daylight planning into the process of lighting planning in a simple but correct manner. Manufacturers will benefit from the opportunity to demonstrate their products' advantages to customers.

Qualitative und quantitative tageslichttechnische Fassadenplanung

Dipl.-Ing. Simon Wössner*, Eike Budde *, Dr.-Ing. Jan de Boer *, Dipl.-Ing. Daniel Witzel**,
Dipl.-Inf. Marco Seegers * - * Fraunhofer-Institut für Bauphysik, Stuttgart, **DIAL GmbH,
Lüdenscheid

Zusammenfassung

Im Bereich von Fassaden und Dachoberlichtern herrschte bezüglich deren tageslichttechnischen Auswirkungen auf das Gebäude lange Zeit Planungsunsicherheit. Fehlende Systemdaten und darauf abgestimmte Planungs- und Beratungssoftware führten zu planerischen Fehlentscheidungen und Potentiale der Fassadentechnik werden nicht im möglichen Umfang genutzt. Nun wird Planern die Möglichkeit gegeben werden, die Tageslichtnutzung über lichtdurchlässige Fassadensysteme physikalisch richtig und einfach anwendbar mit Hilfe der Software DIALux evo zu planen. Basierend auf den Ergebnissen der Tageslichtplanung kann eine ergänzende Kunstlichtplanung durchgeführt werden, die energetisch optimal auf die vorhandene Architektur abgestimmt ist.

1 Einleitung

Die wesentliche regenerative Energiequelle zur Senkung der Energieverbräuche für Beleuchtung stellt das Tageslicht dar. Weltweit entfallen circa 19 % des gesamten Stromverbrauchs auf den Betrieb von Beleuchtungsanlagen. Im Gebäudebereich, der sich in Deutschland für ca. 40 % des Gesamtenergieverbrauchs verantwortlich zeichnet, kann die Beleuchtung bei Nichtwohnbauten ohne weiteres 30 % des Primärenergiebedarfs von Gebäuden ausmachen. Der Fassadentechnik kommt hierbei hinsichtlich einer gesamtenergetisch effizienten und biologisch wirksamen Lichtversorgung von Innenräumen eine maßgebliche Bedeutung zu. Im Bereich der Lichttechnik von Fassaden herrschte allerdings lange Zeit Planungsunsicherheit. Es fehlen Fassadensystemdaten und geeignete Beratungssoftware. Dies führt zu planerischen Fehlentscheidungen. Potentiale der Fassadentechnik werden nicht genutzt. Ein von der Deutschen Bundesstiftung Umwelt (DBU) geförderter Verbund-Forschungsvorhaben von Fraunhofer IBP, DIAL, Hochschule Rosenheim, Ratec Licht in Zusammenarbeit mit sechs Herstellern von Fassadensystemen und Dachoberlichtern setzte, wie in Abbildung 1 dargestellt, hier an.

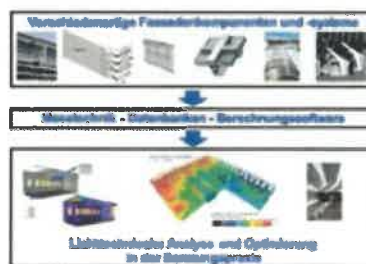


Abb. 1: Durch entsprechende Messtechnik, Datenbanken und Berechnungssoftware werden lichtdurchlässige Fassadensysteme bewertbar.

Für die Planerschaft werden kostenfreie, einfache - aber umfassende - Berechnungs- und damit Analyse- und Optimierungsmöglichkeiten für die objektbezogene Fassadenplanung zur Verfügung gestellt. Die drei unterschiedlichen Forschungs- und Entwicklungsschwerpunkte Messtechnik, Algorithmik und Workflows & Bedienkonzepte werden hierzu in einem neuartigen Planungsprozess für Fassaden integriert.

Konkret wurden die Projektschwerpunkte in der Erhebung von Systemdaten, der Entwicklung von Berechnungsalgorithmen inklusive offener Datenstrukturen und Integration derselben in die frei verfügbare Lichtplanungssoftware DIALux EVO mit einer weltweiten Verbreitung von etwa 500.000 Anwendern, der Modellierung und Implementation planungspraktischer Workflows, der Entwicklung von Datenbankkomponenten und Datenmanagementtools sowie der Validierung und Qualitätssicherung gelegt. Am Markt wird durch das Projekt Vergleichbarkeit unterschiedlicher Fassadenlösungen geschaffen. Dadurch, dass Hersteller Ihre Produkte besser verstehen lernen, ist zu erwarten, dass weitere Innovationen in der Fassadentechnik durch das Projekt angestoßen werden. Im Planungsmarkt kann es zu einer wahrnehmbaren Differenzierung unterschiedlicher planerischer Lösungen und Qualitäten kommen. Besonders im Lichte der Energiewende kann das mittels einer innovativen tageslichttechnischen Fassadenplanung erschließbare Effizienzpotential als ein signifikanter Baustein für ein nachhaltiges Energiekonzept und eine signifikante Entlastung der Umwelt genutzt werden.

2 Messtechnik

Es wurde eine umfangreiche, planungspraktisch relevante Sammlung an Systemdatensätzen erstellt. Um umfangreich, zeiteffizient und kostengünstig messen zu können, wurde zunächst ein am Fraunhofer IBP bestehendes Messverfahren inklusive bestehender Messeinrichtung (de Boer et al., 2010) erweitert. Die Anlage, vgl. Abbildung 2, kann nun orts aufgelöst sowohl die Transmission als auch die Reflexion von Fassadenkomponenten aufzeichnen (Streuintensitäten des Leuchtdichtkoeffizienten, auch als BRTDF bezeichnet).

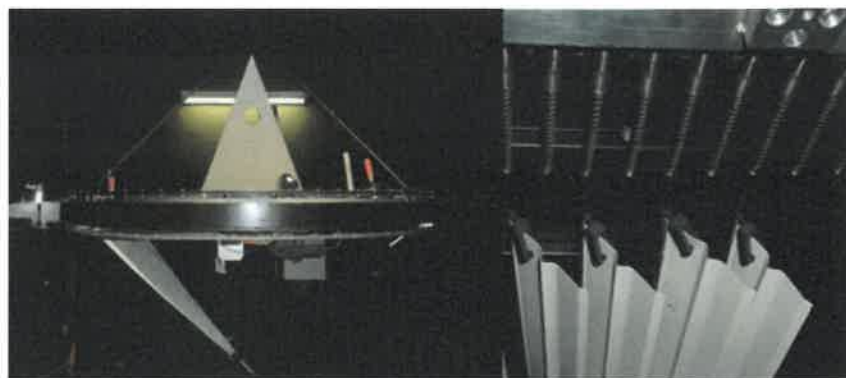


Abb. 2: Fotografische Aufnahme des Goniophotometers und Positioniereinrichtung für drehbare Lamellenraffstore.

Die bisher nur monochromatisch aufzeichnende Messeinrichtung wurde um ortsauflösende Farbmessetechnik und $c(\lambda)$ (circadiane Wirkungskurve) Gewichtung der Spektren erweitert. Somit können z. B. auch farbige Verglasungs- und Sonnenschutzsysteme in ihrer spektralen Wirkung evaluiert werden. Dies ist in der architektonischen Bewertung der Fassadengestalt von hoher Bedeutung. Durch die $c(\lambda)$ gewichtete Messung können Fassadensysteme zukünftig besser in ihrer Wirkung auf den circadianen Rhythmus des Menschen in Gebäude bewertet werden. Um aufwendige Umrüstvorgänge, z. B. bei unterschiedlichen Winkelstellungen der Lamellen von Raffstoren, zu vermeiden, wurde eine Positioniereinrichtung entwickelt. Mittels der automatisierten Messanlage wurden über 30 Proben marktrepräsentativer Komponenten und Systeme der am Projekt beteiligten Unternehmen vermessen. Hierbei kommt ein neu entwickeltes, XML-basiertes Datenformat zum Einsatz, das neben den photometrischen Daten (Aydinli et al., 1999). weitere für die Simulation relevante Informationen, wie erforderliche Einbaueinrichtung (z. B. bei speziellen Sonnenschutzrastern) und Steuerkennlinien (z. B. Cut-off Steuerung bei Lamellenraffstoren) enthält. Das Format kann als Analogie zu dem für Leuchten genutzten eulumdat-Format verstanden werden.



Abb. 3: Auszug einer Beispieldatei auf Basis des neuen XML-Datenformats zur Systembeschreibung

3 Algorithmik

Die Lichtausbreitung von außen durch die Fassadensysteme ins Gebäudeinnere wird durch neu- und weiterentwickelte Algorithmen berechnet. Zum einen kommt ein fassadentechnischer Algorithmus zum Einsatz, der die Lichtstärkeverteilung (LVK) eines Fassadensystems unter den objektspezifischen speziellen Einstrahlbedingungen ermittelt. Hierzu wurde ein bestehendes Verfahren (de Boer, 2006) dahingehend erweitert, dass unterschiedliche Kombinationen von Verglasungen und Sonnenschutz spektral bzgl. ihrer Transmission als auch Reflexion berechnet werden können. Zum anderen wurde die Software DIALux Evo zur Berechnung der Lichtausbreitung in beliebigen Gebäudestrukturen um die erforderlichen Funktionen für die Nutzung der o. g. LVKs und erforderliche Funktionen zur fotorealistischen Darstellung der Fassadensysteme erweitert. Der Ansatz ist in den Abbildungen 4 illustriert.

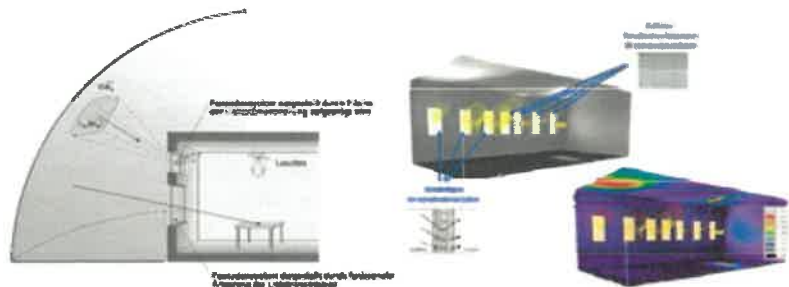


Abb. 4: Prinzipielle Darstellung der Errechnung der Raumbelichtungsverhältnisse mit Hilfe der Modellierung von Leuchten und Fassaden durch Lichtstärkeverteilungen.

4 Workflows und Bedienkonzepte

Ziel der Anwendung ist die Planung mit Systemdatensätzen ohne deutlichen Mehraufwand gegenüber der Kunstlichtplanung und bisherigen Tageslichtsimulationen. Dazu bedarf es einer einfachen und in den bekannten Planungsprozess integrierten Nutzerführung. Für eine schrittweise Planung bietet DIALux evo (DIALux, 2016) ein solches System, welches sich in der Kunstlichtplanung bereits bewährt hat. Dabei werden dem Anwender in jedem Planungsschritt passende Werkzeuge und Hilfsmittel zur Verfügung gestellt. So werden die Tageslichtplanung und die Simulation von tageslichtlenkenden und tageslichtverschattenden Systemen integraler Bestandteil der Lichtplanung. Die Planung der Fassadenelemente und die Eingabe der notwendigen Parameter erfolgt im Modus Konstruktion. Die tageslichtrelevanten Informationen zu Ort und Nordausrichtung werden zusammen mit dem Gelände definiert. Die Fassadenelemente selbst finden sich an Gebäudeöffnungen wie Fenster und Oberlichter. Zur Auswahl der Elemente dient das schon bei der Leuchtenauswahl verwendete und dem Planer bekannte Katalogsystem. Das für die Berechnung notwendige Himmelsmodell sowie Datum und Uhrzeit können an den Lichtszenen unter Berechnung definiert werden, so dass Simulationen an verschiedenen Tagen und Uhrzeiten planbar sind. Die Berechnung selbst erfolgt zusammen mit dem Kunstlicht, kann aber voneinander getrennt evaluiert werden. Der Anwender findet Produktdatenblätter der verwendeten Fassadenelemente mit marketingrelevanten Informationen sowie lichttechnische Ergebnisse und Diagramme. Die Abbildungen 5 illustriert das Bedienkonzept.



Abb. 5: Integration der Tageslichtfunktionalität in DIALux evo und Prototyp eines elektronischen Kataloges.

5 Validierung, Qualitätssicherung

Die Validierung wurde sowohl für die einzelnen Komponenten als auch für das Gesamtsystem durchgeführt. Bei der Validierung der einzelnen Komponenten wurden sowohl die Messeinrichtung als auch der Algorithmus separat verifiziert und validiert. Für die gesamte Berechnungsfunktionalität wurde zunächst der Fassadentechnische Algorithmus validiert. Abschließend wurde die Berechnung der Lichtausbreitung in Gebäudestrukturen überprüft. Folgende Vorgehensweise wurde gewählt:

- analytische Testfälle
- Plausibilisierungen
- Vergleich mit bereits validierten Referenzfällen -> Grenzfälle (idealer Diffusor, Glas)
- veröffentlichte internationale Validierungsfälle für lichttechnische Software.

Zur Validierung der Lichtausbreitung im Inneren von Gebäuden wird auf ein bereits normiertes Verfahren zurückgegriffen. Dieses ist im "CIE Report 171:2006 Test Cases to Assess the Accuracy of Lighting Computer Programs" beschrieben. Auch, wenn es nicht direkt lichtlenkende Fassadenelemente adressiert, kann anhand der beiden Grenzfälle (Diffusor, offene Fassadenöffnung: Lochblende) sehr gut die Funktionstüchtigkeit der Implementierung geprüft werden. Die CIE 171-2006 stellt zu einfachen Testszenen mit Tageslicht Sollergebnisse bereit.

Folgende Testfälle konnten zum Test des Verfahrens genutzt werden:

- Testfall 5.3: bedeckter Himmel mit 1 m x 1 m Oberlicht in einem 4 m x 4 m x 3 m Raum, diffuser Messdatensatz als Referenzberechnung.
- Testfälle 5.9: bedeckter Himmel / klarer Himmel mit Oberlichtern in einem 4 m x 4 m x 3 m Raum.
- Testfälle 5.11: bedeckter Himmel / klarer Himmel mit Fenstern in einem 4 m x 4 m x 3 m Raum.

Diese Testräume wurden in DIALux evo nachgebaut, berechnet und mit den Sollwerten der CIE 171-2006 in verglichen. Die Definition und Berechnung für den CIE Testfall 5.11, Fenster 2 m x 1 m sind in Abbildung 6 und Tabelle 1 zu sehen.

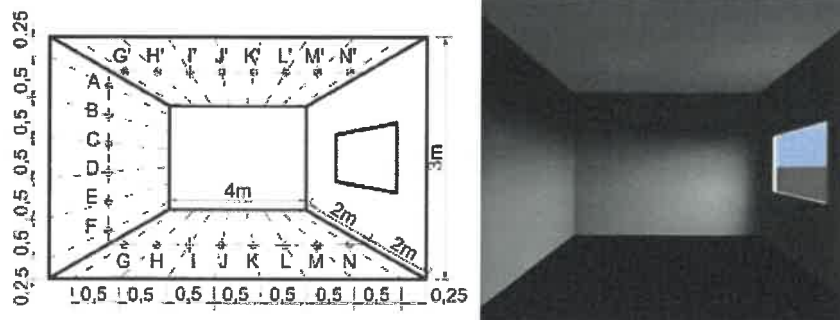


Abb. 6: Referenzwerte für den CIE Testfall 5.11, Fenster 2 m x 1 m aus (Klems, 1993) angegebenen Referenzwerten und Darstellung in DIALux EVO.

Tab. 1: mittlere relative Abweichung gegenüber den CIE-Testfällen auf gegebenen Berechnungspunkten

Testfall	Abweichung [%] bedeckter Himmel
CIE 171-2006 5.9, Oberlicht 1 m x 1 m	1,18
CIE 171-2006 5.9, Oberlicht 4 m x 4 m	0,93
CIE 171-2006 5.11, Fenster 2 m x 1 m	1,16
CIE 171-2006 5.11, Fenster 4 m x 3 m	1,19

Ausblick

Die Software DIALux EVO ist seit Frühjahr 2016 mit der Tageslichtfunktionalität verfügbar. Über die dargestellten Funktionalitäten hinausgehend ist geplant, weitere für die Tageslichtplanung erforderliche und wünschenswerte Funktionen zu implementieren. Dies umfasst die detaillierte Simulation des Außenraums, den Vergleich alternativer Tageslichtlösungen, den sukzessiven weiteren Ausbau der Darstellungs- und Ausgabefunktionalität, Jahressimulationsverfahren und eine weitere Verfeinerung der Systemvisualisierung.

Des Weiteren ist geplant, den Datenbestand von Fassadenkomponenten und –systemen weiter auszubauen. Hersteller sind eingeladen, ihre System und Lösungen in das Softwaresystem zu integrieren.

6 Literatur

Aydinli, S.; Kaase, H.: Measurement of Luminous Characteristics of Daylighting Materials. A Report of IEA SHCP TASK 21 / ECBCS ANNEX 29, Technical University of Berlin (1999).

de Boer, J.: Modelling Indoor Illumination by Complex Fenestration Systems Based on Bidirectional Photometric Data. Energy and Buildings 38 (2006), H. 7, S. 849-868.

de Boer, J.; Panhans, B.; Stößel, F.: Neue lichttechnische Bewertungsmöglichkeiten von Fassadensystemen: Das IBP-Photogoniometer. IBP-Mitteilung 499/2010.

DIALux, Lichtplanungssoftware. Deutsches Institut für angewandte Lichttechnik GmbH, DIAL, www.dial.de

Klems, J. H.: A New Method for Predicting the Solar Heat Gain of Complex Fenestration Systems: 1, Overview and Derivation of the Matrix Layer Calculation. N. p.,