

Integrale Planung ganzheitlicher Lösungen für Tageslicht, Kunstlicht und Lichtsteuerung: Hürden, aktuelle Möglichkeiten und Empfehlungen

Dr. David Geisler-Moroder¹, Mag. Wilfried Pohl¹

*¹ Bartenbach GmbH, Forschung und Entwicklung,
Rinner Straße 14, 6071 Aldrans, Österreich*

Kurzfassung

Im Rahmen des IEA SHC Task 61 / EBC Annex 77 „Integrated Solutions for Daylighting and Electric Lighting“ arbeitet eine Gruppe internationaler Experten daran, relevante Informationen zu sammeln, offene Fragestellungen zu extrahieren und Empfehlungen basierend auf dem Stand der Wissenschaft auszuarbeiten. Für die Leitung des Subtask C „Design support for practitioners - Tools, Standards, Guidelines“ zeichnet dabei Bartenbach verantwortlich. In Anlehnung an exemplarische Projekte wurden hier typische Planungsprozesse aus Diskussionen mit Anwendern extrahiert und analysiert. Dabei wurden sowohl die Abläufe („Design Workflows“) betrachtet, als auch die in den einzelnen Schritten verwendeten Methoden und Simulationsprogramme („Design Tools“). Die Workflows und Softwarelösungen wurden gegenübergestellt und umfangreich dokumentiert, um Planenden eine Entscheidungshilfe für die Auswahl der angewandten Methoden zu geben.

Das Problem der Integration von Tageslichtsystemen in Lichtplanungswerkzeugen ist wesentlich auf die fehlende Standardisierung der Charakterisierung solcher Systeme zurückzuführen. Nur mit einem einheitlichen Schema zur Abbildung von Tageslichtsystemen über sogenannte BSDFs (bidirektionale Streuvertiefungsfunktionen) werden Auswertungen wie etwa die in der EN17037 geforderte räumliche Tageslichtautonomie in Zukunft mit Lichtplanungssoftware möglich. Im IEA Task wurden dazu bestehende Charakterisierungsverfahren für Fassadensysteme dokumentiert und verglichen. Anwendungsabhängige Anforderungen (Energiebedarf, Beleuchtungsstärke, Sehkomfort / Blendungsbegrenzung) an BPDF-Daten wurden analysiert und notwendige BPDF-Auflösungen für verschiedene Klassen von Fassadensystem-Typologien definiert. Damit konnte ein erster Schritt für die Normierung der BPDF-Tageslichtsystemcharakterisierung vorbereitet werden.

1 Einführung

Ausreichende und qualitativ hochwertige Tagesbelichtung in Gebäuden ist in Bauordnungen, Normen, Zertifizierungsschemata und Nachhaltigkeitszertifikaten mit unterschiedlichen Anforderungen verankert. Allein die neue, seit 2019 europaweit gültige und ob ihrer Komplexität viel und kontroversiell diskutierte Norm EN17037 stellt Architekten, Bauherren und Lichtplaner vor offene Fragen. Natürliches und richtig eingesetztes Tageslicht trägt wesentlich zur Energieeffizienz eines Gebäudes und zum Wohlbefinden der Nutzer bei. Häufig wird das Thema Tageslicht auf den Sonnenschutz reduziert, wobei intelligente Tageslichtnutzung

in Wirklichkeit weit mehr umfasst. Nur mit einer integralen Betrachtungsweise gemeinsam mit dem Kunstlicht und einer übergeordneten Steuerung beider Gewerke kann das volle Potenzial ausgeschöpft und Tageslicht als gesunde und erneuerbare Energiequelle für das Gebäude und seine Nutzer genutzt werden. In der Praxis, insbesondere in der Planung integraler Lösungen für Tageslicht, Kunstlicht und Lichtsteuerung, ist eine professionelle Umsetzung immer noch eine Herausforderung. Zwei der wesentlichen Hürden sind: (i) gängige Licht- und Gebäudeplanungssoftware kann solche Lösungen nicht abbilden und (ii) sowohl komplexe als auch konventionelle Tageslichtsysteme sind schwer mit einfachen, charakteristischen Kennzahlen zu beschreiben und damit zu vergleichen. Beide Themen wurden im Rahmen des Subtask C des IEA SHC Task 61 / EBC Annex 77 aufgegriffen und bearbeitet.

2 Workflows und Software für die integrale Planung ganzheitlicher Lösungen für Tageslicht, Kunstlicht und Lichtsteuerung

Bei der Planung integraler Lösungen für Tageslicht, Kunstlicht und Lichtsteuerung verwenden Praktiker eine Vielzahl unterschiedlicher Arbeitsabläufe, Methoden und Werkzeuge. Lichtplanungsprojekte decken eine Vielzahl von Anwendungen mit unterschiedlichen Anforderungen sowie Projekttypen und -größen ab.

Im Rahmen des IEA SHC Task 61 / EBC Annex 77 untersuchten die Task-Teilnehmer in dem von Bartenbach geleiteten Subtask C "Design Support for Practitioners - Tools, Standards, Guidelines" in der Praxis angewandte Arbeitsabläufe in einem dreistufigen Prozess:

- Zunächst wurden drei Gebäude mit integraler Beleuchtungslösungen ausgewählt und analysiert. Die Gebäude befinden sich in Österreich, Deutschland und China und beschreiben den neuesten Stand der Technik im Bereich der Beleuchtung.
- Im zweiten Schritt wurden auf der Grundlage dieser Projekte typische Arbeitsabläufe für den Planungsprozess gesammelt und diskutiert.
- Abschließend wurde ein Überblick über die Möglichkeiten, Stärken, Schwächen und Barrieren des Standes der Technik im Bereich der Computersimulation für Beleuchtung erstellt, da alle beschriebenen Arbeitsabläufe Software-Tools zur Unterstützung des Planungs- und Entwurfsprozesses einsetzen. Diese Analyse umfasst auch einen tabellarischen Vergleich der Hauptmerkmale relevanter und weit verbreiteter Software-Werkzeuge.

Die Auswertung von Planungsabläufen zur Gestaltung integraler Lösungen für Tageslicht, elektrische Beleuchtung und Lichtsteuerung zeigt ein breites Spektrum an Ansätzen und wurde in einem Bericht zusammengefasst (vgl. /1/). Sie spiegelt auch die Vielfalt und die Unterschiede in realen Lichtplanungsprojekten wider, wie sie in den drei exemplarischen Büroprojekten in Österreich, China und Deutschland dargestellt werden. Die beschriebenen Arbeitsabläufe können als „Best Practice“-Planungsprozesse gesehen werden. Insgesamt bieten sie einen Werkzeugkasten an Optionen und Arbeitsschritten, aus dem man wählen und einen spezifischen Arbeitsablauf für ein Projekt zusammenstellen kann. Die untersuchten Lichtplanungstools bieten die Möglichkeit für jedes einzelne der untersuchten Kriterien. Allerdings deckte keine Software alle relevanten Aspekte gleichzeitig ab. Ähnlich wie die

Workflows sind auch die Tools für bestimmte Anwendungen mit speziellen Schwerpunkten konzipiert. Zum Beispiel sind einige hauptsächlich für die Tageslichtanalyse entwickelt, während sich andere auf die Kunstlichtplanung oder die BIM-Funktionalität (Building Information Modeling) fokussieren. Allgemein kann man festhalten, dass grundlegende Funktionen, wie die Berechnung der Beleuchtungsstärke, von allen Tools abgedeckt werden. Auf der anderen Seite sind Datenbanken für Leuchten oder Tageslichtsysteme, Blendungsbewertung und die Funktionalität zur Nutzung von BSDF-Daten für Tageslichtsysteme nur in ausgewählten Softwarepaketen verfügbar. Und der relativ neue Bereich der nicht-visuellen Lichtwirkungen ist in den Software-Systemen kaum abgedeckt. Hierfür gibt es zwar spezielle Tools, die aber im Rahmen des Tasks nicht berücksichtigt wurden, da sie in Funktionalität zur Bewertung integraler Lösungen für Tageslicht, Kunstlicht und Lichtsteuerung beschränkt sind.

2.1 Exemplarisches Planungsprojekt

Als eines der drei exemplarischen Planungsprojekte für integrale Tages- und Kunstlichtplanung wurde das F&E-Büro von Bartenbach ausgewählt. Das Gebäude ist ein eingeschossiger Bau in Aldrans in der Nähe von Innsbruck, Österreich. Das Gebäude hat eine nach Süden ausgerichtete, verglaste Fassade sowie nach Norden ausgerichtete Oberlichter. Das Büro wurde in den letzten 15 Jahren als Testumgebung für verschiedene Kunstlicht- und Tageslichtsysteme genutzt. Im Jahr 2015 wurde das Gebäude saniert, um einen hochmodernen Büroraum mit einer integralen Tages- und Kunstlichtsteuerung, einer dynamischen und biologisch aktiven elektrischen Beleuchtung und einer innovativen Tageslichtlösung zu schaffen. Aktuell wird es als „Living Lab“ genutzt um laufend neue Innovationen im Beleuchtungsbereich zu testen (vgl. auch /2/).

Dieses neu renovierte Gebäude bietet ein gutes Beispiel, um den aktuellen Stand der Technik in der integralen Lichtplanung sowie das Potenzial verschiedener Simulationswerkzeuge zu analysieren.



Abbildung 1: Bartenbach F&E Gebäude in Aldrans, Österreich: Außenansicht (links), Innenraum (rechts).

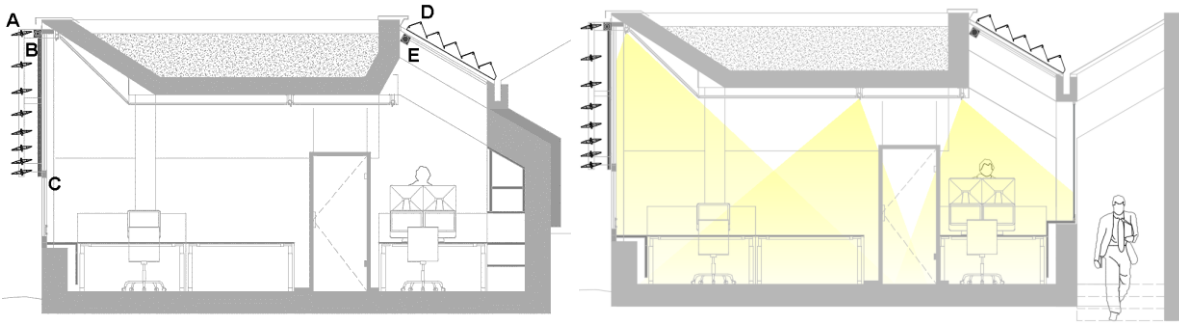


Abbildung 2: Tageslichtsysteme im Bartenbach F&E Gebäude (links) und Kunstlichtkonzept (rechts).

An der Südfassade und am nordseitigen Oberlicht sind unterschiedliche Tageslichtlösungen installiert. Dabei wird jeweils ein statisches System mit beweglichen Systemen kombiniert, um sowohl Sonnen- und Blendschutz als auch eine hohe Tageslichtversorgung zu gewährleisten. Folgende Lösungen sind hier integriert:

- Außenliegende Großlamellen (A),
- Außenliegende Vertikalmarkise (B),
- Innenliegender Blendschutzscreen im Sichtbereich (C),
- Außenliegende, fixe Verschattung (D), und
- Innenliegender Blendschutzscreen (E).

Die Tageslichtlösung bietet eine hohe Tageslichtverfügbarkeit und -gleichmäßigkeit sowohl bei bedecktem als auch bei sonnigem Himmel. Mit bis zu 2500lx horizontaler und 1200lx vertikaler Beleuchtungsstärke an den Arbeitsplätzen ermöglicht sie tatsächlich „Human Centric Lighting“ (HCL) – eine biologisch aktive Beleuchtung durch intelligente Nutzung des Tageslichts. Die Sonnen- und Blendschutzsysteme sorgen für ein angenehmes und blendfreies visuelles Umfeld.

Das Kunstlichtsystem mit Freiformflächenreflektoren wurde von Bartenbach entwickelt und realisiert alle Anforderungen eines HCL-Systems. Die deckenintegrierten LED-Leuchten enthalten in jedem einzelnen Reflektor zwei Lichtfarben und ermöglichen so eine sehr homogene Lichtmischung direkt aus der Leuchte.

Die Highlights der Kunstlichtlösung sind:

- Architekturintegrierte LED-Leuchten
- Installierte Leistung von nur 7,1 W/m²
- Jährlicher Stromverbrauch für das Kunstlicht nur 5,1kWh/m²a
- Variable Farbtemperatur zwischen 2200K und 5000K
- Hochdynamische und biologisch aktive Beleuchtung
- Bis zu 1200lx horizontale Beleuchtungsstärke in jeder Farbtemperatur möglich
- Tageslicht- und belegungsabhängige Steuerung

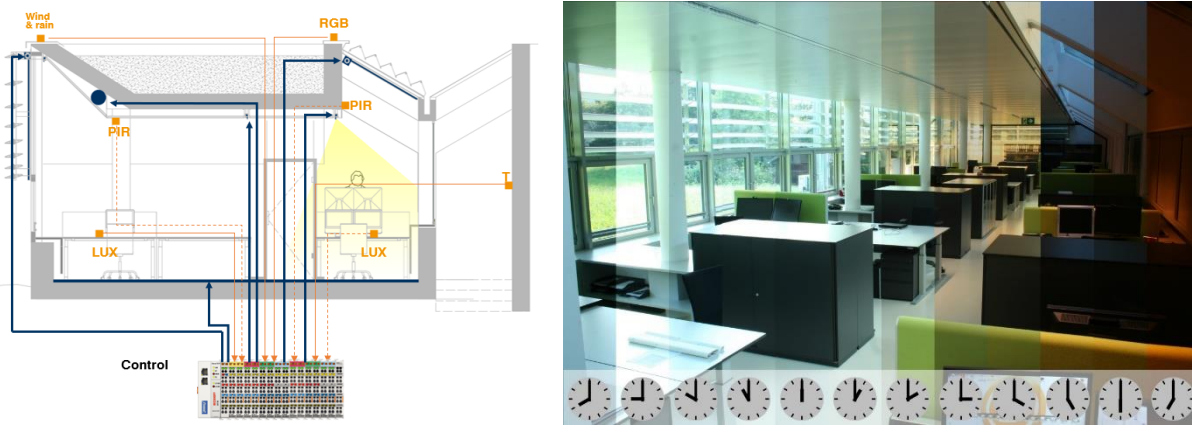


Abbildung 3: Steuerungsschema (links) und exemplarischer Tagesablauf (rechts).

Die Kernpunkte der integralen Lichtsteuerung lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- Tageslichtabhängige Kunstlichtsteuerung
- Farbtemperatursteuerung in Abhängigkeit von Zeit und Tageslichtverhältnissen
- Automatisierte Steuerung des Sonnen- und Blendschutzes in Abhängigkeit der Außenbedingungen
- Innensensoren für Beleuchtungsstärke, Anwesenheit und Temperatur am Arbeitsplatz sowie Außensensoren für Beleuchtungsstärke, Windgeschwindigkeit und Temperatur
- Integrale Steuerung für Tageslicht, Kunstlicht, Heizung und Lüftung

2.2 Analyse von Design Workflows

Anhand der exemplarischen Planungsprojekte wurden im Task verschiedene Ansätze für Planungsabläufe für integrale Kunst- und Tageslichtlösungen untersucht. Diese Analyse stärkt das Verständnis für die einzelnen Schritte im Planungsprozess, präsentiert die eingesetzten Tools und zeigt die Bereiche auf, in denen die Software noch Schwächen bzw. Unvollständigkeiten aufweist. Folgende Design Workflows konnten gesammelt und dokumentiert werden:

Planungsabläufe in Planungsbüros

- Allgemeines Systemdesign – Arbeitsablauf bei DIAL
- Design im Arbeitsalltag – der DIAL „Heavy User“
- Arbeitsablauf der Lichtplanung bei Bartenbach
- Design-Workflow bei Inform-Design
- Die Rolle der Simulationsengine Fener im Planungsworkflow von Fassadensystemen (Fraunhofer ISE)
- Workflow für Lichtplanungsprojekte bei Norconsult, Norwegen
- Arbeitsablauf der Planung bei Estia

Standardisierte Planungsabläufe

- ISO 16817: Designprozess für die visuelle Umgebung
- LiTG Leistungsbilder Lichtplanung

2.3 Verfügbare Softwarelösungen

Anhand der exemplarischen Planungsprojekte wurden in weiterer Folge Softwaretools analysiert und gegenübergestellt, die in den Design Workflows für integrale Kunst- und Tageslichtlösungen eingesetzt werden. Diese Analyse zeigt das Potenzial und die Eigenschaften der verschiedenen Werkzeuge auf und beschreibt Bereiche, in denen zusätzliche Funktionen oder Ergänzungen für Planer hilfreich wären.

	Applies to Software + = yes, o = partly, -- = no											Remarks / explanations	
	AGI32	ElumTools	DALEC	DIALux	DIAL+	DIVA-for-Rhino	FENER	GB SWARE Dali	Ladybug / Honeybee	PKPM	Radiance		RELUX
ALGORITHMS / ENGINES													
Ray tracing	o ¹	o ²	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	1,2: post radiosity process for visualization only
Photon mapping	--	--	--	+	--	o ⁶	--	--	--	--	+	--	6: limited photon mapping capabilities for renderings
Radiosity	+	+	--	--	--	--	--	--	--	--	--	+	
Radiance kernel	--	--	+	--	+	+	+	+	+	+	+	+	
3 Phase Method	--	--	+	--	+	--	+	--	+	--	+	--	
5 Phase Method	--	--	--	--	--	--	--	--	o ⁹	--	+	--	9: limited capabilities through Honeybee Plus
Daylight Coefficient Method	--	--	+	--	--	+	--	+	+	+	+	--	
Spectral calculations	--	--	--	o ⁴	--	--	--	--	--	--	o ¹¹	o ¹²	4,12: light source spectrum is taken into account but reduced to RGB during calculation 11: RGB calculations; more channels possible with post processing

Abbildung 4: Auszug aus dem Vergleich der Softwarelösungen

2.4 Fazit zu Workflows und Software

Die Auswertung der Planungsabläufe für den Entwurf integraler Lösungen für Tageslicht, Kunstlicht und Lichtsteuerung zeigt ein breites Spektrum an Ansätzen. Dies spiegelt auch die Vielfalt und Unterschiede in realen Lichtplanungsprojekten wider. Die beschriebenen Arbeitsabläufe können somit als Planungsprozesse verstanden werden, die „Best Practice“-Beispiele darstellen. Alles in allem bieten sie einen Werkzeugkasten von Möglichkeiten und Arbeitsschritten, aus denen man wählen und einen spezifischen Arbeitsablauf für das jeweilige Projekt und seine Anforderungen zusammenstellen kann.

In der Summe bieten die untersuchten Lichtplanungs-Tools die Möglichkeit jeden Aspekt abzudecken. Allerdings konnte keine Software alleine alle Teile abdecken. Ähnlich wie die Workflows sind auch die Tools für bestimmte Anwendungen mit speziellen Schwerpunkten konzipiert. Einige wurden zum Beispiel hauptsächlich für Tageslichtanalysen entwickelt, wäh-

rend sich andere stark auf die Kunstlichtplanung oder BIM-Funktionalität konzentrieren. Allgemein kann man festhalten, dass grundlegende Funktionen wie die Berechnung der Beleuchtungsstärke von allen Tools abgedeckt werden. Auf der anderen Seite sind Datenbanken entweder für Leuchten oder Tageslichtsysteme, Blendungsauswertungen und auch die Funktionalität, BSDF-Daten für Tageslichtsysteme zu verwenden, nur in ausgewählten Tools verfügbar. Auch der relativ neue Bereich der nicht-visuellen Wirkungen der Beleuchtung wird in den Softwaresystemen kaum abgedeckt. Für diese Auswertungen stehen spezielle Tools wie ALFA oder LARK zur Verfügung. Da sie jedoch in ihrer Funktionalität eingeschränkt sind, um integrierte Lösungen für Tageslicht, elektrische Beleuchtung und Steuerung zu bewerten, was das Kernthema des IEA SHC Task 61 / EBC Annex 77 darstellt, wurden sie in der Analyse nicht berücksichtigt.

3 Charakterisierung von Tageslichtsystemen durch BSDF Daten

Die Experten des IEA SHC Task 61 / EBC Annex 77 erarbeiteten ein „White Paper“ zur Charakterisierung von Tageslichtsystemen durch BSDF Daten (vgl. /3/). Es fasst den aktuellen Stand der Technik auf dem Gebiet der Messung und Simulation zur Charakterisierung von Tageslichtsystemen durch bidirektionale Streuverteilungsfunktionen (BSDFs) zusammen und gibt Empfehlungen aufgeschlüsselt nach Systemklassen und Anwendungsfällen. Die Arbeit empfiehlt Vorgehensweisen für:

- die Messung der winkelabhängigen Transmissions- und Reflexionseigenschaften von Tageslicht- und Beschattungssystemen, und
- die Erstellung tabellarischer BSDF-Datensätze aus diesen Messdaten für die weitere Verwendung als Input in Simulationswerkzeugen.

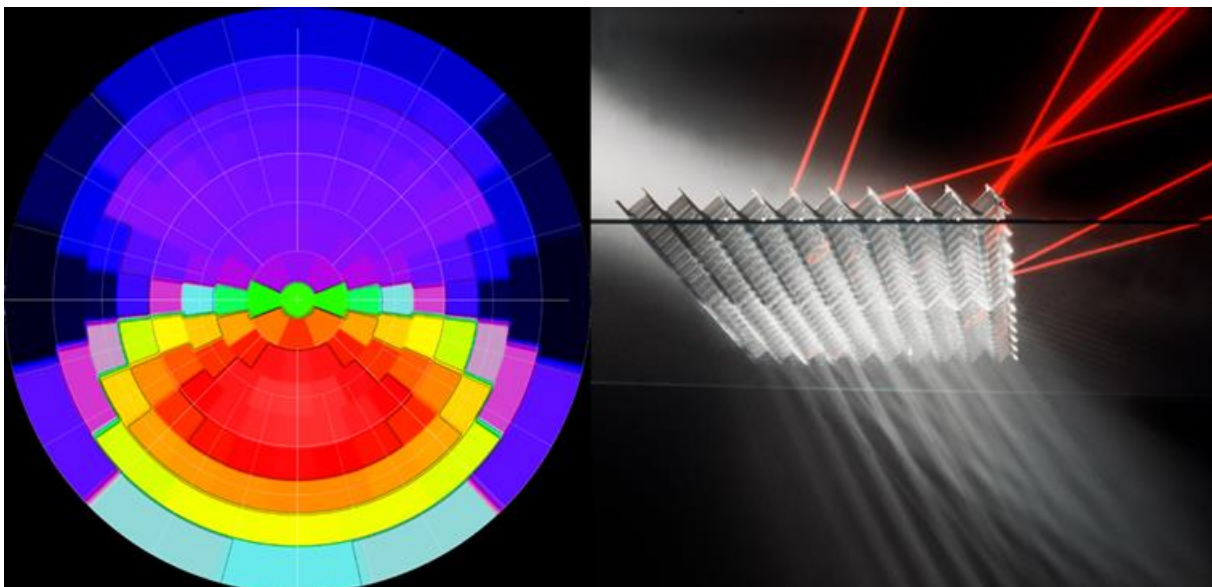


Abbildung 5: Winkelabhängige Transmission eines verspiegelten Sonnenschutzrasters berechnet aus den Klems BSDF Daten (links) und Darstellung der Funktionsweise des Systems (rechts).

Dabei wurden unterschiedliche Klassen von Tageslichtsystemen betrachtet, die transparente Systeme, homogene oder kleinstrukturierte, streuende Systeme, diffuse und spiegelnde Lamellen, aber auch großstrukturierte prismatische Systeme und mikro- oder nanostrukturierte Systeme umfassen. Ein Fassadensystem besteht in der Regel aus einem Grundmaterial mit entsprechenden lichttechnischen und thermischen Eigenschaften sowie aus Hilfselementen wie mechanischen Befestigungen, seitlichen Führungen und Steuerungssystemen. Die beschriebenen Verfahren beziehen sich dabei immer auf einen repräsentativen zentralen Bereich des Fassadensystems ohne seine Randeffekte.

3.1 BSDF Diskretisierungen

Für unterschiedliche Simulationen (Energiebewertung, Tageslichtverfügbarkeit, Blendungsanalyse) wurden in der Vergangenheit verschiedene Winkelbasen für tabellarische BSDFs definiert. Tabelle 1 zeigt eine Übersicht über gängige Diskretisierungen für Tageslichtsysteme.

Tabelle 1: Diskretisierungen für BSDF Datensätze für Tageslichtsysteme

BSDF Winkelbasis	Einstrahlung	Ausstrahlung
Klems	145 (Klems)	145 (Klems)
IEA21	145 (Tregenza)	1297 (5° x 5°)
McNeil	146 (Klems modifiziert)	146 (Klems modifiziert)
Shirley-Chiu, Tensor Tree	variable Auflösung = 2^{2n} (typisch $n = 4, 5$, oder 6 , d.h., 256, 1024, oder 4096)	variable Auflösung = 2^{2n} (typisch $n = 4, 5$, oder 6 , d.h., 256, 1024, oder 4096)

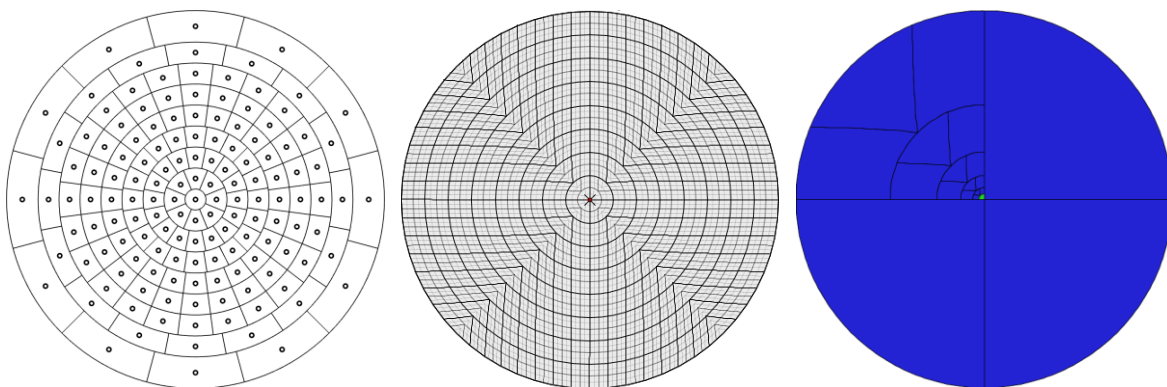


Abbildung 6: Beispiele für BSDF Diskretisierungen: Klems (145 Patches, links), Shirley Chiu / Tensor Tree mit Basisauflösung 2^{12} (4096 Patches, Mitte) und Beispiel der variablen Auflösung für ein klares Glas (rechts).

3.2 Empfohlene Verfahren zur Erzeugung von BSDF Daten

Im White Paper werden empirisch basierte Verfahren zur Erstellung von BSDF-Datensätzen für Fassadensysteme zur späteren Verwendung in Lichtsimulationssoftware beschrieben. Im Wesentlichen wird dabei unterschieden, ob Daten für kleinstrukturierte Systeme, die direkt

mit einem Goniophotometer vermessen werden können, oder für großstrukturierte Systeme erstellt werden sollen. Ein vereinfachtes Verfahren für den Spezialfall kleinstrukturierter Systeme mit Rotationssymmetrie wird ebenfalls angegeben.

Für großstrukturierte Systeme besteht das Verfahren aus vier Hauptschritten und einem optionalen Schritt zur Einbindung der tatsächlichen Systemgeometrie:

1. Charakterisierung des Basismaterials
2. Erstellen eines 3D-Modells des Tageslichtsystems
3. Simulation (Ray Tracing) der tabellarischen BSDF in der gewünschten Diskretisierung („virtuelles Goniophotometer“)
4. Validierung der winkelabhängigen, gerichteten Transmissionswerte mit Messungen
5. (optional): Aufbereitung der 3D-Geometrie zur Integration in die BSDF-XML-Datei

Für kleinstrukturierte Systeme besteht das Verfahren aus vier Schritten:

1. Goniophotometer-Messungen der Transmissions- und Reflexionseigenschaften für ausgewählte Einfallrichtungen
2. Interpolation eines vierdimensionalen, analytischen Modells aus den Messdaten
3. Berechnung der tabellarischen BSDF in der gewünschten Auflösung aus dem Modell
4. Validierung der winkelabhängigen, gerichteten Transmissionswerte mit Messungen

Für kleinstrukturierte, rotationssymmetrische Systeme (z.B. isotrope Stoffe, mit oder ohne Öffnungsanteil, aber ohne Lichtumlenkung) und für die der Transmissionsgrad durch eine Aufteilung in die beiden Anteile „gerichtet“ und „ideal diffus“ approximiert werden kann, wird zusätzlich ein alternatives, vereinfachtes Verfahren beschrieben.

Da verschiedene Systeme unterschiedliche BSDF-Diskretisierungen für verschiedene Anwendungen benötigen, werden geeignete Charakterisierungsmethoden und BSDF-Auflösungen für verschiedene Klassen von Systemen empfohlen. Die Klassen sind nach den lichttechnischen Eigenschaften der Systeme und nach den daraus resultierenden Anforderungen an die Datenaufösungen gegliedert und umfassen folgende Systemarten:

- Transparente Systeme
- Homogene oder kleinstrukturierte, streuende Systeme
- Diffuse Lamellensysteme
- Spiegelnde Lamellensysteme
- Großstrukturierte, prismatische Systeme
- Mikro- oder Nanostrukturierte Systeme

Das White Paper beinhaltet abschließend einen Diskussionsteil über noch offene Fragen bei der BSDF-Charakterisierung von Tageslichtsystemen und deren Anwendung in Lichtsimulationstools sowie daraus abgeleitete zukünftige Forschungsfragen.

4 Weiterführende Information

Ausführliche Informationen zu den hier präsentierten Arbeiten sind in den beiden technischen Berichten aus dem Subtask C des IEA SHC Task 61 / EBC Annex 77 beschrieben. Die Inhalte der Berichte /1/ und /3/ wurden vom Bartenbach in Zusammenarbeit mit zahlreichen,

internationalen Experten im IEA Task erarbeitet. Diese und weitere Ergebnisse des Tasks sind auf der Task-Website unter <https://task61.iea-shc.org/publications> verfügbar.

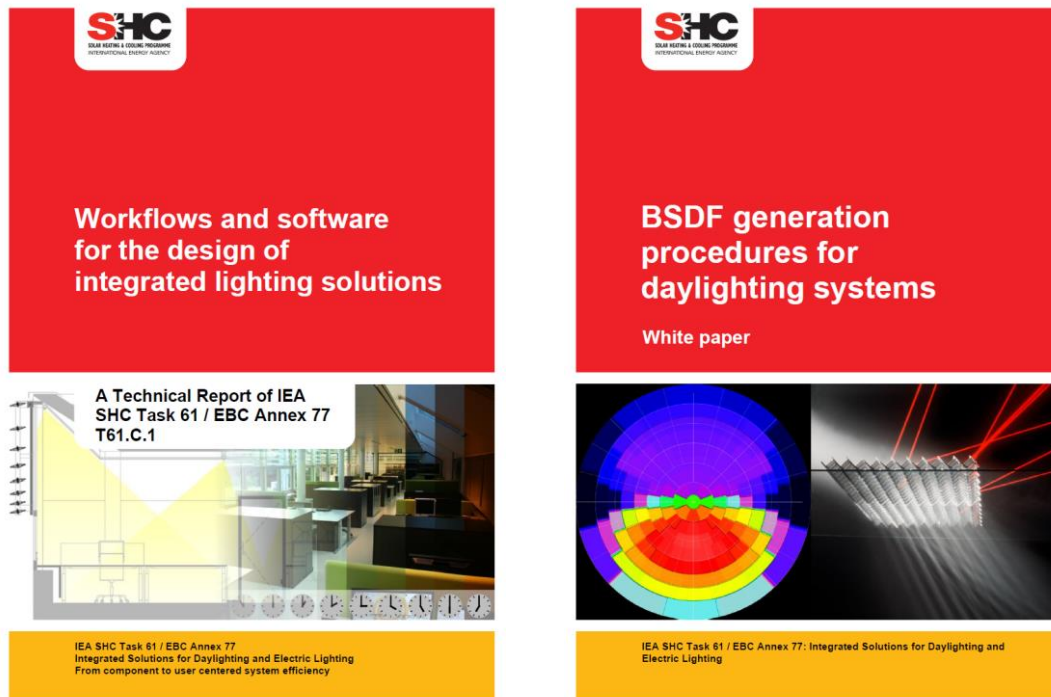


Abbildung 7: Berichte aus dem Subtask C des IEA SHC Task 61 / EBC Annex 77: Workflows und Software /1/ (links) und BSDF Methoden /3/ (rechts).

Danksagung

Bartenbach ist als österreichischer Vertreter und Leiter des Subtask C im IEA SHC Task 61 / EBC Annex 77 im Auftrag des Bundesministeriums für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie tätig. Die zugrundeliegende Forschung zur Charakterisierung von Tageslichtsystemen wurde im Rahmen des Forschungsprojekts GLARE durchgeführt, welches im Programm Early Stage durch die Österreichischen Forschungsfördergesellschaft (FFG) unter Projektnummer 878958 gefördert wird.

Literatur

- /1/ Geisler-Moroder, D. (Editor) (2019). Workflows and software for the design of integrated lighting solutions. *Technical Report, IEA SHC Task 61 / EBC Annex 77*. Verfügbar online: <https://task61.iea-shc.org/publications>
- /2/ Hammes, S., et al. (2021). Die Bedeutung nutzerzentrierter Beleuchtung. LICHT2021, 24. europäischer Lichtkongress, 21.-24.03.2021, online.
- /3/ Geisler-Moroder, D., Lee, E.S., Ward, G., et al. (2021). BSDF generation procedures for daylighting systems. White paper. *Technical report, IEA SHC Task 61 / EBC Annex 77*. Verfügbar online: <https://task61.iea-shc.org/publications>