

# Leuchtdichteuntersuchen in realen Messräumen

Dittmar, Carsten; Schuster, Heide  
Universität Dortmund, Lehrstuhl für Klimagerechte Architektur  
Baroper Strasse 301, 44227 Dortmund  
carsten.dittmar@udo.edu

## 1. Einleitung

Im Rahmen des Projektes „Licht in Büroräumen“ werden unter realen Bedingungen sechs Sonnenschutz- und Tageslichtlenksysteme für Büroräume untersucht. Die Installation der Systeme erfolgte an einer verschattungsfreien Süd-Westfassade an der Universität Dortmund. Die Raumgeometrie und die Ausstattung der Räume sind weitgehend identisch (Bild 1). Die Einzelbereiche können lichttechnisch durch Vorhänge abgetrennt und im rückwärtigen Bereich verdunkelt werden.

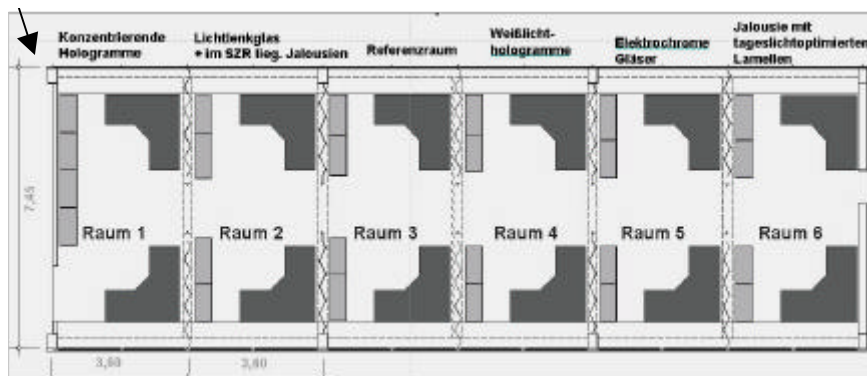


Bild 1: Grundriss der Testräume

Bei den Systemen handelt es sich um konzentrierende Hologramme (Raum 1), Lichtlenkglas mit Jalousie im Scheibenzwischenraum (Raum 2), einer Jalousie mit Lichtlenkung im Oberlichtbereich (Raum 3), Weißlichthologrammen zur Lichtlenkung (Raum 4), elektrochromes Glas (Raum 5) und einer tageslichtoptimierten Jalousie (Raum 6).

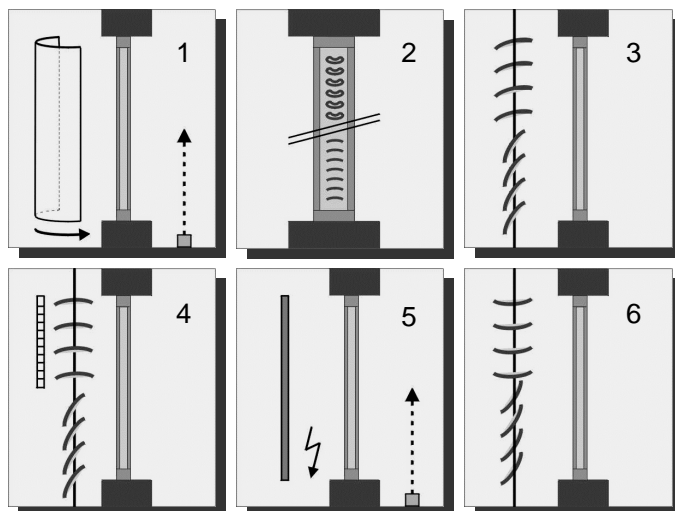


Bild 2: Konzentrierende Hologramme, Lichtlenkglas, Tageslichtlenkende Jalousie, Weißlichthologramme, Elektrochromes Glas, Tageslichtoptimierte Jalousie

## 2. Motivation / Hintergrund

Die lichttechnische Beurteilung von Räumen mit Tageslicht beruht zur Zeit noch weitgehend auf der Beleuchtungsstärke innerhalb der Raumtiefe. Dies wird mit dem Tageslichtquotienten als Faktor für ausreichende Helligkeit ausgedrückt. Eine Aussage über Lichtqualität innerhalb des Raumes ist nur bedingt möglich, da die Leuchtdichte Verteilung nicht berücksichtigt wird. Diese konnte in der Vergangenheit nur punktuell aufgenommen werden.

Mit neuen Messverfahren kann die punktuelle Betrachtung der Leuchtdichte nun durch eine orts aufgelöste Messtechnik ergänzt werden. Mit Hilfe von Aufnahmen des gesamten Halbraums kann so die Verteilung im Raum beurteilt werden. Dieses ist durch Messungen als auch durch Simulationen möglich [1].

Innerhalb des Forschungsprojektes „Licht in Büroräumen“ wurde die orts aufgelöste Messtechnik erstmals zur Bewertung von Sonnenschutzsystemen eingesetzt, um die Funktion der Systeme unter unterschiedlichen Randbedingungen innerhalb eines Jahres beurteilen zu können.

Ein zentrales Kriterium für die Bewertung von Tageslichtsystemen ist die Blendung. Sie basiert grundsätzlich auf hohen Leuchtdichteunterschieden innerhalb des Sichtfeldes des Nutzers. Beim Einsatz von Sonnenschutz- und Tageslichtsystemen wird die Leuchtdichte und Beleuchtungsstärke innerhalb des Raumes erst einmal reduziert. Dennoch können auf Systemen oder raumbegrenzenden Oberflächen Reflexe und damit hohe Leuchteunterschiede innerhalb des Sichtfeldes auftreten, die eine störende Blendung beim Nutzer verursachen (Bild 3).

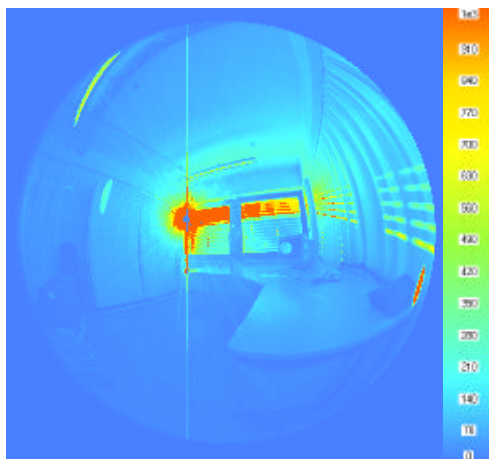


Bild 3: Reflexe auf Systemen und raumbegrenzenden Oberflächen, dargestellt als Falschfarbenbild ( $\text{cd/m}^2$ ), Messraum 3 am 11.12.2002, 13.53 Uhr

## 3. Messprogramm

Das Messprogramm (Bild 4) innerhalb des Projektes umfasst die Messung der Beleuchtungsstärken in der Arbeitsebene, an der Decke und den Wänden, die Aufzeichnung von Klimadaten und die Messung der Leuchtdichte. Die Installation der Beleuchtungsstärkesensoren orientiert sich an der von der IEA [4] herausgegebenen Empfehlungen. Die Installation der Leuchtdichtekamera erfolgte an der Rückwand der Messräume mit Blickrichtung auf die Fassadensysteme (Bild 5) in 2 Räumen gleichzeitig. Messungen der Beleuchtungsstärke erfolgen in 3 Messräumen zeitgleich.

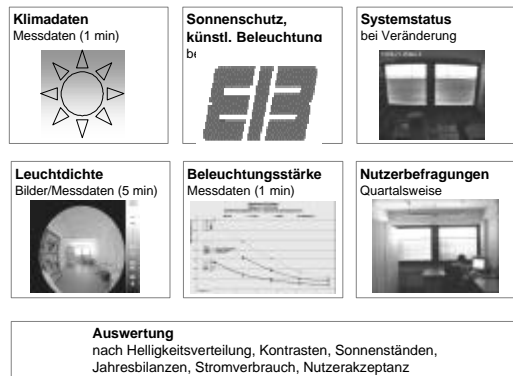


Bild 4: Messprogramm

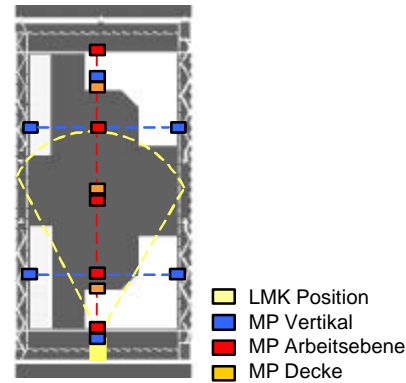


Bild 5: Positionen der Sensoren für Beleuchtungsstärken und LMK in den Messräumen.

Die verwendete Leuchtdichtemesstechnik [2] ermöglicht gegenüber der konventionellen Technik der Messung mit Einzelsensoren eine örtliche und zeitliche Auflösung der Messungen und ermöglicht die Messräume visuell über den Tagesgang zu bewerten. Der eingesetzte CCD – Chip ermöglicht eine Auflösung von 1300 (H) \* 1030 (V) effektiven Bildpunkten. Durch den Einsatz von Fischaugen-Objektiven mit einer Brennweite von 8 mm wird eine Beurteilung des gesamten Halbraumes mit insgesamt 460.000 Bildpunkten möglich.

#### 4. Messreihe und Auswertung

Die Messungen der Systeme erfolgen bei bedeckten und sonnigen Wetterzuständen und zu den drei Jahreszeiten. Es werden Referenztage mit möglichst eindeutigen Wetterbedingungen in jedem Quartal ermittelt, die zur Auswertung herangezogen werden. Die auszuwertenden Bereiche liegen in der Arbeitsebene, an den Wänden und den Decken. Zusätzlich erfolgt eine detaillierte Auswertung der Leuchtdichte innerhalb der unterschiedlichen Fassadenelemente.

Bild 6 zeigt einen Vergleich der Testräume an einem sonnigen Sommertag bei geschlossenem Sonnenschutz.

Im Raum 2 liegt die maximale Leuchtdichte im Bereich der Lichtlenkung  $3000 \text{ cd/m}^2$  über der im Referenzraum.  $2900 \text{ cd/m}^2$  werden im Lichtlenkbereich der Lamellen der tageslichtoptimierten Jalousie erreicht. Die Lichtverteilung auf der Arbeitsfläche ergibt einen Unterschied von  $200 \text{ cd/m}^2$ , d.h. die Arbeitsfläche im Raum 2 ist deutlich besser ausgeleuchtet im Vergleich zur Arbeitsfläche im Raum 6. Dieses wird bei der Betrachtung der Deckenfelder deutlich, denn die Differenz der Felder beträgt  $370 \text{ cd/m}^2$ . Im Raum 1 und 5 werden durch die fehlende Lichtlenkfunktion der Elemente in die Raumtiefe geringere Leuchtdichten ermittelt.

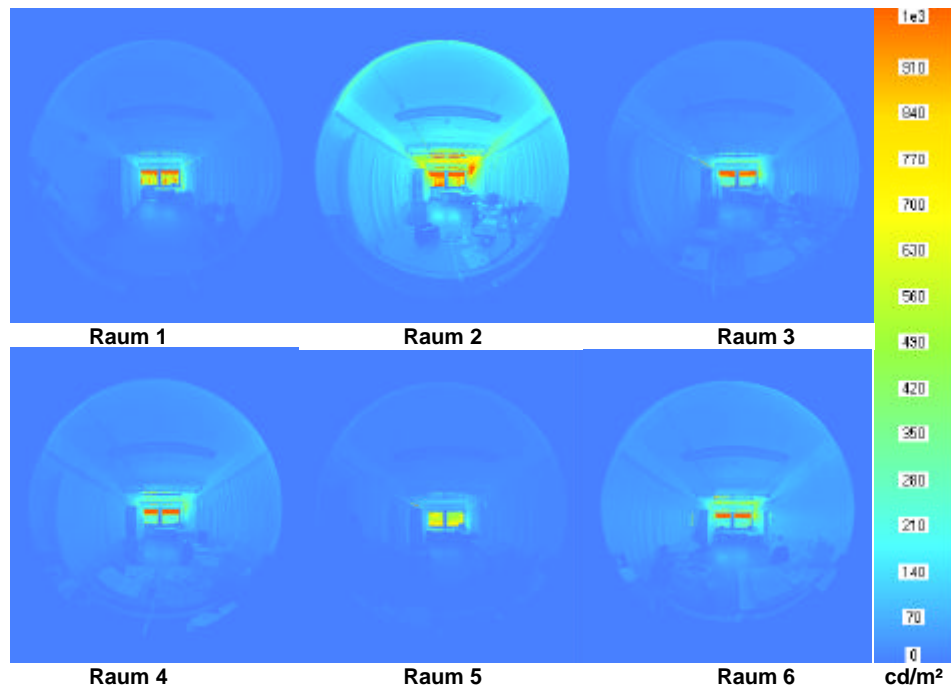


Bild 6: Leuchtdichteverteilung in ( $\text{cd/m}^2$ ) in den Messräumen, am 16.08.2002, 15:00 Uhr, Quartal: Sommer, sonniger Tag

Eine Betrachtung des Tagesganges für ein System ermöglicht die Beurteilung des Systemverhaltens bei unterschiedlichen Sonnenständen (Bild 7). Aufgrund der Ausrichtung der Fassade nach Südwesten wird der Sonnenschutz ab ca. 13:00 Uhr verschlossen.

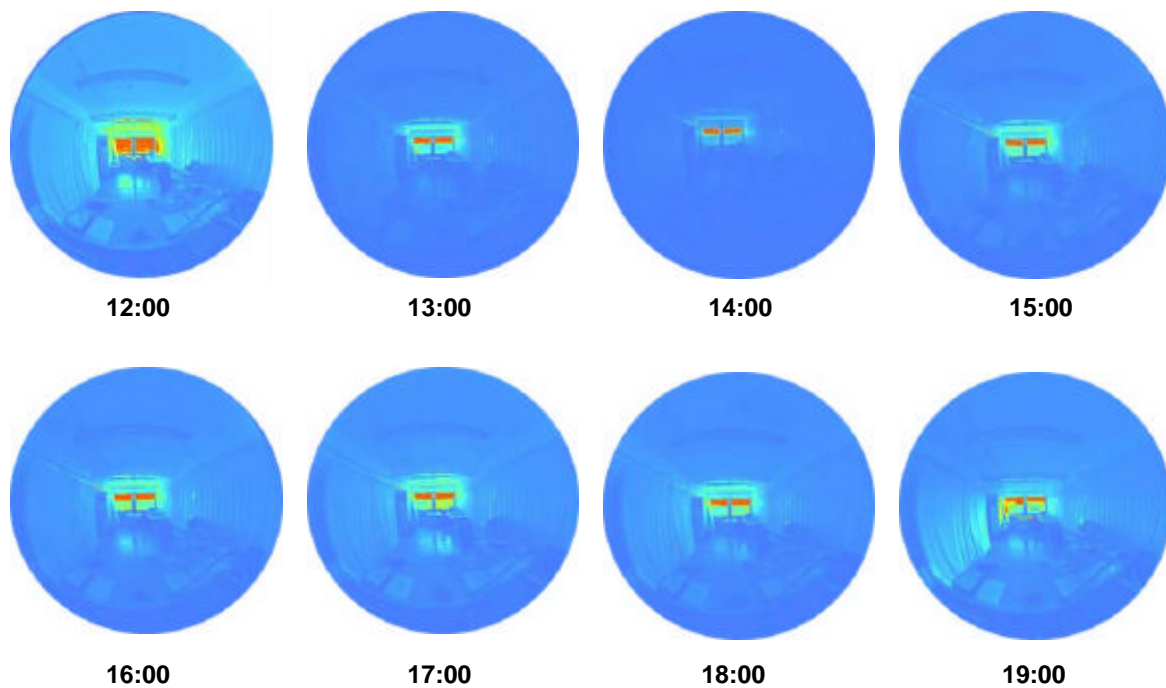


Bild 7: Leuchtdichteverteilung in ( $\text{cd/m}^2$ ) im Messraum 3, am 04.08.2002, von 12:00 bis 19:00 Uhr, Quartal: Sommer, sonniger Tag

Die Erzeugung von Differenzbildern ermöglicht eine zeitgleiche Bewertung eines Raumes zum Referenzraum. Basis für diesen Vergleich sind die Leuchtdichtemessungen, wie Sie im Bild 8 dargestellt sind.

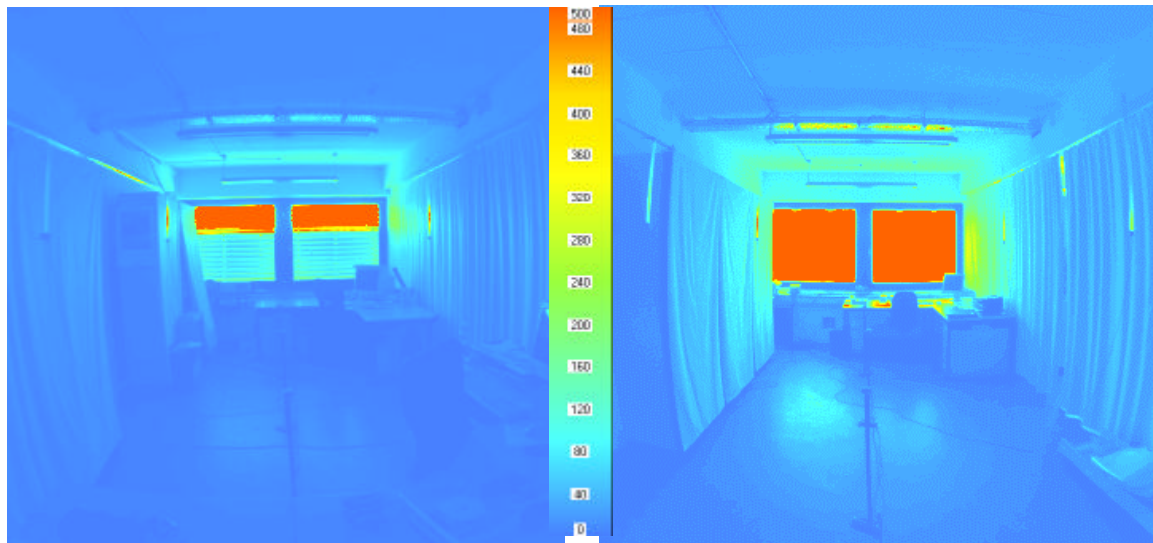


Bild 8: Leuchtdichteverteilung in (cd/m<sup>2</sup>) im Messraum 3 und Messraum 1, am 04.08.2002, 14:00 Uhr

Die Differenzierung der Leuchtdichteverteilung zwischen dem Referenzraum 3 und dem Messraum 1 ist hier exemplarisch für 14.00 Uhr und 16:00 Uhr für einen sonnigen Sommertag (04.08.2002) dargestellt. Sie verdeutlicht die Unterschiede der Leuchtdichteverteilung zwischen den Systemen (Bild 9).

Bei diesem Vergleich wird ein System mit Lichtlenkung im Raum 3 mit einem System mit Lichtkonzentration (Raum 1) verglichen. Daher sind auf den Wandflächen im Fensterbereich höhere Leuchtdichten (negative Werte) zu erkennen als im Referenzraum. Die Leuchtdichte auf der Fassadenebene im Bereich der Lichtlenkung beim Referenzraum ist deutlich höher (positive Werte) als bei den konzentrierenden Hologrammen.

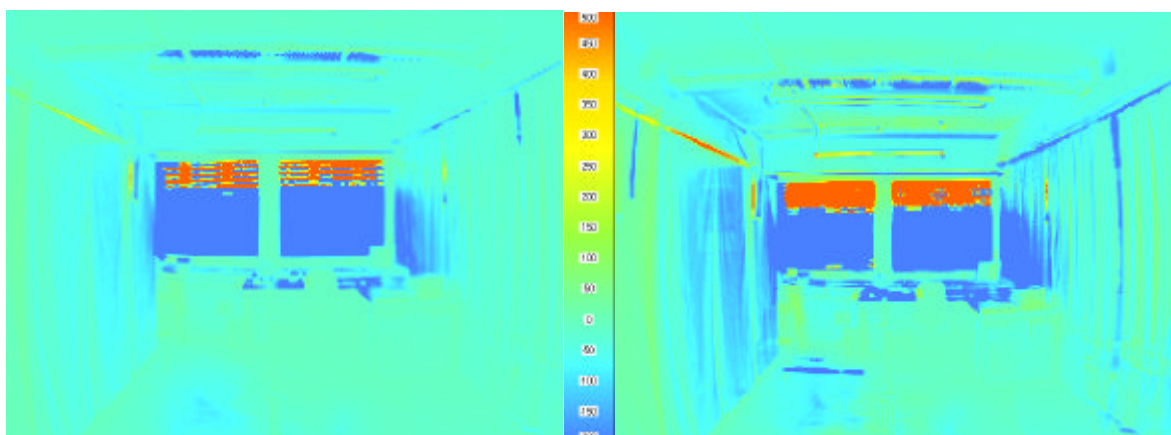


Bild 9: Leuchtdichtedifferenz in (cd/m<sup>2</sup>) zwischen Messraum 3 und Messraum 1, am 04.08.2002, um 14:00 Uhr und 16:00 Uhr

Der Vergleich vom Referenzraum mit dem Raum 2 ermöglicht eine Bewertung der Lichtlenkung des Lichtlenkglases im Oberlichtbereich (Bild 10).

Die Aufnahme vom 21.07.2002 um 16:30 Uhr zeigt die Unterschiede zwischen dem Lichtlenkglas mit Jalousie im Scheibenzwischenraum (Raum 2) und einer Jalousie mit Lichtlenkung im Oberlichtbereich (Raum 3). Das Tageslicht wird in die Raumtiefe umgelenkt, die durchschnittliche Deckenbeleuchtungsstärke erhöht sich durch Lichtlenkglas um  $480 \text{ cd/m}^2$  im Vergleich zum Referenzraum.

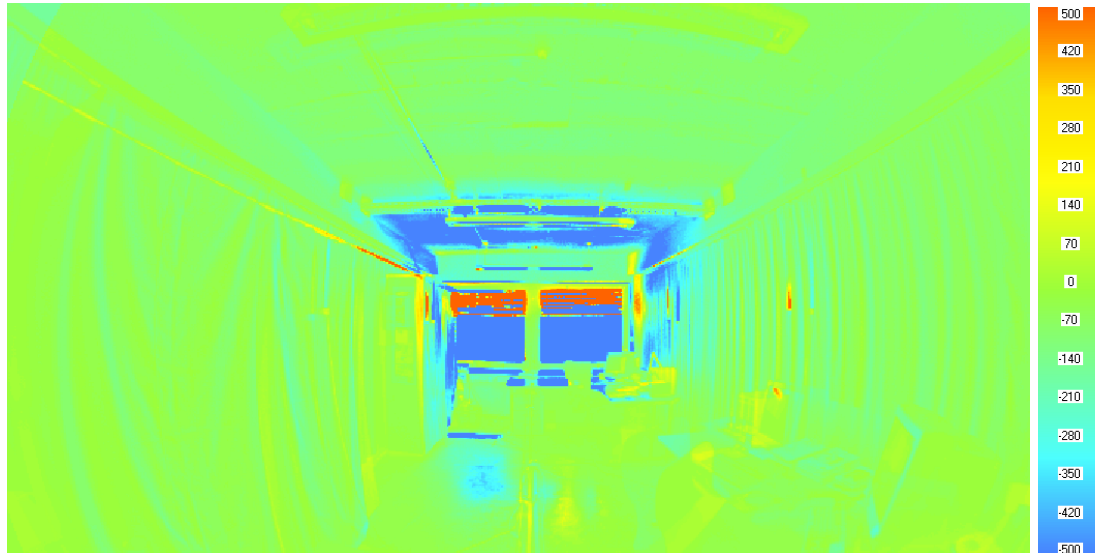


Bild 10: Leuchtdichtedifferenz in ( $\text{cd/m}^2$ ) zwischen Messraum 3 und Messraum 2, am 21.07.2002, um 16:30 Uhr

## 5. Ergebnisse und Ausblick

Mit den hier beschriebenen Feldversuchen zur Leuchtdichtevertelung in Räumen wurde erstmals eine Bewertungsmöglichkeit zur Beurteilung komplexer Tageslichtsysteme aufgezeigt. Dies war bisher aufgrund fehlender technischer Umsetzung nicht möglich. Durchgeführte Untersuchungen bezogen sich hauptsächlich auf Blendung durch große uniforme Flächen (Fenster), nicht jedoch auf den Einsatz unterschiedlicher Sonnenschutz- und Lichtlenksysteme und deren Auswirkungen im aktiven Zustand.

Die Ergebnisse der Untersuchung zeigen deutlich die unterschiedlichen Funktionen der Systeme und deren Einsatzmöglichkeiten. Die Leuchtdichte an den Decken ist in den Räumen mit Jalousien und Elementen zur Lichtlenkung höher, als die in den Räumen ohne diese Einrichtungen. Damit ist die Raumhelligkeit durch diffuse Reflexion von raumbegrenzenden Oberflächen höher und die Verteilung in der Raumtiefe gleichmäßiger. Die resultierende Auswirkung auf die Befindlichkeit des Nutzers wird in ihrer Wirkung innerhalb des Projektes noch detaillierter untersucht werden. Um Tageslichtsysteme in Zukunft besser bewerten zu können bedarf es weiterer Studien unter Einbeziehung der Themenfelder Arbeitsmedizin und Nutzerakzeptanz.

### **Quellen:**

- [1] Eggenstein, Frank: Simulation von Tageslichtlenksystemen mit Radiance für direktes und diffuses Licht auf der Grundlage gemessener BTDF-Daten, - Tagung Innovative Lichttechnik in Gebäuden 2003, Staffelstein.
- [2] Technoteam Bildverarbeitung GmbH, [www.technoteam.de](http://www.technoteam.de)
- [3] Handbook of Lighting, Reference & Application, IESNA, 9<sup>th</sup> Edition 2002.
- [4] Report of IEA SHC Task 21 / ECBCS Annex 29