



## **SolarBau : MONITOR**

Tageslichtnutzung in Gebäuden – Analyse von  
Messergebnissen aus den Förderprojekten in SolarBau

Vorbereitungs- und Diskussionsgrundlage für  
das Arbeitstreffen in Zwingenberg,  
21./22.2.2002

### **Erstellt durch**

Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE  
Heidenhofstr. 2  
79110 Freiburg

### **Bearbeiter**

- Karsten Voss
- Jan Wienold

Freiburg, den 5. Februar 2002

## Inhalt

Inhalt.....	2
Vorwort.....	3
1. Festlegung eines „exemplarischen Raumes“ .....	3
2. Energieverbrauch der künstlichen Beleuchtung.....	5
3. Tageslichtquotient .....	6
4. Blendschutz am Arbeitsplatz .....	10
5. Nutzerakzeptanz .....	11

## Vorwort

Die folgenden Ausführungen sind Grundlage der Diskussion über die im Rahmen der Solarbau-Demonstrationsprojekte erfaßten, jeweils projektspezifischen Messdaten und Analysen zum Tages- und Kunstlicheinsatz. Nicht alle Projekte werden dieses Teilthema in gleicher Tiefe detaillieren, jedoch sollten grundlegende Aussagen zum Energieverbrauch der Beleuchtung in jedem Falle erarbeitet werden.

Diejenigen Projektteams, die schon in der Phase der Datenaufbereitung sind, werden gebeten, eigene Daten nach Möglichkeit den Hinweisen entsprechend aufzubereiten. Darüber hinaus ergeben sich Anregungen zur Konzeption der Meßtechnik in den Neuprojekten.

*Die jeweils kursiv hervorgehobenen Texte weisen auf mögliche vorbereitende Arbeiten für den Workshop in Zwingenberg hin.*

## 1. Festlegung eines „exemplarischen Raumes“

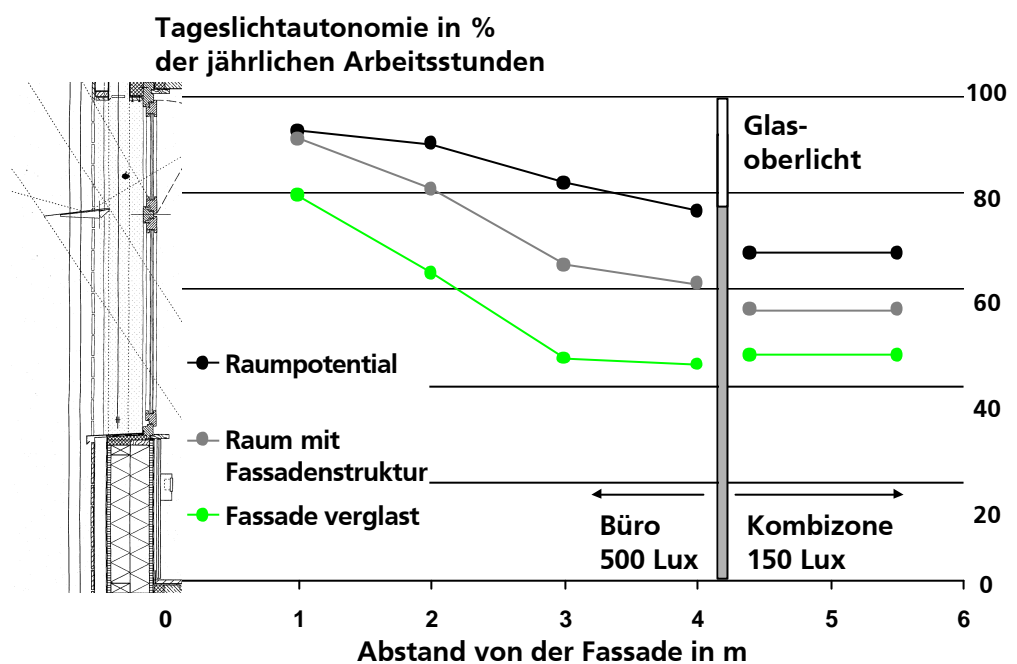
Die vergleichenden Analysen zur Tageslichtnutzung konzentrieren sich auf Büroarbeitsplätze. Grund dafür ist die Zahl an möglichen Vergleichsobjekten im Förderprogramm. Darüber hinaus werden jedoch auch die Ergebnisse für Verkehrsflächen, Atrien und Produktionshallen dargestellt werden.

Bereits in einer frühen Phase wurde ein Formblatt zur Erfassung der lichtplanerischen Aspekte des Projektes entwickelt und den Projektnehmern zur Verfügung gestellt.

*Diejenigen, die hier noch keine Eintragungen vorgenommen haben, werden gebeten, das dieser Mail beigefügte Formblatt auszufüllen und zurückzusenden ( per mail an: karsten.voss@ise.fhg.de) Dies gilt nach den vorliegenden Unterlagen für die Projekte mit den Kurztiteln SurTec, ZUB, Pollmeier, Solvis, KfW, ENTIRE, TZ Erfurt, Solarzentrum Berlin).*

Auf der Basis der Beschreibung eines solchen Raumes wurden exemplarische Berechnungen der sogenannten „Tageslichtautonomie“ vorgenommen. Die Tageslichtautonomie drückt aus, zu wieviel Prozent der Arbeitszeit (wochentäglich, 8<sup>00</sup>-18<sup>00</sup> Uhr) das zur Verfügung stehende Tageslicht die Beleuchtungsanforderungen vollständig abdeckt. Im Falle eines Büros liegen die typischen Anforderungen bei 500 Lux Nennbeleuchtungsstärke in der Arbeitsebene, für eine Verkehrsfläche sollten 50 Lux nicht unterschritten werden. Würden wir im Freien arbeiten, wäre zu nahezu 95% der Arbeitszeit die Beleuchtungsstärke für Büroarbeit ausreichend! Die Tageslichtautonomie

ist ein Summenwert für ein typisches Jahr und das Ergebnis dynamischer Lichtsimulationen in Stundenschritten<sup>1</sup>. Bild 1 zeigt als Beispiel die Berechnungsergebnisse für das Gebäude. Es ist geplant, für weitere einige ausgewählte Objekte gleichartige Rechnungen durchzuführen. Die Rechnungen zur Tageslichtautonomie ermöglichen durch Erweiterung mit einer Beschreibung des Kunstlichtsystems (installierte Leistung, Regelungs- bzw. Steuerungskonzept) und des Nutzerverhaltens unmittelbar die Berechnung des Jahresstromverbrauchs für Kunstlicht.



**Bild 1:** Berechnete Tageslichtautonomie für das Lamparter-Gebäude in Weilheim. Die Randbedingungen sind eine Nennbeleuchtungsstärke von 500 LUX im Büro, bzw. 150 Lux in der Kombizone, sowie wochentägliche Arbeitszeiten zwischen 8:00 und 18:00 Uhr (Quelle: Fraunhofer ISE, <sup>2</sup>). Die obere Kurve bezeichnet die Verhältnisse aufgrund der gewählten Raumgeometrie, die mittlere unter Berücksichtigung der Fassadenteilung und die untere unter weiterer Berücksichtigung der Verglasung.

<sup>1</sup> Reinhart, Chr. F.,: Daylight Availability and Manual Lighting Control in Office Buildings – Simulation Studies and Analysis of Measurement Results, Fraunhofer ISE, Fraunhofer IRB-Verlag, ISBN-3-8167-6056-2, 2001

<sup>2</sup> Voss, K., Reinhart, Chr.: Projekte und Konzepte – Tageslicht- und Beleuchtungskonzepte aus der Praxis, 6. Symposium Innovative Lichttechnik in Gebäuden, Staffelstein 2000, Manuskript im Internet unter [www.solarbau.de](http://www.solarbau.de) in der Rubrik Projekte/Monitor/Dokumente

## 2. Energieverbrauch der künstlichen Beleuchtung

Idealerweise wird der Stromverbrauch der künstlichen Beleuchtung auf einem separaten Stromkreis geführt und mit einem Stromzähler mit Impulsausgang erfaßt (siehe Rahmenbedingungen zum Förderkonzept SolarBau, TK3 im Internet unter „www.solarbau.de“). Die Auswertung auf Monatsbasis und Normierung mit den Nettoflächen der zugehörigen Räume ergibt unmittelbar die Energiekennzahl der Beleuchtung.

*Die Daten wurden bereits mit separater Anforderung abgefragt, allerdings bezogen auf das Gesamtgebäude. Sofern detaillierte Ergebnisse für ausgewählte Büroflächen vorliegen, sollten diese Daten in Zwingenberg präsentiert und diskutiert werden.*

Sofern möglich sollte diese Energiekennzahl pro Bürofläche differenziert werden in

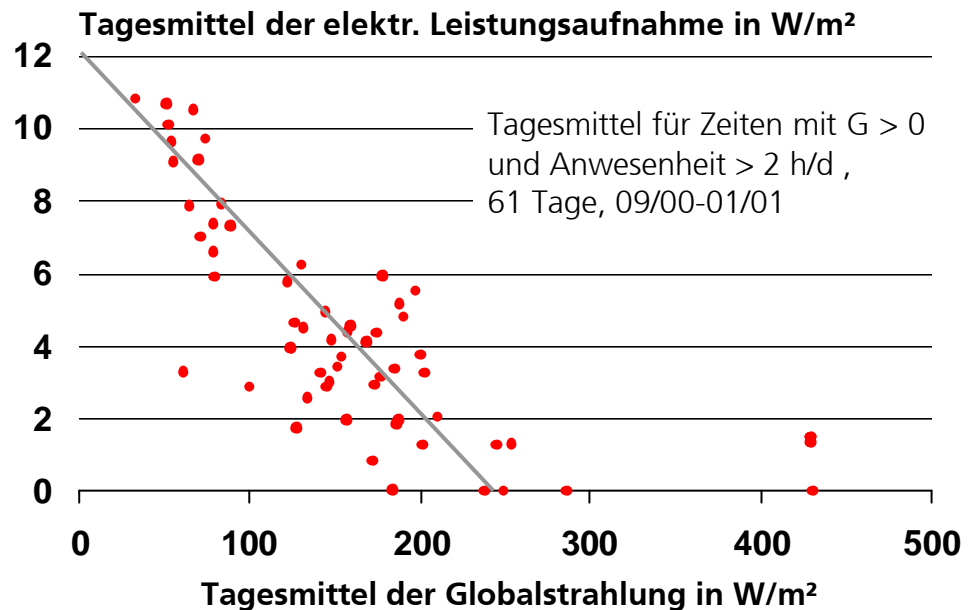
- Energieverbrauch des Leuchtmittels inkl. Vorschaltgerät
- Energieverbrauch der Regel- bzw. Steuereinrichtung
- Aufteilung in Teilverbräuche bei 2-Komponenten-Beleuchtungskonzepten.

Insbesondere bei hoher Tageslichtautonomie kann der Stand-By-Verbrauch einen erheblichen Anteil am Gesamtstromverbrauch ausmachen. Zur Differenzierung kann der Stand-By-Verbrauch bei stromlosem Leuchtmittel einmalig gemessen werden.

*Zum Gesamtverständnis der Energiemesswerte ist es erforderlich, die mit dem installierten Kunstlichtsystem erreichte Beleuchtungsstärken im realen Betrieb zu messen. Dazu werden idealerweise mobile Lichtmessgeräte eingesetzt. Ziel ist der Vergleich der Messwerte mit den Sollwerten der Planung.*

Von besonderer Bedeutung ist die Auswertung des Stromverbrauchs in Korrelation zum Angebot an Tageslicht, ausgedrückt über die bei nahezu jedem Projektstandort durchgeführten Messungen der Globalstrahlung. Bild 2 zeigt dazu die Ergebnisse von Messungen an dem Gebäude Lamparter in Weilheim. Bei der Auswertung war hier besonders von Vorteil, dass über die Analyse der Daten von Präsenzsensoren die Anwesenheit in den Büros bekannt war. Eine derartige Auswertung zeigt in diesem Fall neben der guten Systemauslegung auch die hohe Nutzerakzeptanz, da die Tageslichtnutzung nicht durch geschlossene Sonnenschutzsysteme und eingeschaltetes Kunstlicht nutzerseitig ausgehebelt wird.

Durch eine entsprechende Auftragung können Projekte verglichen werden. Wichtig dabei ist, dass es sich möglichst um Mittelwerte über mehrere Büros handelt, um nicht ein singuläres Ergebnis abzubilden.



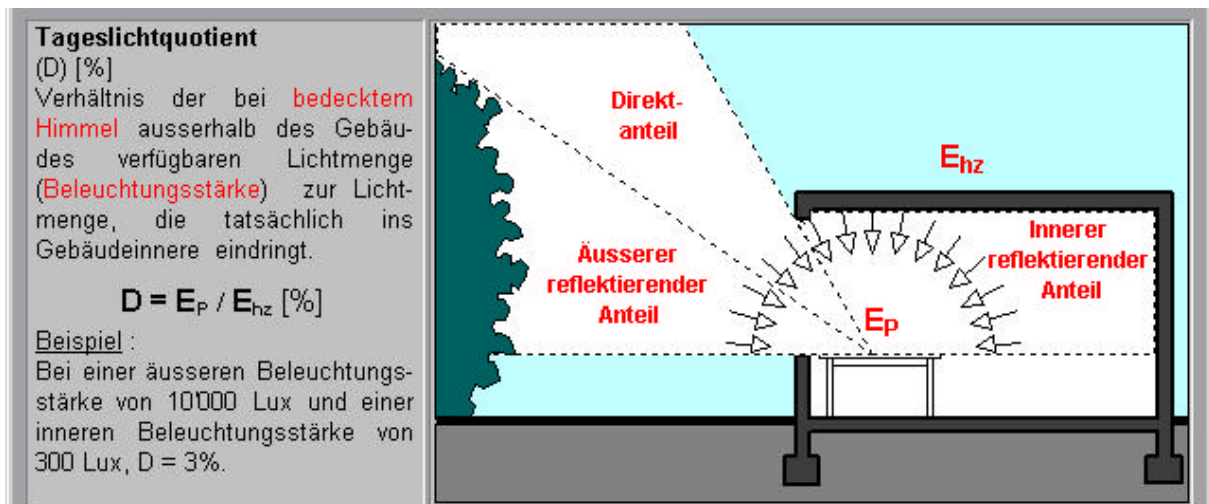
**Bild 2:** Tägliche Leistungsaufnahme der Beleuchtung als Funktion des Globalstrahlungsangebots (G) als Mittelwerte für die Büros an der Südfassade des Lamparter-Gebäudes. Ausgewertet wurden nur solche Tage an denen die Personen überwiegend in den Büros anwesend waren (Messungen: Fachhochschule Stuttgart und Fraunhofer ISE)

### 3. Tageslichtquotient

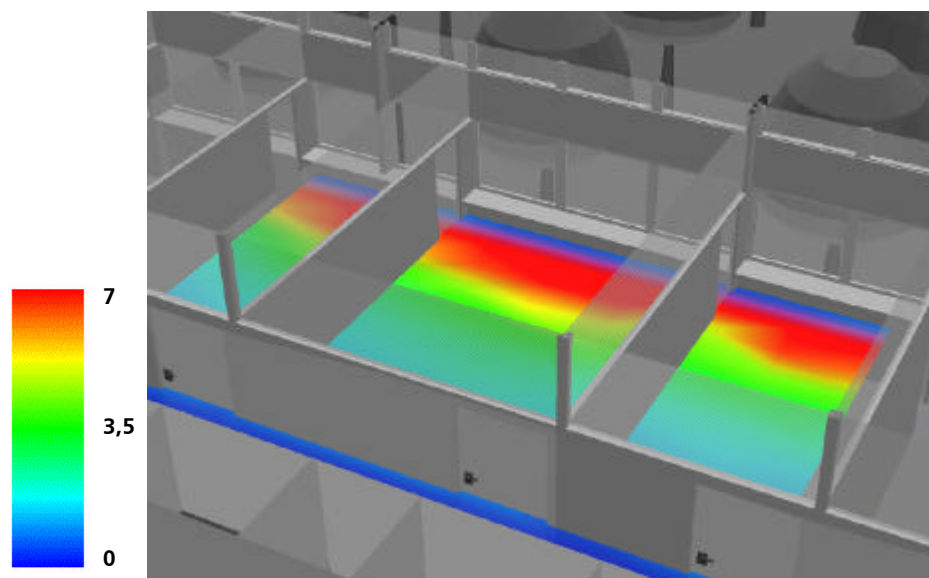
Als ein wesentlicher Anhaltspunkt für das Maß der möglichen Tageslichtnutzung in einem Raum hat sich der sogenannte „Tageslichtquotient TQ“ bewährt, siehe Bilder 3 und 4. In der Regel wurde der Tageslichtquotient ausgewählter Räume in der Planungsphase eines SolarBau-Förderprojektes rechnerisch ermittelt. Von Interesse ist daher, in wieweit ein messtechnisch ermittelter Tageslichtquotient mit diesen Erwartungen übereinstimmt. Da die geometrischen Randbedingungen des Raumes zumeist mit denen des Modells in der Planungsphase übereinstimmen, sind es vor allem

- die optischen Eigenschaften der Raumumschließungsflächen, insbesondere der Lichtreflexionsgrad der Decke
- äußere Verbauungen, die den freien Blick auf den Himmel einschränken,
- der Einfluss der Möblierung und

- die Fassadentiefe mit sämtlichen Laibungsflächen die das Tageslichtniveau am Arbeitsplatz beeinflussen.



**Bild 3:** Definition des Tageslichtquotienten ( Grafik nach LESODIAL, Multimedia ToolBook)



**Bild 4:** Falschfarbendarstellung der berechneten Tageslichtquotienten (Farbskala) für die Standardbüros im Neubau des Fraunhofer ISE (Quelle: Fraunhofer ISE)

Gemessen werden kann der TQ nur bei vollständig bedecktem Himmel ohne Niederschlag und ohne schneebedecktem Boden. Nur dann entsprechen die Verhältnisse näherungsweise denen, die bei Berechnungen zu Grunde gelegt werden (CIE-Himmel, siehe Bild 5). Wegen der notwendigen Messzeit für mehrere Messpunkte in einem Raum sind über mehrere Minuten stabile Wetterverhältnisse wichtig.

Gemessen wird zeitgleich mit mindestens zwei Messgeräten für die Beleuchtungsstärke<sup>3</sup> und zwei Personen. Während mit einem Sensor ständig die Aussenbeleuchtungsstärke erfasst wird, wird ein oder werden mehrere Sensor(en) genutzt, um ein Profil der Beleuchtungsstärke über der Raumtiefe in Höhe der Oberfläche des Schreibtisches zu erfassen (i.d.R. etwa 85 cm, aber jeweils projektspezifisch dokumentieren). Während der Messungen wird über Handy oder Funk bei jedem Messpunkt im Raum die zugehörige Aussenbeleuchtungsstärke abgefragt.

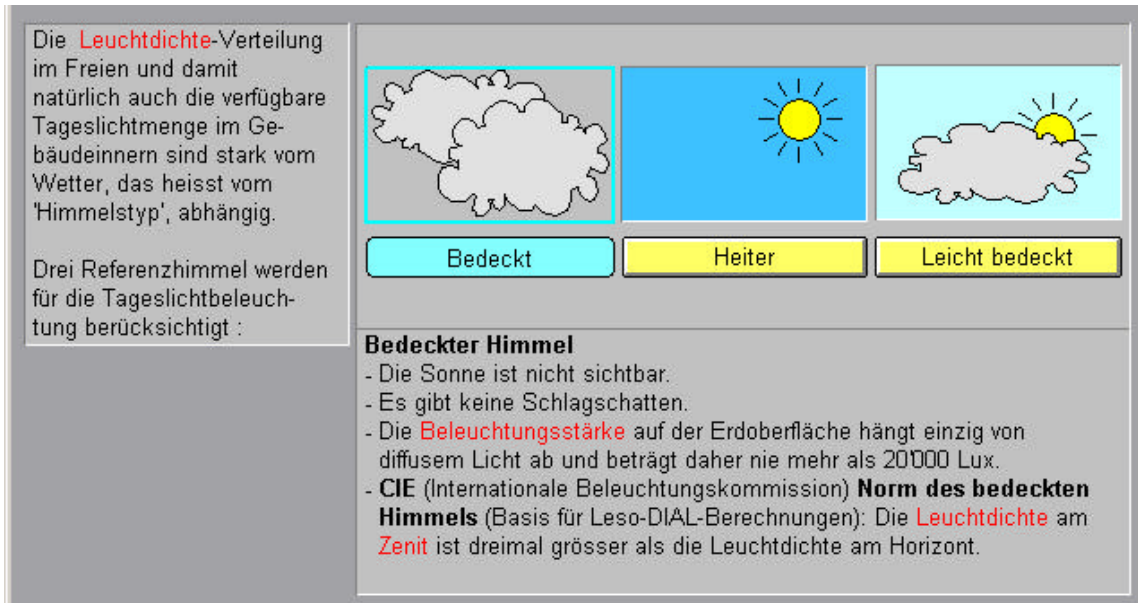
Für belastbare Messungen ist wichtig, dass

- die Messgeräte genau horizontal ausgerichtet sind (Stativ, Messlibelle)
- der Körper des Able senden nicht Teile des Sichtfeldes des Sensors verdeckt
- Messgeräte hoher Genauigkeit (mindestens Klasse B) zum Einsatz kommen
- Messanordnung und Ausblick aus der Fassade durch Bilder dokumentiert werden.

---

<sup>3</sup> Bezugsquellennachweise bei Bedarf beim Fraunhofer ISE





**Bild 5:** Definition des „bedeckten Himmels“, blau markiertes Feld ( Grafik nach nach LESODIAL, Multimedia ToolBook)

Beispielhaft zeigt Tabelle 1 eine erste Messung für die Büros im Neubau des Fraunhofer ISE. Hier sind es besonders die äußeren Verbauungen (Bäume mit saisonal wechselnder Belaubung und unterschiedlich starkem Einfluss auf den TQ) und die Fassadentiefe, die in der Planung nur bedingt berücksichtigt wurden.

Messpunkt	Raumtiefe	Beleuchtungsstärke	Tageslichtquotient
1	1,7 m	200 Lux	2,2 %
2	3,0 m	160 Lux	1,8 %

**Tabelle 1:** Ergebnis der Tageslichtmessungen am Fraunhofer ISE, durchgeführt Anfang September 2001, Ostfassade, 1. OG ( Quelle: Fraunhofer ISE)

Neben den Messungen in Büroräumen sind auch solche in den zugehörigen Fluren (Tageslicht meist nur als Sekundärlicht über Raumtrennwände) und in Atrien (Tageslicht zumeist vom Dach) für einen Vergleich mit Planungswerten bzw. mit anderen SolarBau-Projekten von Interesse.

*Sofern solche Messungen noch nicht erfolgt sind, sollte der Workshop in Zwingenberg zur weiteren Abstimmung genutzt werden. Diejenigen, die bereits Messungen durchgeführt haben oder noch vorher durchführen sollte die Ergebnisse zur Diskussion und Präsentation grafisch aufbereiten und vor Ort beim Workshop präsentieren.*

## 4. Blendschutz am Arbeitsplatz

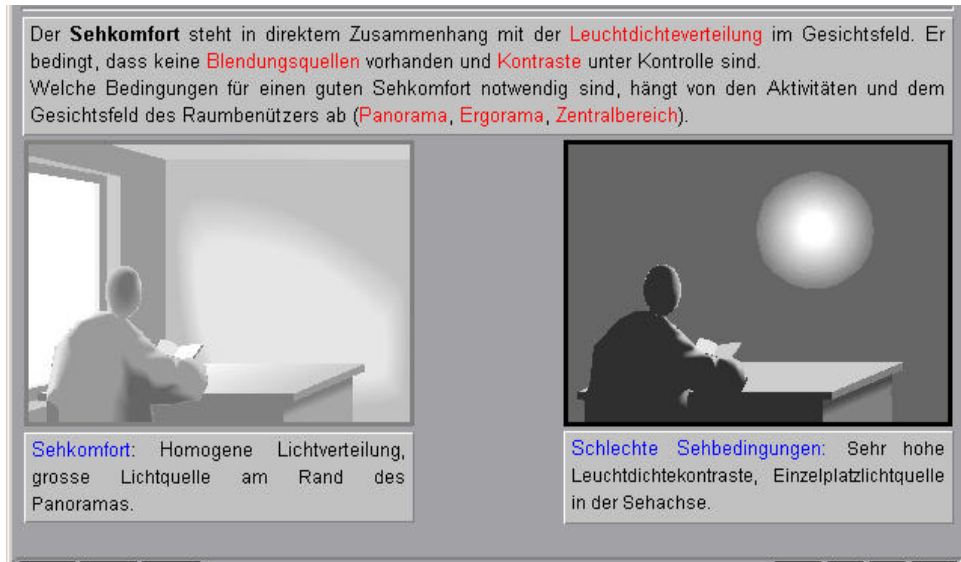
Tageslichtnutzung mit hoher Nutzerakzeptanz setzt voraus, dass Blendung durch störendes Direktlicht sowie extreme Leuchtdichteunterschiede im Sichtfeld vermieden werden, Bild 6. Derzeit sind Normen in Vorbereitung, die neue Leuchtdichtegrenzwerte für Flächen definieren, die sich in Bildschirmen spiegeln können<sup>4</sup>. Ungeachtet dessen, dass diese Grenzwerte aktuell noch keine Gültigkeit haben, können diese bereits verwendet werden, da die alten Grenzwerte auf einer Bildschirmgeneration basierten, die heute völlig überholt ist. Die Einhaltung solcher Vorschriften im Rahmen der technischen Möglichkeiten ist übliche Planungsaufgabe.

Im Rahmen der messtechnischen Analyse der Projekte bietet es sich je nach Verfügbarkeit entsprechender Messgeräte an (z.B. Leuchtdichtekamera), die gewählten Lösungen hinsichtlich Blendungsvermeidung zu bewerten<sup>5</sup>. Bild 7 zeigt zur Veranschaulichung einer Blendungssituation die Aufnahme eines Falschfarbenbildes der Leuchtdichte beim Blick auf ein Fenster mit Sonnenschutz mit Perforation.

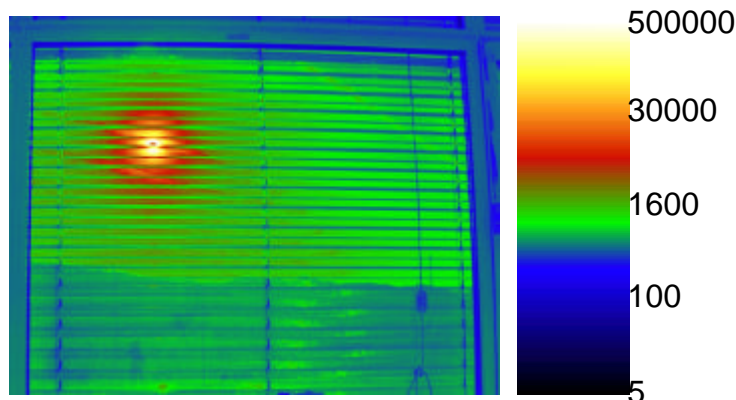
---

<sup>4</sup> voraussichtlicher Grenzwert der mittleren Leuchtdichte: 1000 cd/m<sup>2</sup>  
Normen: prEN12464 (3<sup>rd</sup> rev.) vom August '99 und ISO9241

<sup>5</sup> bei Interesse kann das Fraunhofer ISE derartige Messungen vor Ort durchführen.



**Bild 6:** Definition des „bedeckten Himmels“, blau markiertes Feld ( Grafik nach nach LESODIAL, Multimedia ToolBook)



**Bild 7:** Beispiel einer Blendungsmessung an einem Fenster mit Außenjalousie und Perforation bei Besonnung. Deutlich sichtbar sind die extremen Leuchtdichten beim Blick zur Sonne. Die Zahlenskala bezieht sich auf die Lichtstärke mit der Einheit Candela  $\text{cd}/\text{m}^2$  (Quelle: Fraunhofer ISE)

## 5. Nutzerakzeptanz

Verbesserte Tageslichtnutzung zielt vor allem darauf, eine hohe Nutzerakzeptanz für die Beleuchtungsverhältnisse am Arbeitsplatz zu erreichen und damit zu hoher Arbeitsplatzqualität beizutragen. Zur Ermittlung der Nutzerakzeptanz eignen sich gezielte Fragestellungen im Rahmen eines Fragebogens. Da bei einigen Solarbau-Projekten bereits derartige Befragungen durchgeführt wurden, sind die Erfahrungen und Ergebnisse ebenfalls

Gegenstand der Diskussionen in Zwingenberg. In den im Rahmen von MONITOR vorgesehenen, abgestimmten Nutzerakzeptanzbefragungen bei den SolarBau-Projekten sind Fragen zur Beleuchtung und zum Tageslicht mit Gegenstand des Fragebogens.