

# Tageslichtsysteme im Spiegel des Nutzers

Schuster, Heide; Dittmar, Carsten  
Universität Dortmund, Lehrstuhl für Klimagerechte Architektur  
Baroper Strasse 301, 44227 Dortmund  
schuster@klima.bauwesen.uni-dortmund.de

## Zusammenfassung

Um eine Reduktion des Gesamtenergieverbrauchs in Gebäuden zu erreichen und den Nutzerkomfort speziell in Büroräumen hinsichtlich Helligkeit und Blendfreiheit zu erhöhen, müssen Tageslicht und Sonnenenergie besser als bisher genutzt werden. Im Bereich von Architektur und Fassadentechnologie werden Tageslichtlenkung und Sonnenschutz daher immer wichtiger.

Im Rahmen eines Verbundprojektes der Universität Dortmund und dem Solar-Institut Jülich, gefördert von der Arbeitsgemeinschaft Solar, NRW, werden am Standort Dortmund insgesamt acht innovative Sonnenschutz- und Lichtlenksysteme in realen Büroräumen tageslichttechnisch vermessen. Es handelt sich um zum Teil auf dem Markt befindliche und zum Teil noch in der Entwicklung stehende Systeme. Sie werden mit Hilfe eines detaillierten Messprogramms unter Einbeziehung von Beleuchtungsstärken, flächenhaften Leuchtdichteaufnahmen mit CCD-Kameras und Nutzerbefragungen (In Zusammenarbeit mit der TU Ilmenau) über einen Jahreszyklus beurteilt.

Untersuchungen zur Nutzerakzeptanz wurden am Standort Dortmund mit über 300 Fragebögen durchgeführt. Nach Austausch eines Systems folgen noch weitere Studien. Inhaltlich wurden Daten zur Person, zur Funktion der Systeme, zur Privatheit, zum Raumeindruck, zur Helligkeit und deren Verteilung, zum Kunstlichtbedarf, zur Regelung und Eingriffsmöglichkeit und zur Blendung gesammelt. Die Befragungen wurden hauptsächlich bei sonnigen Verhältnissen und bei geschlossenem Sonnenschutz getestet, um eine Vergleichbarkeit zu gewährleisten und die Systeme im aktiven Zustand beurteilen zu können.

## 1. Motivation

Der Einsatz komplexer Fassadensysteme verbreitet sich mehr und mehr. Neue Materialien werden entwickelt und immer neue Möglichkeiten geschaffen, Tageslicht an Arbeitsplätzen zu nutzen. Aber die Beurteilung durch den Nutzer hinsichtlich visuellem Komfort, der Funktion und des Verständnisses der Wirkungsweise wurde bisher kaum untersucht. Bisherige Untersuchungen zum Thema Blendung an Arbeitsplätzen beziehen sich meist auf uniforme Lichtquellen (DGI) großer Fenster [1], kleiner Kunstlichtquellen (UGR) oder wurden weitgehend bei bedecktem Himmel durchgeführt [2].

Ziel dieser Studie zur Nutzerakzeptanz ist, die Beurteilung solch komplexer Tageslichtsystemen mit Sonnenschutz- und Lichtlenkfunktionen im Praxiseinsatz und bei aktiven Einstellungen zu abzufragen und diese mit gemessenen Daten zu verknüpfen.

## 2. Testanlage Dortmund

Die Testanlage in Dortmund liegt auf 51°3 Nord und 7°25 Ost mit einer Südwestorientierung der Hauptfassade (Bild 1). Sechs Testräume von gleichem Zuschnitt und Ausstattung sind am Lehrstuhl für Klimagerechte Architektur der Universität Dortmund entstanden (Bild 2). Hier können Messungen parallel unter realen Bedingungen eines Büros durchgeführt werden.

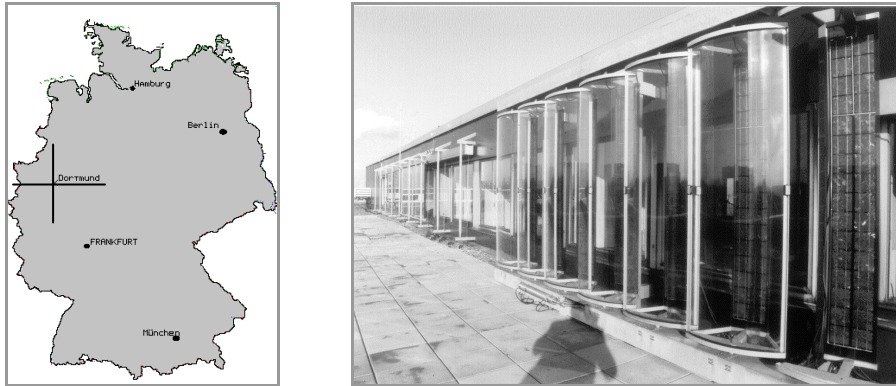


Bild 1 (oben): a: Lage Dortmunds und b: Außenansicht der Testfassade

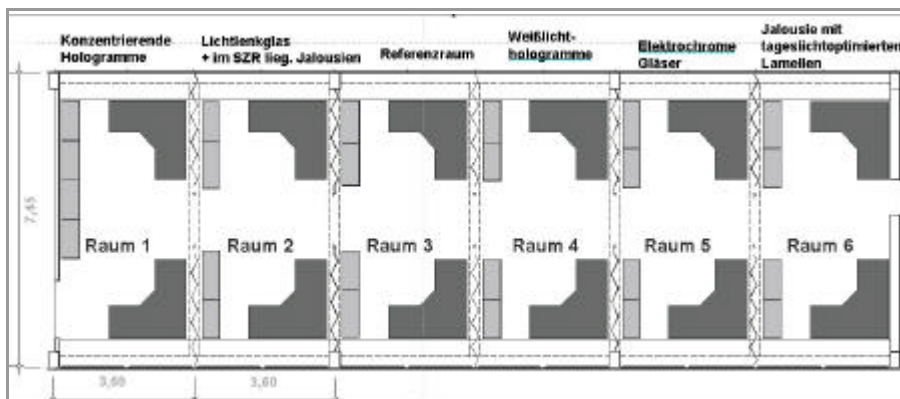


Bild 2 (unten): Grundriss der Testanlage

Die Testanlage beinhaltet folgende installierte Systeme (Bild 3):

- Raum 1: Konzentrierende Hologramme mit Photovoltaik – Sonnenschutzsystem in Kombination mit einem innenliegenden Blendschutz
- Raum 2: Im Scheibenzwischenraum liegendes Lichtlenkglas im Oberlichtbereich und Jalousien im Sichtbereich – Sonnen- und Blendschutz
- Raum 3: Referenz – außenliegender Sonnenschutz mit im Oberlichtbereich leicht geöffneten Lamellen zur Tageslichtnutzung
- Raum 4: Weißlichthologramme in Kombination mit einer außenliegenden Jalousie zur Tageslichtlenkung
- Raum 5: Elektrochromes Glas in Kombination mit einem innenliegenden Blendschutz
- Raum 6: Tageslichtoptimierte Jalousie mit im Oberlicht- und Sichtbereich getrennt stufenlos verstellbaren Lamellen

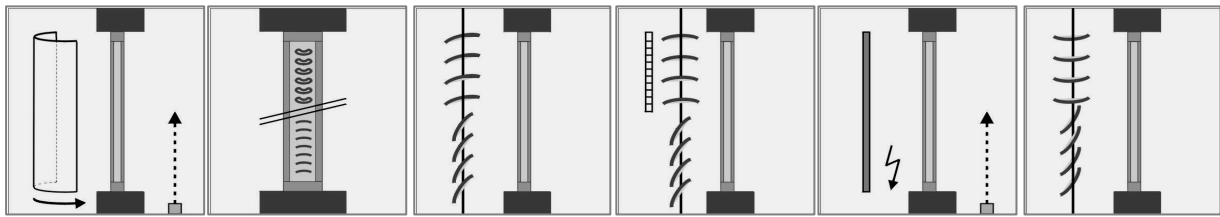


Bild 3: Von links nach rechts: Raum 1 bis 6

### 3. Messprogramm

Ein detailliertes Monitoringprogramm wurde für das Gesamtprojekt erarbeitet. Über den Zeitraum eines Jahres wurden Wetterdaten, Daten zum Systemstatus über EIB, den Systemzustand über Webcams mit dem Eingriff des Nutzers, Leuchtdichten mit CCD-Kameras [3] sowie detaillierte Beleuchtungsstärkewerte aufgezeichnet. Während der Messungen wurden die Räume lichttechnisch durch Vorhänge getrennt und die Regale zur besseren Vergleichbarkeit abgehängt. Die Nutzerbefragungen wurden über drei Quartale durchgeführt. Hierzu wurde das allgemeine Messprogramm leicht abgewandelt, um einen reibungslosen Ablauf zu gewährleisten. So wurden drei Deckensensoren mit Blick nach unten, Wandsensoren mit vertikaler Ausrichtung an den Seitenwänden und der Rückwand sowie ein vertikaler Messpunkt auf Augenhöhe in Fensterrichtung und ein Messpunkt in der Arbeitsebene (horizontal) zur Aufzeichnung der Beleuchtungsstärken am Arbeitsplatz verwendet. Weiterhin wurden während der Nutzerbefragungen Aufzeichnungen der Leuchtdichten mit CCD-Kameras vorgenommen. Hierzu wurden Fischaugenobjektive an verschiedenen Positionen eingesetzt (Bild 4a). Ein Beispiel einer typischen Aufnahme eines Büroraumes mit den Auswertungsbereichen wird in Bild 4b gezeigt.

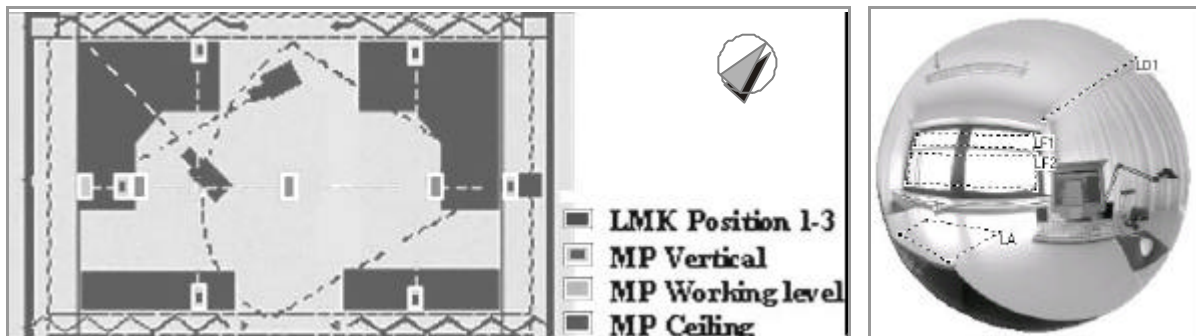


Bild 4a (links): Messaufbau während der Befragungen

Bild 4b (rechts): Beispiel für eine Aufnahme mit Fischaugenobjektiv und den auszuwertenden Bereichen

Der Vergleich von drei Jalousiesystemen zeigt die Differenz in den resultierenden Innenbeleuchtungsstärken in der Raumtiefe beispielhaft (Bild 5). Um die raumbegrenzenden Oberflächen beurteilen zu können werden Leuchtdichteaufnahmen mit den Ergebnissen der Befragungen in Beziehung gesetzt. Das Beispiel zeigt die sechs Testräume im Vergleich. Die unterschiedlichen resultierenden Helligkeiten der Räume bei aktiven Systemen können erkannt werden (Bild 6).

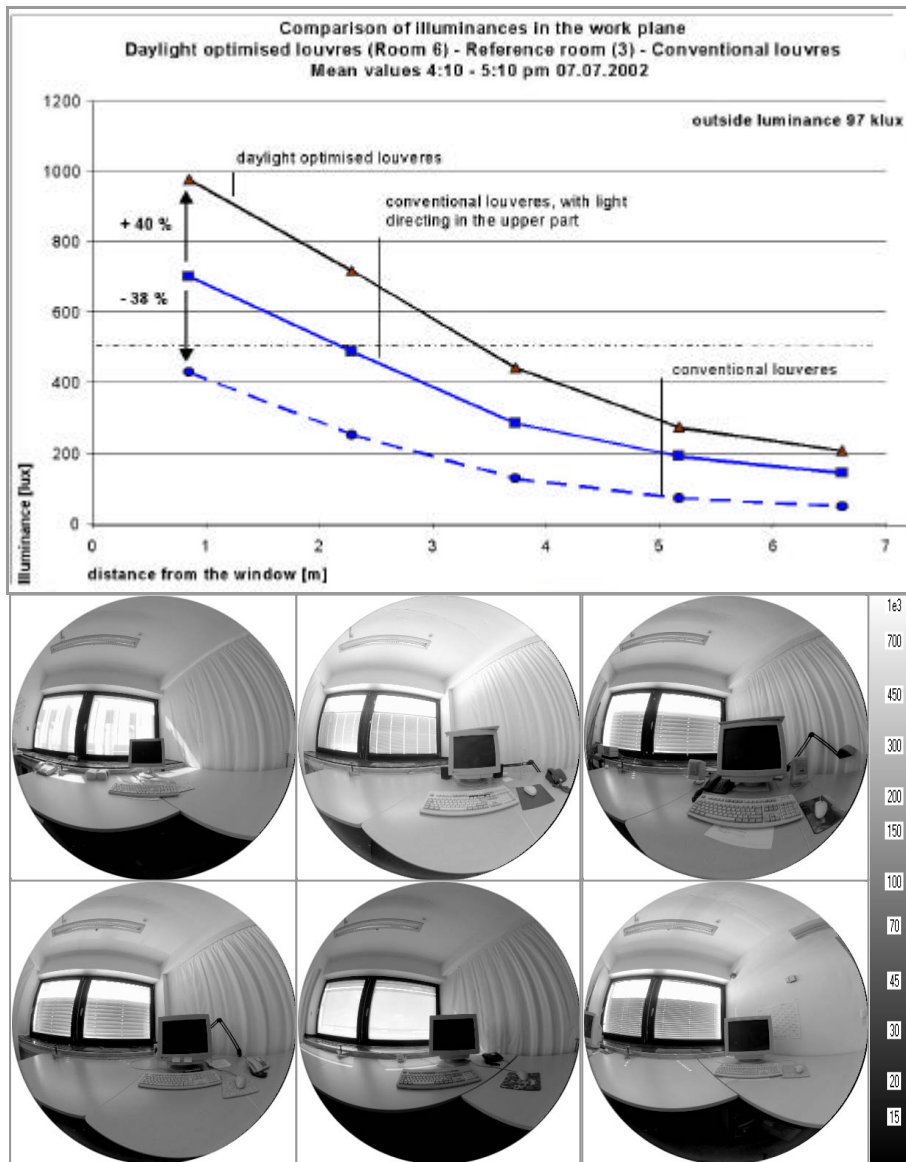


Bild 5: Vergleich von Innenbeleuchtungsstärken in der Raumtiefe an drei Beispielen

Bild 6: Vergleich von Leuchtdichteaufnahmen der sechs Testräume bei aktiven Systemen

#### 4. Methodik

Die Fragebögen für die Nutzerakzeptanzstudien wurden in Zusammenarbeit mit der TU Ilmenau entwickelt. Abgefragt wurde die subjektive Empfindung der Testpersonen während sie Computer- und Schreibaarbeit auszuführen hatten. Insgesamt 37 Fragen zur Person, zur Funktion der Systeme, zur Privatheit, zum Raumeindruck, zur Helligkeit und deren Verteilung, zum Kunstlichtbedarf, zur Regelung und Eingriffsmöglichkeit und zur Blendung wurden gestellt. Eine Gesamtzahl von über 300 Fragebögen konnte am Standort Dortmund bisher durchgeführt werden. Die Studie wurde während normaler Arbeitstage nachmittags durchgeführt, so dass der Höhenwinkel der Sonne den Tageshöchststand jeweils unterschritten hatte. Gestestet wurde weitgehend bei Sonne, um Daten über aktivierte Systeme sammeln und mögliche Störungen erkennen zu können.

Eine Gruppe von etwa 30, so genannten naiven (nicht im lichttechnischen Bereich tätigen) Testpersonen, die in Alter, Geschlecht und Herkunft unterschiedliche Voraussetzungen mitbrachten, wurde akquiriert. Sie wurden hinsichtlich der Funktion der Systeme und der Begrifflichkeit vorab geschult. Eine typische Situation mit in diesem Fall nicht- aktiviertem Sonnenschutz zeigt Bild 7. Der Ablauf der Nutzerbefragungen beinhaltet eine etwa 15minütige Einarbeitungsphase zur Anpassung an die innenräumlichen Lichtbedingungen (Bild 8). Es folgt eine etwa halbstündige Befragungsphase, in denen die Systeme fest voreingestellt sind. Am Ende jeder Befragungsrunde gibt es zusätzlich die Möglichkeit, die Systeme nach individuellen Bedürfnissen einzustellen und auch den Blendschutz, wenn gewünscht, bei allen Systemen zu integrieren. Eine Serie von Leuchtdichteaufnahmen wurde bei jeder Runde von unterschiedlichen Positionen vorgeschaltet. Zusätzlich wurden in je zwei Räumen parallel noch Aufnahmen in Serie gemacht, die mit den Ergebnissen der Fragebögen verknüpft werden können.



Bild 7 (links): Typische Situation während der Befragungen

## Ablauf Nutzerbefragungen



Bild 8 (rechts): Schema über den Ablauf der Befragungen

## 5. Erste Ergebnisse

Nur wenige erste Ergebnisse der Befragungen können hier bereits gezeigt werden. Eine komplexe Auswertung mit Verknüpfung zu Messdaten sowie Quervergleichen aller Fragen ist noch im Arbeitsprozess und wird erst zum Ende dieses Jahres abgeschlossen werden können.

Eine allgemeine Frage, ob Tageslicht in den Testräumen bei aktiviertem, das heißt geschlossenem Sonnen- und Blendschutz, und sonnigen Bedingungen ausreichend ist, wurde den Probanden gestellt. Das vorläufige Ergebnis dieser Frage zeigt die Unterschiede in der Beurteilung der einzelnen Testräume deutlich. Raum 2 (Lichtlenkglas) schneidet hier im Vergleich zu anderen Räumen deutlich besser ab. Dieses Ergebnis konnte durch Messdaten bestätigt werden (Bild 9). Bild 10 zeigt die Ergebnisse zur Frage nach wahrnehmbarer Lichtlenkung. Sie dokumentiert die Funktion der Systeme. Der Effekt der Lichtlenkung wurde meist positiv bewertet. Negative Beurteilung wurde nur dann abgegeben, wenn gleichzeitig Blendung auftrat.

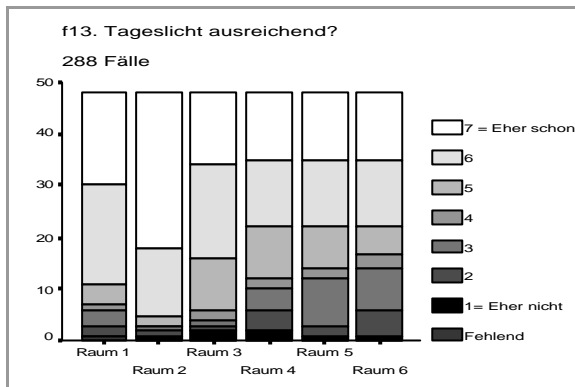


Bild 9: Frage: Ist das Tageslicht an Ihrem Arbeitsplatz Ihrer Meinung nach ausreichend.

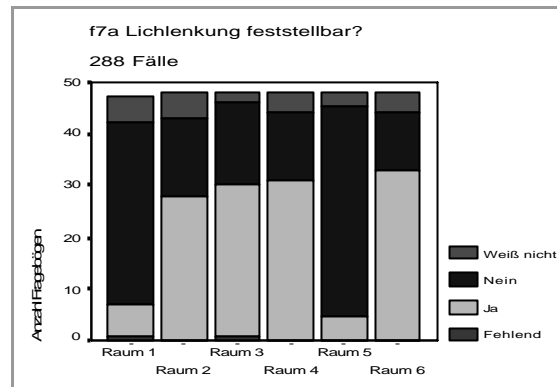


Bild 10: Frage: Ist eine Lichtlenkung an Ihrem Arbeitsplatz feststellbar?

Betrachtet man die gemessenen Leuchtdichten entlang des Deckensturzes in der Raumtiefe (Bild 11), so kann man unschwer erkennen, dass Raum zwei einen deutlich höheren Durchschnittswert hat wie auch in Bild 9 bereits durch Befragungen dokumentiert. Weitere Quervergleiche zu Messdaten und anderen Fragen müssen noch geleistet werden.

Eine Frage nach sichtbaren Mustern oder Streifen an den raumbegrenzenden Oberflächen (Bild 12) wurde gestellt. Die Uniformität in der Verteilung des Lichtes im Raum bzw. die im unmittelbaren Sichtfeld auftretenden Kontraste spielen bei der Bewertung von Blendung eine große Rolle. So können durch ein Sonnenschutzsystem verschiedene Pattern über den Tag erscheinen. Aufgrund großer Kontraste im Blickfeld des Betrachters kann dies zu Störungen der Sehleistung führen. Der geringste Anteil an sichtbaren Mustern konnte in Raum 5 ausgemacht werden, der höchste naturgemäß in den Räumen mit horizontalen Lamellen.

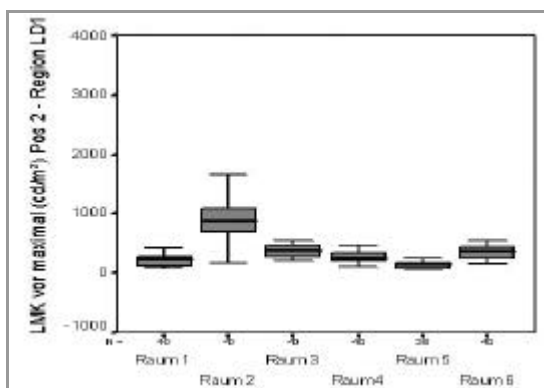


Bild 11 Varianz der Leuchtdichten an der Decke in der Raumtiefe im Vergleich der Testräume

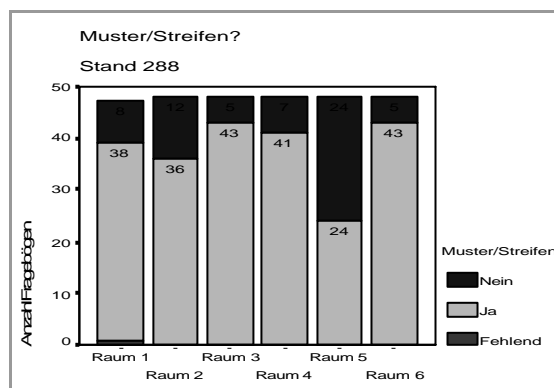


Bild 12: Frage nach Mustern oder Streifen an den raumbegrenzenden Oberflächen

Die Folgefrage nach störenden Spiegelungen (Bild 13) gibt Aufschluss über die Varianz bei unterschiedlichen Systemen. Dabei werden störende Spiegelungen am häufigsten in den Räumen mit großen Horizontallamellen empfunden. Bild 14 zeigt ein Beispiel eines Raumes mit horizontalen Lamellen, die nicht der Sonne nachführbar eingestellt sind. Nachmittags, wenn der Höhenwinkel der Sonne niedrig ist, zeigen sich deutliche Reflexe sogar auf dem System selbst, aber auch auf den Wänden. Betrachtet man nun im Zusammenhang die resultierenden Leuchtdichten in den einzelnen Räumen (Bild 15), erkennt man, dass die Bewertung dort, wo größere

Varianzen auftauchen, auch häufiger Blendung empfunden wird, unabhängig vom Durchschnittswert eines jeden Raumes. Hier werden noch detailliertere Betrachtungen im weiteren Verlauf erfolgen.

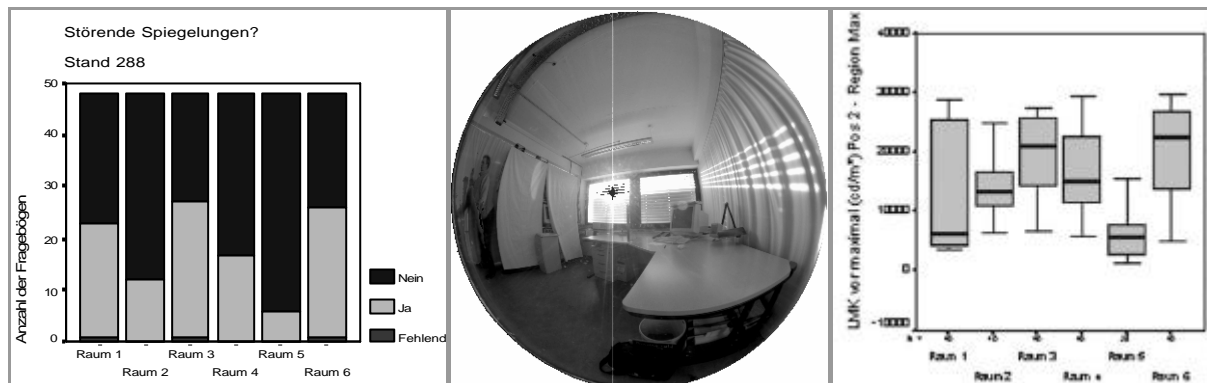


Bild 13 (links): Frage störender Spiegelungen im Sichtfeld

Bild 14 (mitte): Aufnahme eines Raumes mit horizontalen Lamellen am späten Nachmittag. Zu sehen sind deutliche Reflexe auf dem System aber auch auf den Wänden.

Bild 15 (rechts): Varianz der Leuchtdichten im Gesamtfeld über den Halbraum betrachtet

## 6. Fazit

Aus den Betrachtungen einiger weniger vorläufiger Ergebnisse von Befragungen des Teststandes Dortmund kann man folgende erste Schlüsse ziehen:

Eine Akzeptanzuntersuchung von komplexen Tageslichtsystemen ist dringend notwendig, da Systeme manuell ausgeschaltet oder gar beschädigt werden können, wenn sie den Nutzer nicht zufrieden stellen. Die Akzeptanz verhält sich nicht zwingend proportional zur erbrachten Helligkeit im Raum.

Ein zusätzlicher Blendschutz hat sich in jedem Fall bewährt und wird von den Nutzern auch eingesetzt, um beispielsweise eine bessere Aussicht zu erhalten, wenn auf den eigentlichen Sonnenschutz verzichtet werden kann. Besonderes Augenmerk ist auf die Zeiten zu legen, in denen die Sonnenstände flach sind, da hier manche Systeme nicht flexibel genug reagieren können, um Blendung zu vermeiden. Auch hier bewährt sich der zusätzliche Blendschutz.

Die Helligkeit im Raum ist anscheinend nicht notwendigerweise ein Indiz für eine gute Gesamtperformance eines Systems. Viel mehr zählen Punkte wie die Aussicht und die Flexibilität zu wichtigen Kriterien.

Weitere Quervergleiche und detaillierte (statistische) Auswertungen der Antworten sowie die direkte Verknüpfung zu Messdaten sind noch notwendig, um genauere Aussagen über die Akzeptanz und entsprechenden Bewertungsgrenzen machen zu können. Weitere Studien zur Nutzerakzeptanz von Steuerung und Regelung sowie dem Kunstlicheinsatz wären wünschenswert. Auf diese Weise könnte eine gute Basis an Möglichkeiten der Bewertung geschaffen werden. Ein Versuch eines komplexen Bewertungssystems wurde kürzlich vorgestellt [4]. Hier fehlen jedoch noch Möglichkeiten der Integration von Messwerten.

## 7. Literatur

- [1] Chauvel, P (1980).; Dogniaux, R.; Collins, J. B. ; Longmore, J.: Glare from Windows : Current views of the problem. Proc. of the Symposium on Daylight, Berlin (West) and others
- [2] Velds, Martine (1999). „Assessment of lighting quality in office rooms with daylighting systems“. Dissertation, Delft/Berlin.
- [3] TechnoTeam Bildverarbeitung GmbH, [www.technoteam.de](http://www.technoteam.de)
- [4] Sick, Friedrich (1999). „Zur Beurteilung der Tageslichtualität in der Praxis“. 5. Symposium Innovative Lichttechnik Staffelstein.