Tageslicht und Sonnenschutz – Fassadenbewertung mit realistischen Regelstrategien

Jan Wienold, Tilmann E. Kuhn,
Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE
Heidenhofstraße 2 Tel.: 0761 / 4588 5 133 Fax.: - 9 133
79110 Freiburg E-Mail: jan.wienold@ise.fraunhofer.de

1. Einleitung

Das Fraunhofer ISE hat die Computer-Rechenwerkzeuge für die Beratung von Architekten, Gebäudeplanern und Systemherstellern so weiterentwickelt, dass nun Regelstrategien für Sonnenschutzsysteme nicht nur in Bezug auf den sommerlichen Wärmeschutz evaluiert werden können, sondern auch in Bezug auf Tageslichtversorgung und Blendschutz. Insbesondere eine gleichzeitige Evaluierung der Häufigkeitsverteilung der mittleren Leuchtdichte und der mittleren g-Werte für eine bestimmte „realistische“ Regelstrategie der Fassade ist nun möglich. In Kapitel 4 werden Ergebnisse für eine Beispielfassade vorgestellt.
Das Zusammenwirken von Anforderungskriterien bezüglich Tageslichtnutzung und sommerlichem Wärmeschutz spielt bei der Planung eine große Rolle. Häufig wird hierbei die Sensitivität der eingesetzten Systeme auf verschiedene Regelstrategien bzw. Nutzereingriffe vernachlässigt. Zum Beispiel werden immer wieder minimal erreichbare g-Werte und Leuchtdichten von geschlossenen Jalousiesystemen für die Auswahl der Fassade verwendet – ungeachtet dessen, dass der Nutzer das System in Realität nicht dauernd geschlossen hält, insbesondere um den visuellen Außenbezug herzustellen. Bei fast allen Sonnenschutzsystemen verschlechtert sich der Sonnenschutz und der Blendschutz, wenn die Lamellen geöffnet werden. Wenn also bei Jalousiesystemen nicht berücksichtigt wird, dass der Nutzer das System aus visuellen Komfortgründen nicht immer schließen wird, dann entsteht hierdurch ein Unsicherheitsfaktor bei der Planung.

2. Blendungsbewertung

Die Bildschirmarbeitsverordnung vom 20.12.96 fordert in § 4: »Der Arbeitgeber hat geeignete Maßnahmen zu treffen, damit die Bildschirmarbeitsplätze den Anforderungen des Anhangs und sonstiger Rechtsvorschriften entsprechen.« Mit der Erwähnung von sonstigen Rechtsvorschriften wird auf DIN und CEN Normen verwiesen, die den Stand der Technik festschreiben. Im Vorwort der Verordnung wird explizit gesagt, dass »die Anforderungen in der Regel bei Beachtung von Sicherheitsregeln der Unfallversicherungsträger und entsprechenden DIN-Normen erfüllt werden«. Der gegenwärtige Stand der Diskussionen bei den Unfallversicherungsträgern spiegelt sich in der Infobroschüre „Sonnenschutz im Büro“ von der Verwaltungs-Berufsgenossenschaft vom Mai 2002 wieder, bei der das Fraunhofer ISE beratend mitgewirkt hat [Tabelle A1, VBG Sonnenschutz-Info]. Dort wird eine Begrenzung der mittleren Leuchtdichte an der Fassadeninnenseite auf 200 – 4000 cd/m^2 gefordert, je nachdem wie der Bildschirm aufgestellt ist und wie gut der entspiegelt ist. Bei neue-

ren LCD Monitoren ergeben sich Anforderungen an die maximale mittlere Leuchtdichte von 1000 – 4000 cd/m^2, je nach Aufstellung des Monitors.

Die Schwierigkeit ist, dass die aktuellen Normen hauptsächlich auf der Behandlung von konstanten und großflächigen Blendlichtquellen beruhen. Das heißt, dass diese Normen sinnvolle Festlegungen für großflächige Blendquellen darstellen. Doch wie kann dies auf ein Blendschutzsystem für Tageslicht übertragen werden? Gerade hier können punktuell große Leuchtdichten auch bis weit über 10 000 cd/m² auftreten, ohne dass tatsächlich Blendung auftritt. Oder wie wird das zeitliche Auftreten bewertet? Reicht ein 5-minütiges Auftreten pro Tag aus, um ein System als unzureichend zu bewerten? Wo wird die Grenze gezogen? Können existente Blendindices auf die komplexe Tageslichtsituation angepasst und verwendet werden?
All diese Fragen können nicht mit den derzeitigen und den im Entwurf befindlichen Normen beantwortet werden. Ebenso fehlen entsprechende Normen für die Blendschutzprüfungen als Nachweisverfahren für die Tauglichkeit von Tageslicht- und Sonnenschutzsystemen für Bildschirmarbeitsplätze.

3. Sommerlicher Wärmeschutz: Bewertung der Sonnenschutzwirkung.

Definition g-Wert

Der g-Wert ist eine physikalisch messbare Größe, die angibt, welcher Prozentsatz der eingestrahlten Energie im Innenraum ankommt. Ein g-Wert von 0.3 bedeutet, dass 30% der eingestrahlten Energie im Innenraum ankommt. Wichtig ist es zu verstehen, dass der g-Wert eine Eigenschaft der Fassade ist, die von mehreren Einflussgrößen abhängig ist, unter anderem von folgenden Größen:

- Bei regelbaren Systemen hängt der g-Wert von der Einstellung des Systems ab. (z. B. Lamellenwinkel oder Schaltzustand einer Verglasung)
- Der g-Wert hängt von der Einfallsrichtung der Sonne ab.
- Bei Sonnenschutzjalousien oder -rollos hängt der g-Wert sowohl von der Verglasung, als auch vom Sonnenschutzsystem ab. Das heißt, dass die Sonnenschutzwirkung unterschiedlich ist, je nachdem ob das System mit einer Sonnenschutzverglasung kombiniert wird oder mit einer Wärmeschutzverglasung.
- Der g-Wert ist von den Windbedingungen abhängig. Das liegt daran, dass es vom Wind an der Probenaußenseite abhängt, wie gut die absorbierte Energie nach außen transportiert wird.

Bewertung der Hitzeschutzwirkung

Eine detaillierte Diskussion der Einflussgrößen und von Bewertungsmethoden findet sich in [Kuhn 2000]. Dort ist unter anderem dargestellt, dass der g-Wert direkt kalorimetrisch gemessen werden kann, dass es auch verschiedene Rechenverfahren gibt, um den g-Wert zu ermitteln (z. B. [ISO15099], [prEN13363]) und dass die Sonnenschutzwirkung von der Regelstrategie abhängig ist. Für Sonnenschutzsysteme (insbesondere für innenliegende) entspricht es nicht dem Stand der Technik, wenn die Rechnung nach EN410 durchgeführt wird, weil weder Hinterlüftung, noch diffus streuende Schichten berücksichtigt werden können. Werden die Formeln der EN410 für winkelabhängige g-Werte verwendet, können sich selbst bei Zweifachverglasun-

gen relative Fehler bis zu 20% im g-Wert ergeben (EU Forschungsprojekt ADOPT [Roos et. al., 2000]). Der Einfluss der Regelstrategie ist für den in diesem Vortrag diskutierten Themenkreis der wichtigste Punkt. Wie in der Einleitung erwähnt, gibt es die thermische Anforderungen »Sonnenschutz«, die an die Systeme gestellt wird. Geregelt werden die Systeme aber vom Nutzer hauptsächlich aufgrund von visuellen Komfortkriterien (Durchsicht, Blendschutz oder Tageslichtversorgung). Hieraus ergibt sich zwingend, dass dies bei der Planung von Sonnenschutzsystemen berücksichtigt werden muss, damit eine ausreichende Planungssicherheit erreicht werden kann. Dies gilt nicht nur bei Neubauten, sondern auch bei der Nachrüstung von Sonnen- und Tageslichtsystemen. Hieraus ergibt sich die Anforderung, dass das System den thermischen Komfort quasi nebenbei sicherstellen muss, während der Nutzer das System entsprechend seinen visuellen Komfortbedürfnissen einstellt.
Die Schwierigkeit besteht nun darin, dass man dem Nutzer in aller Regel keine Regelstrategie aufzwingen kann und will. Deshalb kennt man a priori die Regelstrategie des Nutzers nicht. Andererseits macht es unserer Meinung nach keinen Sinn, wenn man das Gebäude so auslegt, dass der thermische Komfort im Sommer gewährleistet ist, auch wenn der Sonnenschutz überhaupt nicht betätigt wird, weil man sonst in sehr vielen Fällen eine Klimaanlage einplanen müsste, die zudem für die meisten Betriebszustände überdimensioniert wäre. Hieraus ergibt sich, dass man dem Nutzer eine seinen individuellen Bedürfnissen entsprechende Regelung des Systems *in gewissen Grenzen* ermöglichen sollte. Natürlich sollten diese Grenzen so ausgewählt werden, dass sie von den meisten oder allen Benutzern akzeptiert werden. Die vom Nutzer bevorzugten Regelstrategien sind Gegenstand von mehreren aktuellen und abgeschlossenen Forschungsarbeiten [Reinhart et. al. 2000], [Lindsay 1992]. Ein Vorschlag für Jalousien mit lackierten Lamellen (keine Retro- oder Tageslichtlamellen) sind folgende Grenzen für eine sinnvolle Nutzung der Systeme:

Regelstrategie »Cut-Off« als Grenze für eine sinnvolle Nutzung von Jalousien:

Die Vorgabe für den Nutzer ist, dass er die Lamellen mindestens so weit schließen soll, dass kein direktes Licht zwischen den Lamellen hindurchfällt. Er kann sie aber entsprechend seinen visuellen Anforderungen weiter schließen wenn er möchte.
Damit das Gebäude entsprechend diesem Planungsansatz thermisch funktioniert, muss es folglich so ausgelegt sein, dass der thermische Komfort gewährleistet ist, wenn die Lamellen in Abhängigkeit von der aktuellen Sonnenposition so weit geschlossen werden, dass gerade kein direktes Licht zwischen den Lamellen hindurch fällt (»Cut-Off Position«).

4. Bewertung am Beispiel einer weißen, innenliegenden Jalousie hinter einer Zweifach-Wärmeschutzverglasung

Am Beispiel einer weißen, innenliegenden Jalousie mit 50 mm breiten konkaven Lamellen und einem Lamellenabstand von 29 mm wird das solarthermische und lichttechnische Verhalten an einem Sommertag auf der Basis von Modellrechnungen

analysiert. Abbildung 1 zeigt die Wettersituation, es handelt sich um einen strahlungsreichen 21. Juni in Freiburg (Testreferenzjahr 7). Abbildung 2 verdeutlicht den Einfluss des hohen Sonnenstandes und der diffusen Einstrahlung auf den effektiven g-Wert. Der effektive g-Wert wurde unter Berücksichtigung von direkter und diffuser Einstrahlung und unter Berücksichtigung der Winkelabhängigkeit des g-Wertes entsprechend [Kuhn 2000] berechnet. Nimmt man wie oben dargestellt die „Cut-Off-Stellung“ der Lamellen als Auslegungsgrenze für das Gebäude, dann kann man von für diesen Tag von einem g-Wert von 0.27 bis 0.33 ausgehen, was deutlich unter dem Verglasungs g-Wert von 0.53 bei senkrechtem Lichteinfall liegt. Natürlich kann man für die tatsächliche Auslegung eines Gebäudes nicht nur einen Tag analysieren, wir beschränken uns nur der Übersichtlichkeit halber beispielhaft auf diesen einen Tag. Abbildung 2 zeigt auch die starke Abhängigkeit des effektiven g-Wertes von der Regelstrategie. Abbildungen 3 + 4 zeigen die zugehörige Beleuchtungssituation für ein Büro, bei dem die Pfosten-Riegel Fassade oberhalb der Brüstung komplett verglast ist. Eine Visualisierung des Büros zeigt Abbildung 5. Man sieht, dass zwischen 8:00 Uhr und 18:00 Uhr eine Beleuchtungsstärke von 300 lux am fensternahen Arbeitsplatz durch Tageslicht sichergestellt ist, egal wie die Lamellen der Jalousie gestellt sind. Schaut man sich die mittleren Leuchtdichten an der Fassade in Abbildung 4 an, dann sieht man, dass die Cut-Off Stellung (horizontale Lamellen wegen der hochstehenden Sonne) aus Blendschutzgründen nicht optimal ist, insbesondere bei Bildschirmarbeit. Werden die Lamellen um 26° aus der Horizontalen gekippt, dann bleibt die mittlere Leuchtdichte der Fassade auf Werte zwischen 1000 und 2000 cd/m^2 begrenzt.
Wenn man also an diesem Tag die Lamellen konstant auf 26° stellt, wenn die Sonne auf die Fassade trifft, dann bleibt die mittlere Fassadenleuchtdichte unter 2000 cd/m^2 und der g-Wert ist kleiner als bei der Cut-Off Stellung und die Tageslichtversorgung ist an fensternahen Arbeitsplätzen ausreichend.

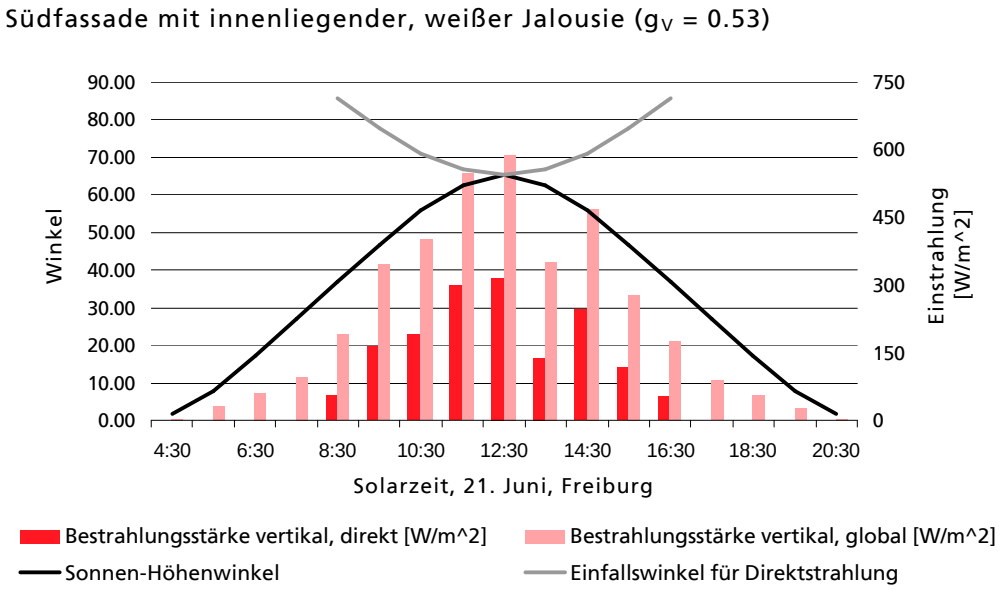

Abbildung 1: Typische Wetterdaten für den 21. Juni in Freiburg (TRY 7)

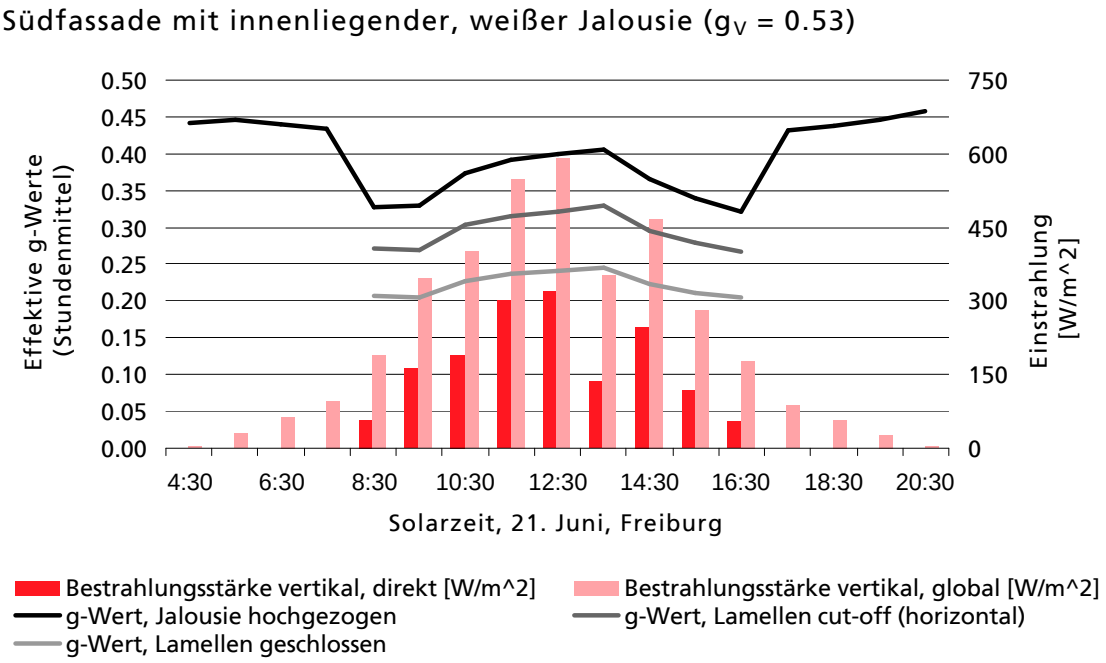

Abbildung 2: Effektive g-Werte für eine Südfassade mit einer Zweifach-Wärmeschutzverglasung mit einem g-Wert g_V = 0.53. Man sieht, dass der g-Wert aufgrund des hohen Sonnenstandes auch ohne Sonnenschutz weit unter dem Wert von 0.53 bei senkrechter Einstrahlung liegt, wenn die Sonne direkt auf die Fassade scheint. Auch an diesem Tag mit sehr hoher Einstrahlung trifft ein großer Teil der Strahlung diffus auf die Fassade. Es wird deutlich, dass die solaren Gewinne stark von der Regelstrategie abhängig sind.

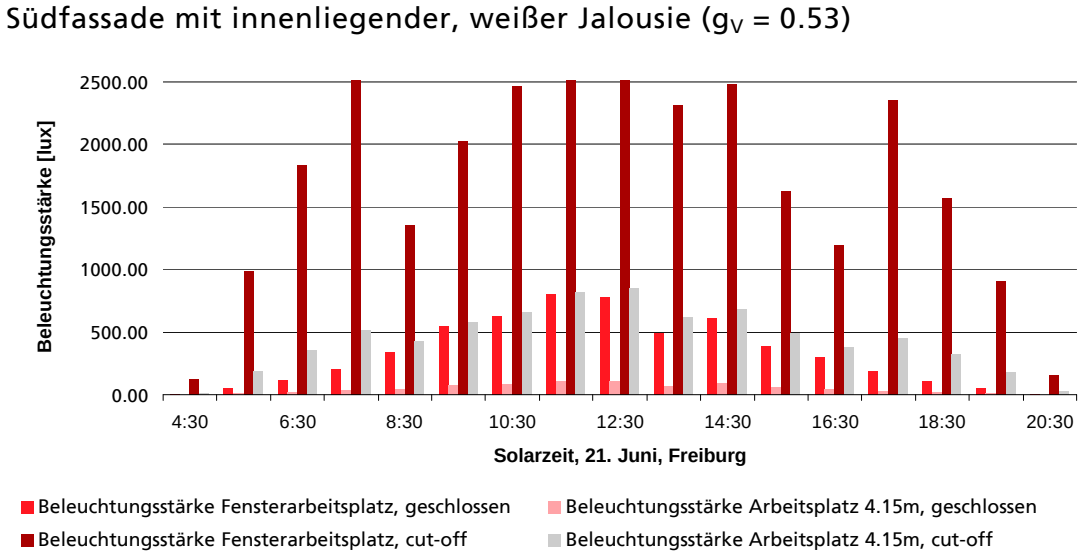

Abbildung 3: Beleuchtungsstärke für ein Südbüro mit Wärmeschutzverglasung und innenliegender weißer Jalousie. Die Pfosten-Riegel-Fassade ist oberhalb der opaken Brüstung komplett verglast. Man sieht, dass am fensternahen Arbeitsplatz zwischen 7:00 Uhr und 19:00 Uhr mehr als ausreichend Tageslicht vorhanden ist, wenn die Lamellen horizontal gestellt werden. Die lichttechnischen Rechnungen wurden mit dem Simulationsprogramm Radiance durchgeführt [Radiance].

Südfassade mit innenliegender, weißer Jalousie (g_V = 0.53)

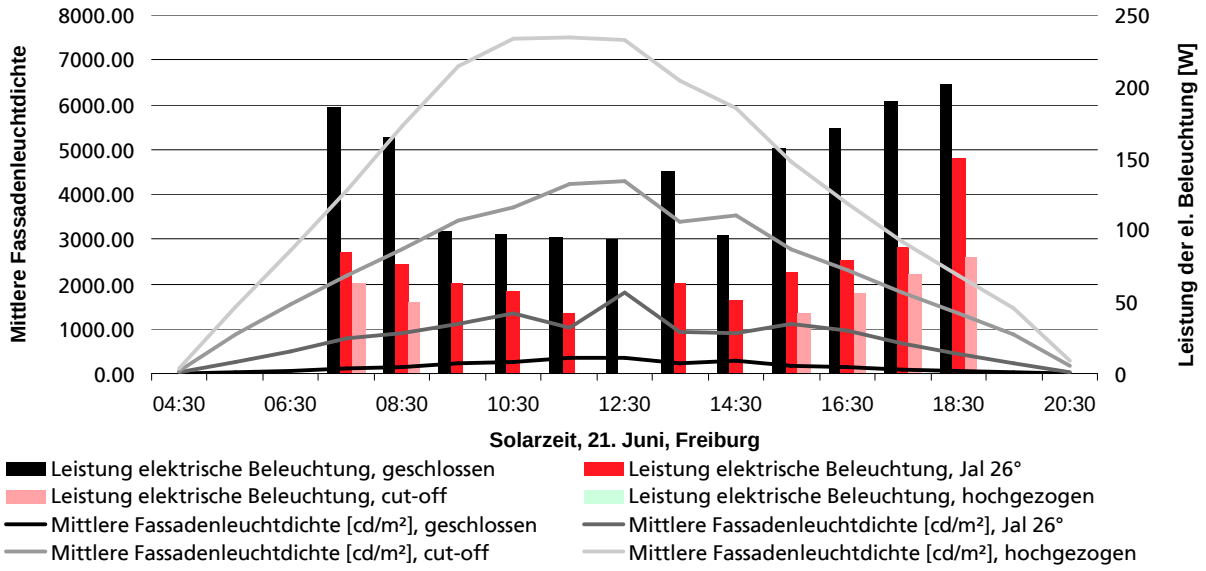

Abbildung 4: Die linke y-Achse gibt die mittlere Leuchtdichte an der Fassade an, die rechte y-Achse zeigt die gesamte elektrische Leistung, die notwendig ist um den fensternahen und den fensterfernen Arbeitsplatz mit mind. 500 lux zu beleuchten.
Die mittlere Fassadenleuchtdichte (Linien) liegt zwischen 8:00 Uhr und 17:00 Uhr zwischen 1000 und 2000 cd/m^2, wenn die Jalousien um 26° aus der Horizontalen gekippt werden.

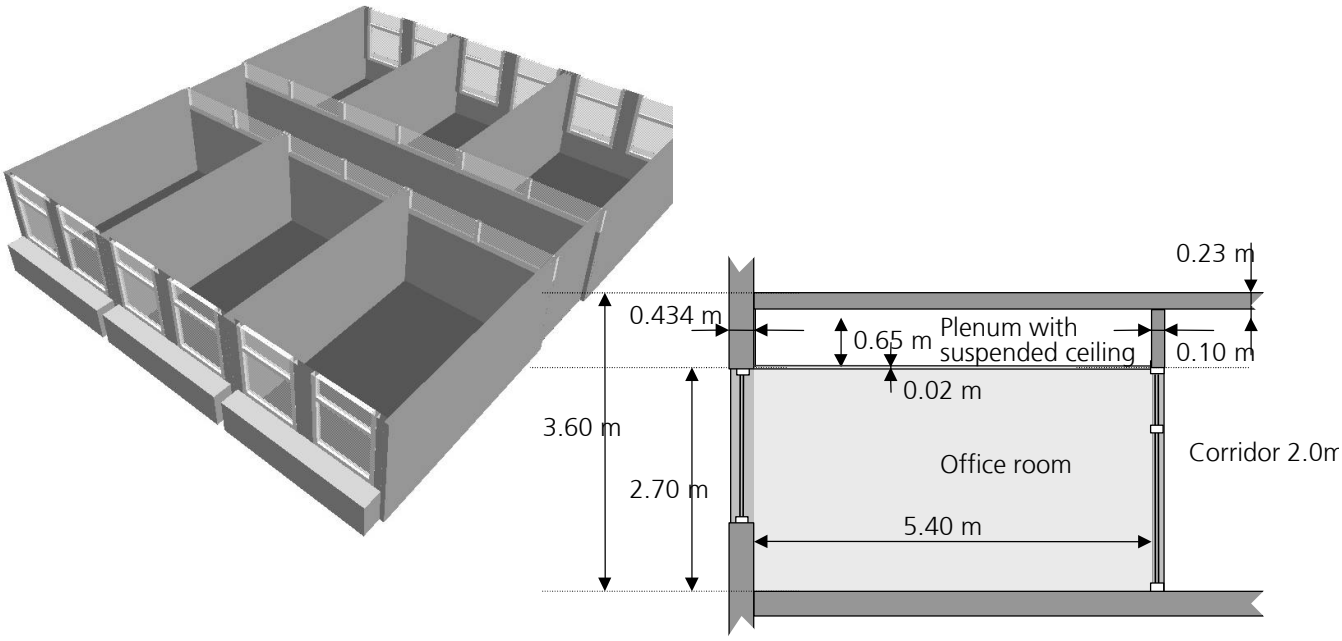

Abbildung 5: Visualisierung des untersuchten Büros, die Raumtiefe beträgt 5.4 m. Es wurde nur eine Südfassade untersucht. Im Querschnitt ist auch noch die Abgehängte Decke zu sehen.

5. Fazit:

Die Art und Weise wie Sonnenschutzsysteme benutzt werden, kann dramatische Auswirkungen auf Kühllast, Blendschutz und Kunstlichtbedarf haben. Unterschiedliche Nutzerprofile sollten in einer frühen Planungsphase entwickelt werden. Deren Auswirkungen auf das thermische und lichttechnische Verhalten der Gebäudehülle sollte mit Hilfe von realistischen und zuverlässigen Methoden evaluiert werden. Erst diese Analyse der Robustheit (oder Unempfindlichkeit gegenüber Fehlbedienung) führt zu einem realistischen Vergleich von verschiedenen Alternativen. Das Fraunhofer ISE hat seine Computer-Werkzeuge genau für diesen Zweck weiterentwickelt. Jetzt kann nicht nur die Tageslichtversorgung und der sommerliche Wärmeschutz simultan evaluiert werden sondern auch der Blendschutz.

Literatur

[ISO15099]	Draft international standard ISO/DIS 15099:2000. Thermal performance of windows, doors and shading devices - Detailed calculations.
[Kuhn 2000]	Kuhn T. E., Platzer W. J.; June 2000. Evaluation of overheating protection with sun-shading devices, proceedings of the EuroSun 2000, June 19-22, Copenhagen, Denmark.
[Lindsay 1992]	Lindsay C. R. T., Littlefair P. J.; October 1992. Occupant use of venetian binds in offices. PD 233/92. Watford, Buiding Research Establishment.
[prEN13363]	Solar protection devices combined with glazing – Calculation of solar and light transmittance. Part 1: Simpified method (1998), Part 2: Reference calculation method (CEN/TC89/WG 7 N 129 rev 8, 1997)
[RADIANCE]	Das Simulationsprogramm wurde am Lawrence-Berkley-Lab entwickelt und kann ohne Lizenzgebühren benutzt werden. Download unter http://www.lbl.gov
[Reinhart et. al. 2000]	Reinhart, C. F., Monitoring and Analysis of the Manual control strategies for Artificial Lighting and Venetian Blinds of 20 users – Experimental Setup and Preliminary Results", Siebtes Symposium über Innovative Lichttechnik in Gebäuden, Staffelstein
[Roos et. al., 2000]	Roos, Arne et. al 2000. Proceedings of the EuroSun 2000, Kopenhagen. Angular dependent optical properties of low-e and solar control Windows. Simualtions versus measurements. Dieses Papier präsentiert die Ergebnisse des EU-Forschungsprojekts ADOPT (SMT4-CT96-2138).
[VBG Sonnenschutzinfo]	Sonnenschutz im Büro. Hilfen für die Auswahl von geeigneten Blend- und Wärmeschutzvorrichtungen an Bildschirm- und Büroarbeitsplätzen. Schriftenreihe Prävention. SP 2.5 (BGI 827), Mai 2002.