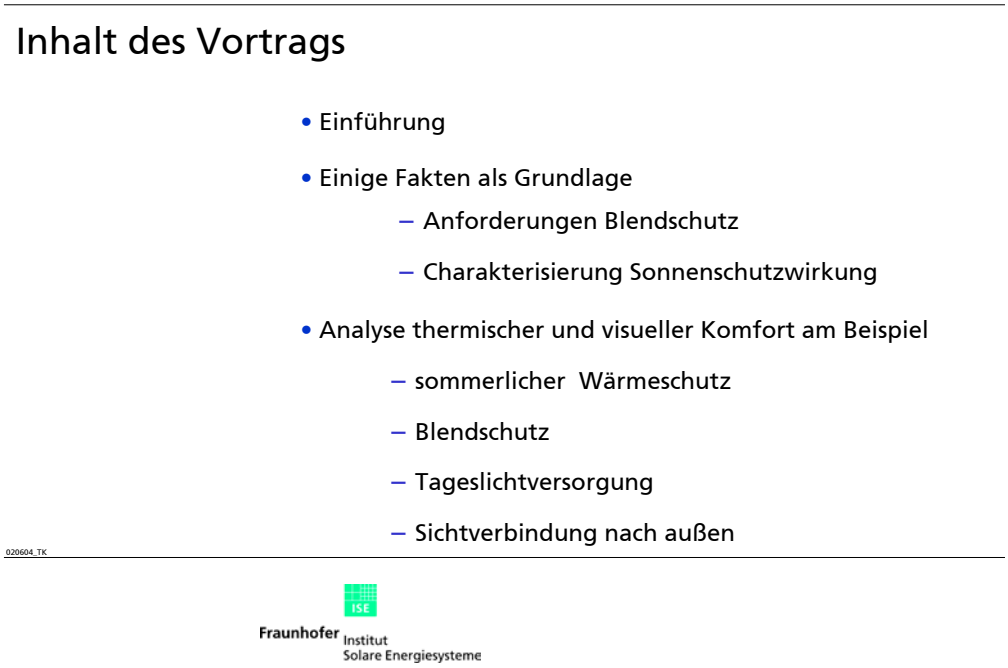
Sommerlicher Wärmeschutz und Tageslichtnutzung im Verwaltungsbau

Tilmann E. Kuhn, Jan Wienold
Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE
Heidenhofstraße 2 Tel.: 0761 / 4588 5 297 Fax.: - 9 297
79110 Freiburg E-Mail: tilmann.kuhn@ise.fhg.de

Planungssicherheit für qualitativ hochwertige Arbeitsplätze gepaart mit niedrigen Betriebskosten und geringem Energieverbrauch hat bei modernen Verwaltungsbauten höchste Priorität. Dieses Ziel kann nur erreicht werden, wenn die Regelung der Fassadensysteme und die richtungsabhängige solare Einstrahlung bei der Gebäudeplanung berücksichtigt werden. Wichtig ist insbesondere die Frage, wie empfindlich ein System auf sogenannte Fehlbedienung reagiert.
Ziele des Vortrags:

- *Die Zuhörer sollen davon überzeugt werden, dass thermischer und visueller Komfort nur gleichzeitig optimiert werden können. Eine Trennung der Aspekte ist nicht sinnvoll.*
- *Es soll die Methodik des Fraunhofer ISE vorgestellt werden, mit der diese simultane Analyse durchgeführt werden kann.*

1. Einleitung



Das Fraunhofer ISE hat im Jahr 2002 die Methoden 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 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 (oder bei der Ausschreibung) 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. Blendschutz

Blendschutz: Tabelle A1, der VBG Sonnenschutz-Info

Aufstellung des Bildschirms zum Fenster	Bildschirm		maximale mittlere Leuchtdichtebegrenzung L_{mittel}
	Darstellung	Güteklasse der Entspiegelung	
so dass sich das Fenster im Bildschirm spiegeln kann (Bei breiten Fensterfronten und gewölbten Bildschirmanzeigen [Katodenstrahl-Bildschirmen] ist es auch möglich, dass sich die Fenster im Bildschirm spiegeln)	positiv	III	≤ 200 cd/m²
	negativ	II und III	
	positiv	I und II	≤ 1.000 cd/m²
	negativ	I	
mit Blickrichtung parallel zum Fenster, so dass sich die Fenster **nicht** im Bildschirm spiegeln können	alle	alle	≤ 2.000 cd/m² bis 4.000 cd/m²

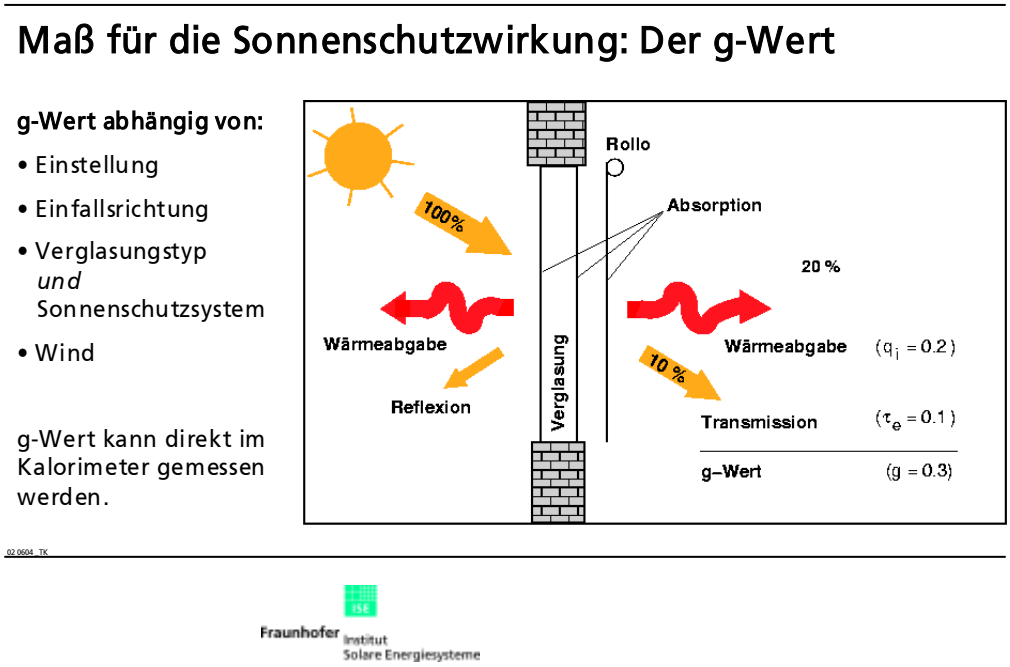
02 0604_TK

Fraunhofer Institut Solare Energiesysteme

Ganz wichtig ist, dass es keine Anforderungen gibt, wie ein System genutzt werden soll. Es besteht vielmehr die Forderung an den Arbeitgeber und den Gebäudeplaner, dass die Fassadensysteme so genutzt werden *können*, dass gewisse Grenzwerte eingehalten werden, *wenn der Nutzer das will*.
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 neueren 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.

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 bewegliche 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 Zweifachverglasungen relative Fehler bis zu 20% im g-Wert ergeben (EU Forschungsprojekt ADOPT [Roos et. al., 2000]). Deshalb ist es wichtig, dass berechnete Werte durch Messungen validiert werden. 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.

Effektiver g-Wert
(Stundenmittelwert/Monatsmittelwert)

$$g_{eff} = \frac{\sum \text{solare Gewinne}}{\sum \text{einfallende Strahlung}}$$

02.0604_TK

Fraunhofer Institut Solare Energiesysteme

Weil der g-Wert wie oben dargestellt eine Größe ist, die nur für ganz bestimmte Randbedingungen gilt, ist es schwierig eine ganz bestimmte Situation (Randbedingungen) zum Vergleich der

Leistungsfähigkeit von verschiedenen Fassadenvarianten heranzuziehen. Insbesondere der g-Wert nach Norm gilt nur für senkrechten Lichteinfall, was ein unrealistischer Spezialfall ist. Viel sinnvoller ist es deshalb zu Effektivwerten (Zeitmittelwerten) überzugehen. Das heißt, dass man rechnerisch ermittelt, wie viel Solarenergie in einem gewissen Zeitraum (z. B. in einer Stunde oder einem Monat) außen auf der Fassade direkt oder diffus auftrifft und wie viel innen im Raum ankommt. Im folgenden werden Stundenmittelwerte betrachtet. Bei der Ermittlung dieser Stundenmittelwerte muss natürlich eine bestimmte Nutzung zu Grunde gelegt werden. Die Häufigkeitsverteilung der Stundenmittelwerte für verschiedene Nutzungsarten und Systeme erlaubt dann einen realistischen Vergleich der Leistungsfähigkeit der verschiedenen Systeme. Insbesondere lassen sich Aussagen darüber ableiten, wie robust ein System funktioniert. Der Vergleich von Stundenmittelwerten ist nicht nur auf die sommerliche Wärmeschutzwirkung und den g-Wert beschränkt. Die Methode kann ganz allgemein auch auf Tageslichtversorgung und Blendschutz übertragen werden.

Analyse des Gebäudeverhaltens

Physikalisches Modelle für Sonnenschutz, Blendschutz + Tageslichtversorgung
+ Validierung durch Messungen

Typische Wetterdaten für Standort und Orientierung

Festlegung von verschiedenen Regelstrategien

Berechnung von Stundenmittelwerten
(g-Wert, mittlere Leuchtdichte, Beleuchtungsstärke,...)

Analyse der Häufigkeitsverteilung

thermische Gebäudesimulation
(Raumtemperaturen, Energieverbrauch)

02 0604 _TK

Fraunhofer Institut Solare Energiesysteme

Abbildung 1: Ausgehend validierten Modellrechnungen für Sonnenschutz, Blendschutz und Tageslichtversorgung werden für einen bestimmten Standort und eine bestimmte Fassadenorientierung Stundenmittelwerte (Effektivwerte) ermittelt. Die Bewertung der Leistungsfähigkeit der Fassade erfolgt dann anhand der Häufigkeitsverteilung der Effektivwerte oder mit Hilfe einer nachgeschalteten thermischen Gebäudesimulation, die dann eine Aussage über den Energieverbrauch und die Häufigkeitsverteilung der Raumtemperaturen liefert.

4. Erläuterung der Methodik 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 3 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 3 zeigt auch die starke Abhängigkeit des effektiven g-Wertes von der Regelstrategie. Abbildung 4 zeigt die zugehörige Beleuchtungssituation für ein Büro, bei dem die Pfosten-Riegel Fassade oberhalb der Brüstung komplett verglast ist. Eine Visualisierung des Büros zeigt Abbildung 2. 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, bei Bildschirmarbeit am fensternahen Arbeitsplatz. 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.
Bei einer blendschutzoptimierten Regelstrategie (Abbildung 7) am fensternahen Arbeitsplatz könnte man also beispielsweise um 7:30 Uhr die Jalousie herablassen und die Lamellen um 26° aus der Horizontalen kippen. Am fensterfernen Arbeitsplatz, wo sich die Fassade nicht im Bildschirm spiegeln kann könnte man bei einer blendschutzoptimierten Regelstrategie die Jalousie um 8:30 Uhr herablassen und die Lamellen horizontal stellen. Unter der Vorraussetzung, dass 300 Lux am Arbeitsplatz ausreichend sind ([EN12464]), ist dann auch die Tageslichtversorgung sichergestellt. Man sieht an den Ergebnissen, dass unterschiedliche Regelstrategien notwendig sind je nach Position des Arbeitsplatzes im Raum. Die Notwendigkeit, unterschiedliche Nutzungsarten zu untersuchen wird hierdurch nochmals unterstrichen.

Die lichttechnischen Rechnungen wurden mit dem Simulationsprogramm Radiance durchgeführt [Radiance].

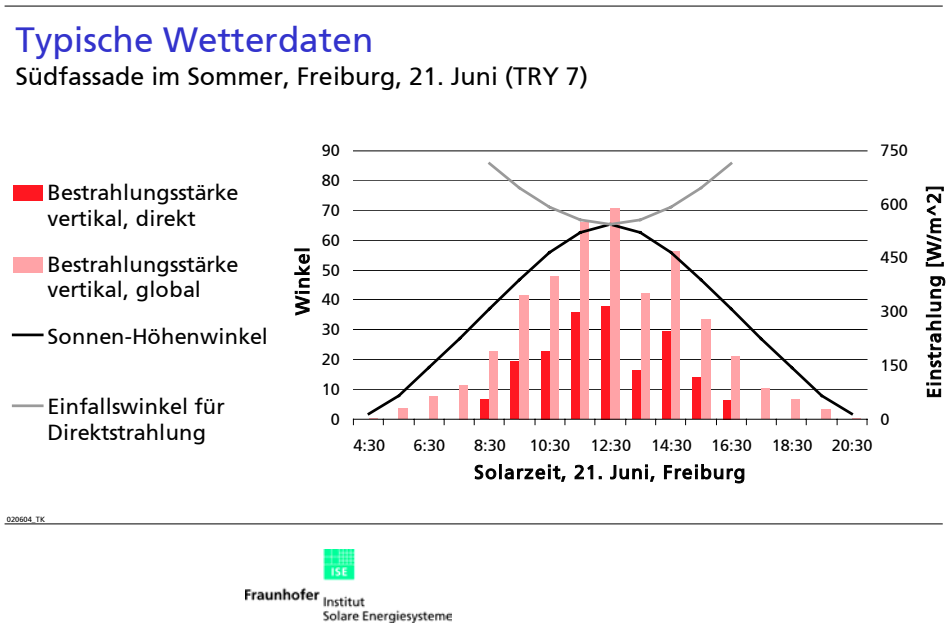


Abbildung 2: Typische Wetterdaten für den 21. Juni in Freiburg (TRY 7). Die Süd-Fassade wird ab 8:30 Uhr direkt besonnt. Ein hoher Anteil der Strahlung trifft diffus auf die Fassade.

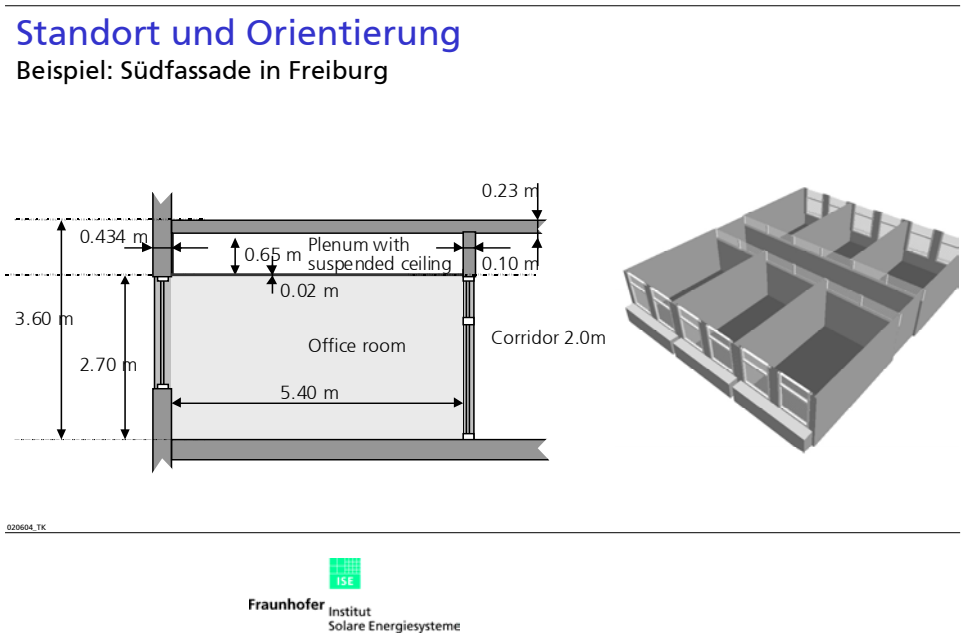


Abbildung 3: Beispielbüro (Referenzbüro IEA Task 27)

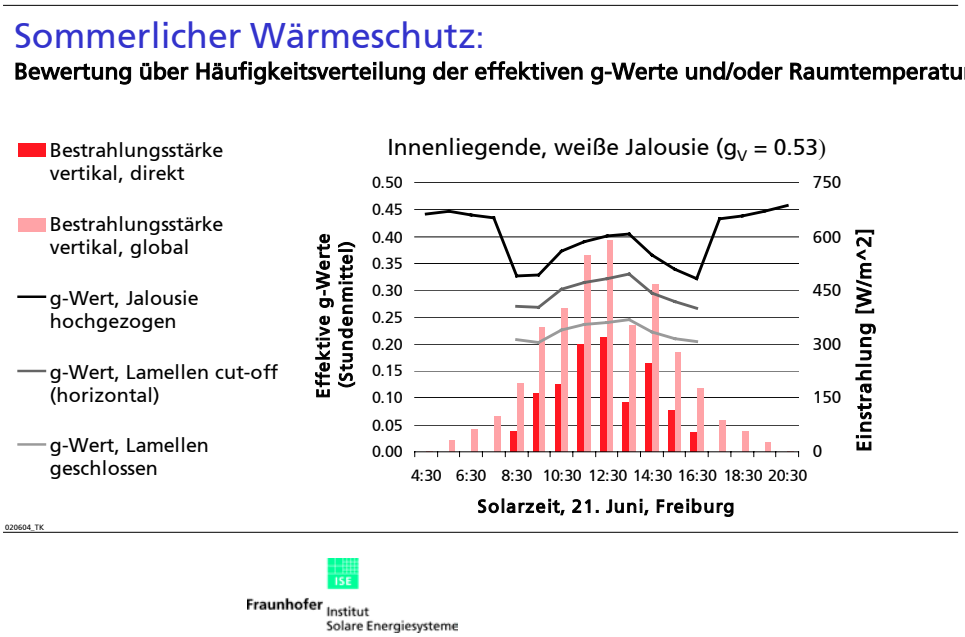


Abbildung 4: Effektive g-Werte für eine Südfassade mit einer Zweifach-Wärmeschutzverglasung mit einem g-Wert g_V = 0.53. Man sieht, dass der g-Wert aufgrund des hohen Sonnenstandes auch ohne Sonnenschutz weit unter dem Wert von 0.53 bei senkrechter Einstrahlung liegt. Die solaren Gewinne sind stark von der Regelstrategie abhängig.

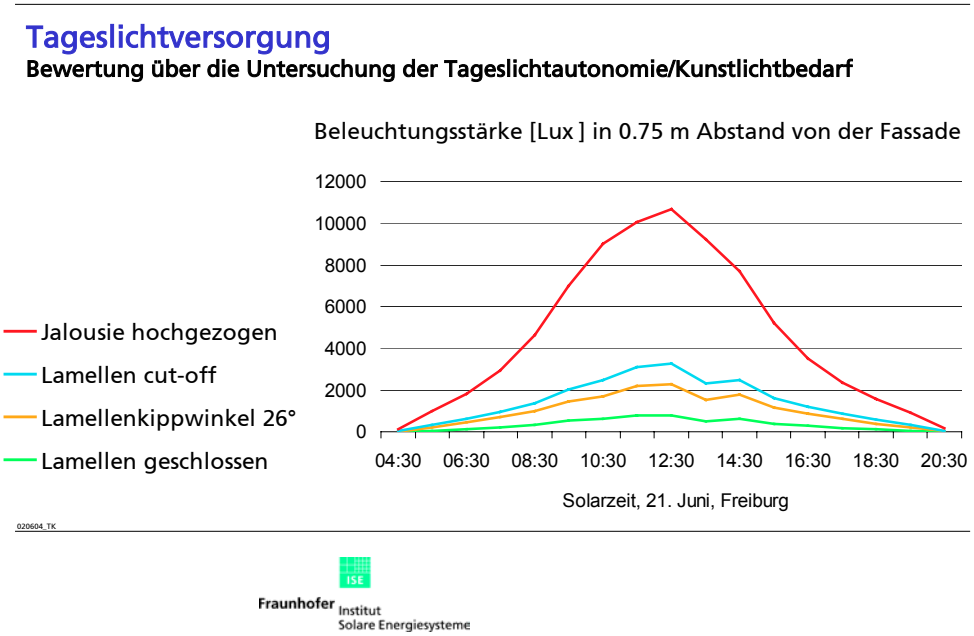


Abbildung 5: Fensternaher Arbeitsplatz. Beleuchtungsstärke für ein Südbüro mit Wärmeschutzverglasung und innenliegender weißer Jalousie. Basis ist die Methode der Tageslichtkoeffizienten [Reinhart et. al. 2000]. Im Fall der Tageslichtversorgung führt die Analyse der Häufigkeitsverteilung auf den Begriff der Tageslichtautonomie, der direkt verknüpft ist mit dem Kunstlichtbedarf. Bei typischen Büroarbeitszeiten ist die Beleuchtungsstärke ausreichend, auch wenn die Lamellen um 26° gekippt werden.

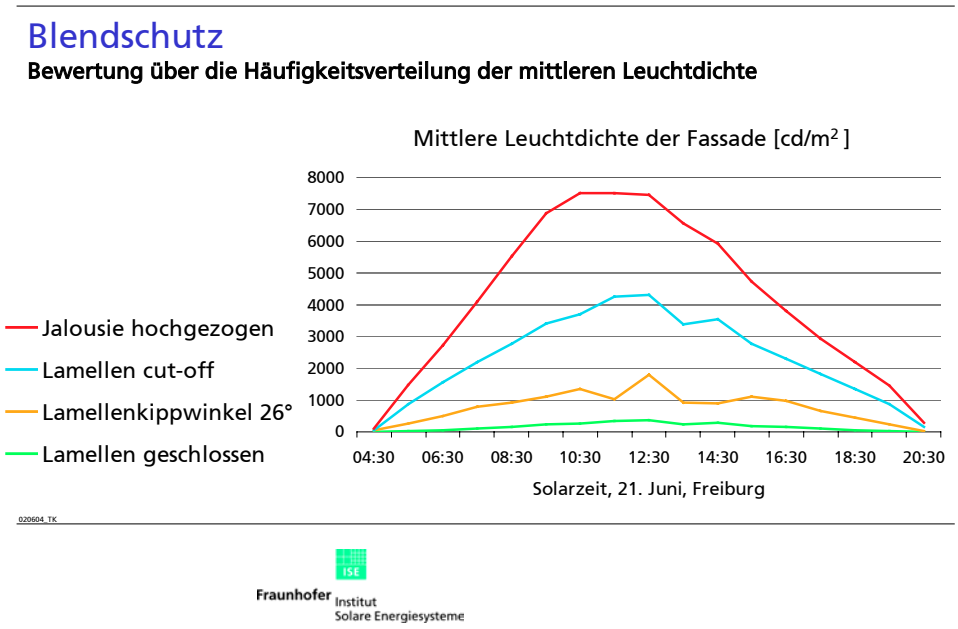


Abbildung 6: Mittlere Leuchtdichte für ein Südbüro mit Wärmeschutzverglasung und innenliegender weißer Jalousie. Man sieht, dass die Nutzung einen großen Einfluss auf den Blendschutz hat.

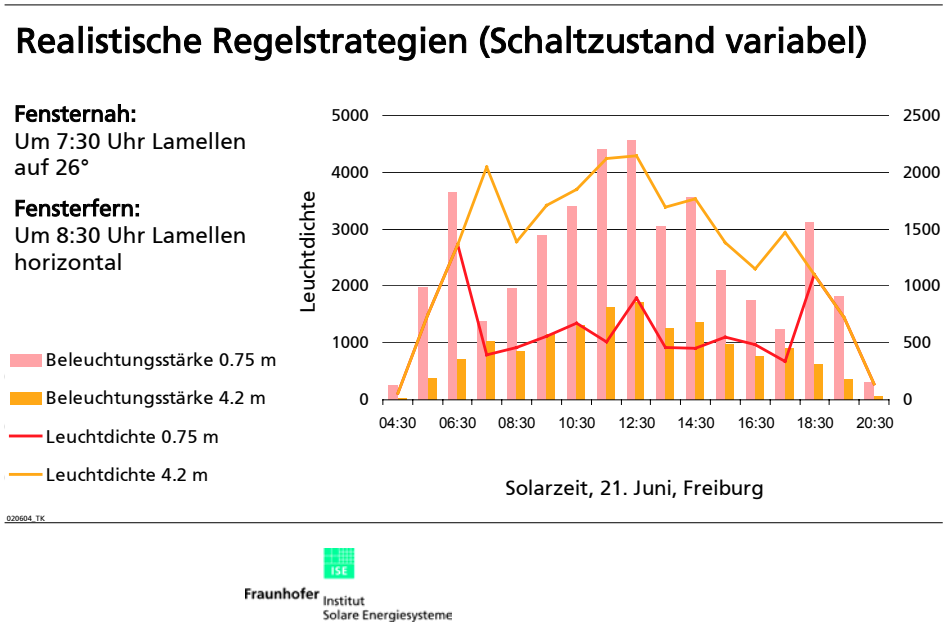


Abbildung 7: **Blendschutzoptimierte Regelstrategie:** Am fensternahen Arbeitsplatz wurde um 7:30 Uhr die Jalousie herablassen und die Lamellen um 26° aus der Horizontalen gekippt. Am fensterfernen Arbeitsplatz, wo sich die Fassade nicht im Bildschirm spiegeln kann wurde die Jalousie um 8:30 Uhr herabgelassen und die Lamellen horizontal gestellt. Unter der Vorraussetzung, dass 300 Lux am Arbeitsplatz ausreichend sind, ist dann auch die Tageslichtversorgung sichergestellt. Man sieht an den Ergebnissen, dass unterschiedliche Regelstrategien notwendig sind, je nach Position des Arbeitsplatzes im Raum. Die Notwendigkeit, unterschiedliche Nutzungsarten zu untersuchen wird hierdurch nochmals unterstrichen.

Fazit

- Stundenmittelwerte sind eine Möglichkeit die Leistungsfähigkeit von Fassaden realistisch einzuschätzen
- Es macht keinen Sinn visuellen und thermischen Komfort getrennt zu betrachten.
- Es ist wichtig unterschiedliche Arten der Nutzung bei der Gebäudeplaung + Systementwicklung zu berücksichtigen
- Deshalb sollten unterschiedliche Regelstrategien untersucht werden. Die Methoden dafür sind vorhanden.

020604_TK

Fraunhofer Institut Solare Energiesysteme

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.