

# Licht und Schatten

## Trends im Fassadenbau zur Integration von Kunstlicht

Dr. Werner Jager, Geschäftsführer

Bis heute wird das Thema Raumbelichtung und deren Einfluss auf die Energiebilanz beim Betrieb von Verwaltungsgebäuden vernachlässigt. Im Fokus steht dagegen seit jeher die Verringerung des Energiebedarfes zur Beheizung, Kühlung und Belüftung eines Gebäudes. Und das, obwohl bei heutigen Verwaltungsbauten der Energiebedarf für die Beleuchtung der Räume bis zu 50 % betragen kann – die restlichen 50 % verteilen sich auf den Heiz-, Kühl und Belüftungsenergiebedarf, Abb.3. Diese Zahlen veranschaulichen, dass dringend auch der Bereich der Beleuchtung in die Auslegung von Gebäuden Eingang finden muss. Im Zuge der Novellierung der EnVO 2006 wurde dieser Forderung der EU Energy Directive of Building Performance Rechnung getragen und ein vereinfachtes Verfahren zur Berücksichtigung von Kunst- und Tageslicht eingeführt (DIN V 18599-4-2005).

Im folgenden Artikel steht die verstärkte Nutzung von Tageslicht zur Verringerung des Energiebedarfes im Brennpunkt. Die Einschaltzeiten von Kunstlicht sollen verringert werden. Als positiver Nebeneffekt wird der Raum mit weniger Energie pro Lumen Lichtleistung beaufschlagt, was zu einem geringeren Bedarf an Kühlenergie führen kann, Abb.2.

### NATÜRLICHES LICHT – KUNSTLICHT

Beim Einsatz von natürlicher Beleuchtung geht es nicht primär darum,

Kunstlicht vollständig zu substituieren, sondern es vielmehr effektiv zu ergänzen. Wesentliche Betrachtungspunkte sind damit die gesamtheitliche Steuerung und Regelung von Tageslicht- und Kunstlichtanlagen, die gegenüber einer manuellen Regelung eine nochmalige Verringerung des Kunstlicht-Energiebedarfes um bis zu 60 % bedeuten.

Die normativen Vorgaben zur Beleuchtung von Arbeitsplätzen – DIN 5035 und DIN EN 12464-1 – setzen hohe Beleuchtungsstärken von 500lx und mehr voraus. Außerdem werden Empfehlungen für die Gleichförmigkeit der Beleuchtungsstärken im Raum gegeben. Diese Vorgaben erschweren zusätzlich eine Verringerung des Beleuchtungs-Energiebedarfes.

### ERFORSCHUNG DES NUTZER-VERHALTENS

Geht man von dem Fall aus, dass ein Raum tagsüber von Tageslicht beleuchtet wird und vergleicht diese Leistung der Umgebung mit den o.g. normativen Vorgaben, müsste Kunstlicht zugeschaltet werden, um die Anforderungen zu erfüllen. De facto wird der Nutzer dieses Raumes aber nur dann Kunstlicht zuschalten, wenn



Abb.1 Licht und Schatten – gemütliche Stimmung in einem skandinavischen Wohnraum

a) der Sonnenschutz keine Lichtlenkfunktion aufweist und somit den Raum zu stark abdunkelt

b) die Beleuchtung am Arbeitsplatz unterhalb seines persönlichen Schwellenwertes der Beleuchtungsstärke liegt.

Aus wissenschaftlichen Studien ist zu ersehen, dass der Nutzer seine persönliche Behaglichkeit nur wenig an festen Beleuchtungsstärken, Blendungen oder der Gleichförmigkeit der Beleuchtung festmacht und eine hohe Toleranzschwelle hinsichtlich der Beleuchtungsstärke hat: In einem Versuch wurde Kunstlicht z.B. erst ab einer Unterschreitung von 125lx zugeschaltet bzw. der Sonnenschutz erst ab einer Beleuchtungsstärke

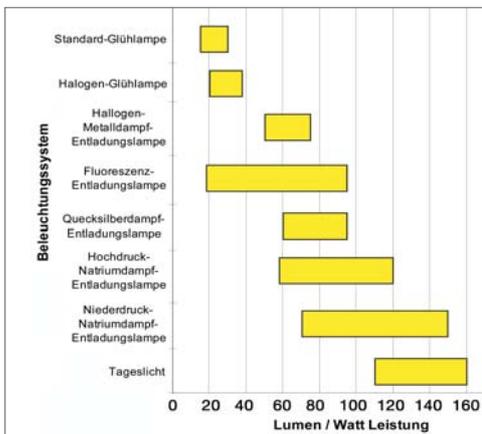


Abb.2 Lichtausbeute unterschiedlicher Beleuchtungssysteme

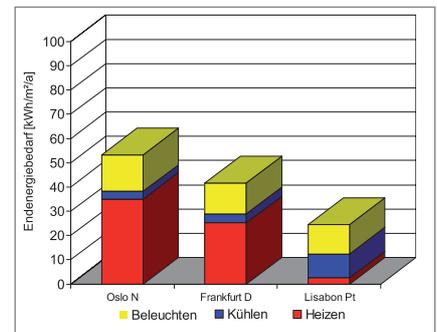


Abb.3 Vergleich des Endenergiebedarfs für Beleuchten- Kühlen- Heizen eines typischen Verwaltungsbaus in unterschiedlichen Klimazonen

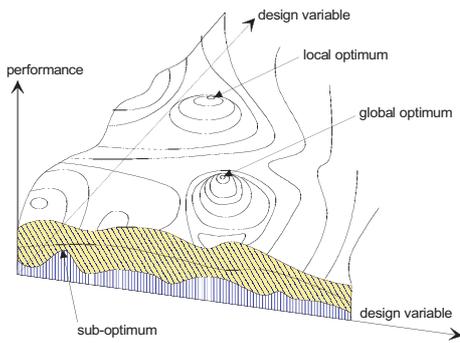


Abb.4 Die Leistungslandkarte nach Mann

ke von 2000 lx aktiviert. Setzt man diese Ergebnisse an, kann man den Bedarf an Kunstlicht wesentlich reduzieren. Hier muss die Normung entsprechend ergänzt werden: Vor allem bei „reiner Büroarbeit“ kann eine Anpassung sinnvoll sein, ohne dass der Nutzer an Behaglichkeit und Arbeitsleistung einbüßt. Ein wesentlicher und notwendiger Schritt ist dabei die Intensivierung der Erforschung des Nutzerverhaltens bei unterschiedlichen Raumausleuchtungen, Lichtqualitäten und Raumparametern. Darüber hinaus zeigt die Dissertation von Frau Dr. Runa Hellwig [1], dass das Behaglichkeitsgefühl des Nutzers von Alter, Geschlecht, Jahres- und Tageszeit abhängig ist. Hier ist somit eine gesamtheitliche Betrachtungsweise erforderlich, um das Optimum zu erzielen, da nur so einer Suboptimierung entgegen werden kann, Abb.4.

## STUDIE ZUR FASSADEN-INTEGRIERTEN BELEUCHTUNG

In der folgenden Studie geht man davon aus, dass Räume tagsüber im Wesentlichen natürliches Licht erhalten und dabei die Beleuchtung von der Fassa-



Raumbreite:	5.6m (entspricht 2 TEMOTION-Modulen)
Raumtiefe:	6.0m
Raumhöhe:	3.0m
Möblierung:	gemäß Abbildung
Auswertungsebene:	0.75m

Abb.5 Der untersuchte Zweiachs-Raum

## AUFBAU DER STUDIE

Für diese Studie wählte man einen Zweiachsraum, in dem Varianten künstlicher Beleuchtung untersucht wurden, Abb.5. Zur Verdeutlichung werden die Räumlichkeiten Abb.5a-f dunkler wiedergegeben.

### VARIANTE 1D, Abb.5a

- Leuchten sind im Fassaden-Zwischenraum einer doppelschaligen Fassade integriert.
- Anschlussleistung beträgt 14,6 W pro m<sup>2</sup> Raumfläche.
- Licht wird zu 30 % direkt und zu 70 % indirekt in den Raum eingespeist.

Abb.5a Variante 1D



Abb.5b Variante 2A



Abb.5c Variante 2B



Abb.5d Variante 2D



Abb.5e Variante 2E



Abb.5f Variante 3

### VARIANTE 2A, Abb.5b

- Leuchten sind an der Fassade horizontal zum Innenraum angeordnet.
- Anschlussleistung beträgt 7,3 W pro m<sup>2</sup> Raumfläche.
- Licht wird zu 100 % indirekt in den Raum eingespeist.

### VARIANTE 2B, Abb.5c

- Leuchten sind an der Fassade horizontal zum Innenraum angeordnet.
- Anschlussleistung beträgt 14,0 W pro m<sup>2</sup> Raumfläche.
- Licht wird zu 30 % direkt und zu 70 % indirekt in den Raum eingespeist.

### VARIANTE 2D, Abb.5d

- Leuchten sind an der Fassade horizontal zum Innenraum angeordnet.
- Anschlussleistung beträgt 7,0 W pro m<sup>2</sup> Raumfläche.
- Licht wird zu 30 % direkt und zu 70 % indirekt in den Raum eingespeist.

### VARIANTE 2E, Abb.5e

- Leuchten sind an der Fassade vertikal zum Innenraum angeordnet.
- Anschlussleistung beträgt 16,4 W pro m<sup>2</sup> Raumfläche.
- Licht wird zu 100 % indirekt in den Raum eingespeist.

### VARIANTE 3, Abb.5f

- Leuchten sind an der Raumdecke direkt über dem Arbeitsplatz montiert.
- Anschlussleistung beträgt 7,3 W pro m<sup>2</sup> Raumfläche.
- Licht wird zu 30 % direkt und zu 70 % indirekt in den Raum eingespeist.

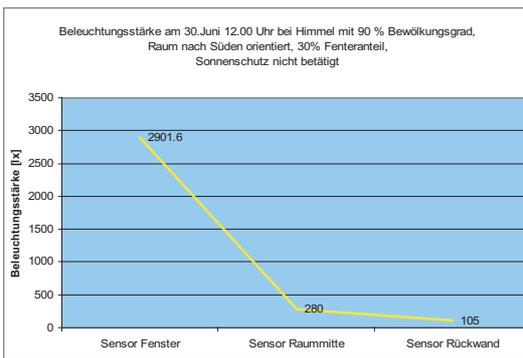


Abb.8 Die Beleuchtungsstärke im Raum ohne betätigten Sonnenschutz

denseite aus in den Raum hinein erfolgt. Diese Beleuchtungscharakteristik kann auch auf den Einsatz von Kunstlicht übertragen werden: Ziel ist es, die Beleuchtungsrichtung (von der Fassade aus) sowohl für den Tag- als auch für den Nachtfall konstant zu halten und dadurch die Installationsleistung zu verringern, ohne dass der Nutzer an Behaglichkeit einbüßt. Aufbau der Studie siehe Vorseite.

**ANALYSE**

Die Berechnungen mit dem Softwaretool RELUX zeigen, dass mit Ausnahme der Variante 2A (= Leuchten horizontal an der Fassade innen, nur indirekte Beleuchtung) alle anderen Varianten mehr als den geforderten Wert von 500lx Beleuchtungsstärke am gewählten Arbeitsplatz erzeugen können, siehe Abb. 5 a-f (3D-Bildsimulationen). Das zweite Kriterium hinsichtlich der Position der Leuchten ist, wie viel Anschlussleistung notwendig wird. Unter diesem Gesichtspunkt benötigen die Variante 2D und die konventionelle In-

stallation Variante 3 die geringsten Anschlussleistungen. Beide sind bei einer Raumnutzfläche von ~7 W/m<sup>2</sup> um 50 % geringer, vorausgesetzt der Raum ist maximal 5 m tief. Tiefere Räume benötigen eine lokale Zusatzbeleuchtung, Abb.6. Ein direkter Vergleich mit einem natürlich beleuchteten Raum zeigt, dass auch dieser größtenteils die geforderten Werte für

- a) die Beleuchtungsstärke am Arbeitsplatz 500lx und Gleichförmigkeit  $U > 0.8$
  - b) die Beleuchtungsstärke in unmittelbarer Umgebung 300lx und  $U > 0,5$  und
  - c) die Beleuchtungsstärke im Rest des Raumes 200lx und  $U > 0,5$  einhält.
- Einzig in der Raumtiefe erfordert die Beleuchtungsstärke den Einsatz der Sonnenschutz-Tageslicht-Lenksysteme. Ein hinreichendes Ergebnis lässt sich jedoch bereits mit konventionellen Systemen erreichen, Abb.7. Bei starker Bewölkung sind die geforderten Werte allerdings nur in Fassadennähe realisierbar, da in der Raumtiefe die geforderten 200lx dann nur in den wenigsten Fällen erreicht werden, Abb.8 und Abb.9. Somit wäre auch tagsüber Kunstlicht erforderlich, mit der direkten Folge, dass der Energiebedarf ansteigt.

**AUSWERTUNG**

Diese Gegenüberstellung zeigt, dass ein Festhalten an den normierten Beleuchtungsstärken nicht dem Ziel einer deutlichen Energieeinsparung dient. Allein der Einsatz von Leuchtmitteln mit geringstem möglichem Energieverbrauch kann hier unterstützen. Ein Weg, der

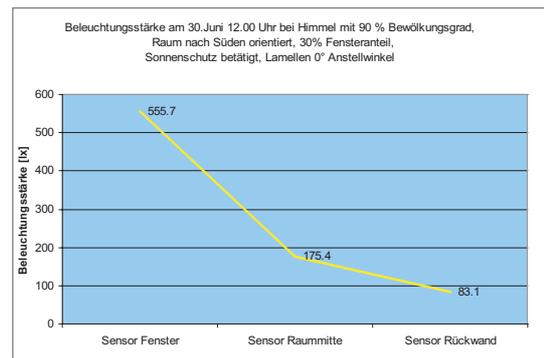


Abb.9 Die Beleuchtungsstärke im Raum mit betätigtem Sonnenschutz

sich momentan abzeichnet, ist die Weiterentwicklung von LEDs zu effektiven Leuchtmitteln. Derartige Leuchtmittel haben aber im Vergleich zu heute eingesetzten Leuchtmitteln wie Halogen oder Metaldampflampen um den Faktor 10 höhere Kosten pro Lumen Beleuchtung. Der kommerzielle Einsatz dürfte somit frühestens in 10 bis 15 Jahren erfolgen, wenn das Verhältnis von Leistung zu Kosten wesentlich verringert werden kann [3]. Die Auswertung der Studie, bei der die Beleuchtungscharakteristik des natürlichen Lichts auf jene des Kunstlichts angewendet wurde, veranschaulicht, dass die konventionelle Montage (Variante 3.1) diese Charakteristik nicht widerspiegelt, Abb.10a. Zudem wurde bei dieser Variante die sonst übliche Installation von 2x2 Leuchten in der Raumtiefe zugunsten nur einer Reihe mit 2 Leuchten abgeändert: Ziel war die Verringerung der Anschlussleistung. Die natürliche Beleuchtungscharakteristik tagsüber hat dagegen eine Beleuchtungsstärkeverteilung parallel zur Fassadenausrichtung zur Folge, Abb. 10b.

Gleichförmigkeit U bei künstlicher Beleuchtung		Variante 1D	Variante 2A	Variante 2B	Variante 2D	Variante 2E	Variante 3.1	Variante 3.2
Arbeitsbereich Emin/Emittlere Beleuchtungsstärke	Emin	551	307	1140	666	619	758	758
	Emittlere	555	308	1140	667	623	763	763
	Geforderte Beleuchtungsstärke 500 [lx] erfüllt J/N	Ja	Nein	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja
Geforderte Gleichförmigkeit U = 0.8 erfüllt J/N	U	0.99	1.00	1.00	1.00	0.99	0.99	0.99
		Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja
Unmittelbare Umgebung Emin/Emittlere Beleuchtungsstärke	Emin	292	163	325	196	338	177	258
	Emittlere	380	244	940	584	511	293	358
	Geforderte Beleuchtungsstärke 300 [lx] erfüllt J/N	Nein	Nein	Ja	Nein	Nein	Nein	Nein
Geforderte Gleichförmigkeit U = 0.5 erfüllt J/N	U	0.77	0.67	0.35	0.34	0.66	0.60	0.72
		Ja	Ja	Nein	Nein	Ja	Ja	Ja
Rest Raum Emin/Emittlere Beleuchtungsstärke	Emin	126	67	193	90	125	123	120
	Emittlere	234	133	446	240	286	295	173
	Geforderte Beleuchtungsstärke 200 [lx] erfüllt J/N	Nein	Nein	Nein	Nein	Nein	Nein	Nein
Geforderte Gleichförmigkeit U = 0.5 erfüllt J/N	U	0.54	0.50	0.43	0.37	0.44	0.42	0.69
		Ja	Ja	Nein	Nein	Nein	Nein	Ja

Abb.6 Die Gleichförmigkeit U bei künstlicher Beleuchtung

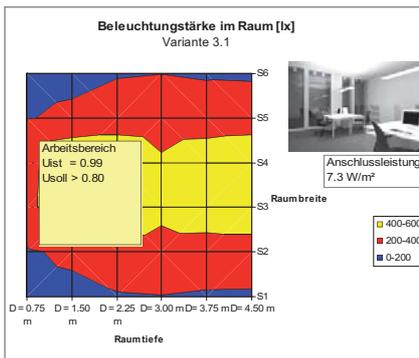


Abb. 10a Beleuchtungsstärke im Raum für Kunstlicht; Variante 3.1

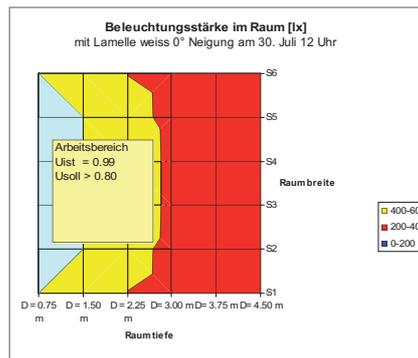


Abb. 10b Beleuchtungsstärke im Raum bei natürlicher Beleuchtung

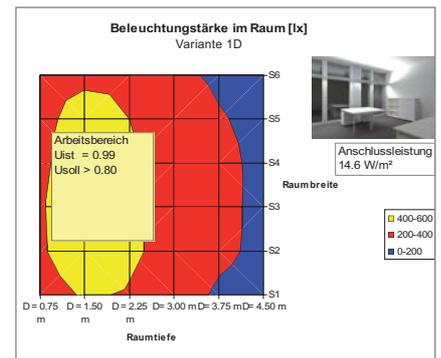


Abb. 10c Beleuchtungsstärke im Raum für Kunstlicht; Variante 1D

Dieser Verteilung kommen die fassadenintegrierten Leuchten der Varianten 1D, 2B und 2D, Abb 10c-e, am nächsten. Unter Beachtung der installierten Leistung zeigt 2D das bestmögliche Verhältnis: Der Arbeitsplatz am Fenster wird gut ausgeleuchtet, ohne dass eine Blendung zu erwarten ist. Auch in der Raumtiefe verfügt die Variante 2D über hinreichende Beleuchtungsstärke.

Aus dieser Untersuchung resultiert, dass der Raum mit fassadenintegrierter Beleuchtung ausgeleuchtet und gleichzeitig die elektrische Anschlussleistung für die Beleuchtung verringert werden kann. Der Nutzer erhält außerdem eine Beleuchtungsverteilung, die einer natürlichen Beleuchtung gleich kommt.

**ZUSAMMENFASSUNG**

Die Vorteile der Integration künstlicher Beleuchtung in die Fassade sind somit:  
**a)** Die Montage der Leuchten erfolgt vom Lieferanten der Fassade.

→ Die Anzahl der Schnittstellen am Bau wird verringert

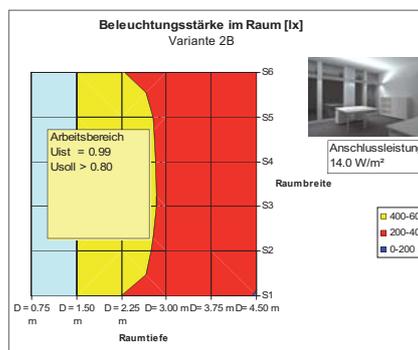


Abb. 10d Beleuchtungsstärke im Raum für Kunstlicht; Variante 2B

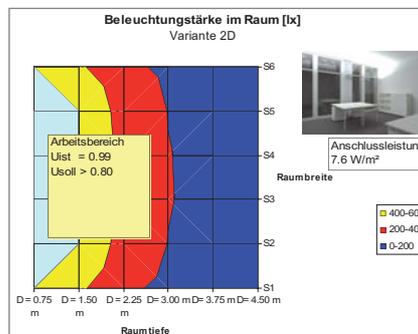


Abb. 10e Beleuchtungsstärke im Raum für Kunstlicht; Variante 2D

→ Die Ausführungsqualität erhöht sich, da Arbeitsabläufe der Baustelle in die Werkstatt verlagert werden.

**b)** Die Anschlussleistung des Kunstlichtes kann deutlich verringert werden (in der Fallstudie um 50 %).

**c)** Mit dem Schließen der Fassade kann bereits die Beleuchtung betrieben werden.

→ Dies führt zu einer Beschleunigung des Innenausbaus.

**d)** Dem Nutzer wird eine Lichtverteilung angeboten, die der natürlichen Beleuchtung gleich kommt.

→ Die Zeiten eines Mischbetriebs von natürlicher und künstlicher Beleuchtung (Dämmerung) werden erhöht.

→ Das Kunstlicht kann über einen längeren Zeitraum gedimmt betrieben werden

→ Eine Energieeinsparung von 50 % und mehr kann erzielt werden.

**AUSBLICK**

Die Anforderungen an zukünftige Beleuchtungsstrategien sind

**a)** Intensivierung der Forschung

→ Das Behaglichkeitsgefühl des Nutzers

		Tageslicht ohne Sonnenschutz	Tageslicht mit Lamelle weiss 0° Neigung	Tageslicht mit Lamelle Relektierend 0° Neigung	Tageslicht mit Lamelle weiss 30° Neigung	Tageslicht mit Lamelle reflektierend -30° Neigung	Tageslicht mit Lamelle weiss 60° Neigung	Tageslicht mit Lamelle reflektierend -60° Neigung
<b>Gleichförmigkeit U bei natürlicher Beleuchtung</b>								
<b>Arbeitsbereich Emin/Emittlere Beleuchtungsstärke</b>	Emin	2502	660	1140	316	1191	31	150
	Emittlere	2502	660	1140	316	1191	31	150
	<b>Geforderte Beleuchtungsstärke 500 [lx] erfüllt J/N</b>	<b>Ja</b>	<b>Ja</b>	<b>Ja</b>	<b>Nein</b>	<b>Ja</b>	<b>Nein</b>	<b>Nein</b>
<b>U</b>	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	
<b>Geforderte Gleichförmigkeit U = 0.8 erfüllt J/N</b>		<b>Ja</b>	<b>Ja</b>	<b>Ja</b>	<b>Ja</b>	<b>Ja</b>	<b>Ja</b>	<b>Ja</b>
<b>Unmittelbare Umgebung Emin/Emittlere Beleuchtungsstärke</b>								
Emin	Emin	1194	378	325	198	542	27	123
	Emittlere	2215	584	940	279	993	33	149
	<b>Geforderte Beleuchtungsstärke 300 [lx] erfüllt J/N</b>	<b>Ja</b>	<b>Ja</b>	<b>Ja</b>	<b>Nein</b>	<b>Ja</b>	<b>Nein</b>	<b>Nein</b>
<b>U</b>	0.54	0.65	0.35	0.71	0.55	0.82	0.82	
<b>Geforderte Gleichförmigkeit U = 0.5 erfüllt J/N</b>		<b>Ja</b>	<b>Ja</b>	<b>Nein</b>	<b>Ja</b>	<b>Ja</b>	<b>Ja</b>	<b>Ja</b>
<b>Rest Raum Emin/Emittlere Beleuchtungsstärke</b>								
Emin	Emin	353	226	193	120	330	22	86
	Emittlere	1060	376	446	188	604	28	117
	<b>Geforderte Beleuchtungsstärke 200 [lx] erfüllt J/N</b>	<b>Ja</b>	<b>Ja</b>	<b>Nein</b>	<b>Nein</b>	<b>Ja</b>	<b>Nein</b>	<b>Nein</b>
<b>U</b>	0.33	0.60	0.43	0.64	0.55	0.79	0.74	
<b>Geforderte Gleichförmigkeit U = 0.5 erfüllt J/N</b>		<b>Nein</b>	<b>Ja</b>	<b>Nein</b>	<b>Ja</b>	<b>Ja</b>	<b>Ja</b>	<b>Ja</b>

Abb. 7 Die Gleichförmigkeit U bei natürlicher Beleuchtung

im Zusammenhang mit Beleuchtung muss erforscht werden.

→ Hierzu gibt es bis dato keine Untersuchung, vergleichbar der ISO 7730: mit dieser kann man zwar den Anteil der „Unzufriedenen“ in einem Raum abschätzen, allerdings ohne Berücksichtigung des Beleuchtungsaspekts.

b) Anpassung der normativen Vorgaben an die Notwendigkeit natürlich beleuchteter Gebäude in Abhängigkeit der jeweiligen Tätigkeit des Nutzers.

c) Entwicklung noch energieeffizienterer Leuchtmittel und Leuchten

→ Schwerpunkt muss hier auf die Kosten pro Lumen und auf die Lichtqualität gelegt werden.

d) Gesamtheitliche Steuerung und Regelung der Tageslicht- und Sonnenschutzsysteme sowie der Leuchten.

→ Ziel muss es sein, Algorithmen zu entwickeln, die im Rahmen der Nutzerbehaglichkeit und energieoptimiert die Systeme in Abhängigkeit voneinander und von den anderen Gewerken Heizung, Kühlung und Belüftung steuern.

**AUSBLICK UND ZUKÜNFTIGE FORSCHUNGSSCHWERPUNKTE**

Das Thema der zukünftigen Untersuchungen wird sein, wie man die Nutzerbehaglichkeit als zentrales Steuerungskriterium in die Regelung und Steuerung eines Gebäudes mit all seiner Ausstattung einbinden kann. Dies ergibt sich aus dem Umstand, dass weitergehende Energieeinsparungen nur durch die Einbindung des Nutzers erzielt werden können. Als Beispiel kann hier jener Fall aus der Praxis dienen, bei welchem im LV der Gesamt-g-Wert der

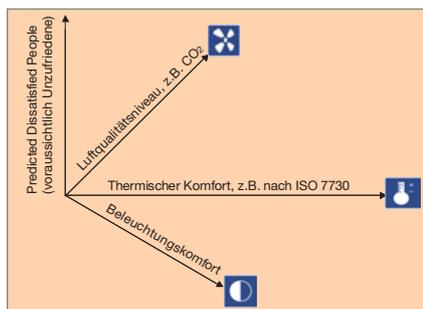


Abb.11 vorgeschlagener Lösungsansatz – PPD-Steuerung und Regelung unter Berücksichtigung von thermischer Behaglichkeit, Beleuchtungskomfort und Luftqualität

Eigenschaftsindikator	Interpretation
<b>Tageslichtkoeffizient D</b> < 1% 1 - 2% 2 - 5% > 5%	Unzureichend Akzeptabel Bevorzugt Ideal für Papiertätigkeit/ zu hell für Bildschirmarbeit
<b>Beleuchtungsstärke an Arbeitsplatz</b> < 100lx 100 – 300lx 300 - 500lx > 500lx	Zu dunkel für Papier- oder Bildschirmarbeit Zu dunkel für Papier-, akzeptabel für Bildschirmarbeit akzeptabel für Papier-, ideal für Bildschirmarbeit ideal für Papier-, zu hell für Bildschirmarbeit
<b>Beleuchtungsgleichförmigkeit am Arbeitsplatz</b> E <sub>min</sub> / E <sub>max</sub> > 0.5 E <sub>min</sub> / E <sub>max</sub> > 0.7	Akzeptabel Ideal
<b>Leuchtdichte, absolut</b> > 2000 cd/m² > 1000 cd/m² < 500 cd/m² < 30 cd/m²	Zu hell, überall im Raum Zu hell im Sichtumfeld des Nutzers Bevorzugt Zu dunkel
<b>Leuchtdichteverhältnis</b> 0.33 < L <sub>Papiertätigkeit</sub> / L <sub>Bildschirm</sub> < 3 0.33 < L <sub>Papiertätigkeit</sub> / L <sub>angrenzende Wand</sub> < 3 0.33 < L <sub>Bildschirm</sub> / L <sub>angrenzende Wand</sub> < 3 L <sub>Papiertätigkeit</sub> / L <sub>Bildschirm</sub> < 0.33 oder > 3 L <sub>Papiertätigkeit</sub> / L <sub>angrenzende Wand</sub> < 0.33 oder > 3 L <sub>Bildschirm</sub> / L <sub>angrenzende Wand</sub> < 0.33 oder > 3	Akzeptabel Akzeptabel Akzeptabel Unzureichend Unzureichend Unzureichend

Abb.13 Zusammenhang zwischen Lichtparametern und der Nutzerinterpretation nach Dubois

Verglasung incl. Sonnenschutz mit 0,1 ausgeschrieben war. Hiernach wurde auch die Kühlanlage dimensioniert. Im realen Gebrauch musste jedoch eine deutliche Überhitzung des Innenraumes festgestellt werden. Als Grund hierfür konnte das Nutzerverhalten lokalisiert werden. Die Nutzer fühlten sich bei vollständig geschlossenem Sonnenschutz schlicht nicht komfortabel und öffneten in der Folge den Sonnenschutz um den Kontakt mit der Umgebung zu behalten. Mit der Konsequenz, dass der Gesamt-g-Wert auf 0,25 anstieg, was im betroffenen Raum zu einer zusätzlichen Kühllast von 2,4kW führte. Es muss somit die Zusammenführung von Luftqualität, thermischem Komfort und Beleutungskomfort erfolgen, Abb.11. Hierbei kann die ISO 7730, Norm zur Bestimmung der thermischen Behaglichkeit, als Vorgabe dienen, da diese die Nutzerbehaglichkeit in Form des PPD Factors (= Predicted Percentage of Dissatisfied = Vorgesagte Prozentzahl Unzufriedener) in Verbindung bringt mit bauphysikalischen Grundgrößen. Wesentliche Anforderung muss hier an den Bereich der Beleuchtung gestellt werden, da die Luftqualität, Abb.12, und die Behaglichkeit bereits in Beziehung gebracht sind und beschrieben werden als:

PPD<sub>Luftqualität</sub> = 395 × exp (-3.25 × C<sup>-0.25</sup>)  
mit C als empfundener Luftqualität.  
Die thermische Behaglichkeit wird durch die DIN EN ISO 7730 behandelt.

Die Einflussfaktoren der Beleuchtungsbeglichkeit sind vielschichtig und müssen beinhalten (nach Dubois 2001, Abb.13):

- 1. Beleuchtungsstärke** am Arbeitsplatz, in seiner unmittelbaren Umgebung und im restlichen Bereich des Raumes,
- 2. Tageslichtkoeffizient** am Arbeitsplatz, in seiner unmittelbaren Umgebung und im restlichen Bereich des Raumes,
- 3. Lichtstärke** am Arbeitsplatz, in seiner unmittelbaren Umgebung und im restlichen Bereich des Raumes,
- 4. Lichtstärkeverhältnis** zwischen der Arbeitsfläche (z.B. Bildschirm des PCs), dem Arbeitsplatz und den den Raum umschließenden Flächen im Sichtfeld des Arbeitsplatzes,
- 5. Lichtfarbe und Farbwiedergabe**, wodurch vor allem die Verbindung von Tages- mit Kunstlichtnutzung zusam-

Kategorie	Gefühlte Luftqualität		Benötigte Belüftungsrate l/s × of
	%Unzufriedener	dp	
A	15	1,0	10
B	20	1,4	7
C	30	2,5	4
	%Unzufriedener		CO <sub>2</sub> -Konzentration über Außenluft (ppm)
A	15		450
B	20		650
C	30		1150

Abb.12 Zusammenhang zwischen Luftqualität und PPD (voraussichtlich unzufriedene Personen)

men geführt wird.

Diese Untersuchungen sind

**a) mit unterschiedlichen Bürotypen**

(Einzel-, Gruppen oder Großraum)

**b) mit unterschiedlicher**

**Arbeitsplatzausrichtung**

(parallel oder rechtwinklig zur Fassade)

**c) mit unterschiedlichen**

**Arbeitsaufgaben**

(Lesen und/oder Bildschirmarbeit)

**d) bei unterschiedlicher Tageszeit**

(mit/ohne Tageslicht/Kunstlicht bzw.

Mischung beider)

**e) bei unterschiedlicher Jahreszeit,**

(Sommer, Übergang, Winter)

**f) Ideal ergänzt durch Probanden**

**(w/m) mit unterschiedlichem Alter**

(< 30 a, 30 bis 50 a, > 50 a)

durchzuführen, um hieraus dann einen

Lichtqualitätsfaktor PPD<sub>Lichtqualität</sub> zu ermitteln.

Hierdurch wird es dann möglich, aus

PPD<sub>Lichtqualität</sub>, PPD<sub>Luftqualität</sub> und PPD<sub>ther-</sub>

mische Behaglichkeit die Regelung der Gebäudetechnik zum:

**1. Heizen** (passiv oder aktiv)

**2. Kühlen** (passiv oder aktiv)

**3. Belüften** (natürlich oder mechanisch)

**4. Beleuchten** (natürlich oder künstlich)

auf die Nutzerbedürfnisse abzustimmen. Folglich wird es in der Praxis zu bedeutend geringeren Abweichungen zwischen energetischer Gebäudesimulation und dem Energieverbrauch im praktischen Gebäudebetrieb kommen. Weitergehende Energieeinsparungen sind die Folge, da das Gebäude aus Sicht der Nutzerbehaglichkeit betrieben wird. Suboptimierungen der Einzelwerke Heizung, Kühlung, Lüftung und Beleuchtung auf Grund von normativen Vorgaben sind dann passé.

*Autor*

*Dr. Werner Jager, Geschäftsführer*

*HydroBuilding Systems, Ulm*

*Fotos und Grafiken: HydroBuilding*

*www.hydro.com*

Literatur- und Quellenangaben

[1] Hellwig, Runa Tabea: Thermische Behaglichkeit.

Unterschiede zwischen frei und mechanisch belüfteten Bürogebäuden aus Nutzersicht, Dissertation

Technische Universität München, 2005.

(Elektronische Prüfungsarbeit; Volltext als PDF über die TU München verfügbar)

[2] H. Müller, H. Schuster, C. Dittmar, M. Oetzel, S.

Jellinghaus, J. Göttische, A. Delahaye, K. Schwarzer: Abschlussbericht Verbundprojekt: Licht in Büroräumen, Universität Dortmund, 2003

[3] Rea, M.S.: Licht – Mehr als nur Sehen, Lighting

Researchcenter, Rensselaer Polytechnic Institute, Troy, NY, USA,

[4] W. J. M. van Bommel, G.J. van den Beld: Lighting

for Work: Visual and Biological Effects, Philips Lighting, The Netherlands, April 2003.

[5] Dubois, M-C. (1998), "Awnings and solar-pro-

protective glazing for efficient energy use in cold climates", Proceedings of the Renewable Energy Technologies in Cold Climates, 4-6 May, Montreal, Canada, pp. 380-385.

[6] Amstein, Walthert, Arbeitsplatzbeleuchtung mit

Temotion Fassaden, Interner Forschungsbericht, Hydro Building Systems GmbH Buildtec

[7] Schmidt Reuter, Temotion – Energetische Bewer-

tung anhand der EU-Richtlinie 2002/91/EG, Interner Forschungsbericht, Hydro Building Systems GmbH Buildtec



# AL-KO

Lufttechnik

**Nachhaltige Kosteneinsparung ist eine Frage des Weitblicks**

**Life-cycle-costs optimierte Lüftungs- und Klimaanlage**

**Reduzieren Sie Ihre Betriebskosten mit AL-KO System**

Mit der innovativen AL-KO „LCC-optimize“-Software ermitteln Sie in wenigen Schritten die kostenoptimierte Lösung für Ihr Lüftungs- und Klimakonzept.

Wir stellen Ihnen AL-KO „LCC-optimize“ kostenlos über [LCC@al-ko.de](mailto:LCC@al-ko.de) oder auf unserer Homepage [www.al-ko.com](http://www.al-ko.com) zur Verfügung.

**SAVE ENERGY**

# Die Welt ist keine Scheibe - Ihre Anzeigen auch nicht [...]



**innovatools**

*Werkzeuge für den Erfolg*

Fach.**Journal**

*Fachzeitschrift für Erneuerbare Energien & Technische Gebäudeausrüstung*

[Hier mehr erfahren](#)



**innovapress**

*Innovationen publik machen  
schnell, gezielt und weltweit*

Filmproduktion | Film & Platzierung | Interaktive Anzeige | Flankierende PR | Microsites/Landingpages | SEO/SEM | Flashbühne