

Untersuchungen an LED-Leuchten im Bürobereich

*Cornelia Vandahl
Ingo Herzog
Karin Bieske
Christoph Schierz
TU Ilmenau
Fachgebiet Lichttechnik
Prof.-Schmidt-Str. 26
98693 Ilmenau
(03677) 69-3732*

*Aleš Markytán
OSRAM
Opto Semiconductors GmbH
Leibnitzstr. 4
93055 Regensburg
(0151) 16255557*

Das diesem Bericht zugrundeliegende Vorhaben wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Bildung, und Forschung unter dem Förderkennzeichen 13N10752 gefördert. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autoren.

1. Einleitung

Leuchten mit LEDs kommen in der Allgemeinbeleuchtung immer mehr zu Einsatz. Die in den gültigen Normen und Regelwerken definierten und festgelegten Gütemerkmale werden auch für diese neuen Systeme angewendet. Dabei ist nicht gesichert, dass die für klassische Leuchten entwickelten Systeme auf die neuen Systeme übertragbar sind.

Ziel der Studie war ein Vergleich der Beleuchtungsqualität zwischen LED-Leuchten und herkömmlichen Bürobeleuchtungen, wobei insbesondere folgende Gütemerkmale betrachtet wurden: Beleuchtungsstärke, Lichtverteilung, Blendung, Reflexblendung und Schleierreflexion am Bildschirm.

Die Untersuchung der Gültigkeit der klassischen Gütemerkmale für die LED-Beleuchtung steht derzeit ganz am Anfang. Eine Vielzahl von Untersuchungen hat gezeigt, dass die Bewertung der Farbwiedergabe von LEDs nach dem derzeitigen System Probleme machen kann und man zu einer neuen Bewertung kommen muss. Für die Bewertung der Blendung ist das auch zu erwarten, bisher aber nicht untersucht. Weiterhin bieten LED-Leuchten neue technische Möglichkeiten der Lichtgestaltung, wie z. B. die Farbveränderlichkeit. Dafür existieren bisher noch keine Gütemerkmale.

Forschungshypothesen:

1. LED-Leuchten sind hinsichtlich Blendung, Reflexblendung und Schattigkeit kritischer als klassische Leuchten, vor allem dann, wenn ein direkter Blick in die LEDs möglich ist.
2. LED-Leuchten mit diffusen oder lichtlenkenden Abschluss-Scheiben unterscheiden sich hinsichtlich Lichtverteilung und Blendung nicht von klassischen Leuchten.
3. Das gewünschte Helligkeitsniveau wird aufgrund des abweichenden Spektrums anders bewertet.

2. Versuchsaufbau

In einem Testraum (6,6 m x 4,2 m, Höhe 2,8 m) wurden 5 LED-Leuchten-Systeme und 2 Rasterleuchten-Systeme mit Leuchtstofflampen installiert. Je drei Leuchten eines Systems beleuchteten dabei eine Raumzone. Die Beleuchtungsstärke betrug in der Nutzebene 500 lx im ganzen Raum und wurde durch Dimmen (PWM) der Leuchten eingestellt. Außerhalb der zu bewertenden Zone wurde das Beleuchtungsniveau durch zusätzliche blendfreie Leuchten auf 300 lx eingestellt, damit immer der ganze Raum beleuchtet wurde. Die Farb-

temperatur betrug bei allen Leuchten etwa 4000 K (Ausnahme: Leuchte L2: 3500 K).
Abb. 1 zeigt alle untersuchten Leuchten, die in Tab. 1 beschrieben sind.

Im Raum befanden sich zwei Arbeitsplätze, ein Schreib-Arbeitsplatz und ein Bildschirmarbeitsplatz (Abb. 2). An diesem führte der Proband entsprechende Tätigkeiten durch.



Abb. 1: Untersuchte Leuchten

Tab. 1: Übersicht über die untersuchten Leuchten

L1	direkt strahlende Leuchte mit LED, teilweise Abstrahlung über diffusen Reflektor, teilweise über Prismenstruktur
L2	direkt strahlende Leuchte mit LED, Prismenabdeckung
L3	direkt strahlende Leuchte mit LED, Abstrahlung über diffusen Reflektor
L4	direkt strahlende Leuchte mit LED, Abstrahlung einzelner LEDs über Linsenoptik
L5	direkt strahlende Leuchte mit LED, Prismenabdeckung
L6 (Referenz):	Spiegelraster-Leuchte mit T5-Leuchtstofflampen
L7	Spiegelrasterleuchte mit T8-Leuchtstofflampen

3. Untersuchungsmethode



Abb. 2: Schreibarbeitsplatz im Testraum. Im Hintergrund ist der Bildschirm-Arbeitsplatz zu sehen.

25 Testpersonen führten Büroarbeiten am Schreibtisch und am Bildschirm aus und bewerteten mittels Fragebögen (Abb. 3) die Situationen jeweils einzeln. Am Schluss der Befragung gaben sie an, welches System sie favorisieren würden. Weiterhin wurde ermittelt, welches Beleuchtungsniveau von den Testpersonen als angenehm empfunden wurde.

Die Bewertung erfolgte anhand einer Gegensatzskala (Abb. 3), die teilweise eine neutrale Mitte hat (hier beispielsweise die 1. Frage). Für die Auswertung wurden den Urteilen Zahlenwerte zugeordnet (im Beispiel grau hinterlegt). Im Gegensatz zum hier angegebenen Beispiel, waren die negativen Pole der Skala nicht immer rechts.

Die dargebotene Lichtsituation ... (bitte schauen Sie dabei auf die Arbeitsfläche)			
	ist zu hell	oooooooooooooooooooo	ist zu dunkel
		↑	
		genau richtig	
Bewertungsskala	+3	0	-3
hat eine angenehme Lichtfarbe	oooooooooooooooooooo		hat eine unangenehme Lichtfarbe
Reflexionen stören mich nicht	oooooooooooooooooooo		Reflexionen stören mich stark
Bitte schauen Sie sich nun die Leuchten an der Decke an!			
Die Leuchten ...			
gefallen mir sehr gut	oooooooooooooooooooo		gefallen mir gar nicht
haben ein ansprechendes Design	oooooooooooooooooooo		Design ist nicht ansprechend
schaffen eine angenehme Atmosphäre	oooooooooooooooooooo		schaffen eine unangenehme Atmosphäre
blendet mich nicht	oooooooooooooooooooo		blendet mich stark
erzeugen keine Nachbilder	oooooooooooooooooooo		erzeugen viele Nachbilder
Die Schatten ...			
sind weich	oooooooooooooooooooo		sind hart
stören mich nicht	oooooooooooooooooooo		stören mich stark
Bewertungsskala:	0		6

Abb. 3: Auszug aus dem Fragebogen, grau: für den Probanden nicht sichtbare Bewertungsskala

4. Ergebnisse

4.1 Übersicht

In der Auswertung erfolgten die Erstellung einer Rangfolge hinsichtlich der Bewertung jedes Gütemerkmals und eine Korrelationsbetrachtung zwischen Befragungsergebnissen und Messwerten. So kann auf die Gültigkeit der betrachteten Gütemerkmale geschlossen werden

Für alle Bewertungen wurden die Rangfolgen für alle Leuchten bestimmt. Dazu wurde der FRIEDMANN-Rangtest in Kombination mit einem Paarvergleich verwendet.

Die statistisch signifikanten Rangfolgen sind in Abb. 4 dargestellt. Angegeben ist jeweils der Mittelwert der Bewertungen über alle Probanden. Die Fragen und Skalierungen entsprechen denen in Abb. 3.

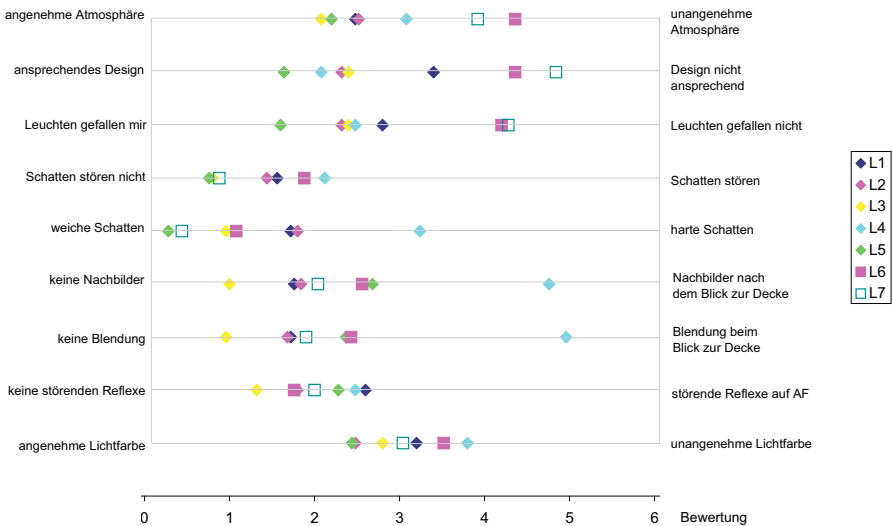


Abb. 4: Rangfolge der Bewertung, dargestellt ist jeweils der Mittelwert der Bewertung

Die Leuchten unterscheiden sich hinsichtlich der Gütemerkmale Lichtfarbe, störender Reflexe auf der Arbeitsfläche, Blendung beim direkten Blick in die Leuchte und Schattenbildung. Auch hinsichtlich Design der Leuchten und allgemeine Angaben zur Lichtatmosphäre sind Unterschiede erkennbar. Für alle anderen Bewertungen gibt es keine statistisch signifikante Rangfolge. Hier ist kein Unterschied in der Bewertung der Leuchten nachweisbar.

4.2 Helligkeitsniveau

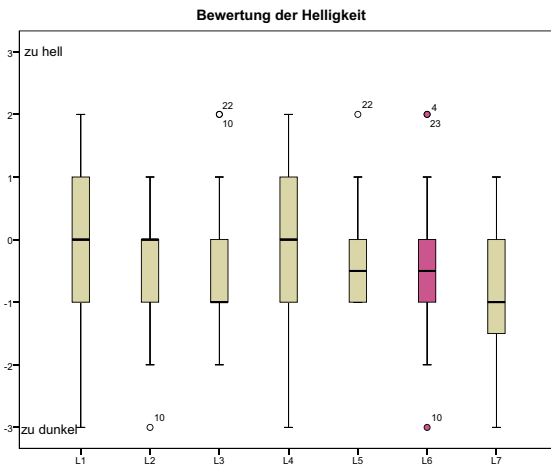


Abb. 5: Median und Boxplot der Bewertung der Helligkeit

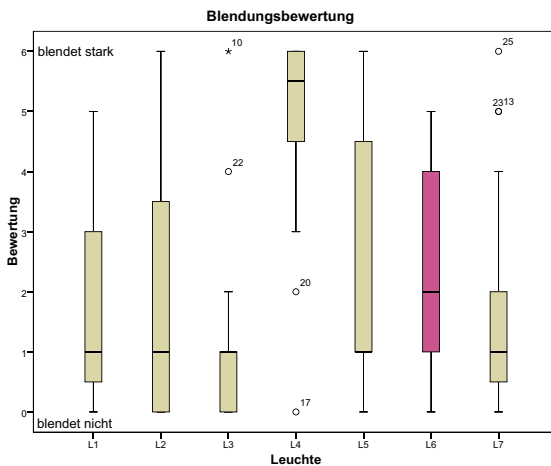


Abb. 6: Median und Boxplot der Blendungsbewertung beim direkten Blick in die Leuchte

„deutlich“ bzw. „stark“ bewertet (Abb. 6). Die Blendungsbewertung der Leuchte L4 unterscheidet sich signifikant von der der Referenzleuchte L6. Hier wirkt sich aus, dass über die Optik direkt in die LED gesehen werden kann. Für diese Konstellation würde sich rechnerisch ein UGR-Wert von etwa 50 ergeben.

Für alle untersuchten Leuchten wurde das Beleuchtungsniveau zunächst mit 500 lx vorgegeben. Diese Situationen wurden von den Probanden auch in etwa gleich hell bewertet. Es ergab sich kein signifikanter Unterschied zwischen den Leuchten. Die Bewertung liegt im Bereich „hell genug“ bis „etwas zu dunkel“ (Abb. 5).

Im weiteren Verlauf wurde den Testpersonen angeboten, die Beleuchtungsstärke zu erhöhen. Bei allen Leuchten entschieden sich dabei 72 bis 80 % der Testpersonen für eine Erhöhung auf 750 lx bzw. 1000 lx. Letztere Einstellung war nicht bei allen Leuchten möglich, da die meisten LED-Leuchten einen geringeren Lichtstrom als die Referenzleuchte hatten.

4.3 Blendungsbewertung

Bei für Schreib- und Bildschirmarbeit typischen Blickrichtungen ist bei allen Leuchten die Blendung als eher gering eingeschätzt worden. Es ist kein signifikanter Unterschied zwischen den Leuchten nachweisbar. Die UGR-Werte (Herstellerangabe) der Leuchten lagen alle im Bereich 16 bis 22.

Beim direkten Blick in die Leuchte wird bei den Leuchten L4 und der Hälfte der Testpersonen auch bei Leuchte L5 die Blendung als

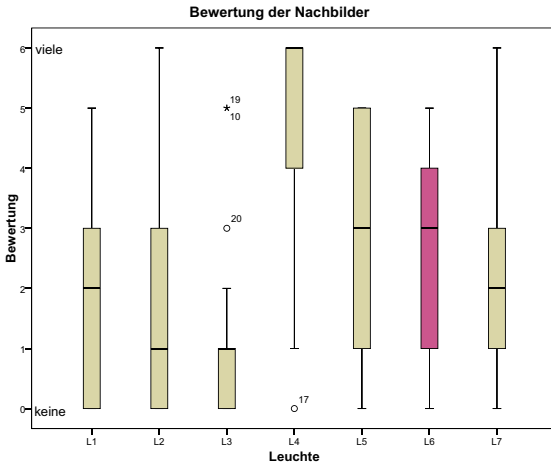


Abb. 7: Median und Boxplot der Bewertung der Nachbilder nach dem direkten Blick in die Leuchte

Leuchte L5 unterscheidet sich in der Blendungsbewertung nicht von der Referenzleuchte L6. Bei den Leuchten L1, L2 und L3 tritt weniger Blendung als bei der Referenzleuchte L6 auf.

Nachbilder nach dem direkten Blick in die Leuchte werden ähnlich wie die Blendung beim direkten Blick in die Leuchte bewertet (Abb. 7). Hier macht sich bemerkbar, dass bei der Leuchte L4 deutlich höhere Leuchtdichten, als bei der Referenzleuchte auftreten. Dieser Effekt ist jedoch im derzeitigen Blendungsbewertungssystem nicht enthalten, solange man nur typische Blickrichtungen betrachtet.

4.4 Bewertung der Lichtfarbe

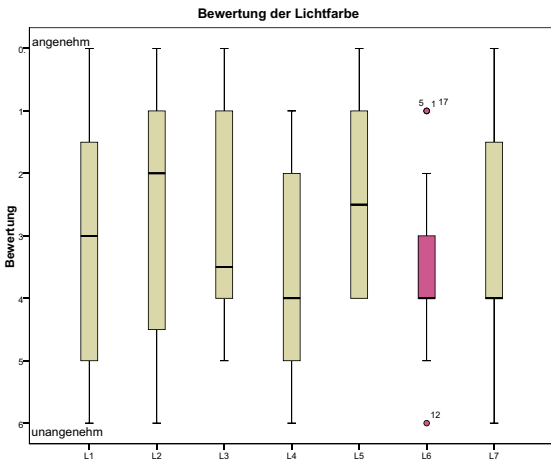
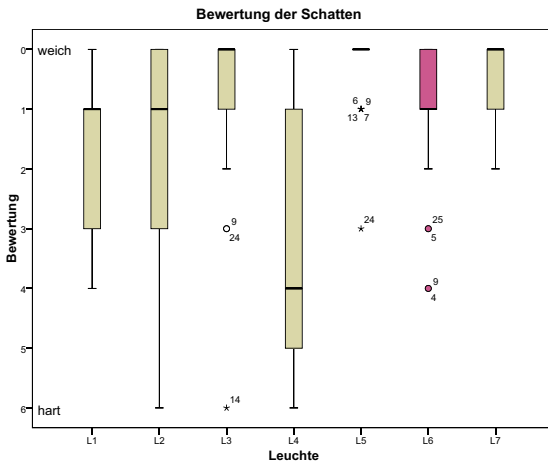


Abb. 8: Median und Boxplot der Bewertung der Lichtfarbe

In der Bewertung der Lichtfarbe ergaben sich Unterschiede (Abb. 8) wobei bei der Referenzleuchte L6 und der Leuchte L4 die Lichtfarbe als signifikant unangenehmer als bei den Leuchten L2, L3 und L5 bewertet wurde. Da die Leuchten nahezu die gleiche Lichtfarbe haben (4000 K, Ausnahme L2: 3500 K), sind hier Einflüsse des Spektrums erkennbar. Die Testpersonen haben eventuell die Farbwiedergabe mit in die Bewertung einbezogen. Der Farbwiedergabewert CRI aller Leuchten war größer 80 (Ausnahme L4: $R_a=67$).

Die Spektren der Leuchten sind in der elektronischen Veröffentlichung dargestellt.

4.5 Bewertung der Schatten



Harte Schatten wurden nur bei Leuchte L4 festgestellt. Durch die Lichtabstrahlung über einzelnen Linsen traten hier sehr viele Schatten auf, die als „hart“ und „störend“ bewertet wurden. Bei allen anderen Leuchten traten nur als angenehm empfundene weiche Schatten auf (Abb. 9).

Abb. 9: Median und Boxplot der Bewertung der Schatten

4.6 Störende Reflexe

Störende Reflexe auf der Arbeitsfläche wurden von Testpersonen kaum festgestellt. In der Rangfolge am schlechtesten bewertet wurden die Leuchten L1, L4 und L5. Hier traten mehr Reflexe auf als bei der Referenzleuchte L6. Es konnte kein Zusammenhang der Bewertung mit den gemessenen CRF-Werten festgestellt werden. Die CRF-Mittelwerte lagen alle im Bereich 0,94 bis 0,96, Die Minimalwerte lagen bei 0,70 bis 0,79 (Ausnahme L4: 0,59). Diese Leuchte wurde allerdings nicht am schlechtesten bewertet.

Die Reflexblendung am Bildschirm wurde für alle Leuchten als unkritisch bewertet, was zu erwarten war, da alle Leuchten in den relevanten Abstrahlrichtungen gut entblendet sind.

4.7 Weitere Bewertungen

Neben den Güteigenschaften wurden noch weitere Kriterien, wie das Gefallen der Leuchte und der Lichtatmosphäre abgefragt. Die LED-Leuchten waren in allen Kriterien besser als die Rasterleuchte. Da hier verschiedenen Technologien miteinander verglichen wurden, ist die Aussage nicht sehr repräsentativ. Leuchten mit Leuchtstofflampen und gleicher Lichtlenktechnologie wie die LED-Leuchten (Prismenabdeckung und Diffusor) wären eventuell auch besser bewertet worden. Insgesamt hat sich gezeigt, dass mit LED-Leuchten ein Raum ansprechend beleuchtet werden kann. Die Bewertung der Raumatmosphäre korreliert nicht mit der Abstrahlcharakteristik der Leuchten. Die Grafik der Ergebnisse und die Lichtverteilungen der Leuchten sind in der elektronischen Veröffentlichung dargestellt.

5. Zusammenfassung

Die Untersuchung hat gezeigt, dass mit LED-Leuchten Büroräume gut beleuchtet werden können. Die Forschungshypothesen konnten im Wesentlichen bestätigt werden:

1. LED-Leuchten sind hinsichtlich Blendung, Reflexblendung und Schattigkeit kritischer als klassische Leuchten, vor allem dann, wenn ein direkter Blick in die LEDs möglich ist.

Bei Leuchten, die einen direkten Blick auf die LEDs ermöglichen, muss ein besonderes Augenmerk auf die Güteermale Blendung und Schattigkeit gelegt werden.

Die sehr hohen Leuchtdichten der LEDs führten beim direkten Blick in diese zu starker Blendung und auch zu Nachbildern. Diese Effekte werden durch das UGR-Blendungsbewertungssystem nicht erfasst, da dieses von einer waagerechten Blickrichtung ausgeht. Die nach dem Blick in die Leuchte auftretenden Nachbilder sind jedoch deutlich störender als die Blendung selbst. Hier gibt es akuten Forschungsbedarf.

Hinsichtlich Reflexblendung auf dem Bildschirm gab es keine Unterschiede zwischen den LED-Leuchten und der Referenzleuchte, da alle Leuchten in die relevanten Richtungen gut entblendet sind. Reflexe auf der Arbeitsfläche traten bei einigen LED-Leuchten etwas stärker in Erscheinung als bei der Referenzleuchte.

Sind an der Leuchtenoberfläche sehr hohe Punktleuchtdichten vorhanden, führt das zu einer störenden Schattenbildung. Für diese Form der Mehrfachschatten gibt es bisher kein Bewertungssystem.

2. LED-Leuchten mit diffusen oder lichtlenkenden Abschluss-Scheiben unterscheiden sich hinsichtlich Lichtverteilung und Blendung nicht von klassischen Leuchten.

Bei LED-Leuchten mit diffusen Reflektoren und/oder Prismenabdeckungen ergaben sich kaum Unterschiede zwischen den LED-Leuchten und der hier als Referenz verwendeten Rasterleuchte. Reflexe auf der Arbeitsfläche treten bei einigen Leuchten etwas stärker in Erscheinung. Hinsichtlich Reflexblendung am Bildschirm gibt es keine nachgewiesenen Unterschiede zwischen den LED-Leuchten und der Referenzleuchte.

3. Das gewünschte Helligkeitsniveau wird aufgrund des abweichenden Spektrums anders bewertet.

Diese These konnte nicht bestätigt werden. Es wurden keine signifikanten Unterschiede in der Helligkeitsbewertung festgestellt. In der Tendenz werden höhere Beleuchtungsstärken als der Wertungswert in der Norm für Bürobeleuchtung gewünscht.