



JAN KRÜGER

LED-Beleuchtung: Auswirkungen von Mehrfachschatten auf Sehkomfort und visuell-motorische Leistung

Eine wesentliche Zielsetzung der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAuA) ist die Beobachtung aktueller Technikentwicklungen und kritische Auseinandersetzung mit den Folgen neuer Technologien. Mehr als ein Jahrhundert nach Einführung der Glühlampe ist es die LED, welche die Beleuchtung von Arbeitsstätten gegenwärtig revolutioniert. Bei der Umrüstung auf moderne LED-Leuchten steht meist das Energieeinsparpotenzial im Vordergrund. Häufig werden Gütemerkmale der Lichtqualität vernachlässigt.

Die hohe Effizienz von LED-Lampen bringt bereits heute Energieeinsparungen in großem Ausmaß. Die LED bietet vielfältige Optionen zur Steuerung von Dimmzustand, Farbtemperatur und Lichtverteilung. Bei der Beleuchtung von Arbeitsplätzen eröffnet der Einsatz von LED-Technik neue Möglichkeiten zur Dynamisierung der Beleuchtung. Hinsichtlich der großen Fortschritte bei Lichtintensität, Lebensdauer und Energieeffizienz befinden sich aktuell eine Vielzahl von LED-Produkten am Markt. Diese unterscheiden sich teilweise sehr stark in ihrer Lichtqualität. Zur Bewertung existieren die sogenann-

ten Gütemerkmale der Beleuchtung. Dazu zählen Beleuchtungsniveau, Blendung, Farbwiedergabe, Flimmern, Lichtfarbe, Gleichmäßigkeit sowie Lichtrichtung und Schattigkeit (CIE 205:2013). Die Anforderungen an die Gütemerkmale richten sich nach der Art der Sehaufgabe, sie sollen Sehleistung und Sehkomfort sicherstellen. Beispielsweise soll das Beleuchtungsniveau ausreichend Licht für die Ausführung der Arbeitsaufgabe bereitstellen, wohingegen durch die Berücksichtigung von Flimmern und Blendung längerfristig Augenbeschwerden vermieden werden sollen. Aufgrund der charakteristischen Merkmale der

Abb. 1 (oben): Beleuchtungssystem des Laborversuchs
© Autor

LED-Beleuchtung wird die Berücksichtigung des Gütemerkmals Lichtrichtung und Schattigkeit zunehmend zur Notwendigkeit. Das gerichtete Licht der vielen, dicht angeordneten Lichtpunkte eines LED-Arrays kann sich nachteilig auf die Lichtqualität auswirken und beispielsweise Mehrfachschatten hervorrufen. Die Kontrollierbarkeit der Lichtrichtung mit Freiformlinsen oder speziellen Reflektoren erlaubt die gezielte Ausleuchtung bestimmter Bereiche des Arbeitsplatzes mit gerichtetem Licht. Mit der Forderung nach immer energieeffizienteren Lichtlösungen sind diese Systeme einer raumbezogenen Allgemeinbeleuchtung überlegen. Jedoch darf die Berücksichtigung von Lichtrichtung und Schattigkeit dabei nicht vernachlässigt werden.

Die Bedeutung dieses Gütemerkmals ist in der Beleuchtungsplanung und Lichtenwendung lange bekannt. Zahlreiche Untersuchungen der vergangenen Jahrzehnte zeigen, dass Schlagschatten und Schattierungen eine nicht zu vernachlässigende Rolle für die visuelle Wahrnehmung und die Erfüllung der Arbeitsaufgabe spielen. Schattierungen auf Objekten verbessern die dreidimensionale Formwahrnehmung und geben Objekten Tiefe und Plastizität. An Büroarbeitsplätzen hat diese Eigenschaft Einfluss auf die Körperwiedergabe von Gesichtern und die Interpretation der Mimik (VBG, 2005). Im industriellen Kontext spielen Schlagschatten eine besondere Rolle für die Tiefenwahrnehmung. Sie liefern Informationen über die Anordnung von Objekten im Raum (z. B. Form, Lage, Größe und Bewegung von Objekten) und helfen dabei, Abstände besser einschätzen zu können. Bei feinmotorischen Aufgaben erleichtern Schatten die Erkennung von Objektkanten und ermöglichen Einschätzungen zur Rauigkeit von Oberflächen. Auch für die Unfallverhütung können Schlagschatten von Bedeutung sein, beispielsweise dann, wenn sie Gefahrenstellen überdecken (GMBL, 2011).

In einem Eigenforschungsprojekt der BAuA wird aktuell untersucht, wie sich LED-Beleuchtung auf das Gütemerkmal Lichtrichtung und Schattigkeit auswirken kann. Zu diesem Zweck wurde ein LED-Beleuchtungssystem entworfen, welches die dynamische Veränderung von Dimmzustand, Direkt-/Diffusanteil und Lichtrichtung ermöglicht (Abb. 1). Das Beleuchtungssystem ist aus zwei Komponenten aufgebaut. Die LED-Strahler erzeugen gerichtetes Licht und können in Dimmzustand, Neigung und Rotation kontrolliert werden. Die zusätzlichen flächigen Leuchten erzeugen gestreute Beleuchtung und ermöglichen die Hinzugabe eines diffusen Lichtanteils. Mithilfe dieser dynamischen Parameter können Lichtszenen vielfältig in Lichtrichtung und Schattigkeit variiert werden. Unter anderem ermöglicht das Beleuchtungssystem die

kontrollierte Erzeugung von Mehrfachschatten, welche ein typisches Phänomen der gerichteten LED-Beleuchtung darstellen. Dabei erzeugt jeder einzelne Lichtpunkt der Leuchte einen separaten Schlagschatten, wobei eine Vielzahl von dicht nebeneinanderliegenden Schatten entsteht (Abb. 2). In der Folge verändern sich Schlagschatten von Objekten sowie Schattierungen auf Oberflächen in einer unnatürlichen Weise (Krüger, 2014).

In zwei Teilversuchen wurden der Einfluss von Mehrfachschatten auf den Sehkombfort und die visuell-motorische Leistung im Lichtlabor untersucht. Der Sehkombfort wurde mit Fragebögen nach der Durchführung einer Lese-Vergleichsaufgabe erhoben. Dabei wurden die Versuchspersonen gebeten, so schnell wie möglich 20 Zahlenpaare zu vergleichen und Fehler anzuzeigen. Während der Versuchsdurchführung wurde die Sehaufgabe mit einem großflächigen Schatten überlagert, welcher durch die Bewertung des Sehkombforts in seiner Störwirkung untersucht wurde. Das Schattenmuster wurde mittels unterschiedlicher Beleuchtungssituationen gezielt variiert. In einem weiteren Teilversuch wurde die visuell-motorische Leistung bei einer Steckbrettaufgabe (Purdue Steckbrett) analysiert. Die Anzahl der platzierten Stifte im Steckbrett je festgelegter Zeitdauer ergab das Maß für die visuell-motorische Leistung. Durch die unterschiedlichen Beleuchtungsbedingungen wurden die Schlagschatten der Hände sowie die Schlagschatten der einzusteckenden Stifte manipuliert. In beiden Teilversuchen wurden die Arbeitsaufgaben mehrfach durchlaufen und Lichtszenen mit unterschiedlicher Lichtrichtung und Schattigkeit gegeneinander verglichen.

Im Ergebnis konnte festgestellt werden, dass Mehrfachschatten über eine längere Betrachtungsdauer hinweg Augenermüdung und Wahrnehmungsstörungen hervorrufen können (Krüger et al., 2014). Versuchspersonen schilderten Bewegungen des Schattenmusters sowie plötzliches Verschwinden und Erscheinen des Schattens während der Lese-Vergleichsaufgabe. Im Mittel bewerteten die Versuchspersonen die Mehrfachschattensituationen als „eher unangenehm“.

Hinsichtlich der visuell-motorischen Leistung deuten die Versuchsergebnisse auf eine Wirkung der Schattigkeit für die Hand-Auge-Koordination hin. Für unterschiedliche Beleuchtungsbedingungen zeigten sich signifikante Unterschiede in der visuell-motorischen Leistung, wobei sich bei direkter Beleuchtung (ohne Mehrfachschatten) eine höhere Leistung ergab als bei rein diffussem Licht oder direkter Beleuchtung mit Mehrfachschatten. Dieser mögliche Zusammenhang wäre insbesondere für manuelle Montagetätigkeiten an industriellen Arbeitsplätzen relevant.

DER AUTOR



Dipl.-Ing. Jan Krüger

Seit 2011 tätig an der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin in Dresden – Gruppe „Arbeitsstätten, Maschinen- und Betriebssicherheit“. Dort zuständig für Forschungsarbeiten zur Beleuchtung von Arbeitsstätten und externer Doktorand an der TU Ilmenau am Fachgebiet Lichttechnik.



Abb. 2: Mehrfachschatten der Hände erzeugt durch gerichtetes Licht von LED-Leuchten

© Autor

Beleuchtungsbedingungen mit ausschließlich diffusem Licht sowie Beleuchtung mit starken Mehrfachschatten könnten die Arbeitsleistung beeinträchtigen. In der Zukunft sind weiterführende Untersuchungen mit umfangreichem Probandenkollektiv und größerer Anzahl von Referenzlichtszenen geplant. In einem zusätzlichen Teilversuch wird der Einfluss gerichteter LED-Beleuchtung auf die Formwahrnehmung quantifiziert. Alle Ergebnisse werden 2016 in einem abschließenden Forschungsbericht auf der BAuA-Website (<http://www.baua.de>) bekannt gemacht.

Die Ergebnisse demonstrieren, dass bei Überlegungen zur Auswahl einer geeigneten Beleuchtung von Arbeitsplätzen auch das Gütemerkmal Lichtrichtung und Schattigkeit Berücksichtigung finden sollte. Hinweise auf eventuelle Probleme mit der Lichtqualität ergeben sich bereits bei der Betrachtung der Leuchte im ausgeschalteten Zustand. Sind die einzelnen LEDs (meist mit gelbem Phosphor beschichtete Chips) deutlich erkennbar bzw. fehlen Sekundäroptik oder Reflektoren zur Beherrschung des Strahlengangs, sollte der Schattenbildung ein besonderes Augenmerk gewidmet werden. Für die meisten Sehauflagen empfiehlt sich eine ausgewogene Schattigkeit mit einem Mix aus direktem und diffusem Licht (DIN EN 12464-1, 2011). Die Bildung von Mehr-

fachschatten kann qualitativ mithilfe der eigenen Hände als Schattenwerfer überprüft werden (Abb. 2). Entstehen dabei Mehrfachschatten mit großer Schattenanzahl, scharfen Schattenkanten oder hohem Schattenkontrast, können Sehkomfort und visuell-motorische Leistung beeinträchtigt werden. ■

LITERATUR:

- CIE 025:2013 (2013) *Review of Lighting Quality Measures for Interior Lighting with LED Lighting Systems*. Wien: International Commission on Illumination.
- DIN EN 12464-1 (2011) *Licht und Beleuchtung – Beleuchtung von Arbeitsstätten – Teil 1: Arbeitsstätten in Innenräumen*. Berlin: Beuth.
- GMBI (2011) *ASR A3.4 Technische Regel für Arbeitsstätten – Beleuchtung*. Gemeinsames Ministerialblatt, 16: 303–318.
- Krüger J. (2014) *Untersuchungsansatz zur Feststellung der Auswirkungen von LED-Mehrfachschatten auf die Formwahrnehmung*. 60. Frühjahrskongress der GfA – Gestaltung der Arbeitswelt der Zukunft: 714–716.
- Krüger J., Windel A. & Schierz C. (2014) *Einfluss von LED-Mehrfachschatten auf Sehleistung und Sehkomfort*. LICHT 2014 – Licht leicht gemacht, Licht leicht gebracht! Den Haag: Nederlandse Stichting Voor Verlichtingskunde (NSVV).
- VBG (2005) *DGUV Information 215–442: Beleuchtung im Büro Hilfen für die Planung von Beleuchtungsanlagen von Räumen mit Bildschirm- und Büroarbeitsplätzen*. Hamburg: Verwaltungs-Berufsgenossenschaft (VBG), Deutsche Lichttechnische Gesellschaft e.V. (LITG).

Dürfen wir vorstellen: das neue ARBEITSSCHUTZdigital.



ARBEITSSCHUTZdigital unterstützt Sie bei der Einhaltung guter betrieblicher Praxis zum Schutz vor Arbeitsunfällen und arbeitsbedingten Gesundheitsgefahren sowie zur menschengerechten Gestaltung der Arbeit. Verschaffen Sie sich Rechtssicherheit. Nutzen Sie Arbeitshilfen für den schnellen Einstieg in die Gefährdungsbeurteilung oder Unterweisung. Setzen Sie auf erstklassige Fach- und Hintergrundrecherchen: In der **neuen Systematik** werden diese künftig noch einfacher.

- ▶ **RECHT & REGELN:** Wählen Sie aus **über 1.200 Vorschriften**, die Sie mit Mein Rechtskataster überwachen; recherchieren Sie in rund 800 Erläuterungen und im DGUV Regelwerk (gratis via DGUV.de/publikationen)
- ▶ **ARBEITSHILFEN:** mit **über 160 Checklisten**, Mustern, Gefährdungsbeurteilungen, editierbaren Vorlagen u.a.
- ▶ **MEDIEN:** mit **über 2.500 Beiträgen** – aus »sicher ist sicher«/»Betriebliche Prävention« (bis 31.12.2015 BPUVZ), eBooks und ARBEITSSCHUTZuptodate
- ▶ **STELLENMARKT:** das Jobportal zum Arbeitsschutz

Neugierig? Testen Sie die Datenbank **einen Monat gratis und unverbindlich**. Ihr Test endet automatisch ohne weitere Verpflichtungen.

ARBEITSSCHUTZdigital

Datenbank, Jahresabonnement monatlich € (D) 25,-
(zzgl. 19% USt.), ISBN 978-3-503-14180-7

 www.ARBEITSSCHUTZdigital.de

ESV ERICH
SCHMIDT
VERLAG

Auf Wissen vertrauen

Bestellungen bitte an den Buchhandel oder: Erich Schmidt Verlag GmbH & Co. KG · Genthiner Str. 30 G · 10785 Berlin
Tel. (030) 25 00 85-265 · Fax (030) 25 00 85-275 · ESV@ESVmedien.de · www.ESV.info