

Messungen von Beleuchtungsstärken am Auge mit dem mobilen Messgerät LuxBlick

*Cornelia Vandahl, Stefan Wolf, Karin Bieske, Christoph Schierz
Technische Universität Ilmenau, Fachgebiet Lichttechnik
D-98693 Ilmenau*

1 Zusammenfassung

Die biologischen Lichtwirkungen werden seit einiger Zeit verstärkt auch bei der Beleuchtung von Arbeitsplätzen diskutiert. Nach aktuellem Kenntnisstand spielen dabei die Lichtmenge, die spektrale Verteilung und die örtliche Verteilung im Gesichtsfeld eine wesentliche Rolle. Zur Bewertung müssten alle diese Parameter gemessen werden, was eine sehr komplexe Aufgabe ist. Oft behilft man sich mit der Angabe der vertikalen Beleuchtungsstärke in Augenhöhe. Dabei bleibt zwangsläufig der Einfluss der Kopfbewegung unberücksichtigt.

Mit einem am Fachgebiet Lichttechnik der TU Ilmenau weiterentwickelten Gerät können die Beleuchtungs- und die circadiane Bestrahlungsstärke an der wirklichen Augenposition von Testpersonen gemessen werden. Die Messungen erfolgen über längere Zeiträume mit einer zeitlichen Auflösung von einer Sekunde. Das Gerät arbeitet in einem Beleuchtungsstärkebereich von 10 bis 40000 lx.

An einem industriellen Testarbeitsplatz wurde untersucht, welche Beleuchtungsstärken am Auge bei verschiedenen Leuchten und unterschiedlichen Positionen erreicht werden. An diesen Arbeitsplätzen führten Testpersonen aus. Die Blickrichtung war dabei vorwiegend auf die horizontale Arbeitsebene gerichtet. Beim Greifen in die Materialablagen wurde der Blick auch in vertikale Ebenen gerichtet.

Die vertikale Beleuchtungsstärke in Augenhöhe betrug zwischen 60 % (direktes Beleuchtungssystem) und 160 % (große vertikale leuchtende Fläche) der horizontalen Beleuchtungsstärke. Die an der wirklichen Augenposition gemessenen Beleuchtungsstärken betragen im Mittel nur etwa 30 bis 40 % der vertikalen Beleuchtungsstärke. Der Anteil ist um so geringer, je weiter oben die Leuchte befestigt ist.

Mit diesen Erkenntnissen werden im nächsten Schritt Arbeitsplätze mit zusätzlichen Leuchten ausgerüstet und in Felduntersuchungen die Lichtwirkungen untersucht. Es sollen in dunklen Werkhallen mit wenig Tageslicht helle Flächen realisiert werden, um damit hohe vertikale Beleuchtungsstärken zu erzielen.

2 Versuchsaufbau

In einem Versuchsraum wurde ein Montagearbeitsplatz aufgebaut (Abb. 1). Der Raum war an 3 Seiten verspiegelt, so dass das Raumgefühl einer Werkhalle entstand.

In Blickrichtung der Testperson (vorn und seitlich) wurden vertikal angeordnete Leuchten montiert (Abb 1). Diese hatten eine homogen leuchtende Fläche mit einer Leuchtdichte von 1000 cd/m^2 . Durch eine weitere dimmbare Leuchte (Allgemeinbeleuchtung 2,00 m über der Arbeitsfläche) wurde die horizontale Beleuchtungsstärke auf der Tischebenen immer auf 500 lx eingestellt. Die Größen der Flächenleuchten sind in Tab. 1 aufgeführt.

	unten+ oben	unten	oben	Segel	rechts	links	rechts+ links
Breite	1,30 m	1,30 m	1,30 m	1,40 m	0,40 m	0,40 m	0,40 m
Höhe	1,30 m	0,65 m	0,65 m	0,57 m	0,58 m	0,58 m	0,58 m
Abstand zum Auge	2,00 m	2,00 m	2,00 m	2,00 m	0,80 m	0,80 m	0,80 m

Tab. 1: Größen der Flächenleuchten

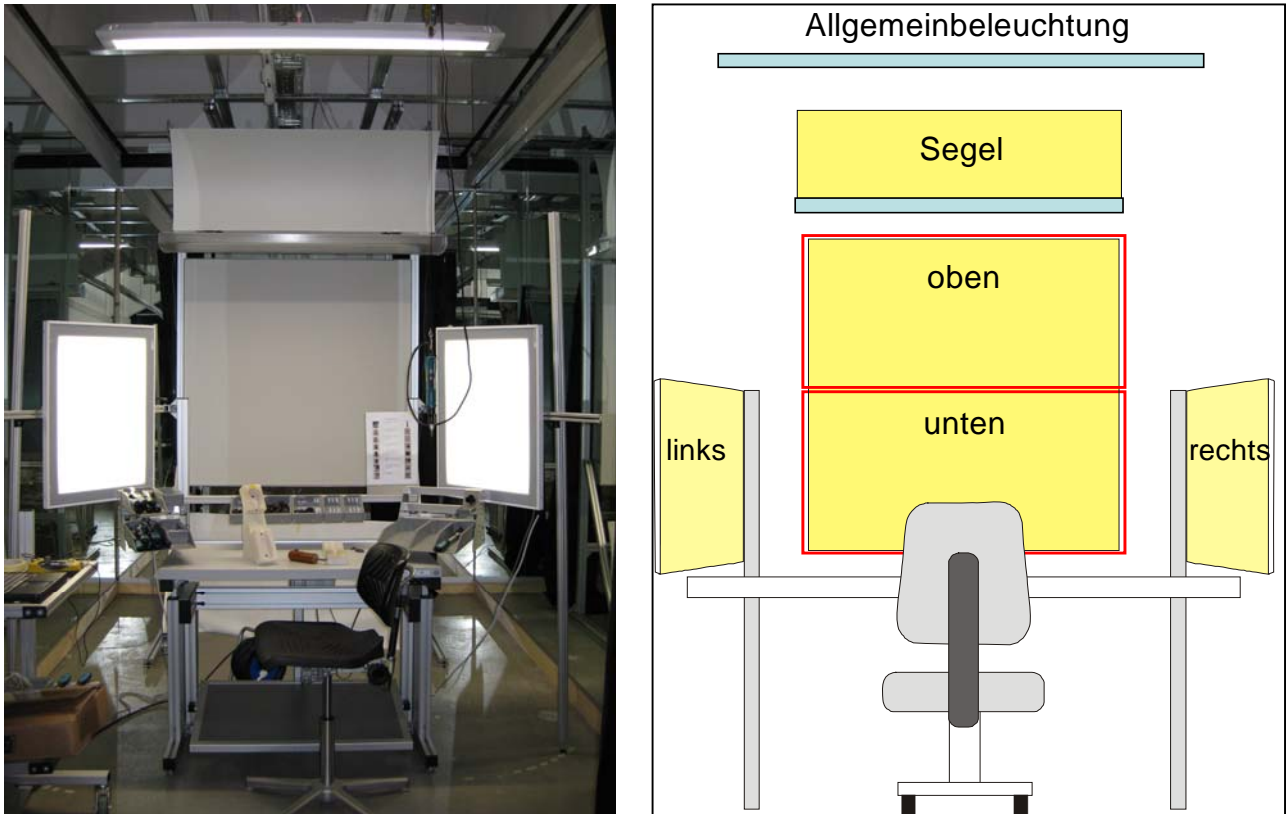


Abb. 1: Anordnung der vertikalen Flächenleuchten am Arbeitsplatz

3 Versuchsdurchführung

Der Test sollte zeigen, welche Beleuchtungsstärke an der wirklichen Augenposition E_{Auge} durch die verschiedenen Leuchten erzeugt wird. Dazu trugen die Testpersonen einen Sensor an einer Brille, der jede Sekunde einen Messwert registriert und speichert. Ausgewertet wurde dann der Mittelwert während des Messzeitraumes. Vor-Tests hatten gezeigt, dass ein Messzeitraum von 10 Minuten ausreicht, da sich der Mittelwert danach nicht mehr änderte. 20 Testpersonen führten während der Messung Montagetätigkeiten durch. Dabei entnahmen sie aus Ablagen Teile und montierten sie. Die Sehaufgabe befand sich dabei sowohl in der vertikalen als auch in der horizontalen Ebene. Abb. 2 zeigt das Messbeispiel einer Testperson für 5 Situationen. Dargestellt sind die Einzelmessungen für jeweils 10 Minuten pro Situation.

Insgesamt wurden 8 Situationen vermessen, zunächst die Allgemeinbeleuchtung allein, danach 7 Situationen mit vertikal angeordneten Flächenleuchten. Die Allgemeinbeleuchtung wurde dabei so eingestellt, dass auf die horizontale Beleuchtungsstärke auf der Tischebene immer 500 lx betrug. Weiterhin wurde die vertikale Beleuchtungsstärke in Augenhöhe (1,25 m) an der Kopfposition E_v bestimmt.

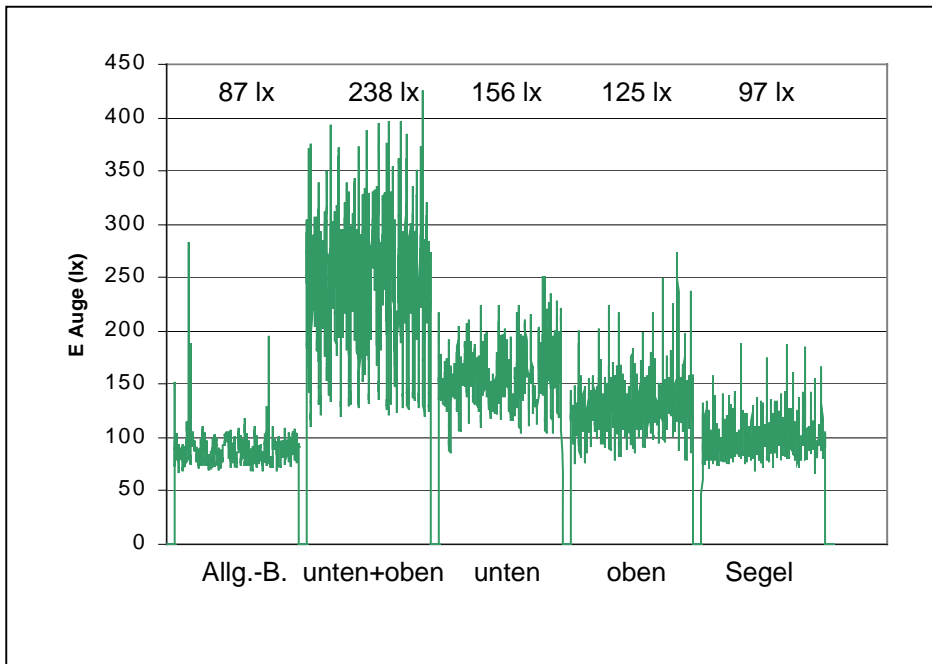


Abb. 2: Beispielmessung für 5 Situationen

4 LuxBlick Messgerät

Das verwendete Gerät dient dazu, die Beleuchtungs- und circadiane Bestrahlungsstärke am Auge über mehrere Tage mit einer zeitlichen Auflösung von einer Sekunde zu erfassen und die Messwerte zu speichern. Dazu werden an der Brille des Probanden 2 Sensoren angebracht (Abb. 3), die die Messwerte an ein Gerät liefern, welches der Proband am Körper trägt. Dieses ist netzunabhängig.



Abb. 3: LuxBlick Messgerät

Abbildung 4 zeigt das Blockschaltbild des realisierten Gerätes. Zentraler Bestandteil ist ein Mikrocontroller vom Type Atmel ATmega644P, der alle Abläufe steuert, die notwendigen AD-Wandler enthält und die Messdaten zunächst in einem nicht flüchtigen Datenspeicher (NVRAM) in der Echtzeituhr ablegt. Diese Echtzeituhr liefert auch die absoluten Zeitbezüge zu den Messdaten und generiert jede Sekunde einen Impuls, der eine neue Messung startet. Die Größe des NVRAMs in der Echtzeituhr reicht aus, um für ca. 7 Minuten die Messdaten zu speichern, dann müssen diese in den USB-Datenspeicher übertragen werden. Die Zwischenspeicherung der Messdaten im NVRAM erfolgt, weil der USB-Speicher mit dem internen USB-Interface soviel Strom verbraucht, dass die beiden NiMH-Zellen, welche die gesamte Schaltung mit Strom versorgen, nach wenigen Stunden leer wären. So ist der Datenspeicher normalerweise stromlos und wird nur eingeschaltet, wenn der NVRAM zu ca. 80% belegt ist, um die Daten zu übertragen. Als Datenspeicher wird ein

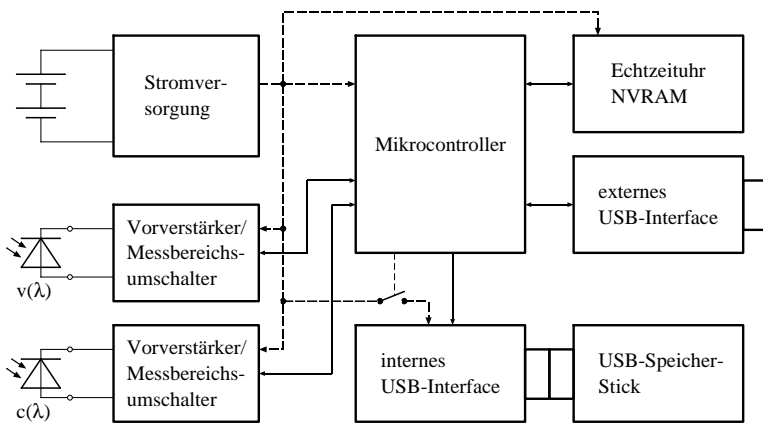


Abb. 4: Blockschaltbild des Gerätes

handelsüblicher USB-Memory-Stick verwendet, wobei je Gigabyte Messdaten mehrerer Monate gespeichert werden können. Die Vorverstärker wandeln den in den Fotoelementen generierten Fotostrom in eine Spannung um und besitzen einen Tiefpasscharakter. Ebenfalls realisieren diese Vorverstärker durch den Mikrocontroller einstellbare Messbereiche. Die so erzeugte Spannung wird durch die AD-Wandler des Mikrocontrollers gemessen. Der messbare Beleuchtungsstärkebereich liegt zwischen 10 lx und 40000 lx.

Um die Stromaufnahme des Mikrocontrollers, die bei ca. 10mA liegt, zu reduzieren, wird dieser in fast 98% der Zeit in einen Standby-Modus gesetzt, bei dem alle internen Taktgeneratoren abgeschaltet sind. Dadurch beträgt die Stromaufnahme nur noch wenige Nanoampere. Die Rücksetzung in den aktiven Modus für die Messung erfolgt durch einen externen Interrupt, der durch die Echtzeituhr ausgelöst wird. Dadurch reduziert sich die mittlere Stromaufnahme des Mikrocontrollers auf ca. 0,2 mA. Dadurch und durch die Abschaltung des internen USB-Interfaces mit dem Datenspeicher wird mit zwei NiMH-Zellen der Baugröße AA mit einer Kapazität von 2700 mAh eine Betriebszeit von 10 Tagen erreicht. Das in Abbildung 4 gezeigte externe USB-Interface dient nur zum Programmieren der Betriebssoftware und zum Abgleich des Gerätes und wird vom dabei angeschlossenen PC über das USB-Kabel mit Spannung versorgt. Während des Betriebes des Messgerätes ist dieses Interface spannungslos.

5 Ergebnisse

Für alle Situationen wurden innerhalb des Messzeitraumes der Mittelwert gebildet. Die Ergebnisse sind in Abb. 5 und Abb. 6 dargestellt. In Abb. 5 ist ersichtlich, dass die vertikale Beleuchtungsstärke E_v erwartungsgemäß von der Größe und der Position der vertikalen Flächenleuchte abhängt. Das Verhältnis zur horizontalen Beleuchtungsstärke liegt zwischen 0,61 und 1,39 (Tab. 2).

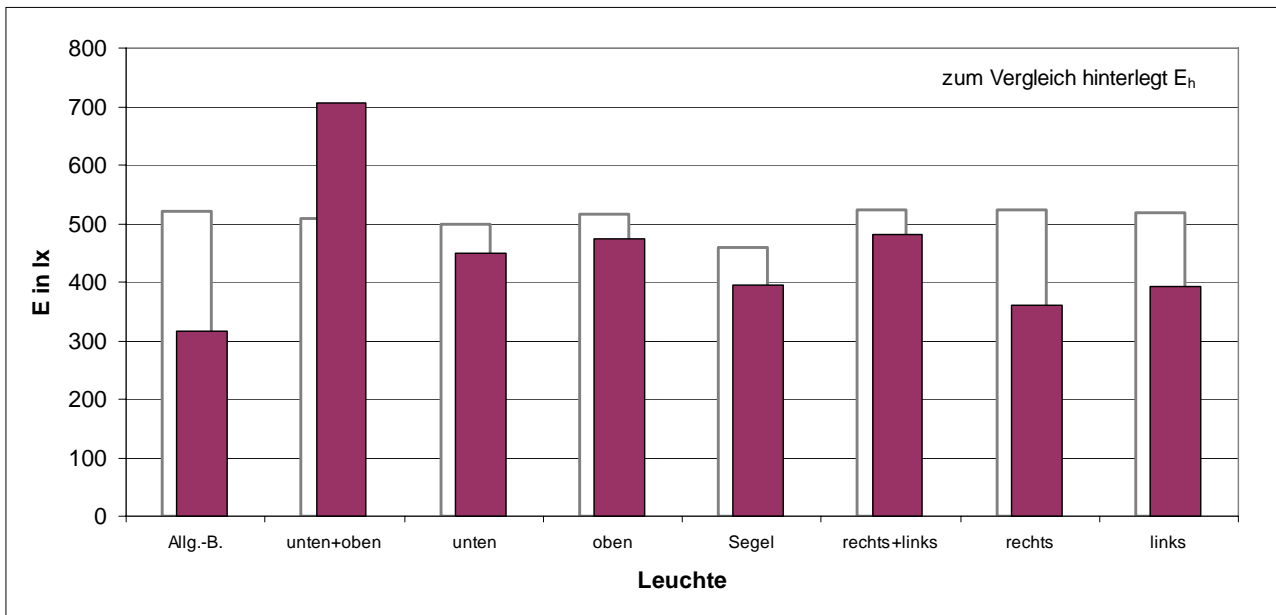


Abb. 5: Vertikale Beleuchtungsstärke in Augenposition E_v

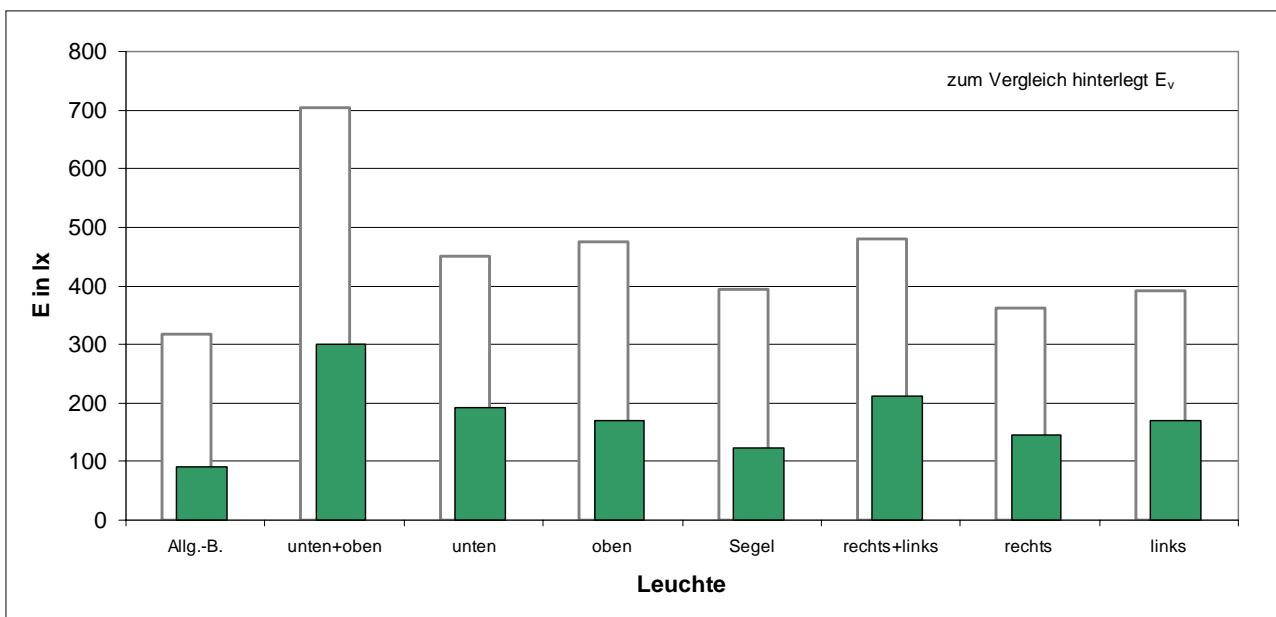


Abb. 6: Beleuchtungsstärke am Auge E_{Auge}

	Allg.-B.	unten+ oben	unten	oben	Segel	rechts+ links	rechts	links
$E_v : E_h$	0,61	1,39	0,90	0,92	0,86	0,92	0,69	0,75
$E_{\text{Auge}} : E_v$	0,29	0,43	0,43	0,36	0,31	0,44	0,40	0,43

Tab. 2: Beleuchtungsstärkeverhältnisse für die einzelnen Situationen

In Abb. 6 ist die an der wirklichen Augenposition gemessene Beleuchtungsstärke E_{Auge} dargestellt. Dabei wurde über den Messzeitpunkt von 10 Minuten gemittelt. Es zeigt sich, dass diese nur etwa ein Drittel der vertikalen Beleuchtungsstärke beträgt. Genaue Zahlen sind in Tab. 2 zu finden.

Dieser große Unterschied ist damit zu erklären, dass die Testpersonen vorwiegend auf die Arbeitsfläche schauten. Bei anderen Tätigkeiten wären andere Verhältnisse zu erwarten.

6 Schlussfolgerung

Die vertikale Beleuchtungsstärke in Augenhöhe betrug zwischen 60 % (direktes Beleuchtungssystem) und 160 % (große vertikale leuchtende Fläche) der horizontalen Beleuchtungsstärke.

Für die Bewertung der circadian wirksamen Bestrahlung bzw. Beleuchtung wird im Allgemeinen die vertikale Beleuchtungsstärke in der Augenposition herangezogen. Die Messergebnisse zeigen, dass an der wirklichen Augenposition nur 30 bis 40 % der vertikalen Beleuchtungsstärke erzielt werden, wenn die Sehaufgabe, wie in dieser Untersuchung, zum größten Teil Blickrichtungen unterhalb der Horizontalen erfordert.

Weiterhin ist ersichtlich, dass frontal und seitlich angebrachte Leuchten etwa die gleichen Wirkungen zeigen. Damit ist es möglich, je nach Gestaltung des Arbeitsplatzes unterschiedliche Positionen der Flächenleuchten zu wählen.

Dr.-Ing. Cornelia Vandahl

Dr.-Ing. Stefan Wolf

Dr.-Ing. Karin Bieske

Prof. Dr. sc. nat. Ch. Schierz

Technische Universität Ilmenau

Fakultät für Maschinenbau

Fachgebiet Lichttechnik

PF 10 05 65

98684 Ilmenau, Germany

Tel. +49(0)3677-69-3735

Fax +49(0)3677-69-3733

cornelia.vandahl@tu-ilmenau.de