

Lichtwirkungen am Tag - Feldstudie in Industriebetrieben

Karin Bieske, Cornelia Vandahl, Christoph Schierz

Technische Universität Ilmenau, Fachgebiet Lichttechnik PF 100 565, 98684, Ilmenau

1 Einleitung

Für die Beurteilung der Lichtqualität von Beleuchtungssystemen müssen sowohl visuelle Kriterien als auch biologische Lichtwirkungen berücksichtigt werden. Da sich biologische Lichtwirkungen sowohl in Quantität, Spektrum, räumlicher Verteilung, in Zeitpunkt und Dauer grundlegend von der visuellen Lichtwirkung unterscheiden, sind unterschiedliche Bewertungen und Festlegungen für beide Aspekte erforderlich.

Die aktivierende Wirkung von Licht hat großes Potenzial für die Beleuchtungspraxis. Leider ist dies die – insbesondere am Tage – am wenigsten untersuchte biologische Lichtwirkung. Auch die Stabilität der inneren Uhr dürfte in einer Zeit unregelmäßiger Arbeits- und Freizeitaktivitäten stärker variieren als früher. Über die sinnvolle Anwendung der Erkenntnisse zu biologischen Lichtwirkungen am Arbeitsplatz ist derzeit sehr wenig bekannt. Im Blickpunkt der durchgeführten Studie stand daher der Einfluss unterschiedlicher Beleuchtungsszenarien an Industriearbeitsplätzen am Tage auf Wohlbefinden, Schlafqualität und Akzeptanz der Mitarbeiter. Schwerpunkte dafür waren der Einfluss des Spektrums, der Lichtverteilung und dynamischer Lichtfarbenvariationen. Die Studie erfolgte mit 41 Probanden an fünf Standorten im Zeitraum von September 2010 bis April 2011.

Im Ergebnis zeigt sich, dass die untersuchten Beleuchtungsszenarien von den Probanden mehrheitlich akzeptiert wurden. Probleme traten mit den untersuchten Flächenleuchten dort auf, wo störende Blendung oder Reflexe auftraten oder die Integration der Flächenleuchte am Arbeitsplatz schwierig war. Die Untersuchungsergebnisse sprechen nicht gegen den Einsatz von Lampen hoher ähnlichster Farbtemperatur an Arbeitsplätzen. Die veränderte Beleuchtung führte teilweise zu höherer Aktivierung am Tag und zu positiven Einflüssen auf den Schlaf. Details sind in [1] zu finden.

2 Grundlagen

Der Studie liegen folgende Überlegungen zugrunde:

- Licht hat beim Menschen Einfluss auf wesentliche biologische Prozesse und kann die subjektiv empfundene Munterkeit steigern [2]. Es ist daher zu vermuten, dass in dunklen Industriehallen höhere Beleuchtungsstärken am Auge die Aktiviertheit und das Wohlbefinden steigern können.

- Die biologische Wirksamkeit wird bestimmt durch die Lichtmenge, die von den 2001 neu entdeckten lichtempfindlichen Ganglienzellen in der Netzhaut absorbiert wird. Wesentliche Einflussgrößen sind neben der Beleuchtungsstärke, die spektrale Zusammensetzung des Lichts und damit die Lichtfarbe, die örtliche Lichtverteilung, der Zeitpunkt der Beleuchtung sowie das Alter des Menschen.
- Aufgrund der spektralen Empfindlichkeit der lichtempfindlichen melanopsinhaltenen Ganglienzellen [3, 4], die für die biologische Lichtwirkung verantwortlich gemacht werden, ist zu vermuten, dass Lichtfarben mit höherer ähnlichster Farbtemperatur auch am Tage eine größere biologische Lichtwirkung besitzen als wärmere Lichtfarben bei gleicher Beleuchtungsstärke am Auge.
- Da die melanopsinhaltenen Ganglienzellen in der Fovea nicht vorkommen, sondern in der Peripherie der Netzhaut verteilt sind, ist zu erwarten, dass große leuchtende Flächen, die einen großen Bereich der Netzhaut ausleuchten, eine größere Wirkung erzielen als eine Beleuchtung, die nur punktuell Netzhautareale reizt. Das bedeutet damit auch, dass nicht nur die Beleuchtung im Bereich der Sehaufgabe wesentlich ist, sondern Licht in der Peripherie eine wichtige Bedeutung für biologische Lichtwirkungen hat [5].
- Da mit zunehmendem Alter die Linse im Auge vergilbt und sich damit die spektralen Transmissionseigenschaften des Auges ändern ist anzunehmen, dass der Lichtbedarf mit dem Alter zunimmt, um die gleiche Wirkung wie in jüngeren Jahren zu erzielen [6, 7].
- Vergleichende Untersuchungen zwischen einer Beleuchtung mit statischem Beleuchtungsniveau und einer Beleuchtung die phasenweise zwischen hohen und niedrigen Beleuchtungsniveaus schwankt zeigen, dass mit sich ändernden Reizen während einer Zeitdauer ähnliche Wirkungen erzielt werden konnten wie mit statischen Reizen hohen Beleuchtungsniveaus [8, 9, 10]. Das könnte ein Hinweis darauf sein, dass mit einer sich im Tagesverlauf ändernden Lichtfarbe größere Effekte erzielt werden können als mit einer konstanten Lichtfarbe während des Tages.

Vor dem Hintergrund dieser Erkenntnisse wurde ein Versuchskonzept für ein Feldexperiment entworfen, um das Potential der aktivierenden und stabilisierenden Wirkung des Lichtes am Tage unter realen Arbeitsbedingungen zu untersuchen.

3 Methode und Versuchsdesign

Für die Untersuchung wurden solche Arbeitsplätze ausgewählt, an denen typische Montage- und Reparaturarbeiten durchgeführt werden, an denen wenig Tageslicht vorhanden ist und die dort tätigen Mitarbeiter vorwiegend in einem abgegrenzten Arbeitsplatzbereich und in Tagschichten beschäftigt sind. Ziel war es, sowohl Frauen und Männer, ältere und jüngere Beschäftigte mit einem Umfang von 40 Probanden in die Studie einzubeziehen. Da dies nicht innerhalb eines Unternehmens gegeben war, wurde die Untersuchung an fünf Standorten durchgeführt. Beteiligt waren 41 Probanden im Alter zwischen 21 und 61 Jahren, darunter 18 Frauen. Da zu erwarten ist, dass Lichtwirkungen

am Tag während der lichtärmeren Jahreszeiten deutlicher in Erscheinung treten, wurde die Studie im Zeitraum von September 2010 bis April 2011 durchgeführt.

3.1 Beleuchtungssituationen

Aufgrund der unterschiedlichen Gegebenheiten an den einzelnen Arbeitsplätzen war es nicht möglich, einheitliche Beleuchtungsverhältnisse an den Arbeitsplätzen für die einzelnen Versuchsszenarien zu schaffen. Betrachtet werden daher in dieser Studie die Änderungen bezüglich der vorgefundenen Beleuchtungsverhältnisse (Situation S1: Ist-Situation). Die Realisierung der unterschiedlichen Beleuchtungsszenarien erfolgte in Ergänzung zur bestehenden Beleuchtungsanlage an den Arbeitsplätzen mit Flächenleuchten und durch Einbau von Lampen anderer Lichtfarbe in die vorhandenen Leuchten. Als Flächenleuchten wurden Leuchten der Firma Philips SmartForm TBS473 mit einer leuchtenden Fläche von 55,5 cm x 55,5 cm verwendet. Sie sind für sechs T5 Leuchtstofflampen ausgelegt, verfügen über elektronische Vorschaltgeräte mit DALI-Schnittstelle. Die Abschlusscheibe ist in OLC-Microlinsenoptik für die Lichtmischung realisiert. Verwendet wurden je Leuchte zwei Lampen Phillips Master T5 HO 827 24 W ($CCT = 2700$ K) und vier Lampen Philips Master T5 HO Activiva Natural 24 W ($CCT = 8000$ K). Für die Leuchten können Helligkeit und Lichtfarbe definiert werden. Voruntersuchungen haben gezeigt, dass Leuchtdichten von 2000 cd/m^2 auf den Flächenleuchten toleriert werden ohne Blendung zu verursachen. Für die Feldversuche wurden Flächenleuchten mit mittleren Leuchtdichten von $L_{FL} = 1500 \text{ cd/m}^2$ eingesetzt. In einzelnen Fällen traten jedoch Blendprobleme auf, sodass die Helligkeit der Flächenleuchte an diesen Arbeitsplätzen auf Leuchtdichten von $L_{FL} = 1000 \text{ cd/m}^2$ oder $L_{FL} = 750 \text{ cd/m}^2$ reduziert wurden.

Um den Einfluss von großen leuchtenden Flächen im Gesichtsfeld zu untersuchen, wurde die Situation S2 - Flächenleuchte im Vorfeld/seitlich entworfen. Je nach Gegebenheiten an den Arbeitsplätzen wurden zusätzliche Flächenleuchten direkt vor dem Arbeitsplatz installiert oder seitlich zum Arbeitsplatz aufgestellt (Bild 1). In Voruntersuchungen konnten vergleichbare Bestrahlungsverhältnisse für beide Aufstellvarianten der Flächenleuchten im Arbeitsbereich nachgewiesen werden. Für einen Vergleich zwischen Leuchten mit statischer Lichtfarbe und Leuchten mit dynamischer Lichtfarbenvariation dienen die Situationen S2 und S3 (Tabelle 1). Situation S4 wurde für die Bewertung des Einflusses der Lichtfarbe im Vergleich zur Ausgangssituation S1 konzipiert. Dafür wurden T8-Lampen vom Typ skywhite ($CCT = 8000$ K) mit entsprechender Leistung und Farbwiedergabe verwendet.

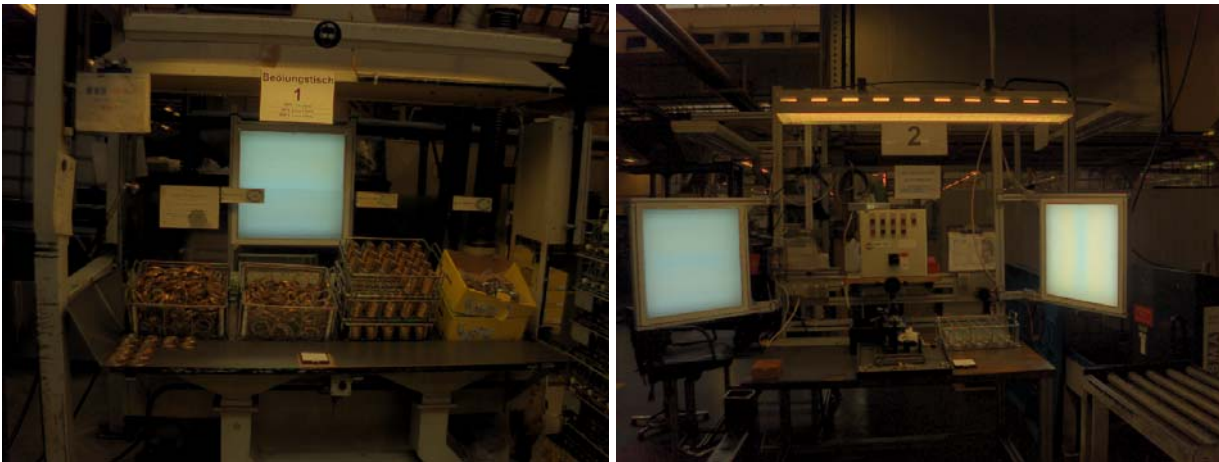


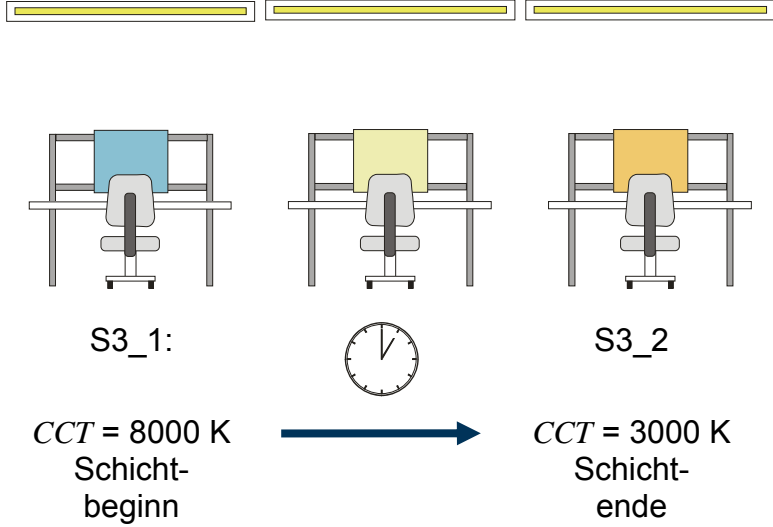
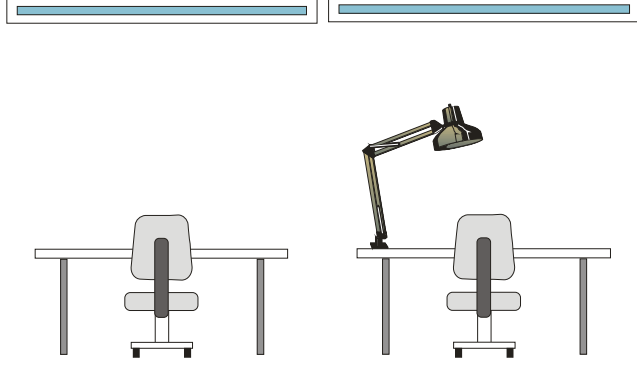
Bild 1: Beispiele für installierte Flächenleuchten im Vorfeld und seitlich zum Arbeitsplatz

Für den Nachweis der Validität der Ergebnisse wurde zum Abschluss der Studie die Ausgangssituation wiederholt betrachtet (Situation S5). Jede Versuchssituation wurde über einen Zeitraum von mindestens vier Wochen untersucht. Einen Überblick und eine Beschreibung über die untersuchten Beleuchtungsszenarien gibt nachfolgende Tabelle 1.

Tabelle 1: Überblick über die untersuchten Beleuchtungssituationen

<p>Situation S1/ Situation S5:</p> <p>Ist-Situation: Allgemeinbeleuchtung oder Allgemeinbeleuchtung in Kombination mit arbeits- platzbezogener Beleuch- tung</p>	
<p>Situation S2:</p> <p>Ist-Situation mit Flächen- leuchte im Vorfeld/seitlich, Lichtfarbe: CCT = 8000 K, statisch, mittlere Leuchtdichte: $L = 1500 \text{ cd/m}^2$ (23 Fälle), $L = 1000 \text{ cd/m}^2$ (8 Fälle), $L = 750 \text{ cd/m}^2$ (10 Fälle)</p>	

Tabelle 1: Überblick über die untersuchten Beleuchtungssituationen (Fortsetzung)

<p>Situation S3:</p> <p>Ist-Situation mit Flächenleuchte im Vorfeld/seitlich mit dynamischer Lichtfarbenvariation von $CCT = 8000\text{ K}$ bis $CCT = 3000\text{ K}$ im Schichtverlauf, mittlere Leuchtdichte: $L = 1500\text{ cd/m}^2$ (23 Fälle), $L = 1000\text{ cd/m}^2$ (8 Fälle), $L = 750\text{ cd/m}^2$ (10 Fälle)</p>	 <p>S3_1: $CCT = 8000\text{ K}$ Schichtbeginn</p> <p>S3_2: $CCT = 3000\text{ K}$ Schichtende</p>
<p>Situation S4:</p> <p>Ist-Situation mit veränderter Lichtfarbe höherer ähnlicher Farbtemperatur: $CCT = 8000\text{ K}$ (Lampenwechsel in bestehende Beleuchtungsanlage)</p>	

3.2 Messtechnische Erfassung

Zur Beschreibung der Beleuchtungsverhältnisse dienen photometrische Messungen mit einem Spektralradiometer und örtlich aufgelöster Messtechnik an den Arbeitsplätzen. Gemessen wurden an den Arbeitsplätzen die horizontale Beleuchtungsstärke E_h auf der Arbeitsebene, die vertikale Beleuchtungsstärke E_v in Augenhöhe (1,6 m), die Beleuchtungsstärke E_{45° in Augenhöhe unter einem Blick von 45° nach unten zur Arbeitsebene, die ähnlichste Farbtemperatur CCT auf der Arbeitsebene. Weiterhin wurden die entsprechenden mit der $s_{ms}(\lambda)$ -Funktion bewerteten Bestrahlungsstärken E_{ms} nach Gleichung (1) bestimmt. Die $s_{ms}(\lambda)$ -Funktion beschreibt die Wirkfunktion für die biologische Lichtwirkung nach DIN V 5031 Teil 100 [2].

Gleichung (1):
$$X_{s_{ms}} = \int X_{e\lambda}(\lambda) \cdot s_{ms}(\lambda) d\lambda$$

Tabelle 2: Messdaten (Mittelwert und Standardabweichung) für die einzelnen Untersuchungssituationen (S3_1: zu Schichtbeginn/ S3_2: zu Schichtende, veränderte Lichtfarbe während der Schicht in Situation S3)

Situation	S1	S2	S3_1	S3_2	S4	S5
E_h in lx	1006 +/- 570	1118 +/- 551	1118 +/- 551	1041 +/- 561	1142 +/- 584	1090 +/- 475
E_v in lx	360 +/- 298	551 +/- 309	551 +/- 309	492 +/- 295	404 +/- 318	395 +/- 277
E_{45° in lx	129 +/- 71	218 +/- 88	218 +/- 88	205 +/- 90	152 +/- 76	137 +/- 60

Situation	S1	S2	S3_1	S3_2	S4	S5
CCT in K	4006 +/- 504	4207 +/- 507	4207 +/- 507	3898 +/- 438	6322 +/- 465	4002 +/- 494

Situation	S1	S2	S3_1	S3_2	S4	S5
$E_{ms\ h}$ in W/m^2	0,76 +/- 0,48	0,86 +/- 0,43	0,86 +/- 0,43	0,71 +/- 0,44	1,37 +/- 0,77	0,82 +/- 0,42
$E_{ms\ v}$ in W/m^2	0,26 +/- 0,22	0,53 +/- 0,27	0,53 +/- 0,27	0,30 +/- 0,21	0,49 +/- 0,41	0,28 +/- 0,20
$E_{ms\ 45^\circ}$ in W/m^2	0,09 +/- 0,05	0,19 +/- 0,10	0,19 +/- 0,10	0,12 +/- 0,06	0,16 +/- 0,09	0,09 +/- 0,04
$E_{ms\ h}/E_{ms\ h\ S1}$	1,00	1,13	1,13	0,93	1,80	1,08
$E_{ms\ v}/E_{ms\ v\ S1}$	1,00	2,04	2,04	1,15	1,88	1,08
$E_{ms\ 45^\circ}/E_{ms\ 45^\circ\ S1}$	1,00	2,11	2,11	1,33	1,78	1,00

Tabelle 2 fasst die Messwerte für die einzelnen Versuchsszenarien zusammen. Es zeigt sich eine große Streuung zwischen den Arbeitsplätzen. Trotz unterschiedlicher Auslegung der Beleuchtung war die horizontale Beleuchtungsstärke E_h während allen Beleuchtungssituationen ähnlich. Durch den Einsatz der Flächenleuchten erhöhte sich die vertikale Beleuchtungsstärke E_v in den Beleuchtungssituationen S2 und S3 im Vergleich zu S1/S4/S5 um etwa den Faktor 1,5 und auch die E_{45° -Werte waren entsprechend höher. Die mit der $s_{ms}(\lambda)$ -Funktion bewerteten Bestrahlungsstärken E_{ms} in der Horizontalen waren in der Beleuchtungssituation S4 deutlich erhöht, während in den anderen Beleuchtungssituationen die Werte denen der Situation S1 ähnelten. Die E_{ms} -Werte für die Vertikale und unter einem Blick von 45° zur Arbeitsebene wurden durch die Flächenleuchten mit hoher Farbtemperatur um einen Faktor von bis zu 2,1 im Vergleich zur Beleuchtungssituation S1 angehoben.

3.3 Befragung

Der Einfluss ausgewählter Beleuchtungsszenarien auf Wohlbefinden, Schlafqualität und Akzeptanz der Mitarbeiter wurde mittels Fragebögen erfasst.

Zu Beginn des Feldexperiments wurden die Probanden über die geplante Studie informiert. Dabei wurden die einzelnen Versuchsszenarien vorgestellt, auf die durchzuführenden Messungen eingegangen und die Fragebögen im Detail besprochen. Von jedem Probanden wurden allgemeine Angaben erfasst. Zum Ende jeder Arbeitswoche beantworteten die Probanden Fragen zum Befinden, Freizeit- und Schlafverhalten und zur Bewertung der Beleuchtung. Um einen Überblick über eine vergleichende Bewertung zwischen den Versuchsszenarien zu gewinnen, wurde am Ende des Feldexperiments

ein Abschlussfragebogen eingesetzt. Die Schwerpunkte der Fragebögen enthält Tabelle 3.

Tabelle 3: Inhaltliche Schwerpunkte der Fragebögen (Details in [1])

Fragebogen zur Person

- Geschlecht
- Alter
- Sehhilfe (Brille/ Kontaktlinsen)
- Chronotyp

Allgemeine Angaben

- Schicht und Arbeitstage
- Aufenthalt im Freien
- Fragen zum Befinden

Fragebogen zum Schlafverhalten

- Schlafenszeit
- Ein- und Aufstehzeit
- Schlafdauer
- Einschlafprobleme
- Schlafunterbrechungen
- Frischegefühl am Morgen
- Schlafqualität
- Schlafmittelkonsum
- Besonderheiten

Fragebogen zur Beleuchtung

- Helligkeit
- Blendung
- Lichtfarbe
- Störeffinden
- Gefallen
- Einfluss auf Befinden

Abschlussfragebogen

- Bewertung der einzelnen Versuchsszenarien im Vergleich
- Einfluss der Beleuchtung auf Befinden und Schlaf
- Beleuchtungssituation mit größtem Wohlbefinden
- Wunschbeleuchtungssituation
- Anmerkungen

Die erhobenen 23968 Daten aus 749 Fragebögen wurden mittels der Statistiksoftware SPSS 19.0 analysiert. An der Abschlussbefragung beteiligten sich 36 Probanden.

Da durch einen Aufenthalt bei natürlichem Tageslicht zu vermuten ist, dass die Lichtwirkung wesentlich mit beeinflusst wird, wurde neben der Aufenthaltsdauer im Freien die Wettersituation an den Arbeitsorten mit Höchsttemperaturen, Sonnenstunden und Niederschlag erfasst und für eine Einschätzung der Wetterbedingungen für die Arbeitswochen und das Wochenende herangezogen.

4 Ergebnisse

Die Ergebnisse der Abschlussbefragung sind in Bild 2 Zusammengefasst. Bei der Abschlussbefragung gaben 6 (17%) von 36 Befragten an, dass sie bewusst einen Einfluss der Lichtqualität auf ihr Wohlbefinden, ihre Aktiviertheit und ihre Schlafqualität während der verschiedenen Beleuchtungssituationen wahrgenommen haben. Auf die Frage, unter welcher der erlebten Lichtsituationen sich die Probanden am wohlsten gefühlt haben, wurde die Versuchsszene S4 am häufigsten genannt. Diese Lichtsituation würden die Probanden auch für ihre Arbeitssituation bevorzugen.

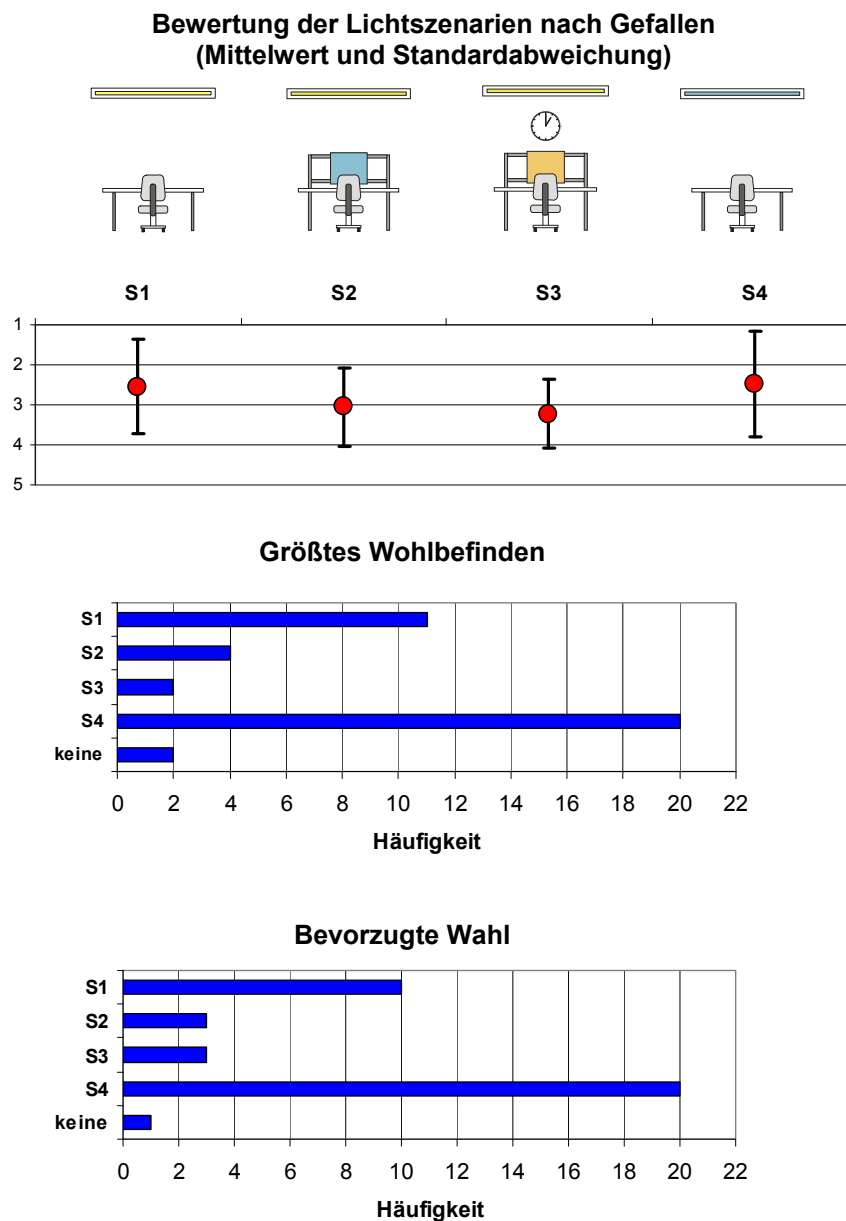
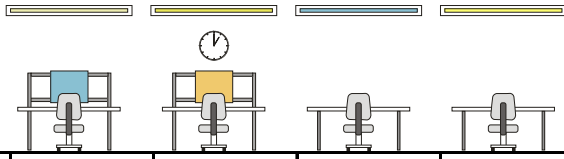


Bild 2: Bewertung der Lichtszenarien im Abschlussfragebogen (N = 36), für Gefallen, die Nennung des größten Wohlbefindens und der bevorzugten Wahl (Mehrfachnennungen waren möglich)

Die statistische Auswertung der Fragebögen ist in Tabelle 4 dargestellt.

Tabelle 4: Ergebnisse der Befragung - Vergleich zur Ausgangssituation S1



Variable	S2	S3	S4	S5
Gefallen	o	o	+	+
Förderung der Aufmerksamkeit	o	o	+	+
Aktivierung (Belebung)	+	o	+	+
Aktivierung (Aufmuntern)	o	o	+	o
ausreichende Helligkeit	o	o	+	(+)
heller Raumeindruck	+	+	+	+
Belästigung	-	(-)	o	o
Auffälligkeit	-	o	o	+
Aufdringlichkeit	-	o	o	o
Blendung	(-)	o	o	o
Gefallen der Lichtfarbe	o	o	o	o
störende Farbunterschiede	(-)	-	o	-
Variable	S2	S3	S4	S5
aktiv fühlen	(-)	+	o	+
Schwierigkeiten wach zu bleiben	(+)	+	+	+
fehlender Schwung	(+)	+	o	(+)
Variable	S2	S3	S4	S5
Bettgezeit	früher	früher	o	früher
Einschlafdauer	(+)	o	o	o
Aufstehzeit	o	o	o	o
Schlafdauer	o	o	o	o
Einschlafprobleme	o	(+)	+	+
Durchschlafprobleme	o	o	o	o
Erholungseffekt	o	o	o	o
Schlafqualität	o	+	o	+
Schlafmittel	o	+	o	(+)

Legende:

Symbol	Signifikanzniveau
+	signifikant besser als S1 bewertet ($p \leq 0,05$)
(+)	im Trend besser als S1 bewertet ($0,05 < p < 0,1$)
o	kein Unterschied in der Bewertung zu S1 ($p > 0,1$)
(-)	im Trend schlechter als S1 bewertet ($0,05 < p < 0,1$)
-	signifikant schlechter als S1 bewertet ($p \leq 0,05$)
früher	signifikant früher als bei S1 ($p \leq 0,05$)

Auch in der Auswertung der wöchentlichen Fragebögen wird die Beleuchtung S4 im Arbeitsbereich, mit Lichtfarben hoher ähnlichster Farbtemperatur, von den Probanden positiv wahrgenommen. Im Vergleich zur Ausgangssituation geben die Probanden an, dass ihnen die Beleuchtung besser gefällt und sie diese als heller empfinden. Situation S4 fördert stärker die Aufmerksamkeit, belebt und muntert stärker auf als Situation S1. Störende Effekte werden nicht genannt. Die Flächenleuchten im Vorfeld (S2, S3) fördern einen hellen Raumeindruck. Beim Einsatz von Flächenleuchten mit hohen ähnlichsten Farbtemperaturen wird eine Aktivierung wahrgenommen. Flächenleuchten im Vorfeld werden jedoch zum Teil störend empfunden und können Blendung verursachen. Dies wird besonders bei Flächenleuchten mit kalter Lichtfarbe angegeben (S2). Problematisch sind in diesem Zusammenhang Kombinationen unterschiedlicher Lichtfarben innerhalb eines Arbeitsbereiches. Von den Probanden wurden zum Teil störende Farbunterschiede genannt. Während der unterschiedlichen Beleuchtungssituationen fühlten sich die Probanden mehrheitlich aktiver und weniger müde als in der Ausgangssituation S1. Weiterhin zeigen sich im Vergleich zur Ausgangssituation S1 zum Teil positive Effekte auf den Schlaf bezüglich der Einschlafproblematik und der Schlafqualität.

Für den Vergleich statischer und dynamischer Beleuchtung wurden die Situationen S2 (zusätzliche Flächenleuchte im Vorfeld mit einer Lichtfarbe von statisch 8000 K) und S3 (zusätzliche Flächenleuchte im Vorfeld bei der sich die Lichtfarbe vom Schichtbeginn zum Schichtende von 8000 K zu 3000 K kontinuierlich ändert) betrachtet. Bei dynamischer Beleuchtung wurde eine signifikant höhere Aktivierung und eine bessere Schlafqualität angegeben. Im Vergleich zur statischen Vorfeldbeleuchtung (S2) war die dynamische Beleuchtung (S3) weniger störend und blendend.

Bezüglich des Alters wurde die Probandengruppe in Jüngere (< 45 Jahre) und Ältere (\geq 45 Jahre) eingeteilt. Der Vergleich beider Gruppen zeigte zwar signifikante Unterschiede, jedoch dürften diese eher mit sozialen Faktoren zu tun haben. Die unterschiedlichen Beleuchtungssituationen üben nur einen geringen Einfluss aus und es konnte kein signifikanter Alterseinfluss bezüglich der Beleuchtung nachgewiesen werden. Von den unterschiedlichen Beleuchtungsszenarien profitierten eher die jüngeren Probanden.

5 Zusammenfassung und Schlussfolgerungen

Die untersuchten Beleuchtungsszenarien wurden mehrheitlich von den Probanden akzeptiert. Probleme gab es dort, wo Blendung oder Reflexe die Sehaufgabe stören, zu unterschiedliche Lichtfarben in einem Arbeitsbereich kombiniert werden oder die Integration der Flächenleuchte am Arbeitsplatz schwierig ist. Unter realen Bedingungen sind Flächenleuchten mit Leuchtdichten von $L_{FL} = 1500 \text{ cd/m}^2$ unter Umständen zu hell und können subjektiv als störend oder blendend empfunden werden. Dies wurde besonders bei Flächenleuchten mit Lichtfarben mit hoher ähnlichster Lichtfarbe beobachtet. Die in der Voruntersuchung bestimmte Toleranzleuchtdichte von Flächenleuchten im Vorfeld von $L_{FL} = 2000 \text{ cd/m}^2$ ist in realen Situationen offensichtlich zu hoch. Hier ist besonders der Einfluss des unmittelbaren Umfeldes des Arbeitsplatzes zu betrachten, da in Fensternähe deutlich größere Leuchtdichten aus Fensterbereichen problemlos akzeptiert werden.

Problematisch bei der Interpretation der Ergebnisse der Studie ist, dass positive Wirkungen auch bei der Zweitbefragung der Ausgangssituation während der Situation S5 von den Probanden wahrgenommen wurden, obwohl mehrheitlich identische Beleuchtungsverhältnisse an den Arbeitsplätzen im Vergleich zur Situation S1 vorlagen. Möglicherweise zeigen sich hier Einflüsse durch die Feldstudie selbst (Hawthorne-Effekt) oder durch den Befragungszeitpunkt im Herbst oder Frühjahr. Damit ist es schwierig, aus den Ergebnissen der Studie konkrete Vorgaben abzuleiten. Weitere Untersuchungen sollten erfolgen. Jedoch sprechen die Untersuchungsergebnisse nicht gegen einen Einsatz von Lampen mit hoher ähnlichster Farbtemperatur an Arbeitsplätzen. Sie können positive Auswirkungen auf Befinden und Schlafqualität haben. Zusätzliche hell leuchtende Flächen im Vorfeld sind nur bedingt zu empfehlen. Zu große Unterschiede in der Helligkeit und in der Lichtfarbe sollten vermieden werden.

Danksagung

Das Projekt wurde von der Berufsgenossenschaft Holz und Metall initiiert, finanziert und begleitet. Die Firmen Osram, Philips, Siteco, Trilux und Tridonic unterstützten die Realisierung der Beleuchtungssituationen. Ein besonderer Dank gilt den Unternehmen Ford-Werke GmbH in Köln, H. Heinz Messwiderstände GmbH in Elgersburg, IL Metronic Sensortechnik GmbH in Ilmenau, MEG Mechanik GmbH in Gießübel und Thyssen-Krupp Steel AG in Duisburg, die die Durchführung des Feldexperiments in ihren Abteilungen ermöglichten und den 41 Probanden, die sich an der Untersuchung beteiligten.

Literatur

- [1] Bieske K, Vandahl C, Schierz C: Projekt „Licht und Gesundheit“ - Feldstudie in Industriebetrieben. Abschlussbericht, TU Ilmenau 2011. www.tu-ilmenau.de/lichttechnik unter Publikationen 2011
- [2] DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG: Strahlungsphysik im optischen Bereich und Lichttechnik - Über das Auge vermittelte, nichtvisuelle Wirkung des Lichts auf den Menschen - Größen, Formelzeichen und Wirkungsspektren. DIN V5031 Teil 100, Berlin: Beuth Verlag, Juni 2009.
- [3] BRAINARD GC, HANIFIN JP, GREESON JM, BYRNE B, GLICKMAN G, GERNER E, ROLLAG MD: *Action spectrum for melatonin regulation in humans: evidence for a novel circadian photoreceptor.* Journal of Neuroscience 2001; 21 (16): 6405-6412.
- [4] THAPAN K, ARENDT J, SKENE DJ: An action spectrum for melatonin suppression: evidence for a novel non-rod, non-cone photoreceptor system in humans. Journal of Physiology 2001; 535 (1): 261-267.
- [5] DACEY DM ET ALL: Melanopsin-expressing ganglion cells in primate retina signal colour and irradiance and project to the LGN. Letters to nature 2005; **433** (2): 749-754.
- [6] LERMAN S: *Radiant Energy and the eye.* Macmillan Publishing Co. Inc. New York: 1980, Fig. 3.1
- [7] SCHIERZ C: *Lighting for the elderly: physiological basics and their consequences.* In: Tagungsband-LUX EUROPA 2009. Istanbul: 2009, 147-154
- [8] GRONFIER C, WRIGHT KP, KRONAUER RE, JEWETT ME, CZEISLER CA: *Efficacy of a single sequence of intermittent bright light pulses for delaying circadian phase in humans.* American Journal of Physiology-Endocrinology and Metabolism 2004; **287** (1): E174-E181.
- [9] BAEHR EK, FOGG LF, EASTMAN CI: *Intermittent bright light and exercise to entrain human circadian rhythms to night work.* American Journal of Physiology-Regulatory Integrative and Comparative Physiology 1999; **277** (6): R1598-R1604.
- [10] RIMMER DW, BOIVIN DB, SHANAHAN TL, KRONAUER RE, DUFFY JF, CZEISLER CA: *Dynamic resetting of the human circadian pacemaker by intermittent bright light.* American Journal of Physiology-Regulatory Integrative and Comparative Physiology 2000; **279** (5): R1574-R1579.