

# Untersuchung von Lichtwirkungen am Tag - Feldstudie in Industriebetrieben

Karin Bieske, Cornelia Vandahl, Christoph Schierz, Technische Universität Ilmenau, Fachgebiet Lichttechnik PF 100 565, 98684, Ilmenau

## 1 Forschungsgegenstand

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 Industriebetriebsplätzen am Tage auf Wohlbefinden, Schlafqualität und Akzeptanz der Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter. Schwerpunkte dabei waren der Einfluss von Spektrum, Lichtverteilung und dynamischer Lichtfarbenvariationen.

## 2 Stand der Wissenschaft und Forschungshypothesen

Aus der Literatur sind folgende Fakten bekannt:

- Licht hat beim Menschen Einfluss auf wesentliche biologische Prozesse und kann die subjektiv empfundene Munterkeit steigern /1/.
- Die biologische Wirksamkeit wird bestimmt durch die Lichtmenge, die von den 2001 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 und die Dauer der Beleuchtung sowie das Alter des Menschen.
- Die spektrale Empfindlichkeit der lichtempfindlichen melanopsinhaltenen Ganglienzellen, die für die biologische Lichtwirkung verantwortlich gemacht werden, unterscheiden sich deutlich von der Empfindlichkeit der Zapfen und Stäbchen im Auge und haben eine größere Empfindlichkeit im kurzwelligen Spektralbereich /2, 3/.
- Die melanopsinhaltenen Ganglienzellen kommen nicht in der Fovea vor, sondern sind in der Peripherie der Netzhaut verteilt /4/.
- Mit zunehmendem Alter vergilbt die Linse im Auge. Dadurch ändern sich die spektralen Transmissionseigenschaften des Auges /5, 6/.
- 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 als mit statischen Reizen mit einem hohen Beleuchtungsniveau /7, 8, 9/.

Daraus leiten sich folgende Forschungshypothesen ab:

- In dunklen Industriebetrieben können höhere Beleuchtungsstärken am Auge die Aktiviertheit und das Wohlbefinden erhöhen.
- Lichtfarben mit höherer ähnlichster Farbtemperatur besitzen auch am Tage eine größere biologische Lichtwirkung als wärmere Lichtfarben bei gleicher Beleuchtungsstärke am Auge.
- Große leuchtende Flächen, die einen großen Bereich der Netzhaut ausleuchten, erzielen eine größere Wirkung als eine Beleuchtung, die nur punktuell Netzhautareale reizt.

- Der Lichtbedarf nimmt mit dem Alter zu, um die gleiche Wirkung wie in jüngeren Jahren zu erzielen.
- Eine sich im Tagesverlauf ändernde Lichtfarbe kann größere Effekte erzielen als eine konstante Lichtfarbe während des Tages.

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

### 3 Methode und Versuchsdesign

Die Untersuchung erfolgte an typische Montage- und Reparaturarbeitsplätzen in Industriebetrieben an fünf Standorten. Ausgewählt wurden Arbeitsplätze, an denen wenig Tageslicht vorhanden ist und wo die dort tätigen Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter vorwiegend in einem abgegrenzten Arbeitsplatzbereich und in Tagschichten beschäftigt sind. Unter den 41 Probanden im Alter zwischen 21 und 61 Jahren waren 18 Frauen, 20 Probanden jünger als 45 Jahre und vom Chronotyp 6 Früh-, 15 Normal und 20 Spättypen. 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 zusätzlichen 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 und verfügen über elektronische Vorschaltgeräte mit DALI-Schnittstelle. Die Abschlusscheibe ist in OLC-Microlinsenoptik für die Lichtmischung realisiert. Verwendet wurden je Leuchte zwei Lampen des Typs *Phillips Master T5 HO 827 24 W (CCT = 2700 K)* und vier Lampen des Typs *Phillips Master T5 HO Activiva Natural 24 W (CCT = 8000 K)*. Für die Leuchten können Helligkeit und Lichtfarbe definiert und zeitliche Verläufe festgelegt werden. Voruntersuchungen haben gezeigt, dass eine mittlere Leuchtdichte von  $L_{FL} = 2000 \text{ cd/m}^2$  auf der Flächenleuchte toleriert wird ohne Blendung zu verursachen. Für die Feldversuche wurden Flächenleuchten mit einer mittleren Leuchtdichte 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 wurde eine zusätzliche Flächenleuchte direkt vor dem Arbeitsplatz installiert oder zwei Leuchten seitlich zum Arbeitsplatz aufgestellt (Abbildung 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. 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 in den Leuchten verwendet.

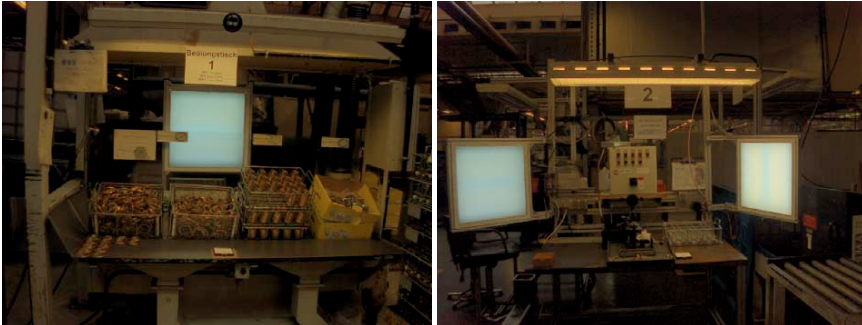


Abb. 1: Beispiele für installierte Flächenleuchten im Vorfeld und seitlich zum Arbeitsplatz

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 Tabelle 1.

### 3.2. Messtechnische Erfassung

Zur Beschreibung der Beleuchtungsverhältnisse dienten 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 für Steharbeitsplätze und 1,2 m für Sitzarbeitsplätze), die Beleuchtungsstärke  $E_{45^\circ}$  in Augenhöhe unter einem Blick von  $45^\circ$  nach unten zur Arbeitsebene, sowie 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 /8/.

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

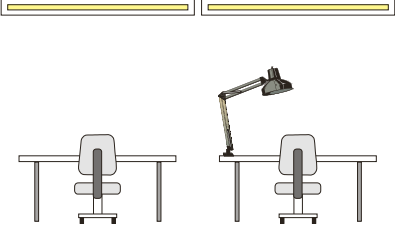
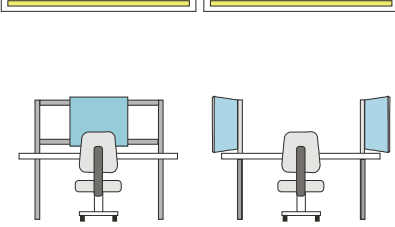
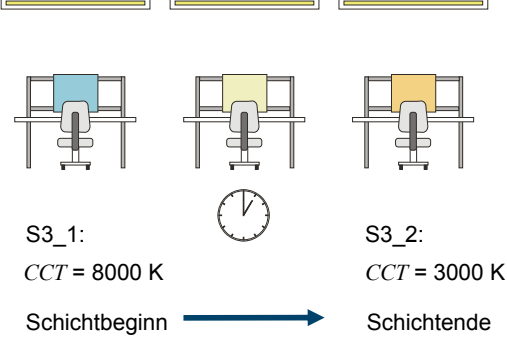
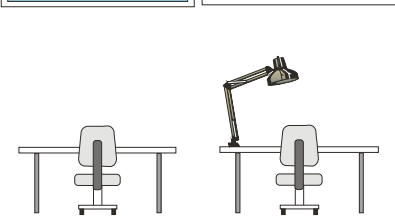
Tabelle 2 fasst die Messwerte für die einzelnen Versuchsszenarien zusammen. Es zeigt sich eine große Streuung zwischen den Arbeitsplätzen. Trotz unterschiedlicher Auslegung der Beleuchtung war die horizontale Beleuchtungsstärke  $E_h$  während allen Beleuchtungssituationen ähnlich. Durch den Einsatz 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. Auch die  $E_{45^\circ}$ -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 in Situation S1 ähnelten. Die  $E_{ms}$ -Werte für die Vertikale und unter einem Blick von  $45^\circ$  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 durchzuführen-

den 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 bewerteten die 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.

<p><b>Situation S1/ Situation S5:</b></p> <p>Ist-Situation: Allgemeinbeleuchtung oder Allgemeinbeleuchtung in Kombination mit arbeits- platzbezogener Beleuch- tung</p>	
<p><b>Situation S2:</b></p> <p>Ist-Situation mit Flächen- leuchte im Vorfeld/seitlich, Lichtfarbe: CCT = 8000 K, statisch, mittlere Leuchtdichte: <math>L_{FL} = 1500 \text{ cd/m}^2</math> (23 Fälle), <math>L_{FL} = 1000 \text{ cd/m}^2</math> (8 Fälle), <math>L_{FL} = 750 \text{ cd/m}^2</math> (10 Fälle)</p>	
<p><b>Situation S3:</b></p> <p>Ist-Situation mit Flächen- leuchte im Vorfeld/seitlich mit dynamischer Lichtfar- benvariation von CCT = 8000 K bis CCT = 3000 K im Schichtverlauf, mittlere Leuchtdichte: <math>L_{FL} = 1500 \text{ cd/m}^2</math> (23 Fälle), <math>L_{FL} = 1000 \text{ cd/m}^2</math> (8 Fälle), <math>L_{FL} = 750 \text{ cd/m}^2</math> (10 Fälle)</p>	 <p>S3_1: CCT = 8000 K</p> <p>S3_2: CCT = 3000 K</p> <p>Schichtbeginn → Schichtende</p>
<p><b>Situation S4:</b></p> <p>Ist-Situation mit veränderter Lichtfarbe höherer ähnlicher Farbtemperatur: CCT = 8000 K (Lampenwechsel in besteh- ende Beleuchtungsanlage)</p>	

Tab. 1: Überblick über die untersuchten Beleuchtungssituationen

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
$E_{45^\circ}$ 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 <sup>2</sup>	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 <sup>2</sup>	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 <sup>2</sup>	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

Tab. 2: Messdaten (Mittelwert +/- 1 Standardabweichung) für die einzelnen Situationen (S3\_1: Schichtbeginn/ S3\_2: Schichtende, bei veränderte Lichtfarbe während der Schicht in S3)

#### 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

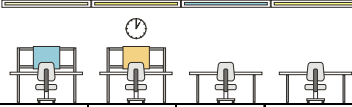
Tab. 3: Inhaltliche Schwerpunkte der Fragebögen

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 längeren Aufenthalt in 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 statistische Auswertung der Fragebögen ist in Tab. 4 zusammenfassend dargestellt.



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 ( $p \leq 0,05$ )

Tab. 4: Ergebnisse der Befragung - Vergleich zur Ausgangssituation S1

In 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 wurden 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 (≥ 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.

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 Versuchssituation S4 (Lampen mit hoher Farbtemperatur) am häufigsten (20 Nennungen) und die Ausgangssituation S1 oft (11 Nennungen) genannt. Die Lichtsituation S4 würden die Probanden auch für ihre Arbeitssituation bevorzugen (20 Nennungen) oder die Ausgangssituation beibehalten (10 Nennungen). Weniger Akzeptanz fanden die zusätzlichen Flächenleuchten (jeweils ≤4 Nennungen).

## **5 Zusammenfassung und Schlussfolgerungen**

In der Untersuchung zeigten sich z.T. positive Effekte durch die unterschiedlichen Beleuchtungsszenarien am Tage auf Wohlbefinden, Schlafqualität und Akzeptanz. Die erwarteten altersabhängigen Lichtbedürfnisse konnten mit der Studie nicht nachgewiesen werden. 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 Fernernähe 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 Beleuchtungsverhält-

nisse 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 und Frühjahr. Damit ist es schwierig, aus den Ergebnissen der Studie konkrete Vorgaben abzuleiten. Zur Klärung sind weiter Untersuchungen erforderlich. Die Untersuchungsergebnisse sprechen jedoch nicht gegen einen Einsatz von Lampen mit hoher ähnlchster 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/ 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.
- /2/ 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.
- /3/ 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.
- /4/ 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.
- /5/ LERMAN S: *Radiant Energy and the eye*. Macmillan Publishing Co. Inc. New York: 1980, Fig. 3.1
- /6/ SCHIERZ C: *Lighting for the elderly: physiological basics and their consequences*. In: Tagungsband-LUX EUROPA 2009. Istanbul: 2009, 147-154
- /7/ 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.
- /8/ 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.
- /9/ RIMMER DW, BOVIN 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.