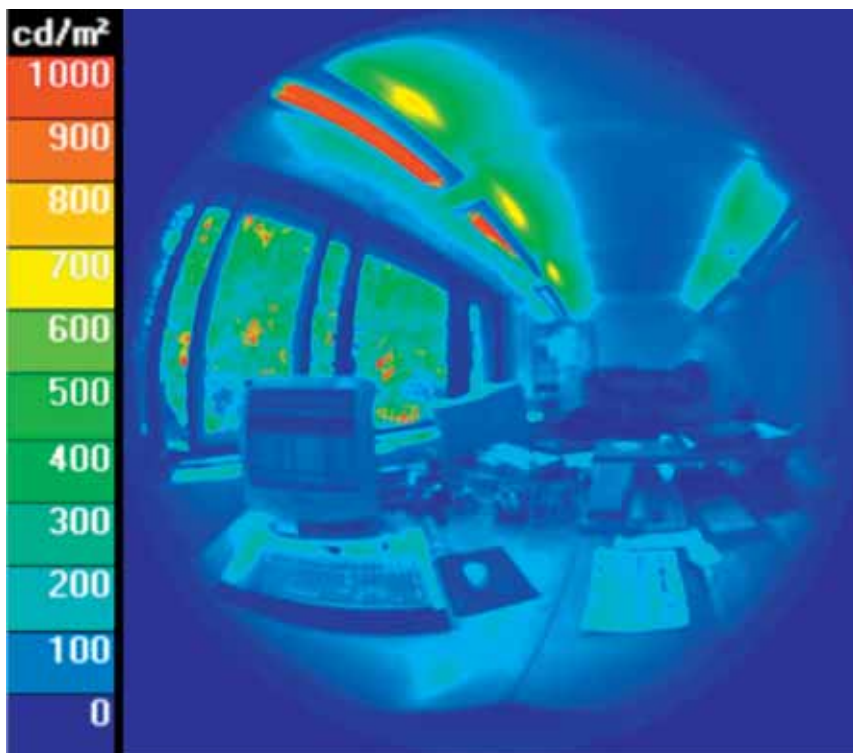


Warum Tageslicht auch störend sein kann

Tageslicht hat durch den Wechsel von Lichtfarbe, -stimmung und -intensität eine positive Wirkung auf den Menschen. Besonders an Bildschirmarbeitsplätzen führen aber helle Fensterflächen häufig zu Blendung. Eine aktuelle Feldstudie untersuchte nun die Zusammenhänge zwischen empfundener Blendung und gemessener Leuchtdichte.

Cornelia Moosmann



Beispiel eines Leuchtdichtebildes in Falschfarbendarstellung

Fenster werden von den meisten Menschen geschätzt: Sie sind Tageslichtquelle und bieten Sichtkontakt nach außen. Diese positive Bewertung von Fenstern und Tageslicht ist ein Argument für möglichst viel Tageslicht in Büroräumen.

Führt es aber zu Blendung, etwa bei der Bildschirmarbeit, kehrt sich

dieser Vorteil rasch ins Gegenteil um.

Zu Blendung durch Kunstlicht wurden zahlreiche Untersuchungen durchgeführt, die auch zu entsprechenden Bestimmungen geführt haben. In Sachen Tageslicht gibt es bislang nur sehr wenige Untersuchungen – und dabei handelt es sich fast ausschließlich um Laboruntersuchun-

gen, die nicht uneingeschränkt auf den Alltag übertragbar sind.

Dieser Mangel an gesicherten Erkenntnissen hat zur Folge, dass derzeit kein geeignetes Verfahren zur Bewertung von Blendung durch Tageslicht zur Verfügung steht. Die DIN-EN 12464-1, die im März 2003 in Kraft getreten ist, hat dies noch einmal verdeutlicht.

Für den Planer stellt sich die Frage, welchen Richtlinien er folgen kann, um Blendung zu verhindern.

Ziel dieser Studie war daher die Prüfung, ob statistische Zusammenhänge zwischen den aus objektiv gemessenen Leuchtdichteverhältnissen ermittelten Werten und der abgefragten, subjektiven Nutzerakzeptanz vorhanden sind. Dabei sollte auch die praktische Relevanz der Faktoren aus den Laboruntersuchungen geprüft werden.

Grundlagen

Die Beleuchtungsstärke, für die in den entsprechenden Normen Mindestwerte festgelegt sind, ist das Maß für die auf eine Fläche auftretende Lichtstromdichte. Je nachdem, ob diese Fläche weiß (stark reflektierend) oder schwarz ist (wenig reflektierend), kann die gleiche Beleuchtungsstärke zu unterschiedlich hellen

Räumen führen. Die Beleuchtungsstärke kann vom Auge nicht direkt wahrgenommen werden. Die Einheit ist Lux (lx).

Die Leuchtdichte – angegeben in Candela pro Quadratmeter (cd/m^2) – beschreibt den Helligkeitseindruck, den eine Lichtquelle oder eine reflektierende Fläche im menschlichen Auge hervorruft und ist die einzige „sichtbare“ lichttechnische Größe. Sie hängt vom Beobachterstandort ab. Blendung wird verursacht von Leuchtdichten, die deutlich über dem Adaptionsniveau des Auges liegen.

Seit Anfang des zwanzigsten Jahrhunderts wurden in mehreren europäischen Ländern und in den USA Untersuchungen zur Blendung durch Kunstlicht durchgeführt.

Die Formeln, die aus diesen Untersuchungen entstanden sind, gleichen folgender „allgemeinen Blendungsformel“ und basieren auf den selben Einflussgrößen.

Das UGR-Verfahren, das 1995 von der CIE vorgestellt und mittlerweile in die europäische Norm 12464 „Beleuchtung von Arbeitsstätten“ übernommen wurde, entspricht ebenfalls dieser Formel.

Auch der Daylight Glare Index DGI, der die am breitesten anerkannte Formel zur Vorhersage von Blendung durch Tageslicht darstellt, basiert auf den selben Größen. Er wurde in den sechziger Jahren des zwanzigsten Jahrhunderts unter Verwendung einer künstlichen Lichtquelle im Labor entwickelt.

Erst seit wenigen Jahren können Leuchtdichtesituationen mittels einer entsprechend ausgerüsteten Digitalkamera in einem bildgebenden Verfahren erfasst werden. Dadurch sind Felduntersuchungen möglich, die mit



herkömmlicher Technik schon aus Gründen des Messaufwandes kaum realisierbar waren.

Herkömmliche Messgeräte geben lediglich die mittlere Leuchtdichte an, die ein Sensor „sieht“. Im Gegensatz dazu enthält ein Leuchtdichtebild sehr viel mehr Informationen: Auch der Raumwinkel einer Blendquelle und die Verteilung der Leuchtdichten innerhalb der Blendquelle sind enthalten und ermöglichen beispielsweise

die Untersuchung der Einflüsse von Maximalwerten.

Methode

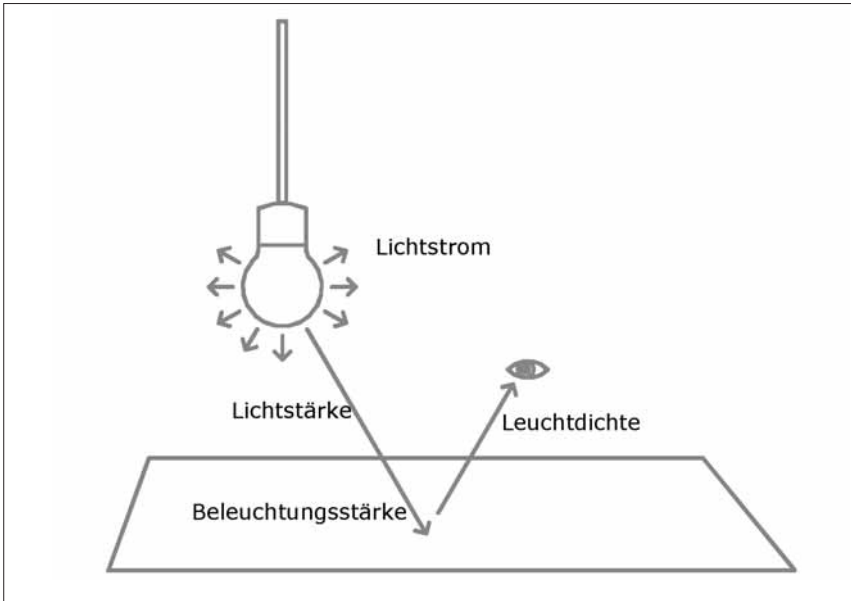
Im Gegensatz zu den bekannten Laboruntersuchungen beschäftigt sich diese Untersuchung mit der Bewertung von Leuchtdichten am Bildschirmarbeitsplatz unter alltäglichen Bedingungen. Im April und Mai 2003 wurden zur Ermittlung des Zusam-

$$G \sim \frac{L_s^m * \Omega^n}{L_b * P^m}$$

mit	G	Blendungsgrad
	L_s	Blendquellenleuchtdichte [cd/m^2]
	L_b	Hintergrundleuchtdichte [cd/m^2]
	Ω	Raumwinkel, unter dem die Blendquelle gesehen wird [sr]
	P	Positionsindex nach Guth [$1 < P < 16.2$]
	m, n	Konstanten ($1.5 < m < 2.3$; $0.5 < n < 0.8$)

$$DGI = 10 * \lg \sum 0,48 * \frac{L_s^{1,6} * \Omega^{0,8}}{L_b + 0,07 \omega^{0,5} * L_s}$$

mit	DGI	Blendungsgrad durch Tageslicht
	L_s	Blendquellenleuchtdichte [cd/m^2]
	L_b	Hintergrundleuchtdichte [cd/m^2]
	Ω	Raumwinkel, unter dem das Fenster gesehen wird [sr]
	ω	Raumwinkel, der vom Fenster eingenommen wird [sr]



Zusammenhang zwischen Beleuchtungsstärke und Leuchtdichte (nach Pistohl)

menhangs zwischen Nutzerbewertung und Leuchtdichteverhältnissen 255 Mitarbeiter der DB Netz AG in Karlsruhe an ihrem Arbeitsplatz befragt.

204 (80 Prozent) der Befragten sind Männer, 51 (20 Prozent) sind Frauen. 162 (79 Prozent) der befragten Männer sind über 40 Jahre alt. Die Altersstruktur der befragten Frauen ist deutlich anders – nur 25 (49 Prozent) sind über 40 Jahre alt.

77 (30 Prozent) Befragte arbeiteten in einem Büro mit Nordfenster. Diese Fenster werden durch große Platanen

verschattet, die zum Zeitpunkt der Befragung bereits stark belaubt waren. 47 (18 Prozent) Probanden arbeiteten in Büros, die südorientiert sind, 131 (51 Prozent) in ost- oder westorientierten Büros.

Hier sind nach Aussage der Nutzer die Blendungsprobleme durch direktes Sonnenlicht, das durch die Jalousien-Zwischenräume in den Arbeitsraum fällt, besonders groß. In Büros mit Fenstern zu einem der drei „Höfe“ kann es außerdem zu Blendung kommen, wenn Sonnenlicht von den metallbekleideten Fassaden oder an den

Jalousien eines anderen Gebäudeteils reflektiert wird.

Die Befragung fand während der normalen Büroarbeitszeit statt, die Probanden wurden in ihrer Arbeit unterbrochen. Beurteilung und Messung bezogen sich auf die Lichtsituation, wie sie zu Beginn der Befragung vorgefunden wurde.

Da die Probanden zum Zeitpunkt der Befragung im Durchschnitt bereits über vier Stunden an ihrem Arbeitsplatz gearbeitet hatten, kann man davon ausgehen, dass sie die Belichtung mit Hilfe von Kunstlicht und Jalousien bereits den jeweiligen Bedürfnissen entsprechend geregelt hatten. Es ist damit zu rechnen, dass die Lichtverhältnisse in den Büroräumen, die von mehreren Personen genutzt werden, auf einem Kompromiss basieren und nicht den Bedürfnissen jedes Einzelnen entsprechen.

Möglicherweise passen nicht alle Mitarbeiter die Jalousien und das Kunstlicht dem sich ändernden Tageslicht an, sodass die aktuellen Lichtverhältnisse im Raum zwar nicht genau ihren Bedürfnissen, aber den normalen Arbeitsbedingungen entsprechen.

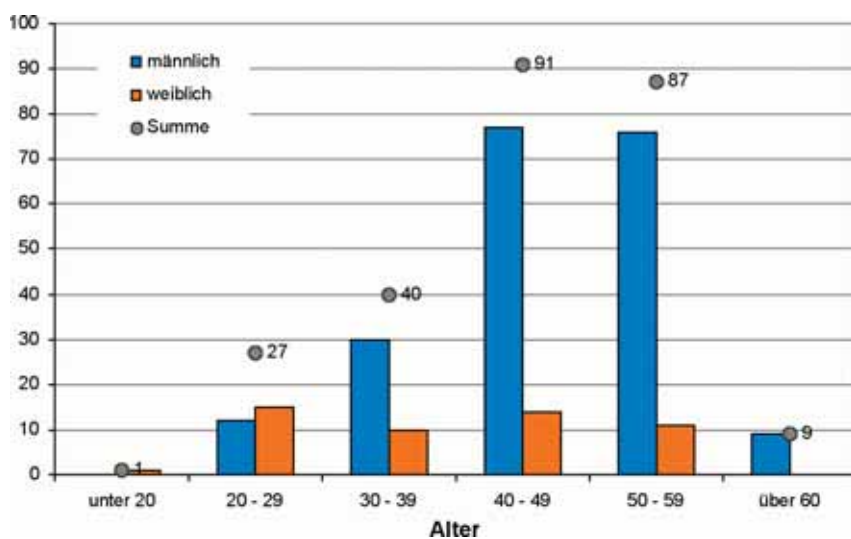
Der Fragebogen beinhaltete eine Stressmessung (KAB-Test), die Beurteilung verschiedener Aspekte der Lichtsituation sowie objektive Umgebungsfaktoren. Die Leuchtdichtesituation wurde mit einer durch die TechnoTeam GmbH modifizierten Digitalkamera Rollei-d30-flex erfasst.

Ergänzend wurden die horizontale und die zylindrische Beleuchtungsstärke gemessen.

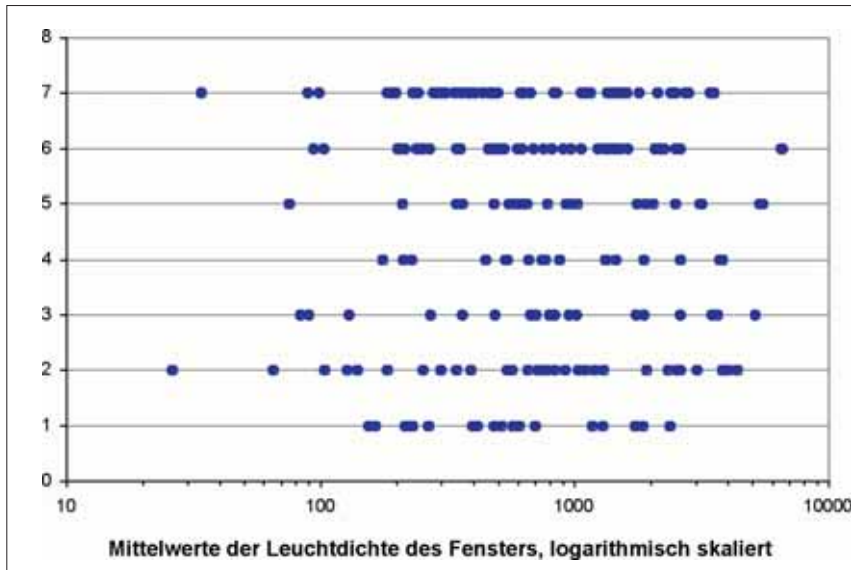
Anschließend wurde mit dem Chi²-Test, einem deskriptiv-statistischen Verfahren, untersucht, inwieweit Zusammenhänge zwischen Leuchtdichteverhältnissen und Bewertung der Blendung durch die Probanden bestehen.

Ergebnisse

An dieser Stelle kann nur eine Auswahl der interessantesten Ergebnisse vorgestellt werden: Das Verhältnis zwi-



Alter und Geschlecht der Probanden



Blendung durch Tageslicht und Mittelwerte der Fensterleuchtdichte

schon gemessener Leuchtdichte und empfundener Blendung und die Auswirkung der Monitorqualität auf die empfundene Blendung sowie die Bewertung des Ausblicks in Abhängigkeit von störenden Bäumen oder Gebäudeteilen.

Zwischen subjektiv empfundener Blendung und gemessener Leuchtdichte ergab sich kein signifikanter Zusammenhang. Die Bewertung, ein Fenster blende nicht, wurde bei mittleren Fensterleuchtdichten von 34 bis 6.528 cd/m² abgegeben. Andererseits wurden aber Mittelwerte der Fensterleuchtdichte zwischen 26 und 5.126 cd/m² als blendend eingestuft. Der größte gemessene Mittelwert der Fensterleuchtdichte wurde also als nicht blendend bewertet.

Kein Faktor der bekannten Blen-

dungsformeln, weder das Verhältnis zur Hintergrundleuchtdichte noch zu Position oder Größe der Blendquelle, erklärt diese Bewertung. Es muss angenommen werden, dass am Arbeitsplatz weit mehr Faktoren auf die Beurteilung der Blendung einwirken als nur lichttechnische Größen.

Auch zwischen dem Alter der Probanden und der Bewertung von Leuchtdichten zeigt sich nicht der aus Laboruntersuchungen bekannte Zusammenhang.

Die Helligkeit im Raum, das Kunstlicht, der Arbeitsplatz und die Belichtung mit Tageslicht wurden überwiegend positiv beurteilt. Die Helligkeit des Arbeitsplatzes erhielt dabei die besten Bewertungen, das Tageslicht die

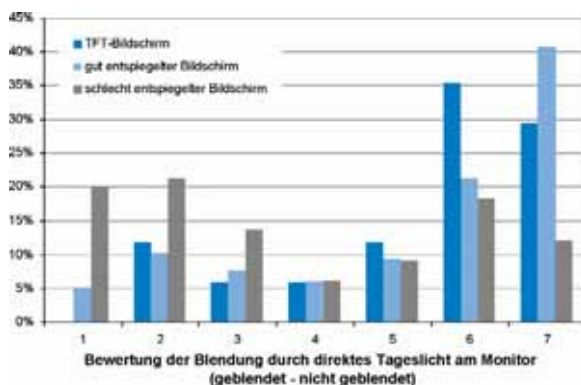
schlechtesten.

Dieses Ergebnis ist plausibel – alle Befragten hatten Gelegenheit, die Belichtungsverhältnisse im Rahmen der baulichen Gegebenheiten optimal an ihre Bedürfnisse anzupassen. Wenn viele Befragte den Raum als zu dunkel bewertet hätten, hätte sich die Frage gestellt, warum die Jalousien nicht weiter geöffnet oder das Kunstlicht angeschaltet wurde.

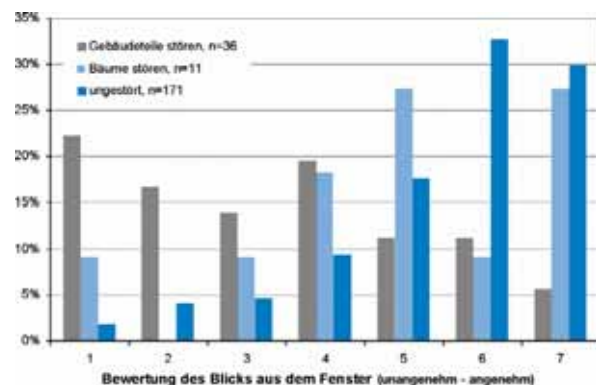
Die Bewertung der Blendung am Monitor entspricht den Erwartungen: Personen, die ihren Monitor als gut entspiegelt einstufen oder an einem TFT-Bildschirm arbeiten, bewerten die Blendung am Monitor signifikant positiver als Personen, die ihren Monitor als schlecht entspiegelt einstufen.

Der persönliche Arbeitsraum wurde mit einem Mittelwert von 5,26 beurteilt (1 – „unangenehm“ bis 7 – „angenehm“). Das bedeutet, dass der Raum überwiegend als recht angenehm beurteilt wird. Mitarbeiter, die ihren Raum mit Pflanzen, Bildern oder persönlichen Gegenständen gestaltet haben, sind nicht signifikant zufriedener mit dem Raum, in dem sie arbeiten, als andere Mitarbeiter.

Bei der Bewertung des Ausblicks zeigt sich eine stark unterschiedliche Bewertung von Bäumen und Gebäuden beziehungsweise Gebäudeteilen. Während 95 Prozent der Personen, die auf Gebäude oder Gebäudeteile blicken, sich dadurch gestört fühlen und ihren Ausblick überwiegend als unangenehm bewerten, fühlen sich nur 14 Prozent der Personen mit Blick in stark belaubte Bäume durch diese ge-



Bewertung der Blendung am Monitor, abhängig von der Monitorqualität



Bewertung des Ausblicks in Abhängigkeit von störenden Bäumen oder Gebäudeteilen

stört, und nur zwei Personen (18 Prozent) bewerten ihren Ausblick negativ.

Trotz der wahrgenommenen Blendung schätzen die meisten Probanden Tageslicht und Fenster: Auf die Frage, ob sie sich vorstellen könnten, ständig in einem fensterlosen Raum zu arbeiten, antworteten elf Personen (fünf Prozent) mit „ja“. Für die anderen 244 Personen (95 Prozent) wäre ein Arbeitsplatz ohne Fenster nicht denkbar. Gründe dafür sind vor allem der Wunsch nach Tageslicht zur Belichtung des Raumes, der Außenbezug, den das Fenster bietet und der Kontakt zu Tageszeit, Jahreszeit und Wetter.

In einem Raum ohne Fenster würden sich die Befragten nach eigener Aussage „eingesperrt“, „beengt“ oder „beklommen“ fühlen.

Fazit

Die erwartete hohe Wertschätzung von Tageslicht und Fenstern wurde in dieser Befragung durch die Mehrheit bestätigt: 95 Prozent möchten nicht in einem fensterlosen Raum arbeiten, und als Grund dafür wird von 142 Personen das fehlende Tageslicht genannt.

Mit der Lichtsituation, die während der Befragung herrschte, waren die Probanden im Durchschnitt weder zufrieden noch unzufrieden. Belichtung mit Tageslicht erreicht im Durchschnitt eine Bewertung von 4,79 (1

„sehr schlecht“ – 7 „sehr gut“). Die gleiche Bewertung erfährt die „Blendung durch Tageslicht“, deren Mittelwert bei 4,65 liegt (1 „blendet mich“ – 7 „blendet mich nicht“). Hier zeigt sich neben der positiven Einstellung zu Tageslicht und Fenstern die damit einhergehende Blendung.

Im Gegensatz zu den Ergebnissen aus Laborversuchen konnte in dieser Untersuchung kein statistischer Zusammenhang zwischen Leuchtdichte und Blendungsbewertung nachgewiesen werden. Der Einfluss der gebräuchlichen Blendungsfaktoren ist durch den Einfluss von Umgebungsbedingungen nicht mehr erkennbar. Das bedeutet, dass die Blendungsformeln, die im Labor entwickelt wurden, nicht auf den Alltag übertragbar sind.

Die Resultate dieser Arbeit deuten darauf hin, dass Blendung nur schwer oder sogar gar nicht vorhergesagt werden kann, da das subjektive Empfinden von Blendung stark variiert und möglicherweise von nicht kalkulierbaren äußeren Einflüssen abhängt. Diese Studie zeigt weiters, dass Blendung auch durch Einhaltung eines Leuchtdichtegrenzwertes, der Tageslichtnutzung in sinnvollem Umfang zulässt, nicht verhindert werden könnte.

Die untersuchten Zusammenhänge deuten weiters darauf hin, dass nur ein sehr flexibles System, welches vom Nutzer steuerbar ist und den

Durchblick wenig behindert, Blendsituationen verhindern kann, ohne die positiven Eigenschaften des Fensters zu beeinträchtigen.

Download der Studie als pdf-Datei unter:

www.fbta.uni-karlsruhe.de

Dipl.-Ing. Cornelia Moosmann

Universität Karlsruhe (TH)

Englerstraße 7, 76128 Karlsruhe

Deutschland

Tel.: (+49 721) 608 6828

E-Mail: conny.moosmann@fbta.uni-karlsruhe.de

fbta.uni-karlsruhe.de

LITERATUR

Chauvel, P.; Collins, J.; Dogniaux, R. & Longmore, J. 1982, Glare from windows: current views of the problem, *Lighting Research and Technology* 14(1), 31-47

DIN 5035 Teil 6:1990-12, Beleuchtung mit künstlichem Licht. Messung und Bewertung.

DIN EN 12464 Teil 1:2003-03, Beleuchtung von Arbeitsstätten. Arbeitsstätten in Innenräumen.

Müller, B. & Basler, H. 1992, Kurzfragebogen zur aktuellen Beanspruchung (KAB). Weinheim: Beltz Test

Pistohl W. (1997), *Handbuch der Gebäudetechnik*. Band 1. Düsseldorf: Werner

Wehmeyer, K. 1985, *Objektive Messungen zur Physiologischen Blendung*. Dissertation. München

ZUSAMMENFASSUNG

Zur Beurteilung des Zusammenhangs zwischen objektiven Leuchtdichteverhältnissen und subjektiver Nutzerbewertung wurden 255 Personen an ihrem Arbeitsplatz befragt und die aktuelle Lichtsituation messtechnisch erfasst. Dabei ergab sich kein signifikanter Zusammenhang zwischen empfundener Blendung und gemessener Leuchtdichte. Auch zwischen anderen in Laboruntersuchungen ermittelten Faktoren und der Nutzerbewertung konnte kein Zusammenhang gefunden werden.

SUMMARY

For the evaluation of the connection between objective luminance ratios and subjective user assessments, 255 persons were interviewed on their job and the current light situation was measured.

No significant connection between felt glare and measured brilliance resulted.

No connection could also be found between other factors determined in laboratory tests and the user evaluation.

RÉSUMÉ

Pour l'évaluation du rapport entre la luminance objective et l'évaluation subjective de l'utilisateur, 255 personnes ont été questionnées à leur lieu de travail et la situation de lumière actuelle a été mesurée.

Aucun rapport significatif entre un éblouissement senti et la luminance mesurée n'est ressorti. Aucun rapport ne pouvait être trouvé entre d'autres facteurs déterminés dans les épreuves de laboratoire et l'évaluation de l'utilisateur.