

## NIR 2011 Tagungsbericht

# Gefährdungsermittlung bei Beleuchtung: LUX-Grenzwerte für UV- und sichtbare Strahlung

Karl Schulmeister, Alfred Buberl, Marko Weber, Georg Veas, Helmut Brusl und Emmerich Kitz

Bitte melden Sie sich für unseren **Laser, LED & Lampen-Sicherheit NEWSLETTER**  
(ca. 4 mal pro Jahr) an, um Infos über neue Downloads zu erhalten:  
<http://laser-led-lamp-safety.seibersdorf-laboratories.at/newsletter>

Diese Veröffentlichung wird als PDF-Datei von der Seibersdorf Labor GmbH mit der Erlaubnis der TÜV Media GmbH zur Verfügung gestellt.

Die Weitergabe an Dritte ist nicht gestattet.

Diese PDF-Datei kann von <http://laser-led-lamp-safety.seibersdorf-laboratories.at> heruntergeladen werden.

### Quelleninformation

Titel: *Gefährdungsermittlung bei Beleuchtung: LUX-Grenzwerte für UV- und sichtbare Strahlung*

Autoren: *Schulmeister K, Buberl A, Weber M, Veas G, Brusl H, Kitz E*

Tagungsbericht NIR 2011, Herausgeber: Hans-Dieter Reidenbach, Klaus Dollinger, Günter Ott  
TÜV-Verlag GmbH, Köln, 2011  
Seiten 551-572

# GEFÄHRDUNGSERMITTLUNG BEI BELEUCHTUNG: LUX-GRENZWERTE FÜR UV- UND SICHTBARE STRAHLUNG

## HAZARD ASSESSMENT FOR LIGHTING: LUX-EXPOSURE LIMITS FOR UV- AND VISIBLE RADIATION

Karl Schulmeister<sup>1</sup>, Alfred Buberl<sup>1</sup>, Marko Weber<sup>1</sup>, Georg Veess<sup>1</sup>, Helmut Brusl<sup>2</sup>, Emmerich Kitz<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Prüfstelle für Laser, LED & Lampensicherheit, Seibersdorf Labor GmbH, Österreich

<sup>2</sup>Allgemeine Unfallversicherungsanstalt (AUVA), Wien, Österreich

**Zusammenfassung** — Beleuchtung muss auf Basis der nationalen Umsetzungen der EU-Richtlinie künstliche optische Strahlung (in Österreich: VOPST, in Deutschland: OStrV) einer Gefährdungsermittlung und -beurteilung (Evaluierung) zugeführt werden, um sicherzustellen, dass die Expositionsgrenzwerte für Auge und Haut nicht überschritten werden. In der Praxis würde eine messtechnische Erfassung der Exposition der betroffenen Arbeitsplätze einen immensen Aufwand darstellen. Im Rahmen eines AUVA Forschungsprojektes wurden mehr als 100 Lampen im UV- und sichtbaren Wellenlängenbereich vermessen. Das Verhältnis von UV-Strahlung zu sichtbarem Licht lässt den Schluss zu, dass durch Beleuchtung die UV-Grenzwerte der VOPST im Normalfall nicht überschritten werden. Auf Basis dieser Arbeit kann eine Evaluierung (Gefährdungsbeurteilung) stark vereinfacht durchgeführt werden. Es können weiters Umrechnungsfaktoren angegeben werden, mit denen die Exposition bezüglich UV-S( $\lambda$ ), UV-A, photochemisch Netzhaut und thermisch Netzhaut mit Luxmetern bestimmt werden kann.

**Summary** – Just as any other source of optical radiation, lighting has to be analysed based on the requirements of the European Directive on artificial optical radiation (in Austria: VOPST, in Germany: OStrV) to ensure that the exposure limits for the eye and skin are not exceeded. In practice, measurement of the exposure level would constitute an effort that is difficult to justify. In the framework of an AUVA research project we have measured over 100 different lamps in the UV and visible spectral range. The ratio between UV-Emission and visible light allows the conclusion that the UV-exposure limits are not exceeded for nominal lighting situations. Based on this work, a hazard analysis can be greatly simplified. Additionally, scaling factors could be derived with which effective exposure levels for UV-S( $\lambda$ ), UV-A, photochemical retinal and thermal retinal can be determined with a luxmeter.

**Schlüsselwörter** — Richtlinie künstliche optische Strahlung, VOPST, OStrV, Ultraviolettstrahlung, Beleuchtung, Lampen, Expositionsgrenzwerte, Auge, Haut

**Keywords** — Directive artificial optical radiation, ultraviolet radiation, lighting, lamps, exposure limits, eye, skin

### 1. Einleitung

Im Jahre 2010 erfolgte in den Mitgliedsländern der Europäischen Union die Umsetzung der Richtlinie für künstliche optische Strahlung 2006/25/EG in nationales Recht. In Österreich führte dies zur Verordnung optische Strahlung (VOPST) [1] als Verordnung zum

ArbeitnehmerInnenschutzgesetz, in Deutschland zur Arbeitsschutzverordnung zu künstlicher optischer Strahlung – OStrV [2].

Prinzipiell (auf Basis des ArbeitnehmerInnenschutzgesetzes in Österreich, und des Arbeitsschutzgesetzes in Deutschland) ist jeder Arbeitsplatz einer Gefährdungsbeurteilung zuzuführen, um festzustellen, ob Schutzziele verletzt werden und Schutzmaßnahmen notwendig sind. In Österreich wird häufig der Begriff „Evaluierung“ verwendet, was die Ermittlung der Gefährdung, die Bewertung, und das Festlegen von Schutzmaßnahmen einschließt (siehe z.B. [www.eval.at](http://www.eval.at)).

Für Exposition durch optische Breitbandstrahlung sind der VOPST entsprechende Expositionsgrenzwerte festgelegt, bei deren Überschreitung man von einer Gefährdung der Arbeitnehmer ausgehen muss (die Grenzwerte der VOPST sind ident mit den Grenzwerten der EU Richtlinien, und damit auch ident mit den Expositionsgrenzwerten die in Deutschland gelten). Da es keine offiziellen Ausnahmen für triviale Quellen von optischer Strahlung gibt, ist prinzipiell jedwede Exposition durch optische Strahlung mit den Expositionsgrenzwerten der VOPST zu vergleichen. Eine messtechnische Bestimmung der Exposition (die entsprechend aufwändig ist), ist jedoch nur notwendig, wenn eine Bewertung nicht auf Basis von Normen (z.B. Risikogruppen laut EN 62471 [3]) und Empfehlungen (§ 4 (1)), wissenschaftlich untermauerten Leitlinien (2) oder Angaben der Hersteller (3) möglich ist. Bezüglich der deutschen OStrV wird auf §3 verwiesen, wo angeführt wird „Der Arbeitgeber kann sich die notwendigen Information [zur Beurteilung einer Grenzwertüberschreitung] beim Hersteller [...] oder mit Hilfe anderer ohne Weiteres zugänglicher Quellen beschaffen. Es ist also wichtig festzuhalten, dass sowohl laut OStrV wie auch laut VOPST in erster Linie Informationen der Hersteller und sonstiger Quellen herangezogen werden sollen, um zu beurteilen, ob die Expositionsgrenzwerte überschritten werden können, und erst wenn keine sonstige Basis für eine Aussage zur Beurteilung bezüglich Grenzwertüberschreitung identifiziert werden kann, sind Messungen durchzuführen; dies ist auch im Sinne einer Minimierung des Aufwandes für den Arbeitgeber und damit der Wirtschaft wichtig.

Bezüglich Beleuchtung kann man aufgrund der Notwendigkeit einer Verhinderung der Blendung (was auch dezidiertes Schutzziel des ArbeitnehmerInnenschutzes ist) sowie der Art der Quellen davon ausgehen, dass in normal üblichen Bestrahlungsabständen keine Überschreitung der Grenzwerte für die Netzhaut oder des Infrarot-Grenzwertes stattfindet (siehe dazu auch den Artikel in diesem Tagungsband [4]). Dies wird auch im Leitfaden des österreichischen Arbeitsinspektorates „Künstliche optische Strahlung – Evaluierung der biologischen Gefahren von Lampen und Lasern“ [5] so dargelegt:

### **Allgemeingebrauchslampen**

sind Lampen, die dafür gedacht sind, Orte zu beleuchten, an denen sich Leute aufhalten oder die von Leuten betrachtet werden, z.B. Lampen zur Beleuchtung von Büros, Schulen, Fabriken, Straßen.

Sie stellen im Allgemeinen bei bestimmungsgemäßer Verwendung keine Gefahr dar hinsichtlich ihres sichtbaren und Infrarot-Strahlungsanteils. Weisen sie einen UV-Strahlungsanteil auf, kann eine Gefahr nicht generell ausgeschlossen werden. Daher Klärung erforderlich, z.B. mit Hersteller/innen.

Prinzipiell wäre es zwar möglich, die offene Frage der UV-Exposition durch Informationen durch den Hersteller zu beantworten (z.B. durch die Risikogruppe laut EN 62471), jedoch ist diese Information derzeit nicht allgemein zugänglich. Selbst wenn die Information für jedes Produkt zugänglich wäre, wäre alleine schon der Aufwand der Feststellung des Lampentyps für jede am Arbeitsplatz verwendete Lampe (teilweise in Leuchte eingebaut) immens.

Im Rahmen des hier beschriebenen AUVA-Projektes [6] wurden für 110 verschiedene, aktuell am Markt befindliche Lampen die Einhaltung der Grenzwerte bezüglich ultravioletter Strahlung in relevanten Abständen untersucht. Zusätzlich wurden die Reflexions- und Transmissionseigenschaften von Leuchtenmaterialien untersucht und Lampen auch bei zerbrochenen Außenkolben vermessen. Diese Daten erlauben Schlussfolgerungen für eine möglichst einfache Evaluierung am Arbeitsplatz. Nicht im Rahmen dieses Projektes untersucht werden spezielle Beleuchtungsquellen wie Bühnenscheinwerfer oder Quellen, die nicht für Beleuchtung verwendet werden, wie z.B. Datenprojektoren („Beamer“). Diese wurden in einem eigenen AUVA Projekt untersucht (VIS-IR, AUVA Report Nr. 52 [7]).

## **2. Referenzierung der UV-Exposition auf sichtbares Licht**

Eine Messung der UV-Expositionsniveaus im Labor hat prinzipiell die Schwierigkeit, dass dies nur in bestimmten Abständen zu den Lampen erfolgen kann, die dann möglicherweise nicht mit den Abständen am Arbeitsplatz übereinstimmen, und es lässt sich auch die Bestrahlung durch mehrere Quellen schwer beurteilen. Bei Lampen für Beleuchtungszwecke hat man jedoch den Vorteil, dass der übliche Expositionsbereich durch vorgegebene Soll-Beleuchtungsstärkewerte charakterisiert ist. Ist das Verhältnis von UV-Emission zu sichtbarem Licht (gemessen als Beleuchtungsstärke in der Einheit Lux) bekannt, kann man aufgrund der vorhandenen Beleuchtungsstärke auf die UV Exposition rückschließen.

### **2.1 Beleuchtungsstärke am Arbeitsplatz**

Die minimalen Beleuchtungsstärkewerte am Arbeitsplatz sind durch die europäische Norm EN 12464-1, die als Stand der Technik anzusehen ist, vorgegeben. In Deutschland ist auch noch die BG Regel BGR 131 „Arbeitsplätze mit künstlicher Beleuchtung und Sicherheitsleitsysteme“ relevant. Für die Beleuchtung am Arbeitsplatz sind je nach Tätigkeit und visueller Anforderung bestimmte Mindestbeleuchtungsstärken vorgegeben. Diese Mindestbeleuchtungsstärken können natürlich überschritten werden, jedoch wird eine deutliche Überschreitung einerseits aus Energiespargründen vermieden werden, andererseits auch aus Gründen der Ergonomie zur Vermeidung einer Blendung. Die Wartungswerte aus EN 12464-1 sind in BGR 131-2 mit den Werten aus BGR 131 gegenübergestellt. Für Arbeitsbereiche bei denen keine hohen visuellen Anforderungen gestellt werden, ist in BGR 131-1 im Arbeitsbereich ein Wartungswert von 300 lx vorgesehen (laut EN 12464-1 für industrielle Roh-Fertigung 200 lx, für Feinfertigung 500 lx), in Bereichen wo man sich nur kurzfristig aufhält, wie z.B. Lager, 200 lx. Für Stiegen ist in EN 12464-1 ein minimaler Wert von 100 lx vorgesehen, für Kantinen und Pausenräume 200 lx. Für Büroarbeit, Laborarbeit und ähnliche Tätigkeiten ist eine Beleuchtungsstärke von 500 lx im Arbeitsbereich als Wartungswert (minimale Beleuchtungsstärke) vorgegeben, auf der Teilfläche für spezielle Tätigkeiten (wie z.B. Präzisionsarbeiten) sind höhere Wartungswerte gefordert, z.B. 750 lx oder 1500 lx (die dann auch den Wartungswerten laut EN 12464-1 entsprechen). Außerhalb des Arbeitsbereichs sind auch für diese speziellen Tätigkeiten nur Beleuchtungsstärken von 300 lx gefordert.

Relevant ist die Unterscheidung zwischen Allgemeinbeleuchtung, also die allgemeine Raumbeleuchtung, die bei weniger kritischen Arbeiten 300 lux betragen wird, und in Büroräumen an den Tischen eine Soll-Beleuchtungsstärke von 500 lux ergeben sollte, von Beleuchtungssituationen für spezielle Tätigkeiten, die lokal eine höhere Beleuchtungsstärke erfordern. Solche über 500 lx hinausgehende Beleuchtungsstärken werden üblicherweise

durch zusätzliche Leuchten erreicht, die dann lokal gemeinsam mit der Allgemeinbeleuchtung das gewünschte Niveau erzeugen. Diese Art der lokalen Beleuchtung wird auch Einzelplatzbeleuchtung genannt.

## 2.2 Referenzabstand 500 lx

Es bietet sich an, die UV-Exposition in jenen Abständen von einer Lampe zu vermessen, die einer bestimmten Beleuchtungsstärke entspricht. In der internationalen Normung hat sich hier der Wert von 500 lx etabliert (IESNA RP27, CIE S009, IEC 62471, IEC 60432-2, IEC 62035). Dies ist der übliche Beleuchtungsstärkewert für Büros und stellt für Bereiche der Rohfertigung wie auch für Gänge und Pausenräume einen konservativ hohen Wert dar. Für visuell anspruchsvolle Tätigkeiten wird die Beleuchtungsstärke lokal höher sein. Wichtig bezüglich der UV-Exposition ist jedoch, dass die beiden Grenzwerte für UV-Strahlung als Bestrahlungswerte mit einer Integrationsdauer von 30 000 s (8 h 20 min) gegeben sind. Dies kommt einer Mittelung der Bestrahlungsstärke gleich. Ist der Grenzwert für UV-Exposition der Haut von  $30 \text{ J/m}^2$  bei einer angenommenen Dauerbestrahlung in einem Abstand wo die Beleuchtungsstärke 500 lx beträgt, z.B. gerade erreicht, dann darf die Beleuchtungsstärke phasenweise auch über 500 lx liegen, wenn sie in entsprechenden Bestrahlungsepisoden unter einem Wert von 500 lx liegt, wie in Abb. 1 schematisch dargestellt.

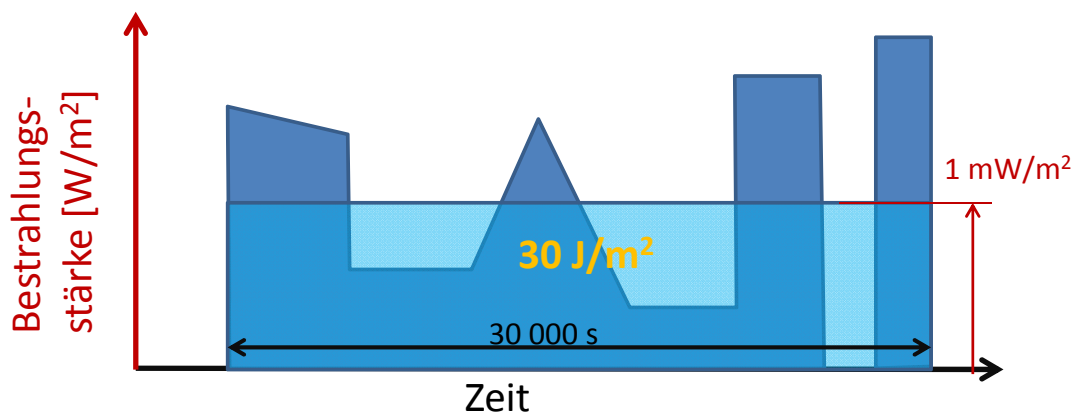


Abb. 1 Darstellung der Äquivalenz der mittleren Bestrahlungsstärke mit der wirklichen Bestrahlungsstärke bei der Aufaddierung über 30 000 s und Vergleich mit einem Bestrahlungsgrenzwert.

Für die Bestrahlung der Augen ist noch weiter zu berücksichtigen, dass die gemessene Beleuchtungsstärke das Niveau auf der Arbeitsfläche betrifft, und sich die Bestrahlung der Augen aber hauptsächlich durch reflektierte Anteile ergibt. Der UV-Anteil wird durch Reflexion im Verhältnis zur sichtbaren Strahlung im Normalfall stärker reduziert.

Falls in Spezialfällen Zweifel auftreten, ob die UV Grenzwerte eingehalten werden, können die im Projekt erarbeiteten Umrechnungsfaktoren verwendet werden, um mit Luxmetern die Exposition zu charakterisieren.

## 3. Expositionsgrenzwerte

Die Bewertungskurven (Wirkungsfunktionen), Integrationsdauern und Grenzwerte für die beiden die UV-Strahlung betreffenden Expositionsgrenzwerte sind in Tabelle 1 zusammengefasst. Von Wichtigkeit ist hier also, dass je nach Grenzwert unterschiedlich bewertete Expositions-Werte mit dem Grenzwert verglichen werden.

Tabelle 1 Übersicht über die beiden Expositions-Grenzwerte für UV-Strahlung bezüglich der vorderen Augenmedien und der Haut

Bezeichnung	Expositions-Grenzwert	max. Integrationsdauer	Bewertung, Wirkungsfunktion	Symbol für bewertete Exposition laut VOPST	Anwendung	Bestrahlungsstärke-Grenzwert für 30000 s Bestrahlungsdauer
Aktinisches UV	30 J m <sup>-2</sup>	30 000 s	S(λ)	H <sub>eff</sub>	Auge, Haut	0,001 W m <sup>-2</sup>
UV-A	10 000 J m <sup>-2</sup>	30 000 s	Keine Bewertung, aber nur Bereich 315 nm bis 400 nm	H <sub>UVA</sub>	Auge	0,33 W m <sup>-2</sup>

#### 4. Beleuchtungsstärke - Grenzwerte

Da das Verhältnis von UV-Strahlung zu sichtbarem Licht für eine gegebene Lampe auch für verschiedene Abstände von der Lampe relativ konstant ist, ist es möglich – je Lampenspektrum – die Grenzwerte für UV Strahlung in Beleuchtungsstärke-Grenzwerte umzurechnen. Man kann diese „Lux“ Grenzwerte dann verwenden, um mit einem Luxmeter zu überprüfen, ob die Grenzwerte für UV Strahlung eingehalten werden, bzw. kann man diese mit üblichen (maximalen) Beleuchtungsstärke-Werten am Arbeitsplatz vergleichen: ist der bezüglich UV Strahlung erlaubte Beleuchtungsstärke-Wert für 30 000 s Bestrahlungsdauer z.B. 3000 lx, dann kann man davon ausgehen, dass dieser Wert der Bestrahlung am Arbeitsplatz nicht vorliegen wird (und wenn, dann nur bei sehr kurzem Abstand zu einer intensiven Lampe und dies nur für kurze Bestrahlungsdauern). Wichtig ist hierbei, dass dieser Beleuchtungsstärke-Grenzwert von Lampenspektrum zu Lampenspektrum unterschiedlich ist. Der Verhältnisfaktor zwischen „UV-Bestrahlungsstärke“ und „Beleuchtungsstärke“ ist hierbei ein zentraler Wert, der hier zuerst besprochen wird, und den wir „U-Wert“ nennen (von „Umrechnungsfaktor“). Je Lampe und je photobiologischer Bewertungsfunktion gibt es einen U-Wert.

##### 4.1 UV-Lux Umrechnungsfaktoren

Die **U-Werte** sind definiert als die Quotienten aus der jeweiligen photobiologisch effektiven Bestrahlungsstärke (Einheit „effektive“ W/m<sup>2</sup>) und der Beleuchtungsstärke (Einheit lm/m<sup>2</sup> oder lx).

$$U_{\text{eff}} \left[ \frac{W}{lm} \right] = U_{\text{eff}} \left[ \frac{W/m^2}{lx} \right] = \frac{E_{\text{eff}} \left[ W/m^2 \right]}{E_v \left[ lx \right]} \quad U_{UVA} \left[ \frac{W}{lm} \right] = U_{UVA} \left[ \frac{W/m^2}{lx} \right] = \frac{E_{UVA} \left[ W/m^2 \right]}{E_v \left[ lx \right]}$$

Die Einheit der U-Werte ist daher (W/m<sup>2</sup>)/lx, oder, wenn man die /m<sup>2</sup> herauskürzt, W/lm. Um handlichere Zahlenwerte zu bekommen, verwenden wir mW klm<sup>-1</sup> (d.h. Milliwatt pro Kilolumen). Die Einheit mW/klm wird auch in der Norm EN 60432-2 verwendet, um die maximal erlaubte UV Strahlung für Quarzhalogenlampen in offenen Leuchten anzugeben (2 mW/klm). Wenn man sowohl Zähler als auch Nenner durch die Flächeneinheit dividiert, bleibt der Zahlenwert gleich, aber die Einheiten ändern sich von W lm<sup>-1</sup> zu Wm<sup>-2</sup> lx<sup>-1</sup>:

$$\text{Einheitengleichung: } U \left[ \frac{W/m^2}{lx} \right] = U \left[ \frac{W}{lx \cdot m^2} \right] = U \left[ \frac{W}{\frac{lm}{m^2}} \right] = U \left[ \frac{W}{lm} \right] \text{ da } 1 \text{ lx} = 1 \text{ lm m}^{-2} \text{ ist.}$$

Die Umrechnung vom  $W \text{ lm}^{-1}$  in  $\text{mW klm}^{-1}$  erfolgt durch Multiplikation mit  $10^6$ .

Es sei erwähnt, dass es in der Lampennormung und Lichttechnik zwischen dem Wert als  $\text{mW/klm}$  und als  $(\text{mW/m}^2)/\text{lx}$  einen Unterschied gibt: gibt man den Wert als  $\text{mW/klm}$  an, wird impliziert, dass es sich um das Verhältnis der in den gesamten Raum abgestrahlten Strahlung handelt, also in einer integrierenden Kugel (oder Ulbricht-Kugel) gemessenen Wert. Der Wert, der mit der Ulbricht-Kugel gemessen wird, ist naturgemäß eine Mittelung, für die Sicherheit am Arbeitsplatz kann es aber sein, dass der direkt (in einer bestimmten Richtung) gemessene Wert der Beleuchtungs- bzw. Bestrahlungsstärke der relevantere ist. In diesem Projekt werden dementsprechend nur direkt gemessene Werte verwendet. Der Einfachheit halber verwenden wir aber trotzdem die Einheiten  $\text{mW/klm}$  und nicht  $(\text{mW/m}^2)/\text{lx}$ .

Mit diesem Umrechnungswert kann durch Multiplikation ein (gemessener) Beleuchtungsstärke - Wert in einen photobiologischen Bestrahlungsstärke-Wert umgerechnet werden (der dann in weiterer Folge mit dem jeweiligen Expositions-Grenzwert der VOPST verglichen werden kann). Es ist dabei zu berücksichtigen, dass es je nach photobiologischer Bewertung andere Umrechnungsfaktoren (U-Werte) gibt (d.h. die Einheiten sind zwar jeweils  $W \text{ m}^{-2}$ , entsprechen aber anderen effektiven Bestrahlungsstärkewerten). Die obigen Formeln zeigen einerseits, wie die Werte für die verschiedenen Lampen berechnet wurden (durch Division der jeweils für einen Abstand gemessenen Werte, aber das Verhältnis ist nur sehr wenig abhängig vom Abstand), andererseits können diese Formeln auch verwendet werden, um zu verstehen, wie man mit U-Werten durch Multiplikation mit einem gemessenen Beleuchtungsstärke-Wert auf einen photobiologisch gewichteten Wert kommt. Außerdem ist es möglich, mit diesen U-Werten die Expositions-Grenzwerte der VOPST (EU Richtlinie) in Lux-Grenzwerte umzurechnen (siehe unten). Das Schema lässt sich äquivalent auch auf Grenzwerte für die Netzhaut anwenden, hier kommen dann als Bewertungsfunktion die Blaulicht-Gefahr  $B(\lambda)$  bzw. die thermische Netzhautbewertung  $R(\lambda)$  zur Verwendung, und man muss geeignete Annahmen bezüglich der Umrechnung von Strahldichte in Bestrahlungsstärke treffen (siehe unten).

Die U-Werte wurden für alle gemessenen Abstände bestimmt, da es nicht auszuschließen ist, dass sich der UV-Anteil anders ausbreitet als die sichtbare Komponente, z.B. bei eingebauten Reflektoren, die weniger UV reflektieren als sichtbare optische Strahlung. Dadurch kann sich dann das Verhältnis von UV-Anteil zu sichtbarem Anteil je nach Abstand zur Lampe unterscheiden. Es zeigte sich aber, dass die U-Werte nicht nennenswert vom Abstand abhängen (maximal 10 % Unterschied).

Man kann diesen U-Wert nun dazu verwenden, auch Grenzwerte für die anteilige UV-Strahlung zu definieren, also eben z.B. (so wie in EN 62035 für Entladungslampen und EN 60432-2 und -3 für Halogen-Glühlampen passiert),  $2 \text{ mW/klm}$ , bzw.  $2 (\text{mW/m}^2)/\text{klx}$ . Dieser „Emissions-Grenzwert“ ergibt sich aus der Forderung, dass der  $30\,000 \text{ s}$  Bestrahlungsstärke-Expositionsgrenzwert für die aktinische UV Strahlung von  $0,001 \text{ W/m}^2 = 1 \text{ mW/m}^2$  in einem Abstand, wo eine Beleuchtungsstärke von  $500 \text{ lx}$  herrscht, nicht überschritten wird.

D.h. eine Lampe, die einen U-Wert von  $2 \text{ mW/klm}$  hat, hat das Verhältnis von

$$\frac{0,001 \frac{W}{m^2}}{500 \text{ lx}} = \frac{1 \frac{mW}{m^2}}{0,5 \text{ klx}} = \frac{1 \frac{mW}{m^2}}{0,5 \frac{klm}{m^2}} = 2 \text{ mW / klm}$$

Man kann das Schema des Verhältnisses zu einer Beleuchtungsstärke von 500 lx auch auf den UV-A Grenzwert anwenden. Dieser ist für 30 000 s Bestrahlungsdauer gleich 0,33 W/m<sup>2</sup>:

$$\frac{0,33 \frac{W}{m^2}}{500 \text{ lx}} = \frac{330 \frac{mW}{m^2}}{0,5 \text{ klx}} = \frac{330 \frac{mW}{m^2}}{0,5 \frac{klm}{m^2}} = 660 \text{ mW / klm}$$

wobei hier die „Watt“ wiederum keine „unbewerteten Watt“ sind, sondern „UV-A“ Watt, also das Spektrum rein im UV-A Bereich berücksichtigt wird.

#### 4.2 Beleuchtungsstärke-Grenzwerte

Für ein bestimmtes Verhältnis von UV-Strahlung zu sichtbarer Strahlung (d.h. pro Lampe) lassen sich auch die beiden Expositionsgrenzwerte für UV Strahlung in Beleuchtungsstärke Grenzwerte umrechnen.

Die Umrechnung erfolgt mit den U-Werten, die im vorherigen Abschnitt besprochen wurden. Dies bedeutet, dass man den Grenzwert für aktinisches UV, z.B. 0,001 W/m<sup>2</sup> für 30 000 s Bestrahlungsdauer mit dem U<sub>eff</sub> Faktor in einen entsprechenden Beleuchtungsstärke-Grenzwert umrechnen kann, der dann in den Einheiten von Lux gegeben ist:

$$E_{vMAX\_eff} [lx] = \frac{GW - E_{eff} \left[ \frac{W}{m^2} \right]}{U_{eff} \left[ \frac{W/m^2}{lx} \right]} \quad \text{bzw.} \quad E_{vMAX\_UVA} [lx] = \frac{GW - E_{UVA} \left[ \frac{W}{m^2} \right]}{U_{UVA} \left[ \frac{W/m^2}{lx} \right]}$$

Ist U<sub>eff</sub> z.B. gleich 0,5 mW/klm = 0,5 · 10<sup>-6</sup> W/m<sup>2</sup>/lx, dann wird der UV-Grenzwert für 30 000 s Bestrahlungsdauer von 0,001 W/m<sup>2</sup> umgerechnet in:

$$\frac{0,001 \frac{W}{m^2}}{0,5 \text{ mW / klm}} = \frac{0,001 \frac{W}{m^2}}{0,5 \cdot 10^6 \text{ W / lm}} = \frac{0,001 \frac{W}{m^2}}{0,5 \cdot 10^6 \frac{W/m^2}{lx}} = 2000 \text{ lx}$$

Man kann diesen „Lux-Grenzwert“ für das aktinische UV also verwenden, um mit einem Luxmeter die Beleuchtungsstärke am Arbeitsplatz zu messen, und so indirekt, über die Messung des sichtbaren Anteils auf den UV Anteil rückschließen, und überprüfen, ob der aktinische UV Grenzwert überschritten ist oder nicht. Es ist dabei aber zu beachten, dass es mit dem U<sub>UV-A</sub> Umrechnungsfaktor einen zweiten „Lux-Grenzwert“ gibt, der auch nicht überschritten werden darf.

Obige Grenzwerte für die maximale Integrationsdauer von 30 000 s hergeleitet. Diese stellen die Basis für die generelle Aussage dar, dass die UV Emission im Normalfall bei Beleuchtung keiner genaueren Evaluierung zugeführt werden muss. Bei Fällen, wo trotzdem mit einem Luxmeter gemessen werden soll, z.B. bei sehr geringen Abständen (bei denen man sich normalerweise nicht aufhalten würde) und Lampen mit relativ hohen UV-Emissionen, können die Beleuchtungsstärke-Grenzwerte leicht den konkret vorliegenden Bestrahlungsdauern angepasst werden. Ist der aktinische-UV Grenzwert z.B. so wie oben für 30 000 s



Bestrahlungsdauer gleich 2000 lx, dann ergibt sich für 3000 Sekunden Bestrahlungsdauer (50 Minuten) eine erlaubte Beleuchtungsstärke von 20 000 lx. Die allgemeine Formel lautet:

$$\text{Erlaubte Lux für Dauer } T = \text{Erlaubte Lux für Dauer 30 000 s (Tabellen)} \cdot \frac{30\,000\text{ s}}{T [\text{s}]}$$

Es darf natürlich nicht vergessen werden, dass es sich bei diesen Beleuchtungsstärke-Grenzwerte um Lampen/Leuchtentyp-spezifische Grenzwerte handelt, d.h. je nach Lampenart gibt es unterschiedliche U-Werte, die dann auch noch durch die Reflektoren oder etwaigen Abdeckscheiben der Leuchte beeinflusst werden können: wenn das Reflektormaterial bzw. die Abdeckscheibe UV-Strahlung schlechter reflektiert bzw. durchlässt, was häufig der Fall ist, werden die U-Werte entsprechend reduziert. Verwendet man aber in solchen Fällen die U-Werte für die frei gemessenen Lampen, liegt man auf der sicheren Seite (ein Reflektor einer Leuchte kann zwar die optische Strahlung inklusive die UV Strahlung bündeln, jedoch ist die Reflektivität im UV-Bereich nicht höher als im sichtbaren Spektralbereich, also relativ zum sichtbaren Anteil gesehen reduziert sich durch eine Leuchte die anteilige UV-Strahlungsemission).

Neben der Möglichkeit, UV-Strahlung indirekt mit einem Luxmeter zu messen (den viele Sicherheitsfachkräfte in Betrieben haben), stellen die UV-Grenzwerte in Beleuchtungsstärke, wie sie in diesem Projekt erarbeitet wurden, die Basis für die Entscheidung dar, ob Beleuchtung überhaupt unter normalen Voraussetzungen zu einer Überschreitung der UV-Expositionsgrenzwert führen kann. Bei entsprechend „unrealistisch hohen“ erlaubten Beleuchtungsstärken (z.B. 10 000 Lux) ist offensichtlich, dass aufgrund der üblichen und Beleuchtungsstärken ein Überschreiten der UV-Grenzwerte auch bei Dauerbestrahlung für 30 000 s nicht anzunehmen ist. Ein wichtiger Faktor ist auch, dass beide Grenzwerte für UV-Strahlung Bestrahlungswerte ( $30 \text{ J/m}^2$  und  $10\,000 \text{ J/m}^2$ ) sind. Dies bedeutet, dass die mit 30 000 s errechneten Bestrahlungsstärkewerte ( $0,001 \text{ W/m}^2$  bzw.  $0,33 \text{ W/m}^2$ ) die *mittlere* Bestrahlungsstärke limitieren; liegt für eine gewisse Zeit eine geringere Bestrahlungsstärke vor, darf sie zu einem anderen Zeitpunkt entsprechend höher sein (siehe Abb. 1). Das gleiche gilt dann auch für die Beleuchtungsstärke-Grenzwerte: hier werden eventuelle Episoden von höheren Beleuchtungsstärken, wenn man sich in der Nähe einer Lampe aufhält, von Episoden in Räumen kompensiert, die weniger hell beleuchtet sind, z.B. Gänge, WC-Anlagen oder Pausenräume.

#### 4.3 Zusammenhang der Kenngrößen

Ein wichtiger Parameter ist die bezüglich UV Strahlung zulässige Bestrahlungsdauer (je Bewertungsfunktion) in einem Abstand, wo die Beleuchtungsstärke 500 lx beträgt. Dieser Referenzwert hat den Vorteil, dass er davon unabhängig ist, von wie vielen Lampen die Beleuchtungsstärke erzeugt wird (im Unterschied zu Messungen in fixen Abständen zu einer Lampe, z.B. 20 cm, 1 m, 2 m...). Hier werden auch zulässige Bestrahlungsdauern angegeben, die länger als 30 000 s sind (d.h. länger als 8 Std 20 Min), obwohl diese für den Arbeitnehmerschutz nicht direkt relevant sind, weil eine Integration über die maximale Zeit von 30 000 s nicht stattfindet (d.h. ist die Bestrahlungsstärke so niedrig, dass bei Dauerbestrahlung der Dosis-Grenzwert in 30 000 s nicht erreicht wird, ist eine unbegrenzte Dauerbestrahlung zulässig, wobei aber impliziert wird, dass diese durch die Schlafperiode unterbrochen wird). Die Bestrahlungsstärke-Grenzwerte für Dauerbestrahlung sind  $1 \text{ mW/m}^2$  bzw.  $333 \text{ mW/m}^2$  (siehe Tabelle 1). Liegt nun z.B. eine effektive  $S(\lambda)$  Bestrahlungsstärke von  $0,5 \text{ mW/m}^2$  vor, ist die erlaubte Bestrahlungsdauer gleich  $2 \times 8 \text{ h } 20 \text{ min} = 16 \text{ h } 40 \text{ min}$ .

Eine alternative Art, die gleiche Information auszudrücken, ist anzugeben, wie hoch der Beleuchtungsstärke-Wert sein darf, um mit der UV Strahlung dann den 30 000 s Dosisgrenzwert zu erreichen. Ist im 500 lx Abstand die UV-Bestrahlungsstärke halb so groß wie der kritische Wert (Beispiel im vorherigen Abschnitt), dann könnte man die Beleuchtungsstärke entsprechend um den Faktor 2 erhöhen, und würde dann gerade den UV-Dosis-Grenzwert erreichen. Für diese Lampe wäre also die „zulässige Beleuchtungsstärke“ (egal in welchem Abstand) gleich 1000 lx. Es handelt sich hierbei um eine *mittlere* zulässige Beleuchtungsstärke. Das Verhältnis von zulässiger Bestrahlungsdauer im 500 lx Abstand relativ zu 8 h 20 min und der zulässigen Beleuchtungsstärke relativ zu 500 lx ist das gleiche, wie auch in der folgenden Tabellen zu erkennen ist. Die dritte Möglichkeit der Darstellung ist die Angabe des U-Wertes, der die bewertete UV-Bestrahlungsstärke zur Beleuchtungsstärke ins Verhältnis setzt. Eine Lampe, die im 500 lx Abstand zu Erreichung des 30 000 s UV-Expositionsgrenzwertes führt, hat dann im Falle der S( $\lambda$ ) Bewertung (Grenzwert 30 J/m<sup>2</sup>) einen U-Wert von 2 mW/klm und im Falle der UV-A Bewertung (Grenzwert 10 000 J/m<sup>2</sup>) einen U-Wert von 660 mW/klm. Auch hier ist das Verhältnis wieder das gleiche wie bei den beiden alternativen Darstellungen, jedoch wird der U-Wert mit geringer werdendem UV-Anteil auch geringer; die anderen beiden Parameter (zulässige Bestrahlungsdauer in 500 lx Abstand und zulässige Beleuchtungsstärke) werden bei geringerem UV-Anteil größer. Die U-Werte können auch als Umrechnungsfaktoren verwendet werden, um mit einem Luxmeter die UV-Strahlungsbelastung zu messen.

Da alle drei besprochenen Werte das gleiche Verhältnis zum „kritischen“ Wert (d.h. zum Wert bei dem bei Dauerbestrahlung der Grenzwert erreicht wird) aufweisen, bietet es sich auch an, diesen Faktor ebenfalls anzuführen. Der Faktor wurde hier „**Sicherheitsfaktor**“ genannt, es muss aber betont werden, dass dies der Faktor relativ zu einer Bestrahlungsdauer für 30 000 s ist, d.h. bei einer kürzeren Bestrahlungsdauer ist der Faktor zwischen Exposition und Expositionsgrenzwert entsprechend größer.

## 5. Ergebnisse und Diskussion zu UV-Strahlung im 500 lx Abstand

Eine Anzahl von 110 Lampen, die zur Beleuchtung verwendet werden, wurde sowohl im UV-Bereich wie auch im sichtbaren Bereich mit einem Spektroradiometer vermessen. Die verwendete Lampengruppierung nach Type bzw. Bauart ist in Tabelle 2 gegeben (die Anzahl der angeführten Lampen ist höher als 110, weil auch Daten eines früheren AUVA Projektes eingebunden wurden).

Tabelle 2. Lampengruppierung

	Anzahl
CFL (Compact Fluorescent Lamp, Kompaktleuchtstofflampen)	39
Glühlampe (d.h. Weichglas-Glühlampe ohne Halogen)	5
LED (Leuchtdiode)	6
Quarzhalogenlampe (auch „Halogenglühlampen“)	35
Leuchtstoffröhre	27
Halogen-Metaldampfampe (auch „Metallhalogendampfampe“)	15
Quecksilberdampfampe (inkl. Quecksilberdampf-Mischlichtlampe)	19
Natriumdampfampen	3

Der Messabstand betrug in jedem Fall 20 cm; wurde einer der beiden UV-Grenzwerte in 20 cm Abstand überschritten, erfolgten auch Messungen in größeren Abständen. Die detaillierten Messergebnisse sind in AUVA-Reports veröffentlicht [6] ([www.auva.at/reports](http://www.auva.at/reports)). Die in 20 cm bestimmte spektrale Bestrahlungsstärke wurde zusätzlich auf einen Wert, der 500 lx

Beleuchtungsstärke ergibt, skaliert. Der Abstand, in dem die Beleuchtungsstärke gleich 500 lx beträgt, wurde mit einem Luxmeter bestimmt.

Pro Abstand wird die entsprechend bewertete („effektive“) Bestrahlungsstärke angegeben, aus der die „zulässige Bestrahlungsdauer“ zum Erreichen des jeweiligen Expositionsgrenzwertes errechnet wird. Weiters werden die U-Faktoren je Abstand berechnet, die jedoch weniger als 10 % vom Abstand abhängen und damit in erster Näherung als abstandsunabhängig angesehen werden können. Aus den für 30 000 s Bestrahlungsdauer geltenden Bestrahlungsstärke-Grenzwerten von 1 mW/m<sup>2</sup> (aktinische UV) bzw. 333 mW/m<sup>2</sup> (UV-A) werden mit den entsprechenden U-Faktoren die „zulässigen mittleren Beleuchtungsstärken“ für 30 000 s Bestrahlungsdauer berechnet.

Die Lampen mit den kürzesten zulässigen Bestrahlungsdauern bezüglich aktinischem UV (S( $\lambda$ ) Bewertung) bzw. den höchsten U-Faktoren sind in Tabelle 3 gelistet.

*Tabelle 3. Zulässige Bestrahlungsdauer im 500 lx Abstand bezüglich aktinischem UV (vorletzte Spalte), geordnet nach aufsteigender zulässiger Bestrahlungsdauer (Werte auch über 30 000 s angeführt). Bei der laufenden Nummer bedeutet ein „r“ oder „a“ dass die Lampe in verschiedenen Orientierungen vermessen wurde, axial für „a“ und radial für „r“.*

Lfd. Nr.	Kategorie	Hersteller	Bezeichnung	Leistung [Watt]	500 lux Abstand [cm]	tMAX S(l) [hh:mm]	U-S(l) mW/klm
116	Quecksilberdampfl.	Philips	HPL-N 80W	80		8:40	1,922
99r	Quecksilberdampfl.	Osram	HQL 125 DeLuxe	125	52	9:47	1,702
107	Quecksilberdampfl.	Osram	HQL 400 DeLuxe	400	226	11:47	1,414
86	Quarzhalogen	LaCultura	12 V, 480 lm, 2750 K	35	27	11:56	1,395
83r	Quecksilberdampfl.	Osram	HQL 125 Standard	125	59	12:19	1,352
100r	Quecksilberdampfl.	Philips	HPL-N 125W/542	125	63	12:38	1,319
115	Quecksilberdampfl.	Philips	HPL-N 400W HG	400		14:52	1,120
84r	Quecksilberdampfl.	Osram	HQL 125 Super DeLuxe	125	66	15:14	1,094
98	Quecksilberdampfl.	Philips	HPL 4 125W/642	125	66	17:12	0,987
109	Quecksilberdampfl.	Philips	HPL Comfort 400W/534	400	220	18:21	0,969
106	Quecksilberdampfl.	Osram	HQL 400 Standard	400	230	21:20	0,781
102r	Quecksilberdampfl.	Philips	HPL 4 80W/642	80	82	22:43	0,733
101r	Quecksilberdampfl.	Philips	HPL Comfort 125W SG	125	65	23:04	0,722
89	Leuchtstoffröhre	Philips	Master TL-D Super 80 18W/830 1350 lm Energiesparlampe, 170 mA, 1151 lm, 2700 K	18	42	25:22	0,657
68a	CFL	Simpex		20	30	26:39	0,625
24	Leuchtstoffröhre	Philips	Master TL-D 30 W/827 Warm 2400 lm	30	64	29:10	0,571
99a	Quecksilberdampfl.	Osram	HQL 125 DeLuxe	125	30	37:07	0,449
108	Quecksilberdampfl.	Philips	HPL-N 400W/542 HG	400	229	37:24	0,446
150	Leuchtstoffröhre	BioLicht	UV-B 58W-5700K-RA96 Vollspektrum Tageslicht	58		38:26	0,433
22	Leuchtstoffröhre	Philips	Master TL-D 30 W/840 CoolWhite 2400 lm	30	56	40:07	0,415
63a	CFL	Megaman	2P215 Economy 2, 2700 K, 800 lm	15	16	43:40	0,382
97	Leuchtstoffröhre	Philips	Master TL-D Super 80 18W/865 1300 lm	18	43	48:46	0,342
144	Leuchtstoffröhre	Osram	L 36/76 Natura DeLuxe	36		51:47	0,322

Der Parameter „zulässige Bestrahlungsdauer“ als Verhältnis zwischen Bestrahlungsgrenzwert und Bestrahlungsstärke-Expositionswert ist auch dann angeführt, wenn der Wert über 30 000 s (8 h 20 min) liegt; obwohl dieser Wert nicht für die Bestrahlungsdauer am Arbeitsplatz einschränkend ist, wird er hier als repräsentativer und intuitiv verständlicher

Wert angeführt. Es sind nur die Lampen gelistet, die entweder in offenen Leuchten betrieben werden dürfen. Manche Halogenglühlampen weisen keinen UV Block auf und diese dürfen nur in geschlossenen Leuchten betrieben werden. Eine Vermessung ohne Abdeckscheibe ergibt, dass im 500 lx Abstand die maximal zulässige Bestrahlungsdauer zwischen 7 h 15 min und 8 h 16 min betrug.

Lampentypen, die hier nicht aufscheinen (wie z.B. LED, Glühlampen, Natriumdampflampen), haben entsprechende längere zulässige Bestrahlungsdauern, siehe Tabelle 5 und Tabelle 6.

Tabelle 4 listet die Lampen geordnet nach aufsteigender zulässiger Bestrahlungsdauer bezüglich UV-A Grenzwert in einem Abstand von 500 lx; in der letzten Spalte der entsprechende Umrechnungsfaktor in mW/klm.

*Tabelle 4 Zulässige Bestrahlungsdauer bezüglich UV-A Grenzwert in einem Abstand von 500 lx.*

Lfd. Nr.	Kategorie	Hersteller	Bezeichnung	Leistung [Watt]	500 lux Abstd [cm]	tMAX UV-A [hh:mm]	U-Wert UV-A mW/klm
100r	Quecksilberdampfl.	Philips	HPL-N 125W/542	125	63	5:56	935
116	Quecksilberdampfl	Philips	HPL-N 80W	80		5:58	931
99a	Quecksilberdampfl	Osram	HQL 125 DeLuxe	125	30	6:53	806
98	Quecksilberdampfl	Philips	HPL 4 125W/642	125	66	7:32	736
83a	Quecksilberdampfl	Osram	HQL 125 Standard	125	35	7:40	723
101a	Quecksilberdampfl	Philips	HPL Comfort 125W SG	125	42	8:02	691
102r	Quecksilberdampfl	Philips	HPL 4 80W/642	80	82	8:08	682
115	Quecksilberdampfl	Philips	HPL-N 400W HG	400		8:51	627
113	Quecksilberdampfl	Philips	ML 500W	500		9:20	595
104a	Quecksilberdampfl	Osram	HQL 250 Standard	250	101	10:35	525
85	Quecksilberdampfl	Osram	HWL 250 225 V Mischlichtlampe	250	90	10:54	509
109	Quecksilberdampfl	Philips	HPL Comfort 400W/534	400	220	14:19	388
91	Halogen-Metaldampflampe	Osram	PowerStar HQI-T 250 W/D PRO Daylight	250	355	15:16	364
106	Quecksilberdampfl	Osram	HQL 400 Standard	400	230	15:48	351
117	Quecksilberdampfl	Philips	HPL-R 400W HG	400		16:11	343
103a	Quecksilberdampfl	Osram	HQL 250 DeLuxe	250	102	16:47	331
107	Quecksilberdampfl	Osram	HQL 400 DeLuxe	400	226	17:11	323
85a	Quecksilberdampfl	Osram	HWL 250 225 V Mischlichtlampe	250	56	17:16	321
108	Quecksilberdampfl	Philips	HPL-N 400W/542 HG	400	229	17:19	321
105	Quecksilberdampfl	Philips	HPL Comfort 250W/534	250	163	17:23	319
114	Quecksilberdampfl	Philips	ML-R 160W	160		18:13	305
84a	Quecksilberdampfl	Osram	HQL 125 Super DeLuxe	125	41	18:51	295
150	Leuchtstoffröhre	BioLicht	UV-B 58W-5700K-RA96 Vollspektrum	58		19:07	291

Je Lampengruppe werden in Tabelle 5 die Extremwerte gelistet, also die Lampe innerhalb einer Gruppe mit dem höchsten UV Anteil, wobei für diese Tabelle eine Bewertung nach  $S(\lambda)$  erfolgt. Bis auf Quecksilberdampflampen sind bei allen Lampenkategorien die zulässigen Bestrahlungsdauern für die UV-effektive Bestrahlungsstärke ( $S(\lambda)$  Bewertung) deutlich über 8 Stunden und 20 Minuten (bei Quarzhalogenlampen besteht nach den Quecksilberdampflampen die kürzeste zulässige Bestrahlungsdauer von 11:56). Die zulässige geringste Bestrahlungsdauer bei Quecksilberdampflampen ist mit 8 Stunden und 40 Minuten zwar länger als 8 Stunden 20 Minuten (30 000 s), jedoch nicht so deutlich länger wie bei den anderen Lampenkategorien. Für die Verwendung für die Beleuchtung von Wohnungen mit

Bewohnern mit extremer Empfindlichkeit gegenüber UV Strahlung (z.B. aufgrund von fehlenden Reparaturmechanismen, Xeroderma Pigmentosum) ist relevant, dass Leuchtdioden fast gar keine nachweisbare UV-Emission aufweisen – der Sicherheitsfaktor ist hier 23 000.

*Tabelle 5 Charakteristische Parameter die auf die Beleuchtungsstärke bezogen sind, für  $S(\lambda)$  Bewertung (Expositionsgrenzwert  $30 \text{ J/m}^2$ ). Je Lampenkategorie sind die Extremwerte gelistet (höchster UV Anteil bezüglich  $S(l)$  Bewertung).*

Lampenkategorie	Lampennummer	Sicherheitsfaktor $S(\lambda)$ $30 \text{ J/m}^2$	Zulässige Bestrahlungsdauer in 500 lx Abstand $S(\lambda)$ [hh:min]	Zulässige Beleuchtungsstärke	U-Wert [mW/klm]
CFL	#68	3,1	26:39	1 599 lx	0,63
Glühlampe	#82	100,0	830 Std	49 800 lx	0,02
Halogenmetaldampf	#3	40,0	355 Std	21 300 lx	0,05
LED	#88	23000,0	95 907 Std	5,7 Mlx	0,0001
Leuchtstoffröhre	#89	3,0	25:22	1522 lx	0,66
Natriumdampf Lampe	#110	28,0	242 Std	14 557 lx	0,07
Quarzhalogenlampe (Halogen-Glühlampe)	#86	1,4	11:56	717 lx	1,40
Quecksilberdampf-lampe	#116	1,04	8:40	520 lx	1,92

Entsprechend der Verhältniszahl (Sicherheitsfaktor) von 1,04 für die kritischste Quecksilberdampf Lampe ist auch die zulässige mittlere Beleuchtungsstärke für diese Lampe nicht deutlich höher als 500 lx. Auch die anderen vermessenen Quecksilberdampflampen weisen eine relative hohe UV-Emission auf. Es sei jedoch darauf hingewiesen, dass die relativ hohen UV-Emissionen nur in *radialer* Richtung auftreten (auf die Seite der Lampe blickend), und für die gleiche Lampe in *axialer* Richtung (auf die Kappe blickend) deutlich weniger UV-Strahlung emittiert wird (relativ zu 500 lx). Für die relevanten Lampen ist die axial emittierte effektive ( $S(\lambda)$  bewertete) UV Strahlung grob einen Faktor 4 geringer als in radialer Richtung. Vor allem wenn die Lampen hängend montiert werden, so dass die Kappen nach unten zeigen, ergibt sich durch diesen Unterschied im Mittel eine deutlich verringerte UV Exposition als wenn man nur radial bestrahlt werden würde. Da Quecksilberdampflampen klassische Lampen für Allgemeinbeleuchtung sind (lange Lebensdauer, vorteilhaft bei Montage in großen Höhen, wie Hallen), und nicht für Einzelplatzbeleuchtung verwendet werden (d.h. nicht zur lokalen Erhöhung der Beleuchtungsstärke für spezielle Tätigkeiten, wo auch 1000 lx und im Extremfall bis zu 2000 lx gefordert sind), weil sie zu groß sind und der Lichtkegel schlecht formbar ist, erscheint auch diese Kategorie von Lampen als nicht kritisch bezüglich Überschreitung des  $S(\lambda)$ -effektiven aktinischen UV Expositions-Grenzwertes der VOPST für nominelle Abstände zur Leuchte, also mit der Ausnahme von Tätigkeiten in der Nähe der Lampe, z.B. bei Wartungstätigkeiten.

Für Einzelplatzzusatzbeleuchtung mit lokalen Beleuchtungsstärken von bis zu 2000 lx (mit Ausnahme von OP Leuchten, dort höhere Werte), können auch die Daten des 500 lx Abstandes für eine Gefährdungsbeurteilung herangezogen werden, indem man sie entsprechend skaliert, bzw. bieten sich hier die in Lux umgerechneten UV-Grenzwerte an: ist die zulässige Beleuchtungsstärke aus Tabelle 5 z.B. für Halogenmetaldampflampen über

20 000 lx, dann kann man davon ausgehen, dass es bei Einzelplatz-Beleuchtung zu keiner Grenzwertüberschreitung kommt. Bei Quecksilberdampflampen ist die zulässige geringste Beleuchtungsstärke 520 lx, jedoch ist hier zu berücksichtigen, dass Quecksilberdampflampen aufgrund der Größe der Lampen im Normalfall nicht für Einzelplatz-Zusatzbeleuchtung verwendet werden. Bei der Quarzhalogenlampe (Halogen-Glühlampen) mit dem kürzesten zulässigen Beleuchtungsstärke-Werte von 717 lx (Hersteller: LaCultura) und zulässigen Bestrahlungsdauern von rund 12 Stunden ist relevant, dass die Beleuchtungsstärke in einem Abstand von 20 cm 711 lx beträgt, und mit Abständen von deutlich geringer als 20 cm bei Einzelplatzbeleuchtung eher nicht zu rechnen ist. Die nächst-„schlechteste“ Quarzhalogenlampe wies bereits eine zulässige Beleuchtungsstärke von über 9000 lx bezüglich aktinisches UV und von über 4000 lx bezüglich UV-A auf.

In Tabelle 6 erfolgt die Listung der entsprechenden Parameter für die Bewertung nach UV-A (Grenzwert 10 000 J/m<sup>2</sup>) je Lampengruppe, also die Lampe innerhalb einer Gruppe mit dem höchsten UV-A Anteil.

*Tabelle 6 Charakteristische Parameter die auf die Beleuchtungsstärke bezogen sind, für UV-A Bewertung (Expositionsgrenzwert 10 000 J/m<sup>2</sup> bezüglich der Augen). Je Lampenkategorie ist der Extremwert gelistet (höchster UV-A Anteil).*

Lampenkategorie	Lampennummer	Sicherheitsfaktor UV-A 30 J/m <sup>2</sup>	Zulässige Bestrahlungsdauer in 500 lx Abstand UV-A [hh:min]	Zulässige Beleuchtungsstärke	U-Wert [mW/klm]
CFL	#64	5,7	47:43	2864 lx	116
Glühlampe	#82	12,1	100 Std	6020 lx	55
Halogenmetaldampf	#91	1,8	15:16	917 lx	364
LED	#88	133,2	1144 Std	68 klx	5
Leuchtstoffröhre	#150	2,3	19:07	1147 lx	291
Natriumdampfampe	#111	19,0	157 Std	9421 lx	35
Quarzhalogenlampe (Halogen-Glühlampe)	#76	5,5	45:22	2723 lx	122
Quecksilberdampf-lampe	#100	0,7	5:56	356 lx	935

Im 500 lx Abstand sind alle Lampenkategorien bis auf Quecksilberdampflampen unter dem 30 000 s Grenzwert (d.h. der „Sicherheitsfaktor“ ist größer als 1). Die UV-A bewertete Bestrahlungsstärke ist bei Quecksilberdampflampen im 500 lx Abstand zwischen 6 Stunden und 30 Stunden. Es ist interessant festzustellen, dass bezüglich UV-A der Unterschied zwischen radialer und axialer Richtung je Lampentyp gering ist, es hängt also für einen gegebenen Lampentyp wenig davon ab, von welcher Richtung man auf die Lampe blickt. Es ist für eine Gefährdungsbeurteilung bzw. Evaluierung wichtig zu berücksichtigen, dass die entsprechende Bestrahlungsstärke für die Augen (der UV-A Grenzwert ist nur auf das Auge anzuwenden, nicht auf die Haut) deutlich geringer ist als die direkt zur Lampe hin gemessene Bestrahlungsstärke: einerseits, weil man, wenn, dann nur kurz direkt in Lampen blickt (diese

blenden bei direktem Blick in die Lampe, außer sie werden mit einer diffusen Abdeckung versehen, was wiederum die UV Strahlung deutlich reduziert), andererseits wird bei indirekter Bestrahlung des Auges durch Reflexionen von den meisten Oberflächen (Tischen, Werkstücken, etc.) die anteilige UV-Strahlung stark reduziert. Man kann daraus schließen, dass die effektiv auf dem Auge auftreffende UV-A Bestrahlungsstärke entsprechend niedriger sein wird, als die in der Tabelle angegebene direkte Bestrahlungsstärke. Bei einer zulässigen Bestrahlungsdauer von 6 Stunden als kritischster Wert für einen direkten Blick in die Lampe kann davon ausgegangen werden, dass für die Bestrahlung am Arbeitsplatz der Grenzwert innerhalb von 8 h 20 min nicht überschritten wird.

### 5.1 Hochdrucklampen ohne Außenkolben

Aus der Literatur ist bekannt, dass Hochdruck-Entladungslampen, bei denen durch mechanische Einwirkung (z.B. in einer Turnhalle) der äußere Kolben gebrochen ist, hohe Werte von UV-Strahlung emittieren [8]. Um konkrete Werte für eine Analyse dieses Sonderzustandes von Lampen zu haben, wurde der äußere Kolben für eine Quecksilberdampf Lampe (OSRAM HQL 125 Watt; Lampe #83), für eine Halogen-Metaldampf Lampe (OSRAM Powerstar 150 Watt; Lampe #90) und eine Natriumdampf-Hochdrucklampe (Philips SON 70 Watt; Lampe #110) entfernt. Bei der Quecksilberdampf Lampe ergab sich im 500 lx Abstand der intakten Lampe (bei der beschädigten Lampe reduzierte sich die Emission von sichtbarem Licht drastisch) eine zulässige Bestrahlungsdauer bezüglich aktinischem UV von ca. 15 min. Bei den anderen beiden Lampen ergab sich im 500 lx Abstand keine Überschreitung des Grenzwertes. Die Metaldampf Lampe wies als Explosionsschutz einen inneren Schutzzyylinder auf, es ist daher nicht auszuschließen, dass es bei Bauformen ohne Schutzzyylinder (die dann nur in geschlossenen Leuchten betrieben werden dürfen) zu einer entsprechenden höheren UV- Emission kommt, wenn der Außenkolben beschädigt ist.

## 6. Ergebnisse und Diskussion für Abstand von 20 cm

Der Abstand von 20 cm (bzw. 50 cm) kann für die meisten Lampen als Abstand angesehen werden, der nur für Wartungstätigkeiten der Leuchte relevant ist (z.B. Reinigung der Abdeckscheibe) oder bei Montagearbeiten in der Nähe der Leuchte. In den meisten Fällen wird für die Wartung der Leuchte die Lampe jedoch abgeschaltet werden, sodass keine Bestrahlung vorliegt. Eine zweite Situation, bei der relativ kurze Bestrahlungsabstände möglich sind, ist bei Einzelplatz - Zusatzbeleuchtung (d.h. zusätzlich zur Allgemeinbeleuchtung, um Beleuchtungsstärken über 500 lx zu erhalten) wo die Lichtquelle nahe dem zu beleuchtenden Objekt angeordnet ist. Bezüglich Einzelplatz-Zusatzbeleuchtung, die auf 2000 lx beschränkt ist (mit Ausnahme von OP Leuchten) eignet sich aber der zulässige Beleuchtungsstärkewert von den Tabellen 5 und 6 besser für eine Gefährdungsermittlung, siehe Diskussion dort.

Man kann zwei Gruppen von Lampenkategorien unterscheiden: solche, die auch in 20 cm eine zulässige Bestrahlungsdauer von über 30 000 s (8 h 20 min) aufweisen, und solche, deren zulässige Bestrahlungsdauer darunter liegt. Bei ersteren kann man daher von generell unkritischen Lampentypen sprechen, bei letzteren muss, für den Fall, dass Bestrahlungen in so kurzen Abständen vorkommen, die Bestrahlungsdauer über den Tag addiert entsprechend bestimmt werden und die Exposition genauer evaluiert werden.



Bei den unkritischen Lampenkategorien, die in der Tabelle 7 gelistet sind, werden die beiden UV-Grenzwerte auch für Dauerbestrahlung (also Bestrahlung bis zu 8 Stunden und 20 Minuten) nicht überschritten. Die einzige Leuchtstofflampe, die eine zulässige Bestrahlungsdauer von etwas weniger als 8 h und 20 min aufweist (nämlich 6 h 39 min), ist eine Philips Master TL-D mit 90 cm Länge mit einer Beleuchtungsstärke von 2200 lx in 20 cm Abstand. Alle anderen Leuchtstofflampen haben entsprechend länger zulässige Bestrahlungsdauern. Da diese Art von Leuchtstofflampe eher nicht für Einzelplatzbeleuchtung verwendet werden wird, und da man davon ausgehen kann, dass auch bei Wartungsarbeiten der Abstand nicht dauernd nur 20 cm betragen wird, sondern auch immer wieder weniger, werden Leuchtstoffröhren hier generell als „unkritisch“ eingestuft. Das gleiche gilt bezüglich UV-A Strahlung und Natriumdampflampen, wo in 20 cm Abstand die zulässige Bestrahlungsdauer 7:16 beträgt.

Tabelle 7 Auch für kurze Abstände (20 cm Abstand) unkritische Lampenkategorien

Lampenkategorie	S( $\lambda$ )		UV-A	
	Lampennummer	Zulässige Bestrahlungsdauer S( $\lambda$ ) [hh:min]	Lampennummer	Zulässige Bestrahlungsdauer UV-A [hh:min]
<b>CFL (Kompaktleuchtstofflampen)</b>	#68a	14:45	#31	8:55
<b>Glühlampe</b>	#72	60:53	#21	173 Stunden
<b>LED</b>	#88	10 820 Stunden	#88	129 Stunden
<b>Leuchtstoffröhre</b>	#24	6:39 (2200 lx)	#24	9:10
	#89	9:41 (1300 lx)	#53	13:35
<b>Natriumdampflampe</b>	#111	11:14	#111	7:16

Bei den in Tabelle 8 gelisteten Lampenkategorien, die als „potentiell kritisch“ bezeichnet werden können, kann eine Überschreitung der Expositionsgrenzwerte je nach Bestrahlungsdauer in kurzem Abstand nicht ausgeschlossen werden. Man erkennt an den hohen Beleuchtungsstärken in 20 cm Abstand (40 000 lx bis 400 000 lx), dass diese Lampen in diesen Entfernungen nicht für Beleuchtung verwendet werden, also auch nicht für Einzelplatz-Zusatzbeleuchtung (die maximal empfohlene Beleuchtung, vom OP-Leuchten abgesehen, ist 2000 lx).

Bei der Gruppe der Quarzhalogenlampen (Halogenglühlampen) ist relevant, dass nur die Lampe mit der elektrischen Anschlussleistung von 1000 Watt kritische effektive (S( $\lambda$ ) bewertete) UV-Emissionen ergab, bzw. eine Akku-Taschenlampe, die aber nicht für Dauerbeleuchtung am Arbeitsplatz relevant ist. Andere Quarzhalogenlampen mit Anschlussleistungen unter 400 Watt hatten auch in 20 cm Abstand zulässige Bestrahlungsdauern von länger als 8 h 20 min bezüglich der Bestrahlung der Haut (S( $\lambda$ ) Bewertung). Die UV-A Bestrahlungsstärke in 20 cm Abstand beträgt jedoch auch bei elektrischen Anschlussleistungen von z.B. 75 Watt (Lampe Nr. 36) 23 Minuten, sodass es nicht allgemein möglich ist, Quarzhalogenlampen mit Leistungen von z.B. unter 500 Watt als unkritische Gruppe für eine Bestrahlung in 20 cm zu bezeichnen. Wenn die Quelle während der Arbeiten in den angenommenen kurzen Abständen nicht im Blickfeld ist oder wenn die Augen



entsprechend durch UV absorbierende Brillen geschützt sind, kann bis auf Hochleistungsquarzhalogenlampen (Leistungen über 500 Watt) davon ausgegangen werden, dass der Grenzwert für die Haut auch in 20 cm Abstand nicht überschritten wird. Für die Haut könnte man diese Quarzhalogenlampen mit Anschlussleistungen unter 400 Watt also als „unkritische“ Gruppe definieren, aber aufgrund der potentiellen Überschreitung des UV-A Grenzwertes für die Augen ist dies ohne weitere Evaluierung für Wartungstätigkeiten oder Tätigkeiten bei denen man die Lampe im Blickfeld haben könnte nicht generell argumentierbar.

*Tabelle 8 Für kurze Abstände (z.B. Wartung) potentiell kritische Lampenkategorien (die Lampe mit der kürzesten zulässigen Bestrahlungsdauer ist gelistet; Lampen, die geschlossen betrieben werden müssen und offen vermessen wurden, sind nicht gelistet)*

Lampenkategorie	S( $\lambda$ )		UV-A	
	Lampennummer	Zulässige Bestrahlungsdauer S(l) (hh:min)	Lampennummer	Zulässige Bestrahlungsdauer UV-A (hh:min)
Halogenmetaldampflampe	#96	1:07 (206 000 lx)	#96	0:02
Quarzhalogenlampe (Halogenglühlampe)	#55	4:32 (434 000 lx)	#55	0:06
Quecksilberdampflampe	#107	0:08 (40 000 lx)	#109	0:10

## 7. Schlussfolgerung UV-Emission Beleuchtung

Die Daten erlauben den Schluss, dass für allgemeine Raumbeleuchtung (Allgemeinbeleuchtung), wie auch für Einzelplatzbeleuchtung mit lokal höheren Beleuchtungsstärken bis zu 2000 lx davon ausgegangen werden kann, dass die UV-Expositions-Grenzwerte für die Bestrahlung der Augen und der Haut nicht überschritten werden (siehe jedoch folgenden Hinweis auf defekte Außenkolben).

Für eine möglichst vollständige Arbeitsplatzevaluierungen bezüglich Beleuchtung sollte mit einer Sichtüberprüfung bei Hochdruck-Entladungslampen (also Quecksilberdampflampen oder Halogen-Metaldampflampen), die in *offenen* Leuchten betrieben werden, festgestellt werden, ob der Außenkolben zerstört ist, weil es dann (je nach Lampentyp) zu sehr hohen UV-Emissionen kommen kann.

Bei Wartungstätigkeiten oder sonstigen Situationen, wo Bestrahlungen in ungewöhnlich stark verkürzten Abständen zu den identifizierten kritischen Lampentypen vorkommen, erscheint eine genauere Evaluierung (Gefährdungsermittlung und -beurteilung) notwendig. Auch für eine solche genauere Evaluierung können die ermittelten U-Werte eine Charakterisierung der UV-Exposition mit Hilfe eines Luxmeters ermöglichen, bzw. kann sich die Evaluierung auch auf die in einem Abstand von 20 cm ermittelten effektiven UV-Bestrahlungsstärke-Werte beziehen.

## 8. Beleuchtungsstärke – Grenzwerte für Blaulicht-Gefährdung

Die oben beschriebene Vorgehensweise zur Umrechnung von Beleuchtungsstärke-Werten (also mit  $V(\lambda)$  bewertete Bestrahlungsstärke) in effektive UV-Bestrahlungsstärke-Werte kann in identer Weise – bei Verwendung der entsprechenden photobiologischen Bewertungsfunktionen - dazu verwendet werden, um Beleuchtungsstärke in effektive Werte

bezüglich der Blaulichtgefahr (photochemische Netzhautschädigung) bzw. der thermischen Netzhautschädigung umzurechnen. Ebenso können Grenzwerte für Blaulichtgefahr und zu einem gewissen Grad auch für thermische Netzhautschädigung als (lampenspezifische) Lux-Grenzwerte dargestellt werden, so dass eine Bestimmung der Exposition und ein Vergleich mit den Grenzwerten einfach mit einem Luxmeter durchgeführt werden kann. Es muss dazu in den oben angeführten Zusammenhängen die entsprechende photobiologische Bewertungskurve verwendet werden, und der Zusammenhang zwischen Bestrahlungsstärke und Strahldichte berücksichtigt werden. Bei den photochemischen Grenzwerten ist dies am einfachsten und direkt möglich, weil der photochemische Grenzwert nicht von der Ausdehnung der scheinbaren Quelle abhängt (im Gegensatz zum thermischen Netzhautgrenzwert) und für die Bestimmung der photobiologisch effektiven Strahldichte nach dem Stand der Technik ein Mittelungsempfangswinkel definiert ist (siehe z.B. EN 62471 für die Festlegung dieses Mittelungsempfangswinkels, ebenso wie den offiziellen EU Guide [9]). Dieser Artikel beschränkt sich auf die Blaulichtgefahr.

Multipliziert man den Basisgrenzwert von  $10^6 \text{ J}/(\text{m}^2 \text{ sr})$  mit dem von der Expositionsdauer abhängigen Mittelungsempfangswinkel  $\gamma$ , erhält man die in Tabelle 9 gegebenen Expositionsgrenzwerte die nun als Bestrahlung bzw. Bestrahlungsstärke gegeben sind (für eine Herleitung und genauere Diskussion siehe z.B. Schulmeister BIOS [10] bzw. Henderson and Schulmeister [11]).

*Tabelle 9 Grenzwerte für photochemische Netzhautgefährdung, umgerechnet in Bestrahlung bzw. Bestrahlungsstärke*

Expositionsdauer $t$	Expositions-Grenzwert	Mittelungsempfangswinkel $\gamma$
< 100 s	100 J/m <sup>2</sup>	11 mrad
100 – 10 000 s	1 W/m <sup>2</sup>	1,1 $t^{0,5}$ mrad
>10 000 s	1 W/m <sup>2</sup>	110 mrad

Der Vollständigkeit sollte betont werden, dass in der EU Richtlinie (und deshalb auch der VOPST bzw. der OStrV) für künstliche optische Strahlung bezüglich der Messverfahren inkl. der Mittelungsempfangswinkel für die photochemische Netzhautgefährdung für Breitbandstrahlung keine Angaben gemacht werden sondern auf den Stand der Technik verwiesen wird. Der Stand der Technik stellt sich in überwiegender Mehrheit als zeitabhängiger Mittelungswinkel wie in Tabelle 9 gegeben dar (EU Non-binding guide, EU-Richtlinie 2006/25/EG bezüglich Lasergrenzwerte für photochemische Netzhautgefährdung). Mit der nächsten Ausgabe der ICNIRP Grenzwerte ist damit zu rechnen, dass dieser Mittelungsempfangswinkel auch für die Bestimmung der effektiven Strahldichte auch für Breitbandstrahlung in der EU Richtlinie angeführt wird, so wie es bereits derzeit für Laserstrahlung der Fall ist (für Laserstrahlung waren diese Werte auch im ICNIRP Guideline enthalten, was für Breitbandstrahlung nicht in dieser konkreten Form der Fall war, zu dem Zeitpunkt wie die EU Richtlinie entwickelt wurde).

Führt man nun Bestrahlungsstärke-Messungen mit einem wohldefinierten Empfangswinkel  $\gamma$  durch, der gleich groß ist wie der verwendete Mittelungsempfangswinkel zur Berechnung der Werte in Tabelle 9, ist dies eine radiometrisch vollkommen idente Vorgehensweise wie die Messung der Strahldichte mit einem entsprechenden Mittelungsempfangswinkel und dem Vergleich mit dem Strahldichte-Dosisgrenzwert von  $10^6 \text{ J}/(\text{m}^2 \text{ sr})$  [10]. Im Falle der Bestrahlungsstärke stellt der Empfangswinkel jedoch keinen Mittelungswinkel dar, sondern reduziert die gemessene Bestrahlungsstärke für die Fälle, wo die Quelle größer ist als der

Empfangswinkel. Vernachlässigt man also den Empfangswinkel bei der Bestrahlungsstärke-Messung (oder folgend einer entsprechenden Umrechnung, bei der Beleuchtungsstärke-Messung), erhält man einen Messwert, der zu hoch ist, also auf der sicheren Seite liegt. Einen Empfangswinkel von 110 mrad kann man relativ leicht für ein Luxmeter realisieren, in dem man z.B. eine Blende mit 11 mm Durchmesser in 10 cm Entfernung vom Detektor anbringt, oder mit 22 mm Durchmesser in 20 cm Entfernung, was gleichzeitig dem Referenzabstand nach EN 62471 für Speziallampen entspricht. Für Quellen, die weiter entfernt sind, ergibt diese Anordnung zwar keinen wohldefinierten Empfangswinkel [10], jedoch liegt der Messfehler in diesem Fall wieder auf der sicheren Seite, da der Detektor „zu viel sieht“.

Die Spektren der in Abschnitt 5 beschriebenen Kollektion von Lampen wurden auch mit der photochemischen Bewertungsfunktion  $B(\lambda)$  bewertet. Man kann auch hier wieder für jede Lampe die Beleuchtungsstärke in Lux ins Verhältnis setzen mit der  $B(\lambda)$  bewerteten effektiven Bestrahlungsstärke, entsprechende U-Faktoren angeben sowie den Grenzwert von  $1 \text{ W/m}^2$  in der Einheit Lux darstellen.

Tabelle 10 listet die Lampen mit den größten U-Werten, d.h. den niedrigsten Lux-Grenzwerten auf, gemeinsam mit der vom Spektrum berechneten Farbtemperatur. Alle diese Lampen würden noch als „weiß“ beurteilt werden, im Gegensatz von z.B. farbigen LEDs, die weiter unten besprochen werden. Die in der Tabelle angeführten Werte für „Beleuchtungsstärke für  $1 \text{ W/m}^2$  effektiv“ ist jene Beleuchtungsstärke, die bei der entsprechenden Lampe zu einem  $B(\lambda)$  bewerteten Bestrahlungsstärke von  $1 \text{ W/m}^2$  führen würde, also der Grenzwert, der für Bestrahlungsdauern zwischen 100 s und 10 000 s gilt (bei variierendem Empfangswinkel). Der für 10 s Bestrahlungsdauer geltende effektive Bestrahlungsgrenzwert ist  $10 \text{ W/m}^2$  und die entsprechenden „zulässigen Beleuchtungsstärkewerte“ sind daher auch einen Faktor 10 höher als in der Tabelle gelistet. Es muss jedoch berücksichtigt werden, dass die entsprechenden Messungen zum Vergleich mit diesem hier gelisteten „Lux-Grenzwert“ bei Messung mit einem „offenen“ Empfangswinkel, was für Luxmeter der Fall ist, überrestriktiv sein können, nämlich dann, wenn die Quelle im Messabstand größer als der Empfangswinkel ist. Man kann aber anhand der Werte, die alle über 500 lx liegen, erkennen, dass auch bei Messung der Beleuchtungsstärke mit offenem Luxmeter im 500 lx Abstand der photochemische Netzhautexpositionsgrenzwert auch für eine unbeschränkt angenommene Bestrahlungsdauer nicht überschritten wird.

Es ist nicht verwunderlich, dass sich die höchsten U-Werte für jene Lampen ergeben, die die höchste Farbtemperatur, also relativ gesehen den höchsten Blauanteil haben. Die beiden LEDs in den ersten Zeilen haben einen hohen blauen Anteil und eine Farbtemperatur von über 10 000 K (solche LEDs würden nicht für normale Raumbeleuchtung verwendet werden, die erste LED ist eine als einzelne LED gekaufte Hochleistungs-LED, die zweite ist eine LED-Taschenlampe). In Tabelle 11 sind die Lampen mit den niedrigsten U-Werten bezüglich  $B(\lambda)$  Umrechnung gelistet, und man findet hier z.B. in der ersten Zeile eine warmweiße LED mit einem mehr als 4 mal so kleinem U-Wert (oder mehr als 4 mal so hohe zulässige Beleuchtungsstärke) als die kaltweißen LEDs in Tabelle 10. Die zulässigen Beleuchtungsstärkewerte aller Lampen, mit Ausnahme der Natriumdampflampen mit sehr hohen Beleuchtungsstärkewerten, sind in Abbildung 2 über der Farbtemperatur aufgetragen.

Tabelle 10 Lampen geordnet nach photochemischer Netzhaut Wirksamkeit, also nach absteigendem U-Wert zur Umrechnung von Beleuchtungsstärke in  $B(\lambda)$  bewerteter effektiver Bestrahlungsstärke.

Lfd. Nr.	Kategorie	Hersteller	Bezeichnung	Leistg (el.)	für $1 \text{ W/m}^2 B(\lambda)$	U-B	Farb-temp.
				[W]	[lx]	[W/m <sup>2</sup> /lx]	[K]
88	LED	Osram	HighPower LED OSTAR LE-UW-E3B 1000 mA, 1120 lm, weiß	20,5	622	1,61E-03	11699
58	LED	Livarno	LED-Taschenlampe weiß	1	770	1,30E-03	10347
92	CFL	Fair-Kauf	ERU-24W R7S 6400 K, 1300 lm	24	806	1,24E-03	8289
59	Leuchtstoffröhre	Philips	Master TL-D 90 De Luxe 18W/965 1150 lm	18	830	1,20E-03	8033
73	Leuchtstoffröhre	Philips	Master TL5 HE 21W/865 1960 lm	21	858	1,17E-03	7376
27r	CFL	Philips	Tornado CDL 865 Daylight 1450 lm	23	865	1,16E-03	7156
97	Leuchtstoffröhre	Philips	Master TL-D Super 80 18W/865 1300 lm	18	875	1,14E-03	6984
93	CFL	Fair-Kauf	ERU-24W R7S 6400 K, 1300 lm	24	877	1,14E-03	7483
95	Leuchtstoffröhre	Androv-Medical	Vollspektrum-Tageslichtröhre 1200 mm, 6000 K, CRI 95, 2300 lm	36	913	1,09E-03	6677
94	CFL	Androv-Medical	Vollspektrum-Tageslichtlampe 6000 K, CRI 95, 2410 lm	45	993	1,01E-03	6229
91	Halogen-Metaldampflampe	Osram	PowerStar HQI-T 250 W/D PRO Daylight	250	1132	8,84E-04	5464
96	Halogen-Metaldampflampe	Philips	Master HPI-T Plus 250W/645	250	1432	6,98E-04	4118

Tabelle 11 Wie Tabelle 10, jedoch Listung der Lampen mit dem niedrigsten U-Wert bezüglich Umrechnung auf  $B(\lambda)$  Bewertung

Lfd. Nr.	Kategorie	Hersteller	Bezeichnung	Leistg (el.)	für $1 \text{ W/m}^2 B(\lambda)$	U-B	Farb-temp.
				[W]	[lx]	[W/m <sup>2</sup> /lx]	[K]
20	Quarzhalogen	Osram	Haloline ECO 64702 9000 lm	400	3139	3,19E-04	2990
34	Quarzhalogen	Philips	ESline EcoHalo 8000 lm	350	3160	3,16E-04	2989
39	Quarzhalogen	Philips	EcoClassic30 A60 1920 lm	105	3183	3,14E-04	2901
17	Quarzhalogen	Osram	Halogen Classic A ES 64548 A ES	105	3333	3,00E-04	2845
86	Quarzhalogen	LaCultura	12 V, 480 lm, 2750 K	35	3352	2,98E-04	2825
78	Quarzhalogen	Osram	Halostar 64440 S 12 V	50	3445	2,90E-04	2784
56	LED	Philips	Econic 6 W, WarmWhite, 220-240 V	6	3468	2,88E-04	2770
16	Quarzhalogen	Osram	Decostar 51 Superstar 46870 WFL 12 V 36°	50	3559	2,81E-04	2890
15	Quarzhalogen	Osram	Ministar Axial-Reflektor	35	3600	2,78E-04	2763
82	Glühlampe	Osram	Classic A CL 60 230 V 710 lm	60	3646	2,74E-04	2727
79	Quarzhalogen	Osram	Halostar Eco 64432 12 V 2900 K	35	3661	2,73E-04	2737
51	LED	16east	LEDlight Warmwhite 2700-3300 K 120 lm	3	3689	2,71E-04	2855
80	Quarzhalogen	Osram	Decostar 51 EnergySaver 12 V	35	3703	2,70E-04	2812
38r	Glühlampe	Philips	A55 710 lm	60	3749	2,67E-04	2716
19	Quarzhalogen	Osram	Halopar 16 ALU Superstar 64831	20	4161	2,40E-04	2591
21	Glühlampe	Osram	Concentra PAR38 Flood	80	4208	2,38E-04	2599
35	Quarzhalogen	Philips	Brilliant Halogen	35	4325	2,31E-04	2574
72	Glühlampe	Osram	Concentra Spot R63 SP 60, 30°	60	4372	2,29E-04	2552
37	Glühlampe	Philips	Spot NR80	100	4671	2,14E-04	2501
61	Quarzhalogen	Philips	EcoClassic30 R80	70	4725	2,12E-04	2472
112a	Natriumdampflampe	Osram	Vialox NAV-E/I 70 W	70	9234	1,08E-04	1896
110a	Natriumdampflampe	Philips	SON Pro 70W I	70	10234	9,77E-05	1877

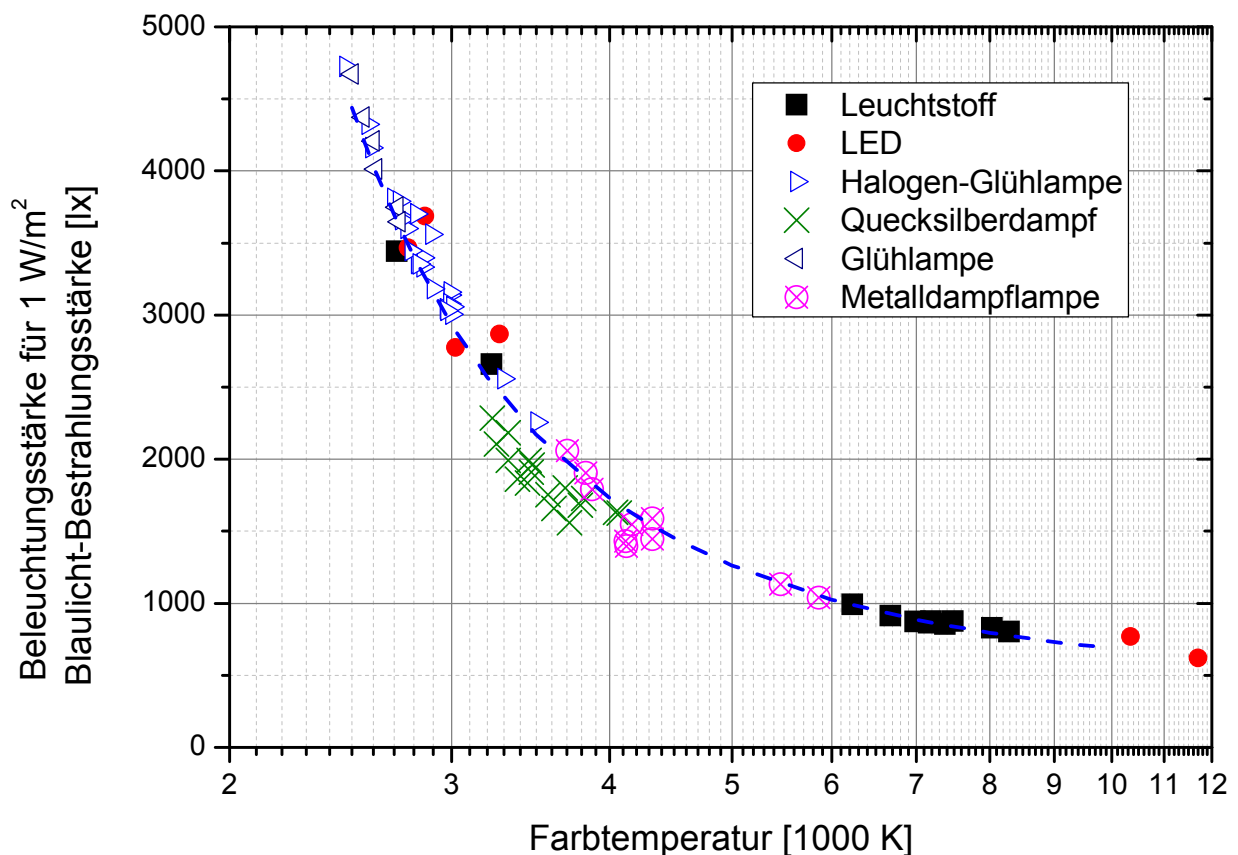


Abb. 2 Zulässige Beleuchtungsstärke zur Erreichung von  $1 \text{ W/m}^2$  effektiv  $B(\lambda)$  bewertet als Funktion der berechneten Farbtemperatur der Lampe.

In Abbildung 2 ist eine Anzahl von Lampen zu erkennen, die gut auf einer Trendlinie liegen, beginnend bei niedrigen Farbtemperaturen und Glühlampen (inkl. Halogenglühlampen). Dies ist auch die Trendlinie, die sich für das Spektrum eines Plank'schen schwarzen Strahlers ergibt und eingezeichnet ist.

In einem AUVA Projekt zur Erarbeitung eines vereinfachten Bewertungsschemas für LEDs [12] wurden Umrechnungsfaktoren berechnet, aus denen Blaulicht-Expositionsgrenzwerte als Beleuchtungsstärkewerte auch für farbige LEDs abgeleitet werden können, Tabelle 12. Bei dieser Herleitung wurde die für die Blaulichtbewertung durch eine Simulation gefundene restriktivste spektrale Verteilung verwendet, die man noch subjektiv als zur entsprechenden Farbgruppe gehörig einteilen würde. Der für weiße LEDs gefundene U-Wert von  $0,0021 \text{ W/m}^2/\text{lx}$  als restriktivster Wert für eine LED mit einem besonders hohen blauen Anteil passt auch gut mit dem Wert von  $0,0016 \text{ W/m}^2/\text{lx}$  zusammen, der in der Tabelle 10 oben als Ergebnis der Messungen gefunden wurde. Für Dauerbestrahlung ergibt sich ein Beleuchtungsstärkewert, der etwas niedriger ist als  $500 \text{ lx}$  ( $440 \text{ lx}$ ), jedoch ist auch hier wieder zu berücksichtigen, dass zum Vergleich mit diesem Wert ein Empfangswinkel von  $110 \text{ mrad}$  verwendet werden soll. Für  $10 \text{ s}$  Bestrahlungsdauer ergibt sich ein zulässiger Beleuchtungsstärkewert von  $4440 \text{ lx}$  (bei einem Empfangswinkel von  $11 \text{ mrad}$ ). Man könnte also als vereinfachten und absichtlich niedrig angesetzten Lux-Grenzwert generell für

„weiße“ Quellen (inklusive jene mit sehr hohem Blauanteil) einen Wert von 4000 lx verwenden für eine angenommene Bestrahlungsdauer von 10 s mit einem Empfangswinkel von 11 mrad (den man jedoch auch vernachlässigen kann für eine vereinfachte Messung), bzw. 400 lx für Dauerbestrahlung mit 110 mrad Empfangswinkel. Es sei jedoch betont, dass diese Werte nur für extrem hohe Farbtemperaturen, also sehr kalt-weißes, blautichiges Licht so niedrig sind, und für LEDs mit Farbtemperaturen von ca. 11 600 Kelvin (also sehr kalt-weiß) auch schon bei über 600 lx liegen.

*Tabelle 12. Beleuchtungsstärkewerte, die für eine restriktiv angenommene spektrale Verteilung einen  $B(\lambda)$  effektiven Bestrahlungsstärkewert von  $1 \text{ W/m}^2$  ergeben (dritte Spalte) sowie in der vierten Spalte die entsprechenden U-Werte (in diesem Fall der Kehrwert der dritten Spalte).*

Farbgruppe	Bereich des „Peaks“	Beleuchtungsstärke, die mit $B(\lambda)$ Bewertung $1 \text{ W/m}^2$ effektiv ergibt [lx]	U-Wert zur Umrechnung von Lux in $E_B$ [ $\text{W/m}^2/\text{lx}$ ]
Gelb	$571 < \lambda \leq 600$	46000	0,00002
Grün	$501 < \lambda \leq 570$	1200	0,00082
Blau	$451 < \lambda \leq 500$	27	0,038
Violett	$380 < \lambda \leq 450$	2	0,53
<b>Weiß</b>	<b><math>380 &lt; \lambda \leq 780</math></b>	440	0,0023

Für blaue und violette LEDs ist jener Beleuchtungsstärkewert, der eine  $B(\lambda)$  bewertete Bestrahlungsstärke von  $1 \text{ W/m}^2$  ergibt, naturgemäß deutlich geringer als für weiße Quellen. Für grüne und gelbe LEDs ist die entsprechende Beleuchtungsstärke wiederum entsprechend hoch, für rote und IR-LEDs ist kein sinnvoller Wert bezüglich  $B(\lambda)$ -Bewertung anzugeben. Für diesen Spektralbereich ist der thermische Netzhaut-Grenzwert anzuwenden, dieser wird jedoch mit der derzeitigen Technologie von LEDs nicht erreicht [12].

## 9. Zusammenfassung

Durch die systematische Vermessung von einer großen Anzahl von Lampen war es möglich, die Basis für eine möglichst einfache Gefährdungsbeurteilung für die Bestrahlung durch Ultraviolett-Strahlung am Arbeitsplatz zu schaffen. Es konnte gezeigt werden, dass bei üblichen Bestrahlungsgeometrien am Arbeitsplatz die UV-Expositionsgrenzwerte für die Augen und die Haut nicht überschritten werden. Dies stellt die Basis dafür dar, dass Beleuchtung am Arbeitsplatz keiner tiefergehenden Evaluierung zugeführt werden muss, was einen entsprechenden Aufwand erspart. Bei speziellen Tätigkeiten in der Nähe von manchen Lampentypen, z.B. bei Wartung wenn die Lampe nicht ausgeschaltet wird, kann es je nach Abstand, Bestrahlungsdauer und Lampentyp zu einer Überschreitung der Grenzwerte kommen. Die erarbeiteten Verhältniszahlen zwischen Beleuchtungsstärke und UV-effektive Bestrahlungsstärke können in diesem Fall für eine vereinfachte Evaluierung mit Hilfe eines Luxmeters verwendet werden. Mit diesem Verhältnis ist es möglich, die Expositionsgrenzwerte für UV-Strahlung als Beleuchtungsstärke in den Einheiten Lux anzugeben. Ein entsprechendes Verhältnis wurde auch zwischen der Beleuchtungsstärke und der  $B(\lambda)$ -bewerteten Bestrahlungsstärke zum Vergleich mit dem photochemischen Netzhaut-expositionsgrenzwert ermittelt. Der Strahldichte-Grenzwert wurde nach dem Stand der Technik in Bestrahlungsstärkewerte umgerechnet, die wiederum je nach Lampenspektrum in einen Beleuchtungsstärke-Grenzwert umgerechnet werden können.

## 10. Literaturverzeichnis

- [1] Verordnung über den Schutz der Arbeitnehmer/innen vor der Einwirkung durch optische Strahlung (Verordnung optische Strahlung – VOPST), 8. Juli 2010, Internet: <http://www.arbeitsinspektion.gv.at/NR/rdonlyres/0FE4CEB1-6FFC-4BA4-9634-F97A7A51DFFF/0/VOPST.pdf>
- [2] Verordnung zum Schutz der Beschäftigten vor Gefährdungen durch künstliche optische Strahlung (OStrV), BGBl. I S. 960, 19. Juli 2010, Internet: <http://bundesrecht.juris.de/bundesrecht/ostrv/gesamt.pdf>
- [3] ÖVE/ÖNORM EN 62471:2009: Photobiologische Sicherheit vom Lampen und Lampensystemen. Österreichischer Verband für Elektrotechnik, Österreichisches Normungsinstitut, Wien, 2009
- [4] Vereinfachte Beurteilung einer möglichen Überschreitung der Grenzwerte für optische Breitband-Strahlung auf Basis des Blendungseindruckes und der Oberflächentemperatur, Weber M, Schulmeister K, Kitz E, Brusl E, dieser Tagungsband
- [5] Künstliche optische Strahlung – Evaluierung der biologischen Gefahren von Lampen und Lasern; Österreichische Arbeitsschutzstrategie, Bundesministerium für Arbeit, Soziales und Konsumentenschutz, Wien, Juli 2010
- [6] Schulmeister K, Buberl A, Weber M, Brusl H, Kitz E, Optische Strahlung: Ultraviolett-Strahlungsemission von Beleuchtungsquellen, AUVA Report 55, AUVA, Wien, 2011.
- [7] Weber M, Schulmeister K, Brusl H, Kitz E, Optische Strahlung: Sichtbare und Infrarotstrahlung, AUVA Report 52, AUVA, Wien, 2011.
- [8] Halperin W, Altman R, Black K, Marshall FJ, Goldfield M. Conjunctivitis and skin erythema. Outbreak caused by a damaged high-intensity lamp. JAMA. 1978 Oct 27; 240(18):1980-1.
- [9] Non-binding guide to good practice for implementing Directive 2006/25/EC, EC 2011, page 55
- [10] Schulmeister K, Concepts of dosimetry related to laser safety and optical radiation hazard evaluation, SPIE Vol 4246, pp 104-116, San Jose 2001, Ed Stuck and Belkin
- [11] Henderson R and Schulmeister K, Laser Safety, Taylor & Francis, New York, London, 2004
- [12] Veas G, Schulmeister K, Kitz E, Brusl H, Gesundheitsrisiken durch neuartige Hochleistungs-Leuchtdioden (LED), AUVA Report 51, AUVA, Wien 2010; sowie Merkblatt AUVA M83 „Optische Strahlung – Sicherheitsbeurteilung von LEDs – sichtbare Strahlung“.