

Inhalt

1 Zweck des Merkblatts	2
2 Was ist sichtbares Licht und Infrarotstrahlung?	3
3 Größen und Einheiten	5
4 Wie wirken sichtbares Licht und Infrarotstrahlung auf den Menschen?	9
5 Welche Richtlinien und Grenzwerte gilt es zu berücksichtigen?	15
6 Wie kann ich feststellen, ob am Arbeitsplatz eine Gefährdung durch Licht oder IR-Strahlung besteht?	19
7 Bei welchen Quellen kann eine Grenzwertüberschreitung durch Licht und IR-Strahlung auftreten?	34
8 Besteht ein Zusammenhang zwischen Hitzebelastung und optischer Strahlung?	38
9 Abkürzungen	41
10 Literatur	43

1 Zweck des Merkblatts

Evaluieren von Arbeitsplätzen hinsichtlich sichtbarem Licht und Infrarotstrahlung

In der Verordnung Optische Strahlung (VOPST) sind Grenzwerte für ultraviolette Strahlung (UV), sichtbares Licht (VIS) und Infrarotstrahlung (IR) festgelegt. Sie gelten in Arbeitsstätten, auf Baustellen und an auswärtigen Arbeitsstellen. Dieses Merkblatt behandelt die Bereiche sichtbares Licht und Infrarotstrahlung.

ArbeitnehmerInnen (AN) sollen dadurch vor einer übermäßigen Exposition durch optische Strahlung am Arbeitsplatz geschützt werden.

In der Praxis gibt es zahlreiche Arbeitsplätze, an denen sichtbares Licht und Infrarotstrahlung in einem überdurchschnittlichen Maß auftreten, wie zum Beispiel bei Schmelzbädern in der metallverarbeitenden Industrie (IR und VIS) aber auch in Krankenhäusern (VIS aufgrund von OP-Leuchten).

Dieser Ratgeber soll Ihnen helfen, folgende Fragen zu beantworten:

- Was ist sichtbares Licht und Infrarotstrahlung?
- Wie wirken sichtbares Licht und Infrarotstrahlung auf den Menschen?
- Welche Grenzwerte/Richtlinien sind für Arbeitsplätze zu berücksichtigen?
- An welchen Arbeitsplätzen/bei welchen Quellen treten sichtbares Licht und Infrarotstrahlung überdurchschnittlich stark auf?
- Wie kann ich möglichst einfach feststellen, ob am Arbeitsplatz eine mögliche Gefahr durch sichtbares Licht bzw. Infrarot-Strahlung gegeben ist?
- Besteht ein Zusammenhang zwischen Hitzebelastung und Belastung durch optische Strahlung am Arbeitsplatz?

Anmerkung: Für optische Strahlung gibt es die Merkblattreihe M 083 – M 086. Sie umfasst die Strahlungsarten UV, sichtbares Licht und Infrarotstrahlung. Laserstrahlung wird in den Merkblättern M 080 – M 082 behandelt.

2 Was ist sichtbares Licht und Infrarotstrahlung?

Sichtbares Licht (kurz „Licht“) ist jene Strahlung im elektromagnetischen Spektrum, die für unsere Augen visuell als Seheindruck wahrnehmbar ist. Innerhalb des elektromagnetischen Spektrums ist das sichtbare Licht im Wellenlängenbereich 380 nm bis 780 nm angesiedelt.

Unterteilt man das Licht in seine Bestandteile, so erhält man eine Vielzahl an Spektralfarben: Blau – Grün – Gelb – Orange – Rot. Bei kurzwelligem Licht nahe 380 nm handelt es sich um die Farbe Violett, diese Farbe geht dann fließend in die Farbe Blau über (siehe Abbildung 1). Grünes Licht nehmen wir besonders gut wahr, da unsere Photorezeptoren (Zapfen) auf der Netzhaut für diese Wellenlängen am empfindlichsten sind. Bei langwelligem Licht spricht man von der Farbe Rot.

Infrarotstrahlung (kurz IR-Strahlung) ist jene Strahlung im elektromagnetischen Spektrum, die wellenlängenmäßig an das rote Licht anschließt und vom menschlichen Auge nicht mehr wahrgenommen werden kann. Infrarotstrahlung wird im Allgemeinen auch als Wärmestrahlung bezeichnet, da diese Strahlung beim Auftreffen auf Gewebe (z. B. Haut) in Wärme umgewandelt wird. Im elektromagnetischen Spektrum ist die Infrarotstrahlung im Wellenlängenbereich von 780 nm bis 1 mm angesiedelt (siehe Abbildung 1).

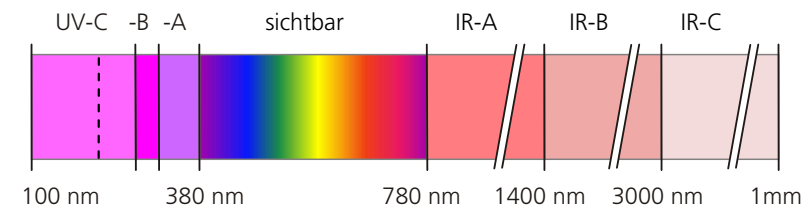


Abb. 1: Spektrum der optischen Strahlung.

Infrarotstrahlung wird wegen der unterschiedlichen optischen Eindringtiefe ins Auge bzw. Gewebe in drei Bereiche unterteilt:

- Infrarot-A (IR-A): Wellenlängenbereich 780 nm – 1400 nm
- Infrarot-B (IR-B): Wellenlängenbereich 1400 nm – 3000 nm
- Infrarot-C (IR-C): Wellenlängenbereich 3000 nm – 1 mm

Sichtbares Licht (VIS) und Infrarotstrahlung (IR) werden gemeinsam mit der Ultraviolett-Strahlung (UV, 100 nm – 400 nm^{a)}) unter dem Begriff „Optische Strahlung“ zusammengefasst, da diese Strahlung durch optische Hilfsmittel wie z. B. Spiegel, Prismen oder Gitter manipulierbar ist.

Das vorliegende Merkblatt widmet sich ausschließlich der Bestrahlung durch Licht sowie IR-Strahlung auf Arbeitsplätzen. Die UV-Strahlungsbelastung auf Arbeitsplätzen wird bereits durch die Merkblätter M 013 und M 014 [1, 2] abgedeckt.

^{a)} Der Wellenlängenbereich zwischen 380 nm und 400 nm wird sowohl dem UV als auch dem sichtbaren Licht zugeordnet.

3 Größen und Einheiten

Zum besseren Verständnis des Merkblattes ist es hilfreich, die in Tabelle 1 angeführten photometrischen und radiometrischen Größen sowie deren Einheiten zu kennen.

Tabelle 1: Radiometrische Größen und Einheiten sowie korrespondierende lichttechnische (photometrische) Größen und Einheiten.

Radiometrische Größe	Zeichen	Einheit	Photometrische Größe	Zeichen	Einheit
Bestrahlungsstärke	E_e	W/m^2	Beleuchtungsstärke	E_v	lx
Strahldichte	L_e	$W/(m^2 \cdot sr)$	Leuchtdichte	L_v	cd/m^2
Bestrahlung (Dosis)	H_e	J/m^2	Belichtung	H_v	lx·s

Anmerkung: Der Index „v“ kennzeichnet die photometrischen Größen, der Index „e“ wird für die radiometrischen Größen verwendet. In diesem Merkblatt werden vorwiegend die radiometrischen Größen verwendet und daher der Index „e“ nicht angeschrieben. Bei Unklarheiten erkennt man an der Einheit, um welche Größe es sich handelt.

Radiometrische Größen bilden die physikalische Grundlage. Sie umfassen den gesamten Spektralbereich der optischen Strahlung von 100 nm bis 1 mm. Dem gegenüber dienen die photometrischen Größen zur Beschreibung der Stärke einer Lichtquelle, wobei die Empfindlichkeit des menschlichen Auges mitberücksichtigt wird. Diese Augenempfindlichkeit ist durch die sogenannte $V(\lambda)$ -Funktion genormt und ist auf den Bereich des sichtbaren Lichts beschränkt ($380 \text{ nm} \leq \lambda \leq 780 \text{ nm}$).

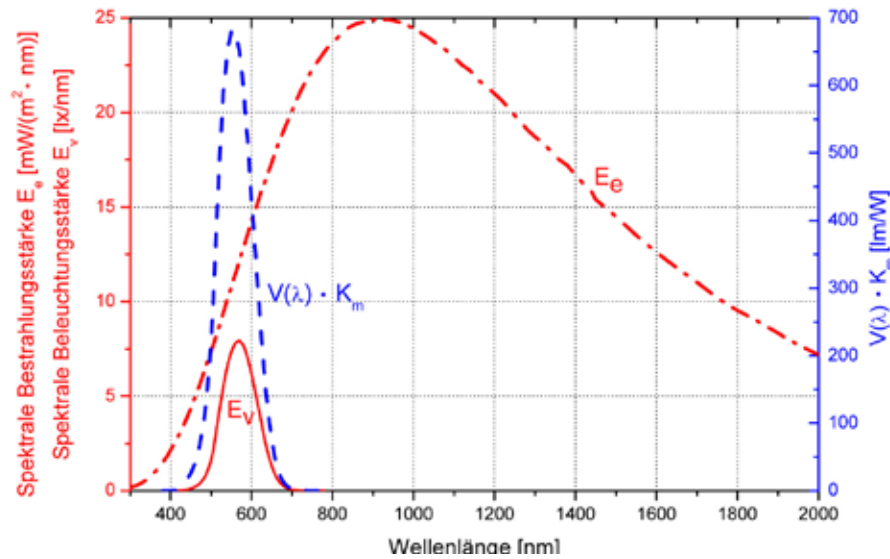


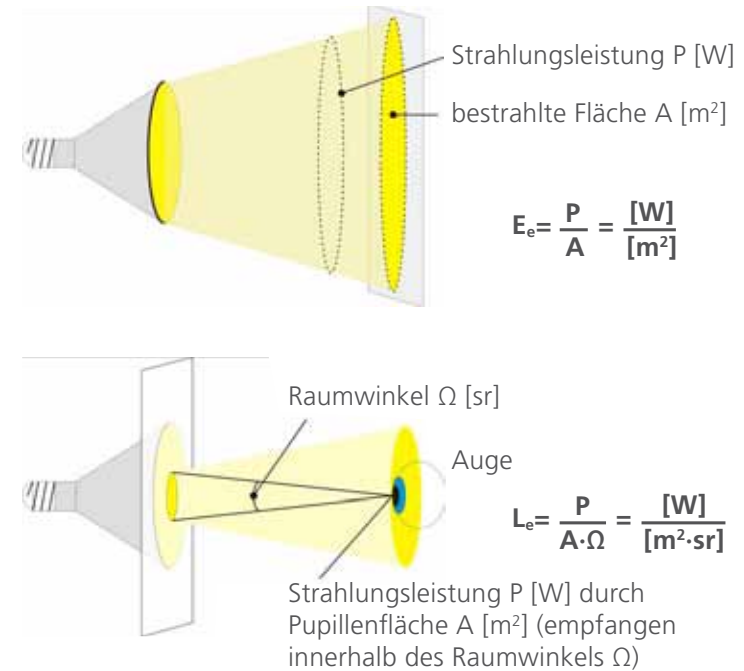
Abb. 2: Kennt man die spektrale Bestrahlungsstärke E_e (Einheit $W/(m^2 \cdot nm)$) einer Quelle, wie z. B. einer Quarz-Halogenlampe (rot strichpunktierter Graph), so erhält man durch Multiplikation von E_e mit dem spektralen Hellempfindlichkeitsgrad $V(\lambda)$ und dem photometrischen Strahlungsäquivalent K_m (das Produkt $V(\lambda) \cdot K_m$ ist durch den blau strichlierten Graphen dargestellt und hat die Einheit lm/W) die spektrale Beleuchtungsstärke E_v (roter Graph, Einheit lx/nm). Die Fläche unter E_v entspricht der Beleuchtungsstärke der Lampe (Einheit lx).

Bestrahlungsstärke E_e

Die Bestrahlungsstärke E_e ist die Strahlungsleistung, die auf eine bestimmte Fläche auftrifft. Trifft eine Leistung von 4 Watt auf eine Fläche von 0,5 m^2 , so beträgt die Bestrahlungsstärke 8 W/m^2 .

Strahldichte L_e

Die Strahldichte L_e ist definiert als abgestrahlte Leistung je Raumwinkel Ω (Einheit des Raumwinkels: Steradian $[sr]$) und Strahlerfläche. Die Strahldichte ist eine von der Entfernung unabhängige Größe des Strahlers und hat die Einheit



$W/(m^2 \cdot sr)$. Der Unterschied zwischen Strahldichte L_e und Bestrahlungsstärke E_e ist in Abbildung 3 grafisch dargestellt.

Abb. 3: Grafische Darstellung der Bestrahlungsstärke E_e (Grafik oben) sowie der Strahldichte L_e (Grafik unten). Die Strahldichte kann auch als Bestrahlungsstärke auf dem Auge (Pupille des Auges) dividiert durch den Raumwinkel Ω (Winkel, unter dem das Auge einen Teil der Quelle sieht) gesehen werden.

Beleuchtungsstärke E_v

Die Beleuchtungsstärke E_v ist die auf eine Fläche auftreffende Bestrahlungsstärke gewichtet mit der Wirkungsfunktion $V(\lambda)$ und K_m .

Beispiele:

Sonnenschein (mittags)	bis 100.000 lx
Büroarbeitsplatz	500 - 1.000 lx
Klare Vollmondnacht	0,2 lx

Leuchtdichte L_v

Die Leuchtdichte L_v ist das Maß für die Helligkeit einer Lichtquelle. Das menschliche Auge empfindet Leuchtdichteunterschiede als Helligkeitsunterschiede.

Die Leuchtdichte ist eine von der Entfernung unabhängige Größe mit der Einheit cd/m^2 .

Beispiel:

Sonne	ca. $109 \text{ cd/m}^2 = 109 \text{ lm}/(\text{m}^2 \cdot \text{sr})$
Weißer LED	ca. $106 \text{ cd/m}^2 = 106 \text{ lm}/(\text{m}^2 \cdot \text{sr})$
100 W Glühbirne (matt)	ca. $106 \text{ cd/m}^2 = 106 \text{ lm}/(\text{m}^2 \cdot \text{sr})$
Leuchtstofflampe	ca. $104 \text{ cd/m}^2 = 104 \text{ lm}/(\text{m}^2 \cdot \text{sr})$

Während die Bestrahlungsstärke und die Beleuchtungsstärke eine Eigenschaft der bestrahlten Fläche beschreiben, beziehen sich Strahldichte und Leuchtdichte auf die Quelle selbst (siehe auch Abbildung 3).

4 Wie wirken sichtbares Licht und Infrarotstrahlung auf den Menschen?

Licht und Infrarotstrahlung sind für den Menschen absolut lebensnotwendig. Das Licht ermöglicht uns das Sehen und das Wahrnehmen unserer Umwelt. Ein gewisses Maß an Infrarotstrahlung sorgt für unser Wohlbefinden in Form von Wärme.

Eine zu hohe Belastung durch Licht bzw. IR-Strahlung kann jedoch zu ernsthaften Schäden an Augen und Haut führen. Die Wirkung hängt von den Eigenschaften des bestrahlten Gewebes ab. Man unterscheidet zwischen zwei grundlegenden Schädigungsmechanismen:

Photochemische Schädigung

Bei der photochemischen Schädigung ist die vom Gewebe aufgenommene Dosis ($H = E \cdot t = [\text{W}/\text{m}^2] \cdot [\text{s}] = [\text{J}/\text{m}^2]$) entscheidend (siehe Abbildung 4). Die Belastung hat kumulativen Charakter. Das Ausmaß der Belastung ist daher umso größer, je länger die Bestrahlungsdauer und je größer die Bestrahlungsstärke bzw. Strahldichte sind. Die photochemische Schädigung tritt vor allem auf, wenn blaues Licht auf die Netzhaut fällt und wenn die Hornhaut des Auges bzw. die Haut von UV-Strahlung bestrahlt werden.

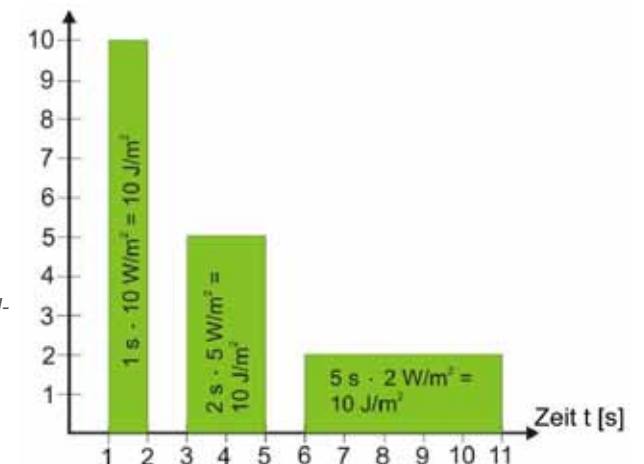


Abb. 4: Der Arbeitnehmer erhält 3 gleich große Einzeldosen von 10 J/m^2 , insgesamt also eine Dosis von 30 J/m^2 . Die Gesamtdosis wird über einen 8-h-Arbeitstag berechnet.

■ **Thermische Schädigung**

Die entscheidende Größe bei der thermischen Schädigung ist die Temperaturerhöhung im bestrahlten Gewebe. Wird im Gewebe eine bestimmte Temperatur überschritten, kommt es zur Schädigung.

Weiters unterscheidet man zwischen

■ **Akuten Schäden**

Treten nach einmaliger zu hoher Strahlungsbelastung auf (z. B. thermische Schädigung der Netzhaut).

■ **Langzeiteffekten**

Treten nach oftmaliger Exposition erst nach Jahren auf (z. B. Infrarot-Katarakt – „Glaskörperstar“)

4.1 Eindringtiefe von Licht und IR-Strahlung

Die Wirkmechanismen des Lichts und der IR-Strahlung sind von der Wellenlänge λ abhängig. Eine Übersicht dazu zeigt Abbildung 5.

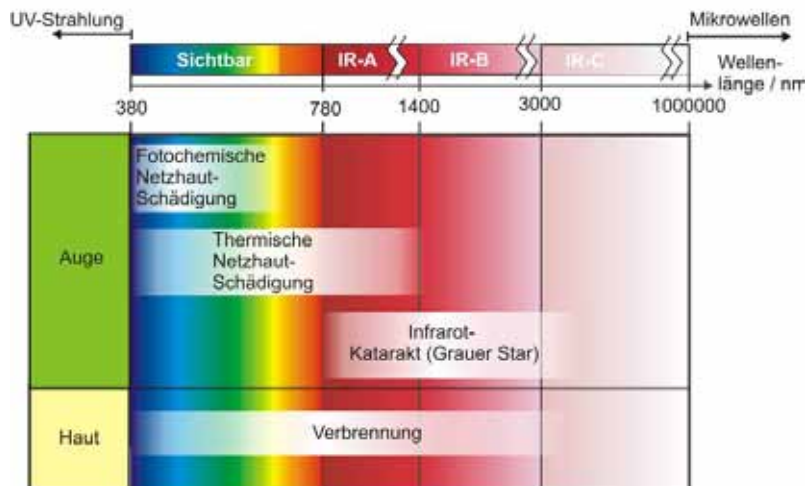


Abb. 5: Negative Wirkungen des Lichts und der IR-Strahlung auf Auge und Haut.

Licht und IR-Strahlung können nur in jenem Gewebe ihre biologische Wirkung entfalten bzw. Schäden verursachen, in dem sie absorbiert werden. Ein Maß für die Absorption ist die Eindringtiefe. Die Eindringtiefe der IR-Strahlung wird hauptsächlich durch die Absorption des Wassers im Gewebe bestimmt. Die Eindringtiefe in die Haut und ins Auge ist im IR-A-Bereich am größten. Die vorderen Augenmedien und der Glaskörper des Auges sind soweit durchlässig, dass die IR-A-Strahlung die Netzhaut erreicht. Ab 1400 nm erreicht nur mehr sehr wenig Strahlung die Netzhaut. Infolge der erhöhten Absorption durch Wasser nimmt die Eindringtiefe der IR-B-Strahlung mit zunehmender Wellenlänge deutlich ab. IR-B-Strahlung erreicht die Netzhaut des Auges nicht mehr.

Die IR-C-Strahlung wird bei Auge und Haut direkt an der Oberfläche absorbiert. Die Eindringtiefe für sichtbares Licht und Infrarotstrahlung bezüglich Haut und Augen sind in den Abbildungen 6 und 7 grafisch dargestellt.

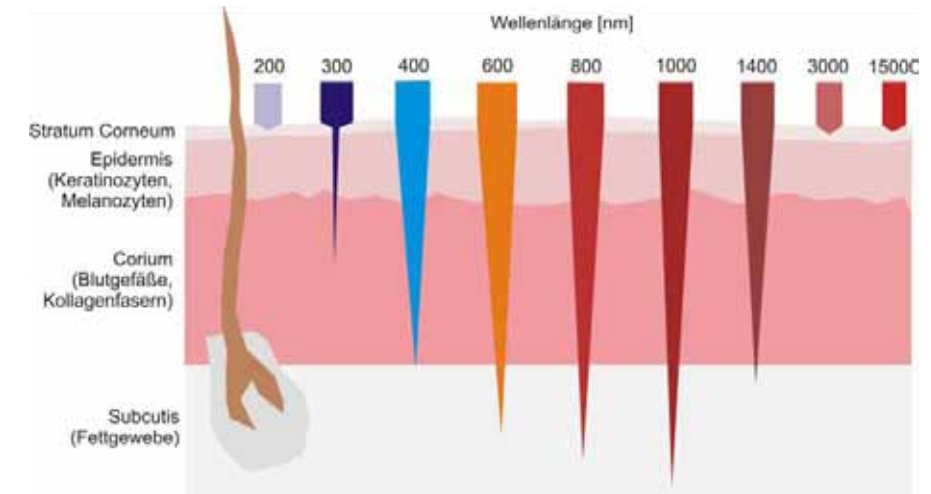


Abb. 6: Eindringtiefe von optischer Strahlung in die Haut. Die Strahlung erreicht die maximale Eindringtiefe bei rund 1000 nm.

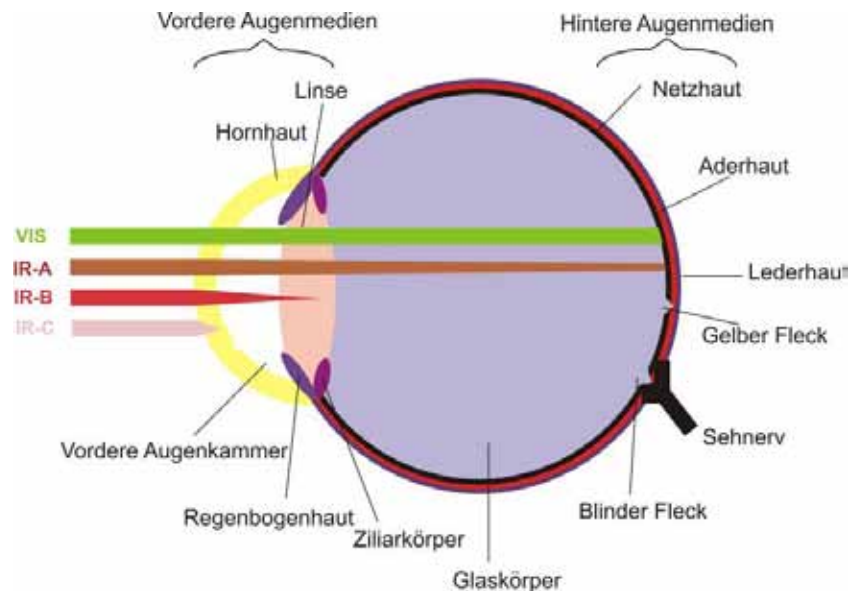


Abb. 7: Eindringtiefe von Licht und IR-Strahlung ins Auge. Licht und IR-A-Strahlung gelangen bis auf die Netzhaut, wo sich die Sehzellen befinden. Eine Schädigung dieser Zellen ist irreversibel!

4.2 Wirkung auf die Haut

Bei sehr intensivem Licht bzw. intensiver IR-Strahlung kann die Haut so schnell und stark erhitzt werden, dass es zu Verbrennungen kommt. Eine Verbrennung durch Strahlung, d. h. ohne direkten Kontakt mit einer heißen Oberfläche, tritt aber äußerst selten auf. Bevor es zur Verbrennung kommt, wird der Hitzeschmerz so groß, dass man sich normalerweise von der Quelle entfernt. Ein Risiko besteht nur, wenn die Empfindung von Hitzeschmerz eingeschränkt ist, z. B. bei Einnahme von Medikamenten, die die Schmerzempfindung unterdrücken.

4.3 Wirkung auf die Augen

4.3.1 Thermische Schädigung der Netzhaut

Die thermische Schädigung der Netzhaut beruht auf der Überhitzung der Netzhaut durch Absorption der auftreffenden Strahlungsleistung. Welche Auswirkung die Temperaturerhöhung auf das Gewebe hat, hängt von der erreichten Temperatur ab. Voraussetzung für eine irreversible Schädigung (z. B. Gerinnung von Eiweiß) ist das Überschreiten einer kritischen Temperatur. Die Schädigung erfolgt in der Regel unmittelbar, d. h. die dafür notwendigen Einwirkzeiten sind sehr kurz. Thermische Schädigungen der Netzhaut sind hauptsächlich durch Laser bekannt, bei Lampen und heißen Quellen (z. B. Schmelzen) ist die Leistung nicht ausreichend, um thermische Netzhautschäden hervorzurufen zu können.

4.3.2 Photochemische Schädigung der Netzhaut

Die photochemische Schädigung der Netzhaut ist im Gegensatz zur thermischen Schädigung das Resultat einer spezifischen Absorption von hochenergetischem Licht, wobei dann in den Zellen toxische chemische Veränderungen stattfinden. Im sichtbaren Bereich ist das der Blauanteil der Strahlung. Die photochemische Gefährdung der Netzhaut wird daher auch Blaulichtgefahr genannt.

Bei kurzer Einwirkungsdauer (< 10 s) tritt allerdings eher eine thermische Schädigung der Netzhaut auf.

Photochemische Schädigungen können zum Beispiel als Folge nach zu langem, absichtlichem Starren in eine extrem helle Lichtquelle (die aber stark blendet) auftreten. Beispiele für derartige Quellen sind die Sonne im Sommer zu Mittag, starke Entladungslampen (z. B. Xenon-Kurzbogenlampen) oder Schweißplasma. Ein kurzer Blick in eine helle Quelle ist normalerweise nicht schädlich.

Die Schädigung der Netzhaut ist irreversibel, d. h. es kommt zu einem Verlust der Sehleistung.

4.3.3 Thermische Schädigung der Linse (Grauer Star)

Trifft intensive IR-Strahlung auf das Auge und erwärmt regelmäßig über Jahre hinweg die Augenlinse, kann dies zu vorzeitiger Linsentrübung (Grauer Star; IR-Katarakt) führen. Da dies früher häufig bei Glasbläsern vorgekommen ist, wird diese Schädigung auch „Glasbläserstar“ genannt. Die Katarakt ist die häufigste Ursache für Erblindung weltweit und kann nur operativ entfernt werden, indem die Augenlinse durch eine künstliche Linse ersetzt wird. Der Graue Star kann übrigens auch durch übermäßige, chronische UV-Strahlung oder falsche Ernährung (z. B. Mangel an Vitaminen/Antioxidantien aufgrund einseitiger Ernährung) ausgelöst werden.

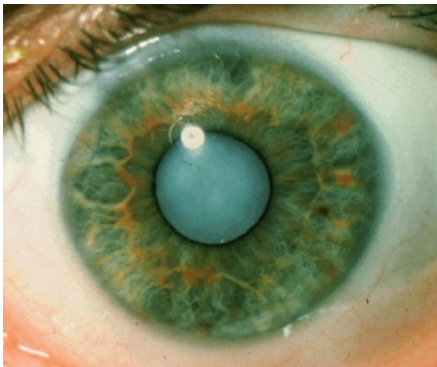


Abb. 8: Trübung der Augenlinse - Grauer Star
(Foto reproduziert mit freundlicher Genehmigung der University of Michigan - Kellogg Eye Center).

5 Welche Richtlinien und Grenzwerte gilt es zu berücksichtigen

Um die Entstehung von Schäden des Auges und der Haut zu verhindern, wurden von der internationalen Strahlenschutz-Kommission ICNIRP Grenzwerte empfohlen [3]. Die EU hat diese Grenzwerte in die Richtlinie 2006/25/EG übernommen. In Österreich sind diese Grenzwerte verbindlich in der Verordnung Optische Strahlung (VOPST) umgesetzt. Die Bestrahlung der AN am Arbeitsplatz darf die in Kapitel 5.1 angeführten Grenzwerte für Licht und IR-Strahlung nicht überschreiten.

5.1 Grenzwerte



Grenzwerte bezüglich Haut

Thermische Gefährdung

H_{Haut} , E_{Haut}

Zu beachten:

- Wellenlängenbereich: 380 nm bis 3000 nm
- Definition Grenzwert: $H_{\text{Haut}} = 20000 \cdot t^{0,25} \text{ J/m}^2$
→ $E_{\text{Haut}} = 20000 \cdot t^{-0,75}$
- Zeit t nur definiert bis maximal 10 s¹⁾, für $t = 10 \text{ s}$:
 $H_{\text{Haut}} = 35566 \text{ J/m}^2 = 20000 \cdot t^{0,25}$
- Grenzwert als Bestrahlungsstärke:
Für $t = 10 \text{ s}$: $E_{\text{Haut}} = 3557 \text{ W/m}^2$
Für $t = 1 \text{ s}$: $E_{\text{Haut}} = 20000 \text{ W/m}^2$

1) Der Grenzwert ist nur für eine maximale Expositionsdauer von $t = 10 \text{ s}$ definiert. Aufgrund des auftretenden Hitzeschmerzes (natürliche Abwendreaktion) bei hohen Bestrahlungsstärken begibt man sich normalerweise bei längeren Expositionen ($t > 10 \text{ s}$) aus dem Strahlungsfeld. Bei Unterdrückung des Hitzeschmerzes (z. B. durch Medikamente) ist jedoch eine Verbrennung der Haut möglich.

Grenzwerte bezüglich Netzhaut



Blaulichtgefahr L_B, E_B
(Netzhaut photochemisch)
Wirkungsspektrum $B(\lambda)$

Thermische Netzhautgefahr L_R
Wirkungsspektrum $R(\lambda)$

Quellengröße

Sichtbarkeit der Quelle

Quelle groß
 $\alpha^{(2)} \geq 11 \text{ mrad}$

Quelle klein
 $\alpha^{(2)} < 11 \text{ mrad}$

Quelle emittiert
deutlich sichtbares
Licht ($L_v \geq 10 \text{ cd/m}^2$)

Quelle emittiert
kaum sichtbares Licht –
schwacher visueller Reiz
($L_v < 10 \text{ cd/m}^2$)⁽⁴⁾

Zu beachten:

- Wellenlängen:
 $\lambda = 300 - 700 \text{ nm}$
- Grenzwert L_B :
 $t > 10000 \text{ s}$:
 $L_B = 100 \text{ W/(m}^2 \cdot \text{s)}$
 $t \leq 10000 \text{ s}$:
 $L_B = 106/t \text{ W/(m}^2 \cdot \text{s)}$

Zu beachten:

- Wellenlängen:
 $\lambda = 300 - 700 \text{ nm}$
- Grenzwert E_B :
 $t > 10000 \text{ s}$:
 $L_B = 0,01 \text{ W/m}^2$
 $t \leq 10000 \text{ s}$:
 $L_B = 100/t \text{ W/m}^2$

Zu beachten:

- Wellenlängen:
 $\lambda = 380 - 1400 \text{ nm}$
- Grenzwert L_R :
 $t \leq 10 \text{ s}^{(3)}$:
 $L_R = 50000 / (\alpha \cdot t^{0,25})$
 $\text{W/(m}^2 \cdot \text{s)}$

Zu beachten:

- Wellenlängen:
 $\lambda = 780 - 1400 \text{ nm}$
- Grenzwert L_R :
 $t > 10 \text{ s}$:
 $L_R = 6000/\alpha$
 $\text{W/(m}^2 \cdot \text{s)}$

- Unter α versteht man die Winkelausdehnung der Quelle am Auge des Beobachters. Auf die exakte Bestimmung von α wird hier nicht näher eingegangen. Als Näherung kann für α die tatsächliche Abmessung der Quelle herangezogen werden. Beispiele:
 - Kreisrunde Quelle mit Durchmesser $d = 10 \text{ cm}$ im Abstand von $r = 2 \text{ m}$ vom Beobachter:
 $\alpha = d/r = 0,1/2 = 0,05 \text{ rad} = 50 \text{ mrad}$
 - Rechteckige Quelle mit Länge $a = 50 \text{ cm}$ und Breite $b = 5 \text{ cm}$ im Abstand $r = 5 \text{ m}$:
(Mittelwert der Quellabmessungen wird zur Berechnung von α herangezogen)
 $\alpha = (a + b)/2r = (0,5 + 0,05)/2/5 = 0,055 \text{ rad} = 55 \text{ mrad}$.
- Wird der Grenzwert für L_R nicht innerhalb von 10 s überschritten, so ist die Quelle sicher bezüglich thermischer Netzhautschädigung, auch bei längerer Expositionsdauer.
- Eine derart kleine Leuchtdichte besitzen nur Quellen mit sehr geringem Anteil an sichtbarem Licht (z. B. IR-LEDs zur Datenübertragung). Zum Vergleich Mondlicht: $L_v \approx 2500 \text{ cd/m}^2$.

Grenzwerte bezüglich vordere Augenmedien



Infrarot vordere Augenmedien E_{IR}

Zu beachten:

- Wellenlängenbereich: $780 \text{ nm} - 3000 \text{ nm}$
- Definition Grenzwert E_{IR} :
Für $t > 1000 \text{ s}$: $E_{IR} = 100 \text{ W/m}^2$
Für $t \leq 1000 \text{ s}$: $E_{IR} = 18000 \cdot t^{0,75} \text{ W/m}^2$
- Beispiel: $t = 60 \text{ s} \rightarrow E_{IR} = 835 \text{ W/m}^2$

5.2 Wirkungsspektren

Wie aus Kapitel 5.1 ersichtlich, sind für die Gefahren bezüglich der Netzhaut sogenannte Wirkungsspektren ($B(\lambda)$ für die Blaulichtgefahr bzw. $R(\lambda)$ für die Netzhautgefahr) zu berücksichtigen. Die Wirkungsspektren beschreiben die relative Empfindlichkeit der Netzhaut gegenüber der Bestrahlung mit verschiedenen Wellenlängen für diesen Schädigungsmechanismus. Die Wirkungsspektren $B(\lambda)$ bzw. $R(\lambda)$ sind in Abbildung 9 dargestellt. Man erkennt, dass besonders blaues Licht für die Netzhaut gefährlich ist.

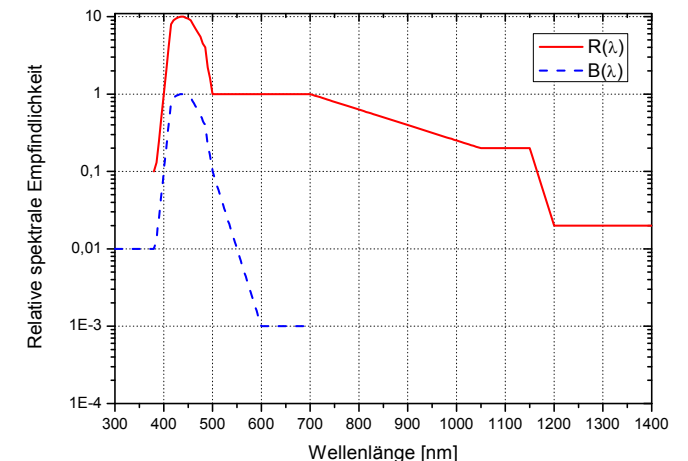


Abb. 9:
Wirkungsspektrum $R(\lambda)$ für die thermische Netzhautschädigung sowie $B(\lambda)$ für die Blaulichtgefahr.

5.3 Grenzwertermittlung und Gefährdungsbeurteilung

Auf welche Weise die zu beurteilende Strahlung gemessen und bewertet werden kann, ist in international gültigen Normen beschrieben. So stellt die Lampensicherheitsnorm EN 62471:2008 [4] eine Anleitung zur Verfügung, mit deren Hilfe die photobiologische Sicherheit von Lampen, Lampensystemen und LEDs charakterisiert werden kann.

Die Messung, Bewertung und Beurteilung der Gefährdung ist komplex. Ausführliche Informationen finden Sie im AUVA Bericht Nr. 52 [5].

Wie mit möglichst einfachen Mitteln die potentielle Gefahr durch Licht und IR-Strahlung an Arbeitsplätzen bewertet werden kann, wird in Kapitel 6 beschrieben.

6 Wie kann ich feststellen, ob am Arbeitsplatz eine Gefährdung durch Licht oder IR-Strahlung besteht?

Vereinfacht kann folgender Ansatz für die Abschätzung der potentiellen Gefährdung durch Licht und IR-Strahlung angewandt werden:

Ist eine Quelle

- weder sehr heiß
 - noch sehr hell (keine starke Blendung)
 - und emittiert keine UV-Strahlung
- so geht von ihr keine Gefahr für den Arbeitnehmer aus.**

Auf die potentielle Gefährlichkeit einer Quelle betreffend Licht und IR-Strahlung lässt sich anhand folgender Faktoren schließen:

- Temperatur der Quelle
- Helligkeit
- Risikogruppe
- Expositionsdauer
- des Expositionsszenarios/Abstand zur Quelle

6.1 Beurteilung anhand der Temperatur

Die Temperatur einer Quelle bestimmt, in welchem Wellenlängenbereich die Quelle Strahlung abgibt. Je heißer ein Körper wird, desto mehr verschiebt sich das abgegebene Spektrum in Richtung des sichtbaren Lichts und desto intensiver wird die abgegebene Strahlung (siehe Abbildung 10). Sehr heiße Quellen geben neben der IR-Strahlung auch einen Anteil an sichtbarem Licht ab. Je heißer die Quelle ist, desto heller erscheint sie daher. Man spricht in diesem Fall auch von rotglühend bzw. bei noch heißeren Quellen von weißglühend (z. B. der Glühfaden einer Glühbirne). Die Sonne ist mit ca. 5500 °C Oberflächentemperatur so heiß, dass sie neben Licht und IR-Strahlung auch UV-Strahlung abgibt.

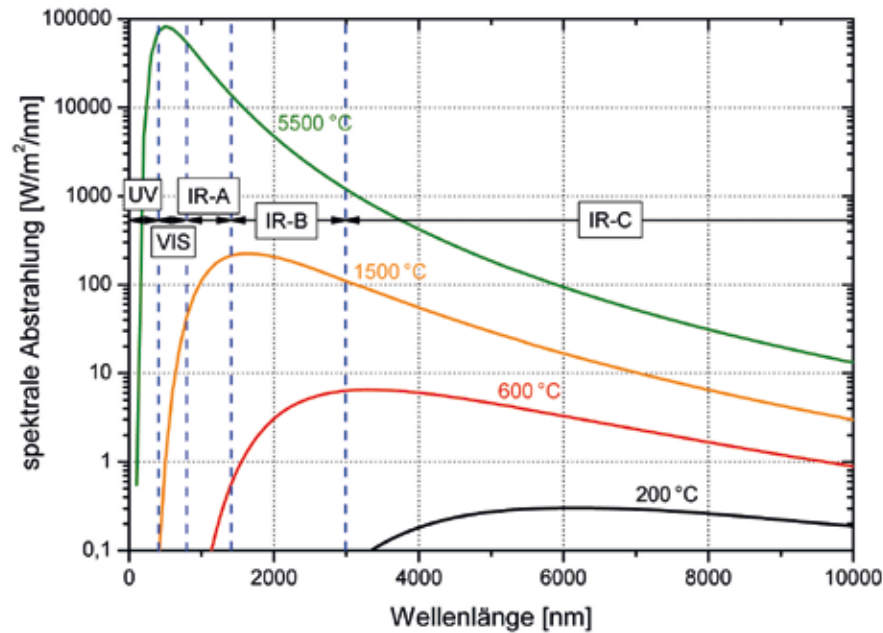


Abb. 10: Spektren von idealen Temperaturstrahlern. Je heißer eine Quelle ist, desto weiter verschiebt sich das abgegebene Spektrum in Richtung sichtbarer Strahlung (VIS) und desto intensiver wird die abgegebene Strahlung.

Heiße Gegenstände sind Temperaturstrahler und haben annähernd die in Abbildung 10 dargestellte Strahlungscharakteristik. Aufgrund der Temperatur ist es möglich, auf die Gefährlichkeit einer Quelle rückzuschließen.

Laut VOPST bzw. der Norm EN 62471 werden nur Wellenlängen bis maximal 3000 nm in der Messung berücksichtigt. Hat eine Quelle eine Temperatur kleiner als 200 °C, so gilt sie jedenfalls als sicher. Es wird keine relevante Strahlung mehr unterhalb von 3000 nm emittiert. Eine Verbrennung der Haut ist bei direktem Kontakt mit der Quelle aber natürlich möglich.

Ab ca. 500 °C beginnt ein heißer Körper schwach rötlich zu glühen. Wenn kein Glühen zu sehen ist, dann ist die Infrarot-Belastung der Haut und Augen bei kurzer Bestrahlung gering. Bei entsprechend großen Flächen und kleinen Abständen kann es bei längeren Bestrahlungen zu einer Überschreitung der Grenzwerte kommen.

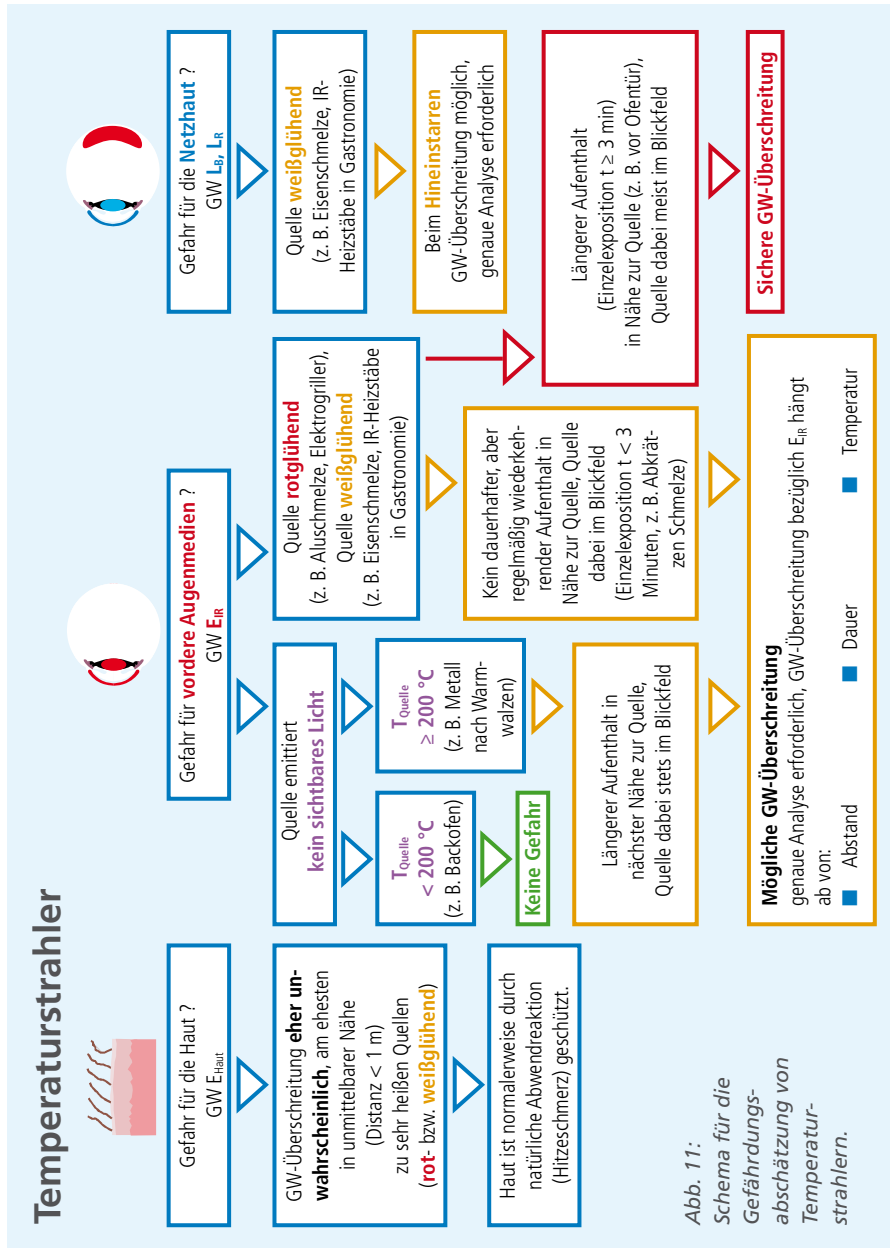
Ist die Quelle nur rot- oder gelbglühend aber nicht blendend-weißglühend (d. h. Temperatur überschreitet 1500 °C nicht), so kann die Bestrahlung für die Netzhaut nicht über den entsprechenden Grenzwerten liegen, auch nicht bei längerem Blick in die Quelle.

Einen Überblick über die von Temperaturstrahlern ausgehenden möglichen Gefahren in Bezug auf eine Grenzwertüberschreitung gemäß VOPST gibt Tabelle 3. Zusammenfassend kann bei der Gefährdungsabschätzung von Temperaturstrahlern nach dem in Abb. 11 dargestellten Schema vorgegangen werden.

Tabelle 3: Temperatur der Quelle, der dabei entstehende Farbeindruck, sowie mögliche Grenzwertüberschreitungen gemäß VOPST.

Temperatur [°C]	Farbeindruck	Beispiel	Mögliche Grenzwertüberschreitung gemäß VOPST
200	Kein sichtbares Licht emittiert	Backöfen, IR-Flächenheizelemente	Keine Grenzwertüberschreitung
500	Beginnende Rotglut	Elektrogriller	Beginnende Gefahr für vordere Augenmedien (E_{IR})
1500	Blendende Weißglut	Eisen-schmelzen	Beginnende Gefahr für die Netzhaut (L_B, L_R), Gefahr für vordere Augenmedien (E_{IR})
5500	Neutrales Weiß	Sonne	Gefahr für die Netzhaut, Gefahr durch UV-Strahlung für Haut und vordere Augenmedien

Achtung: Bei Leuchtdioden (LEDs), Leuchtstofflampen, etc. handelt es sich nicht um Temperaturstrahler. Diese Strahler müssen anders beurteilt werden (siehe dazu AUVA-Merkblätter M 083 [6] und M 084 [7]).



6.2 Beurteilung anhand der Helligkeit

Verursacht eine Quelle keine Blendung, so geht von ihr keine Gefahr aufgrund von zu intensivem Licht aus, selbst bei langem Starren in die Quelle.

Es gibt allerdings helle Quellen, die bei langem absichtlichem Hineinstarren zu einer Schädigung der Netzhaut aufgrund von zu intensivem Licht führen können. Beispiele hierfür sind:

- Sommersonne zur Mittagszeit
- Entladungslampen (z. B. Xenon-Kurzbogenlampen)
- Beamer und Projektoren
- Bühnenscheinwerfer (siehe Abbildung 12, 13)
- Schweißplasma

Außer Laser sind am Arbeitsplatz praktisch keine Quellen bekannt, die eine thermische Schädigung der Netzhaut verursachen können. Bei einer photochemischen Schädigung, die durch sehr helle Quellen verursacht werden kann, ist es notwendig, dass man absichtlich länger in die Quelle starrt. Dies ist jedoch unangenehm und der Mensch hat bei grellem Licht natürliche Abwendmechanismen entwickelt, so dass es normalerweise nur zu einem kurzen, auch bei sehr hellen Quellen ungefährlichen Blick in die Quelle kommt. Bei der Exposition am Arbeitsplatz kann man im Rahmen der Risikoanalyse durchaus vernünftig vorhersehbares Verhalten berücksichtigen. Das Risiko, dass jemand absichtlich bis zur Schädigungsschwelle in eine blendend helle Quelle starrt, ist gering.

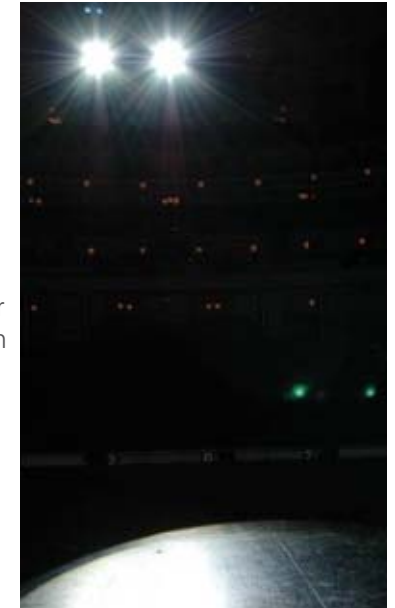


Abb. 12: Theaterscheinwerfer (Verfolgerspots) von der Bühne aus gesehen. Beim Blick direkt in die Scheinwerfer ergibt sich eine intensive Blendung.

Wenn die Helligkeit einer Quelle nicht über $10\,000\text{ cd/m}^2$ (z. B. Leuchtstofflampe) liegt, werden die Netzhaut-Grenzwerte (siehe Kapitel 5.1) auch bei längerer Bestrahlungsdauer nicht überschritten.

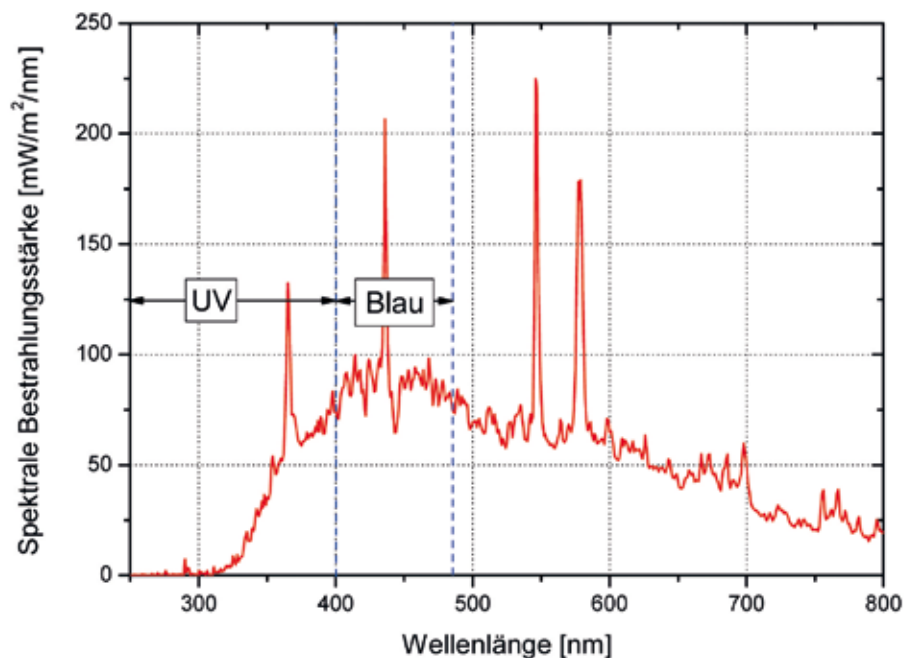


Abb. 13: Spektrale Bestrahlungsstärke, gemessen direkt auf der Bühne der in Abbildung 12 dargestellten Verfolgerspots. Die Spots weisen einen hohen Blaulicht- und UV-Anteil auf.

Beispiel OP-Leuchten: OP-Leuchten, die intensives Licht emittieren, stellen bei langem ($t > 100$ s), absichtlichem Starren in die Leuchte sehr wohl eine potentielle Gefahr für die Augen dar (photochemischer Netzhautschaden). In der Praxis sind sie jedoch ungefährlich, da man nur kurz in Richtung Leuchte blickt und die Augen nur der reflektierten Strahlung (vom zu operierenden Gewebe und sonstigen Oberflächen) ausgesetzt sind.

Zusammenfassend kann bei der Gefährdungsbeurteilung von Quellen aufgrund der Strahlungsintensität sowie des Blickverhaltens nach dem in Abb. 14 dargestellten Schema vorgegangen werden. Achtung: Das in Abb. 14 dargestellte Schema gilt nicht für Blitzlichtlampen (da ein thermisches Risiko bei Blitzlichtlampen besteht)!

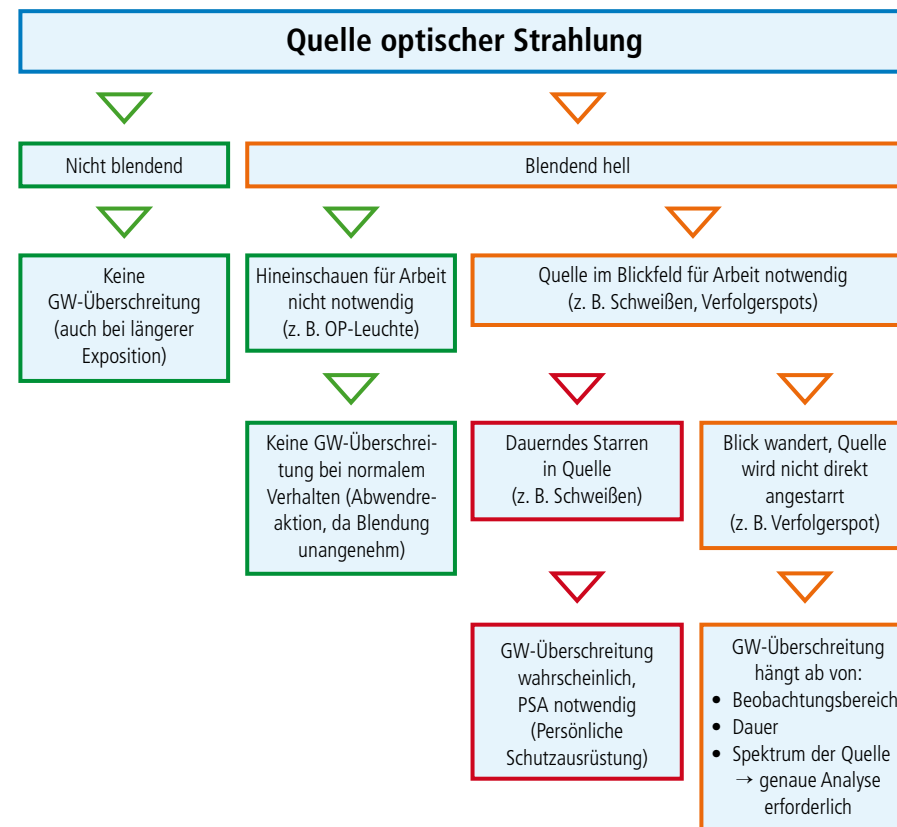


Abb. 14: Schema für die Gefährdungsabschätzung von Quellen optischer Strahlung, basierend auf dem Helligkeitseindruck sowie des Blickverhaltens (gilt nicht für Blitzlichtlampen).

6.3 Beurteilung anhand der Risikogruppe

Eine Information über die möglichen Gefahren bei Bestrahlung mit optischer Strahlung bieten die in der Norm EN 62471 definierten Risikogruppen. Zur Feststellung der Risikogruppe wird die Lampe in einem Referenzabstand vermessen (spektrale Bestrahlungsstärke bzw. spektrale Strahldichte).

Der Referenzabstand

Der Referenzabstand ist für Allgemeinbeleuchtung gleich jenem Abstand, in dem die Beleuchtungsstärke 500 lx beträgt (jedoch nicht näher als 20 cm), bei allen anderen Lampen beträgt der Referenzabstand 20 cm.

Für viele Anwendungen stellt ein Abstand von 20 cm einen „worst-case“-Fall dar, da vor allem bei längerer Bestrahlungsdauer der Abstand zur Quelle meist größer sein wird. Man unterscheidet die in Tabelle 4 angeführten Risikogruppen (RG).

Tabelle 4: Risikogruppen und deren Bedeutung.

Risikogruppe	Mögliche Gefahr	Bedeutung
Freie Gruppe (RG 0)	Kein Risiko	Lampe ist selbst bei einer Dauerbestrahlung (8-h-Arbeitstag) im Referenzabstand ungefährlich.
RG 1	Sehr geringes Risiko	Lampe stellt aufgrund des normalen Verhaltens keine Gefahr dar.
RG 2	Geringes Risiko	Lampe stellt aufgrund von Abwendreaktion (bei hellen Lichtquellen) oder durch thermische Unbehaglichkeit (da man sich dann aus dem Strahlungsfeld entfernt) normalerweise keine Gefahr dar.
RG 3	Hohes Risiko	Lampe stellt selbst bei kurzzeitiger Bestrahlung im Referenzabstand eine Gefahr dar.

Bei Quellen bis inklusive RG 2 ist man durch das Verhalten oder durch natürliche Abwendreaktionen geschützt, Grenzwertüberschreitungen treten bei diesen Quellen erst dann auf, wenn die natürlichen Schutzmechanismen ausgeschaltet werden (Medikamente, absichtliches Hineinstarren), oder bei

UV-Strahlung bei längerer Bestrahlung in kurzem Abstand. Je höher die Risikogruppe, desto kürzer ist bei einem bestimmten Abstand die maximale Bestrahlungsdauer (d. h. die Bestrahlungsdauer bis man den Grenzwert erreicht hat). Die zumindest erlaubte Bestrahlungsdauer im Referenzabstand und die entsprechenden Grenzwerte sind in Tabelle 5 dargestellt.

Neben der Risikogruppe kann vom Hersteller auch die maximal erlaubte Bestrahlungsdauer angegeben werden. Die Zeitbasis je Risikogruppe stellt eine mindestens erlaubte Bestrahlungsdauer dar (d. h. die Bestrahlung im Referenzabstand ist zumindest bis zur Zeitbasis unter dem entsprechenden Grenzwert für die Bestrahlung des Auges, jedoch in den meisten Fällen länger. Die Obergrenze für den Bereich der erlaubten Bestrahlungsdauer ist die Zeitbasis der nächst niedrigeren Risikogruppe. Abbildung 15 zeigt eine detaillierte Gefährdungsanalyse für eine Quelle in grafischer Form (aus [5] entnommen).

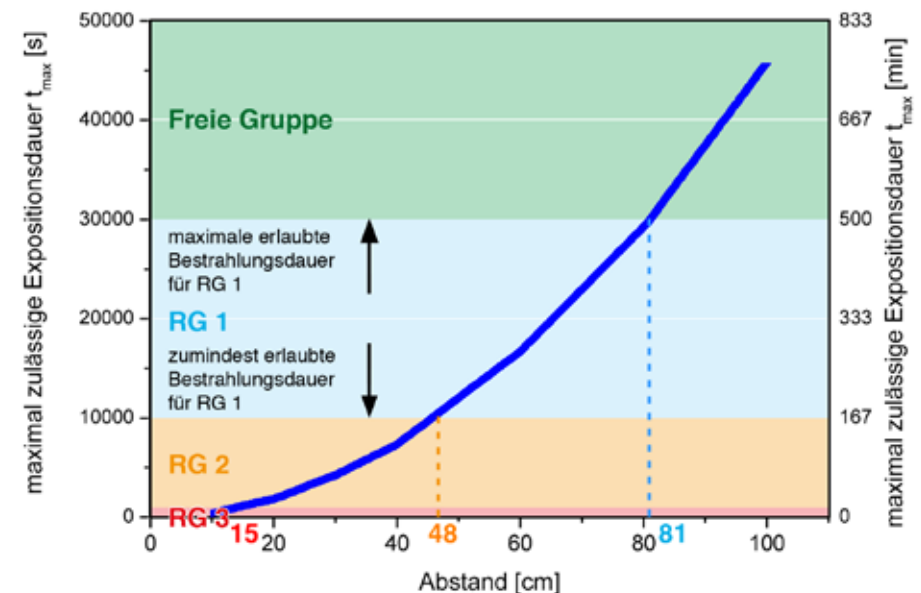


Abb. 15: Detaillierte Gefährdungsanalyse einer Quelle (aus [5]). Bei der untersuchten Quelle handelt es sich im Referenzabstand (20 cm) um eine Quelle der RG 2. Für Abstände kleiner 15 cm unterschreitet die erlaubte Expositionsdauer die Zeitbasis der RG 2. Für Abstände größer 81 cm ist die Quelle hingegen sicher – selbst für eine ganztägige Exposition (8 h) am Arbeitsplatz.

Beispiel: Eine Quelle ist RG1 aufgrund der Gefahr Auge IR E_{IR} . Die zumindest erlaubte Bestrahlungsdauer beträgt somit gemäß Tabelle 5 100 s. Die tatsächlich erlaubte Bestrahlungsdauer kann zwischen 100 s und 999 s variieren (und sollte vom Hersteller angegeben werden).

Tabelle 5: Emissionsgrenzwerte je Risikogruppe sowie entsprechende Zeitbasis (zumindest erlaubte Bestrahlungsdauer).

Gefährdung	Grenzwert/ Zeitbasis	RG0	RG1	RG2	Einheit
Blaulicht L_B	Grenzwert	100	10000	4000000	$W/(m^2 \cdot sr)$
	Zeitbasis	10000	100	0,25	s
Netzhaut thermisch L_R	Grenzwert	$28000/\alpha$	$28000/\alpha$	$70000/\alpha$	$W/(m^2 \cdot sr)$
	Zeitbasis	10	10	0,25	s
Auge IR E_{IR}	Grenzwert	100	570	3200	W/m^2
	Zeitbasis	1000	100	10	s

Anmerkung: Für die Gefährdung „Haut thermisch“ werden in EN 62471 keine Risikogruppen definiert.

Lampenhersteller haben die Möglichkeit ihre Lampen mit der Risikogruppe zu kennzeichnen und so dem Anwender bereits eine Information über potentielle Gefahren beim Gebrauch der Lampe zu geben. Bei RG 0 oder RG 1 liegt keine Gefahr betreffend übermäßiger Bestrahlung mit Licht und IR-Strahlung am Arbeitsplatz selbst bei längerer Bestrahlung vor, wenn vorhersehbar vernünftiges Verhalten vorausgesetzt wird. Aber auch Lampen der RG 2 bzw. RG 3 können für eine Dauerbestrahlung sicher sein, wenn z. B. der Bestralungsabstand groß genug oder die Expositionsdauer kurz genug ist.

Beispiel: Ein Infrarot-Heizstrahler fällt im Referenzabstand von 20 cm in die RG 3 (aufgrund der Gefahr „Auge IR“), im Arbeitsabstand von 2 m ist er jedoch selbst für Dauerbestrahlung (8-h-Arbeitstag) sicher.

Bei Lampen der RG 3 handelt es sich meist um Quellen, die aufgrund ihrer UV-Strahlung in die RG 3 klassifiziert werden.

Für Beleuchtung am Arbeitsplatz gibt es keine Quellen, die der RG 3 zuzuordnen sind. Für Laser gilt die Norm EN 60825.

Anmerkung: Würde man die EN 62471 auf die Sommersonne zur Mittagszeit anwenden, so würde diese aufgrund der Gefährdungen „Blaulicht“ und „Netzhaut thermisch“ lediglich der RG 2 zugeordnet, bezüglich der UV-Strahlung jedoch der RG 3. Weiterführende Information zum Thema Quellen und Risikogruppen siehe [5].

Resümee: Die RG ermöglicht eine grobe Abschätzung der Gefahr und muss vom Hersteller angegeben werden. Der Hersteller kann/soll mit weiteren Zusatzangaben die Gefährdungssituation präzisieren.

6.4 Beurteilung anhand der Expositionsdauer

Ist die Bestrahlungsdauer nur sehr kurz (z. B. nur einmal für wenige Sekunden innerhalb eines Arbeitstages) bzw. intermittierend (wechselnde Abfolge von Bestrahlung und Pause), so stellt die Quelle aller Voraussicht nach keine Gefahr für Augen und Haut dar. Das erwärmte Gewebe kann sich rasch wieder abkühlen und auch die Gefahr einer photochemischen Schädigung ist gering. Für die Blaulichtgefahr ist allerdings die Additivität aller Einzelexpositionen über den gesamten Arbeitstag zu berücksichtigen. Erst die Kombination von intensiver Strahlung (Quelle hoher Strahldichte/Bestrahlungsstärke) und langer Expositionsdauer führt in den meisten Fällen zu einer Grenzwertüberschreitung. Konkrete Expositionssituationen können in [5] zu Vergleichszwecken nachgelesen werden. Für die Gefährdungsabschätzung aufgrund der Expositionsdauer kann bei Temperaturstrahlern das in Abb. 11 gezeigte Schema herangezogen werden, bei hellen Quellen das Schema gemäß Abb. 14.

Bei Arbeitsplatzuntersuchungen in der Praxis wurde häufig festgestellt, dass der Bestrahlungsstärke-Grenzwert bezüglich der Gefahr „Auge IR“ für Dauerbestrahlung überschritten wird. Dies wurde unter anderem bei der Glaserzeugung und bei Arbeiten an Metallschmelzen festgestellt. Der Grenzwert für Dauerbestrahlung ($E_{IR} = 100 W/m^2$) ist in diesem Fall jedoch nur dann anzuwenden, wenn eine Exposition mit der entsprechenden Bestrahlungsstärke über einen Zeitraum von 1000 s ohne Unterbrechung erfolgt. Meist finden die Bestrahlungen jedoch intermittierend statt, d. h. einer kurzen Bestrahlung

folgt eine längere Pause, bevor es zur nächsten Bestrahlung kommt. Für die Beurteilung der Gefahr ist daher jener Grenzwert heranzuziehen, der sich bei Berücksichtigung der tatsächlichen Bestrahlungsdauer ergibt.

Beispiel: In einer Eisengießerei wird in gewissen Abständen der Schmelzofen geöffnet, um die Schlacke abzuschöpfen (siehe Abbildung 16). Die Schmelze weist im Durchschnitt eine Temperatur von 1450 °C auf. Dabei ist ein AN maximal 120 s der Strahlung des Ofens ausgesetzt. Tritt dabei eine Grenzwertüberschreitung auf?



Abb. 16: Abschlacken bei einem Schmelzofen in einer Eisengießerei.

Bei derartigen Strahlungsquellen wird am ehesten der Grenzwert für die Gefahr „Auge IR“ überschritten. Für eine Bestrahlung von 120 s beträgt der Grenzwert gemäß Kapitel 5.1:

$$E_{IR} = 18000 \cdot 120^{-0,75} = 496 \text{ W/m}^2$$

Auf der Ofenbühne wurde mittels Spektrometer in Augenhöhe das in Abb. 17 gezeigte Spektrum gemessen.

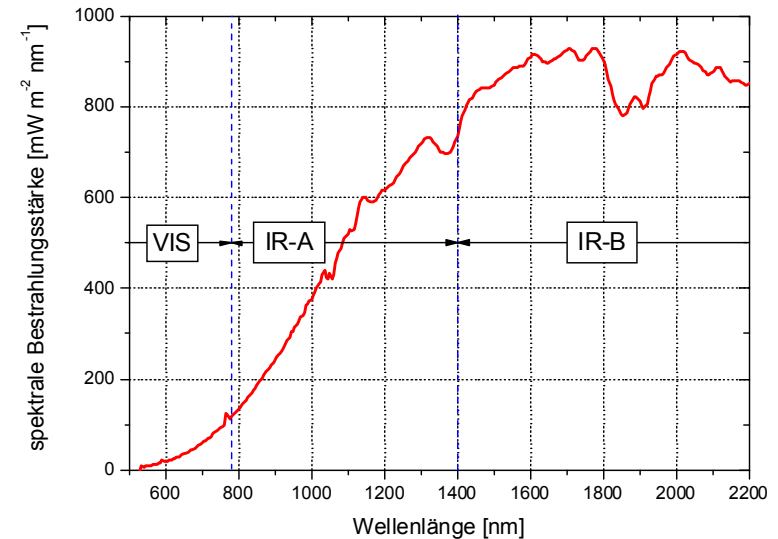


Abb. 17: Spektrale Bestrahlungsstärke beim Schmelzofen in Augenhöhe (der restliche IR-B-Bereich von 2200 bis 3000 nm wurde mit einem thermischen Messgerät erfasst).

Folgende Messwerte wurden gemessen:

Vor Abschlacken: $E_{IR} = 433 \text{ W/m}^2$

Unmittelbar nach Abschlacken: $E_{IR} = 1426 \text{ W/m}^2$

Anmerkung zu den beiden Messwerten: Die auf der Schmelze aufschwimmende Schlacke mit einer relativ niedrigen Temperatur schirmt die Strahlung der Schmelze ab, weshalb unmittelbar nach Entfernen der Schlacke die Bestrahlungsstärke deutlich zunimmt.

Ein Vergleich der Messwerte mit dem Grenzwert zeigt, dass vor dem Abschlacken keine Grenzwertüberschreitung im Fall einer zweiminütigen Exposition auftritt, sehr wohl aber nach dem Entfernen der Schlacke. Für eine Bestrahlungsstärke von $E_{IR} = 1426 \text{ W/m}^2$ beträgt die maximal erlaubte Bestrahlungsdauer:

$$t_{max} = (1426 / 18000)^{-1,33} = 29 \text{ s}$$

Das Tragen einer IR-Schutzbrille beim Abschlacken auf der Ofenbühne erscheint daher notwendig (der betroffene AN hat in diesem Fall bereits eine

Schutzbrille getragen). Die Grenzwerte bezüglich der Gefahren „Haut thermisch“ (GW 3556 W/m²) sowie „Netzhaut thermisch“ (GW 280000 W/(m²·sr), Messwert 1368 W/(m²·sr)) werden auf der Ofenbühne nicht überschritten. Die Blaulichtgefahr kann in diesem Fall vernachlässigt werden, da keine Strahlung mit $\lambda < 550$ nm emittiert wird und die Wirkungsfunktion $B(\lambda)$ für größere Wellenlängen (siehe Abbildung 9) bereits sehr klein ist. Der vollständige Messbericht kann im Detail unter [5] nachgelesen werden.

6.5 Beurteilung anhand des Expositionsszenarios

Neben der Strahlungsintensität sowie der Expositionsdauer tragen auch der Abstand zur Quelle bzw. der Winkel, unter dem eine Quelle gesehen wird, zu einer möglichen Gefährdung bei. Befinden sich Lampen, die für die allgemeine Beleuchtung von Büros, Gebäuden oder Hallen verwendet werden, direkt im Blickfeld, so fühlt man sich häufig geblendet. Bei manchen dieser Allgemeingebrauchslampen erhält man bei einer Risikogruppenklassifizierung gemäß EN 62471 im schlimmsten Fall RG 1 als Ergebnis. Es könnte bei einem längeren Blick in die Quelle aufgrund der Blaulichtgefahr zu einer Grenzwertüberschreitung kommen.

In der Praxis sind Quellen, die für allgemeine Beleuchtungszwecke eingesetzt werden, jedoch sicher bezüglich sichtbarem Licht und Infrarotstrahlung.

Derartige Quellen sind üblicherweise nicht direkt im Blickfeld montiert, sondern an der Hallendecke. Falls sie sich doch im Blickfeld befinden, so müssen sie aus Gründen der Ergonomie so gestaltet sein, dass sie nicht blenden. Dies wird durch indirekte Beleuchtung oder diffuse Beleuchtungsabdeckung erreicht. Die Quelle ist damit sicher, selbst für Dauerbestrahlung.

Die fachgerechte Anwendung und Montage von Lampen kann dafür sorgen, dass selbst ein Produkt der RG 3 für den Anwender sicher ist.

Beispiel: IPLs (Abkürzung für Intense Pulsed Light) werden in Kosmetikstudios zwecks Haarentfernung bzw. Hautverjüngung eingesetzt. Die gepulste und teilweise gefilterte Xenon-Lichtquelle emittiert intensive optische Strahlung, vor allem im sichtbaren Spektralbereich (siehe Abbildung 18).

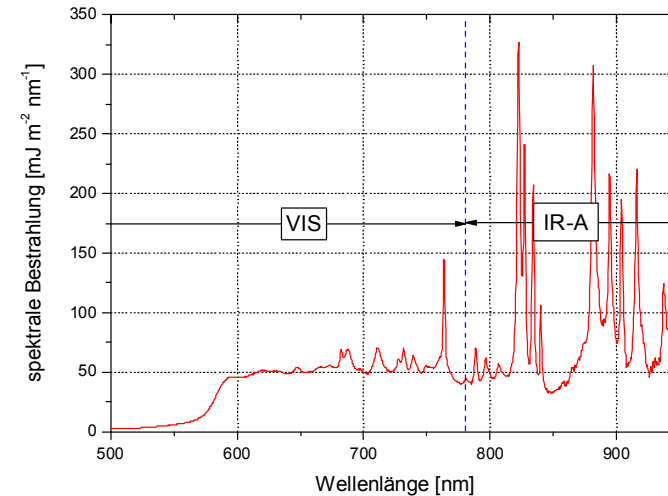


Abb. 18: Typisches Spektrum eines IPL-Geräts. Die Gefahr des IPL-Geräts besteht darin, dass Licht sehr hoher Bestrahlungsstärke innerhalb einer kurzen Pulsdauer (wenige Millisekunden) emittiert wird und somit zu einem Netzhautschaden führen kann.

Gemäß EN 62471 handelt es sich bei IPLs um Quellen der RG 3 (Messung der direkt emittierten Strahlung in 20 cm Entfernung – Gefahr besteht hinsichtlich einer thermischen Schädigung der Netzhaut bei Blick in das Blitzlicht). Wird das Handstück der IPL bei einer Behandlung jedoch ordnungsgemäß vollständig auf dem zu behandelnden Hautareal aufgelegt (siehe Abbildung 19), so ist die Anwenderin lediglich der von der Haut reflektierten bzw. gestreuten Strahlung exponiert, und das Risiko nimmt deutlich ab. Es besteht bei ordnungsgemäßer Anwendung der IPL keine Gefahr für die Netzhaut (für Details siehe [5]).

Das Tragen einer Schutzbrille ist notwendig, um für den Fall vorzubeugen, dass ein Blitz unabsichtlich ausgelöst werden sollte bzw. das Austrittsfenster nicht vollständig aufliegt.



Abb. 19: Ordnungsgemäße Anwendung eines IPL-Geräts: Austrittsfenster am Handstück liegt vollständig auf dem zu behandelnden Hautareal auf.

7 Bei welchen Quellen kann eine Grenzwertüberschreitung durch Licht und IR-Strahlung auftreten?

Quellen die für **allgemeine Beleuchtungszwecke** in Büros, Hallen, öffentlichen Gebäuden, etc. verwendet werden, können **bezüglich sichtbarem Licht und IR-Strahlung als sicher angesehen werden**. Vorsicht ist geboten bei den in Tabelle 6 gelisteten Quellen.

Tabelle 6: Quellen/Arbeitsplätze, für die eine Grenzwertüberschreitung gemäß VOPST betreffend Licht und IR-Strahlung vorliegen kann und für die entsprechende Schutzmaßnahmen zu treffen sind.

Quelle/Arbeitsplätze	Kommentar	Schutzmaßnahmen
Schweißen	Überschreitung des Grenzwertes L_B innerhalb kurzer Zeit: Zuvor sind jedoch bereits die UV-Grenzwerte der VOPST überschritten – Gefahr für Augen und Haut	Schweißarbeitsplätze abschirmen, Verwendung von persönlicher Schutzausrüstung (PSA)
Beamer, Diaprojektoren	Der Netzhautgrenzwert L_B kann je nach Produkt innerhalb kurzer Zeit bei absichtlichem Hineinstarren überschritten sein. Dies sollte in der Praxis aufgrund von Abwendreaktion (Blendung) nicht vorkommen	Nicht für längere Zeit geradewegs in die Quelle starren
IPL	Bei sachgemäßer Anwendung keine Gefahr für AN. Liegt das Austrittsfenster nicht vollständig auf bzw. kommt es zu einer direkten Bestrahlung, besteht Gefahr für die Netzhaut (L_R)	Tragen einer Schutzbrille mit Schweißerschutzfilter (ab Schutzstufe 5)
Fotoblitze	Mögliche Gefahr für die Netzhaut bei Hochleistungsblitzen in kurzem Abstand (L_R)	Exposition in kurzer Distanz vermeiden

Quelle/Arbeitsplätze	Kommentar	Schutzmaßnahmen
Bühnenscheinwerfer	Bei längerem Hineinstarren Gefahr für die Netzhaut (L_B), vorher wird jedoch meist der Grenzwert für UV-Strahlung überschritten, daher Gefährdung der vorderen Augenmedien und der Haut	Betrieb des Scheinwerfers mit UV-Filterglas. Falls ein absichtliches Hineinstarren (z. B. Reparaturarbeiten) notwendig ist, sollte eine Schutzbrille mit Schweißerschutzfilter (Schutzstufe 5 oder höher) verwendet werden
OP-Leuchten	Netzhautgrenzwert L_B wird bei absichtlichem Hineinstarren nach gewisser Zeit überschritten, sollte aber in der Praxis aufgrund von Abwendreaktion (Blendung) nicht vorkommen	Nicht absichtlich in die Leuchte starren
Metallschmelzen, Gießereien	Am ehesten wird der Grenzwert E_{IR} (Auge IR) überschritten, je heißer die Schmelze, desto gefährlicher (Eisenschmelze: 1450 °C, Aluschmelze: 750 °C)	Verwendung von Abschirmungen, Expositions-dauer minimieren, Verwendung von PSA (IR-Schutzbrille, Schutzkleidung)
Hochöfen	Grenzwerte E_{IR} aber auch H_{Haut} möglicherweise überschritten (1600 °C)	Verwendung von Abschirmungen, Verwendung von Visieren und entsprechender Schutzkleidung
Bearbeitung von Glas, Glasmacher	Grenzwert E_{IR} möglicherweise überschritten, v. a. beim Aufenthalt vor Aufwärmtrommel, Glasofen (Höhe der Exposition ist von Temperatur der Strahlenquelle abhängig), beim Bearbeiten des Glases mit Gasflammen tritt auch UV-Strahlung auf (siehe [9])	Verwendung von Abschirmungen (siehe Abb. 20), Tragen von PSA (IR-Schutzbrille ohne Farbverfälschungen → Farbwahrnehmung darf bei Glasbläsern nicht beeinträchtigt werden)

Quelle/ Arbeitsplätze	Kommentar	Schutzmaßnahmen
IR-Strahler zum Kleben bzw. Trocknen (mit Anteil an sichtbarem Licht)	Grenzwert E_{IR} möglicherweise überschritten (Abhängig von Abstand/ Expositionsszenario)	Verwendung einer Abschirmung, Tragen von PSA (IR-Schutzbrille)
Elektrogriller, Griller	Grenzwert E_{IR} wird bei längerem Starren in den Griller aus nächster Nähe überschritten (siehe [5])	IR-Schutzbrille
Offenes Feuer	Grenzwert E_{IR} wird bei längerem Starren in das Feuer aus nächster Nähe überschritten ^{b)}	IR-Schutzbrille
IR-Spots für Überwachungskameras	Sind teilweise Strahler der RG 3 betreffend E_{IR} und überschreiten den Grenzwert im Referenzabstand von 20 cm innerhalb weniger Sekunden. In der Praxis normalerweise ungefährlich, da der Abstand zur Quelle durch die Montage groß ist.	Bei Reparaturmaßnahmen Quelle von Energieversorgung nehmen oder Schutzbrillen tragen
IR-Heizstrahler (z.B. in der Gastronomie)	Im Gastrobereich werden sehr oft leistungsstarke IR-Strahler (2 kW, siehe Abb. 21) zu Heizzwecken eingesetzt. Bei entsprechender Nähe zum Strahler (20 cm) wird der Grenzwert E_{IR} bereits nach kurzer Zeit (< 10 s) überschritten	Entsprechender Abstand zum Strahler, kein direktes Hineinstarren



Abb. 20: Zum Schutz des Glasmachers vor übermäßiger Strahlung ist vor der Aufwärmtrommel (Innentemperatur 1200 °C) eine Abschirmung angebracht.

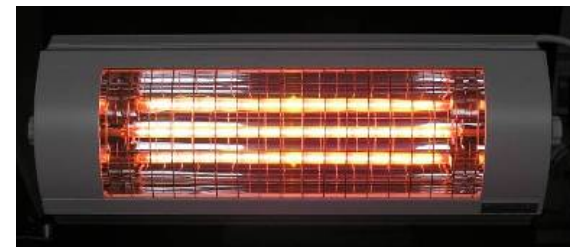


Abb. 21: Wärmestrahler 2000 W. Diese Art von IR-Strahler wird häufig in der Gastronomie zu Heizzwecken eingesetzt (RG 3).

^{b)} Entgegen landläufiger Meinung überschreitet die auftretende IR-Strahlung den Grenzwert für die vorderen Augenmedien (siehe Grauer Star)

8 Besteht ein Zusammenhang zwischen Hitzebelastung und optischer Strahlung?

Im Rahmen von Arbeitsplatzmessungen wurde untersucht, ob ein Zusammenhang zwischen der Belastung durch optische Strahlung (Wärmestrahlung) und Hitzebelastung feststellbar ist. Wärmestrahlung (IR-Strahlung) stellt lediglich einen von mehreren Einflussfaktoren betreffend Hitzebelastung dar. Für die Beurteilung eines Arbeitsplatzes bezüglich Hitzebelastung ist es auch notwendig, zusätzlich Größen wie

- Lufttemperatur (Trocken-, Feuchttemperatur)
- Globetemperatur
- Relative Luftfeuchte
- Luftgeschwindigkeit

zu messen, bzw. Klimasummenmaße, die sich aus der Kombination der oben genannten Größen ergeben, zu berechnen (siehe [8]).

Gemäß der Definition im Nachtschwerarbeitsgesetz (NSchG, Art. VII Abs. 2 Z2) liegt eine den Organismus besonders belastende Hitze vor, wenn folgender oder ein ungünstigerer Klimazustand während des überwiegenden Teils der Arbeit vorliegt:

- Temperatur 30 °C
- relative Luftfeuchtigkeit 50 %
- Luftgeschwindigkeit 0,1 m/s

Die Messung ist bei einem Klimazustand mit durchschnittlicher Außentemperatur durchzuführen (AUVA-Empfehlung: Die Messung soll bei einer Außentemperatur von 8 °C bis 15 °C erfolgen)

Die Vergleichbarkeit von Klimazuständen wird in der Verordnung (BGBl.Nr. 53/1993) des Bundesministers für Arbeit und Soziales betreffend Belastungen im Sinne des Art. VII Abs. 2, Z 2, 5 und 8 des NSchG anhand von folgenden drei Kriterien festgelegt:

Kriterium 1

Wenn bei überwiegend konvektivem Wärmeaustausch ($E < 50 \text{ W/m}^2$) das Klimasummenmaß eine Effektivtemperatur von 25,3 °C überschreitet und der Zeitanteil dieses Klimazustandes an der Gesamtarbeitszeit mindestens 50 % beträgt.

Kriterium 2

Bei konvektivem Wärmeaustausch und gleichzeitiger Wärmestrahlungsbelastung ab einer Bestrahlungsstärke von $E \geq 50 \text{ W/m}^2$ die korrigierte Effektivtemperatur, bestimmt über die Globetemperatur, einen Wert von 25,3 °C überschreitet und der Zeitanteil dieses Klimazustandes an der Gesamtarbeitszeit mindestens 50 % beträgt.

Kriterium 3

Bei überwiegender Wärmestrahlungsbelastung, wenn

Bestrahlungsstärke E [W/m ²]	Anteil an Gesamtarbeitszeit [%]
≥ 348	≥ 30
≥ 580	≥ 20
≥ 870	≥ 10

Die Ermittlung des Klimazustandes ist dabei unter Berücksichtigung der ÖNORM A 8070^o vorgenommen worden. Die Auswertung der Messungen hinsichtlich Hitzebelastung ergab folgende Ergebnisse:

1. Wie bereits aus der Definition des Kriteriums 1 ersichtlich, ist es möglich, dass ein Hitze Arbeitsplatz vorliegt, ohne dass eine Wärmestrahlungsbelastung am Arbeitsplatz gegeben ist. Bei den untersuchten Arbeitsplätzen war aber stets Wärmestrahlung vorhanden. Bei den untersuchten Bäckereien lag die emittierte IR-Strahlung allerdings in einem Wellenlängenbereich, für den in der VOPST keine Grenzwerte mehr angegeben sind ($\lambda > 3000 \text{ nm}$). Bei Ofentemperaturen im Bereich 220 °C bis 260 °C wird nur ein vernachlässigbar kleiner Anteil an

^o Die Norm wurde am 1.8.1997 zurückgezogen, sie ist allerdings in der Verordnung (BGBl Nr. 53/1993) des Bundesministers für Arbeit und Soziales betreffend Belastungen im Sinne des Art. VII veröffentlicht.

IR-Strahlung mit $\lambda < 3000$ nm emittiert. Der Arbeitsplatz gilt demnach als sicher im Sinne der VOPST, es kann jedoch ein Hitze Arbeitsplatz aufgrund von langwelliger IR-Strahlung bzw. aufgrund von anderen Klimakriterien vorliegen.

2. Es gibt Arbeitsplätze, bei denen die Überschreitung der Grenzwerte (IR-Strahlung) gemäß VOPST mit der Hitzebelastung gemäß NSchG korrelieren. Allerdings gilt es dabei die Aufenthaltsdauer im entsprechenden Strahlungsbereich zu berücksichtigen. Ob es sich definitiv um einen Hitze Arbeitsplatz gemäß NSchG handelt, hängt von der Aufenthaltsdauer ab und wurde im Rahmen dieser Arbeitsplatzuntersuchungen nicht beurteilt.

Zusammenfassend gilt: Da bei der Hitzebelastung nicht nur die Strahlung, sondern auch andere Klimafaktoren eine wichtige Rolle spielen, ist ein direkter Vergleich nicht möglich: Es gibt Hitze Arbeitsplätze mit relativ geringer Wärmestrahlungsbelastung, wo dann auch die Grenzwerte der VOPST für das Auge und die Haut nicht überschritten werden. Andererseits kann es zu einer Überschreitung z. B. der Augengrenzwerte durch IR-Strahlung kommen, jedoch trotzdem kein Hitze Arbeitsplatz vorliegen, weil die relativ kurze Aufenthaltsdauer nicht zu einer Hitzebelastung führt oder nur das Gesicht bestrahlt wird.

9 Abkürzungen

AN	Arbeitnehmerinnen und Arbeitnehmer
B(λ)	Spektrale Gewichtungsfunktion für die Blaulichtgefahr (photochemische Netzhautschädigung)
°C	Grad Celsius: Temperatureinheit
cd	Candela, Einheit der Lichtstärke
CIE	Internationale Beleuchtungskommission
E	Bestrahlungsstärke [W/m^2]
E _B	Effektive Bestrahlungsstärke bezüglich Blaulichtgefahr
E _{IR}	Infrarot-Bestrahlungsstärke bezüglich der Gefahr für die vorderen Augenmedien ($\lambda = 780$ nm – 3000 nm)
E _{skin}	Bestrahlungsstärke bezüglich der thermischen Gefahr für die Haut ($\lambda = 380$ nm – 3000 nm)
E(λ)	Spektrale Bestrahlungsstärke [$W/m^2/nm$]
EN	Europäische Norm
EU	Europäische Union
GW	Grenzwert
H	Bestrahlung (= Bestrahlungsstärke (W/m^2) · Zeit (s), Einheit [J/m^2])
H _{skin}	Bestrahlung bezüglich der thermischen Gefahr für die Haut ($\lambda = 380$ nm – 3000 nm)
ICNIRP	International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection (Internationale Kommission zum Schutz vor nichtionisierender Strahlung)
IPL	Intense Pulsed Light
IR	Infrarot, Strahlung von $\lambda = 780$ nm – 1 mm
IR-A	Infrarot-A, Strahlung von $\lambda = 780$ nm – 1400 nm
IR-B	Infrarot-B, Strahlung von $\lambda = 1400$ nm – 3000 nm
IR-C	Infrarot-C, Strahlung von $\lambda = 3000$ nm – 1 mm
J	Joule (Einheit der Energie)
K _m	photometrisches Strahlungsäquivalent (683 lm/W)
L	Strahldichte [$W/(m^2/sr)$]
L(λ)	Spektrale Strahldichte [$W/m^2/sr/nm$]
L _B	Effektive Strahldichte bezüglich Blaulichtgefahr
L _R	Effektive Strahldichte bezüglich thermischer Netzhautschädigung
LED	Licht emittierende Diode, Leuchtdiode
mrاد	Millirad, Einheit des ebenen Winkels

nm	Nanometer (ein Millionstel eines Millimeters)
NSchG	Nachtschwerarbeitsgesetz
PSA	Persönliche Schutzausrüstung
RG	Risikogruppe
$R(\lambda)$	spektrale Gewichtungsfunktion für die thermische Netzhautschädigung
sr	Steradian, Einheit des Raumwinkels
t	Zeit [s]
t_{\max}	maximale Aufenthaltsdauer [s]
UV	Ultraviolett, Strahlung von $\lambda = 100 \text{ nm} - 400 \text{ nm}$
VIS	„Visible“, sichtbares Licht, Strahlung von $\lambda = 380 \text{ nm} - 780 \text{ nm}$
VOPST	Verordnung Optische Strahlung
$V(\lambda)$	spektraler Hellempfindlichkeitsgrad
W	Watt (Einheit der Leistung)
α	Winkelausdehnung, Winkel, unter dem eine scheinbare Quelle gesehen wird [mrad, rad]
μm	Mikrometer (ein Tausendstel Teil eines Millimeters)
λ	Wellenlänge [nm, μm]
Ω	Raumwinkel [sr]

10 Literatur

- [1] Allgemeine Unfallversicherungsanstalt: UV-Strahlung und Arbeiten im Freien, Ein Ratgeber für Outdoor-Worker, Merkblatt M 013
- [2] Allgemeine Unfallversicherungsanstalt: UV-Strahlenbelastung am Arbeitsplatz, Merkblatt M 014
- [3] ICNIRP, Guidelines on Limits of Exposure to Broad-Band Incoherent Optical Radiation (0.38 to 3 μm), Health Physics, Vol. 73, Nr. 3, 1997, S 539 – 554
- [4] ÖVE/ÖNORM EN 62471:2009: Photobiologische Sicherheit von Lampen und Lampensystemen
- [5] Allgemeine Unfallversicherungsanstalt: Gefährdung durch optische Strahlung, sichtbare und infrarote optische Strahlung – VISIR, Report R 052 und Anhänge
- [6] Allgemeine Unfallversicherungsanstalt: Gefährdung durch optische Strahlung, LED – sichtbare Strahlung, Merkblatt M 083
- [7] Allgemeine Unfallversicherungsanstalt: Gefährdung durch optische Strahlung, LED – UV und IR, Merkblatt M 084
- [8] Allgemeine Unfallversicherungsanstalt: Wärmestrahlung und Hitzebelastung am Arbeitsplatz, Merkblatt M 086
- [9] Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (IFA): UV-Strahlenexposition bei der Glasbearbeitung mit Gasbrennern, März 2010