

Strahlenschutzkommission

Geschäftsstelle der
Strahlenschutzkommission
Postfach 12 06 29
D-53048 Bonn

<http://www.ssk.de>

Blendung durch natürliche und neue künstliche Lichtquellen und ihre Gefahren

Empfehlung der Strahlenschutzkommission

Verabschiedet in der 205. Sitzung der Strahlenschutzkommission am 16./17. Februar 2006

Veröffentlicht in: – Bundesanzeiger Nr. ... vom ...
– Veröffentlichungen der Strahlenschutzkommission, Band ...

1 Einleitung

Frühere Empfehlungen der SSK befassten sich mit den direkten Schädigungen von Augen und Haut durch die Einwirkung optischer Strahlung. Ziel dieser SSK-Empfehlung ist es, auf Gefährdungen hinzuweisen, die als indirekte Wirkungen durch das Auftreten von Blendungen entstehen können. Diesem Gefahrenpotential wurde bisher zu wenig Beachtung geschenkt.

Blendungen durch Licht können indirekte Wirkungen zur Folge haben, deren Schwere in einem weiten Bereich variieren kann. In dunklerer Umgebung erzeugt der Blick in eine helle Lichtquelle Störimpfindungen. Bei noch höheren Leuchtdichten werden bereits Sehfunktionen des Auges beeinträchtigt. Durch Blendung können auch Nachbilder im Auge erzeugt werden, die das Sehvermögen für einige Zeit herabsetzen. Bei einem besonders hohen Beleuchtungsniveau kann sogar Absolutblendung auftreten, d.h. das Auge kann nicht mehr auf das hohe Leuchtdichtenniveau adaptieren und die Umgebung wird nicht mehr wahrgenommen.

Mehrere Umstände erfordern die stärkere Beschäftigung mit Blendungsphänomenen. Zum einen kommen auf Grund des technischen Fortschrittes immer mehr Lichtquellen mit hohen Strahlungsleistungen auf den Markt. Bei ihrer Anwendung können Blendungserscheinungen vermehrt auftreten. Zum anderen fehlen für wichtige Anwendungen Vorschriften und technische Regeln zur Vermeidung von Blendungen.

Durch die Sonnenstrahlung hervorgerufene Blendung ist seit jeher bekannt. Auch durch das Licht künstlicher Strahlenquellen können Blendungen hervorgerufen werden. Während starke Blendungen durch technische Quellen früher nur in einzelnen Bereichen, wie z.B. durch Spotlights auf Bühnen, auftraten, nimmt die Verbreitung von Blendungserscheinungen durch die Neu- und Weiterentwicklung starker künstlicher Lichtquellen und deren verstärkten Einsatz zu. So sind z.B. Laser Lichtquellen mit einer sehr hohen Leistungsdichte, und damit hohem Blendungspotential. Inzwischen sind Laser, z.B. als Laserpointer, Massenprodukte, die überall in der Öffentlichkeit zu finden sind. Die Entwicklung von Scheinwerfern für Kraftfahrzeuge hat ebenfalls zu immer stärkeren und helleren Lichtquellen geführt. Das Ersetzen von konventionellen Glühlampen durch Halogenleuchtstofflampen brachte eine wesentliche Steigerung der Leuchtstärke. Eine weitere Steigerung verursacht jetzt der vermehrte Einsatz von Xenon-Lampen. Gleichzeitig führt der Trend im Scheinwerferdesign zu immer kleineren Kraftfahrzeugscheinwerfern mit zusätzlich gesteigertem Blendungspotential. Die Entwicklung von Licht-emittierenden Dioden (LED) brachte eine ganz neue Art von Lichtquellen auf den Markt. In LEDs wird elektrische Energie sehr effizient in Licht umgewandelt. Es können daher Lichtquellen mit einer sehr hohen Lichtleistung gebaut werden. LEDs sind heute bereits in allen Farben, einschließlich weiß, verfügbar und damit vielfältig anwendbar, von Anzeigeelementen, Taschenlampen und Allgemeinbeleuchtung bis hin als Kfz-Bremslichter und Frontscheinwerfer.

Blendungen, die durch die Beleuchtung von Anlagen, wie z.B. von Sportstätten oder Verladeplätzen, hervorgerufen werden, fallen in den Bereich des Immissionsschutzes und sind über das Bundes-Immissionsschutzgesetz und die Licht-Richtlinie ausreichend geregelt [BIm 98], [LAI 00]. Ebenso gibt es Richtlinien für Arbeitsstätten [Arb 04], [ASR 93]. Es fehlen jedoch Bestimmungen z.B. bezüglich Blendungen durch Kfz-Scheinwerfer im Straßenverkehr. Zwar wird in den Zulassungsvorschriften für Kfz-Scheinwerfer gefordert, die Blendwirkung zu prüfen. Dies wird jedoch in der Praxis nicht umgesetzt, da geeignete Prüfvorschriften fehlen. Die existierende Anforderung an die Begrenzung der Gesamtlichtstärke von Kfz-Fernscheinwerfern reicht allein nicht mehr aus, um Blendungen durch entgegenkommende Fahrzeuge zu

verhindern. Hier liegt ein dringender Bedarf an geeigneten technischen Vorschriften zur Blendungsvermeidung vor, auch unter Berücksichtigung von Risikogruppen, wie z.B. Personen mit erhöhter Lichtstreuung durch die Augenlinse.

Auch bezüglich Laserstrahlung besteht Handlungsbedarf. Während es für Lasereinrichtungen, die an Arbeitsplätzen eingesetzt werden, Vorschriften gibt und damit auch das Vermeiden von Blendungen weitgehend geregelt wird, fehlen Vorschriften für den Einsatz von Lasereinrichtungen in der Öffentlichkeit.

Darüber hinaus gibt es Forschungsbedarf zur Entwicklung geeigneter Blendungsbewertungskriterien für Tageslicht. Der häufig verwendete „daylight glare index (DGI)“ verfügt über keine ausreichende statistische Basis.

Der Zusammenhang zwischen Blendung und Unfallgeschehen wurde bisher noch nicht ausreichend erforscht, so dass hierzu keine quantitativen Aussagen möglich sind. Typische Blendungssituationen, die zu Unfällen führen können, sind: Blendung durch helle Scheinwerfer des entgegenkommenden Verkehrs, Blendung bei Regen und bei verkratzten oder schmutzigen Frontscheiben, Reflexion von Licht aus dem Inneren von Fahrzeugen an der Frontscheibe, Blendung durch die tief stehende Sonne und Blendung bei Ausfahrt aus dunklen Tunneln, Hallen etc. durch starkes Sonnenlicht.

2 Empfehlungen der Strahlenschutzkommission

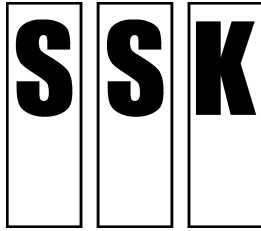
Die Strahlenschutzkommission (SSK) weist auf die Blendungsgefahr insbesondere durch neue künstliche Lichtquellen hin und empfiehlt folgende Maßnahmen zu deren Vermeidung bzw. Minimierung:

- Die SSK fordert die Hersteller auf, bei der Konstruktion auf das erhöhte Blendungspotential neuer Lichtquellen besonders Rücksicht zu nehmen und deren Leuchtdichte durch geeignete Maßnahmen so zu begrenzen, dass eine Blendung vermieden wird.
- Die SSK empfiehlt den Herstellern, bei der Entwicklung neuer Lichtquellen die erhöhte biologische Gefährdung durch nachteilige spektrale Lichtverteilungen zu beachten und insbesondere den Blaulichtanteil zu minimieren.
- Die SSK empfiehlt, bei der Aufstellung von Lichtquellen mit erhöhtem Blendungspotential, z.B. Flutlichtanlagen, Reklameleuchttafeln oder Signalleuchten, durch geeignete Maßnahmen Blendungen zu vermeiden, z.B. durch das Anbringen von Lamellen.
- Die SSK weist die Zulassungsstellen auf die Notwendigkeit hin, die geltenden Regelungen in Hinblick auf einen ausreichenden Schutz vor Blendung auch durch neue Lichtquellen zu überprüfen.
- Die SSK empfiehlt, die in internationalen Zulassungen von Kfz-Scheinwerfern (z.B. Regelung Nr. 98 [ECE 97]) geforderte Prüfung auf Blendung in die Praxis umzusetzen und ein einheitliches, die Leuchtdichte bewertendes Messverfahren zur Prüfung der Blendung vorzuschreiben.
- Die SSK empfiehlt die Erarbeitung der wissenschaftlichen Grundlagen zur Beschränkung der Blendung durch Lichtquellen.

- Die SSK empfiehlt, Forschungen zur Entwicklung eines geeigneten Verfahrens für die psycho-physiologische Bewertung der Blendung durchzuführen.

Literatur

- [Arb 04] Arbeitsstättenverordnung (ArbStättV) vom 24. August 2004 (BGBl. 2004 Teil 1 Nr. 44 S. 2179)
- [ASR 93] Arbeitsstätten-Richtlinie Künstliche Beleuchtung; ASR 7/3 vom 01.10.1993, BArbBl. Nr. 11/93, Zu § 7 Abs. 3 der Arbeitsstättenverordnung
- [BIm 98] Gesetz zum Schutz vor schädlichen Umwelteinwirkungen durch Luftverunreinigungen, Geräusche, Erschütterungen und ähnliche Vorgänge (Bundes-Immissionsschutzgesetz – BImSchG) vom 15. März 1974 (BGBl. I, S. 721, 1193) in der Fassung der Bekanntmachung vom 14. Mai 1990 (BGBl. I, S. 880) zuletzt geändert durch Art. 1 des Gesetzes vom 19. Oktober 1998 (BGBl. I, S. 3178)
- [ECE 97] Verordnung über die Inkraftsetzung der ECE-Regelung Nr. 98 über einheitliche Bedingungen für die Genehmigung der Kraftfahrzeugscheinwerfer mit Gasentladungslichtquellen (Verordnung zur ECE-Regelung Nr. 98) vom 23. Januar 1997, Bundesgesetzblatt 1997 Teil II Seite 215
- [LAI 00] Hinweise zur Messung und Beurteilung von Lichtimmissionen; Länderausschuss für Immissionsschutz – LAI, (Beschluss des Länderausschusses für Immissionsschutz vom 10. Mai 2000), www.lai-immissionsschutz.de



Strahlenschutzkommission

Geschäftsstelle der
Strahlenschutzkommission
Postfach 12 06 29
D-53048 Bonn

<http://www.ssk.de>

Blendung durch natürliche und neue künstliche Lichtquellen und ihre Gefahren

Wissenschaftliche Begründung
zur Empfehlung der Strahlenschutzkommission

Verabschiedet in der 205. Sitzung der Strahlenschutzkommission am 16./17. Februar 2006

Veröffentlicht in: – Bundesanzeiger Nr. ... vom ...
– Veröffentlichungen der Strahlenschutzkommission, Band ...

Inhaltsverzeichnis

1	Leuchtdichte	5
2	Blendung	7
2.1	Entstehung der Blendung und Blendungsbegriffe	7
2.1.1	Blendung durch Störung des Adaptationszustandes (Adaptationsblendung) ..	7
2.1.2	Blendung durch Leuchtdichteunterschiede (Relativblendung)	8
2.1.3	Blendung durch zu hohe absolute Leuchtdichte (Absolutblendung)	8
2.1.4	Readaptation.....	9
2.2	Weitere Blendungsbegriffe	9
2.2.1	Direkte und indirekte Blendung.....	9
2.2.2	In- und Umfeldblendung.....	9
2.2.3	Simultan- und Sukzessivblendung.....	9
2.3	Bewertung	9
2.3.1	Physiologische Blendung.....	10
2.3.2	Psychologische Blendung.....	11
2.3.3	Blendungsbewertung	11
2.3.4	Das UGR-Verfahren zur Blendungsbewertung von Innenraumbeleuchtungen	12
2.4	Lichtinduzierte Augenschäden.....	13
2.5	Blendungssituationen	14
2.5.1	Blick in die hoch stehende Sonne.....	14
2.5.2	Blick in die tief stehende Sonne.....	15
2.5.3	Fahrt durch Alleen.....	15
2.5.4	Blick in starke Strahlungsquellen	15
2.5.5	Straßenverkehr: Direkter Blick in starke Scheinwerfer entgegenkommender Fahrzeuge.....	16
2.5.6	Einsatz neuer Lichtquellen zur Beleuchtung oder im Straßenverkehr.....	16
2.5.7	Fahrt aus dunkler Umgebung in eine sehr helle Umgebung	17
2.5.8	Lichtreflexion an den Frontscheiben von Fahrzeugen und Visieren von Motorradhelmen	17
2.5.9	Reflexion von hellem Licht an optischen Signalen, helles Licht hinter optischen Signalen.....	17
2.5.10	Reflexionen von hellem Licht auf Bildschirmen (Computermonitoren).....	17
2.5.11	Blendung durch starke Lichtquellen in der Nachbarschaft	18
2.5.12	Reflexion des Sonnenlichtes an spiegelnden Fensterscheiben oder an spiegelnden oder hellen Wandflächen.....	18
2.5.13	Blick in künstliche Lichtquellen wie Laser, LED etc. der Klasse 2 und 2M	18
2.5.14	Übersicht über die Beispiele für Blendungssituationen	20
	Anhang	22
	Literaturverzeichnis	23

In diesem Teil werden die verschiedenen Blendungsbegriffe dargestellt und erläutert und die Bedeutung Leuchtdichte bei der Blendung herausgearbeitet. Darüber hinaus werden Beispiele von Blendungssituationen aufgezeigt und die mit einer Blendung verbundenen Gefahren, einschließlich irreversibler Schädigungen, beschrieben.

1 Leuchtdichte

Der Leuchtdichte L kommt bei der Blendung durch Lichtquellen eine zentrale Bedeutung zu. Sie stellt ein Maß für die von einem Beobachtungsort aus empfundene Helligkeit einer Lichtquelle dar (Abbildung 1). Sie wird in der SI- Einheit Candela pro Quadratmeter (cd/m^2) angegeben, also als Lichtstärke pro Fläche. Für die Leuchtdichte L gilt:

$$L = \frac{\text{Lichtstärke } I}{\text{Fläche } A}$$

Bei einer leuchtenden flächigen Blendlichtquelle wird die Leuchtfläche auf eine Ebene senkrecht zur Verbindungslinie zwischen dem Auge (Beobachtungs- bzw. Immissionsort) und der Blendlichtquelle projiziert. Damit ergibt sich eine „scheinbare“ Blendlichtquellengröße bzw. -fläche. Für die Leuchtdichte L ergibt sich in diesem Fall:

$$L = \frac{\text{Lichtstrom } \Phi \text{ in Lumen (lm)}}{\text{Projektion der leuchtenden Fläche } A \text{ in } \text{m}^2 \cdot \text{Raumwinkel } \Omega \text{ in Steradian (sr)}}$$

Da es sich bei der Leuchtdichte um ein auf die Quellenflächen bezogenes Maß handelt, kann eine Lichtquelle nur dann eine große Leuchtdichte aufweisen, wenn sie entweder eine große Lichtstärke, eine kleine Leuchtfläche oder beides zusammen aufweist.

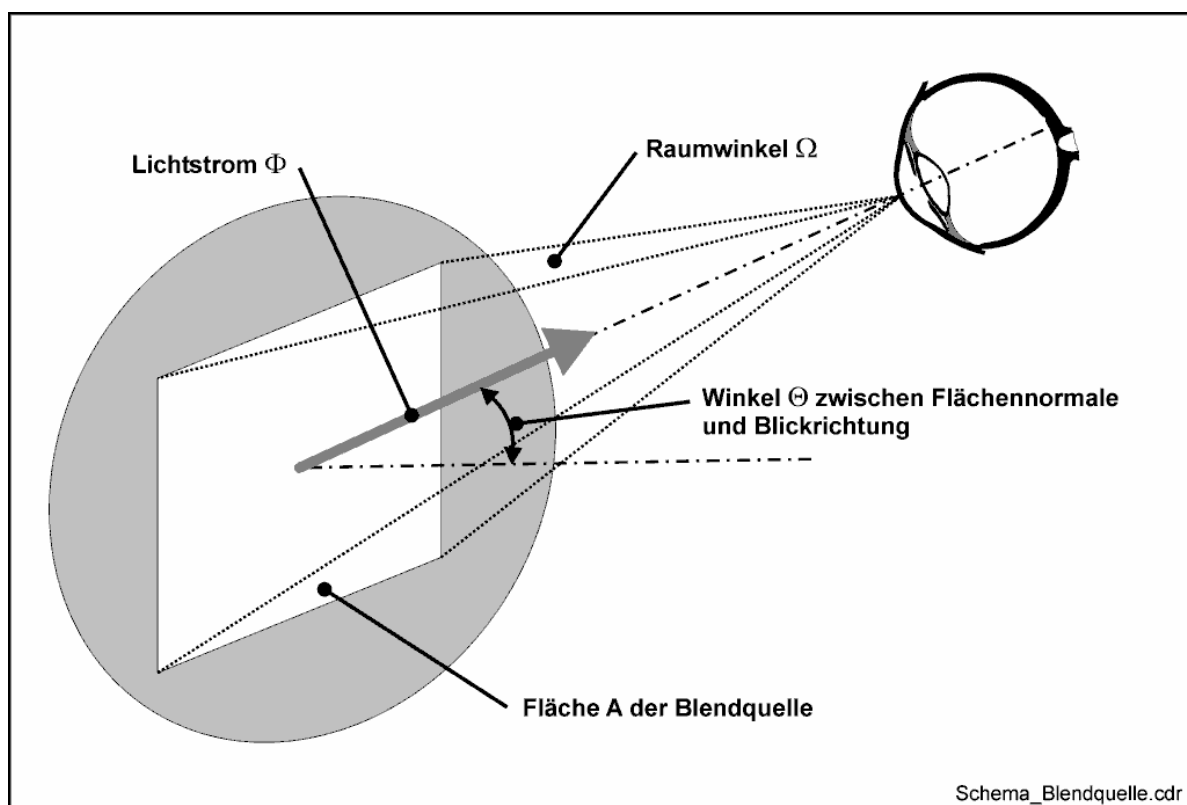


Abb. 1: Blendung durch eine Leuchtfläche

Die subjektiv empfundene **Lichtstärke** stellt das photometrische Gegenstück zur objektiv messbaren physikalischen Größe der Strahlstärke dar. Unter der Lichtstärke einer Lichtquelle wird jener Lichtstrom verstanden, der in ein Raumwinkelelement ausgesendet wird. Der Raumwinkel ist die Fläche eines Kugelsegments dividiert durch das Quadrat des Kugelradius. Zur Berücksichtigung der subjektiven Helligkeitsempfindung wird die Einheit Lumen für den Lichtstrom (lm) auf eine Strahlstärke von $1/683$ W/sr bei einer Wellenlänge von 555 nm („grünes Licht“) bezogen.

Anmerkung: Wenn eine ideale Punktlichtquelle in alle Richtungen gleichmäßig strahlt, ergibt eine Lichtstärke von 1 cd einen Lichtstrom von 12,57 lm. Bei 555 nm kann eine maximale Lichtausbeute von 683 lm/W (theoretische Grenze der Lichtausbeute) erzielt werden. Für weißes Licht, d.h. für ein Spektrum von 380 nm bis 780 nm, sind es 199 lm/W.

Bei gleichem Lichtstrom erscheint eine Lichtquelle umso heller, je kleinflächiger sie ist. Die Ausdehnung technischer Lichtquellen wird jedoch durch den Anwendungsfall bestimmt. Bei Autoscheinwerfern oder bei Taschenlampen wird im Wesentlichen ein Strahl, d.h. eine Lichtquelle mit hoher Leuchtdichte, verwendet, während Brems- oder Begrenzungsleuchten nur gesehen werden und daher nicht stark gebündelt leuchten müssen. Bei Geräten zur Betrachtung von Dias oder Röntgenaufnahmen, bei beleuchteten Hinweisschildern u.a. wird eine großflächige Lichtquelle mit möglichst gleichmäßiger Lichtabgabe angestrebt.

Ob eine Lichtquelle blendet, hängt dabei vom Adaptationszustand des Auges und der Umgebungsleuchtdichte ab. Bei dunkel adaptiertem Auge kann bereits der Vollmond zu einer Blendung führen.

Im Alltag treten Leuchtdichten im Bereich von ca. 10^{-11} bis $5 \cdot 10^9$ cd/m² auf (siehe Tabelle 1 im Anhang).

So haben Kfz-Bremsleuchten Lichtstärken von 40 bis 100 cd, die Nebelschlussleuchte 150 bis 300 cd und das Fernlicht $4,5 \cdot 10^3$ bis $6 \cdot 10^4$ cd.

Anmerkung: Die Lichtstärke aller gleichzeitig einschaltbaren Fernscheinwerfer darf laut Zulassungsbedingungen $2,25 \cdot 10^5$ cd nicht übersteigen [EEC bzw. EC-Direktiven]. Einzelne Leuchtdioden (LED) haben heute eine Lichtstärke zwischen 10^3 und ca. 20 cd.

Wahrnehmung

Die Augen besitzen zwei Arten von Lichtrezeptoren, für das Hell-Dunkel-Sehen die Stäbchen, und die Zapfen für das Farbsehen. Letztere sind wesentlich unempfindlicher und reagieren auf Licht erst ab ca. 3 cd/m². Das volle Farbsehen erfordert Leuchtdichten von mehr als 10 cd/m². Die empfundene „Farbqualität“ nimmt mit der Leuchtdichte zu.

Insgesamt besitzen die Augen die Fähigkeit, sich dem Leuchtdichtebereich von etwa 10^{-6} cd/m² (absolute Sehschwelle) bis 10^5 cd/m² anzupassen, wobei man von konstanten Sehleistungen in einem Bereich von etwa 10^2 cd/m² bis 10^4 cd/m² ausgehen kann. Bei schnellen Änderungen kann die Pupille durch Anpassung ihres Durchmessers den in das Auge eindringenden Lichtstrom im Verhältnis von ca. 1:16 regeln.

Anmerkung: Insbesondere im Straßenverkehr kommt es weniger auf die Erkennung von Details, wohl aber von Umrissen, d.h. von Leuchtdichteunterschieden gegenüber einem Hintergrund, an, die in weniger als etwa 0,2 s sicher erfolgen muss. Aus diesem Grund wird eine Straßenleuchtdichte von etwa 2 cd/m^2 als ausreichend betrachtet.

Für den Helligkeitseindruck einer Lichtquelle ist die Leuchtdichte entscheidend und nicht die Beleuchtungsstärke (in Lux (lx)) oder der Quotient aus dem auf eine Fläche auftreffenden Lichtstrom (in Lumen (lm)) und der beleuchteten Fläche (in m^2). Um die maximale Sehschärfe zu erreichen, so dass auch noch sehr kleine Details gesehen werden, ist eine Leuchtdichte oberhalb von 100 cd/m^2 erforderlich. Der Einfluss der Leuchtdichte auf den Helligkeitseindruck ist nicht linear, z.B. ist eine 4,5fache Leuchtdichtesteigerung erforderlich, um einen doppelt starken Helligkeitseindruck zu erzielen.

2 Blendung

Blendung wird als ein Sehzustand definiert, der entweder aufgrund zu großer absoluter Leuchtdichte, zu großer Leuchtdichteunterschiede oder aufgrund einer ungünstigen Leuchtdichteverteilung im Gesichtsfeld als unangenehm empfunden wird oder zu einer Herabsetzung der Sehleistung führt. Die Blendung hängt vom Adaptationszustand des Auges ab und entsteht daher durch eine Leuchtdichte, die für den jeweiligen Adaptationszustand zu hoch ist. Zusätzlich sind die scheinbare Größe der Blendlichtquelle bzw. deren Raumwinkel von Bedeutung sowie der Projektionsort der jeweiligen Blendlichtquelle auf der Netzhaut. Die Augen wenden sich häufig unwillkürlich direkt zur Blendlichtquelle hin, wenn eine solche seitlich auf die Netzhaut abgebildet wurde, wo sich die besonders blendungsempfindlichen Stäbchen befinden.

In der Normung zum Augenschutz wurde eine Leuchtdichte von 730 cd/m^2 für eine noch „annehmbare“, d.h. blendungsfreie Betrachtung einer Lichtquelle angesetzt und insbesondere im Zusammenhang mit Schweißerschutzfiltern empfohlen [Sut 02]. Der erforderliche Lichttransmissionsgrad eines Filters wird dabei so bestimmt, dass die Leuchtdichte auf 730 cd/m^2 verringert wird.

2.1 Entstehung der Blendung und Blendungsbegriffe

2.1.1 Blendung durch Störung des Adaptationszustandes (Adaptationsblendung)

Unter Adaptation wird allgemein die Fähigkeit der Anpassung des menschlichen Auges an die verschiedenen Helligkeitsgrade verstanden. Dabei werden die Sehpigmente in den Stäbchen bzw. Zapfen reversibel chemisch im Sinne einer Bleichung bzw. Farbveränderung (Gelbwerden) verändert. Außer der chemischen Reaktion des Sehfärbstoffes finden bei einer Adaptation in der Netzhaut verschiedene neuronale Umschaltprozesse mit unterschiedlichen Geschwindigkeiten statt. Die neuronalen Vorgänge sind deutlich schneller als die bei der Adaptation beteiligten fotochemischen Vorgänge.

Die Zeitdauer der Adaptation hängt entscheidend davon ab, welche Leuchtdichteunterschiede in welche Richtung angepasst werden müssen, also auch davon, ob eine Dunkel- oder eine Helladaptation erforderlich ist.

Bei **Dunkeladaptation** selbst wird unterschieden zwischen Sofortadaptation, die den Anpassungsvorgang der ersten zwei bis zehn Minuten umfasst und der anschließenden Daueradapta-

tion, die erst nach einer halben bis zu einer Stunde abgeschlossen ist. Die Adaptation erfolgt für Zapfen schneller als für Stäbchen.

Auch die **Helladaptation** erfolgt in zwei Phasen, und zwar in der unmittelbar einsetzenden α -Adaptation, die nach etwa 50 bis 100 ms abgeschlossen ist, und aus der anschließenden β -Adaptation. Diese wiederum kann nach vorheriger vollkommener Dunkelheit einige Minuten dauern, verläuft aber wesentlich schneller als die Dunkeladaptation.

Begrifflich wird Blendung auf verschiedene Weise beschrieben. Im Folgenden werden die einzelnen Begriffe näher ausgeführt.

2.1.2 Blendung durch Leuchtdichteunterschiede (Relativblendung)

Adaptationsblendung entsteht, wenn der Adaptationszustand als Folge einer plötzlichen und erheblichen Leuchtdichteänderung dem bestehenden Leuchtdichteniveau nicht mehr entspricht. Sie kommt besonders bei dunkel adaptierten Augen vor. Oberhalb von 730 cd/m^2 bis 10^4 cd/m^2 ergibt sich eine mehr oder weniger starke Blendung, die aber noch durch Adaptation ausgeglichen werden kann.

Anmerkung: Beispiele für diese Art der Blendung sind das Heraustreten aus einem relativ dunklen Raum in das Sonnenlicht im Freien oder das Herausfahren aus einem wenig beleuchteten Tunnel in das Tageslicht.

Zu **Relativblendungen** kommt es, wenn auf der Netzhaut durch zu große Leuchtdichteunterschiede im Gesichtsfeld eine lokale Störung des Adaptationszustandes auftritt, die im betroffenen Gebiet zu Veränderungen sowohl der Unterschiedsempfindlichkeit, der Sehschärfe und des Farbsehens führt. Durch Lokaladaptation, bei der nur ein Teil der Fotorezeptoren der Netzhaut beteiligt ist, kann die Relativblendung erst nach einer relativ langen Zeit ausgeglichen werden, indem die Erregbarkeit der jeweils betroffenen Sehzellen verändert wird.

Bei der Relativblendung kann es zu einer Verzögerung bzw. Behinderung des Sehvermögens kommen. Zum anderen werden die Seheigenschaften durch die adaptive Einstellung auf ein zu hohes und damit ungünstiges Leuchtdichteniveau nachteilig beeinflusst.

Ein besonderes Gefahrenpotential verursacht Relativblendung beim direkten Blick in den Scheinwerfer entgegenkommender Fahrzeuge mit der nachfolgenden Behinderung der Sehleistung.

2.1.3 Blendung durch zu hohe absolute Leuchtdichte (Absolutblendung)

Zur Absolutblendung kommt es, wenn im Gesichtsfeld so hohe Leuchtdichten auftreten, dass eine Adaptation des Auges nicht mehr möglich ist. Kneifen der Augenlider und eventuell sogar Einsetzen von Tränenfluss können zusätzlich auftreten.

Die örtliche Ausdehnung der Absolutblendung kann von einzelnen Bereichen des Gesichtsfeldes, also einer lokalen Blendung, bis hin zur Blendung im gesamten Gesichtsfeld reichen.

Im Bereich von 10^4 bis $1,6 \cdot 10^5 \text{ cd/m}^2$ reicht die Adaptation nicht mehr aus, und es kommt zu einer Absolutblendung, bei der mit einer zunehmenden direkten Gefährdung des Auges gerechnet werden muss.

Anmerkung: Das Auftreten von Absolutblendung hängt auch vom Durchmesser der Augenpupille ab. Zu einer Absolutblendung kann es z.B. beim Blick auf von der Sonne beschienene Schnee- und Wasserflächen und manchmal auch bereits bei besonders heller Tagesbeleuchtung kommen.

Beim Auftreten hoher bis sehr hoher Leuchtdichten kommt es zu Schutzreflexen, wie das unwillkürliche Schließen der Augenlider („Lidschlussreflex“, „Blinkreflex“) oder Augen- und Kopfbewegungen, die jedoch keinen sicheren Schutz gewährleisten, sodass es zu direkten (thermischen) Netzhautschädigungen kommen kann. (Dazu kann bereits der längere direkte Blick in die Mittagssonne ausreichen.)

2.1.4 Readaptation

Für die Risikobeurteilung ist auch die Zeitdauer von besonderem Interesse, während der die Sehleistung nach einer Blendung eingeschränkt ist, auch wenn diese nur durch einen kurzzeitigen Lichtreiz aufgetreten ist, weil während dieser Zeit Objekte übersehen werden können, deren Helligkeit sich nicht ausreichend von der Wahrnehmbarkeitsschwelle abhebt.

2.2 Weitere Blendungsbegriffe

Im Zusammenhang mit Blendung sind noch weitere Begriffe üblich, und zwar **direkte** und **indirekte** Blendung, **Infeld-** und **Umfeldblendung** sowie **Simultan-** und **Sukzessivblendung**. Diese Begriffe sind mit der Blendquelle, deren Lage im Gesichtsfeld und dem zeitlichen Geschehen bei der Blendung verknüpft.

2.2.1 Direkte und indirekte Blendung

Eine Direktblendung liegt dann vor, wenn eine Blendung unmittelbar durch die leuchtende Fläche einer Lichtquelle selbst hervorgerufen wird, während die Indirektblendung ihre Ursache im Reflexionsbild der blendenden Lichtquelle an spiegelnden Oberflächen hat. In diesem Fall können Objekte auch ohne eigentliche Blendung bereits durch Herabsetzung des Leuchtdichteunterschiedes bei der Überlagerung mit dem Reflexbild unsichtbar werden.

2.2.2 In- und Umfeldblendung

Liegt die blendende Lichtquelle in der eigenen Blickrichtung bzw. in deren Nähe (Infeld), wird die Blendung Infeldblendung genannt, während bei deren Lage in der Peripherie (Umfeld) des Gesichtsfeldes diese als Umfeldblendung bezeichnet wird.

2.2.3 Simultan- und Sukzessivblendung

In Bezug auf den zeitlichen Ablauf wird der Zeitbereich der tatsächlichen Blendung als Simultanblendung, der sich daran anschließende Bereich als Sukzessivblendung bezeichnet. Letztere ist mit dem Auftreten mehr oder weniger ausgeprägter Nachbilder verbunden.

2.3 Bewertung

Zur Beschreibung der Blendungsempfindlichkeit werden zwei unterschiedliche Aspekte herangezogen, die physiologische und die psychologische Blendung. Beide können entweder getrennt oder gemeinsam auftreten. Ihre Bewertung wie auch die damit zusammenhängenden quantitativen Aussagen sind sehr verschieden.

2.3.1 Physiologische Blendung

Bei physiologischer Blendung kann es zu einer Herabsetzung der Sehleistung bzw. des Sehvermögens bis zur Sehbehinderung kommen, z.B. durch Minderung der Unterschiedsempfindlichkeit, der Sehschärfe, des Form- bzw. Gestalterkennungsvermögens, der Tiefenwahrnehmung und der Wahrnehmungsgeschwindigkeit.

Als **Unterschiedsempfindlichkeit** wird auch der Reziprokwert des Schwellenkontrastes bezeichnet. Dieser wird häufig allein zur Beschreibung einer Blendwirkung herangezogen. Alternativ wird auch die gerade noch erkennbare Leuchtdichtedifferenz (Unterschiedsschwelle, Empfindungsschwelle) verwendet. Die Unterschiedsempfindlichkeit hängt im Wesentlichen ab von der Größe des Sehobjektes, von der Leuchtdichte, der Größe des Umfeldes und von der Betrachtungsdauer. Eine Abhängigkeit wurde auch von der Wellenlänge des Lichtes festgestellt.

Von HARTMANN [Har 58] wurde festgestellt, dass bei einer Verschlechterung der Unterschiedsschwelle um etwa 2 % auch eine Verminderung der Empfindlichkeit zur **Formenerkennung** beginnt. Zur Quantifizierung der Formenerkennbarkeit fehlt derzeit jedoch die Festlegung einer geeigneten Messgröße.

Die Verminderung des Sehvermögens kommt bei physiologischer Blendung insbesondere durch **Streulicht** in den Augenteilen wie Hornhaut, Linse und Glaskörper sowie an deren Grenzflächen zustande. Daher sind ältere Menschen aufgrund bereits bestehender Trübungen in den Augenteilen für physiologische Blendung empfindlicher als jüngere und können daher eine erheblich gesteigerte Blendungsempfindlichkeit aufweisen. Infolge der erhöhten Streuwirkung kommt es zu einer Verminderung der Erkennbarkeit vor allem kontrastarmer Objekte. Da sich das entstehende Streulicht wie ein Schleier auf die Netzhaut legt, wird in diesem Zusammenhang vom Auftreten einer Schleierleuchtdichte gesprochen. Diese kann nach HOLLADAY [Hol 26] berechnet werden. Danach hängen die Sehfunktionen vom Adaptionszustand bzw. von der mittleren Gesichtsfeldleuchtdichte ab. Der Adaptionszustand setzt sich aus der Grundadaptation, die das Ergebnis der Umfeldleuchtdichte (des Umfeldes) und der Sehaufgabe ist, und aus der Adaptionsstörung durch die im Gesichtsfeld befindliche Blendquelle zusammen. Die Schleierleuchtdichte erhöht die Adaptionsleuchtdichte und ist proportional zur in der Hornhautebene erzeugten Beleuchtungsstärke und umgekehrt proportional zum Quadrat des Winkels, unter dem die Blendquelle zur optischen Achse des Auges erscheint.

Der fotometrische Kontrast, der für die Detailerkennbarkeit von besonderer Bedeutung ist, verringert sich mit zunehmender Streulichtleuchtdichte bis das Sehobjekt schließlich ganz verschwindet.

Erfahrungsgemäß bleibt die Sehschärfe (Visus) praktisch unverändert, solange die Schleierleuchtdichte nicht mehr als etwa 1 bis 2 % der Grundadaptation beträgt, die erforderlich ist, um Informationen visuell aufzunehmen.

Die physiologische Blendung wird als umso geringer wahrgenommen, je besser das jeweilige Sehobjekt sichtbar ist. Sie ist umso stärker, je näher die Blendquelle der eigenen Blickrichtung liegt. Liegen mehrere Blendquellen im Gesichtsfeld, addieren sich deren Wirkungen in Bezug auf die Blendung, was durch die Streulichtannahme erklärt werden kann. Auch eine Störung der Pupillenmotorik (krankheitsbedingt oder durch medikamentöse Pupillenerweiterung) kann zu einer erheblichen physiologischen Blendung führen.

Die Besonderheit bei der physiologischen Blendung besteht darin, dass die Verminderungen und damit Verschlechterungen der Sehfunktionen messtechnisch nachweisbar sind. Dazu wird so vorgegangen, dass zu einer gegebenen Leuchtdichte des Gesichtsfeldes (Gesichtsfeldleuchtdichte) die Sehfunktionen einmal ohne und einmal mit Blendquelle bestimmt werden. Dabei interessiert insbesondere der Einfluss der jeweiligen Blendquelle bezüglich einer bestimmten Sehaufgabe und Situation.

Nach HARTMANN [Har 58] hängt die physiologische Blendung im Gegensatz zur psychologischen Blendung unter normalen Bedingungen nicht von der Farbe der jeweiligen Blendquelle ab. Eine geringe Zunahme der Blendwirkung ergibt sich mit zunehmender Wellenlänge lediglich für reine Spektralfarben. Es ist auch bekannt, dass z.B. die Signalerkennbarkeit nicht von der Farbe des jeweiligen Signals, sondern nur von dessen Leuchtdichte und der Leuchtdichte der Umgebung abhängt.

Physiologische Blendung liegt auch vor, wenn sich dem Bild des Sehobjektes auf der Netzhaut ein anderes überlagert, das nicht erst im Auge selbst durch Streuung entsteht, sondern bereits durch Streuung bei der Erzeugung vor dem Auge. Dies wird auch als Schleier- oder Nebelblendung bezeichnet. Diese Art der Blendung ist z.B. beim Fahren im Nebel zu beobachten, wenn sich das von den eigenen Scheinwerfern aus dem Nebel rückgestreute Licht wie ein Schleier über die Netzhautbilder legt. Der Effekt tritt auch bei verschmutzten, beregneten oder zerkratzten Windschutzscheiben und Fensterscheiben, aber auch bei Visieren von Motorradhelmen oder Brillengläsern, auf. Er wird durch Trübung der Augenteile, insbesondere der Augenlinse, in seiner Wirkung noch verstärkt.

2.3.2 Psychologische Blendung

Psychologische Blendung kommt häufig in Innenräumen vor und liegt dann vor, wenn ein aufgrund des qualitativen Urteils eines Beobachterkollektivs ermittelter Grenzwert von gerade noch annehmbarer nach gerade unannehmbare Blendung überschritten wird. Bei der psychologischen Blendung müssen zu einer Beurteilung subjektive Maßstäbe angesetzt werden.

Bei psychologischer Blendung tritt eine als unangenehm bis belästigend empfundene Befindlichkeitsstörung auf, ohne dass es zu einer Herabsetzung der Sehleistung, d.h. des Sehvermögens kommen muss. Sie kann erhebliche Beeinträchtigungen des allgemeinen Wohlbefindens, der Arbeitsleistung und Arbeitssicherheit sowie der Konzentrationsfähigkeit bewirken und wesentlich zur Ermüdung beitragen, indem eine ungewollte und ständige Ablenkung der Blickrichtung auf die Lichtquelle stattfindet, wodurch insbesondere bei großen Leuchtdichteunterschieden zwischen Umgebung (Umgebungsleuchtdichte) und Lichtquelle (Quellenleuchtdichte) eine fortwährende Adaptation der Augen stattfindet.

Psychologische Blendung hängt nicht nur von der Leuchtdichte der Blendlichtquelle ab, sondern wird auch von der Adaptationsleuchtdichte (Umgebungsleuchtdichte) und von der Ausdehnung der jeweiligen Blendlichtquelle beeinflusst. Da für das individuelle Empfinden Farben unter Umständen eine Rolle spielen können, ist es nicht verwunderlich, dass sie – im Gegensatz zur physiologischen Blendung – von der spektralen Zusammensetzung des Lichtes abhängt.

2.3.3 Blendungsbewertung

In der Praxis wird die psychologische Blendung durch eine Blendzahl beschrieben (vgl. [Hen 02]), die von der Blendleuchtdichte, dem Raumwinkel der Blendlichtquelle, der Umfeldadaptationsleuchtdichte und von einem Positionsfaktor abhängt. Dabei beziehen sich die abgeleitete-

ten Zusammenhänge auf die Grenze zwischen zulässiger und störender bzw. zwischen noch annehmbarer und gerade unannehmbare Blendung. In jedem Falle ist bei der psychologischen Blendung nur ein subjektives Urteil möglich. Der Gegenbeweis, dass eine Einrichtung oder ein Gerät nicht blendet, ist objektiv nicht möglich.

Die Blendzahlen reichen üblicherweise von 9 bis 1, von unmerklicher Blendung (Blendzahl 9) über befriedigende Blendungsbegrenzung (7), gerade zulässige Blendung (5), störende Blendung (3) bis zu unerträglicher Blendung (Blendzahl 1). Es ist jedoch zu beachten, dass Personen mit verminderter Unterschiedsempfindlichkeit (Kontrastempfindlichkeit) psychologische Blendungen deutlich schlechter beurteilen.

Anmerkung: Im Straßenverkehr werden Blendzahlen von 5 bis 7 als tolerierbar angesehen.

Da bei der Beurteilung der psychologischen Blendung meist strengere Anforderungen gestellt werden, zeigt die Erfahrung, dass eine Lichtquelle, die keine psychologische Blendung hervorruft, auch physiologisch als blendfrei angesehen werden kann.

Eine andere Vorgehensweise findet sich in der DIN 5035 [DIN 90], in der Güteklassen der Blendungsbegrenzung angegeben sind. Dabei wird die psychologische Blendung auch aufgrund von Grenzleuchtdichtekurven bestimmt. Dazu müssen insbesondere die Leuchtdichte der Blendquelle in Beobachtrichtung und die mittlere Beleuchtungsstärke in der Nutzebene bekannt sein.

2.3.4 Das UGR-Verfahren zur Blendungsbewertung von Innenraumbeleuchtungen

Unter Berücksichtigung der ursprünglichen Beziehung nach HOLLADAY wurde eine vereinfachte und vereinfachte Methode (unified glare rating method, UGR-Methode) zur Ermittlung der (UGR-) Blendziffer entwickelt. Das Verfahren wird vor allem für die künstliche Beleuchtung von Innenräumen angewendet und wurde von der Internationalen Beleuchtungskommission CIE entwickelt, um die psychologischen Direktblendungen bewerten und begrenzen zu können [CIE 95]. Der UGR-Wert ist abhängig von der jeweiligen Hintergrundleuchtdichte, der Leuchtdichte L_s der Blendquelle (in cd/m^2) in Richtung zum Beobachter, von der Größe des Raumwinkels Ω , unter dem die Blendquelle gesehen wird, dem Positionsindex p , der die Lage der Blendquelle im Gesichtsfeld beschreibt, und der Umfeldleuchtdichte L_b (in cd/m^2) und wird folgend errechnet:

$$UGR = 8 \cdot \lg \left[\frac{0,25}{L_b} \sum \frac{L_s^2 \Omega}{p^2} \right].$$

Das UGR-Verfahren wird zur Bewertung bestehender oder geplanter Beleuchtungsanlagen eingesetzt. Dabei gibt es zum einen die Möglichkeit, die Blendungsbewertung anhand einer Tabelle vorzunehmen, in der typische Raum- und Beleuchtungssituationen vorgegeben sind. Zum anderen können die beschriebenen Beleuchtungsparameter gemessen und der UGR-Wert berechnet werden. Das Vorgehen in komplexen Fällen mit mehreren Leuchten oder Beleuchtungssystemen ist in verschiedenen Abhandlungen beschrieben, u.a. in [CIE 95], [Hes 98] und [LiT 03].

Die Grenzen der Anwendbarkeit des UGR-Verfahrens hängen von der Größe der Blendlichtquelle(n) und vom Anteil der indirekten Strahlung aus der Lichtquelle ab [CIE 95, LiT 03, Rod 04]. So ist es nur für Leuchten anwendbar, die einen nicht zu großen indirekten Strahlungsanteil haben (nur bis etwa 65%). Im Vergleich zu direkt strahlenden Leuchten können

Anlagen mit Leuchten, die einen Indirektanteil haben, besonders in der unmittelbaren Deckenumgebung der Blendlichtquelle eine hohe Leuchtdichte aufweisen. Hierdurch werden die angestrahlten Flächen vom Beobachter als neue Blendlichtquelle und nicht mehr als Hintergrund empfunden. Generell ist das Verfahren bei großen Lichtquellen und bei leuchtenden Decken, die unter Raumwinkeln von mehr als 0,1 sr gesehen werden, nicht mehr anwendbar. Auch für sehr kleine Lichtquellen, die unter einem Raumwinkel von weniger als 0,0003 sr beobachtet werden, ist das Verfahren nicht anwendbar.

Die Blendungsempfindung steigt direkt proportional mit dem UGR-Wert an. Die typischen Werte liegen zwischen 10 und 30. Bei einem UGR-Wert von 13 wird die Blendung als gerade wahrnehmbar und bei einem Wert von 28 und darüber als unerträglich (unzumutbar) [LiT 03] empfunden. Grenzwerte für den UGR-Wert, die ein gerade noch akzeptables Blendungs niveau beschreiben, sind je nach Anwendungsfall in verschiedenen Vorschriften, Normen und Empfehlungen festgelegt. So enthält DIN EN 12464 [EN 03] maximal zulässige UGR-Werte für die Beleuchtung von Arbeitsstätten in Innenräumen in Abhängigkeit von den Arbeits- und Sehaufgaben.

Da eine blendungsfreie oder blendungsarme Ausführung ein wesentliches Qualitätsmerkmal einer Beleuchtungsanlage ist, wurden von der Internationalen Beleuchtungskommission CIE und von der Lichttechnischen Gesellschaft LiTG Beleuchtungsanlagen anhand der UGR-Werte in Blendungs-Güteklassen (Bezeichnungen: A, B, C, D, E bei CIE und A, 1, 2, 3 bei LiTG) eingeteilt [LiT 03].

2.4 Lichtinduzierte Augenschäden

Im Auge sind die Hornhaut, das Kammerwasser, die Augenlinse und der Glaskörper für alle Wellenlängen des sichtbaren Lichtes (380 - 780 nm) gut transparent. Die Netzhaut enthält spezifische Chromophore in den Photorezeptoren der Stäbchen und Zapfen und des maculären Pigments, deren Funktion die Absorption des sichtbaren Lichtes ist. Der größte Teil der Lichtenergie wird in den melaninhaltigen Pigmentgranula im retinalen Pigmentepithel absorbiert. An dieser Stelle der Netzhaut entsteht die Lichtschädigung.

Netzhautschäden können verschiedene Ursachen haben. Sie können einerseits durch photochemische Reaktion der Netzhaut nach Exposition mit sichtbarem Licht kurzer Wellenlängen im Violett- und Blaulichtbereich zustandekommen („Blaulichtschaden“). Andererseits können sie durch Übererwärmung der Netzhaut bei zu großer Bestrahlungsstärke, z.B. durch Laserlicht, verursacht werden.

Die Schwellendosis für die **photochemische Schädigung** wird gebildet aus dem Produkt der Bestrahlungsstärke (in W/m^2) bzw. Strahldichte (in $W/m^2 \cdot sr$) und der Expositionszeit. Ein Blaulichtschaden kann daher entstehen, wenn eine Person für kurze Zeit in extrem helles Licht schaut oder lange Zeit weniger hellem Licht ausgesetzt ist, das einen hohen Blaulichtanteil (≤ 600 nm) besitzt.

Der **thermische Schaden** entsteht bei kurzzeitiger Exposition mit Licht hoher Strahldichte, wodurch es zu einer Gewebekoagulation kommen kann. Er ist stark von der Wärmeableitung des absorbierenden Gewebes abhängig. Durch die Choriokapillaris der Aderhaut wird Wärme über das Blutsystem fortgeleitet. Ein thermischer Schaden der Netzhaut entsteht immer dann, wenn in dem retinalen Pigmentepithel durch die absorbierte Strahlung eine Temperaturerhöhung von 10 - 20 °C erreicht wird. Hierbei spielen der Strahldurchmesser (Spotgröße) ebenso wie die Umgebungstemperatur eine Rolle. Die Wärmeleitung führt zu einer starken Abhängigkeit der Verletzungsschwelle von der Bildgröße. Da die Wärme bei kleineren Bildgrößen

schneller abgeleitet wird, sind höhere Bestrahlungsstärken erforderlich als bei großen. Das Abkühlverhalten bestimmt den Zusammenhang zwischen Expositionsdauer und verursachter Temperaturerhöhung.

Strahlung kurzer Wellenlängen (UV, Blaulicht) führt hauptsächlich zu photochemischen Effekten, längere Wellenlängen (rotes Licht, Infrarot) verursachen primär thermische Effekte. Im Wellenlängenbereich zwischen 600 und 700 nm und bei Expositionszeiten bis zu 10 s können photochemische und photothermische Effekte synergistisch wirken. Photochemische Effekte haben ihr Maximum bei 440 nm und sind im Bereich zwischen 380 und 600 nm zu berücksichtigen. Bei Infrarotwellenlängen konnten bisher keine photochemischen Effekte beobachtet werden, sie wirkt hauptsächlich thermisch. Die Strahlungsenergie wird in der Hornhaut, dem Kammerwasser und der Linse durch Konduktion abgeleitet und abhängig von der Eindringtiefe kann es zu einer Temperaturerhöhung in der Linse kommen, die zu Trübungen führen kann.

Je nach Expositionszeit kann der thermische oder der photochemische Schaden überwiegen. Bei Expositionszeiten zwischen 18 μ s und 10 s treten primär thermische Effekte auf. Bei Expositionszeiten zwischen 0,1 und 10 s können Augenbewegungen eine Fleckgröße erzeugen, bei der thermische gegenüber photochemischen Reaktionen zurücktreten. Es gibt nur wenige Untersuchungen über die Expositionsgrenzen für eine länger andauernde Exposition des vorderen Augenabschnittes.

2.5 Blendungssituationen

Im Folgenden werden Bereiche, Tätigkeiten und Lichtexpositionen dargestellt, in und bei denen Blendung eine Rolle spielt (siehe hierzu auch die Tabelle „Beispiele für Blendungssituationen“). Für jede dieser Blendungssituationen wird beschrieben, ob durch die Exposition eine direkte Schädigung zu erwarten ist, ob eine indirekte Schädigung durch eine Folgewirkung möglich ist oder ob die Blendung lediglich eine erhebliche Belästigung und erhebliche Beeinträchtigung (siehe BImSchG) darstellen kann. Darüber hinaus werden Empfehlungen gegeben, wie direkte oder indirekte Schädigungen durch Blendung vermieden werden können.

2.5.1 Blick in die hoch stehende Sonne

Die Strahlungsintensität der Sonne ist so hoch, dass beim direkten Blick bereits nach kurzer Zeit Augenschäden durch unmittelbare thermische Schädigung der Netzhaut (Verbrennung) auftreten können, die irreversibel sein und bis zur Erblindung führen können. Bei längerem Blick in die Sonne sind auch fotochemische Schädigungen der Netzhaut, der Hornhaut und der Bindehaut möglich. Ist ein direkter Blick in die Sonne beabsichtigt, sind daher Schutzmaßnahmen erforderlich (z.B. bei Navigation mit Sonnenpeilung, Beobachtung von Sonnenfinsternissen oder astronomischer Sonnenbeobachtung), z.B. optische Filter, die sowohl im sichtbaren als auch im ultravioletten und im infraroten Strahlungsbereich die Strahlungsintensität so weit herabsetzen, dass die Grenzwerte nach ICNIRP [ICN 96, ICN 97, ICN 04, IRP 85, IRP 89] eingehalten werden.

Bereits bei unbeabsichtigtem kurzem Blick in die Sonne ist das Auftreten starker Blendung mit Nachbildern und vorübergehender Herabsetzung die Sehfunktion möglich, die in weiterer Folge das Unfallrisiko erhöhen.

2.5.2 Blick in die tief stehende Sonne

Wenn die Sonne in der Nähe des Horizontes steht, kann es beim Autofahren unvermeidbar sein, direkt in die Sonne zu blicken. Da die Sonnenstrahlung bei tief stehender Sonne einen weiteren Weg durch die Erdatmosphäre nehmen muss, ist die Strahlungsintensität wesentlich geringer. Eine Absolutblendung findet nicht statt. Eine psychologische und physiologische Blendung sind allerdings möglich.

Zwischen dem Blick in die hoch stehende Sonne und dem Blick in die tief stehende Sonne über dem Horizont sind die Übergänge fließend. Je nach Jahreszeit, Tageszeit, Sonnenhöhe und Bewölkungsgrad variiert die Strahlungsintensität beim direkten Blick in die Sonne zwischen sehr hoch und gefährlich und niedrig und kaum störend.

2.5.3 Fahrt durch Alleen

Führt an einem sonnigen Tag die Fahrt durch eine Allee, können Licht und Schatten schneller abwechseln als das Auge braucht, um sich an eine Beleuchtungssituation zu adaptieren, was zu einer Fehladaptation und Beeinträchtigung der Sehfunktion führen kann.

Darüber hinaus kann der ständige Beleuchtungswechsel bei entsprechender persönlicher Prädisposition bereits nach 500 ms bis wenige Sekunden epileptische Anfälle auslösen, wenn Leuchtdichten von $\geq 20 \text{ cd/m}^2$ bei Frequenzen von $\geq 3 \text{ Hz}$ auftreten, die einen Bereich von $\geq 10\%$ des zentralen Sehfeldes überstreichen [Har 05]. Diese Fotosensibilität tritt bei etwa 0,0025% der Menschen auf (ca. 4% der Epileptiker), die jeweils auslösende Frequenz liegt zwischen 2 - 60 Hertz. Ob ein Anfall ausgelöst wird, hängt auch von weiteren gesundheitlichen Faktoren ab.

2.5.4 Blick in starke Strahlungsquellen

Strahlungsquellen wie Schweißlichtbögen und Kohlenbogenlampen emittieren intensive Strahlung sowohl im sichtbaren als auch im ultravioletten und infraroten Wellenlängenbereich. Beim Blick aus kurzer Entfernung in diese Strahlungsquellen können sowohl eine psychologische Blendung, eine physiologische Blendung als auch eine Absolutblendung und, beim Blick aus größerem Abstand, kann vor allem psychologische Blendung auftreten. Die Höhe der Strahlungsintensität hängt vom verwendeten Schweißverfahren und von der Stromstärke ab. Auch wenn das Wissen um die Gefährlichkeit von Schweißlichtbögen verbreitet ist, kann es sowohl im Privatbereich als am Arbeitsplatz vorkommen, dass ungeschützt in Schweißlichtbögen geblickt wird. Insbesondere für das Auffinden des richtigen Zündpunktes beim Elektroschweißen wird der Schweißerschutz häufig kurzzeitig beim Beginn des Schweißvorgangs nicht verwendet. Beim ungeschützten Blick ist jedoch eine direkte thermische (und theoretisch, bei längerem Blick, auch fotochemische) Schädigung möglich. Zusätzlich kann es jedoch durch den UV-Anteil der Strahlung auch zu einer reversiblen Schädigung der Hornhaut und der Bindehaut des Auges, dem so genannten „Verblitzen“, kommen.

Aus diesen Gründen ist der notwendige Augenschutz beim Schweißen vorzunehmen. Festlegungen hierzu sind in den Normen DIN EN 169 [DIN 02] und DIN EN 379 [DIN 03] zu finden. Probleme mit dem Auffinden des Zündpunktes können vermieden werden, indem elektronische Schweißerschutzfilter verwendet werden, die sich nach dem Zünden des Lichtbogens automatisch verdunkeln.

Häufig unterschätzte starke Lichtquellen sind fotografische Elektronenblitze, die für kurze Zeit hohe Lichtmengen produzieren, die aufgrund ihrer Sonnenlicht-ähnlichen Spektren hohe

Blauanteile haben. Wegen ihrer Geometrie (kleine Leuchtflächen) sind die Leuchtdichten entsprechend hoch und können Blendungen verursachen. Dies gilt insbesondere für Situationen, in denen die automatische Lichtmengenregulierung (im manuellen Betrieb) ausgeschaltet und/oder der Elektronenblitz nahe am Auge und direkt auf dieses gerichtet wird. Unter ungünstigen Bedingungen können irreversible Schädigungen der Netzhaut verursacht werden.

Auch Bühnenscheinwerfer haben so hohe Leuchtdichten, dass es zu physiologischer und psychologischer Blendung kommen kann. Je nach Adaptionszustand des Auges kann es zu länger anhaltenden Nachbildern kommen.

2.5.5 Straßenverkehr: Direkter Blick in starke Scheinwerfer entgegenkommender Fahrzeuge

Aufgrund des technischen Fortschrittes ist die Helligkeit von Kraftfahrzeugscheinwerfern immer weiter angestiegen. Bereits die Einführung von Halogenlampen brachte eine Steigerung der Lichtausbeute gegenüber den vorher verwendeten Glühlampen. Eine weitere Zunahme ergibt sich durch die neuen Xenon-Scheinwerfer. Bei ihnen ist nicht nur die Lichtausbeute weiter erhöht, sondern auch das Spektrum mehr zum Blaulicht hin verschoben worden. Darüber hinaus sind Scheinwerfer auch immer kleiner geworden. Alle Änderungen zusammen ergeben objektiv eine höhere Leuchtdichte bei verändertem Farbspektrum und subjektiv eine erhöhte Blendungsempfindung beim direkten Blick in Scheinwerfer entgegenkommender Kraftfahrzeuge. Xenon-Scheinwerfer können physiologische und psychologische Blendung verursachen, die das Unfallrisiko erhöht.

Derzeit gibt es keine standardisierten Messverfahren zur Prüfung auf Blendung von Kfz-Scheinwerfern. Es gibt lediglich eine Vorschrift, die festlegt, dass die maximal zulässige Lichtstärke aller gleichzeitig eingeschalteten Fernscheinwerfer 225.000 cd nicht überschreiten darf. Da aber hinsichtlich der Blendung nicht die Lichtstärke, sondern die Leuchtdichte die entscheidende Größe ist, sind auch bei Einhaltung dieser Vorschrift Blendungen durch entgegenkommende Kraftfahrzeuge mit Scheinwerfern neuerer Bauart nicht ausgeschlossen. Besonders betroffen davon sind blendungsempfindliche und ältere Personen.

2.5.6 Einsatz neuer Lichtquellen zur Beleuchtung oder im Straßenverkehr

Aufgrund der technischen Entwicklung kommen auch im Alltag immer mehr neue Lichtquellen mit hoher Lichtausbeute zum Einsatz. Dazu gehören Licht-emittierende Dioden (LED), LED-Arrays, Beamer, Overhead-Projektoren und helle Taschenlampen. Licht-emittierende Dioden sind mittlerweile in beliebigen Farben bis hin zu weiß erhältlich. Die hohe Effizienz und die lange Lebensdauer von LED lassen ihre weitere Verbreitung als Lichtquelle in vielen Bereichen erwarten. Damit ergibt sich ein sehr weites Anwendungsspektrum. So werden LED derzeit schon in Ampeln und als Bremslichter von Kraftfahrzeugen eingesetzt. Es ist aber damit zu rechnen, dass LED oder LED-Arrays zukünftig auch in Scheinwerfern bei Kraftfahrzeugen und auch zur allgemeinen Beleuchtung verwendet werden.

Die neuen Lichtquellen können eine sehr hohe Leuchtdichte aufweisen. Dem Anwender erscheint dies als ungewohnt helles Licht. Beim Blick in solche Lichtquellen kann physiologische und psychologische Blendung auftreten, wenn die Unterschiede in der Leuchtdichte zwischen der Lichtquelle und der Umgebung sehr groß sind.

Es werden daher konstruktive Maßnahmen empfohlen, die insbesondere aus geringer Entfernung einen direkten Blick in Leuchtmittel und Geräte mit LED, Xenon- oder Halogenlampen verhindern, um so Blendungen und lange Nachbilder zu vermeiden.

2.5.7 Fahrt aus dunkler Umgebung in eine sehr helle Umgebung

Bei der Fahrt aus einem Tunnel ins helle Tageslicht können sehr hohe Leuchtdichteunterschiede auftreten. Dies kann zur physiologischen und psychologischen Blendung führen. Gegenstände und Personen können dann nicht mehr ausreichend sicher wahrgenommen werden.

Das daraus resultierende Unfallrisiko sollte durch geeignete bauliche Ausführung von Tunnelausfahrten und durch eine Beleuchtung mit einer zur Ausfahrt hin zunehmenden Beleuchtungsstärke vermieden werden.

2.5.8 Lichtreflexion an den Frontscheiben von Fahrzeugen und Visieren von Motorradhelmen

Lichtreflexionen und -streuungen, die zu beeinträchtigten Sehleistungen und dadurch erhöhter Unfallgefährdung führen können, sind nicht selten. An den Frontscheiben z.B. von Bussen kann insbesondere bei Nacht und in Tunneln Licht reflektiert werden, das von der Beleuchtung des Fahrgastraumes kommt. Lichtstreuung kann auch an zerkratzten Visieren von Motorradhelmen auftreten.

Reflexionen und Streuungen sollten durch konstruktive Maßnahmen vermieden werden, z.B. durch Formgebung, Beschichtungen und /oder Schutzblenden.

2.5.9 Reflexion von hellem Licht an optischen Signalen, helles Licht hinter optischen Signalen

Werden optische Signale (z.B. Ampeln im Straßenverkehr) mit hellem Licht beleuchtet, kann ihre Erkennbarkeit stark herabgesetzt sein. Dies gilt auch für optische Anzeigen, z.B. von Bedienungs-, Steuerungs- und Warneinrichtungen, die durch das Licht starker Beleuchtungseinrichtungen oder der Sonne beschienen werden. Wegen der Überlagerung des Signallichtes mit sehr hellem Reflexionslicht wird die Steuerungs- und Warninformation nicht mehr wahrgenommen.

Wahrnehmungsprobleme können auch auftreten, wenn sich eine starke Lichtquelle in der Richtung hinter dem optischen Signal befindet. Ein Beispiel hierfür ist die Sonne in der Blickrichtung hinter einer Verkehrsampel. In diesem Fall führt der hohe Leuchtdichteunterschied zu einer physiologischen oder psychologischen Blendung.

Kann es aus örtlichen Gegebenheiten nicht vermieden werden, dass ein Signallicht (Ampel) und die Sonne in Bezug auf die Blickrichtung in einem relativ kleinen Sehfeld zusammenfallen, sollte durch eine entsprechend großflächige Abschirmung des Signallichtes oder redundante Anordnung von Signallichtern deren Erkennbarkeit gewährleistet werden.

2.5.10 Reflexionen von hellem Licht auf Bildschirmen (Computermonitoren)

Künstliche Beleuchtungseinrichtungen und die direkte Sonneneinstrahlung können zu Reflexionen auf der Oberfläche von Computerbildschirmen führen, die den Kontrast herabsetzen, die Erkennbarkeit erschweren und dadurch eine erhöhte Konzentration erfordern. Hierdurch kann es bei der Bildschirmarbeit zu Augen- und Kopfschmerzen kommen.

Um dies zu vermeiden, sollte der Bildschirmarbeitsplatz so platziert sein, dass die Reflexion von Beleuchtungsquellen und des vom Fenster einfallenden Tageslichtes am Bildschirm nicht stattfindet. Darüber hinaus sollten möglichst entspiegelte Computermonitore verwendet wer-

den (Reflexionsklasse I/I nach DIN EN ISO 9241 Teil 7 [DIN 98]). Eine verbesserte Einstellung von Kontrast und Helligkeit kann die Erkennbarkeit zusätzlich unterstützen.

2.5.11 Blendung durch starke Lichtquellen in der Nachbarschaft

Eine geringe Blendung kann durch die Beleuchtung von Sportstätten und Häusern, durch Straßenbeleuchtung, Reklamelichter usw. auftreten. Direkte oder indirekte Schädigungen sind nicht zu erwarten, insbesondere bei Nacht ist jedoch mit Beeinträchtigungen des Wohlbefindens und der Schlafqualität zu rechnen.

Durch den Blick in die Beleuchtung von Sportstätten, durch die Beleuchtung von Häusern, durch Leuchtreklame usw. kann eine psychologische Blendung auftreten. Nach dem Bundesimmissionsschutzgesetz ist im Rahmen der gegenseitigen Rücksichtnahme bei Immissionen eine wesentliche Belästigung der Nachbarschaft zu vermeiden. Ab einer in der „Licht Leitlinie“ [LAI 00] des Länderausschusses für Immissionsschutz (LAI) festgelegten Leuchtdichte (unter Berücksichtigung der Umgebungsleuchtdichte und des Raumwinkels) muss von einer wesentlichen Belästigung ausgegangen werden. Zur Beurteilung sind die Baunutzung, die Tageszeit und die Zeitdauer der Exposition zu berücksichtigen. Werden die Werte für die jeweils zulässige mittlere Leuchtdichte überschritten, sind Minderungsmaßnahmen erforderlich. Diese können z.B. technische Maßnahmen (Blendrahmen, andere Scheinwerfer, Änderung der Ausrichtung) oder organisatorische Maßnahmen (Zeitbegrenzungen) ein.

Beleuchtungsanlagen der Straßenbeleuchtung unterliegen nicht dem Bundesimmissionsschutzgesetz. Hier sind bei einer Immissionsbewertung auch die Notwendigkeiten des Straßenverkehrs zu berücksichtigen.

2.5.12 Reflexion des Sonnenlichtes an spiegelnden Fensterscheiben oder an spiegelnden oder hellen Wandflächen

An Fensterscheiben oder Wandflächen, die außen verspiegelt sind, kann Sonnenlicht reflektiert werden. Die Richtung der Spiegelung ändert sich mit dem Stand der Sonne und der Stellung der Fenster. Die Spiegelung kann zum Teil so stark sein, dass eine starke psychologische Blendung auftritt. Es sind in der Regel keine direkten oder indirekten Schädigungen zu erwarten, das reflektierte Licht kann jedoch im Einzelfall als sehr störend empfunden werden.

Bei Arbeiten und Tätigkeiten unmittelbar vor oder an einer von der Sonne beschienenen hellen Wand (z.B. bei Malerarbeiten im Sommer) kann es zu einer erheblichen Verminderung der Sehleistung, zu Tränenfluss und gereizten Augen kommen. Zur Vermeidung ist das Tragen von Sonnenschutzbrillen zu empfehlen.

2.5.13 Blick in künstliche Lichtquellen wie Laser, LED etc. der Klasse 2 und 2M

Beim direkten Blick in Lasereinrichtungen der Klasse 2, 2M und ähnlicher Lichtquellen können die Werte der maximal zulässigen Bestrahlung (MZB) überschritten werden. Eine Schädigung des Auges ist damit nicht mehr ausgeschlossen. Das Sicherheitskonzept von Klasse 2- und -2M-Lasern ging bisher davon aus, dass durch die starke Blendung beim Blick in solche Lichtquellen ein unwillkürlicher Lidschlussreflex oder eine andere Art von Abwehrreaktionen ausgelöst wird. Diese Reaktionen sollen dazu führen, dass der Blick in die Lichtquelle innerhalb von 250 ms unterbrochen wird, so dass keine Schädigung der Augen auftreten kann.

Neuere Untersuchungen zeigen jedoch, dass ein Lidschlussreflex nur bei etwa 20 % aller Personen und eine unwillkürliche Abwehrreaktion bei einem noch geringeren Prozentsatz auftreten. Es ist damit zu rechnen, dass die Grenzwerte beim Blick in Klasse 2- oder -2M-

Lasereinrichtungen für die maximal zulässige Bestrahlung bei den meisten Personen überschritten werden können. Damit ist das bisher in der Normung festgelegte Sicherheitskonzept für Lasereinrichtungen der Klasse 2 und 2M nicht mehr als ausreichend anzusehen.

Von der Problematik, dass zwar eine Blendung beim Blick in die Lichtquelle auftritt, aber keine ausreichende Abwehrreaktion stattfindet, sind neben Lasereinrichtungen der Klasse 2 und 2M auch jene Lasereinrichtungen der Klasse 1 und 1M betroffen, deren Leistung in die Nähe der Klasse 2-Laser kommt. Auch Licht-emittierende Dioden, die nach den Normen für Lasereinrichtungen zu klassifizieren sind, betrifft dies, soweit sie nicht von einer Klassifizierung ausgenommen sind, also in allen Fällen zur Klasse 1 gehören.

Da die Blendung beim Blick in Lasereinrichtungen der Klasse 2 und 2M nicht ausreicht, um eine unwillkürliche Abwehrreaktion herbeizuführen, sieht die SSK die Notwendigkeit, das Sicherheitskonzept für diese Lasereinrichtungen zu ändern [SSK 05]. Solange dies in internationalen Regelungen nicht geändert wird, sollte mit solchen Lasereinrichtungen mit entsprechend erhöhter Vorsicht umgegangen werden, d.h. eine Person sollte sich dann, wenn sie von einem entsprechenden Strahl getroffen wird, sofort abwenden und die Augen schließen.

2.5.14 Übersicht über die Beispiele für Blendungssituationen

Nr.	Situation	Lichtquelle	Blendung	mögliche Folgen (direkt/indirekt)	Bemerkungen
1	Blick in die hoch stehende Sonne (z.B. bei Schiffsnavigation, in der Astronomie, bei Beobachtung von Sonnenfinsternissen)	Sonne	Absolutblendung, physiologische Blendung	direkte Schädigung des Auges durch Strahleneinwirkung hoher Intensität, Folgeschäden durch nicht ausreichende Sehfunktion möglich	sehr hohe Leuchtdichte, Sehfunktion des Auges außer Kraft, Nachbilder
2	Blick in die tief stehende Sonne (z.B. bei Autofahrten)	Sonne	psychologische Blendung	Indirekt: erhöhtes Unfallrisiko	keine direkten Schäden
3	Fahrt durch Alleen bei Sonnenschein	Sonne	Adaptationsblendung	bei Disposition: epileptischer Anfall; indirekt: erhöhtes Unfallrisiko	
4	Blick in starke Strahlungsquellen (z.B. Schweißlichtbögen)	Schweißlichtbögen, Kohlenbogenlampen	Absolutblendung, physiologische Blendung, psychologische Blendung	direkte Schädigung des Auges (Hornhaut/Bindehaut, Netzhaut) erhöhtes Unfallrisiko	Schädigung auch durch UV-Strahlung möglich
5	Straßenverkehr: direkter Blick in Scheinwerfer entgegenkommender Kfz (z.B. Xenonstrahler)	stark strahlende Scheinwerfer	physiologische Blendung, psychologische Blendung	indirekt, erhöhtes Unfallrisiko	zu hohe Leuchtdichte
6	Alltagsbeleuchtung (z.B. LED in Ampeln)	LED, LED- Arrays, Projektoren, Beamer	physiologische Blendung, psychologische Blendung	indirekt, vorübergehend beeinträchtigte Sehleistung, Nachbilder	ungewohnt helles Licht konstruktive Blendminimierung
7	Fahrt aus dem Dunkeln (z.B. aus einem Tunnel) in eine sehr helle Umgebung (z.B. Sonnenschein)	Sonne, starke Beleuchtungseinrichtungen	physiologische Blendung, psychologische Blendung	indirekt, erhöhtes Unfallrisiko	Konstruktive und lichttechnische Gestaltung

Nr.	Situation	Lichtquelle	Blendung	mögliche Folgen (direkt/indirekt)	Bemerkungen
8	Lichtreflexionen und -streuung an Frontscheiben von Fahrzeugen und Visieren von Motorradhelmen	Innenbeleuchtung, Sonne, Scheinwerfer	keine Blendung, beeinträchtigte Sehleistung	indirekt, erhöhtes Unfallrisiko	Entspiegelung
9	starke Reflexion von hellem Licht an optischen Signalen	z.B. Sonne	keine Blendung (mangelnde Erkennbarkeit)	indirekt, erhöhtes Unfallrisiko	Abschattung, redundante Aufstellung
10	Sonne in Blickrichtung hinter dem Signal	Sonne	physiologische Blendung, psychologische Blendung	indirekt, erhöhtes Unfallrisiko	Abschattung
11	Lichtreflexionen an Bildschirmen (Computermonitoren)	innere und äußere Lichtquellen	keine Blendung (mangelnde Erkennbarkeit)	Erhöhung von Sehanstrengung, Konzentration und Stress	Arbeitsplatzgestaltung
12a	Blendung durch starke Lichtquellen in deren Sichtfeld oder Umgebung	Hausbeleuchtung, Flutlichtanlagen, Reklame-Lichter, etc.	keine Blendung (beeinträchtigt Wohlbefinden, Belästigung, Schlafstörung)	psychosomatische Störungen	Aufstellung, Blendlamellen
12b	spiegelnde Reflexion des Sonnenlichtes	Sonne	physiologische Blendung, psychologische Blendung	gering; verminderte Sehleistung, Tränenfluss und Augenreizungen	ggf. Schutzbrillen
13	Blick in Laser bzw. LEDs der Klassen 2, 2M, sowie 1M und 1 (an der Grenze zur Klasse 2)	Laser, LED, Taschenlampen	physiologische Blendung, psychologische Blendung (keine Abwehrreaktion)	direkte Schädigung des Auges, Nachbilder	Überarbeitung des Sicherheitskonzept nötig

Anhang

Tab. 1: Beispiele für Leuchtdichten

(Die verstärkte Linie markiert die „Grenze“ für eine „annehmbare“, d.h. blendungsfreie Betrachtung einer Lichtquelle, deren Wert bei 730 cd/m^2 [Sut 02] liegt.)

Lichtquelle	Leuchtdichte in cd/m^2
sternklarer Nachthimmel	ca. 10^{-11} ... 0,02
Fußgänger im Abblendlicht	0,05 ... 1
unbeleuchtete Fahrbahnoberfläche bei Nacht	0,01 ... 2
Straße mit künstlicher Beleuchtung	0,2 ... 5
Straßenmarkierungen (angeleuchtet)	3 ... 30
von Scheinwerfer beleuchtetes Verkehrszeichen	5 ... 100
Spiegelrasterleuchten (ohne Blick in die Leuchtstofflampe)	100
Schriftzeichen auf einem PC-Schirm	10 ... 200
Fußgänger bei Tag	20 ... 200
weißes Papier (Beleuchtungsstärke 5 - 500 lx)	2,5 ... 250
Selbstleuchtende Verkehrszeichen	30 ... 300
Wand, Decke (bei Innenbeleuchtung 100 - 500 lx)	1 ... 500
Rückstrahler (Kfz)	50 ... 500
Fahrzeug bei Tag	50 ... 500
Glimmlampen	200 ... 500
Absperrungen von Baustellen, Hinweisschilder für Notausgänge	300 ... 500
rotes Begrenzungslicht an Fahrzeug	500
Fahrbahnoberfläche bei Tag	10^2 ... 10^3
Vollmond	$2,5 \cdot 10^3$... $5 \cdot 10^3$
Bedeckter Himmel (Tag)	$2 \cdot 10^3$... $8 \cdot 10^3$
Verkehrssampel	$2 \cdot 10^3$... $8 \cdot 10^3$
von der Sonne beschienene Wolken	10^4
Leuchtstofflampen	$3 \cdot 10^3$... $3 \cdot 10^4$
Blauer Himmel	$5 \cdot 10^3$... $3 \cdot 10^4$
Abblendlicht eines Fahrzeugs (ohne direkten Blick in Lichtquelle)	10^4 ... $3 \cdot 10^4$
Kompaktleuchtstofflampen	$9 \cdot 10^3$... $7 \cdot 10^4$
Kerzenflamme	$6 \cdot 10^3$... $8 \cdot 10^4$
Hg-Dampf-Hochdrucklampen	$7 \cdot 10^4$... $1 \cdot 10^5$
Glühlampe, matt (25 - 500 W)	10^4 ... $5 \cdot 10^5$
Weißlicht-LED	$3 \cdot 10^5$... $3 \cdot 10^6$
Na-Dampf-Niederdrucklampe	$7 \cdot 10^4$... $6,2 \cdot 10^6$
Na-Dampf-Hochdrucklampe	10^5 ... $6,5 \cdot 10^6$
Halogenlampe	$8 \cdot 10^6$... $1,6 \cdot 10^7$
Glühlampe, Wolframwendel	10^6 ... $5 \cdot 10^7$
Xe-Hg-Autoscheinwerfer	$6,5 \cdot 10^7$
Schweißen (Al-MIG; 100AX18V)	$8 \cdot 10^7$
Halogen-Metaldampf-Hochdrucklampe	10^5 ... $4 \cdot 10^8$
Fotoblitlampe	$1,6 \cdot 10^8$... $4 \cdot 10^8$
Xe-Hochdrucklampe	$1,5 \cdot 10^8$... $9,5 \cdot 10^8$
Keramiklampe	$3 \cdot 10^8$... 10^9
„Schwarz-Körper“- Strahler 6500 K	$3 \cdot 10^9$
Kohlebogenlampe	$2 \cdot 10^8$... $1,8 \cdot 10^9$
Sonne (je nach Sonnenstand)	$6 \cdot 10^5$... $2,25 \cdot 10^9$
Xenon-Kurzbogenlampe (Hochdrucklampe)	$2 \cdot 10^5$... $5 \cdot 10^9$
Blitz (Gewitter)	10^{11}

Literaturverzeichnis

- [CIE 95] CIE 117: Discomfort glare in interior lighting, Internationale Beleuchtungskommission, Wien; 1995
- [DIN 90] DIN 5035-2, Ausgabe: 1990-09: Beleuchtung mit künstlichem Licht; Richtwerte für Arbeitsstätten in Innenräumen und im Freien; 1990
- [DIN 98] Ergonomische Anforderungen für Bürotätigkeiten mit Bildschirmgeräten – Teil 7: Anforderungen an visuelle Anzeigen bezüglich Reflexionen (ISO 9241-7; 1998), Deutsche Fassung EN ISO 9241-7; 1998
- [DIN 02] DIN EN 169 (Ausgabe: 2003-02): Persönlicher Augenschutz – Filter für das Schweißen und verwandte Techniken – Transmissionsanforderungen und empfohlene Anwendung, Deutsche Fassung EN 169; 2002
- [DIN 03] DIN EN 379 (Ausgabe: 2003-12): Persönlicher Augenschutz – Automatische Schweißerschutzfilter, Deutsche Fassung EN 379; 2003
- [EN 03] DIN EN 12464-1: Licht und Beleuchtung – Beleuchtung von Arbeitsstätten. Teil 1: Arbeitsstätten in Innenräumen; März 2003
- [Har 05] Harding G, Wilkins AJ, Erba G, Barkley GL, Fisher RS (Epilepsy Foundation of America Working Group): Photic- and pattern-induced seizures: Expert consensus of the Epilepsy Foundation of America Working Group. *Epilepsia*. 46: 1423-5; 2005
- [Hes 98] Hesse J, Müller T, Stozenberg K: Blendungsbewertungsverfahren und UGR-System. Forschungsbericht Fb807, Hrsg.: Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin, Dortmund/Berlin; 1998
- [Hen 02] Hentschel HJ (Hrsg.): Licht und Beleuchtung; 5. Auflage, Hüthig GmbH & Co. KG; Heidelberg 2002
- [Hol 26] Holladay LL: The fundamentals of glare and visibility. *Journal of the Optical Society of America*, 12: 271-319; 1926
- [ICN 96] International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection (ICNIRP), Statement: Guidelines on UV radiation exposure limits. *Health Physics* Vol. 71, No. 6, pp. 978; December 1996
- [ICN 97] International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection (ICNIRP), Guidelines: Guidelines on limits of exposure to broad-band incoherent optical radiation (0,38 to 3 μm). *Health Physics* Vol. 73, No. 3, pp. 539-554; September 1997
- [ICN 04] International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection (ICNIRP): Guidelines on Limits of Exposure to Ultraviolet Radiation of Wavelengths Between 180 nm and 400 nm (Incoherent Optical Radiation). *Health Physics* Vol. 87, No 2, pp 171-186; August 2004

- [IRP 85] International Non-Ionizing Radiation Committee of the International Radiation Protection Association (IRPA/INIRC): Guidelines on limits of exposure to ultraviolet radiation of wavelength between 180 nm and 400 nm (incoherent optical radiation). Health Physics Vol. 49, No. 2, pp. 331-340; August 1985
- [IRP 89] International Non-Ionizing Radiation Committee of the International Radiation Protection Association (IRPA/INIRC), Guidelines: Proposed change to the IRPA 1985 guidelines of limits of exposure to ultraviolet radiation. Health Physics Vol. 56, No. 6, pp. 971-972; June 1989
- [LAI 00] Länderausschuss für Immissionsschutz: Hinweise zur Messung und Beurteilung von Lichtimmissionen (Licht Leitlinie); www.lai-immissionsschutz.de; 2000
- [LiT 03] Fachausschuss „Innenbeleuchtung“ der Lichttechnischen Gesellschaft LiTG (Hrsg.): Das UGR-Verfahren zur künstlichen Bewertung der Direktblendung der künstlichen Beleuchtung in Innenräumen, LiTG-Publikation Nr. 20; 2003
- [Rod 04] Roddewig W, Schmitts PW: UGR-Blendungsbewertung für die Innenraumbeleuchtung, Licht 5: S. 540-543; 2004
- [Sut 02] Sutter E: Schutz vor optischer Strahlung – Laserstrahlung, inkohärente Strahlung, Sonnenstrahlung, VDE-Verlag Berlin Offenbach; 1999/2002
- [SSK 05] Strahlenschutzkommission (SSK): Gefährdungen durch Laserpointer, Empfehlung der Strahlenschutzkommission, verabschiedet in der 204. Sitzung der Strahlenschutzkommission am 8./9. Dezember 2005, BAnz Nr. 75 vom 20. April 2006