

Blendung – Theoretischer Hintergrund

Informationen des Instituts für Arbeitsschutz der DGUV

1 Definition des Begriffes „Blendung“

Blendung ist laut DIN EN 12665 [1] als „*unangenehmer Sehzustand durch ungünstige Leuchtdichte-
verteilung oder zu hohe Kontraste*“ definiert. Unter Leuchtdichte versteht man das fotometrische
Maß für die von Menschen empfundene Helligkeit, eine Lichtstärke pro Fläche. Zu große Leucht-
dichteunterschiede oder ungünstige Leuchtdichteverteilungen im Gesichtsfeld können zu einem
unangenehmen Gefühl („psychologische Blendung“) oder einer tatsächlich messbaren Herabset-
zung der Sehleistung („physiologische Blendung“) führen. Die Stärke einer Blendung hängt vom
Adaptionszustand des Auges ab und entsteht durch eine Leuchtdichte, die für den jeweiligen Adap-
tionszustand des Auges zu hoch ist.

Der Raumwinkel, unter dem die Lichtquelle gesehen wird, ist von großer Bedeutung für das Ausmaß
der Blendung, ebenso der Ort der Abbildung der Blendlichtquelle auf der Netzhaut. Die Augen wen-
den sich oftmals reflexartig direkt zur Blendlichtquelle hin, wenn diese seitlich auf der Netzhaut ab-
gebildet wurde. Aus physiologischer Sicht befinden sich gerade in den peripheren Bereichen der
Netzhaut die licht- und blendungsempfindlichen Stäbchenrezeptoren. Zur dauerhaften Abwendung
des Blickes von der Blendlichtquelle bedarf es oft einer aktiven Konzentration auf die Augenbewe-
gung.

2 Adaptionsblendung

Unter Alltagsbedingungen sind die Augen Lichtintensitäten ausgesetzt, die sich über mehr als zehn
Zehnerpotenzen erstrecken. Der dynamische Bereich der Fotorezeptoren auf der Retina (Netzhaut)
erstreckt sich demgegenüber nur über zwei bis drei Zehnerpotenzen. Daher ist ein Mechanismus
notwendig, der die Empfindlichkeit der Augen automatisch so einstellt, dass gutes Sehen bei allen
Beleuchtungsniveaus möglich ist. Dieser Mechanismus – als „Adaption“ bezeichnet – wird durch
verschiedene Anpassungsvorgänge realisiert.

Bei der chromatischen Adaption werden die Farbrezeptoren der Retina im Rahmen eines Weiß-
abgleichs eingestellt. Besitzt die neue Lichtsituation eine andere Farbtemperatur, so werden die
übermäßig angesprochenen Fotozellen der jeweiligen Farberkennung entsprechend in ihrer Emp-
findlichkeit verändert. Dadurch empfindet der Betrachter eine weiße Fläche wieder als weiß.

Die Zeitdauer der Adaption hängt in entscheidender Weise davon ab, welche Leuchtdichtenunter-
schiede in welche Richtung angepasst werden müssen. Dunkeladaption ist ein Spezialfall, wenn sich
das visuelle System an Leuchtdichten unter $0,034 \text{ cd/m}^2$ angepasst hat. Bei diesem Prozess wird
zwischen der Sofortadaption, die den Anpassungsvorgang der ersten zwei bis zehn Minuten um-
fasst, und der anschließenden Daueradaption, die erst nach einer halben bis zu einer Stunde abge-
schlossen ist, unterschieden.

Im Gegensatz dazu ist die Helladaption der Spezialfall des Tagsehens, wenn sich das visuelle Sys-
tem auf Leuchtdichten oberhalb $3,4 \text{ cd/m}^2$ angepasst hat. Diese Anpassung erfolgt ebenfalls in zwei
Schritten. Die α -Adaption (Pupillenverengung) ist nach etwa 50 bis 100 ms abgeschlossen, während

die β -Adaption (Übergang vom Stäbchen- zum Zapfensehen) einige Minuten in Anspruch nehmen kann. Die Helladaption verläuft wesentlich schneller als die Dunkeladaption.

Muss das Auge wiederholt zwischen einem hohen und einem niedrigen Lichtniveau wechseln, dann spricht man von transienter Adaption. Sie ist erforderlich, wenn die Umgebung sehr hohe Kontraste aufweist und weniger helle Flächen neben deutlich helleren Flächen betrachtet werden. Der ständig wechselnde Adaptionsvorgang führt zu einer baldigen Ermüdung der Augen.

Die Wichtigkeit der Adaptionsfähigkeiten unseres optischen Systems „Auge“ kann am Beispiel des Mondlichts verdeutlicht werden. Unter Tageslichtbedingungen ist die Helligkeit der Mondscheibe praktisch nicht erkennbar, während es bei nächtlicher Betrachtung des Mondes bereits zu Blendungserscheinungen kommen kann.

3 Relativblendung

Zu große Leuchtdichteunterschiede im Gesichtsfeld führen auf der Netzhaut zu lokalen Störungen des Adaptionszustandes, durch die im betroffenen Gebiet Veränderungen sowohl der Unterschiedsempfindlichkeit als auch der Sehschärfe und des Farbsehens entstehen. In diesem Zusammenhang spricht man von Relativblendung. Das Auge reagiert darauf mit Lokaladaption, an der nur ein Teil der Fotorezeptoren der Netzhaut beteiligt ist. Bei diesem Prozess, der eine relativ lange Zeit in Anspruch nimmt, werden einzelne Sehzellen in ihrer Erregbarkeit verändert.

Die Relativblendung geht meist mit einer Ablenkung der Aufmerksamkeit einher, die zusätzlich durch eine Verzögerung bzw. Behinderung des Sehvermögens verstärkt wird. Die adaptive Einstellung des Auges auf ein zu hohes Leuchtdichteniveau macht sich in diesem Punkt ebenfalls bemerkbar.

Den negativen Effekt der Relativblendung erfährt man besonders im nächtlichen Straßenverkehr durch das Licht entgegenkommender Fahrzeuge oder beim Blick in unabgeschirmte Leuchtmittel. Dabei entstehen besonders hohe Unfallgefahren.

4 Absolutblendung

Zur Absolutblendung kommt es, wenn die Blendung durch so hohe Leuchtdichten erfolgt, dass keine Adaption mehr möglich ist. Schutzreaktionen wie das Zukneifen der Augenlider sowie Augen- und Kopfbewegungen setzen ein und es kann zusätzlich zu Tränenfluss kommen. Die örtliche Ausdehnung der Absolutblendung ist dabei unerheblich. Es können einzelne Teile des Gesichtsfeldes betroffen sein, aber auch das gesamte Feld.

Die Adaption des Auges auf die Leuchtdichte reicht im Bereich von 10^4 cd/m² bis $1,6 \cdot 10^6$ cd/m² nicht mehr aus, eine Absolutblendung tritt ein. Aufgrund der großen Energie muss zunehmend mit direkten, unmittelbaren Gefährdungen für das Auge gerechnet werden, schlimmstenfalls einer irreversiblen thermischen Schädigung der Netzhaut.

Für die Absolutblendung liegt daher ein quantitativer Gefährdungsschwellenwert (Grenzwert: 1 Im bei Eintritt in das Auge) vor, im Gegensatz zu der zu Belästigung führenden Blendung, für die ein solcher Wert nicht vorliegt.

5 Blendungsempfindlichkeit und Blendungsbewertung

Die Blendung kann in zwei unterschiedliche Vorgänge unterteilt werden: Dem eigentlichen Blendungsereignis schließt sich ein Zeitraum an, in dem die Auswirkungen des Vorganges spürbar sind

oder verarbeitet werden. In diesem Zeitraum sind die Folgen des Blendungsereignisses noch aktiv, auch wenn die Blendungsursache nicht mehr besteht.

Im Rahmen der Blendungsempfindlichkeit unterscheidet man zwischen physiologischer und psychologischer Blendung, diese können getrennt oder auch gleichzeitig auftreten.

5.1 Physiologische Blendung

Von physiologischer Blendung spricht man bei Blendungsereignissen, die eine messbare Herabsetzung der Sehleistung oder des Sehvermögens verursachen. Ursächlich hierfür kann eine Minderung der Unterschiedsempfindlichkeit, der Sehschärfe, des Form- und Gestalterkennungsvermögens, der Tiefenwahrnehmung und der Wahrnehmungsgeschwindigkeit sein.

Im internationalen elektrotechnischen Wörterbuch wird die physiologische Blendung als „*glare that impairs the vision of objects without necessarily causing discomfort*“ (IEV-Nummer 845-02-57, „*Lichtschein, der die Sichtbarkeit von Objekten beeinflusst, ohne zwangsläufig Unwohlsein zu erzeugen*“) bezeichnet [2]. Bei dieser Art der Blendung kommt es folglich zu einer messbaren Herabsetzung des Sehvermögens, jedoch nicht zwangsläufig zu einem Gefühl des Unwohlseins.

Die physiologische Blendung wird durch den Lichtstrom und den Winkel zur Lichtquelle beeinflusst, offenbar jedoch nicht durch die Quellgröße. Dieser Effekt ist auch dadurch belegt, dass sich der Pupillendurchmesser im nächtlichen Straßenverkehr nicht aufgrund des hellsten Gegenstandes im Gesichtsfeld verringert, sondern aufgrund der Gesamtmenge des Lichtes im Gesichtsfeld.

Als Unterschiedsempfindlichkeit ist die Feinheit der Auffassung von Empfindungsunterschieden definiert. Sie wird durch den reziproken Wert der zu einer bestimmten Empfindungsänderung nötigen Änderung der Reizintensität (Kontrastschwelle, d. h. geringster wahrnehmbarer fotometrischer Kontrast) bestimmt. Die Unterschiedsempfindlichkeit hängt im Wesentlichen von der Größe des Sehobjektes, von der Leuchtdichte, der Größe des Umfeldes und von der Betrachtungsdauer ab und ist damit die elementare Fähigkeit des Auges, Helligkeitsunterschiede wahrzunehmen. Zusätzlich wurde eine Abhängigkeit von der Wellenlänge des Lichtes festgestellt. Verschlechtert sich die Unterschiedsschwelle um etwa 2 %, so kommt es auch zu einer verminderten Empfindlichkeit in der Formerkennung [3]. Zur Quantifizierung der Formerkennbarkeit ist zurzeit jedoch keine geeignete Messgröße vorhanden.

Ein weiterer bestimmender Faktor im Rahmen der physiologischen Blendung ist die Verminderung des Sehvermögens durch Streustrahlung. Aufgrund der physikalisch-optischen Eigenschaften entsteht diese insbesondere an Augenteilen wie Hornhaut, Linse, Glaskörper und deren Grenzflächen, ebenso auch an Scheiben von Kraftfahrzeugen und Visieren/Brillen von Motorrad- oder Fahrradfahrern. Durch einen schon fortgeschrittenen Alterungsprozess der Augen sind ältere Menschen für physiologische Blendung deutlich empfindlicher als junge Menschen. Daraus resultiert eine erheblich gesteigerte Blendempfindlichkeit. Eine erhöhte Streuwirkung hat zur Folge, dass die Erkennbarkeit von kontrastarmen Objekten deutlich verringert wird. Es entsteht der optische Eindruck, als würde sich ein Schleier über die Augen legen, daher spricht man in diesem Zusammenhang von einer Schleierleuchtdichte. Deren Berechnung erfolgt nach der Formel [4]:

$$L_V = k \cdot \frac{E_B}{\Theta^n} \quad (1)$$

Dabei bezeichnet E_B (in lx) die Beleuchtungsstärke, die von einer Blendlichtquelle in der Hornhautebene verursacht wird, Θ (in Grad) den Winkel zwischen Blickrichtung und Blendlichtquelle, k eine dimensionslose Konstante ($k \approx 10$ für $\Theta > 5^\circ$) und n einen Exponenten ($n \approx 2$ für $\Theta > 2^\circ$ und $n \approx 2,3 - 0,7 \cdot \log \Theta$ für $0,2^\circ < \Theta < 2^\circ$) [5].

Die Sehfunktionen hängen also vom Adaptionszustand und von der mittleren Gesichtsfeldleuchtdichte ab. Der jeweilige Adaptionszustand ist die Summe aus der Grundadaptation, die das Ergebnis der Umfeldleuchtdichte und der Sehaufgabe ist, und der Adaptionsstörung durch die im Gesichtsfeld befindliche Blendquelle. Die Schleierleuchtdichte erhöht die Adaptionsleuchtdichte um den Beitrag der Blendlichtquelle. Sie ist proportional zur in der Hornhautebene erzeugten Beleuchtungsstärke und umgekehrt proportional zum Quadrat des Winkels, unter dem die Blendquelle zur optischen Achse bzw. momentanen Blickrichtung des Auges erscheint.

Bei kleinen Winkeln zwischen der Fixierungslinie (sprich: Blickrichtung) und der Blendlichtquelle tritt der besondere Einfluss des Winkels zutage. Zusätzlich blendet eine Quelle kleiner Raumausdehnung stärker als eine größere Quelle bei entsprechend kleinerer Leuchtdichte. Neben dem Effekt des Streulichtes kommt es dabei auch zu einer Empfindlichkeitsherabsetzung der den belichteten Sehzellen benachbarten Rezeptoren und damit zu einer partiellen Hemmung der neuroretinalen Strukturen. Diese Bereiche der Netzhaut („Retina“) können daher aus biophysikalischen Gründen ihre Aufgabe des Umwandelns von Lichtimpulsen in Nervenimpulse nicht mehr erfüllen.

Für die Detailerkennbarkeit ist der fotometrische Kontrast von entscheidender Bedeutung. Er berechnet sich definitionsgemäß aus den Leuchtdichteunterschieden zweier Flächen nach dem Weberschen Gesetz:

$$K = \frac{L_O - L_U}{L_U} = \frac{\Delta L}{L_U} \quad (2)$$

Dabei entspricht K dem Weber-Kontrast, L_U der Hintergrundleuchtdichte und L_O der Objektleuchtdichte.

Das Webersche Gesetz kann zum Weber-Fechnerschen Gesetz erweitert werden. Dieses besagt, dass sich die subjektive Stärke von Sinneseindrücken proportional zum Logarithmus der objektiven Intensität des physikalischen Reizes verhält:

$$E = c \cdot \ln \frac{R}{R_0} \quad (3)$$

Dabei bezeichnet E die Reaktionsstärke im Sinnesorgan, R_0 eine Integrationskonstante, die den Schwellenreiz festlegt, R bezeichnet den Reiz.

Das menschliche Auge kann durch die logarithmische Adaption Sinneseindrücke von Helligkeitsänderungen von bis zu zehn Zehnerpotenzen überbrücken, was Leuchtdichten von $2 \cdot 10^{-5}$ cd/m² bis etwa 10^6 cd/m² entspricht. Durch die Zunahme der Hintergrundleuchtdichte kommt es zu einer Herabsetzung des fotometrischen Kontrastes und damit verschwindet das Sehobjekt optisch völlig. Die Sehschärfe bleibt unverändert, solange die Schleierleuchtdichte nicht mehr als 1 bis 2 % der Grundadaptation beträgt, die erforderlich ist, um Informationen visuell aufzunehmen.

Unter Berücksichtigung des Weber-Fechnerschen Gesetzes kann geschlossen werden, dass die physiologische Blendung umso weniger wahrgenommen wird, je besser erkennbar das Sehobjekt ist. Die Blendung ist umso stärker, je näher die Blendlichtquelle an der Fixierungsachse liegt. Übertragen auf mehrere Blendlichtquellen bedeutet das, dass sich die Streulichteffekte der einzelnen Quellen addieren. Neben den externen physikalischen Einflüssen können aber auch organische Ursachen Auslöser für physiologische Blendung sein, wie zum Beispiel eine krankheits- oder medikamentös bedingte Störung der Pupillenmotorik. Ein Zusammenhang mit neuropsychologischen Vorgängen kann ebenfalls nicht ausgeschlossen werden.

Die Verminderung und Verschlechterung der Sehfunktionen sind bei der physiologischen Blendung messbar. Messtechnisch wird dabei zu einer gegebenen Leuchtdichte des Gesichtsfeldes (Gesichtsfeldleuchtdichte) die Sehfunktion einmal mit und einmal ohne Einfluss der Blendquelle bestimmt. Hierbei wird besonderer Wert auf den Einfluss der jeweiligen Blendquelle bezüglich einer bestimmten Sehaufgabe und Situation gelegt.

Physiologische Blendung hängt unter normalen Bedingungen nicht von der Farbe des blendenden Lichtes ab [3]. Eine geringe Zunahme der Blendwirkung ergibt sich lediglich mit zunehmender Wellenlänge für reine Spektralfarben. Die Signalerkennung ist ebenso nicht von der Farbe des Signals, sondern ausschließlich von dessen Leuchtdichte und der Umgebungsleuchtdichte abhängig.

Daneben spielt die Größe der Blendlichtquelle eine wichtige Rolle beim Blendvorgang. Interessanterweise existiert eine umgekehrte Proportionalität zwischen der Blendlichtquellengröße und der Blendung [6]. Das bedeutet, dass beispielsweise Fahrzeugscheinwerfer eine möglichst große leuchtende Fläche besitzen sollten.

Physiologische Blendung durch Streuung liegt nicht nur dann vor, wenn die Streuintensität im Auge erzeugt wird, sondern auch wenn sie bereits vor dem Auge entsteht. In diesem Zusammenhang spricht man von Schleier- oder Nebelblendung. Solche Situationen treten beispielsweise beim Fahren im Nebel auf, wenn das Fahrzeuglicht aus dem Nebel zurückgestreut wird und sich wie ein Schleier über die Netzhautbilder legt.

5.2 Psychologische Blendung

Im Gegensatz zur physiologischen Blendung ist die psychologische Blendung messtechnisch weder quantifizierbar noch optisch-visuell nachweisbar. Sie kommt häufig in Innenräumen vor und liegt dann vor, wenn ein aufgrund des qualitativen Urteils eines Beobachterkollektivs ermittelter Grenzwert von gerade noch annehmbarer hin zu gerade unannehmbare Blendung überschritten wird. Es muss betont werden, dass es sich um rein subjektive Eindrücke handelt.

Für die psychologische Blendung findet man folgenden Eintrag im internationalen elektrotechnischen Wörterbuch: „*glare that causes discomfort without necessarily impairing the vision of objects*“ (IEV-Nummer 845-02-56, „*Lichtschein, der Unwohlsein erzeugt, ohne zwangsläufig die Sichtbarkeit von Objekten zu beeinflussen*“) [2]. Die Sehfähigkeit bleibt also voll erhalten, während das durch den Lichtschein hervorgerufene Unbehagen die dominierende Rolle spielt. An dieser Stelle muss darauf hingewiesen werden, dass die fehlende Quantifizierbarkeit der Blendung ein Problem darstellt. Soll es beispielsweise zu einer kostenintensiven Umgestaltung eines Arbeitsplatzes kommen, dann müsste sich der Vorgesetzte ausschließlich auf das Gefühl des Angestellten verlassen und ist damit einer gewissen Willkür ausgesetzt. Insbesondere im rechtlichen Sinne sind Argumente des Unwohlseins schwer zu beweisen und damit bei arbeitsrechtlichen Auseinandersetzungen oftmals vor Gericht nicht beweiskräftig genug. Zudem gibt es in der subjektiven Wahrnehmung einer Blendwirkung individuelle Unterschiede in der Höhe des Unbehagens – selbst bei derselben physikalischen Stimulation durch Licht. Die Lichtempfindlichkeit eines Individuums ist bei dieser Beurteilung von entscheidender Bedeutung.

Zur Charakterisierung der psychologischen Blendung können aufgrund ihrer subjektiven Natur nur phänotypische Eindrücke zugrunde gelegt werden. Lichtquellen können als störend empfunden werden, die zur Be- oder Ausleuchtung vorhanden sind. Erschwerend kommt hinzu, dass Menschen eine in Bezug auf die Einstrahlungsrichtung von Licht gerichtete Bewegung ausführen. Das hat zur Folge, dass man bisweilen unbewusst den Blick auf die Blendquelle ausrichtet.

Die Befindlichkeitsstörung bei psychologischer Blendung führt nicht zu einer Beeinträchtigung der Sehleistung. Infolgedessen ist die Sicht nicht zwangsläufig behindert. Aufgrund ihrer subjektiv-individuellen Natur ist die psychologische Blendung nur schwer zu erkennen. Sie kann erhebliche Beeinträchtigungen des allgemeinen Wohlbefindens, der Arbeitsleistung und Arbeitssicherheit sowie der Konzentrationsfähigkeit bewirken und wesentlich zur Ermüdung beitragen. Diese wird dadurch erzeugt, dass eine ungewollte und ständige Ablenkung der Blickrichtung auf die Lichtquelle stattfindet, wodurch insbesondere bei großen Leuchtdichteunterschieden zwischen Umgebungsleuchtdichte und Quellenleuchtdichte eine ständige Adaption der Augen stattfindet.

Die psychologische Blendung ist abhängig von der spektralen Zusammensetzung der Blendlichtquelle [3], da Farben oftmals Einfluss auf das persönliche Empfinden haben. Zudem wird die psychologische Blendung nicht nur von der scheinbaren Leuchtdichte beeinflusst, sondern auch von der Umgebungsleuchtdichte. Dabei nimmt sie sowohl mit abnehmender Lichtaustrittsfläche als auch mit abnehmender Entfernung zu.

Verringert man den Kontrast zwischen der Blendlichtquelle und der Umgebung durch Herabsetzen der Leuchtdichte der Quelle oder Erhöhung der Umgebungsleuchtdichte, so führt dies zu einer Verringerung der psychologischen Blendung. Zusätzlich gelingt dies durch eine Verkleinerung der Quellenabmessung und das Herausbewegen der Blendlichtquelle aus der Sichtlinie.

5.3 Zusammenhänge von physiologischer und psychologischer Blendung

Bleiben Lage und Größe einer Blendlichtquelle gleich, dann ziehen Maßnahmen zur Reduzierung der psychologischen Blendung gleichzeitig eine Reduzierung der physiologischen Blendung nach sich. Verringert man jedoch die Quellengröße bei gleichbleibendem Lichtstrom, dann steigt die psychologische Blendung bei gleichbleibender physiologischer Blendung.

Ein Beispiel für diesen Vorgang bietet die Diskussion um die Blendung durch neuartige Xenon-Entladungslampen im Vergleich zu Halogenstrahlern. Die Austritts- und Reflektorflächen sind bei Xenonstrahlern kleiner, daher benötigen sie zur Erzielung einer gleichen Lichtstärke eine größere Beleuchtungsfläche. Dadurch kommt es aber zu einer höheren psychologischen Blendung [7].

Physiologische Blendung kann bereits ohne das Bemerkens einer psychologischen Blendung vorliegen. Dies tritt besonders bei geringen Hintergrundleuchtdichten auf. Im Gegenzug kann eine ausreichende Umgebungsleuchtdichte eine psychologische Blendung hervorrufen, wenn noch keine physiologische Blendung auftritt.

5.4 Grelle Blendung

Zusätzlich zur physiologischen und psychologischen Blendung wurde eine weitere Art der Blendung definiert [8]: Die „grelle Blendung“ (engl. „dazzling glare“) entspricht einem Unbehagen durch Überexposition und umfasst Blendungen durch das Betrachten eines hellen Schneefeldes, der sandigen Wüste, des Himmels oder eines sonnenbeschienenen Buches. Die betroffene Person richtet in solchen Fällen den Blick nicht auf die Blendquelle, sondern wendet sich eher ab. Bei greller Blendung kann es zu einer vorübergehenden oder länger andauernden Blindheit kommen, die eine permanente Blindheit aufgrund fotochemischer Schädigung nicht ausschließen kann. Der Schmerz bei der grellen Blendung wird nicht in der Netzhaut erzeugt, denn dort gibt es keine Schmerzrezeptoren, höchstwahrscheinlich entsteht er durch einen Krampf im Pupillenverengermuskel aufgrund von Überbeanspruchung.

5.5 Blendungsbewertung

Die Messung und Quantifizierung der Blendung stellt eine messtechnische Herausforderung dar. Sie kann entweder physiologisch oder psychologisch erfolgen.

Blendung ruft im Wesentlichen drei Effekte hervor:

- Es entsteht eine physikalische Schleierleuchtdichte.
- Es kommt physiologisch zu einer Einschränkung von Sehfunktionen.
- Es kommt psychologisch zu einer Ablenkung der Aufmerksamkeit.

Die CIE (CIE – Commission internationale de l'éclairage) verfolgt das Konzept, Streulichtmessungen zur Blendungsbewertung einzuführen. Dabei wird eine äquivalente Leuchtdichte angesetzt, die denselben Seheindruck hervorruft wie die Blendlichtquelle [9].

Bei der physiologischen Messung werden die Veränderungen der Sehfunktionen bestimmt. Zu dieser Messung gehören die Sehschärfe (der Visus), die sich in der Formerkennbarkeit äußert, und die Leuchtdichteschwellenempfindlichkeit, die sich in der Kontrastempfindung bemerkbar macht. Die Beeinträchtigung des Visus ist dabei von geringerer Bedeutung.

5.5.1 Sehleistung und Sehfunktionen

Die physiologische Blendung beeinflusst in erster Linie die Sehfähigkeit und Sehleistung eines Menschen und ist daher messbar. Obwohl die Sehleistung eine nicht hinreichend festgelegte Größe ist, wird sie zur Quantifizierung der Visuseinschränkung nach einer Blendung verwendet.

Mit Sehschärfe (Visus) ist im Allgemeinen die zentrale Tagessehschärfe gemeint [10]. Als Normzeichen wird der Landoltring in logarithmischer Progression betrachtet. Beim Landoltring handelt es sich um einen definierten Kreisring mit Öffnung, bei dem Außen- und Innendurchmesser in einem Verhältnis von 5:3 zueinander stehen. Die Öffnung beträgt $1/5$ des Außendurchmessers des Ringes. Der Kreis kann mit der Ringöffnung in acht Richtungen dargestellt werden. Der bei der Sehschärfe angegebene Zahlenwert ergibt sich aus dem Kehrwert der Lückenbreite des kleinsten erkennbaren Landoltringes. Zur Durchführung einer Visusprüfung sind die Festlegungen der Normen DIN EN ISO 8596 und DIN EN ISO 8597 heranzuziehen [11, 12].

Neben den physikalischen Grenzen für die Bildung eines Netzhautbildes hängt der Visus in besonderer Weise von folgenden Faktoren ab:

- Kontrast: Ab einem Kontrast von 85 % wird das Verhältnis zwischen Kontrast und Visus unabhängig. Bei zu hohem Kontrast verschlechtert sich die Sehschärfe.
- Brechungsfehler des Auges: Dadurch kommt es zu unscharfen Abbildungen auf der Netzhaut.
- Pupillengröße: Die Sehschärfe ist im Zentrum der Pupille größer als in den Außenbereichen:
- Umgebungsbeleuchtung: Die Sehschärfe nimmt mit abnehmender Helligkeit ab.
- Dauer der Objektbestrahlung: Die von einem Objekt ausgehende Strahlung ist von entscheidender Bedeutung für dessen Sichtbarkeit.
- Ort auf der Retina: Der Visus ist in der Peripherie des Auges schlechter als im Sehzentrum.

- Adaptionszustand: Ist das Auge an das Testobjekt adaptiert, dann ist die zentrale Sehschärfe optimal.
- Augenbewegungen: Die Abhängigkeit der Sehschärfe von den Augenbewegungen ist schwer einschätzbar.

Weitere physikalische Größen, die die Sehleistung kennzeichnen, sind unter anderem die Unterschiedsempfindlichkeit, die Formempfindlichkeit, die Wahrnehmungsgeschwindigkeit und die Akkomodationsgeschwindigkeit.

5.5.2 Physiologische und psychologische Blendungsbewertung

Allgemeines

Zur Blendungsbewertung muss zwischen der Bewertung der physiologischen Blendung auf der einen Seite sowie der psychologischen Blendung auf der anderen Seite unterschieden werden. Die messbare Beeinträchtigung der Sehfunktionen durch eine Blendlichtquelle ist Teil der physiologischen Blendungsbewertung. Je heller die Blendquelle, je geringer die Helligkeit des Sehobjektes und je kleiner der Winkel zwischen Sehobjekt und Blendlichtquelle sind, desto negativer wirkt sich dies auf die Sehfunktionen aus. Ist das Sehobjekt jedoch sehr hell, kann eine zusätzliche Umgebungsbeleuchtung dessen Sichtbarkeit verbessern [13].

Der Blendungsgrad dient als Maß der physiologischen Blendungsbewertung. Er berechnet sich als Quotient aus Kontrastempfindlichkeit ohne und mit Blendung (K_0 beziehungsweise K_{Bl}). Wie bereits definiert, bildet der Kehrwert der Kontrastempfindlichkeit die Kontrastschwelle, die durch den geringsten wahrnehmbaren fotometrischen Kontrast ausgedrückt wird. Es ergibt sich für den Blendungsgrad:

$$n_{Bl} = \frac{K_{Bl}}{K_0} \quad (4)$$

Die Schleierleuchtdichte bewirkt eine Reduzierung des retinalen Kontrastes, dessen Blendungseffekt messbar als äquivalente Schleierleuchtdichte L_V sowohl zur Ziel- als auch zur Hintergrundleuchtdichte addiert wird. Unter Zuhilfenahme des Weberschen Gesetzes erhält man für den Kontrast K_n in Anwesenheit einer Blendlichtquelle:

(5)

$$K_n = \frac{(L_0 + L_V) - (L_U + L_V)}{L_U + L_V} = \frac{L_0 + L_V}{L_U + L_V} = K \cdot \frac{L_U}{L_U + L_V}$$

Steigt die Schleierleuchtdichte an, so nimmt der Kontrast ab, das Objekt kann als Folge schlechter wahrgenommen werden.

Die Bewertung der psychologischen Blendung muss für unterschiedliche Zielgruppen getrennt durchgeführt werden. Dazu wurden zwei Bewertungssysteme entwickelt, eines für Blendung im Straßenverkehr [14], ein anderes für die Blendung in Innenräumen [15].

Bei Messungen für die psychologische Blendung wird eine stufenweise Bewertung durchgeführt. Der Grad des „Unangenehmseins“ wird dabei durch eine Stufung zwischen „gerade erkennbar“ bis „schmerzhaft“ bestimmt, die jedoch nicht auf quantitativ messbaren Größen beruht. Daher muss betont werden, dass die psychologische Blendungsbewertung die Bewertung einer rein subjektiv

störenden Blendung darstellt. Diese Störungsempfindung wird beispielsweise als ablenkend oder unangenehm beschrieben.

Nach DIN 5340 wird zur Beschreibung der Blendung allerdings keine Formel angegeben [16]. Als Maß für die Störempfindung wird die Blendungszahl definiert. Diese hängt von der Blendleuchtdichte, dem Raumwinkel der Blendlichtquelle, der Umfeldadapptionsleuchtdichte und einem Positionsfaktor ab. Die daraus abgeleiteten Zusammenhänge beziehen sich auf die Grenze zwischen zulässiger und störender beziehungsweise zwischen annehmbarer und gerade unannehmbare Blendung (BCD, aus dem Englischen für „borderline between comfort and discomfort glare“). Üblicherweise reichen die Blendzahlen von 9 bis 1, von unmerklicher Blendung (9) bis hin zu unerträglicher Blendung (1). Die De-Boer-Skala berücksichtigt die geraden Zwischenwerte nicht, diese können aber dennoch angegeben werden (vgl. Tabelle 1) [17, 18].

Tabelle 1: Einteilung und Bewertung der psychologischen Blendung nach De-Boer-Skala (entnommen aus [19], unter Berücksichtigung von [20], * nach [21])

Grad	Psychologische Empfindung/Bewertung	Originalbezeichnung bzw. in anderen Publikationen verwendet	Bedeutung
1	Unerträglich	Unbearable	Bad
2			
3	Störend	Distracting/disturbing*	Inadequate
4			
5	Gerade akzeptabel	Just acceptable/just admissible*	Fair
6			
7	Zufriedenstellend	Satisfactory/acceptable	Good
8			
9	Gerade bemerkbar	Unnoticeable/just noticeable/noticeable*	Excellent

Es ist darauf zu achten, dass Personen mit Erkrankungen des optischen Systems deutlich andere Eindrücke von psychologischer Blendung erfahren, die meist in ein größeres Blendempfinden mündet. Des Weiteren ist die Bewertung der Blendung stark abhängig von der „erlebten“ Helligkeit. Hierbei kommt es zu einem „Bereichs-Effekt“ [22].

Zusammenhang zwischen Beleuchtungsstärke und De-Boer-Bewertungsskala

Der psychologische Blendeindruck entsteht durch die Wahrnehmung einer Beleuchtungsstärke durch das menschliche Auge und die Interpretation des visuellen Eindrucks im Gehirn. Es liegt also nahe, dass die Wahrnehmung direkt mit der Beleuchtungsstärke korreliert und somit ein gewisser numerischer Zusammenhang zwischen der subjektiven Beurteilung der Blendung im Rahmen der De-Boer-Skala und der tatsächlich auftretenden Beleuchtung besteht.

Es wurde festgestellt, dass die De-Boer-basierte Bewertung im Bereich von 0,003 bis 20 lx mit dem Logarithmus der Beleuchtungsstärke korreliert und zusätzlich das Unbehagen bei großen Winkeln des Gesichtsfeldes zwischen 1 und 20° abnahm. Dieses Verhalten wurde auch bei höheren Hintergrundleuchtdichten im Bereich von 0,015 bis 15 cd/m² beobachtet [21]. Der Zusammenhang wurde für den Bereich zwischen 0,02 und 10 lx bereits mehrfach detailliert analysiert [23 bis 27].

Aus einer umfangreichen Untersuchung an einem schematischen Straßenverkehrsszenario konnte abgeleitet werden, dass sich die Bewertung der psychologischen Blendung nach De-Boer-Skala um zwei Stufen veränderte, wenn sich die Beleuchtungsstärke um eine Zehnerpotenz [21] änderte. Daraus konnte eine Beziehung zwischen der Beleuchtungsstärke E_B am Ort des Fahrerauges und der De-Boer-Bewertung W abgeleitet werden:

$$W = 5 - 2 \cdot \log \frac{E_B}{0,02 \cdot \left(1 + \sqrt{\frac{L_U}{0,04}} \right) \cdot \Theta^{0,46}} \quad (6)$$

Die Beleuchtungsstärke E_B der Blendlichtquelle wird in lx, die Leuchtdichte L_U des Adaptionfeldes in cd/m² und der Winkel Θ zwischen der Blendlichtquelle und der Blickrichtung in Grad eingesetzt.

In der Praxis hat sich gezeigt, dass die Angaben der W -Werte im Bereich von 1 bis 2 (unerträgliche Störung) aufgrund großer Abweichungen nicht ausreichend genau bestimmt werden können. Das Berechnungsverfahren hat sich aber für herkömmliche Scheinwerfersysteme bewährt. Ob dies jedoch ohne weiteres auf LED-basierte Scheinwerfer übertragbar ist, ist – vorbehaltlich neuer Messungen – offen.

Im Straßenverkehr

Die psychologische Blendung ist vor allem im Straßenverkehr sicherheitsrelevant. Dabei werden Blendzahlen von 5 bis 7 als tolerabel angesehen, die mit einer Beleuchtungsstärke von 0,1 lx am Auge als Schwelle zwischen „nicht blendend“ und „blendend“ korrespondieren. Eine Beleuchtungsstärke einer Blendlichtquelle oberhalb dieser Schwelle beginnt unbehaglich, ungemütlich und unbehaglich zu werden [28].

Beleuchtungsstärken von 1 bis 3 lx veranlassen geblendete Fahrer offensichtlich, per Fernlicht dem Entgegenkommenden eine nicht akzeptable Blendung zu signalisieren [29, 30]. Unerträglich wird das Unbehagen bei Beleuchtungsstärken im Bereich von 3 bis 10 lx [21, 23 bis 27, 31 bis 35].

Für die Entwicklung von Fahrzeugscheinwerfern ist die Erkenntnis von Bedeutung, dass eine Vergrößerung der Blendlichtquelle eine Steigerung des „Komfortniveaus“ hervorruft, da es bei konstanter Beleuchtungsstärke zu einer Verringerung der Leuchtdichte kommt [23]. In der Praxis sind Scheinwerfer mit Entladungslampen (beispielsweise Xenonlampen) im Mittel um den Faktor 1,8 kleiner als solche mit Halogenlampen, daher wird die psychologische Blendung in diesem Falle stärker empfunden [36]. Die beleuchtete Oberfläche müsste zur Verringerung der psychologischen Blendung vergrößert werden.

Aus obiger Gleichung wurden für das Abblendlicht unter den europäischen Verhältnissen der 1970er-Jahre De-Boer-Werte zwischen 6 und 8 abgeleitet [29]. Ein Wert von 4 führt zur Betätigung des eigenen Fernlichtes, um Entgegenkommende auf die Blendung hinzuweisen. Dabei wird bei einer Beleuchtungsstärke von 1 lx gemäß obiger Gleichung ein De-Boer-Wert von 3,8 erreicht, während 0,2 lx einem Wert von 5,2 entsprechen und 5 lx mit einem De-Boer-Wert von 2,4 als störend

empfunden werden. Der quantitative Zusammenhang zwischen Beleuchtungsstärke und De-Boer-Wert wird durch neue Untersuchungsergebnisse ständig verfeinert [37].

Erwähnt werden sollte, dass es nach DIN EN 12464 eine alternative Bewertung für die Blendung gibt [38]. Ziel ist die Angabe von Güteklassen der Blendungsbegrenzung. Methodisch wird die psychologische Blendung aufgrund von Grenzleuchtdichtekurven bestimmt, wozu die Leuchtdichte der Blendquelle in Beobachterrichtung und die mittlere Beleuchtungsstärke in der Nutzebene bekannt sein muss.

Autor: Dr. Marc Wittlich
Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (IFA),
Sankt Augustin

6 Literatur

- [1] DIN EN 12665: Licht und Beleuchtung – Grundlegende Begriffe und Kriterien für die Festlegung von Anforderungen an die Beleuchtung Angewandte Lichttechnik (08.09). Beuth, Berlin 2009
- [2] Commission Internationale de l'Éclairage (CIE): International Lighting Vocabulary. Publication CIE 17.4-1987 und IEC 60050-845, Ed. 1.0: 1987-12-15. International Electrotechnical Vocabulary, Chapter 845: Lighting, <http://www.electropedia.org>
- [3] Hartmann, E.: Was wir heute über Blendung wissen. Augenoptiker (1958) Nr. 5, S. 9-15
- [4] Holladay, L. L.: The fundamentals of glare and visibility. J. Opt. Soc. Amer. 12 (1926) S. 271-319
- [5] Mace, D.; Garvey, P.; Porter, R. J.; Schwab, R.; Adrian, W.: Countermeasures for Reducing the Effects of Headlight Glare. Hrsg.: American Automobile Association Foundation for Traffic Safety, Washington, DC 2001
- [6] Miles, P. W.: Visual effects of pink glasses, green windshields and glare under night driving conditions. Amer. Med. Assoc. Arch. – Ophthalmology 51 (1954) S. 15-23
- [7] Manz, K.: The influence by size of headlamp on discomfort glare. Progress in Automobile Lighting Symposium, Darmstadt, Germany. Darmstadt University of Technology, 2001, S. 618-634
- [8] Vos, J. J.: Reflections on glare. Lighting Res. Technol. 35 (2003) S. 163-176
- [9] Vos, J. J.: Disability glare – a state of the art report. Comm. Int. Eclairage J. 3 (2) (1984) S. 39-53
- [10] Wesemann, W.: Die Grenzen der Sehschärfe, Teil 4: Wie misst man die Sehschärfe richtig? Regeln und Probleme. DOZ 2 (2002) S. 32-28
- [11] DIN EN ISO 8596: Augenoptik – Sehschärfepfung – Das Normsehzeichen und seine Darbietung (ISO 8596:2009). Beuth, Berlin 2009

- [12] DIN EN ISO 8597: Optik und optische Instrumente – Sehschärfepfung. Verfahren zum Anschluss von Sehzeichen (ISO 8597:1994, einschließlich Technische Korrektur 1:1995). Beuth, Berlin 1996
- [13] Cobb, P. W.: The influence of Illumination of the Eye on Visual Activity. Am. J. Physiol. 29 (1911) S. 76-99
- [14] Commission Internationale de l'Éclairage (CIE): Glare and uniformity in road lighting installations. CIE publication No. 31, 1976
- [15] Commission Internationale de l'Éclairage (CIE): Discomfort glare in the interior working environment. CIE publication No. 55, 1983
- [16] DIN 5340: Begriffe der physiologischen Optik (04.98). Beuth, Berlin 1998
- [17] De Boer, J. B.; Schreuder, D. A.: Glare as a Criterion for Quality in Street Lighting. Trans. Transport. Illuminat. Eng. Soc. (London) 32 (1967) S. 117-135
- [18] De Boer, J. B.: Visual perception in road traffic and the field vision of the motorist. In: Public Lighting. Philips Technical Library, Eindhoven/Netherlands 1967
- [19] Reidenbach, H. D.; Dollinger, K.; Ott, G.; Janssen, M.; Brose, M.: Blendung durch optische Strahlungsquellen. Projekt F2185. Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAuA), Dortmund 2008
- [20] De Boer, J. B.; Burghout, F.; van Heemskerck Veeckens, J. F. T.: Appraisal of the quality of public lighting based on road surface luminance and glare. Proceedings of the CIE, Brussels 1959, P-29.23., S. 529-538
- [21] Schmidt-Clausen, H. J.; Bindels, J. T. H.: Assessment of discomfort glare in motor vehicle lighting. Lighting Res. Technol. 6 (1974) S. 79-88
- [22] Schieber, F.: Analytic study of daytime running lights as potential sources of disability and discomfort glare under ambient illumination conditions ranging from dawn through dusk. Heimstra Human Factors Laboratories, University of South Dakota, October 26, 1998, <http://www.usd.edu/~schieber/pdf/drl.pdf>
- [23] Sivak, M.; Simmons, C. J.; Flannagan, M. J.: Effect of headlamp area on discomfort glare. Lighting Res. Technol. 22 (1990) S. 49-52
- [24] Sivak, M.; Flannagan, M. J.; Traube, E. C.; Kojima, S.: The influence of stimulus duration on discomfort glare for persons with and without visual correction. Transport. Human Factors 1 (1999) S. 147-158
- [25] Lehnert, P.: Disability and discomfort glare under dynamic conditions: The effect of glare stimuli on human vision. Progress in Automobile Lighting Symposium, Darmstadt, Germany: Darmstadt University of Technology 2001, S. 582-592
- [26] Flannagan, M. J.: Subjective and objective aspects of headlamp glare: effects of size and spectral power distribution. Report No. UMTRI-99-36. University of Michigan, Transp. Res. Inst., Ann Arbor, MI 1999

- [27] Alferdinck, J. W. A. M.; Varkevisser, J.: Discomfort glare from D1 headlamps of different size. Report IZF 1991 C-21. TNO Institute for Perception, Soesterberg/Netherlands 1991
- [28] Mortimer, R. G.; Becker, J. M.: Some operational considerations affecting the performance of current and proposed head-lamp beams. Transportations research record, No. 502 (1974) S. 34-40
- [29] Bhise, V. D.; Farber, E. I.; Saunby, C. S.; Troell, G. M.; Walunas, J. B.; Bernstein, A.: Modeling vision with headlights in a systems context. Paper 770238. Society of Automobile Engineers Congress and Exposition, Detroit 1977
- [30] Rumar, K.: Intensity of high-beam headlights. Progress in Automobile Lighting Symposium, Darmstadt 2001, S. 829-848
- [31] Bullough, J. D.; Fu, Z.; Van Derlofske, J.: Discomfort and disability glare from halogen and HID headlamp systems. Society of Automotive Engineers World Congress, Detroit, MI: (FASE technical Paper 2002-01-0010), Advanced Lighting Technology for Vehicles (SP-2668), SAE 2002 World Congress, Detroit, March 4-7, 2002
- [32] Olson, P. L.; Sivak, M.; Discomfort glare from automobile headlights. J. Illumin. Eng. Soc. 13 (1984) S. 296-303
- [33] Flannagan M. J.; Sivak, M.; Ensing, M.; Simmons, C. J.: Effects of wavelength on discomfort glare from monochromatic sources. Report UMTRI-89-30. Univ. of Michigan, Transp. Res. Inst., Ann Arbor, MI 1989
- [34] Flannagan, M. J.; Sivak, M.; Battle, D. S.; Dato, T.; Traube, E. C.: Discomfort glare from high-intensity discharge headlamps: Effects of context and experience. Report UMTRI-93-10. Univ. of Michigan, Transp. Res. Inst., Ann Arbor, MI 1993
- [35] Flannagan, M. J.; Sivak, M.; Gellaty, A. W.; Luoma, J.: A field study of discomfort glare from high-intensity discharge headlamps. Report UMTRI-92-16. Univ. of Michigan, Transp. Res. Inst., Ann Arbor, MI 1992
- [36] Sivak, M.; Flannagan, M. J.; Schoettle, B.; Adachi, G.: Driving with HID headlamps: A review of research findings. 2003-01-0295m SAE International. In: Holt, D. J. (Ed.): Recent Developments in Automotive Safety Technology, PT-119, September 2004
- [37] Porter, R. J.; Hankey, J. M.; Binder, S. C.; Dingus, T. A.: Enhanced night visibility series. Vol. VII: Phase II-Study 5: Evaluation of discomfort glare during nighttime driving in clear weather. Report No. FHWA-HRT-04-138. Virginia Tech. Transportation Institute, Blacksburg 2005
- [38] DIN EN 12464: Beleuchtung mit künstlichem Licht; Richtwerte für Arbeitsstätten in Innenräumen und im Freien (09.90). Beuth, Berlin 1990