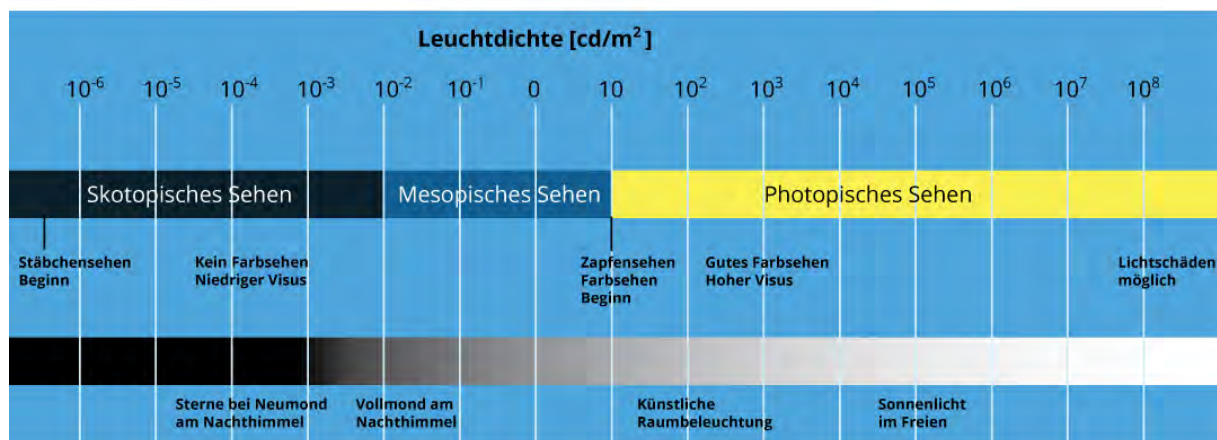


## Beleuchtungstechnische Aspekte in der Refraktion

In der derzeit gültigen Norm DIN EN ISO 8596, 2009 sind viele Aspekte der Brillenglasbestimmung geregelt. So auch die Testfeldleuchtdichte des Sehtests und die Leuchtdichte der Optotypen. Die Beleuchtung des Refraktionsraumes hat jedoch einen nicht unerheblichen Einfluss auf die gefundenen Dioptrienwerte. Deshalb regelt die DIN EN ISO 8596, 2009 neben den Testzeichen auch die Umgebungsleuchtdichte des Prüfraums – wenn auch nicht in einem befriedigenden Maße.

### Photopische, mesopische und skotopische Adaption des Auges

Das menschliche Auge hat die Fähigkeit in einem sehr großen Spektrum an Leuchtdichten Informationen wahrzunehmen. So können Leuchtdichten in einem Intervall von bis zu 11 Zehnerpotenzen – von  $10^5$  bis  $10^{-6}$   $\text{cd/m}^2$  verarbeitet werden <sup>[1]</sup>.



**Abb: Leuchtdichten bei unterschiedlichen Adaptionen**

Das Auge kann im Wesentlichen auf drei unterschiedliche Beleuchtungssituationen adaptieren:

- Photopische Adaption:  $> 10 \text{ cd/m}^2$
- Mesopische Adaption:  $10 \text{ cd/m}^2$  bis  $0,01 \text{ cd/m}^2$
- Skotopische Adaption:  $< 0,01 \text{ cd/m}^2$

Beim Sehen unter Tageslichtbedingungen, also beim **photopischen Sehen** – ist die Pupille eng gestellt und weist eine Blendenwirkung auf. Dies führt dazu, dass

Randstrahlen ausgeblendet werden. Das Maximum der Sehschärfe wird beim Sehen unter **photopischer Adaption** in einem sehr kleinen retinalen Bereich, in der Fovea centralis erreicht. Zur Peripherie hin fällt die Sehschärfe sehr rasch ab. Bereits 10° außerhalb der Fovea centralis beträgt die Sehschärfe nur mehr 10-20% <sup>[2]</sup> des Visus<sub>CC</sub>.



**Abb: Sehen bei photopischer Adaption**

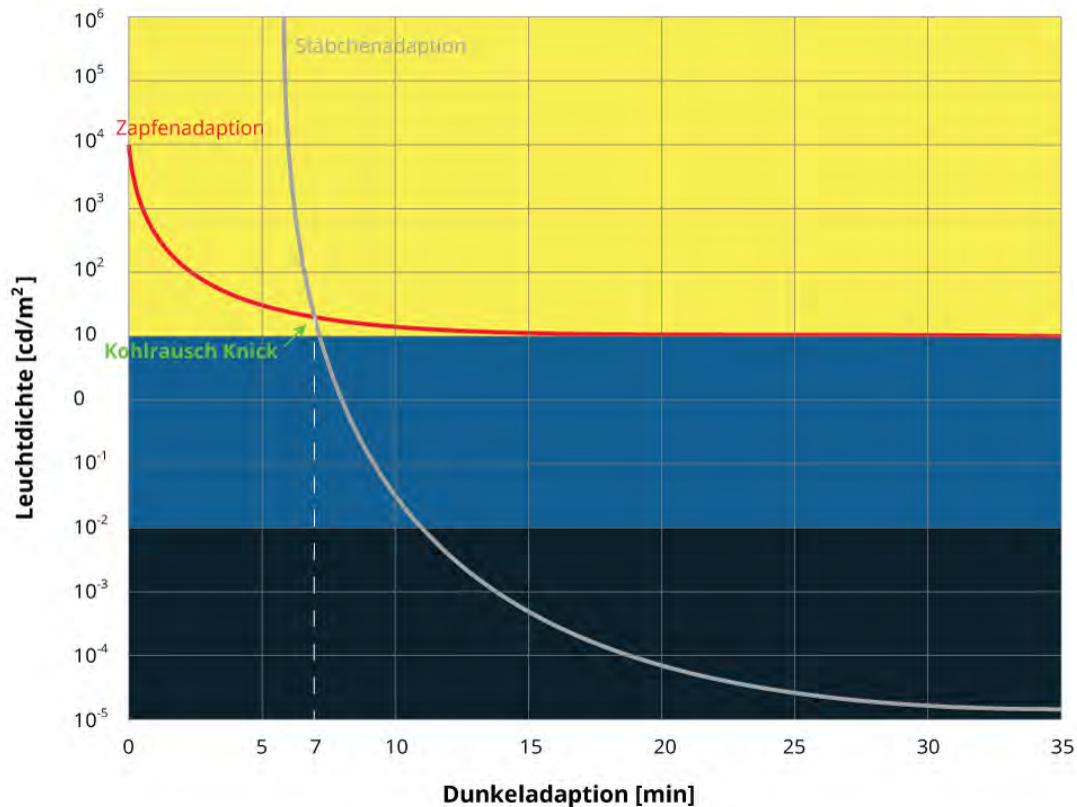
Nimmt man nun den extremen Gegenpol der Umgebungsleuchtdichte, also dunkle Nacht, so geht die Pupille in ihre Maximalgröße. Bei dieser **skotopischen Adaption** liegt ein reines Stäbchensehen vor.



**Abb: Sehen bei skotopischer Adaption**

Kommt es von einer Umstellung von heller auf dunkle Umgebung (etwa bei einem Eintritt in einen völlig abgedunkelten Prüfraum), so dauert es etwa 7 Minuten, bis das Zapfensehen auf Stäbchensehen umgestellt ist. Der Punkt in der Adaption, an dem die minimale Schwelle der Zapfen erreicht ist, und die

schwachen Lichtintensitäten ausschließlich nur mehr von Stäbchen wahrgenommen werden, wird Kohlrausch-Knick genannt <sup>[3]</sup>.



**Abb: Kohlrausch-Knick bei der Umstellung von Zapfensehen auf Stäbchensehen**

Bei vollkommen skotopischer Adaption liegt ein physiologisches Zentralskotom vor, da die Zapfen am Sehakt nicht mehr beteiligt sind und in der Fovea centralis keine Stäbchen vorhanden sind. Daher führt der Name **skotopisches Sehen**. Die beste erreichbare Sehschärfe befindet sich in der **skotopischen Adaption** etwa 10-20° außerhalb der Fovea centralis, da in diesem Bereich die höchste Dichte an Stäbchen im gesamten Netzhautareal vorzufinden ist.

Bei geringen Leuchtdichten - also zwischen dem Sehen unter photopischen und skotopischen Bedingungen - ist das Zapfensehen wohl noch vorhanden, aber die Stäbchen spielen bereits eine größere Rolle als beim photopischen Sehen. Dieser Zustand wird **mesopisches Sehen** oder auch Dämmerungssehen genannt.



### ***Abb: Sehen bei mesopischer Adaption***

Beim Übergang vom photopischen zum mesopischen Sehen verändert sich die Helligkeitsempfindlichkeit des Auges. Das Maximum der Helligkeitsempfindlichkeit verschiebt sich mit abnehmender Umgebungsleuchtdichte zu kleineren Wellenlängen hin. Mit anderen Worten – man nimmt unter mesopischen Bedingungen blaue Gegenstände stärker wahr als unter photopischen Bedingungen. Dieses Phänomen wird **Purkinje-Effekt** genannt.

### **Der Lichtstrom $\Phi$**

Der Lichtstrom gibt Auskunft über die gesamte Lichtleistung eines Leuchtkörpers. Mit dem Lichtstrom wird die gesamte von einer Lichtquelle abgegebene Strahlungsleistung bewertet. Es handelt sich um eine Eigenschaft der Lichtquelle – der Abstand dazu spielt keine Rolle.

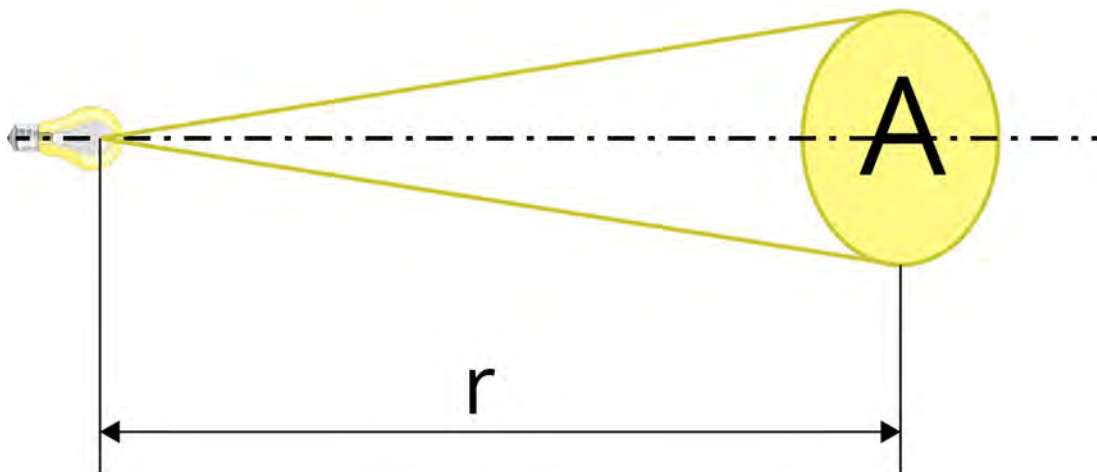
Die Einheit von Lichtstrom ist Lumen [lm].



***Abb: Lichtstrom***

### **Raumwinkel $\Omega$**

Der Raumwinkel ist ein Maß für jene Größe eines kegelförmigen Raumes, den Lichtstrahlen – welche von der Lichtquelle zum Rand der Fläche A verlaufen – einschließen. Der Raumwinkel  $\Omega$  errechnet sich aus der Formel  $\Omega = A / r^2$ .

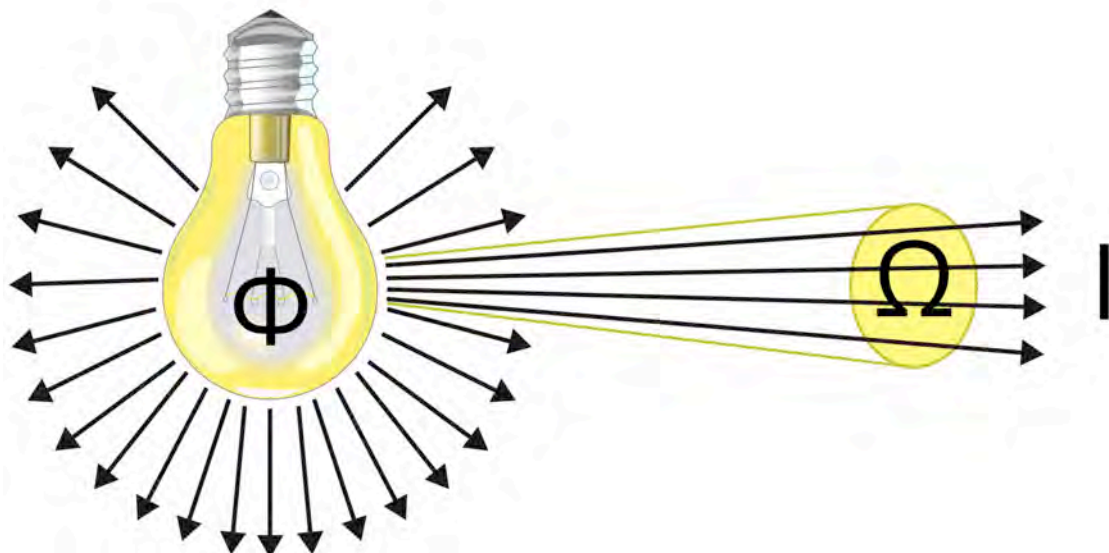


**Abb: Schematische Darstellung des Raumwinkels**

Die Einheit des Raumwinkels ist Steradian [sr].

## Die Lichtstärke

Eine Lichtquelle strahlt ihren Lichtstrom  $\Phi$  in verschiedenen Richtungen unterschiedlich stark aus. Die Intensität des in einer bestimmten Richtung abgestrahlten Lichtes gibt Auskunft über die Lichtstärke  $I$ . Konkret wird damit der Lichtstrom pro Raumwinkel beschrieben.

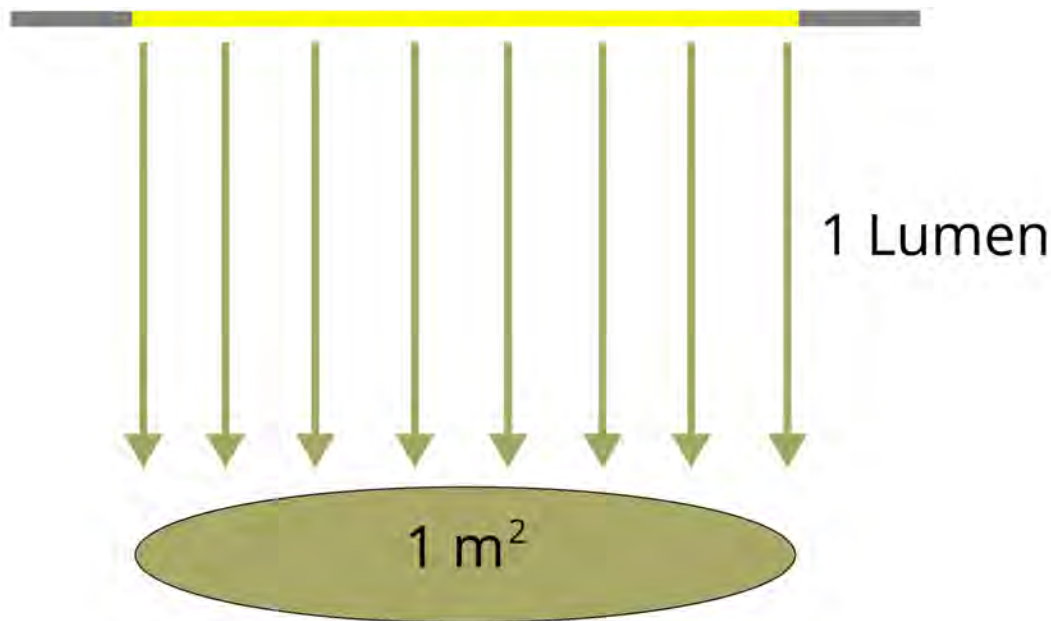


**Abb: Schematische Darstellung der Lichtstärke**

Der Abstand zur Lichtquelle spielt auch hier keine Rolle. Allerdings geht es im Gegensatz zum Lichtstrom um eine bestimmte Richtung. Die Einheit der Lichtstärke ist Candela [cd].

## Die Beleuchtungsstärke E

Trifft ein Lichtstrom vom 1 Lumen gleichmäßig auf eine Fläche von 1m<sup>2</sup> auf, so entspricht dies einer Beleuchtungsstärke von 1 Lux. Ein Lux entspricht etwa jener Beleuchtungsstärke, die eine Kerze in einer Entfernung von einem Meter, auf einem Quadratmeter erzeugt.



$$\text{Beleuchtungsstärke} = \Phi / A = 1 \text{ Lumen} / 1 \text{ m}^2 = 1 \text{ Lux}$$

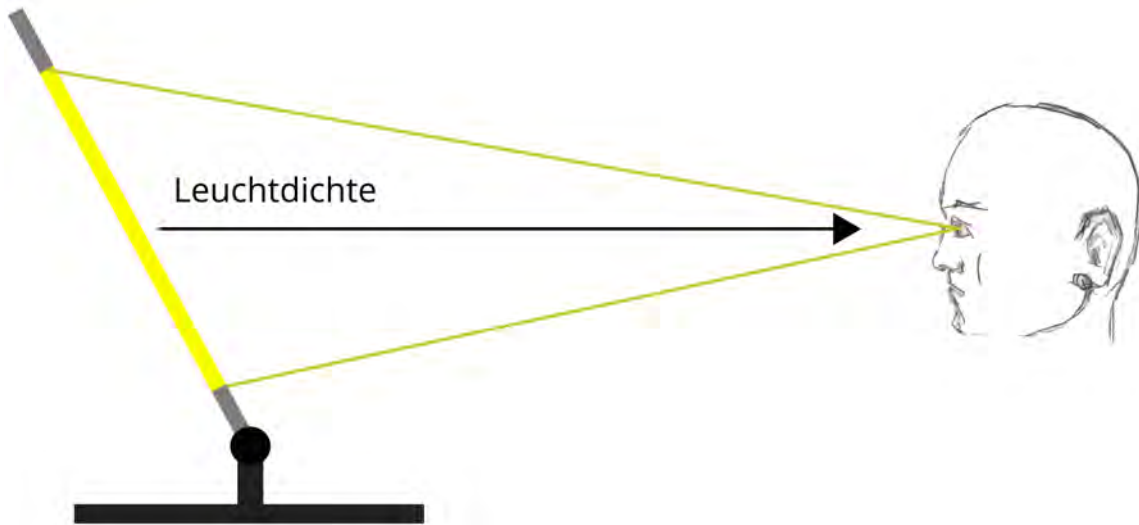
### **Abb: Schematische Darstellung der Beleuchtungsstärke**

Misst man die Beleuchtungsstärke – z.B. mit einem Luxmeter – so stellt man fest, dass sie vom Abstand der Lichtquelle zur gemessenen Fläche abhängig ist. Die Beleuchtungsstärke beschreibt demnach wie viel Licht von der Lichtquelle auf einer bestimmten Fläche ankommt. Lux ist im Gegensatz zu Lumen und Candela eine Empfängergröße – gemessen wird, wie viel Licht an einem bestimmten Punkt ankommt.

Die Einheit der Beleuchtungsstärke ist Lux [lx].

## Die Leuchtdichte L

Die Leuchtdichte – auf Englisch luminance - liefert Angaben über den Lichtstrom der in einem gewissen Winkel von einer Lichtquelle abgegebenen wird. Die Leuchtdichte einer Fläche bestimmt, mit welcher Helligkeit das Auge diese Fläche wahrnimmt <sup>[4]</sup>.



**Abb: Schematische Darstellung der Leuchtdichte**

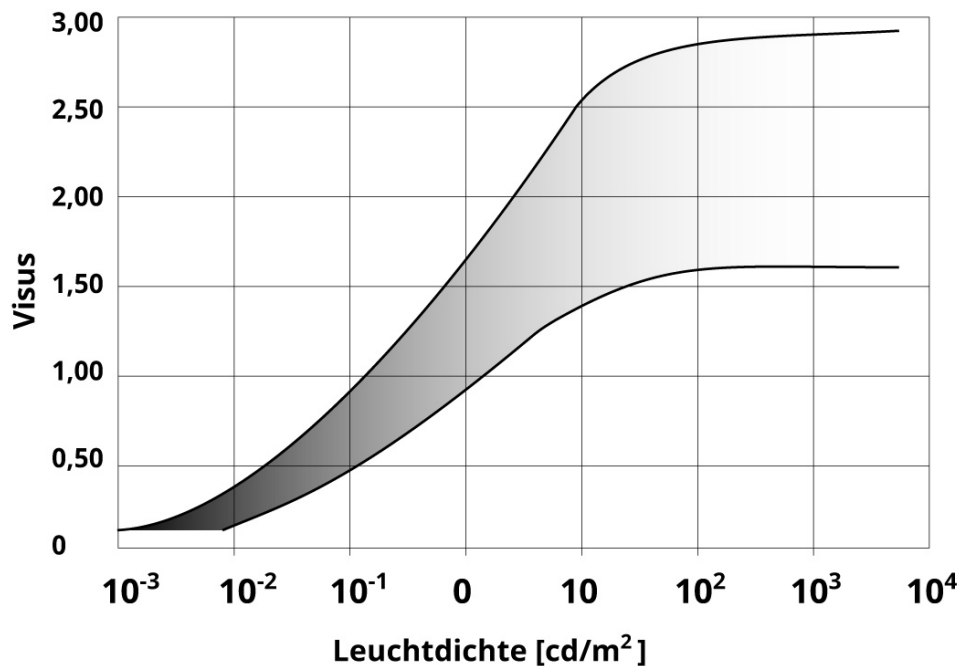
Die Einheit der Leuchtdichte ist Candela pro m<sup>2</sup> [cd/m<sup>2</sup>]. Die Leuchtdichte [cd/m<sup>2</sup>] gibt an, wie hoch die Lichtstärke [cd] auf der Fläche der Quelle (Lichtquelle oder Reflektor) [m<sup>2</sup>] konzentriert ist.

Situation	cd/m <sup>2</sup>
Straßenmarkierungen in der Nacht, vom KFZ angeleuchtet	3 - 30
Fußgänger bei Tag	20 - 200
Weißes Papier	2,5 - 250
Wände und Decken im Innenraum bei Beleuchtung mit 100 - 500 lx	1 - 500
Selbstleuchtende Verkehrszeichen	30 - 300
Bedeckter Himmel (Tag)	2x10 <sup>3</sup> - 8x10 <sup>3</sup>
Blauer Himmel	5x10 <sup>3</sup> - 3x10 <sup>4</sup>

**Tabelle 1: Beispiele von Leuchtdichten im Alltag** <sup>[5]</sup>.

## Zusammenhang zwischen Sehschärfe und Leuchtdichte

Der beste Visus wird unter Tageslichtbedingungen bei photopischer Adaption erreicht. Die Gründe dafür liegen in der hohen Dichte von 150.000 Zapfen pro mm<sup>2</sup> im Areal der Foveola<sup>[6]</sup>, in der eng gestellten Pupille, welche dadurch Linsenfehler wie die sphärische Aberration minimiert und in der prinzipiell besseren retinalen Verarbeitung der Bildinformationen bei höheren Leuchtdichten.



**Abb: Sehschärfe im Zusammenhang mit der Leuchtdichte** <sup>[7]</sup>

Die Sehschärfe steigt mit zunehmender Leuchtdichte bis  $10^3$  cd/m<sup>2</sup> an. Bei weiter ansteigenden Leuchtdichten kommt es allerdings zu Blendungserscheinungen und zu einem Abfall des Visus. Bei Leuchtdichten über  $10^4$  cd/m<sup>2</sup> reicht die Adaption des Auges nicht mehr aus und es kommt zur Absolutblendung. Schutzreaktionen wie das Zukneifen der Augenlider und vermehrter Tränenfluss sind die Folgen. Erfolgt eine Belastung durch hohe Lichtenergien über einen längeren Zeitraum, so sind Schäden der Netzhaut nicht zu befürchten <sup>[8]</sup>.

## Zusammenhang zwischen Refraktionswert und Leuchtdichte

Mehrere Studien haben sich mit dem Einfluss der Umgebungsleuchtdichte und den dadurch geänderten Dioptrienwerten beschäftigt. Artal et al (2012) kam zu einer Refraktionsänderung von -0,80 dpt bei der Reduzierung der Leuchtdichte von 20 cd/m<sup>2</sup> auf  $10^{-6}$  cd/m<sup>2</sup> <sup>[9]</sup>. In der Studie von Cohen et al (2007) wird von einer Änderung um -1,20 dpt nach Dunkeladaptierung berichtet <sup>[10]</sup>. Fejer et al (1992) ermittelte Änderungen von -0,75 dpt bis -2,50 dpt bei der Dunkeladaptierung <sup>[11]</sup>.

Tatsache ist, dass man als Augenoptiker und Optometrist davon ausgehen muss, dass sich der Refraktionswert bei unterschiedlichen Umgebungsleuchten im Prüfraum signifikant ändert. In Folge ist die Umgebungsleuchtdichte im Prüfraum kausal für das korrekte Messergebnis.

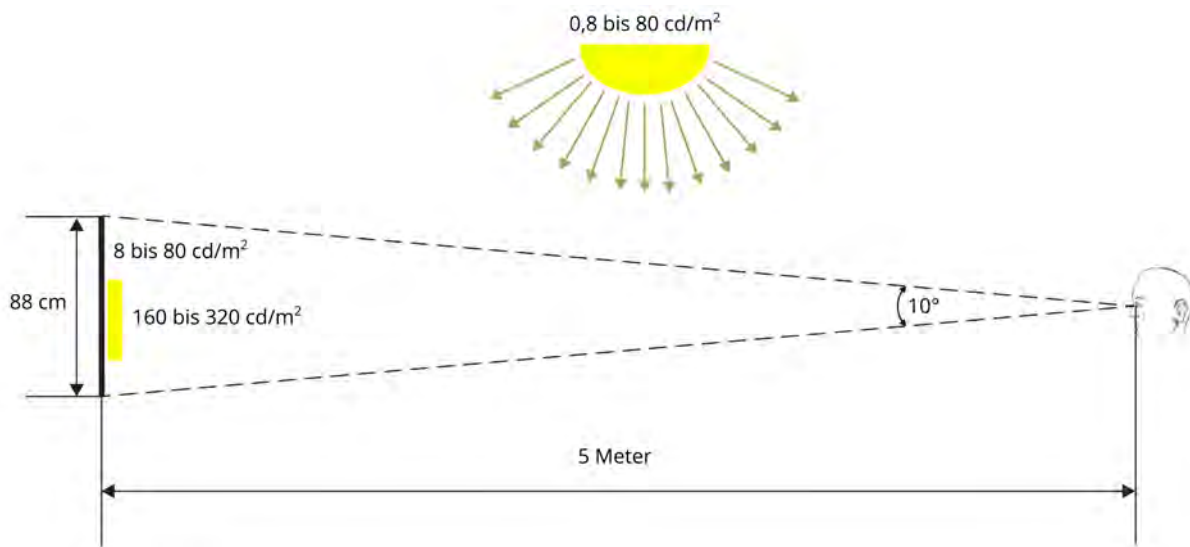


## Die Beleuchtungsbedingung nach DIN EN ISO 8596, 2009

Die DIN EN ISO 8596, 2009<sup>[12]</sup> legt für das Prüffeld des Sehtest eine Leuchtdichte von 80-320 cd/m<sup>2</sup> fest.

Die Umgebungsleuchtdichte soll laut gleicher Norm innerhalb eines Winkelbereichs von 10° 10-25% der Leuchtdichte des Prüffeldes und außerhalb des Winkelbereichs von 10° 1-25% der Leuchtdichte des Prüffeldes aufweisen<sup>[12,13]</sup>. Innerhalb des Gesichtsfeldes des Prüflings dürfen sich demnach keine direkten oder indirekten Lichtquellen und keinesfalls nicht abgedunkelte Fenster befinden.

**Nimmt man 10% von 80 cd/m<sup>2</sup> und 25% von 320 cd/m<sup>2</sup>, so kommt man auf geforderte Umgebungsleuchtdichten im Prüfraum von mindestens 8 bis maximal 80 cd/m<sup>2</sup> innerhalb eines Winkelbereichs von 10°. Außerhalb des Winkelbereichs von 10° sollten die Umgebungsleuchtdichten im Prüfraum demnach mindestens 0,8 und maximal 80 cd/m<sup>2</sup> betragen.**



**Abb: Geforderte Umgebungsleuchtdichten im Refraktionsraum – die Ausdehnung bei 10° lässt sich mittels der Formel zur Berechnung der scheinbaren Größe  $g = 2 * r * \tan(\alpha / 2)$  berechnen:  $g = 2 * 5 * \tan(10^\circ / 2) = 0,88 \text{ m} = 88 \text{ cm}$**

Dies bedeutet, dass eine möglichst gleichmäßige, dimmbare Ausleuchtung des Prüfraums gegeben sein sollte. Allerdings gibt es auch Stimmen, welche eine Refraktionsbestimmung bei „normaler“ Adaption, also Tageslichtbedingungen einfordern. So geht Methling von einer korrekten Beleuchtung des Prüfraums mit 100-600lx aus<sup>[14]</sup>. In den Leitlinien des Berufsverbandes der Augenärzte Deutschlands wird empfohlen, dass der Refraktionsraum „weder zu hell, noch zu

dunkel“ ausgeleuchtet sein soll. Ideal wäre ein „mittleres Beleuchtungsniveau“. Als Anhaltswert geben diese Leitlinien vor, dass ein Nicht-Presbyoper mit Visus 1,0 gerade noch Zeitung lesen können soll<sup>[15]</sup>. Horning und Harms empfehlen, dass die Raumhelligkeit des Prüfraums „einer natürlichen Tagesbeleuchtung“ entsprechen soll<sup>[16]</sup>. Dieses gibt die ideale Raumbeleuchtung bei etwa 200lx an. Diese Werte werden am besten erreicht, wenn die Raumbeleuchtung indirekt ist, etwa mittels einer Abschattung in Richtung Sehprobe und Prüfling<sup>[17]</sup>.



**Abb: Beispiele für unterschiedliche Beleuchtungsstärken im Alltag**

Zudem gibt es auch sinnvolle Forderungen, bereits in der Anamnese die hauptsächlich vorkommenden Lichtverhältnisse des Kunden im Alltag zu ermitteln, da dies in die Lichtverhältnisse der Refraktionsbestimmung miteinbezogen werden sollte<sup>[18]</sup>. So wird ein in der Nacht fahrender Berufs-LKW-Lenker im Regelfall andere Adaptionenzustände aufweisen als ein Landwirt. Dieser begrüßenswerte Vorschlag wurde in der geltenden DIN EN ISO 8596 leider noch nicht umgesetzt.



**Abb: Luxmeter**

Im Falle einer gutachterlichen Prüfung müssen jedoch die Vorschriften der DIN EN ISO 8596, 2009 auf jeden Fall eingehalten werden. Bei der „normalen“ Brillenglasbestimmung für die Anfertigung eine Brille oder die Anpassung von Kontaktlinsen sollte man sich zumindest anstrengen, die in der Norm angeführte Beleuchtungsvorgabe einzuhalten. Empfehlenswert wäre – wenn nicht bereits geschehen - den eigenen Prüfraum mit einem Luxmeter zu überprüfen.

## Entwurf der neuen DIN EN ISO 8596

Der aktuelle Entwurf der überarbeiteten DIN EN ISO 8596 ist derzeit am Stand November 2016<sup>[19]</sup>. In ihr ist die 10% bzw. 25% Umgebungsleuchtdichte nicht mehr enthalten. Stattdessen wird festgehalten, dass alle Lichtquellen und reflektierenden Oberflächen – ausgehend vom Blickwinkel des Betrachters – nicht heller als „die Tafel“ sein dürfen.

Zusätzlich sieht der neue Normentwurf vor, dass keine Lichtquelle die Tafel so beleuchten darf, dass in Folge die Leuchtdichte der Tafel verändert oder den Sehzeichenkontrast verändert.

Innerhalb des Gesichtsfeldes des Kunden dürfen zudem keine direkten oder indirekten Blendquellen, wie beispielsweise eine Lichtquelle, glänzende Flächen oder sehr helle, matte Flächen liegen.

Als Leuchtdichte für das Prüffeld wird nun in einer Anmerkung ein Wert von 200 cd/m<sup>2</sup> empfohlen.

In einer weiteren Anmerkung wird festgehalten, dass die Messung der Sehschärfe unter solchen Leuchtdichte- und Kontrastbedingungen vorgenommen werden soll, bei der „beim gesunden Auge möglichst konstante Ergebnisse zu erwarten sind“.

## Empfehlungen des Autors

- Möglichst gleichmäßige, diffuse Ausleuchtung des Prüfraums
- Fenster mit Jalousien versehen
- Weiße, matte Wände – keine dunklen Wandfarben
- Keine glänzenden Flächen (Glastüren, Bilderrahmen) im Blickwinkel des Kunden
- Licht für unterschiedliche Leuchtdichten dimmbar
- Prüfraum mit einem Luxmeter (200 - 400 lx) überprüfen

## **EINLADUNG ZUR ÖSTERREICHISCHEN TAGUNG OHI UPDATE 2018**



**Samstag, 9. Juni 2018 im Novomatic Forum Wien**

### **4 hochkarätige Augenoptik-Vorträge**

- Dr. Wolfram Hell: "Augenverletzungen durch Sehhilfen beim Pkw-Frontalaufprall mit Airbagauslösung"
- Dr. Dorren Schmidl: "Einfluss von systemischen Medikamenten und Pathologien auf die Sehkraft"
- Till Krusche, M.Ed: "Sehen im Sport - Anforderungen, Visuelles Training und Wahrnehmungsschulung"
- Katharina Raschka: "Anpassung individualisierter Kontaktlinsen"

### **Plus 4 top-aktuelle Hörakustik Vorträge und einer Industrieausstellung**

- Tagungskosten inklusive Verpflegung: 39 Euro
- Early Bird Tarif bis 31.03.2018: 26 Euro
- 15% rabattierte Spezialtarife für Flüge nach Wien und zurück nach Hause
- Infos und Anmeldung: [www.ohi.at/update2018](http://www.ohi.at/update2018)



## Quellen:

---

- <sup>1</sup> Lexikon der Optik, Spektrum Akademischer Verlag, 1999
- <sup>2</sup> Auge-Brille-Refraktion, Bernhard Lachenmayr, Thieme Verlag, 2006
- <sup>3</sup> Wichtige Begriffe und Teilaspekte des Wahrnehmungsprozesses, Uni Bielefeld
- <sup>4</sup> <https://de.wikipedia.org/wiki/Leuchtdichte>
- <sup>5</sup> Medizinische Beurteilungsgrundlagen der Passiven Blendung, Moshhammer, Kundi, Institut für Umwelthygiene, ZPH Medizinische Universität Wien, 2013
- <sup>6</sup> Augenheilkunde, Gerhard K. Lang, Gabriele E. Lang, Thieme Verlag, 2015
- <sup>7</sup> Beleuchtung und Sehen am Arbeitsplatz, Hartmann, 1970
- <sup>8</sup> Blendung – Theoretischer Hintergrund, Informationen des Instituts für Arbeitsschutz der deutschen gesetzlichen Unfallversicherung, Mai 2010
- <sup>9</sup> Night myopia studied with an adaptive optics visual analyzer, Artal et al, 2012;7(7):e40239. doi: 10.1371/journal.pone.0040239. Epub 2012 Jul 2.
- <sup>10</sup> Relationship between night myopia and night-time motor vehicle accidents, Cohen et al, Acta Ophthalmol Scand. 2007 Jun;85(4):367-70
- <sup>11</sup> Night myopia: implications for the young driver, Fejer et al, Can J Ophthalmol. 1992 Jun;27(4):172-6.
- <sup>12</sup> DIN EN ISO 8596:2009 (2009) Augenoptik – Sehschärfepfung – Das Normsehzeichen und seine Darbietung., Komitee ON-K 047, Optik und Lichttechnik, Stand 15.10.2009
- <sup>13</sup> Empfehlungen der DOG zur Qualitätssicherung bei sinnesphysiologischen Untersuchungen und Geräten, 2015
- <sup>14</sup> Bestimmung von Sehhilfen, Dieter Methling, Enke, 1992
- <sup>15</sup> Leitlinie Berufsverband der Augenärzte Deutschlands e.V., Empfehlung zur Optischen Korrektur von Refraktionsfehlern: Brille, Prof. Dr. Dr. B. Lachenmayr, 2011
- <sup>16</sup> Theorie und Praxis der Augenglasbestimmung, Band I Refraktionsbestimmung, Hornig, Harms, DOZ Verlag, 2014
- <sup>17</sup> Refraktionsbestimmung, Heinz Diepes, 3. Auflage, 2004
- <sup>18</sup> Beleuchtung im Refraktionsraum - Wie hell oder dunkel darf es sein?, Kühn, Degle, Ernst-Abbe-Fachhochschule Jena, Der Augenoptiker, 8/2012
- <sup>19</sup> DIN EN ISO 8596:2016 Entwurf, DIN-Normenausschuss Feinmechanik und Optik (NAFuO), Stand 25.01.2018