

2.3.2 Gesichtssinn (Sehen) - Beleuchtung/Farbe

1 Die Biologie des Auges

1.1 Das Auge (Abbildung 2)

- der lichtempfindliche Teil des Auges (Netzhaut),
- der lichtleitende Teil (Hornhaut, Linse, Glaskörper, Kammerwasser),
- der erregungsleitende Teil (Sehnerv, Gehirn) sowie
- der Hilfsapparat (Augenlider, Iris, Linsenmuskel).

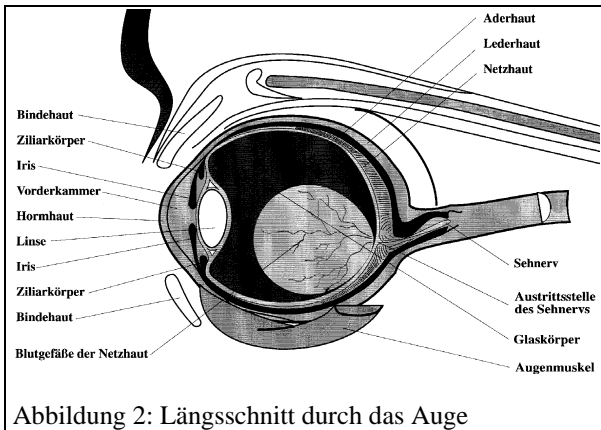


Abbildung 2: Längsschnitt durch das Auge

Vergleich Auge - Kamera

Das Auge wird oft mit einer Kamera verglichen:

- 'Objektiv': Hornhaut, Kammerflüssigkeit, Linse, Glaskörper
- 'Entfernungseinstellung': Linse, Linsenmuskel
- 'Film' (lichtempfindlich): Netzhaut
- 'Entwicklungsvorgang': Nerven, Gehirn, (Zwischenhirn, Großhirn)

Zapfen und Stäbchen

Zapfen (ca. 3 bis 6 Mio.):

- Tagsehen,
- Farbsehen (höchste Empfindlichkeit bei Tagessehen im Gelb-Grünteil bei 555 nm) siehe Abbildung 3
- dichteste Anordnung im zentralen Netzhautbereich

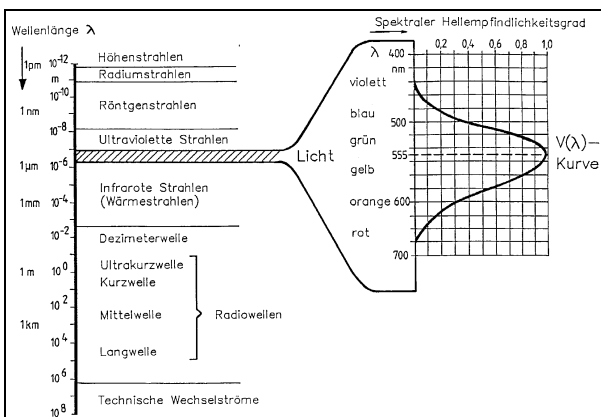


Abbildung 3: Spektrum der elektromagnetischen Wellen

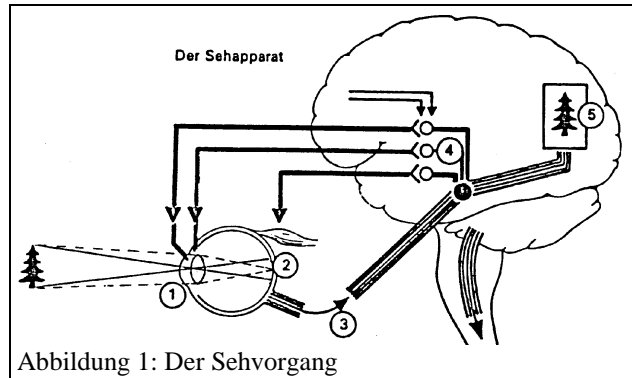


Abbildung 1: Der Sehvorgang

Stäbchen (ca. 75 bis 100 Mio.):

- Dämmerungs-/Nachtsehen
- grau, vorwiegend Schwarz-/Weißsehen
- vor allem in den Außenbezirken der Netzhaut angeordnet

Der Sehvorgang

Objekt → Sehen → Erkennen (Abbildung 1)

1.2 Das Licht

Licht → elektromagnetische Wellen (Abbildung 3)

Sichtbarer Bereich der elektromagnetischen Wellen von 380 bis 780 nm.

1.3 Der Sehprozess

Der Mensch als heliotropes Wesen!

- Der Mensch nimmt ca. 80% aller Sinneseindrücke über das Auge wahr.
- Darüber hinaus ist zu beachten, dass der Mensch ein 'heliotropes Wesen' ist (gesamter Stoffwechsel, Drüsenfunktionen, etc. tageslichtgesteuert (Tabelle 1).

<p>Gute Beleuchtung</p> <ul style="list-style-type: none"> - Positive psychische Effekte - Aktivitätsfördernd - Reaktion - Aufmerksamkeit - Konzentrationsfähigkeit <p>Schlechte Beleuchtung</p> <ul style="list-style-type: none"> - Unlustgefühle - Aktivitätshemmend - Reaktion - Aufmerksamkeit - Konzentrationsfähigkeit - Verstärkung von Monotonieerscheinungen
Tabelle 1: Hormonhaushalt

1.4 Die Sehfunktionen

Sehen = Wahrnehmen einer Information durch den Gesichtssinn.

Erkennen von:

- Helligkeitsunterschieden
- Farben und Farbunterschieden
- Entfernungen
- Formen (Raum)
- Bewegungen.

Adaptation (Tabelle 2)

Helligkeitsanpassung des Auges an die Umwelt

Helligkeitsunterschiede von 100.000 lx (Sonnenlicht/Hochsommer) bis 0,1 lx (Sternenlicht)

Helladaptation	Dunkel → Hell, sehr schnell (einige zehntel Sekunden)
Dunkeladaptation	Hell → Dunkel, sehr langsam (bis zu einer Stunde)
Schleierleuchtdichte	Überblendung
Tabelle 2: Adaptation	

Farbsehen (Abbildung 3)

380 nm (violett) bis zu 780 nm (rot) (Farbspektrum geht von violett über blau zu grün und von dort über gelb, orange zu rot (Regenbogen)).

Akkommodation (vgl. Abbildung 4, Tabelle 3)

Einstellen des Auges auf Entfernungen, Erzeugen eines scharfen Bildes über Linsenkrümmung (Brennweite).

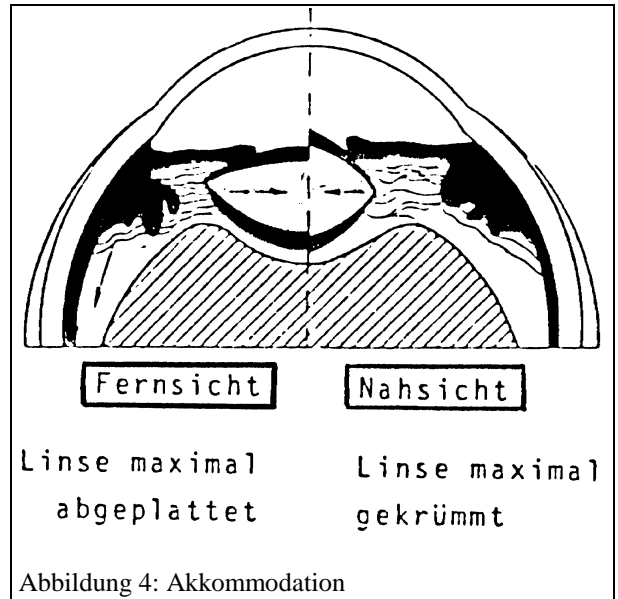
Linse verhärtet in zunehmendem Alter, Nahpunktverschiebung (Alterssichtigkeit)

• Nahe Objekte	→ hohe Beanspruchung
• Entfernungswechsel	→ umakkomodieren
• Akkomodationsbereich wird kleiner bei geringer Beleuchtungsstärke	
• Nahpunkt rückt bei geringer Beleuchtungsstärke vom Auge weg	
• Alterssichtigkeit	(Nahpunkt > 25 cm)
Tabelle 3: Akkommodation	

Sehschärfe

ist das Vermögen, zwei getrennte Linien/Punkte (Fläche, Formen), unterscheiden zu können. Die Sehschärfe nimmt mit der Beleuchtungsstärke zu.

Bereich scharfen Sehens: Sehwinkel ca. 1°



Kontrastempfindlichkeit

ist das Vermögen, kleinste Leuchtdichteunterschiede wahrzunehmen. Zum Erkennen kleiner Schattierungen, Unebenheiten, Helligkeitsnuancen (plastisches Sehen).

Wahrnehmungsgeschwindigkeit

Zeitraum von der Darbietung eines Objektes bis zur visuellen Wahrnehmung (ca. 0,2 s).

2 Die wichtigsten lichttechnischen Begriffe

- **Lichtstrom** (Φ): gesamte Lichtleistung der Lichtquelle [Lumen lm]
- **Lichtstärke** (I): Lichteinstrahlung in einer bestimmten Richtung [Candela cd, bzw. Lichtstrom /Raumwinkel Ω]
- **Leuchtdichte** (L): Maß des Helligkeitseindrucks, den eine betrachtete Fläche auf das Auge bewirkt [Candela/m², cd/m²] (siehe Abbildung 10)
Leuchtdichte ist Maßstab für das von einer Fläche reflektierte Licht (reflektierende Fläche), oder für das selbstleuchtende Licht (z.B. Leuchte).
Sie ist die einzige lichttechnische Größe, die unmittelbar wahrgenommen wird (Helligkeitseindruck).
Leuchtdichte-Verteilung am Arbeitsplatz:
Arbeitsgut - Arbeitsumfeld 1 : 3 bis 3 : 1
Arbeitsgut - Raumbegrenzungsflächen 1:10 bis 10:1
- **Beleuchtungsstärke** = E in [Lux, lx]: Maß für die Intensität des auf einer Fläche auftreffenden Lichts. (siehe Abbildung 9)
"E" ist der Lichtstrom, der auf eine Fläche fällt.
Doppelter Abstand = 1/4 Beleuchtungsstärke (z. B. Abstand zur Leuchte: 1 m = 100 lx; 2 m = 25 lx)

3 Beleuchtung von Arbeitsstätten und ihre Auswirkungen auf den Menschen

Aspekte der Beleuchtungsgestaltung

Die Beleuchtung (Tageslicht oder/und künstlicher Beleuchtung) muss so ausgelegt sein, dass sie den Sehprozess erleichtert.

Gute Beleuchtung hat Auswirkungen in humanen und wirtschaftlichen Bereichen. Sie

- erleichtert die Sehaufgabe,
- vermindert Augenermüdungen,
- verbessert die Arbeitshandlung,
- ist leistungsmotivierend,
- verringert Fehlleistungen,
- verbessert die Arbeitsqualität und
- hilft Arbeitsunfälle reduzieren.

(siehe Tabelle 4, Abbildung 14 u. Abbildung 15)

Gefahren für die Gesundheit:

Bei nicht menschengerechter Gestaltung können z.B. folgende Beschwerden auftreten:

- rasche Ermüdung
- Kopfschmerzen
- Augenschmerzen

Qualitätskriterien einer guten Beleuchtung:

1. dem Arbeitsplatz angepasste *Beleuchtungsstärke*
2. *harmonische Helligkeitsverteilung* (Gleichmäßigkeit der Beleuchtung)
3. *Blendungsbegrenzung* (keine Direkt- oder Reflexblendung)
4. *Lichtrichtung und Schattigkeit*
5. *Leuchtdichte und Kontraste*
6. *Lichtfarbe und Farbwiedergabe*, der Tätigkeit angepasst
7. *Energieoptimierung*

Tabelle 4: Qualitätskriterien einer guten Beleuchtung

- Sehanforderungen (feine ≠ grobe Arbeit, Detailsehen)
- Arbeitsgut (Farbe, Glanzgrad)
- Sie bestimmt zusammen mit den Reflexionseigenschaften der beleuchteten Fläche das "Beleuchtungsniveau".

Harmonische Helligkeitsverteilung (Gleichmäßigkeit)

- abhängig von Anordnung u. Beleuchtungsstärke der Lampen/Leuchten u. Fenster. Möglichst gleichmäßiges Beleuchtungsniveau, ausgewogenes Verhältnis der Leuchtdichten (nicht ständiges Umadaptieren), siehe Abbildung 12.

Blendungsbegrenzung

- störungsfreies Sehen ohne Direkt- oder Reflexblendung.
- Direkt-/Reflexblendung vermindert die Sehleistung
- direkte Blendung durch Lampen/Leuchten, Sonnenlicht
- Reflexblendung (indirekte Blendung) Lampen/Leuchten, Sonnenlicht, welche sich in glänzenden Flächen (Wände, Papier, Arbeitsgegenständen, Bildschirm usw. spiegeln (Abbildung 5)).

Lichtrichtung/Schattigkeit

- Erkennen von Körperlichkeit und Oberflächenstrukturen
- wird bestimmt von der Art (z.B. Kastenleuchte; Strahler) und der Anordnung der Lampen/Leuchten oder Fenster. Durch Schattenwirkung kann man erreichen:
 - Hervorheben von Gegenständen (z.B. Bildern)
 - Gefahrstellen erkennen
 - Strukturen, Formen, Muster erkennen.
 (Abbildung 6)

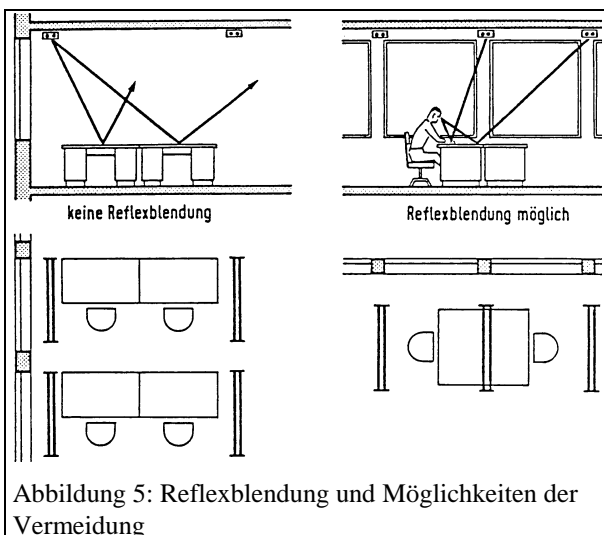


Abbildung 5: Reflexblendung und Möglichkeiten der Vermeidung

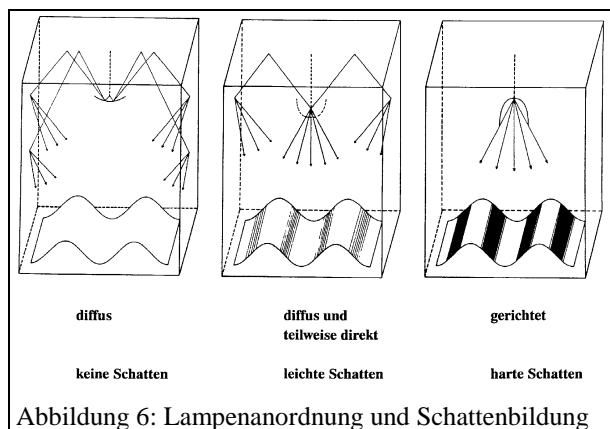
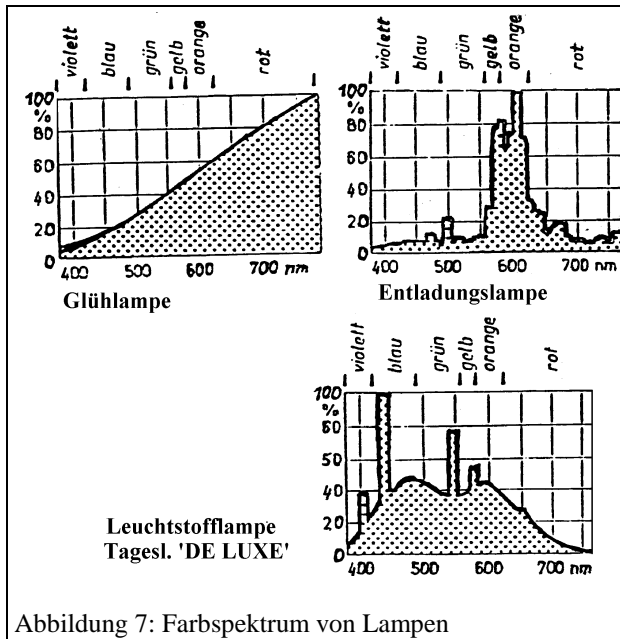


Abbildung 6: Lampenanordnung und Schattenbildung



Kontraste sind Leuchtdichteunterschiede

- Helligkeitskontraste
- Farbkontraste

Lichtfarbe/Farbwiedergabe.

- Das Tageslichtspektrum (Sonnenlicht, Regenbogen) und die künstlichen Lichtquellen enthalten Strahlungen verschiedener Wellenlängen.
- Lichtfarben von Lampen) (Abbildung 7)
 - Tageslichtweiß (tw): Farbtemperatur ca. 6000° K
 - Neutralweiß (nw): Farbtemperatur ca. 4000° K
 - Warmweiß (ww): Farbtemperatur ca. 3000° K
- Die Lichtfarbe der Lampen steht verschlüsselt als Nummer auf der Lampe (z.B. 58W/25). Sie muss dem Lampenkatalog der Herstellerfirma entnommen werden. Fast jede Firma hat andere Nummern oder auch Buchstaben.

Leuchtdichte/Kontrast.

- Leuchtdichte ein Maß für die Helligkeit von selbstleuchtenden/reflektierenden Flächen; abhängig von:
 - Beleuchtungsstärke
 - Farbe (Reflexionsgrad weiß ca. 0,9 - mattschwarz ca. 0,01)
 - Glanzgrad (rau, matt, spiegelnd). Reflexionsgrade (für den Büro-Arbeitsplatz)
 - Decken: ca. 0,7
 - Wände: ca. 0,5
 - Fußboden: ca. 0,2
 - Tischplatten: ca. 0,3

- Körperfarben, Farbwiedergabestufen/-index von Lampen: Licht (Tageslicht; Künstliches Licht) und Farbe bestimmen in Wechselwirkung das "Farbklima" eines Raumes. Die Farben unserer Umwelt empfinden wir dann als natürlich, wenn im Spektrum der zur Beleuchtung dienenden Lampen alle *Spektralfarben* vorhanden sind. Fehlt z.B. eine Farbe im Spektrum einer Lampe, so erscheint z.B. ein Körper, der mit dieser Farbe angestrichen ist, grau. Korrekte Farbwahrnehmung bei künstlichem Licht ist daher ein wesentliches Gütekriterium künstlicher Beleuchtung. Das farbige Aussehen eines beleuchteten Objektes (seine "Körperfarben") wird durch die spektrale Strahlungsverteilung der beleuchtenden Lichtquelle beeinflusst. Der Farbeindruck wird also durch die

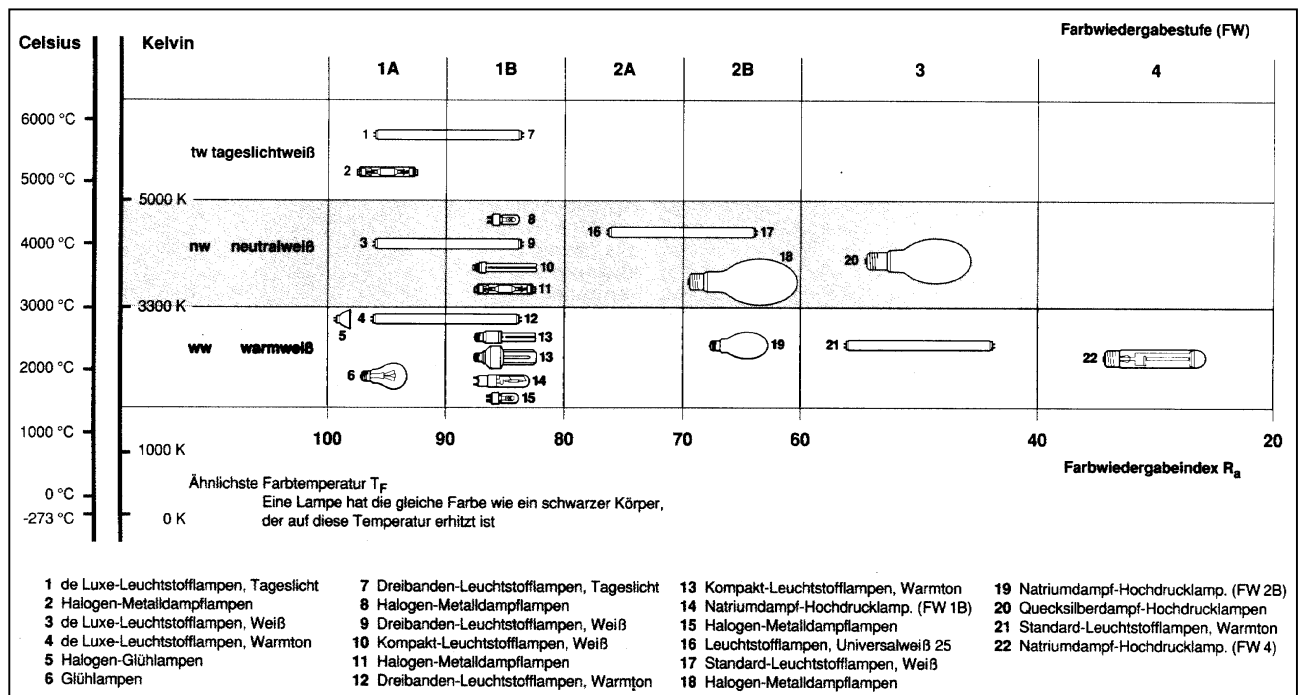


Abbildung 8: Lichtfarben, Farbwiedergabestufen und allgemeiner Farbwiedergabeindex von Lampen, aus: Die Beleuchtung mit künstlichem Licht Heft1 [Fördergemeinschaft Gutes Licht (FGL)]

Wechselwirkung zwischen der Farbe der betrachteten Gegenstände (deren Spektrale Reflexionsgrade) und der spektralen Zusammensetzung des auffallenden Lichtes bestimmt. Tageslicht (Sommerhimmel) schwankt z.B. zwischen 20 000°K bei blauem Sonnenlicht und 4 000°K bei Sonnenuntergang. Zur Beschreibung der farblichen Wirkung künstlicher Lichtquellen wird die Güte ihrer Farbwiedergabe in den "Farbwiedergabestufen (FW)" 1A bis 4 wiedergegeben (siehe Abbildung 8). Den Stufen ist ein "Farbwiedergabeindex Ra" von 100 bis 20 zugeordnet. Dieser Farbwiedergabeindex kennzeichnet das Maß der Übereinstimmung der Körperfarbe mit ihrem Aussehen unter der Bezugslichtquelle. Wie Abbildung 8 zeigt, erreichen in der Farbwiedergabestufe 1A die de Luxe-Leuchtstofflampen (Tageslicht) und die Halogen-Metall dampflampen fast den höchsten Farbwiedergabeindex 100, bei hoher Farbtemperatur (fast 6000°K, tageslichtweiß/tw). Die schmalbandigen Natriumdampf-Hochdrucklampen hingegen sind der Farbwiedergabestufe 4 (< Ra = 40) zugeordnet.

4 Messen und Planen von Beleuchtungseinrichtungen

Vor und während der Messung ist zu beachten:

- Messgeräte (siehe Abbildung 11)
 - Genauigkeitsklassen der Messgeräte
 - Spektrale Empfindlichkeit des Messgerätes

- Messung (siehe Abbildung 16)
 - Messung unter Arbeitsbedingungen durchführen
 - bei Mischlicht (Kunst- u. Tageslicht) beide Werte auch getrennt messen

- Arbeitsplatz (Abbildung 16)
 - genaue Arbeitsplatzdaten angeben
 - bei Tageslichteinfall Himmelsrichtung beachten (Sonnenstrahlen können zu Blendung führen)

- Anforderungen an die Messgeräte
 - DIN 5032
 - DIN 5034

Zwei wesentliche lichttechnische Größen

- Beleuchtungsstärke
- Leuchtdichte

Arten der Beleuchtung nach DIN 5035/1

- (Abbildung 13)
- Allgemeinbeleuchtung
 - Arbeitsplatzorientierte Allgemeinbeleuchtung
 - Einzelarbeitsplatz-Beleuchtung nur in Verbindung mit Allgemeinbeleuchtung (min. 0,6 x E_n).
 - Gleichmäßigkeit der Einzelarbeitsplatz-Beleuchtung ohne Allgemeinbeleuchtung E_{min}: E von 1:6 mindestens.

Planung, Wartung von Beleuchtungsanlagen (Tabelle 5)

- Planungswert für normale Lampen-/Leuchtenverschmutzung = 1,25 x E_N
- Nennbeleuchtungsstärke E_N = 1,0 x E_N
- Nennbeleuchtungsst. im Mittel = 0,8 x E_N
- Nennbeleuchtungsstärke am ungünstigsten Arbeitsplatz = 0,6 x E_N

Spätestens beim Erreichen der Mindest-Werte muss die Beleuchtungsanlage gewartet werden.

Tabelle 5: Planungswerte und Nennbeleuchtungsstärken

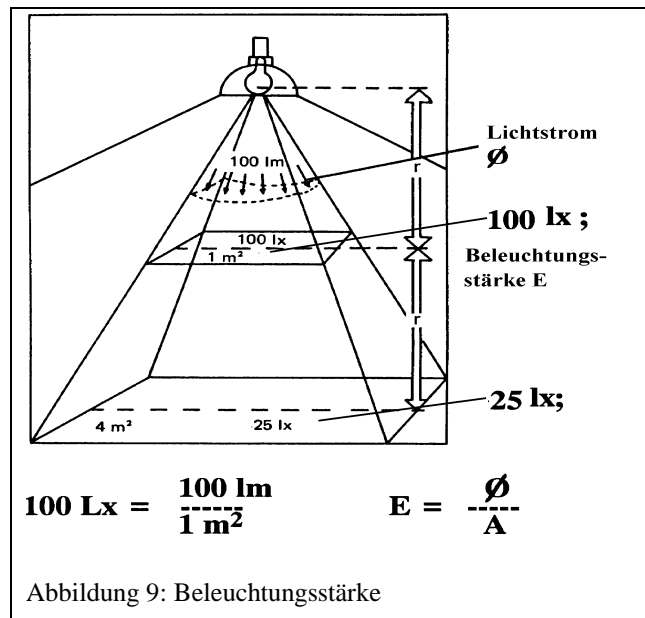
5 Normen und Vorschriften

DIN - Norm

- 5032 Lichtmessung
- 5039 Licht, Lampen, Leuchten: Begriffe, Einteilung
- 5033 Farbmessung
- 5034 Innenraumbeleuchtung mit Tageslicht
- 5035 Innenbeleuchtung mit künstlichem Licht

Arbeitsstättenrichtlinie (ASR)

- § 7 Künstliche Beleuchtung
- § 41 Arbeitsplätze im Freien



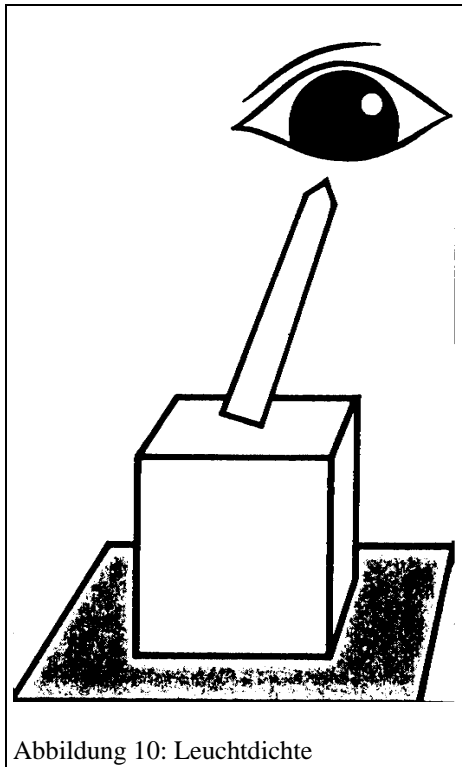


Abbildung 10: Leuchtdichte

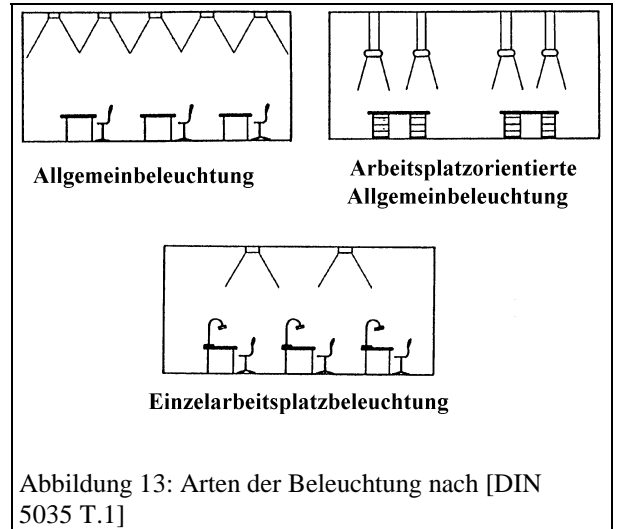


Abbildung 13: Arten der Beleuchtung nach [DIN 5035 T.1]

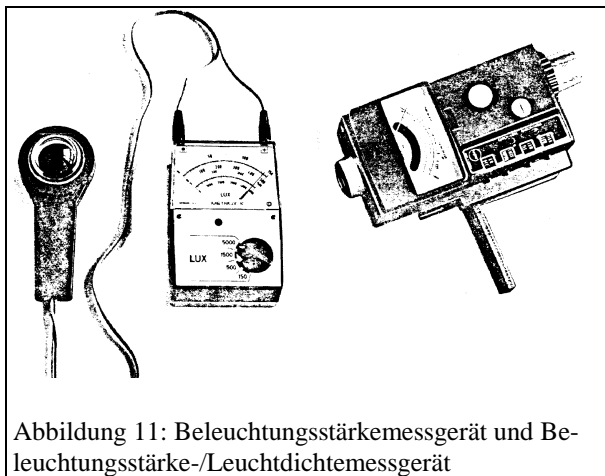


Abbildung 11: Beleuchtungsstärkemessgerät und Beleuchtungsstärke-/Leuchtdichtemessgerät

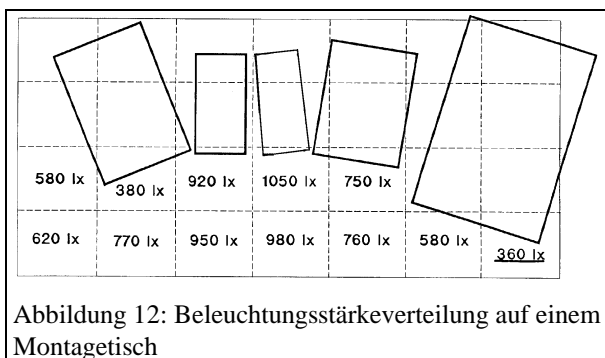


Abbildung 12: Beleuchtungsstärkeverteilung auf einem Montagetisch

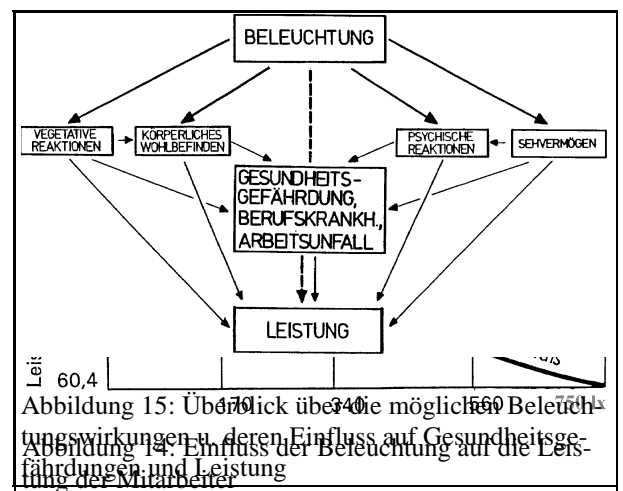


Abbildung 14: Einfluss der Beleuchtung auf die Leistung der Mitarbeiter

Beleuchtung: Ermittlungs- und Beurteilungsbogen

Betrieb/Werk: _____
 Abteilung: _____ Arbeitsbereich/-platz: _____
 Tätigkeiten: _____
 Außenbeleuchtungsstärke E_a : _____ lux
 Zustand des Himmels: _____
 Datum: _____ Uhrzeit: _____ Bearbeiter: _____
 Meßgeräte: _____

Datenermittlung und Beurteilung

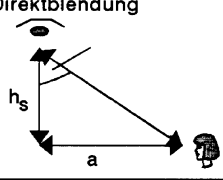
<p>Mittlere Beleuchtungsstärke $\bar{E} = \frac{E_1 + E_2 + E_3 + \dots + E_i}{i}$ in lx= Minimale Beleuchtungsstärke E_{min} in lx=</p>		<p>E_n aus DIN 5035/T2; T7 oder ASR 7/3</p>			
		$\bar{E} \geq E_n$ und $E_{min} \geq 0,6 E_n$	gut		
		$\bar{E} \geq 0,8 E_n$ und $E_{min} \geq 0,6 E_n$	ausreichend		
		$\bar{E} < 0,8 E_n$ und $E_{min} < 0,6 E_n$	nicht zulässig		
<p>Gleichmäßigkeit $g = \frac{E_{min}}{\bar{E}} =$</p>		$g \geq 0,8$	gut		
		$0,5 < g < 0,8$	ausreichend		
		$g \leq 0,5$	nicht zulässig		
<p>Direktblendung </p>	<p>$h_s =$ ___ m = ___ ° $a =$ ___ m $L =$ ___ cd/m² Lampenanordnung längs quer</p>	<p>Güteklasse der Begrenzung der Direktblendung aus DIN 5035/T2; T7</p>	<table border="1" style="width: 100%; text-align: center;"> <tr><td>eingehalten</td></tr> <tr><td>nicht eingehalten</td></tr> </table>	eingehalten	nicht eingehalten
eingehalten					
nicht eingehalten					
	<p>subjektive Einschätzung:</p>	<p>Quellen:</p>	<table border="1" style="width: 100%; text-align: center;"> <tr><td>vorhanden</td></tr> <tr><td>nicht vorhanden</td></tr> </table>	vorhanden	nicht vorhanden
vorhanden					
nicht vorhanden					
<p>Reflexblendung</p>	<p>subjektive Einschätzung:</p>	<p>Quellen:</p>	<table border="1" style="width: 100%; text-align: center;"> <tr><td>vorhanden</td></tr> <tr><td>nicht vorhanden</td></tr> </table>	vorhanden	nicht vorhanden
vorhanden					
nicht vorhanden					
<p>Lichtfarbe=</p>	<p>Lampendaten:</p>	<p>Lichtfarbe aus DIN 5035/T2:</p>	<table border="1" style="width: 100%; text-align: center;"> <tr><td>eingehalten</td></tr> <tr><td>nicht eingehalten</td></tr> </table>	eingehalten	nicht eingehalten
eingehalten					
nicht eingehalten					
<p>Farbwiedergabe=</p>		<p>Stufe der Farbwiedergabe aus DIN 5035/T2:</p>	<table border="1" style="width: 100%; text-align: center;"> <tr><td>eingehalten</td></tr> <tr><td>nicht eingehalten</td></tr> </table>	eingehalten	nicht eingehalten
eingehalten					
nicht eingehalten					
<p>Leuchtdichte/-quotient $\frac{L_1}{L_2} = \frac{L_1}{L_2} =$ $\frac{L_1}{L_3} = \frac{L_1}{L_3} =$ $L_1 =$ Auge -> Arbeitsgut $L_2 =$ Auge -> Arbeitsumfeld $L_3 =$ Auge -> Raumbegrenzungsflächen L in cd/m² (Reflexionsgrad in %) </p>		$1 \leq \frac{L_1}{L_2} \leq 3$	gut		
		$\frac{L_1}{L_2} < 1$ oder $\frac{L_1}{L_3} > 3$	nicht gut		
		$1 \leq \frac{L_1}{L_3} \leq 10$	gut		
		$\frac{L_1}{L_3} < 1$ oder $\frac{L_1}{L_3} > 10$	nicht gut		
<p>Schattigkeit/Lichtrichtung $\frac{E_z}{E_h} =$ $E_z = \frac{E_{v1} + E_{v2} + E_{v3} + E_{v4}}{4}$ </p>	<p>$E_h =$ $E_{v1} =$ $E_{v2} =$ $E_{v3} =$ $E_{v4} =$</p>	$\frac{E_z}{E_h} \leq 0,3$	zu stark		
		$0,3 < \frac{E_z}{E_h} < 0,7$	gut		
		$\frac{E_z}{E_h} \geq 0,7$	zu schwach		
	<p>subjektive Einschätzung:</p>		zu stark		
			gut		
			zu schwach		

Abbildung 16: Beleuchtung: Ermittlungs- und Beurteilungsbogen