

Theoretische Grundlagen zur Lichttechnik
=====

von: Dipl.-Ing. Bernd Hagebusch

Inhalt:

1. Lichtdefinition
2. Das Auge
3. Das Spektrum
4. Lichtstromdefinition
5. Lichtstärkedefinition
6. Beleuchtungsstärkedefinition
7. Horizontale Beleuchtungsstärke
8. Lampen
9. Leuchten
10. Wirkungsgradverfahren
11. Anforderungen an die Beleuchtung
12. Überprüfung bestehender Beleuchtungsanlagen
13. Weiterführende Literatur

1. Lichtdefinition:

Licht ist elektromagnetische Strahlung im Wellenlängen-Bereich von 380 nm (Violett) bis 780 nm (Rot), die unser Auge als Reiz wahrnimmt.
Das Licht ist der wichtigste Informationsträger des Menschen!

2. Das Auge:

Unser Auge kann, stark vereinfachend, mit einem Fotoapparat verglichen werden.
Dabei bildet die Netzhaut den lichtempfindlichen Film, die Augenkammer und Linse das Objektiv, und die Iris die Blende, die sich in ihrem Durchmesser mit der Beleuchtungsstärke auf der Netzhaut ändert.

3. Das Spektrum:

Das weiße Sonnenlicht setzt sich aus Strahlung verschiedener Wellenlänge zusammen.

Mit Hilfe eines Glasprismas läßt sich das Sonnenlicht in ein farbiges Spektrum (Violett bis Rot) zerlegen. Jeder Farbe entspricht eine ganz bestimmte Wellenlänge.

Farbige Gegenstände werden nur dann farbig erkannt, wenn im Spektrum der Lichtquelle alle Farben vorhanden sind.

Im Licht einer Natriumdampflampe (Straßenbeleuchtung) erscheinen Objekte stark gelb, da ihr Spektrum nur Anteile gelben Lichts enthält.

4. Lichtstromdefinition:

Der Lichtstrom Φ ist die eigentliche Lichtleistung einer Lichtquelle. Er ist die Lichtmenge Q , die pro Zeiteinheit t ausgestrahlt wird.

$$\Phi = dQ / dt$$

Bei vielen künstlichen Lichtquellen wird der Lichtstrom mit zunehmender Brenndauer kleiner.

5. Lichtstärkedefinition:

Die Lichtquellen strahlen allgemein nicht gleichmäßig in alle Richtungen des Raumes. Die Lichtstärke I dient zur Bewertung des Lichts, das in einer bestimmten Richtung ausgestrahlt wird.

$$I = d\Phi / d\Omega$$

6. Beleuchtungsstärkedefinition:

Die Beleuchtungsstärke E ist das Maß für die Intensität des auf einer beleuchteten Fläche A auftreffenden Lichts. Sie ist die grundlegende Größe bei allen Berechnungen.

$$E = d\Phi / dA$$

Bei ungleichmäßiger Lichtverteilung variiert die Beleuchtungsstärke. Die Formel liefert dann die mittlere Beleuchtungsstärke E_m .

$$E_m = 1/A * [E_1 * A_1 + E_2 * A_2 + \dots + E_{n-1} * A_{n-1} + E_n * A_n]$$

$$\text{mit } A = A_1 + A_2 + \dots + A_{n-1} + A_n$$

Hierbei ist es gleichgültig, aus welcher Richtung das Licht auf das Flächenstück A_i fällt.

Bei senkrechtem Lichteinfall zur Fläche A wird der gesamte Lichtstrom von ihr aufgefangen, und man erhält die maximale Beleuchtungsstärke

$$E_{\max} = \Phi / A.$$

Wird die Fläche um den Winkel α geneigt, so wird die Beleuchtungs-

stärke vermindert, da sie nur noch vom Teillichtstrom $\text{PHI} \cdot \cos(\alpha)$ getroffen wird.

7. Horizontale direkte Beleuchtungsstärke punktförmiger Lichtquellen:

Eine Lichtquelle gilt als "punktförmig", wenn der Abstand r zwischen Lichtquelle und Raumpunkt ein Vielfaches ihrer linearen Ausdehnung l ist ($r \geq 5 \cdot l$).

Eine Ausnahme bilden Reflektorlampen mit $r \geq 10 \cdot l$.

Die horizontale Beleuchtungsstärke E_h ergibt sich aus:

$$E_h = I(\alpha) / h^2 \cdot \cos^3(\alpha)$$

8. Lampen:

Lampen sollen wirtschaftlich sein und zudem im Raum eine angenehme Atmosphäre erzeugen.

Die Wirtschaftlichkeit ergibt sich aus der Lichtausbeute (lm/W) und der langen Lebensdauer.

Für die Innenraumbelichtung kommen drei Gruppen infrage:

- 1) Glüh- und Halogenleuchtstofflampen im Wohnbereich sowie in Verkaufsräumen und Schaufenstern.
- 2) Leuchtstoff- und Kompaktleuchtstofflampen im Wohnbereich, öffentlichen Gebäuden, Sportstätten, etc..
- 3) Hochdruck-Entladungslampen in Industrie und Sportstätten.

9. Leuchten:

Leuchten sollen die erforderlichen Lampen aufnehmen und diese elektrisch mit dem Netz verbinden, das Licht im Raum lenken und verteilen. Die Lichtlenkung erfolgt durch Raster- und/oder Spiegelelemente. Darüber hinaus begrenzen diese Elemente die Blendung. Der Wirkungsgrad einer Leuchte hängt vom materiellen Aufbau dieser Leuchte ab.

$$n_{LB} = \text{PHI}_{LB} / \text{PHI}_L \cdot 100 \%$$

Der Leuchtenwirkungsgrad n_{LB} gibt an, wieviel des von den Lampen erzeugten Lichtstroms die Leuchte tatsächlich verläßt. Leuchtenwirkungsgrade liegen in der Regel zwischen 50% und 95%.

10. Wirkungsgradverfahren:

Mit diesem Verfahren wird die bei der Planung einer Beleuchtungsanlage erforderliche Anzahl an Leuchten im Innenraum ermittelt.

Grundlage dieses Verfahrens ist die sogenannte "Wirkungsgradformel", die folgende Einflußgrößen berücksichtigt:

- a) Planungsfaktor p (neue Anlage: $p = 1.25$; alte Anlage: $p = 0.8$)

- b) Nennbeleuchtungsstärke E_n nach DIN 5035 (mittlere auf der Nutzebene erforderliche Beleuchtungsstärke)
- c) Fläche A der Nutzebene
- d) Leuchtenwirkungsgrad n_{LB} (gibt an, wieviel Lichtstrom eine Leuchte verläßt)
- e) Raumwirkungsgrad n_R (berücksichtigt die Raumgeometrie und Reflexion der Raumbegrenzungsflächen)
- f) Lichtstrom Φ_{HI} der Lampen einer Leuchte

Die Beziehung lautet:

$$n = \frac{p * E_n * A}{n_{LB} * n_R * \Phi_{HI}}$$

Mit ihr kann selbstverständlich auch eine bestehende Beleuchtungsanlage auf ihre lichttechnische Wirksamkeit hin überprüft werden.

11. Anforderungen an die Beleuchtung:

Basis für die Planung von Beleuchtungsanlagen sind die DIN-Normen. Für die Beleuchtung von Innenräumen gilt die DIN 5035 mit ihren in sieben Teilen formulierten Anforderungen:

- Teil 1 Begriffe
- Teil 2 Arbeitsstätten
- Teil 3 Krankenhäuser
- Teil 4 Unterrichtsräume
- Teil 5 Notbeleuchtung
- Teil 6 Messungen
- Teil 7 Bildschirme

Die Beleuchtung soll ein bestimmtes Niveau haben, für eine harmonische Helligkeitsverteilung im Raum sorgen, die Blendung begrenzen und Lichtrichtung und Schattigkeit berücksichtigen.

12. Überprüfung bestehender Beleuchtungsanlagen:

Hierzu wird die Beleuchtungsstärke mit einem Beleuchtungsstärkemesser (Luxmeter) auf der Nutzebene (Normalfall: 0.85 m über Boden) gemessen. Die Nutzebene ist dabei in möglichst quadratische Felder aufzuteilen, in deren Mitte gemessen wird.

Bei den Messungen sollte das Tageslicht vermieden werden, wozu der Raum lichtdicht abzudunkeln ist. Gemessen wird bei eingeschalteter künstlicher Beleuchtung.

Ist der Einfluß von Tageslicht nicht auszuschließen, empfehlen sich zwei Messdurchgänge mit eingeschalteter künstlicher Beleuchtung und ohne dieser. Die Differenz der Meßwerte entspricht dann der Beleuchtungsstärke des künstlichen Lichts.

Addieren Sie die Meßwerte auf und teilen Sie das Ergebnis durch die Anzahl Ihrer Meßpunkte. Sie erhalten die mittlere Beleuchtungsstärke, die Sie mit der Nennbeleuchtungsstärke nach DIN vergleichen können.

Beispiel: Ihre Nutzebene im Raum wurde in 36 quadratische Felder eingeteilt in deren Mittelpunkt Sie 36 einzelne Werte gemessen haben.

Die mittlere Beleuchtungsstärke ist dann:

$$E_m = 1/36 * (E_1 + E_2 + \dots + E_{36})$$

da $E_m = E_n$ ist, können Sie Ihr Ergebnis direkt mit der Nennbeleuchtungsstärke vergleichen und so die Beleuchtung im Raum beurteilen.

13. Weiterführende Literatur: (ohne Anspruch auf Vollständigkeit!)

Folgende Bücher, Broschüren, Normblätter, etc. sollten Ihnen im Zweifelsfall weiterhelfen:

- o DIN-Normen 5035 "Beleuchtung mit künstlichem Licht" Teil 1...7
- o Arbeitsstättenrichtlinien des Bundesministeriums für Arbeit
- o Handbuch der Beleuchtung der Lichttechnischen Gesellschaften der Schweiz, Deutschland, Österreich und Niederlande
- o RWE-Bauhandbuch Teil 15 "Innenraumbelichtung"
- o Hefte der Fördergemeinschaft gutes Licht

-Ende-