



Bild 2.5 Lichtstrom der LED-Leuchte (z. B. 2000 Lumen) (Grafik: LED Institut)

Die **Beleuchtungsstärke** E beschreibt, wie viel Lichtstrom auf eine bestimmte Fläche auftrifft. Sie wird in Lux (lx) angegeben. Beispielsweise sollte die Beleuchtungsstärke in einem Büro auf der Arbeitsfläche 500 Lux betragen, in einem Flur hingegen sind 100 Lux ausreichend (Bild 2.6).

$$E = \frac{\Phi}{A} \quad \Phi \text{ Lichtstrom, } A \text{ Fläche}$$

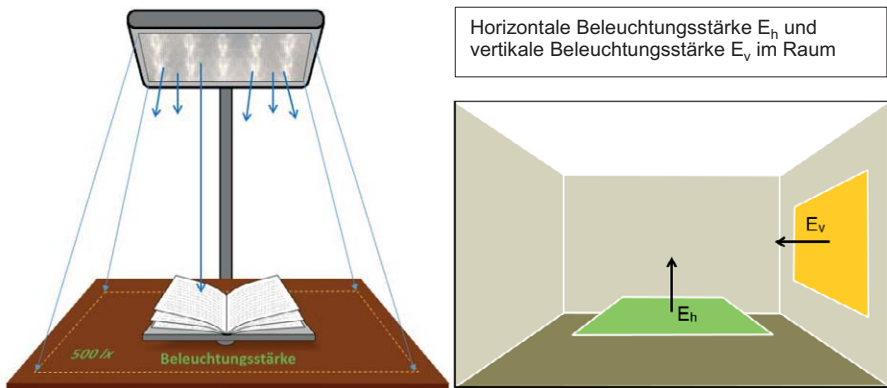


Bild 2.6 Die Beleuchtungsstärke (rechts: horizontal und vertikal) (Grafik: LED Institut)

In der Beleuchtungsplanung verwendet man heute Softwaretools, um die ausreichende Beleuchtungsstärke, die z. B. in der **Arbeitsstättenrichtlinie ASR A3.4** zu finden ist, nachzuweisen. Gängige Programme sind **DIALux** und **RELUX**, die im ersten Schritt einfach zu erlernen und sehr hilfreich sind. Die Beleuchtungsstärkeverteilungen auf einer Fläche können dann als sogenannte „IsoLuxlinien“ dargestellt werden, bei denen man in der zu betrachtenden Ebene die Punkte gleicher Beleuchtungsstärke verbindet. Bild 2.7 zeigt eine Beispielergebnisberechnung für einen Wohnraum.

3 LED-Systeme – Grundlagen

3.1 LED – Strahlungserzeugung, Eigenschaften und Binning

3.1.1 Funktionsweise einer LED

Bei einer LED handelt es sich um ein Halbleiterbauelement [24] mit einem pn-Übergang (Bild 3.1). Wenn ein konstanter Strom eingekoppelt wird und die Diode in Durchlassrichtung betrieben wird, findet eine Lichtemission in der aktiven Schicht statt.

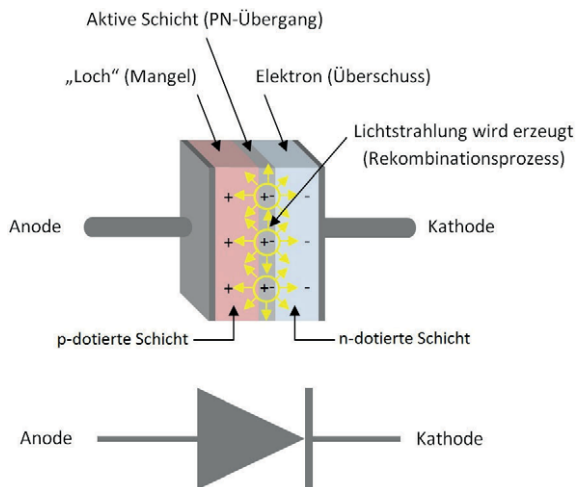


Bild 3.1 pn-Übergang der LED mit Strahlungserzeugung (Grafik: LED Institut)

3.1.2 Strahlungserzeugung in einer LED

Das Prinzip der Lichterzeugung in einer LED beruht auf einem Halbleiterkristall, der so dotiert ist (Einbringen von Fremdatomen), dass in einem Bereich ein Elektronenüberschuss existiert und in einem anderen Bereich ein Mangel beziehungsweise Löcher vorhanden sind [110]. Hierbei werden die Elektronen der positiv dotierten Seite in die Übergangsschicht (Sperrschicht oder auch Junction genannt) injiziert,

2.2.1 Lichtstrahlung

Eine Lichtquelle sendet Energie in Form von **elektromagnetischer Strahlung** aus. Diese physikalischen Strahlungswerte [11] werden mithilfe der spektralen Hellempfindlichkeitskurve in die lichttechnischen Größen, zum Beispiel den Lichtstrom Φ , überführt. Die spektrale Hellempfindlichkeitskurve $V(\lambda)$ wird benötigt, da das menschliche Auge mit seinen Rezeptoren nur in einem Wellenlängenbereich von 380 bis 780 nm Licht als solches wahrnimmt. Zudem ist das Auge spektral unterschiedlich stark empfindlich. Diese Aspekte werden mit der Hellempfindlichkeitskurve, wie in **Bild 2.4** gezeigt, berücksichtigt.

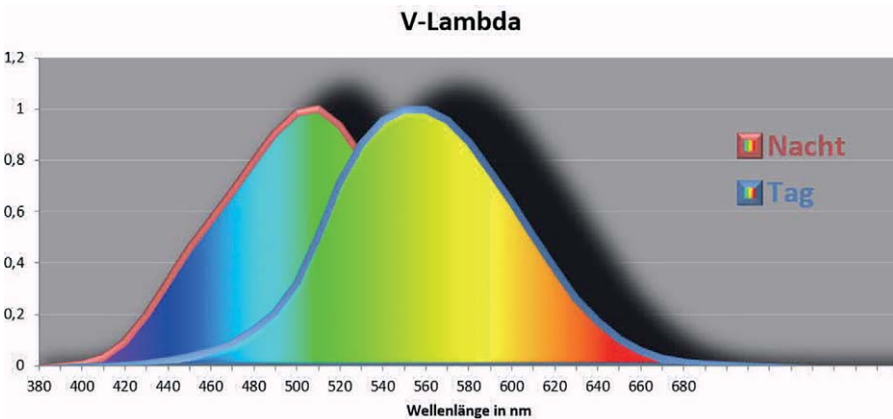


Bild 2.4 Bewertung des Lichts durch das menschliche Auge bei Tage (rechte Kurve) und bei Nacht (Grafik: LED Institut)

2.2.2 Lichtstrom und Beleuchtungsstärke

Der Lichtstrom Φ ist die von einer Lichtquelle, zum Beispiel der LED, der Retrofitlampe oder der LED-Leuchte, insgesamt **abgestrahlte Lichtleistung**. Diese ist in der Bewertung die entscheidende Größe. Früher sagte man, dass eine 60-W-Glühlampe gebraucht wird. Das Licht aus dieser Lampe war über Jahrzehnte konstant. Dies ist bei der LED nicht mehr gegeben. Die Leistung der LED-Lampe ist eine dynamische Größe, da sich die Effizienz von Jahr zu Jahr verbessert. In der Planung wird deshalb vor allem der Lichtstrom verwendet. Dieser schafft mit der richtigen Lichtverteilung die nötige Beleuchtung auf der Nutzebene. Die Anschlussleistung des LED-Produktes reduziert sich dann schrittweise von Jahr zu Jahr bei trotzdem gleichen Beleuchtungsstärken. Deshalb wird die Leistung der Lampe in diesem Zusammenhang nicht mehr verwendet (**Bild 2.5**).

verbinden sich dort mit den Löchern (Rekombination) und geben dabei Energie in Form von Licht ab. Dieser **Rekombinationsprozess** ist stark temperaturabhängig. Je höher die Temperatur im Halbleiter, desto weniger Strahlung wird erzeugt. Je nach Bandabstand im Kristall wird eine bestimmte Wellenlänge ausgesendet. Diese kann also durch geeignete Wahl mit der angelegten Spannung zu großen Teilen als sichtbares Licht emittiert werden. Hierbei legt die Wahl des Kristalls die Wellenlänge des Lichtes fest. In der Allgemeinbeleuchtung ist dies der blaue Chip (InGaN-Chip) mit einer blauen Lichtemission. Deshalb befindet sich im Spektrum einer weißen LED immer ein blauer Peak. Der gelbe Leuchtstoff (oft auch Phosphor genannt) wird in den Strahlengang des Chip gelegt und wandelt dann blaues in weißes Licht um. Im Spektrum ist dieser Anteil als großer Hügel sichtbar (siehe Bild 3.2) [129]. In der Physik wird der Lichterzeugungsvorgang auch als **Elektrolumineszenz** bezeichnet.

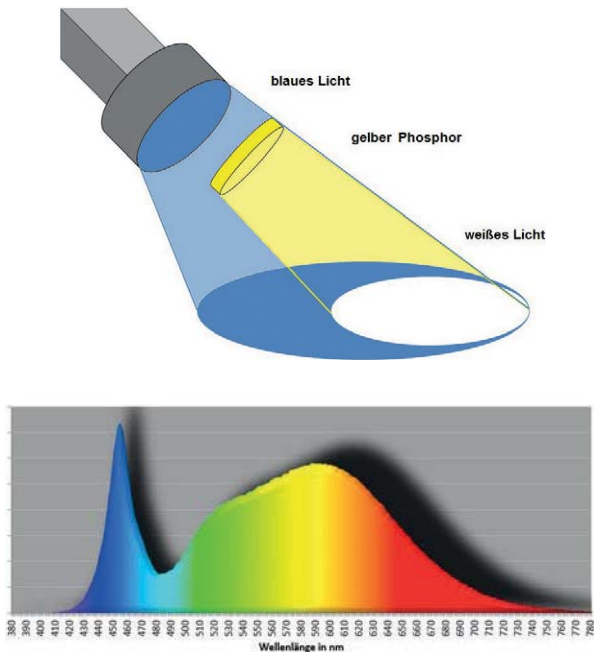


Bild 3.2 Strahlungserzeugung durch additive Farbmischung (oben) und Spektrum der LED (unten) (Grafik: LED Institut)

6 Retrofitlampen und ihr Einsatz – Umrüstung im Bestand

6.1 Einsatz der Lampe und ihre Grenzen

6.1.1 LED-Retrofitlampen

Eine sehr einfache, effektive und schnelle Umrüstung auf LED-Technik stellt die Verwendung von sogenannten Retrofitlampen dar. Heute sind diese im Markt stark verbreitet. Die Retrofittechnik ist jedoch eine **Überbrückungstechnologie** für konventionelle Lampenfassungen. Wenn in Zukunft die Fassungen der Leuchten im Markt verschwinden, werden folglich auch die Retrofitlampen nicht mehr gebraucht. Durch das Verbot der häufig eingesetzten T5- und T8-Lampen seit Ende 2023 bekommt die Technologie eine stärkere Bedeutung.

Mit dieser Technik werden LED-Leuchtmittel in Fassungssystemen herkömmlicher Lampen eingesetzt (Beispiele hierfür siehe **Bild 6.1**). Die ursprüngliche Leuchte wird beibehalten. Die Retrofitlampe hat fast die gleichen Maße, kann sich aber in der **Abstrahlcharakteristik**, im **Gewicht** und in der **Farberscheinung** stark unterscheiden. Die Vorteile guter Retrofitlampen sind **Effizienz**, **Zuverlässigkeit**, **Lebensdauer** und **Leistungsaufnahme**. Anfänglich hatten diese Lampen erhebliche Probleme aufgrund von qualitativ minderwertigen und meist ungeprüften Billigprodukten.



Bild 6.1 Retrofitlampen (Quelle: ledvance, Philips [rechts])

Die Kinderkrankheiten sind jedoch größtenteils behoben, und Retrofitlampen eignen sich in vielen Fällen besonders gut. Die Grenzen und die möglichen Probleme, die man sich hiermit einhandelt, sollte man jedoch kennen. Für nicht

alle Fassungs-systeme existieren zuverlässige und adäquate Retrofitlampen, da in einem doch relativ kleinen Bauraum das **thermische Management** und die **Ansteuerelektronik** untergebracht werden müssen. Dies gestaltet sich in vielen Fällen nicht so einfach, wenn die zu ersetzende Lampe sehr klein ist und die Lichtleistung sehr groß sein muss. Bei Glühfadlampen war dies einfacher, weil die Wärmeentwicklung nicht mit der Lebensdauer gekoppelt war. Das heißt, je größer die zu ersetzende Leistung der konventionellen Lampe ist, desto schwieriger ist das Thema LED-Ersatz. In solchen Fällen bietet sich im Projekt als Ausweg meistens nur eine neue LED-Leuchte an.

Sehr gute Lösungen existieren für die Standard-Fassungen. Aus wirtschaftlicher und technischer Sicht stehen momentan T8-Äquivalente für konventionelle Vorschaltgeräte (KVG/VVG), aber auch T8- und T5-Äquivalente [25] für elektronische Vorschaltgeräte (EVG) stark im Fokus. Sie funktionieren prinzipiell sehr gut – sofern es hochwertige Produkte sind. Ist ein VDE-Zeichen auf der Lampe, garantiert es, dass diese auch auf Sicherheit geprüft wurde. Auch auf die zulässigen Umgebungstemperaturen der Lampen ist unbedingt zu achten. Bei den übrigen Sockel-Fassungs-Systemen können die vorgegebenen Formfaktoren die Funktion beeinträchtigen, weil sie oft nur ein **begrenzt**es Wärmemanagement mit eingeschränktem Platz für die Elektronik erlauben. Somit wird entweder die **Lebensdauer** geringer ausfallen oder der Lichtstrom nicht an den der Originallampe heranreichen. Demzufolge sind Lampen mit einem Sockel wie R7s, G3 oder GY nur mit Einschränkungen umzurüsten.

Die besten Argumente für ein LED-Lichtkonzept sind Energieeffizienz, Langlebigkeit und gute Lichtqualität. Bei der Umsetzung gibt es verschiedene Strategien, um von der neuen Technik zu profitieren.

Zum heutigen Stand sind, wie schon erwähnt, nicht alle konventionellen Lampen mit LED-Retrofitlampen perfekt zu ersetzen. Die Darstellung in **Bild 6.2** zeigt die Möglichkeiten, für die eine Umrüstung einfach zu realisieren ist (grün gerahmt) und gute Lösungen am Markt existieren. Die gelb gerahmten Lampen werden mit Einschränkung der Lebensdauer und des Lichtstroms ebenfalls erfolgreich eingesetzt.

Zuerst prüft man die verwendete Fassung in der Leuchte und das konventionelle Leuchtmittel, welches verbaut ist. Anschließend gibt die Vorschaltgerätetechnik (falls vorhanden) Aufschluss über die Tauschmöglichkeiten. Aufgrund der Dynamik und der Entwicklung kann sich an den folgenden Daten auch schnell etwas ändern, sodass die Tabelle nur einer groben Orientierung dient.

Ein erster Vergleich zur konventionellen Technik zeigt die sehr guten Eigenschaften einer Retrofitlampe gegenüber konventioneller Technik (**Bild 6.3**).