

Die LED-Story

Vom Glühwürmchen zum Hallenstrahler

Der Beitrag schildert die Entwicklung der LED-Leuchtmittel, die heute die Beleuchtungstechnik dominieren, da sie deutlich langlebiger und effizienter als klassische Glühlampen sind.



Bildquelle: <https://ledtipps.net/retrofit-leuchtmittel>

Gemäß der stimmigen Farbenlehre (nicht der nach Goethe...) gibt es kein weißes Licht an sich, sondern weißes Licht entsteht durch Mischung des Lichtes der drei Grundfarben Rot, Grün, Blau. Bei den LEDs hat man auch noch andere Möglichkeiten herausgefunden.

Entdeckungen

Es begann vor fast 120 Jahren, 1907. Da entdeckte der Engländer Henry Joseph Round, dass anorganische Stoffe unter elektrischer Spannung leuchten können. Diese Entdeckung geriet aber zunächst wieder in Vergessenheit. Doch 1921 beobachtete der Physiker Oleg Vladimirovich Losev diese Lichtemission erneut und untersuchte sie genauer. Er vermutete dahinter eine Umkehrung des von Einstein nachgewiesenen Photoeffekts. Als weiteren Schritt auf dem Wege zur LED entdeckte 1935 der französische Physiker Georges Destriau, dass dieser Effekt auch an Zinksulfid auftritt. Nun bekam er einen Namen: „Lossev-Licht“. Zu Ehren von Oleg Wladimirowitsch Lossev, eines sowjetischen Hochfrequenztechnikerns.

Ende der vierziger/Anfang der fünfziger Jahre kommen Halbleiter auf, die in einfachster Form eine Diode darstellen, also einen pn-Übergang (positiv/negativ dotiertes Material, etwa Germanium, dazwischen bildet sich eine Sperrschicht aus). Eine Diode ist insofern halbleitend, als sie in der einen Richtung Strom sperrt (hochohmig) und in der anderen Richtung Strom durchlässt (niederohmig). Der in Durchlassrichtung betriebene pn-Übergang erwies sich als Grundlage einer möglichen Lichtemission auf Halbleiterbasis. Die Halbleiterphysik machte im gleichen Zuge die Lichtemission erklärbar. „Rekombination“ war das Schlüsselwort. Rekombination ist in der Physik die neutralisierende Vereinigung elektrisch positiver und negativer Ladungsträger (Ionen, Elektronen). Bildlich dargestellt: Elektronen (negativ) füllen „Löcher“ (positiv) aus. Dabei wird Energie in Form von Licht frei. Der Begriff Light-emitting Diode (LED) war passend. Ab 1957 konzentrierten sich Wissenschaftler auf die Lichterzeugung durch Halbleiter und nutzen dabei Galliumarsenid und Galliumphosphid (GaAsP), Halbleitermaterialien, welche die besten Lichtemissionen brachten.

Am Anfang stand die Farbe Rot

1962 kam die erste LED auf den Markt, eine rote LED vom Typ GaAsP, entwickelt von dem Amerikaner Nick Holonyak. Dieser Entwicklungspunkt gilt als Geburtsstunde der industriell gefertigten LED.

Es folgen LEDs, die grün strahlen konnten. Eine weitere Grundfarbe war erobert. Klar war: Das Halbleitermaterial bestimmt, welche Wellenlänge das ausgesendete Licht hat. Mit dem neuen Halbleitermaterial Galliumnitrid (GaN) kamen verschiedene Farbnuancen von Grün bis zu Ultraviolett ins Spiel. Fehlte nur noch Blau, um das RGB-Trio zu komplettieren und somit alle Farben zu ermöglichen. Doch die Entwicklung der blauen LED verlief spektakulär zäh, wendungsreich und dramatisch. Zeitweise hielt man die blaue LED sogar für unmöglich. Denn dabei musste die bei der Rekombination der Elektronen mit den Löchern abgegebene Energie besonders hoch sein. Das ist dann der Fall, wenn die sogenannte Bandlücke, der Energieunterschied zwischen den Zuständen der Elektronen, groß ist. Doch die japanischen Wissenschaftler Isamu Akasaki und Hiroshi Amano von der Universität von Nagoya sowie

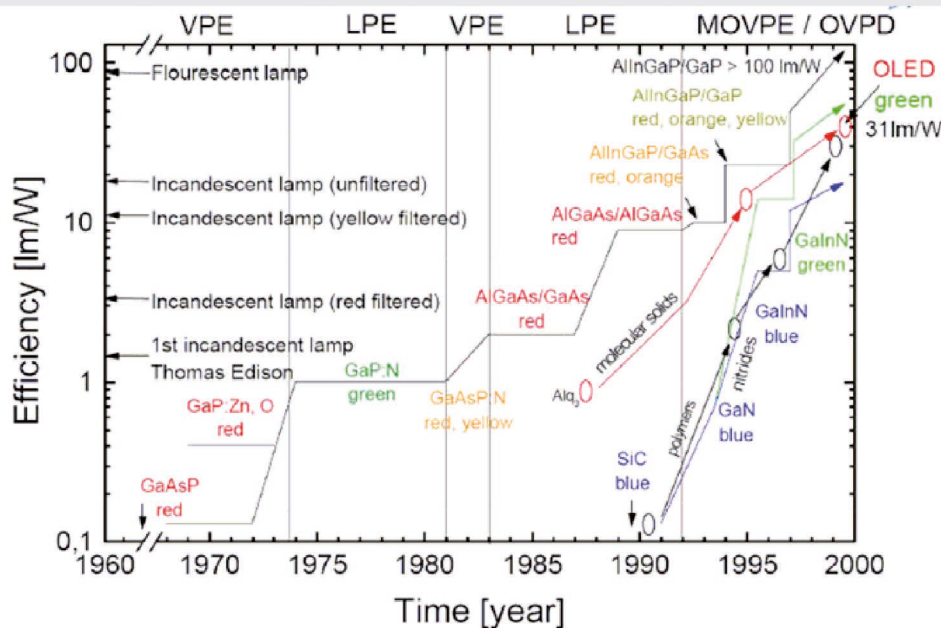


Photo Courtesy of Ladislav Markuš

Shuji Nakamura leistete einen entscheidenden Beitrag zur Entwicklung der blauen LED und erlebte dabei persönlich extreme Höhen und Tiefen (Quelle: <https://radianthistory.com/shuji-nakamura-inventor-of-the-high-brightness-blue-led-light-emitting-diode>)

Historische Entwicklung der LED

4



apl.Prof. Dr. D.J. As

Bis zum Jahr 2000 etablierten sich diverse LED-Technologien, wobei die Lichtausbeute von kleinen Werten bis an die 100 lm/W-Marke getrieben wurde.

Shuji Nakamura, Wissenschaftler bei einem kleinen Unternehmen, wagten sich unermüdlich daran. Dabei setzen sie auf Galliumnitrid. Doch auch damit war die Herstellung der benötigten Kristalle ein Problem, weil die bisher gängigen Methoden versagen. Erst 1986 gelang Akasaki und Amano der Durchbruch, als sie eine Schicht von Aluminiumnitrid auf eine Saphiroberfläche auftrugen – nun ließen sich darauf die gesuchten Kristalle züchten. Und mehr noch: Durch einen Zufall entdeckten sie zwei Jahre später, dass die Bestrahlung dieses Kristalls mit einem Elektronenstrahl genau die Dotierungen und Feinstrukturen schafft, die für blaues Licht nötig ist. 1992 schließlich präsentierten die beiden Forscher ihre erste blau-leuchtende LED.

Nakamura gelangte fast zur gleichen Zeit ans Ziel, jedoch mit einer anderen Methode: Auch er nutzte eine Galliumnitrid-Schicht, ließ diese aber durch Temperatureinfluss immer dicker werden. So umging er den Elektronenstrahl, um eine blaue LED zu kreieren. Und mit dem neuen Halbleitermaterial Galliumnitrid (GaN) entwickelte er 1993 die erste hellstrahlende, kommerziell erfolgreiche blaue LED. Er bringt auch die sehr effiziente grüne

Indium-Galliumnitrid-Leuchtdiode (InGaN-LED) heraus und später auch eine weiße LED.

R + G + B = Weiß, aber nicht nur...

Diese beiden Erfindungen ebneten den Weg zu weißen und schließlich leistungsfähigen LEDs. Also zu den LED-Leuchtmitteln, die wir heute nutzen. Wobei anzumerken ist, dass weißes Licht mithilfe der blauen LEDs auf zwei Arten erzeugt werden kann: Entweder kombiniert man diese mit einer roten und einer

grünen LED, sodass sich ihr Licht zu Weiß ergänzt. Oder aber man nutzt nur die blaue LED und versieht sie mit einer Schicht aus Phosphor. Dieses wird durch das energiereiche Licht der LED angeregt und gibt dann rotes und grünes Licht ab – und ergänzt so das Spektrum des blauen Lichts zu Weiß. So oder so: Mithilfe von blauen LEDs ließ sich weißes Licht erzeugen. So konnte man weiße Lichtquellen bauen, die länger halten und effizienter sind als herkömmliche Glühbirnen. Etwa 1997 kamen LEDs auf den Markt, die durch Zugabe

von Leuchtstoffen weißes Licht aus Lumineszenz-Konversion gewinnen. Dahinter steckt die Tatsache, dass verschiedene Lumineszenz-Farbstoffe kombiniert werden können.

Die Entwicklung der LED geht weiter

Dank verbesserter Halbleitermaterialien wie Galliumnitrid (GaN) gibt es auch die Farben Grün, Orange und Gelb. Eine Farbmischung für Orange und Gelb war also nicht erforderlich. Längst gingen nun die Entwicklungsbestrebungen in Richtung Leistung und Effizienz, begleitet von wirkungsvollen und kleinen Schaltnetzteilen, die sich in gängige Lampenformate integrieren lassen. Eine kleine, billige Elektronik musste also zuverlässig aus 230 V Wechselspannung den passenden, möglichst konstanten Strom ableiten, den eine LED-Reihenschaltung benötigt. Denn LEDs sind stromgesteuerte Bauelemente, daher auch der name Treiber für die Elektronik. Diese bildet heute noch den Flaschenhals bei der Zuverlässigkeit einer LED-Lampe, nicht die LEDs selbst.

Längst stehen für alle Fassungen Retrofitlampen zur Verfügung. Der Begriff Retrofit steht ganz allgemein für die Modernisierung einer bestehenden Anlage oder eines Betriebsmittels. LED-Retrofit-Leuchtmittel haben ähnliche Abmessungen und vor allem den gleichen Sockel wie ihre Vorgänger mit Glühfaden. In den meisten Retrofit-LED-Leuchtmitteln werden überwiegend SMD-LEDs eingesetzt. In modernen LED-Leuchten wird zum Großteil auf die COB-Technik gesetzt.



Explosionsdarstellung einer LED-Lampe (Quelle: www.gluehbirne.de/led-ratgeber-led-aufbau)

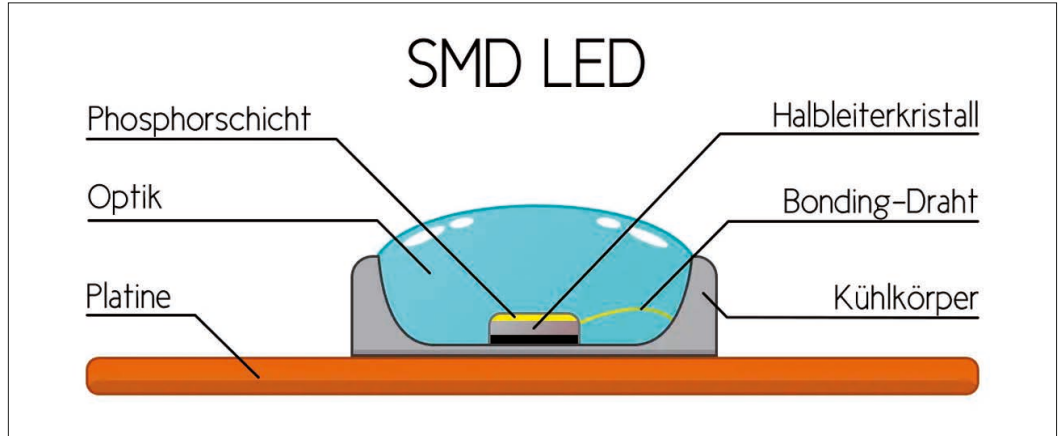
COB steht für Chip on Board. Hier wird der LED-Chip direkt mit Wärmeleitkleber auf der Leiterplatte befestigt, was die Kühlung verbessert. So lassen sich moderne Leuchten designen, welche mit den Standardformen der Retrofit-Leuchtmittel nicht möglich sind. Retrofit-Leuchtmittel können genauso einfach wie ein herkömmliches Leuchtmittel ausgetauscht werden. Jedoch gilt es, stärker auf neuzugekommene technische Daten zu achten:

Lichtfarben und Helligkeiten

Es gibt keinen festen Faktor zwischen der Leistungsaufnahme einer Glühlampe und der einer LED-Lampe, die genauso hell strahlt. LED-Lampen können in der Effizienz schwanken, begleitet von entsprechenden Preisen. Auch macht die Leistung an sich einen Unterschied. Eine gute Orientierung ist jedoch die Annahme, dass sich die Leistungsaufnahmen beider Typen für gleiche Helligkeit um Faktor 8 unterscheiden, bei kleiner Leistung etwas mehr, bei großer etwas weniger.

Die Helligkeit wird daher in Lumen angegeben. Hier sind Normwerte zu beobachten, etwa 806 Lumen entsprechend der Helligkeit einer 60-W-Glühlampe (Leistungsaufnahme der LED-Version 8 W).

Im Gegensatz zur Glühlampe mit ihrem warmweißen Licht liefern LED-Lampen verschiedene Lichtfarben. „Lichtfarbe“ in Kelvin? Dies daher, weil sich die Lichtfarbe an der entsprechenden Oberflächentemperatur der Sonne orientiert. Auch hier Standardwerte: 2700 Kelvin: Lichtfarbe warm-weiß, 4000 Kelvin: Lichtfarbe neutral-weiß, 5000 Kelvin: Lichtfarbe kalt-weiß/tageslichtweiß.



SMD-LED in einem Leuchtmittel (Quelle: <https://ledtipps.net>)

Hochleistungs-LEDs: mehr Lumen pro Watt

Mit dem neuen Jahrtausend begann auch die große Zeit, die triumphale Erfolgs-Story der LED-Beleuchtungstechnologie. Denn die anhaltenden Fortschritte in Materialwissenschaft und Halbleitertechnologie führten zu bahnbrechenden Entwicklungen in der Effizienz und Anwendung von LEDs. So wurden LEDs möglich, die eine deutlich höhere Helligkeit und Effizienz aufwiesen als ihre Vorgängermodelle. Diese Hochleistungs-LEDs eröffneten neue Möglichkeiten in der Beleuchtungstechnik. Aber auch die Qualität der Farbwiedergabe wurde signifikant verbessert, was LEDs attraktiver für Anwendungen in Innenräumen machte. Und schließlich ermöglichte die fortschreitende Miniaturisierung der LED-Technologie komplexere und vielseitigere Beleuchtungslösungen.

2006 erreichten die ersten LEDs im Labor eine Lichtausbeute von 100 Lumen pro Watt, was nur noch von

Gasentladungslampen übertroffen wurde.

2022 hat sich der Wirkungsgrad der LED schrittweise dem Wert von 200 lm/W für weißes Licht angenähert. LED-Lampen sind nun in nahezu allen Lichtanwendungen dominierend – und ihre Entwicklung geht weiter.

Smart-LED-Systeme

Ein weiterer Meilenstein in der LED-Technologie sind Smart-LED-Systeme. Diese kombinieren die Effizienz und Vielseitigkeit von LEDs mit moderner Steuerungs- und Kommunikationstechnologie, um eine neue Ebene der Funktionalität und Anpassungsfähigkeit zu erreichen. Smart-LED-Systeme werden gekennzeichnet durch:

• intelligente Steuerung

Ihre smarten LEDs können über Smartphone-Apps, Fernbedienungen oder automatisierte Systeme gesteuert werden, um eine optimale Anpassung der Beleuchtung an individuelle Bedürfnisse.

• Konnektivität und Integration

Diese LEDs lassen sich in Smart-Home-Systeme integrieren, wodurch sie mit anderen intelligenten Geräten kommunizieren und synchronisiert werden können.

• noch mehr Energieeffizienz und Nachhaltigkeit

Smart-LEDs ermöglichen durch automatisierte Einstellungen, wie Dimmung und zeitgesteuerte Steuerung, weitere Energieeinsparungen.

• Personalisierung

Nutzer können die Beleuchtung nach ihren Wünschen individualisieren, einschließlich der Einstellung von Farben, Helligkeiten und Lichtszenarien.

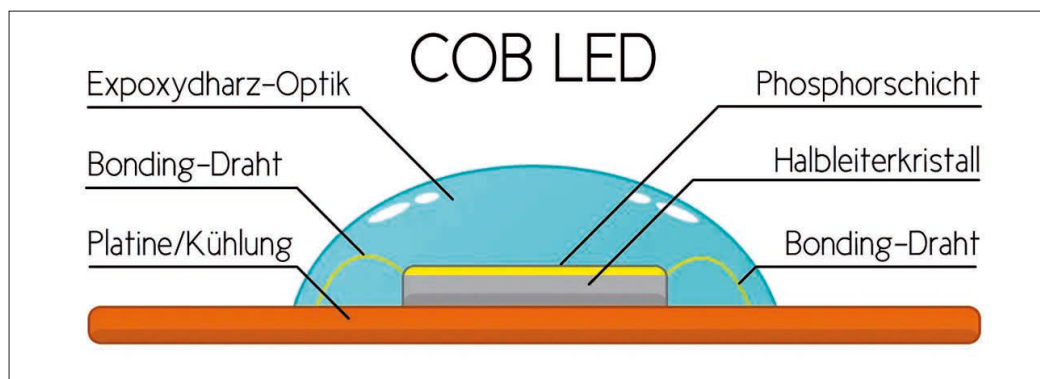
• automatische Anpassung an die Umwelt

Smart-LEDs können auf Änderungen in der Umgebung reagieren, wie z.B. Tageslicht- oder Dämmerungszustände.

• Ästhetik und Funktionalität

Smart-LED-Systeme vermitteln eine verbesserte Nutzererfahrung und erweitern die Möglichkeiten der Raumgestaltung.

Mit einem Wort: Smart-LED-Systeme repräsentiert den konsequenten Übergang von traditioneller Beleuchtung zu einer integrierten und intelligenten Beleuchtungslösung, die sowohl energieeffizient als auch benutzerfreundlich ist. ◀



COB-LED in einem Leuchtmittel (Quelle: <https://ledtipps.net>)

FS