

# Leuchtdiode

(von "<http://de.wikipedia.org/wiki/Leuchtdiode>")

Eine **Leuchtdiode** (Kurzform **LED** für *Light-Emitting Diode* – Licht aussendende



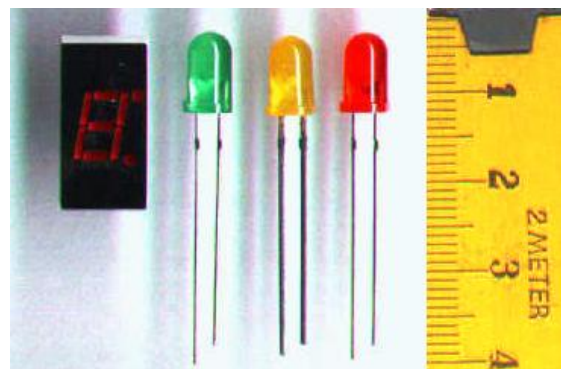
Schaltsymbol

**Diode**) ist ein elektronisches **Halbleiter**-Bauelement.

Wird durch die Diode ein Strom in Durchflussrichtung geschickt, strahlt sie Licht ab.

## Inhaltsverzeichnis

- [1 Aufbau](#)
- [2 Funktionsprinzip](#)
- [3 Technologie](#)
- [4 Eigenschaften](#)
- [5 Weiße LED](#)
- [6 Einsatzbereiche](#)
- [7 Entwicklung](#)
- [8 Siehe auch](#)
- [9 Weblinks](#)



Fotos einiger Leuchtdioden; links Leuchtdioden in einer 7-Segment-Anzeige

## Aufbau



Makroaufnahme einer Leuchtdiode (Durchmesser 5 mm).

Das Bild rechts zeigt den Aufbau einer Standard-Leuchtdiode (Durchmesser 5 mm). Die Kathode (–), markiert durch eine Abflachung links am Gehäuse, trägt einen kegelförmigen Reflektor, in dem der Halbleiter sitzt. Der feine **Bonddraht**, rechts oberhalb des Trägers als horizontale Linie erkennbar, stellt den Kontakt zur Anode (+) her.

Hochleistungs-LED werden mit höheren Strömen betrieben. Es entstehen besondere Anforderungen an die Wärmeableitung, die sich in speziellen Bauformen ausdrückt. Die Wärme kann entweder über die Stromzuleitungen abgeführt werden, oder der Strom wird über zwei Bonddrähte zugeführt und die Wärmeableitung über die Reflektorwanne ist davon getrennt.

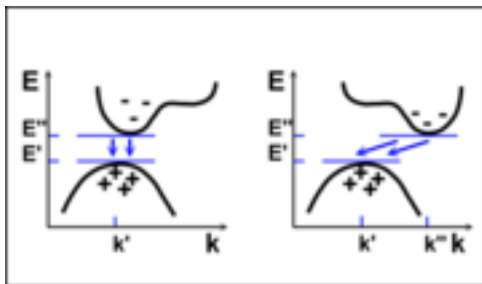
Die industrielle Verarbeitung von bedrahteten LED ist aufwändig und teuer. LED werden z. B. auch in **SMD**-Gehäuseform hergestellt. Eine weitere Möglichkeit ist das direkte "bonden" des LED-Chips auf der Platine (Chip on board – **COB**).

Mehrfarbige Leuchtdioden bestehen aus mehreren (2 oder 3) Dioden in einem Gehäuse. Bei der Ausführung mit 2 Anschlüssen sind 2 LED in Gegenrichtung parallel geschaltet. Je nach

Polarität leuchtet die eine oder andere Diode. Eine Wechselspannung regt beide Dioden an und erzeugt eine Überlagerungsfarbe.

## Funktionsprinzip

Der Halbleiter in einer LED besteht aus einer **Diode**. Durch Anlegen einer äußeren Spannung in Durchlassrichtung wandern Elektronen zur Rekombinationsschicht an seinem **p-n-Übergang**. Auf der n-dotierten Seite bevölkern sie das **Leitungsband**, um nach Überschreiten der Grenzfläche auf das energetisch günstigere p-dotierte Valenzband zu wechseln. Beispielsweise erfolgt bei Silizium-Dioden der Übergang strahlungslos durch **Phononenanregung** (Gitterschwingungen), das Gitter führt die Energie als Wärme ab. **Gallium-Arsenid** (GaAs) hingegen leuchtet.



Bandstrukturen zweier Halbleiter, schematisch.

Die Bandstruktur des Halbleiters bestimmt das Verhalten der Energieübertragung. Im Unterschied zum sehr vereinfachten **Bändermodell** ist in der Grafik auf der Abszisse (x-Achse) der Impuls  $k$  aufgetragen, anschaulich vergleichbar einer reziproken Ortskoordinate. Rechts ist kein direkter Strahlungsübergang vom oberen Leitungsband auf das untere Valenzband möglich, da sich nicht nur die Energie, sondern auch der Impuls  $k$  verändert, im Gegensatz zum linken Beispiel (siehe auch **Bandlücke**).

Die Größe der Energielücke  $E''-E'$  bestimmt die Farbe des ausgesandten Lichts:

$$\lambda(W_D) = \frac{h \cdot c}{W_D} = \frac{1240 \text{ nm}}{W_D \cdot \text{eV}^{-1}}$$

$\lambda(W_D)$  lambda: **Wellenlänge** des emittierten Lichtes in nm (Nano-Meter), wenn  $W_D$  in eV eingesetzt wird.

$h$  **Plancksches Wirkungsquantum** =  $6,626 \cdot 10^{-34}$  Js (**Joule** Sekunden)

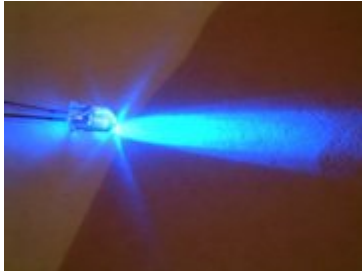
$c$  **Lichtgeschwindigkeit** =  $2,997 \cdot 10^8$  m/s (Meter pro Sekunde)

$W_D$  **Arbeit**, hier: **Bandlücke**, angegeben in **eV**, abhängig vom verwendeten Halbleiterwerkstoff.

Die Größe der **Bandlücke** und damit die Farbe lassen sich über die chemische Zusammensetzung des Halbleiters steuern. Beispielsweise hat der Halbleiter GaAs einen direkten Bandabstand von 1,4 eV, entsprechend einer Wellenlänge von 885 nm. Eine Zugabe von **Phosphor** vergrößert ihn, verformt aber auch das Leitungsband. Wenn Phosphor 50% der As-Atome ersetzt, liegt der Bandabstand bei fast 2 eV (650 nm). Dafür hat sich die

Bandstruktur so verschoben, dass keine direkten Strahlungsübergänge mehr beobachtet werden, wie im Beispiel rechts gezeigt.

## Technologie



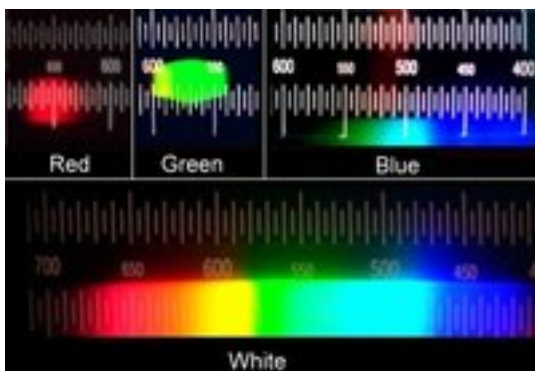
UV-LED aus InGaN

Durch die gezielte Auswahl der Halbleitermaterialien und der Dotierung können die Eigenschaften des erzeugten Lichtes variiert werden. Vor allem der Spektralbereich (das entspricht im sichtbaren Bereich der Farbe) und die Effizienz lässt sich so beeinflussen:

- Aluminium-Galliumarsenid (AlGaAs) – rot und infrarot, bis 1000nm Wellenlänge; Durchlass-Spannung 1,2..1,5 V
- Gallium-Aluminium-Arsenid (GaAlAs) – z. B. 665 nm, rot, LWL bis 1000 m
- Galliumarsenid-phosphid (GaAsP) und Aluminium-Indium-Gallium-phosphid (AlInGaP) – rot, orange und gelb; Durchlass-Spannung 1,8..2,2 V
- Galliumphosphid (GaP) – grün; Durchlass-Spannung 2,2..2,4 V
- Siliziumcarbid (SiC) – erste kommerzielle blaue LED; geringe Effizienz
- Indium-Galliumnitrid (InGaN)/Galliumnitrid (GaN) – UV, blau und grün; Durchlass-Spannung 3,5..4 V

Bei der Herstellung der LED-Halbleiter werden verschiedene [Epitaxie](#)-Verfahren eingesetzt.

## Eigenschaften



Spektrn einer roten, grünen, blauen und weißen Leuchtdiode.

Anders als [Glühlampen](#) sind Leuchtdioden keine **Temperaturstrahler**. Sie emittieren Licht in einem begrenzten Spektralbereich, das Licht ist nahezu **monochrom**. Deshalb ist z. B. der

Einsatz in Signalanlagen im Vergleich zu anderen Lichtquellen, bei denen Farbfilter den größten Teil des Spektrums herausfiltern, besonders effektiv.

Als **Lebensdauer** der LED wird die Zeit, nach der die Lichtausbeute der LED auf die Hälfte des Anfangswertes abgefallen ist, bezeichnet. Leuchtdioden werden nach und nach schwächer, fallen aber nicht plötzlich aus. Leuchtdioden sind unempfindlich gegen Erschütterungen. Sie haben keinen Hohlkörper, der implodieren kann. Die Lebensdauer hängt von dem jeweiligen Halbleitermaterial und den Betriebsbedingungen (Wärme, Strom) ab. Die angegebene Lebensdauer reicht von einigen 1000 Stunden bei 5 Watt-LED bis zu über 100000 Stunden bei mit niedrigen Strömen betriebenen LED. Hohe Temperaturen (z.B. durch hohe Ströme) verkürzen die Lebensdauer der LED drastisch.

Die hohe Schaltgeschwindigkeit der LED ist z.B. bei dem Einsatz in der Optoelektronik wichtig.

Leuchtdioden besitzen eine exponentiell ansteigende Strom-Spannungs-Kennlinie. Im Betrieb muss der Strom durch ein weiteres Bauelement begrenzt werden, im einfachsten Fall durch einen **Widerstand** oder durch einen Konstantstromregler. Die Stromaufnahme beträgt 2 mA bis ca. 700 mA bei einer Spannung von 2 V bis 4 V.

## Weisse LED

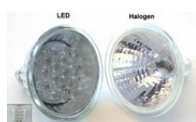
Um mit Leuchtdioden weißes Licht zu erzeugen, kommen verschiedene Verfahren zum Einsatz:

- Drei Leuchtdioden der Farben Rot, Grün und Blau (**RGB**) werden zusammengeschaltet und erzeugen weißes Licht (Einsatz: Displays, Effektbeleuchtung). Das kann mit separaten LED oder mit drei LED-Chips innerhalb eines Gehäuses geschehen. Auch mit nur zwei LED in den Farben Blau und Gelb kann weißes Licht gemischt werden.

Der LED-Chip wird mit **Fluoreszenzfarbstoff** bedeckt. Ähnlich wie bei einer **Leuchtstofflampe** wird kurzwelliges, energiereiches Licht in langwelliges, energieärmeres Licht umgewandelt. Bei geeigneter Wahl der Komponenten ergibt die **additive Farbmischung** weiß.

- Entweder wird ein Teil des Lichtes blauer LED durch einen Farbstoff in gelbes Licht umgewandelt und die Mischung ergibt weiß oder
- die Leuchtdiode strahlt im **UV**-Bereich. Das sichtbare weiße Licht wird ausschließlich durch Anregung von geeigneten **Fluoreszenzfarbstoffen** (RGB) erzeugt. Solche LED haben gute **Farbwiedergabeeigenschaften** (Ra 90).

## Einsatzbereiche



LED-Leuchtmittel



[Digitaluhr](#) von 1978 mit LED Anzeige.  
Links Uhrzeit, rechts Tag/Datum

Nachdem die LED lange Zeit aufgrund geringer Lichtausbeute und fehlender Verfügbarkeit aller Lichtfarben hauptsächlich als Indikationslampen, in Siebensegment- und Punktmatrixanzeigen eingesetzt wurden, erschliesst sich die LED nun weite Einsatzbereiche z. B. auch in der Beleuchtungstechnik. Einige Einsatzbereiche sind:

- Leuchtmittel, um Glühlampen zu ersetzen (siehe Bild rechts)
- Laufschriftanzeigen zur Informationsübermittlung in der Öffentlichkeit, Wechselkennzeichen im Straßenverkehr
- Statusanzeigen, beispielsweise [Betriebsbereitschaft](#) bei Geräten aller Art
- Infrarot-LEDs in Fernbedienungen, vor allem im Bereich der Unterhaltungselektronik
- LED-Bündel in [Verkehrssampeln](#) (statt gewöhnlicher Glühlampen mit Farbfiltern)
- Fahrradbeleuchtung, vornehmlich als Rücklicht, zunehmend aber auch als Scheinwerfer
- Siebensegmentanzeigen an Taschenrechnern und Messgeräten (dort inzwischen weitgehend abgelöst durch [Flüssigkristallanzeigen](#))
- Rote und gelbe LEDs für Anzeigen in Bereichen, wo die Dunkeladaptation des Auges nicht beeinträchtigt werden darf (Flugzeug-Cockpits, Schiffsbrücken, Sternwarten, im nächtlichen Geländeinsatz (Militär oder Tierbeobachtung))
- Mobile Beleuchtungsanwendungen, wie Taschenlampen, zunehmend auch im Automobilbereich
- Als Teil von Bewegungssensoren, beispielsweise bei [Zeigergeräten](#) in der EDV oder für Lichtschranken
- Zur Belichtung der Tonerwalze bei [LED-Druckern](#)
- Zur Displayhinterleuchtung ([Mobiltelefon](#), [Monitore](#)). Dieser Bereich macht einen großen Teil der Marktes der LED aus
- (tageslichtfähige) TV-Grossdisplays (z. B. in Stadien)
- Für Beleuchtungszwecke, hauptsächlich Beleuchtung eng abgegrenzter Bereiche (Spotlicht)
- [RGB](#)-Effektbeleuchtung mit änderbaren Lichtfarben
- Als Ersatz für konventionelle Leuchtmittel, z. B. einfach einsetzbar in gesockelter Ausführung
- im Medizinbereich (z.B. UV-LED in der Zahntechnik)
- (derzeit im Prototypenstadium) als Scheinwerfer von (u.a.) Kraftfahrzeugen

## Entwicklung

Im Laufe der Entwicklung wurde die Lichtausbeute der LED gesteigert. Es wurden neue Halbleitermaterialien entwickelt, so dass es LED in nahezu allen Farben des Spektrums

(Lücke im grün-gelb Spektrum) gibt. Insbesondere nach Halbleitern, die Licht im kurzwelligeren Bereich (blau, UV) effektiv erzeugen, wurde lange gesucht.

Die weitere Steigerung der Effizienz und die preiswertere Herstellung der Halbleiter ist das Ziel weiterer Entwicklungen.

Gegenwärtig wird z.B. daran gearbeitet, sowohl transparente Trägermaterialien und Halbleiter-Materialien als auch transparente elektrische Zuleitungen herzustellen. Die **Bonddrähte** (elektrische Leitungen zum Halbleiterchip) decken einen Teil der aktiven Fläche ab. Die Alterung von LEDs ist wohl auf die Vergrößerung von Fehlstellen im Kristall durch thermische Einflüsse zurückzuführen, die nicht mehr an der Lichterzeugung teilnehmen und strahlungslose Übergänge fördern.

Mit 30 **lm/W** entspricht die **Lichtausbeute** von weißen Leuchtdioden der von Halogen-Glühlampen. Die effektivsten verfügbaren weißen LED haben heutzutage (November 2004) eine Lichtausbeute von 50 **lm/W**, Tendenz steigend.

Große Leuchtdiodenhersteller arbeiten derzeit intensiv an der Erhöhung des Wirkungsgrades. Erst wenn dieser deutlich über Halogenlampen liegt, ist eine breite Anwendung im Automobilsektor sinnvoll. In wenigen Jahren wird hier ein Durchbruch erwartet.

Bereits jetzt ist die LED dabei die **Glühlampe** in vielen Bereichen zu verdrängen. Die Vorteile gegenüber der **Glühlampe**: Die LED verbraucht weniger Strom, erzeugt weniger Wärme, ist unempfindlich gegenüber Erschütterungen und hat eine hohe Lebensdauer. **Taschenlampen** z.B. werden in den nächsten Jahren wohl nur noch LEDs enthalten.

## Siehe auch

- [Organische Leuchtdiode](#)
- [Laserdioden](#)
- [RCLED](#)

## Weblinks

- [LED-Informationen](#)
- [Introduction to Light Emitting Diodes](#) (*englisch*)
- [Light Emitting Diodes](#) (*englisch*)
- [www.wissenschaft.de](http://www.wissenschaft.de): **Punktsieg für LEDs** Die Lichtquellen sind mehr als nur sparsam und könnten in Zukunft intelligente Beleuchtungslösungen ermöglichen
- [LED-Museum](#) (*englisch*)