



your solution – our innovation

*Energy  
for life*

# Grundlagen von LED-Treibern

Funktionen • Anforderungen • Auswahl

Andreas Hagemeyer  
Master of Science

**05.2015**

*Dieser Artikel soll dem Leser das Grundwissen über das Funktionsprinzip von LED-Leuchtmitteln verschaffen, die Anforderungen an einen LED-Treiber erläutern und dabei helfen, den passenden Treiber für eine Anwendung zu finden. Hierfür ist das Verständnis der physikalischen Prozesse notwendig, die die Elektrolumineszenz beschreiben. Aufbauend darauf werden die verschiedenen Schaltkonzepte für die LED-Leuchtmittel beschrieben.*

## Henry Joseph Round, die Elektrolumineszenz und die Entwicklung der heutigen LED

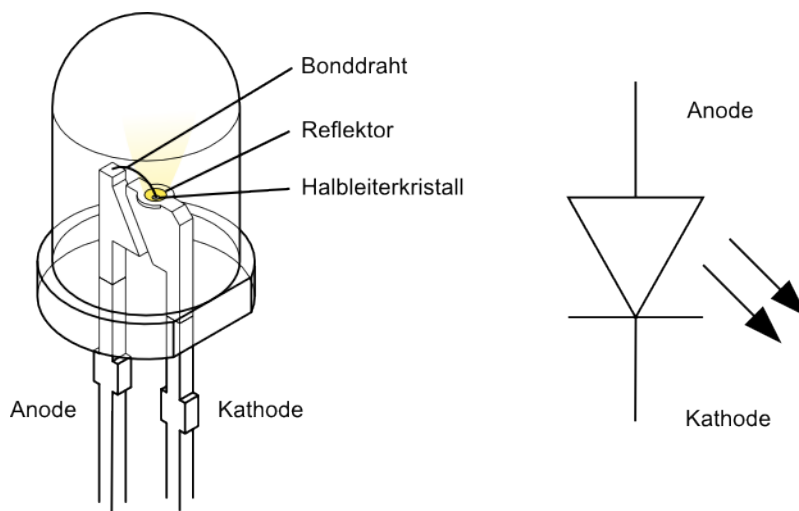
Im Jahre 1907 untersuchte Henry Joseph Round Siliciumcarbid (SiC) für den Einsatz in einem Demodulator für RF-Signale. Dabei beobachtete Round, dass der SiC-Kristall unter bestimmten Bedingungen beim Anlegen einer Spannung leuchtet. Diese Entdeckung beschrieb Round als „kurioses Phänomen“ (*H. J. Round, Electrical World 49, 309, 1907*). Später wird dieses als Elektrolumineszenz bezeichnet. Mit dieser Entdeckung legte Round den Grundstein für die Entwicklung der heutigen Licht-emittierenden Dioden (LEDs). Die ersten LEDs die in die Serienfertigung gingen, verfügten noch über eine eher geringe Lichtausbeute und wurden nur daher nur als Kontrollleuchten eingesetzt. Durch die technische Weiterentwicklung sind LEDs heute jedoch derart effizient, dass sie die herkömmlichen Leuchtmittel immer mehr verdrängen. Die hohe Lichtausbeute und die lange Lebensdauer sprechen für den Einsatz der LEDs, außerdem ermöglichen die kleine Bauform und die geringere Abwärme völlig neue Lichtkonzepte.

## Der Betrieb von LEDs am Stromnetz

Bei herkömmlichen Leuchtmitteln wie der Glühlampe wird Licht erzeugt, indem ein Draht mit Hilfe von Strom zum Glühen gebracht wird. Dies führt dazu, dass nur ein kleiner Teil (weniger als 5%) der Energie in sichtbares Licht umgesetzt wird. Dieses recht ineffiziente Prinzip, war auf dem Markt der Leuchtmittel für viele Jahrzehnte nahezu konkurrenzlos, da der Aufbau äußerst simpel ist und außerdem für ein angenehmes Licht sorgt. Auch wenn LEDs eine deutlich höhere Lichtausbeute besitzen als Glühlampen, wurden diese Leuchtmittel lange nicht als Ersatz für Glühlampen anerkannt: LEDs stellen im Vergleich zur Glühlampe hohe Ansprüche an die Energiequelle. Werden die LEDs nicht optimal mit Energie versorgt, flackert das Licht oder wird als unruhig empfunden. Zum Betrieb der vorteilhaften LED-Beleuchtung an unserem Stromnetz sind daher spezielle Schaltungen notwendig, welche die Netzspannung in eine an das angeschlossene LED-Leuchtmittel exakt angepasste Spannung wandeln. Diese Schaltungen sind für den Betrieb mit LEDs optimierte Netzteile, „LED-Treiber“ genannt. Als einer der führenden Hersteller für Schaltnetzteile hat FRIWO es sich zur Aufgabe gemacht, LED-Treiber zu entwickeln und herzustellen, welche die oben genannten Probleme lösen. Mit den FRIWO-Treibern können LEDs als Leuchtmittel eingesetzt werden, ohne einen Kompromiss eingehen zu müssen. Mittlerweile verfügt FRIWO über ein großes Sortiment an LED-Treibern, mit denen auch das Dimmen der Beleuchtung auf verschiedenste Arten problemlos möglich ist.

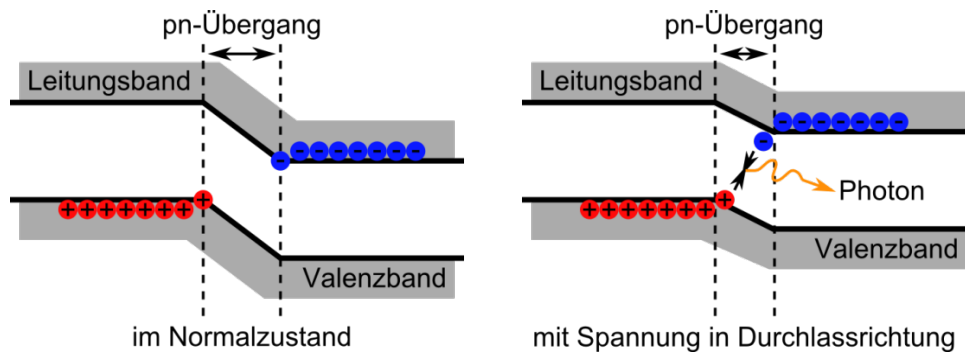
### Grundsätzlicher Aufbau einer LED

Der Hauptbestandteil einer LED ist ein kleiner Halbleiter-Kristall, welcher in dem Reflektor der LED montiert ist. Dieser Kristall wird bei der Herstellung gezielt mit Fremdatomen verunreinigt, um die elektrische Leitfähigkeit des Materials zu beeinflussen. Dieser Prozess wird Dotierung genannt und dient dazu, dass freie Ladungsträger zur Verfügung stehen.



**Aufbau einer LED und Schaltsymbol**

Mit der Wahl der Fremdatome kann festgelegt werden, ob die Ladungsträger Elektronenfehlstellen sind (auch positive Ladungsträger genannt) und der Kristall somit p-dotiert, oder ob die Ladungsträger Elektronen sind (auch negative Ladungsträger genannt) und der Kristall somit n-dotiert ist. Im Übergang zwischen einer p- und einer n-dotierten Schicht heben sich die freien Ladungsträger auf – hier ergibt sich die Zone des sogenannten pn-Übergangs.



**Rekombination von Elektron und Elektronenfehlstelle am pn-Übergang**

In dem pn-Übergang stehen keine freien Ladungsträger zur Verfügung, daher kann hier kein Strom fließen. Wird jedoch eine Gleichspannung am pn-Übergang angelegt, kann über die

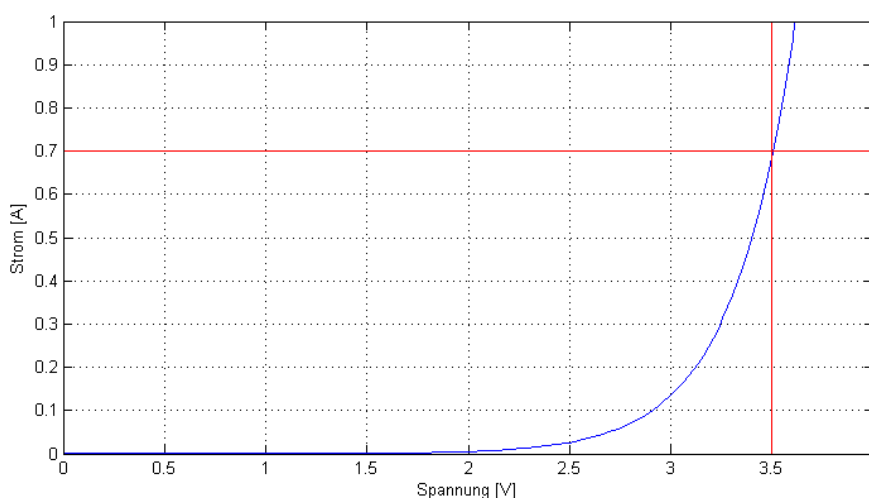
Polarität und den Betrag dieser Spannung der Abstand zwischen den freien Ladungsträgern beeinflusst werden. Wird die LED in Durchlassrichtung betrieben, also mit einer positiven Spannung von der p-dotierten zur n-dotierten Schicht, nimmt der Abstand zwischen den Ladungsträgern ab. Überschreitet die angelegte Spannung einen Schwellwert, steigt die Wahrscheinlichkeit, dass ein Elektron mit einer Elektronenfehlstelle rekombinieren kann und die LED somit leitend wird. Diese Schwellwertspannung  $U_{th}$  ist abhängig von dem Aufbau der LED, also dem Halbleitermaterial und der Dotierung, wird jedoch auch von der Temperatur beeinflusst. Die Schwellwertspannung kann mit der Konzentration der Donatoren  $N_D$  und der der Akzeptoren  $N_A$  sowie der Eigenleitungsdichte  $n_i$  (materialspezifisch) berechnet werden:

$$U_{th} \approx \frac{k \cdot T}{e} \cdot \ln \frac{N_A \cdot N_D}{n_i^2}$$

Bis hierhin unterscheidet sich dieser Prozess nicht weiter von dem herkömmlicher Dioden. Das besondere Merkmal von LEDs ist jedoch, dass bei der Rekombination ein Photon emittiert wird und die Diode somit leuchtet.

## Die Stromquelle und das Flackern von LEDs

Da die Anzahl der Rekombinationen und der, durch die LED fließende Strom in einem proportionalen Verhältnis zueinander stehen, ist auch die abgegebene Lichtleistung annähernd proportional zum Strom. Der Zusammenhang zwischen Spannung und Lichtleistung ist jedoch stark nichtlinear. Dies wird bei Betrachtung der Spannungs-Stromkennlinie deutlich:

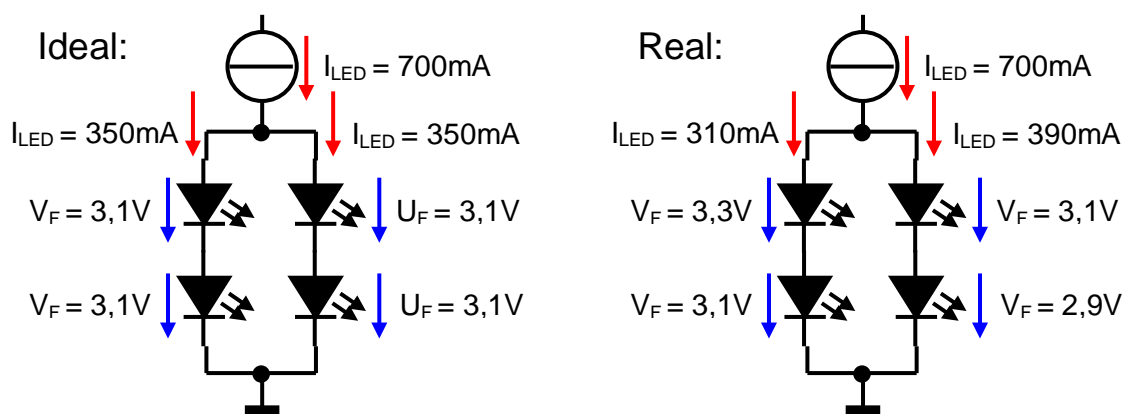


**Spannungs-Strom-Kennlinie einer weißen LED**

Die hier vermessene LED besitzt eine Nennspannung von 3,5V und einen Nennstrom von 700mA. Die Schwellwertspannung liegt hier bei etwa 2V. Bei Spannungen, die unter diesem Wert liegen, fließt kein Strom. Sobald die angelegte Spannung diesen Wert aber überschreitet, steigt der Strom mit wachsender Spannung exponentiell an. Bei Nennspannung besitzt die Kennlinie eine große Steigung. Das bedeutet, dass eine kleine Änderung der Spannung zu einer großen Änderung des Stromes und somit zu einer großen Änderung der abgegebenen Lichtmenge führt. Damit bei der Beleuchtung kein Flackern zu erkennen ist, benötigen LEDs deshalb eine Quelle, die einen möglichst konstanten Strom liefert. Um dies zu ermöglichen existieren zwei Ansätze, zwischen denen je nach Anwendung gewählt werden kann. Der erste Ansatz basiert darauf, dass der Treiber eine konstante Spannung zur Verfügung stellt und auf dem LED-Leuchtmittel (meist eine Platine mit mehreren LEDs) Maßnahmen vorgenommen werden, um die Auswirkungen der nichtlinearen Charakteristik zu unterdrücken. Bei dem zweiten Konzept stellt der Treiber einen konstanten Strom zur Verfügung, wodurch auf dem LED-Leuchtmittel keine weiteren Maßnahmen notwendig sind. Diese Konzepte unterscheiden sich in Bezug auf die Lichtausbeute und die Flexibilität. Daher muss von Anwendung zu Anwendung aufs Neue entschieden werden, welches der beiden Prinzipien das passende ist.

### Betrieb von LEDs: Constant Current oder Constant Voltage?

Auf einem LED-Leuchtmittel sind üblicherweise mehrere LEDs montiert, deren Anzahl sich nach der benötigten Lichtleistung richtet. Die LEDs werden auf einer Platine miteinander verbunden, sodass sich Reihen- oder Parallelschaltungen ergeben. Bei der Verschaltung der LEDs sind Reihenschaltungen zu bevorzugen, da hierdurch gewährleistet ist, dass durch sämtliche LEDs der gleiche Strom fließt. Bei einer Parallelschaltung hingegen liegt an jeder LED die gleiche Spannung an. Hier würde theoretisch auch durch jede LED der gleiche Strom fließen, wenn diese untereinander keine Abweichungen durch Fertigungstoleranzen aufweisen und darüber hinaus gewährleistet werden kann, dass alle LEDs die gleiche Temperatur haben. Da dies in der Realität nur sehr schwer zu erreichen ist, kann es vorkommen, dass einige LEDs einen größeren Strom führen und so zerstört werden.



Parallelschaltung von LEDs (ideal und real)

Ein Leuchtmittel, bei dem alle LEDs in Reihe geschaltet sind, kann am besten mit einem Treiber mit konstantem Strom betrieben werden. LEDs und Treiber für diesen Modus werden meist mit „CC“ (Constant Current) gekennzeichnet.

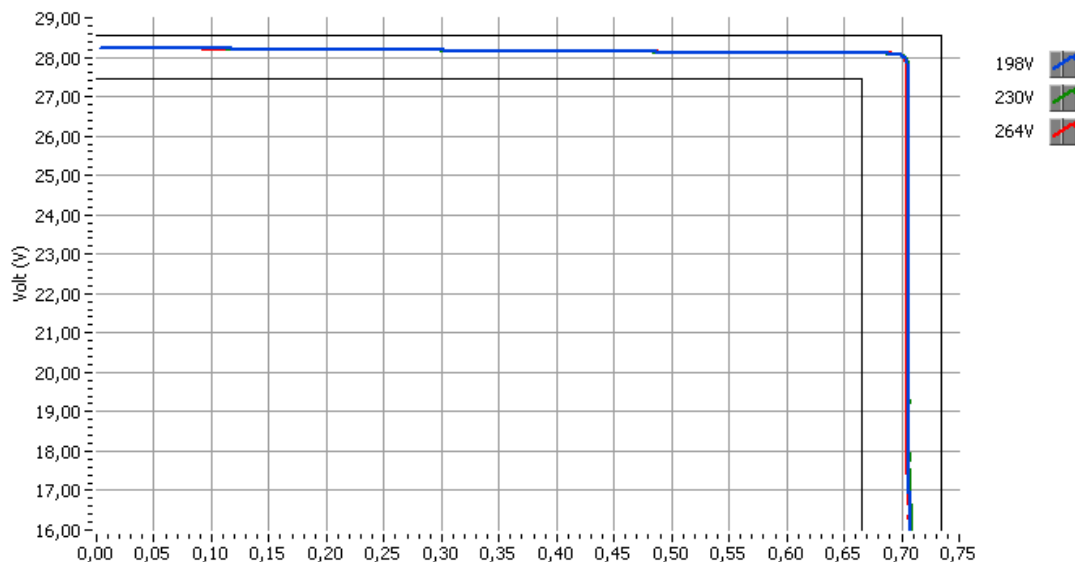
Es gibt allerdings auch Anwendungen, bei denen eine Parallelschaltung erforderlich ist, beispielsweise dann, wenn die maximale Spannung durch die Schutzklasse begrenzt ist (Safety Extra Low Voltage (SELV)). Auch wenn das LED-Leuchtmittel modular erweiterbar ist, bietet sich eine Parallelschaltung an. Hier kann als Beispiel ein LED-Streifen genannt werden, der vom Endanwender beliebig gekürzt werden kann, oder ein System, bei dem einzelne Module per Steckkontakt zu einem größeren Panel zusammen gesteckt werden. Ein solcher Aufbau besteht aus kleinen, gleichgroßen Gruppen von einheitlichen, in Reihe geschalteten LEDs. Da alle Gruppen aus der gleichen Anzahl an LEDs bestehen, können alle Gruppen mit der gleichen Spannung betrieben werden. Da aber auch hier durch Fertigungstoleranzen und Temperaturunterschiede die Schwellwertspannung der einzelnen Gruppen unterschiedlich sein kann, können sich auch die Ströme, die durch die einzelnen Gruppen fließen, stark unterscheiden. Daher müssen hier Maßnahmen ergriffen werden, die diese ungleiche Belastung ausgleichen. Hierfür wird in jeder Gruppe ein Element eingebracht, das den Auswirkungen von Toleranzen entgegenwirkt. Dies ist im einfachsten Fall ein Widerstand, der in Reihe zu der LED Gruppe geschaltet wird. Ist die Flussspannung einer Gruppe kleiner als der berechnete Wert, würde durch diese Gruppe ein deutlich größerer Strom fließen. In dem Widerstand sind Strom und Spannung proportional miteinander verknüpft, sodass ein größerer Strom die Spannung reduziert, die den LEDs zur Verfügung steht. Hierbei muss jedoch bedacht werden, dass ein solcher Widerstand einen Teil der Energie in Wärme umsetzt und somit die Effizienz des Leuchtmittels reduziert. Diese Leuchtmittel müssen mit einer konstanten Spannung betrieben werden, damit durch alle LEDs in etwa der gleiche Strom fließt und werden daher auch mit „CV“ (Constant Voltage) gekennzeichnet.

## Der Aufbau von Leuchtmitteln und die Treiberwahl

Sollen mehrere Panels mit einem LED-Treiber betrieben werden ist es wichtig, dass nur LED-Leuchtmittel des gleichen Typs verwendet werden. Es ist also nicht möglich, CC- und CV-Leuchtmittel zu mischen. Fällt die Entscheidung auf CC-Leuchtmittel, werden diese in Reihe geschaltet. Hierbei ist es wichtig, dass alle Panels für den gleichen Strom ausgelegt sind. Bei dieser Verschaltung besteht jedoch die Gefahr, dass bei dem Ausfall einer einzelnen LED alle an diesen Treiber angeschlossenen Panels dunkel bleiben. Werden mehrere CV-Panels an einem Treiber betrieben, werden diese parallel geschaltet. Hier ist darauf zu achten, dass alle Panels für die gleiche Spannung ausgelegt sind. Fällt hier eine LED aus, hat dies nur eine Auswirkung auf einen Teil der LEDs des gesamten Systems.

Ist der Aufbau der Leuchtmittel bekannt, kann ein Treiber ausgewählt werden. Mit den Treibern der LT-Gerätefamilie kann FRIWO für fast jede Anwendung die passende Stromversorgung zur Verfügung zu stellen: Sämtliche LED-Treiber aus FRIWOs

Standardportfolio sind sowohl für den CC- als auch für den CV-Betrieb geeignet. Dies wird durch die besondere Spannungs-Strom-Kennlinie möglich:



**Spannungs-Strom-Kennlinie eines LED-Treibers von FRIWO (LT20-28)**

Diese beispielhafte Abbildung zeigt eine Messung am LT20-28 (20W, 28V, 700mA), bei der verschiedene Lastpunkte durchfahren wurden. Wird ein CC-Leuchtmittel angeschlossen, stellt der Treiber automatisch die Spannung ein, bei der der Ausgangsstrom erreicht wird (in diesem Fall 700mA). Wird dagegen ein CV-Leuchtmittel an den Treiber angeschlossen, liegt an dem Leuchtmittel die Nennspannung des Treibers an (in diesem Fall 28V). Die Qualität der FRIWO LED-Treiber zeigt sich hier insbesondere durch die Stabilität der Ausgangsspannung im CV-Betrieb und die Stabilität des Ausgangsstromes im CC-Betrieb. Beide Ausgangsparameter sind im jeweiligen Betriebsmodus über einen weiten Lastbereich nahezu konstant. Die Messung von Ausgangsspannung und Ausgangsstrom bei verschiedenen Eingangsspannungen zeigt, dass die Parameter auch durch Netzschwankungen nicht beeinflusst werden. Eine weitere wichtige Eigenschaft der FRIWO LED-Treiber ist die Unterdrückung der Wechsellspannungsanteile der Ausgangsspannung. Diese Wechsellspannungsanteile treten besonders stark bei der Netzfrequenz auf und würden dazu führen, dass das Licht flimmert. Um dies zu verhindern, werden in den LED-Treibern von FRIWO spezielle Schaltungskonzepte eingesetzt, die diesen Effekt unterdrücken.



### Der Autor

M.Sc. Andreas Hagemeyer arbeitet seit 2008 bei FRIWO und hat im Rahmen eines dualen Studiums an der FHWT Oldenburg (B.Eng.) und an der Universität Duisburg-Essen (M.Sc.) Elektrotechnik studiert. Seit 2015 ist er in der Entwicklung für LED-Treiber beschäftigt.