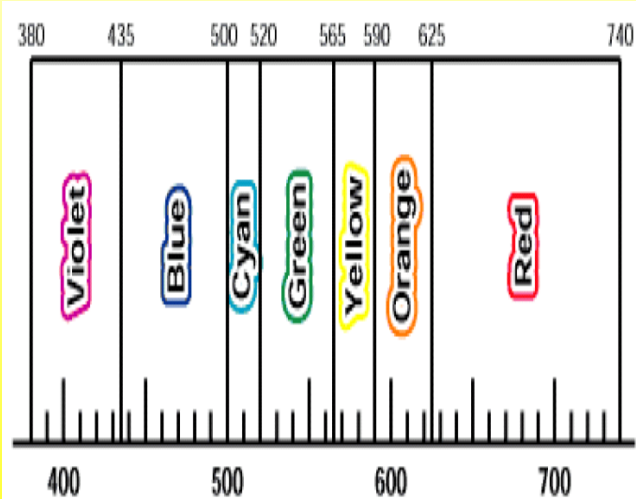
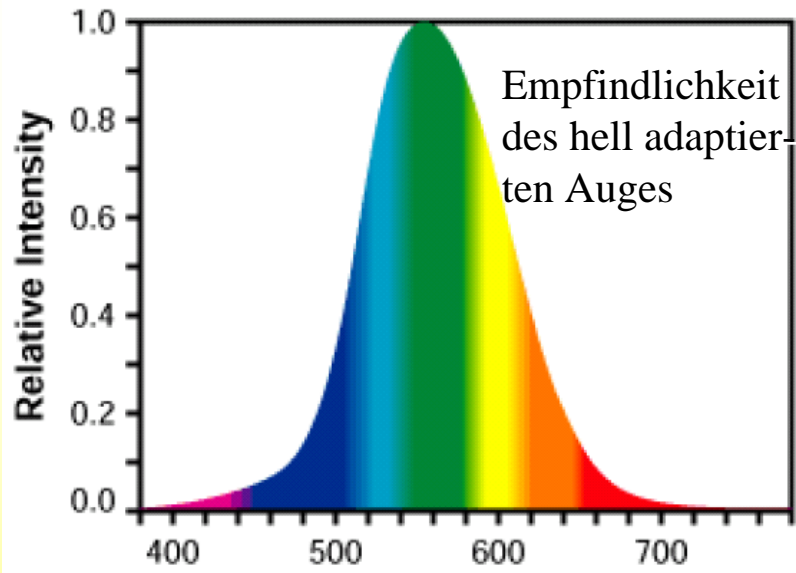
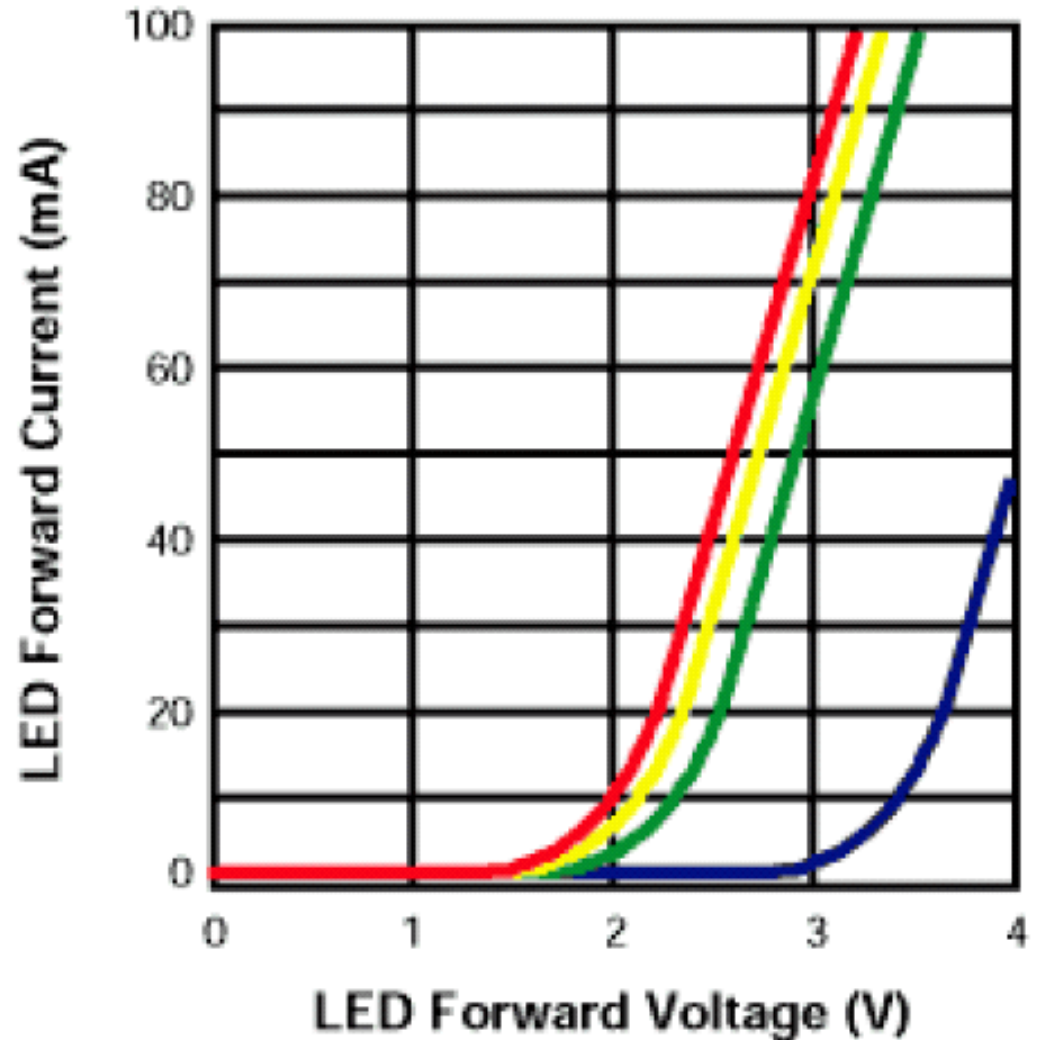


Elektrische Eigenschaften anorganischer LED

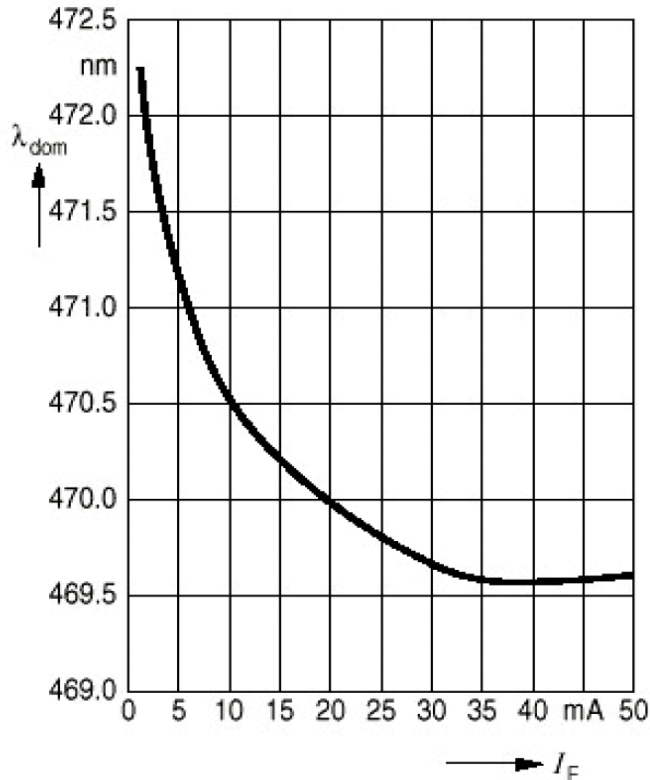


Strom-Spannungskennlinien für verschiedene (farbige) LED



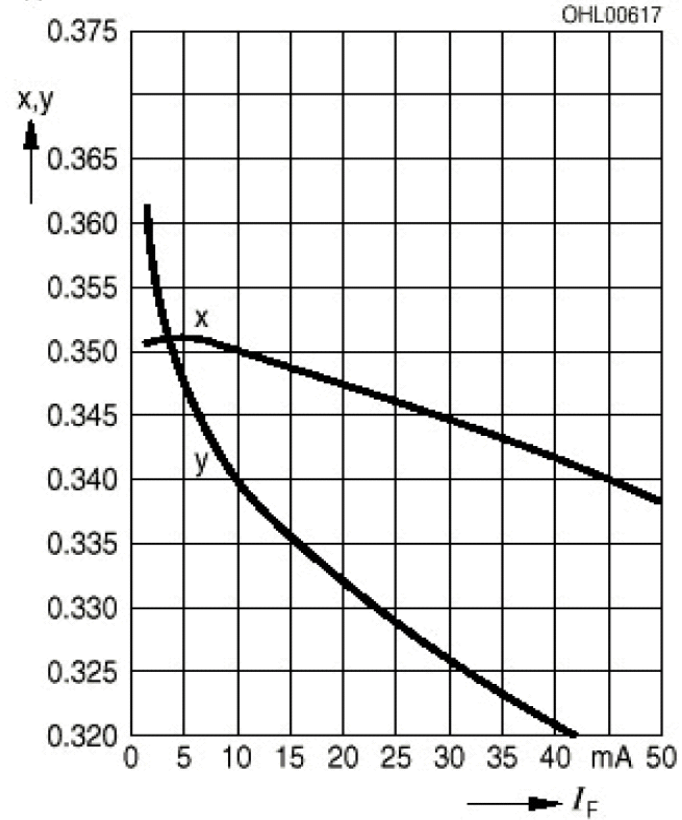
Farbverschiebung durch Stromänderung

$$\lambda_{\text{dom}} = f(I_F), T_A = 25^\circ\text{C}$$



Verschiebung der Schwerpunktwellenlänge einer blauen InGaN-LED

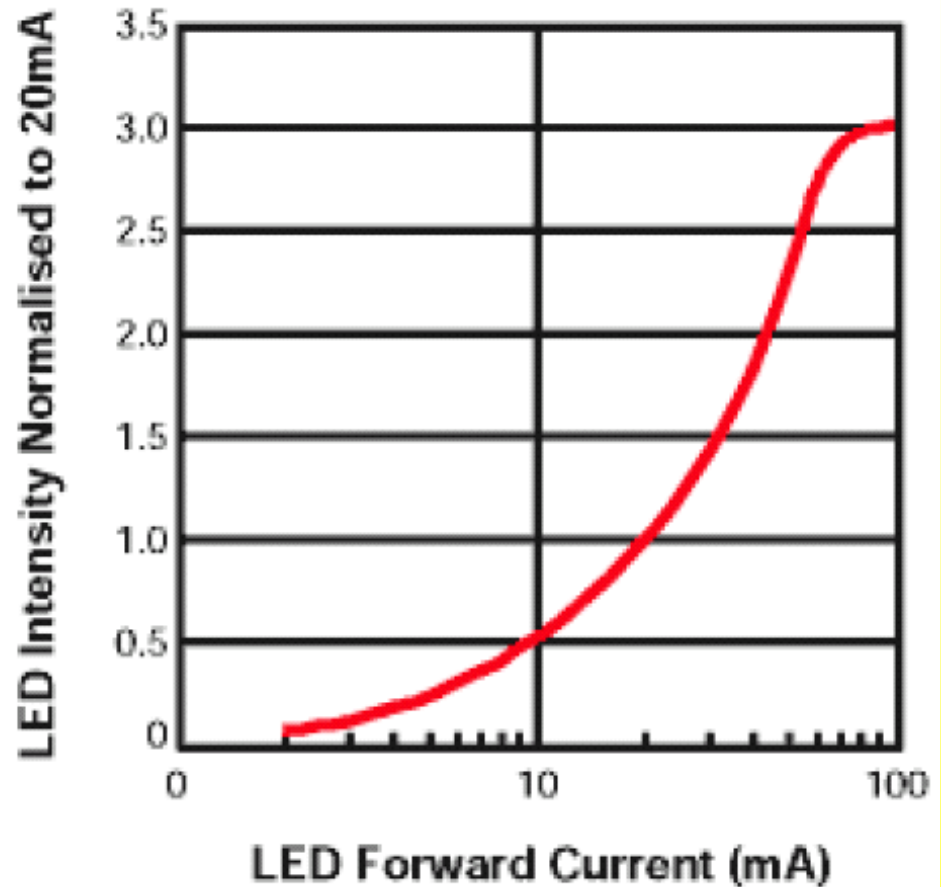
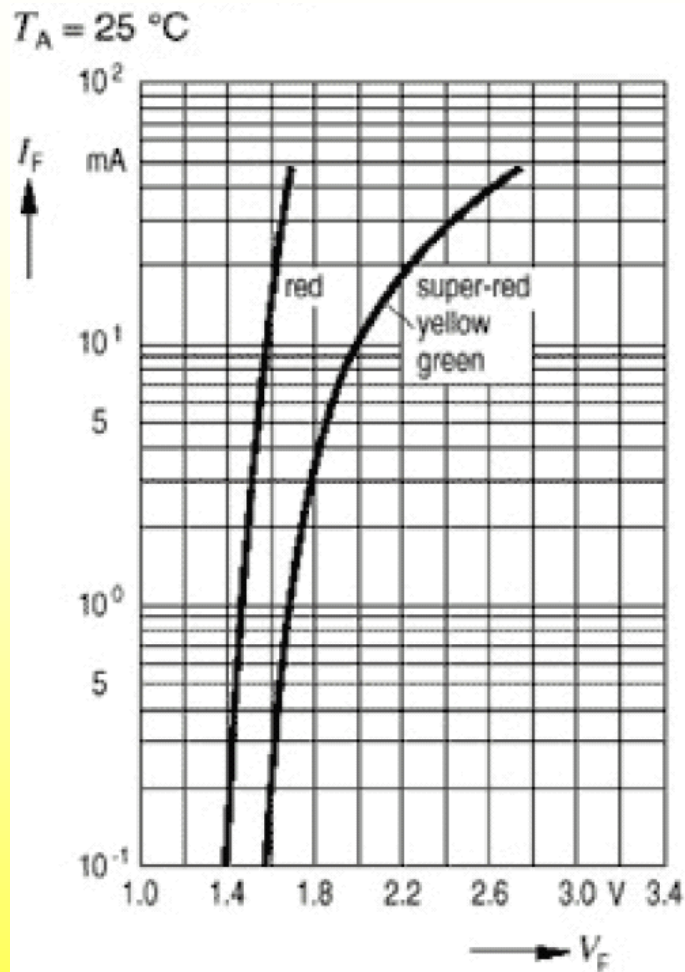
$$T_A = 25^\circ\text{C}$$



Veränderung der Farbkoordinaten einer weißen LED (LE Q983: InGaN + Phosphore)

Standard GaAsP-LED benötigen eine kleinere Vorwärtsspannung bei demselben Strom als InGaN-LED und zeigen deutlich kleinere Farbverschiebungen mit dem Vorwärtsstrom!

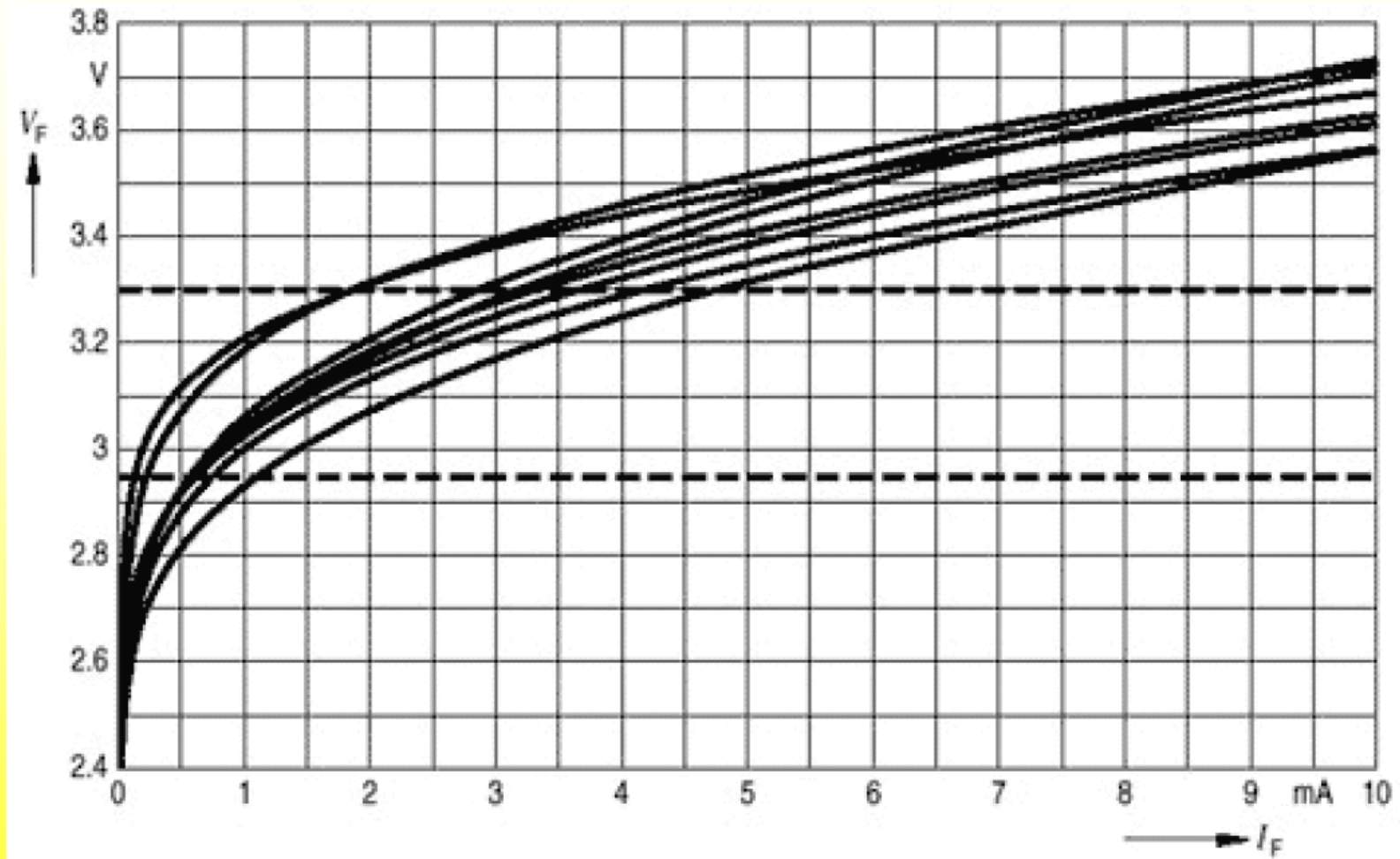
LED-Kennlinien



Standard LED: Sehr starke Änderung des Vorwärtsstroms mit der Vorwärtsspannung

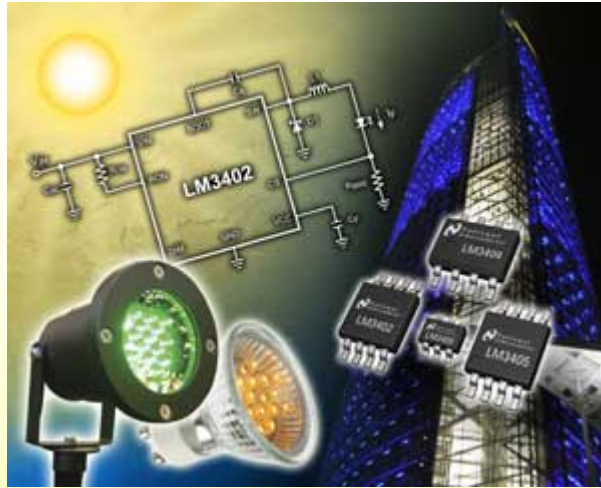
Lichtstärke wächst leicht unterlinear mit dem Vorwärtsstrom und nimmt mit der Temperatur ab!

Fertigungstoleranzen



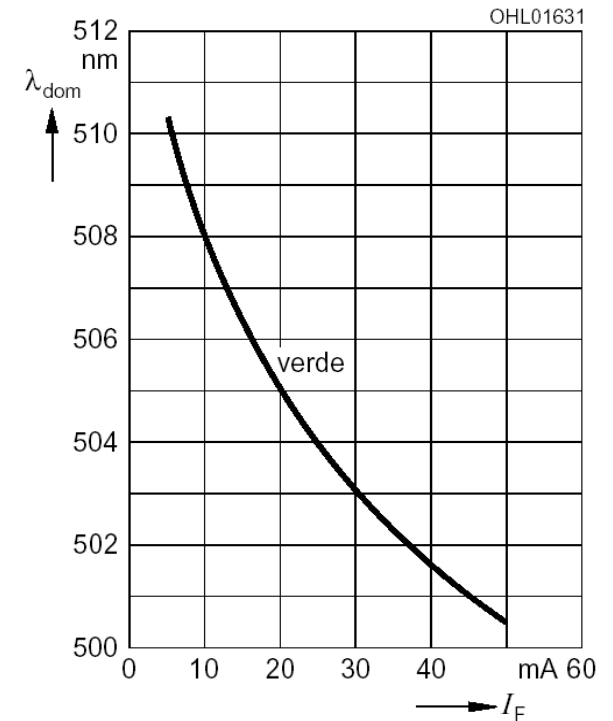
LED-Module

LED:

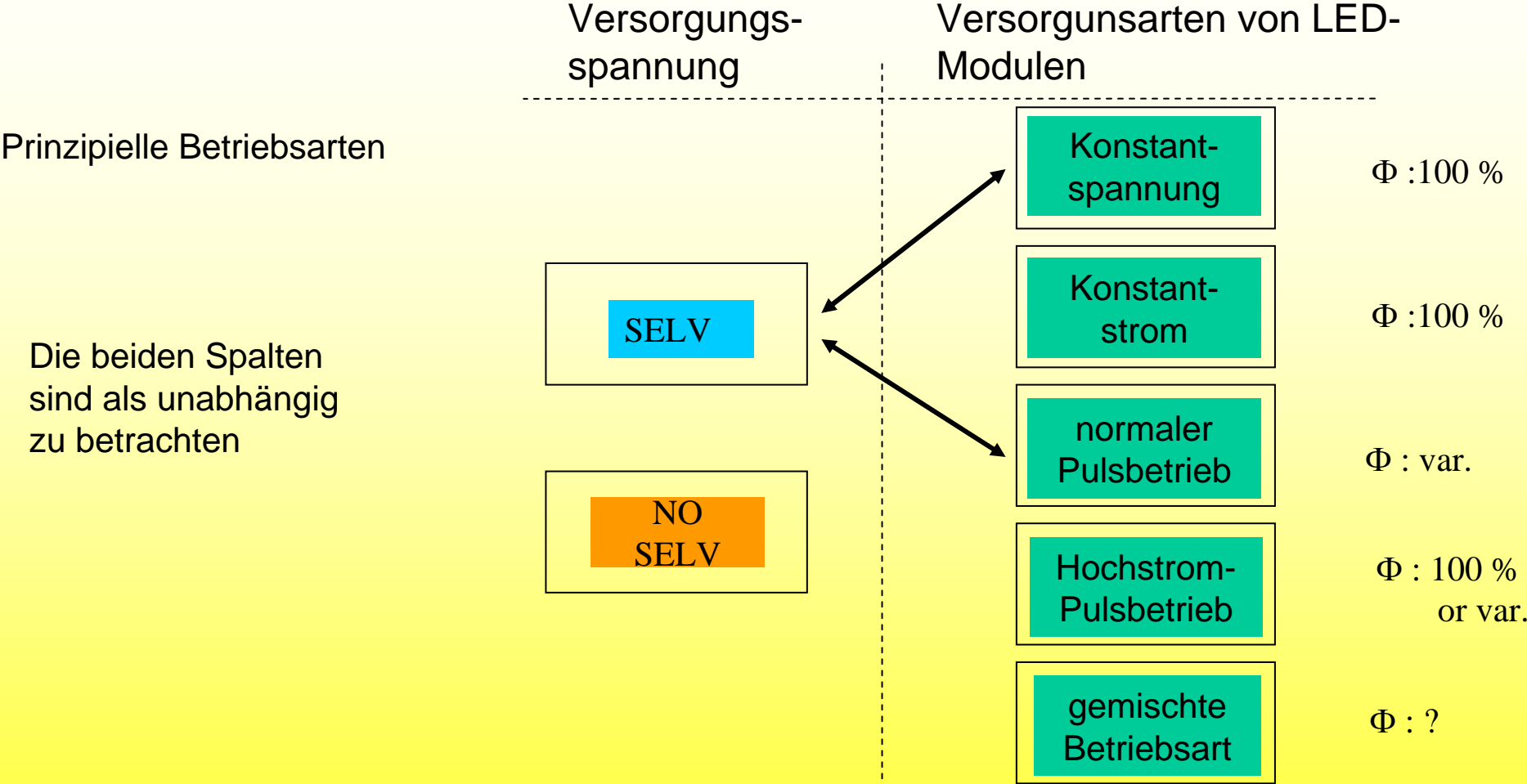


- Eigenschaften:
- Diodenbetrieb
 - stromgetriebenes Element
 - Fertigungstoleranzen sind zu beachten
 - Farbverschiebung bei Stromvariation
→ Dimmrate abhängig vom LED-Typ

Dominante Wellenlänge $\lambda_{\text{dom}} = f(I_F)$
Dominant Wavelength
LV, $T_A = 25^\circ\text{C}$

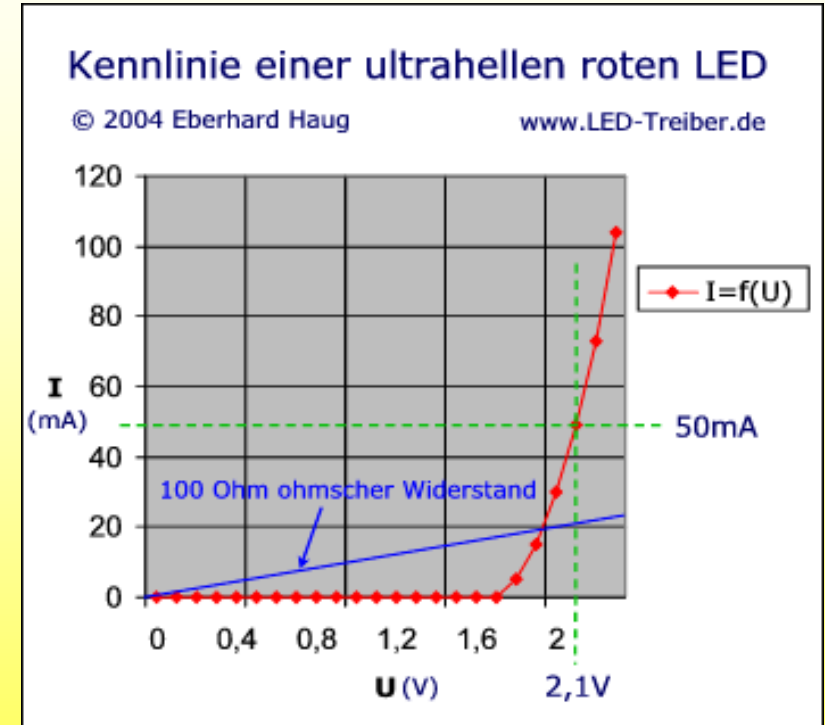
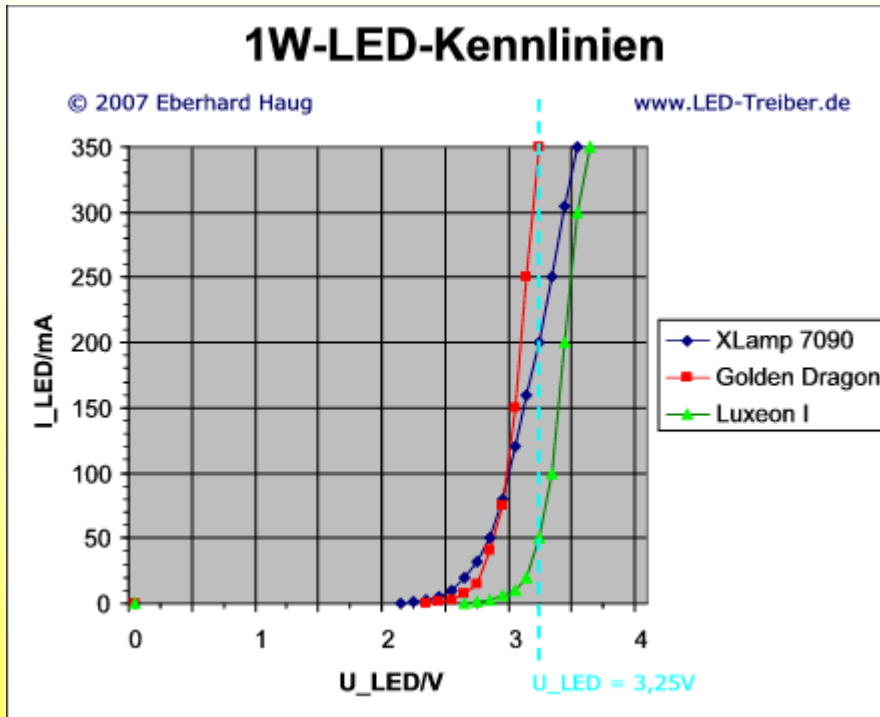


LED-Module



SELV Sicherheitskleinspannung

Konstante Spannung über bzw. konstanter Strom durch LED



Konstantspannungs-Betrieb

Ziel: LED sind mit Stromeinprägung zu betreiben, da die Lichtstärke direkt vom Vorwärtsstrom abhängt.

Ist die Versorgungsspannung größer als die benötigte Vorwärtsspannung, dann ist die kostengünstigste Betriebsart die an konstanter Spannung über einen Vorwiderstand.

Diese im Automobilbereich gängige Betriebsart hat folgende Nachteile:

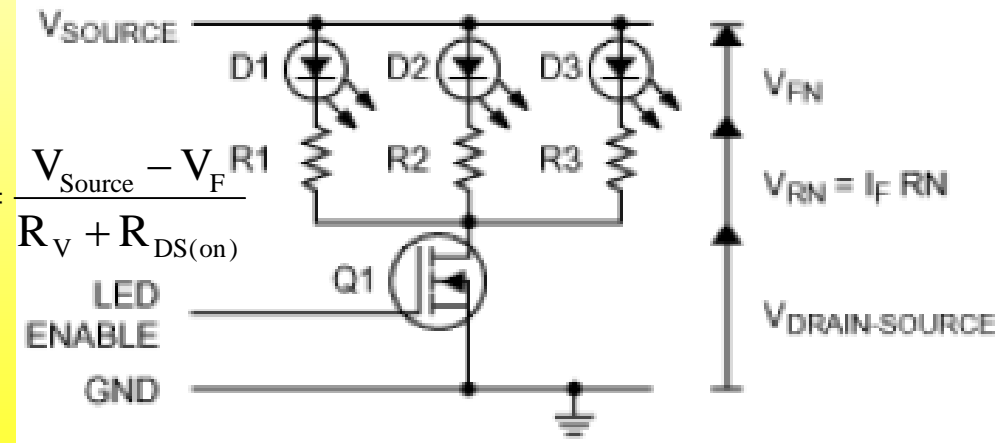
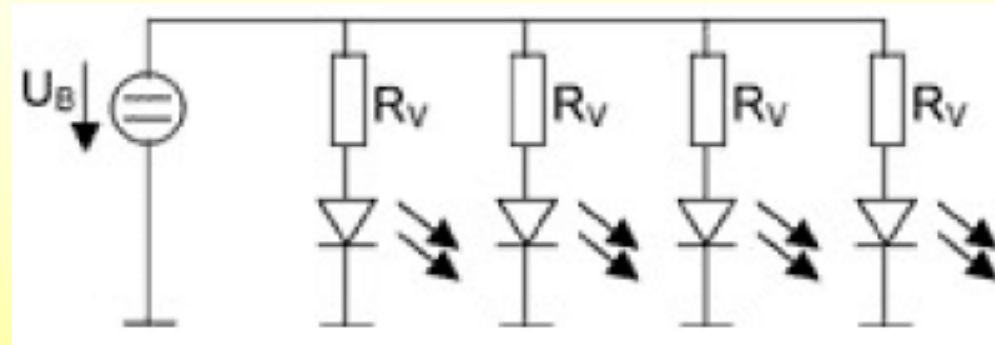
Sinkt die Spannung ab, so auch die Lichtstärke.

Bei mehreren parallel betriebenen LED leuchten diese u.U. unterschiedlich hell.

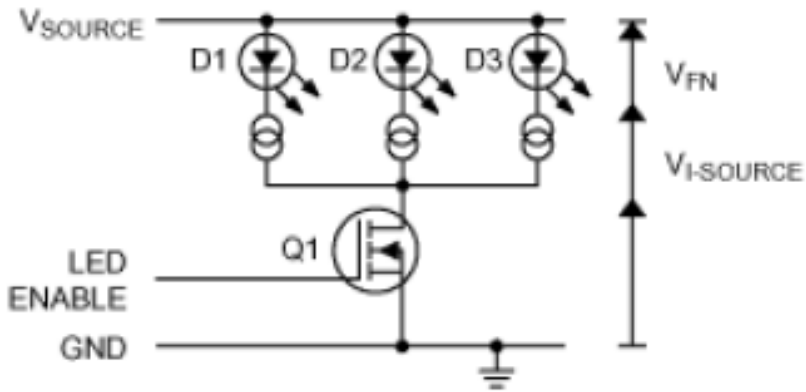
Für eine bessere Stromeinprägung werden höhere Versorgungsspannungen benötigt, was die Verluste in den Widerständen erhöht.

Viele Widerstände für ein LED-Array erfordern viel Platz.

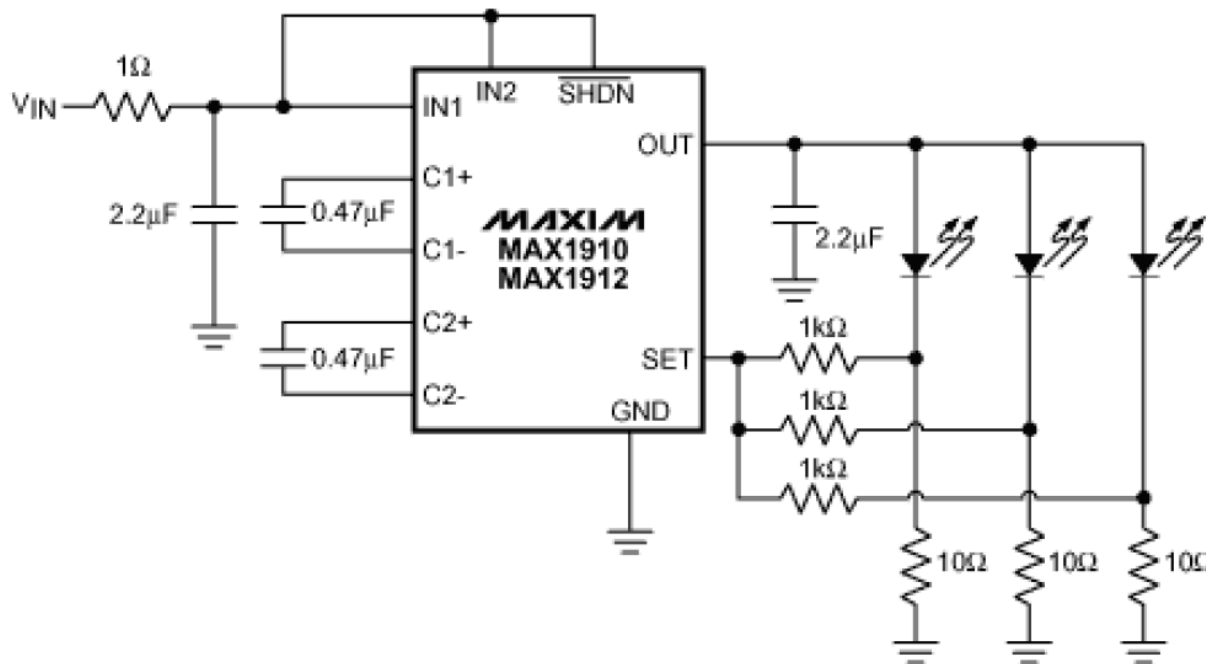
Zu hohe Verluste bei Betrieb am Netz (230 V)



Stromgeregelte Ladungspumpe



Werden die Widerstände durch individuelle Stromquellen ersetzt, ist die Lichtstärke unabhängig von der Versorgungsspannung und der individuellen Vorwärtsspannung. Q1 ermöglicht alle LED zusammen ein- und auszuschalten. Der Aufwand ist relativ hoch.



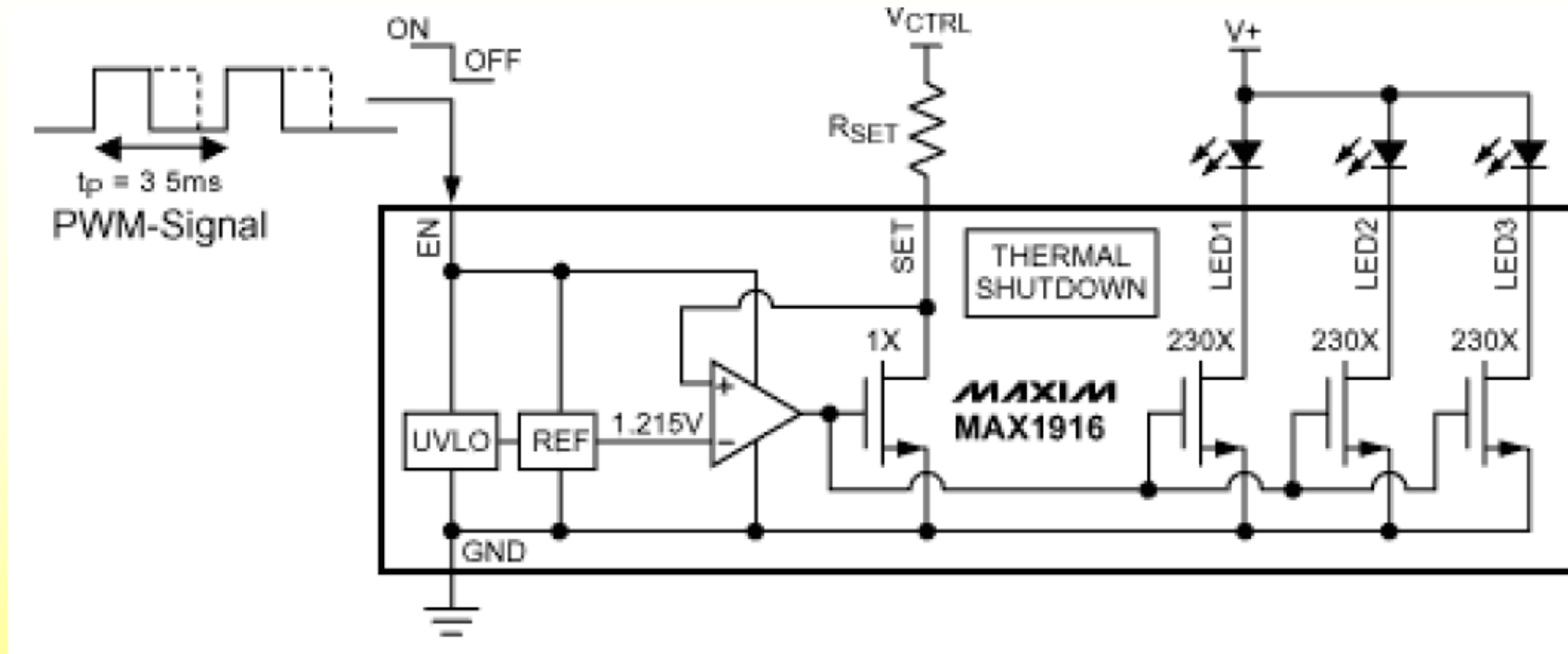
Einfacher sind im Mittel gleiche Ströme einzustellen, indem die Spannungen über den Widerständen $R = 10 \Omega$ in Serie zu den LED konstant gehalten werden:

$$V_{\text{SET}} = 2 \text{ V} \Rightarrow U_R = 200 \text{ mV}$$

$$\Rightarrow I_{\text{LED}} = 200 \text{ mV} / 10 \Omega = 20 \text{ mA}$$

Zur Heraufsetzung der LED-Versorgungsspannung wird eine Ladungspumpe eingesetzt.

LED Stromspiegelung

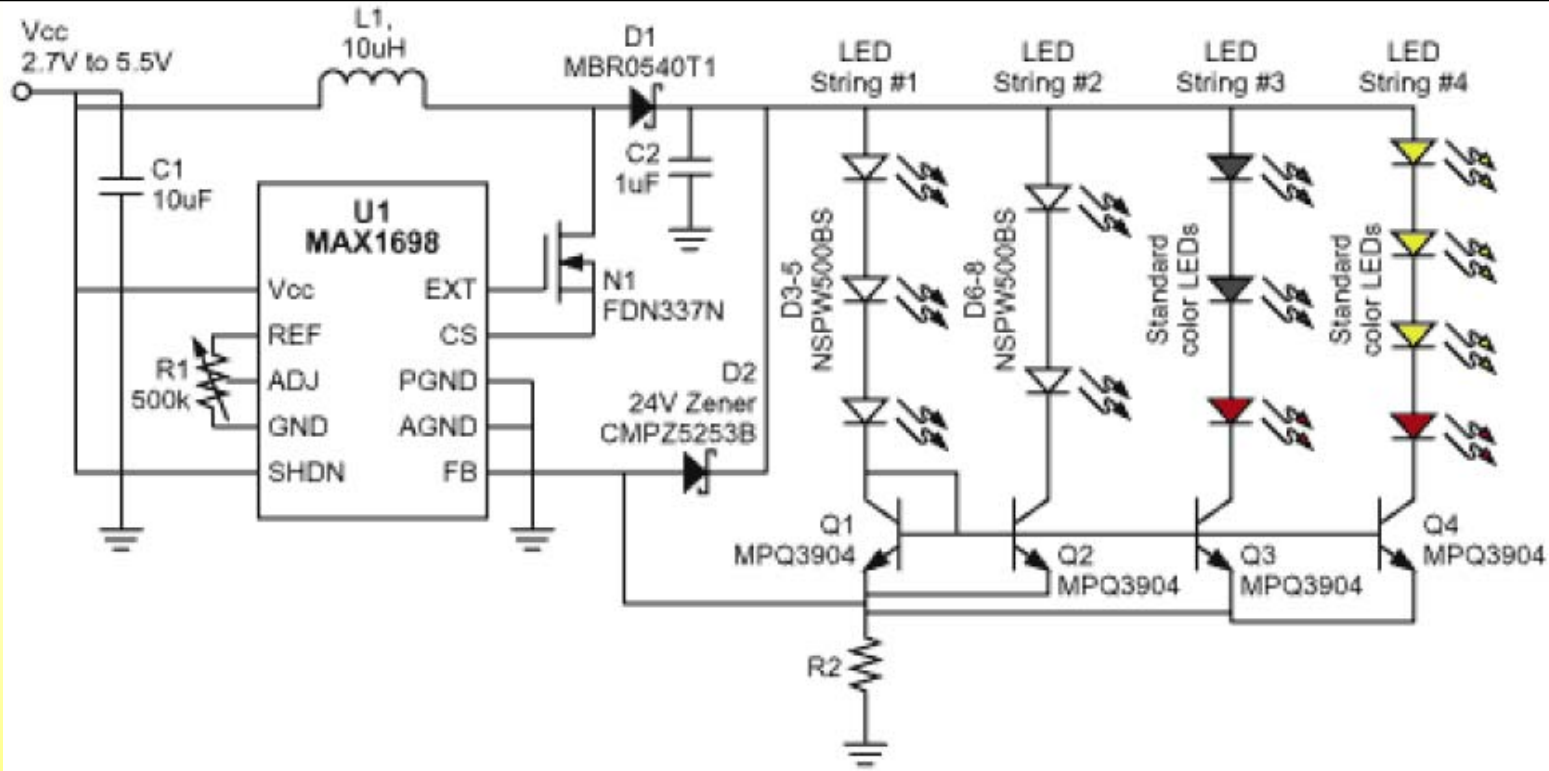


Der Strom, der durch den SET-Widerstand über einen MOSFET fließt, fließt auch auch im Mittel über alle gleich angesteuerten MOSFET in Serie zu den LED, falls $V_{CTRL} = V_+$.

$$I_{SET} = (V_{CTRL} - 1,25V) / R_{SET}$$

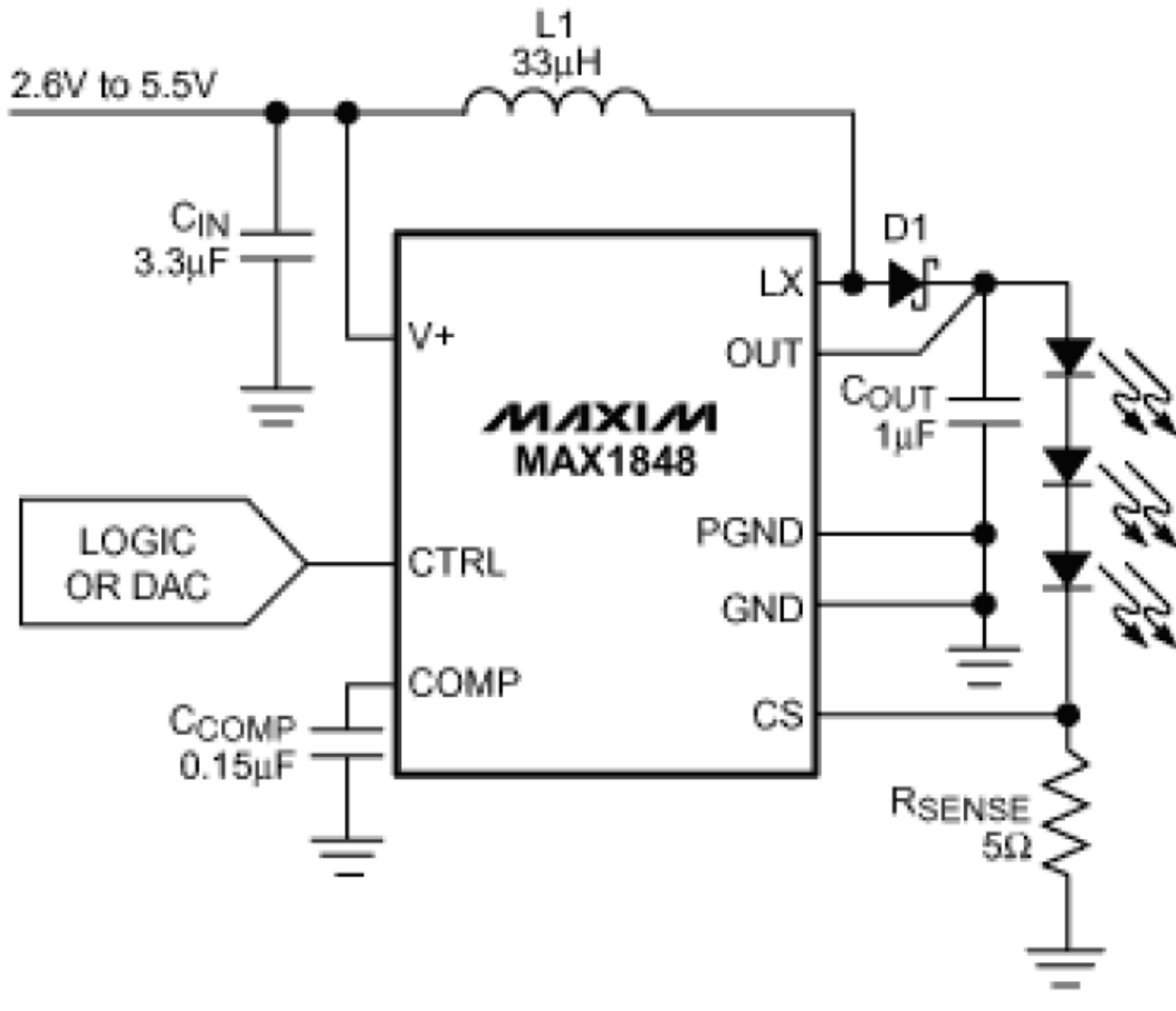
Mit V_{CTRL} , u.U. digital gesteuert über einen DAC, kann der LED Vorwärtsstrom eingestellt werden. Indem EN nach Low gesteuert wird, können die LED Ströme heruntergefahren werden. Es besteht damit die Möglichkeit einer PWM der LED Ströme.

LED Mischbetrieb



Die erforderliche Spannung zum Betreiben mehrerer Serienschaltungen **verschiedener** LED mit gleichem Strom wird mit einem Aufwärtsregler aus einer kleinen Batteriespannung gewonnen. Durch die gespiegelten Transistoren Q2 – Q4 fließen in etwa dieselben Ströme wie über den ersten Strang, in dem Q1 als Diode geschaltet ist. Die Spannung über dem Strang 1 muss größer als die anderen Strangspannungen sein. Die Spannung über R2, über den alle Strangströme fließen, liefert den IST-Wert für die Stromregelung.

Stromgeregelter Aufwärtswandler

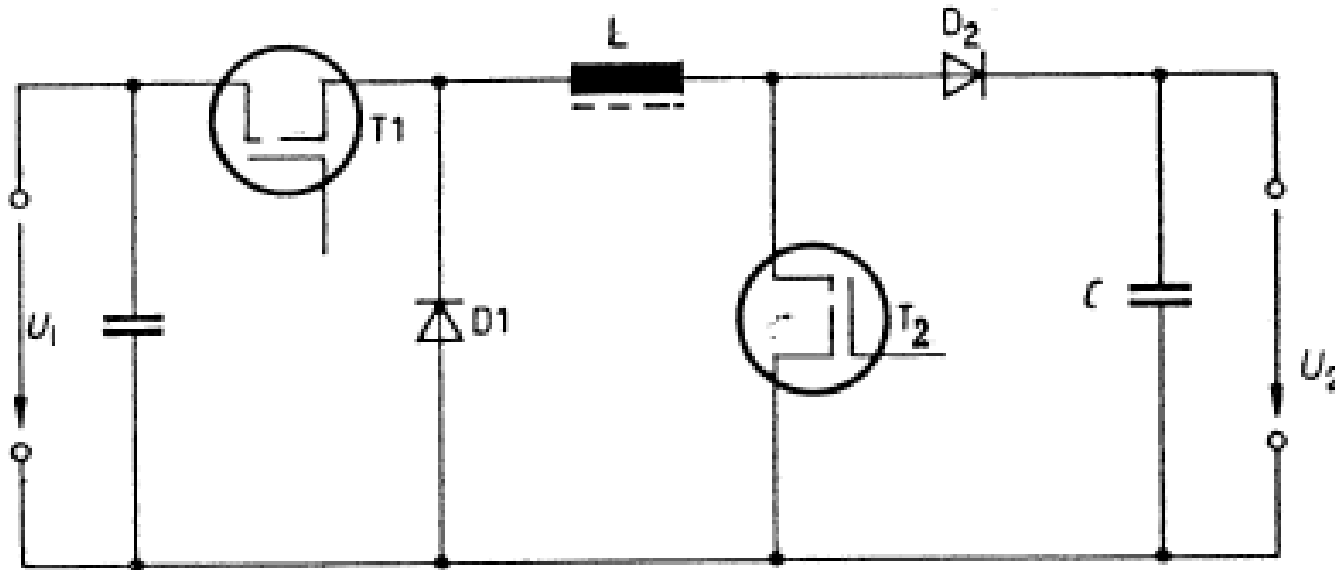


Damit mehrere LED in Serie und damit von demselben Strom durchflossen betrieben werden können, wird die Batterieeingangsspannung V_+ mit einem Aufwärtswandler hochgesetzt.

Der Vorwärtsstrom durch die LED wird als Spannungsabfall über R_{SENSE} erfasst für eine Stromregelung, die die Ladezeit der Drossel $L1$ anpasst.

Da hier für $V_{CTRL} < 0,1$ V kein Strom fließt, kann der LED Strom mittels des $CTRL$ -Eingangs zum Dimmen pulswertenmoduliert werden.

Aufwärts-Abwärts-Drossel-Wandler



Kombination von
Abwärts- mit Aufwärts-
wandler:

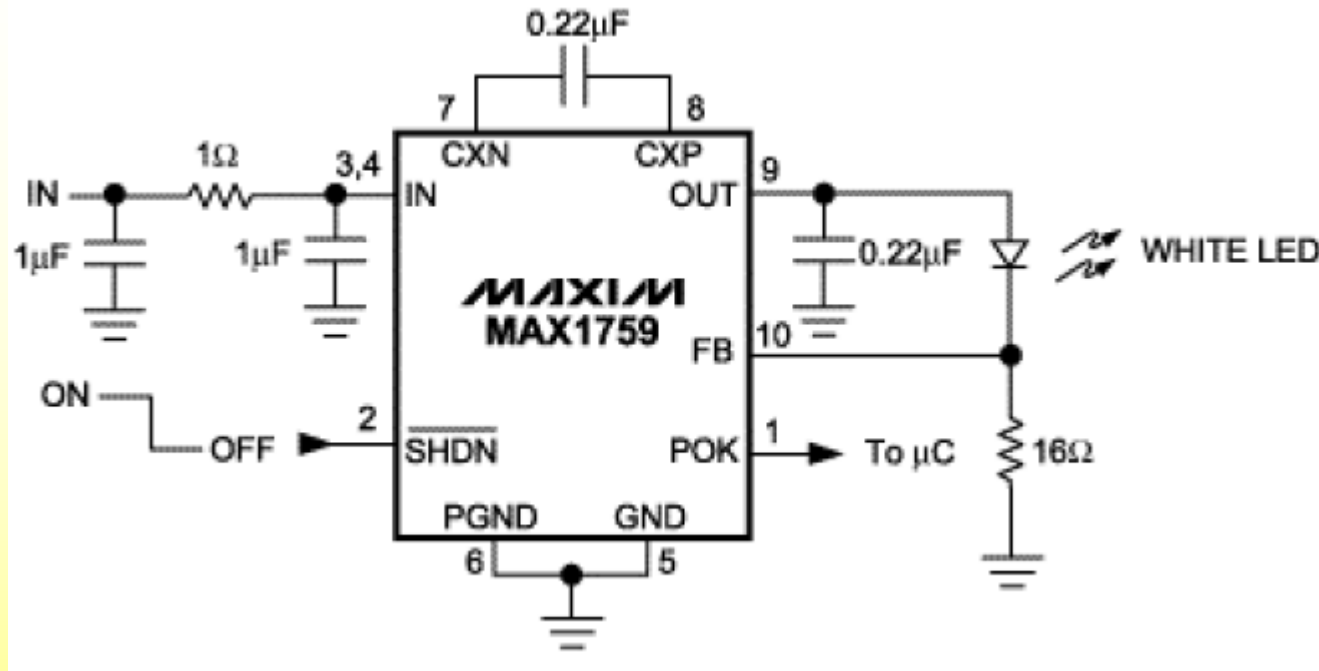
Während T_E sind beide
Transistoren durchge-
schaltet und es wird die
Drossel L „geladen“.
Während T_A sind beide
Transistoren gesperrt
und es leiten die Dioden
 D_1 und D_2 und laden C .

D_1 klemmt die Drossel auf Nullpotential. Die Ausgangsspannung U_2 lässt sich auf Werte kleiner und größer als die Eingangsspannung bringen:

$$U_2 = \frac{T_E}{T_A} \cdot U_1$$

Aus einer doppelweggleichgerichteten Netzspannung mit kleinem Glättungskondensator kann in einem weiten Netzspannungsbereich eine Ausgangsspannung erhalten werden bei gleichzeitig sinusförmiger Stromaufnahme ($T_E = \text{const!}$).

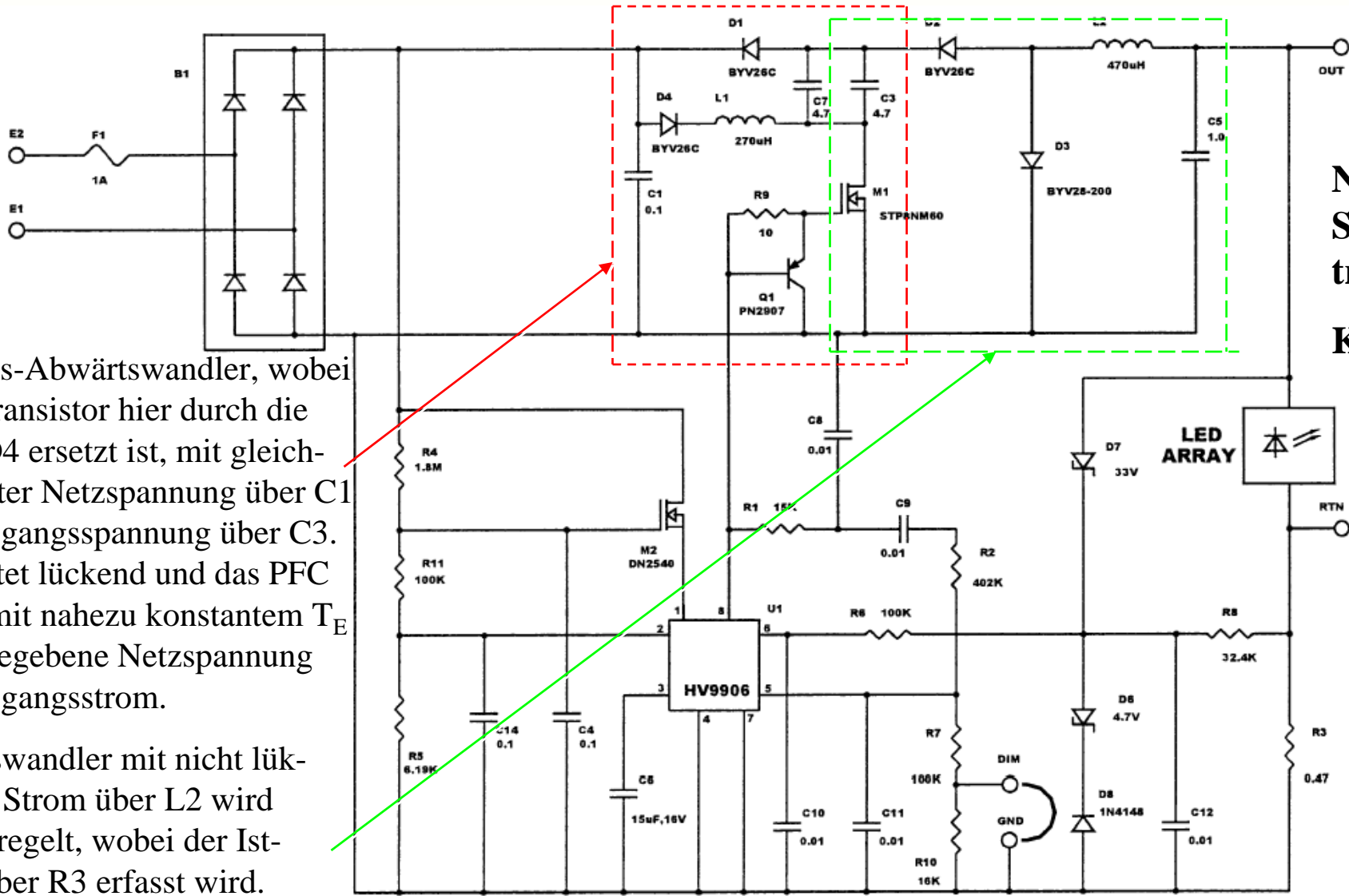
Stromgeregelte Buck/Boost-Ladungspumpe



Ein Aufwärts-Drosselwandler benötigt einen großen Stromladebereich für die Drossel bei unterschiedlichen Vorwärtsspannungen einer weißen LED und hat einen direkten DC Pfad zwischen Eingang und Ausgang, der die Batterie auch bei nicht aktiver LED entlädt.

Besser ist ein Aufwärts- Abwärtswandler oder eine Ladungspumpe ohne Drossel, bei der eine große Eingangskapazität hochfrequent in eine kleine Ausgangskapazität parallel der LED entladen wird.

PFC Stromquelle mit 230 V AC Netzeingang für ein LED Array



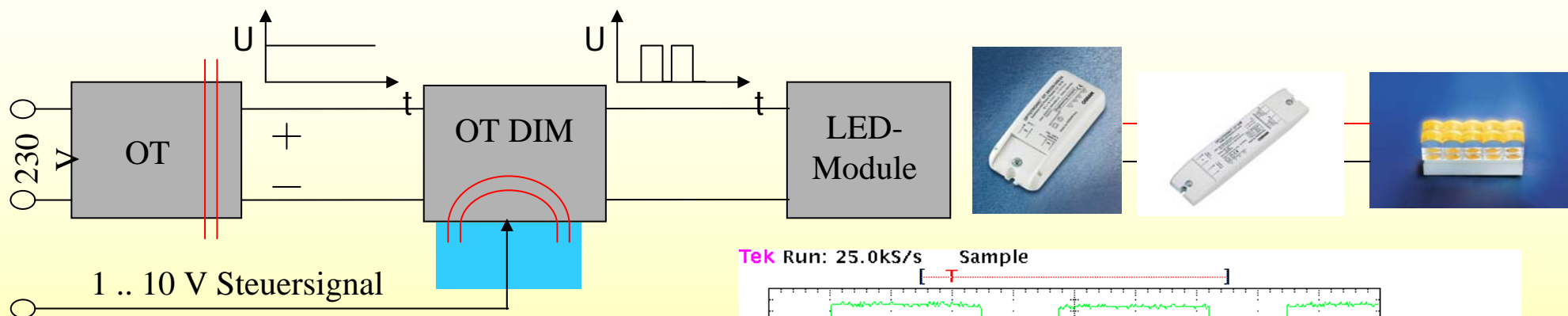
Ausgang negativ!

Nur ein Schalttransistor!
Kein Trafo

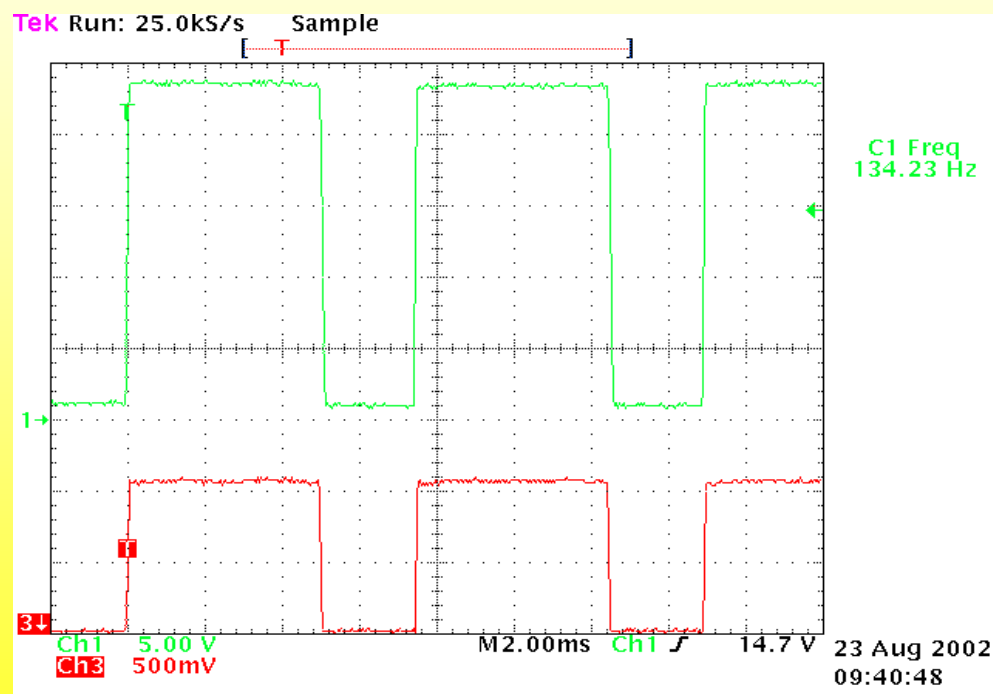
Aufwärts-Abwärtswandler, wobei erster Transistor hier durch die Diode D4 ersetzt ist, mit gleichgerichteter Netzspannung über C1 und Ausgangsspannung über C3. Er arbeitet lückend und das PFC erfolgt mit nahezu konstantem T_E für vorgegebene Netzspannung und Ausgangsstrom.

Abwärtswandler mit nicht lückendem Strom über L2 wird stromgeregelt, wobei der Ist-Strom über R3 erfasst wird.

LED-Module - Dimmen mittels Pulsweitenmodulation



- OT DIM ist nachrüstbar
- Pulsweitenmodulation
- keine Farbverschiebung
- Isolierung entspr. SELV äquivalent
- für 10 und 24 V



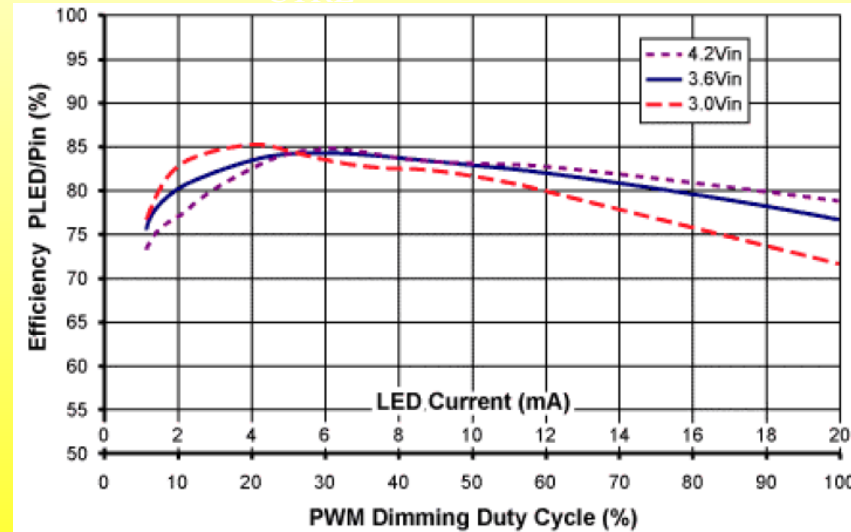
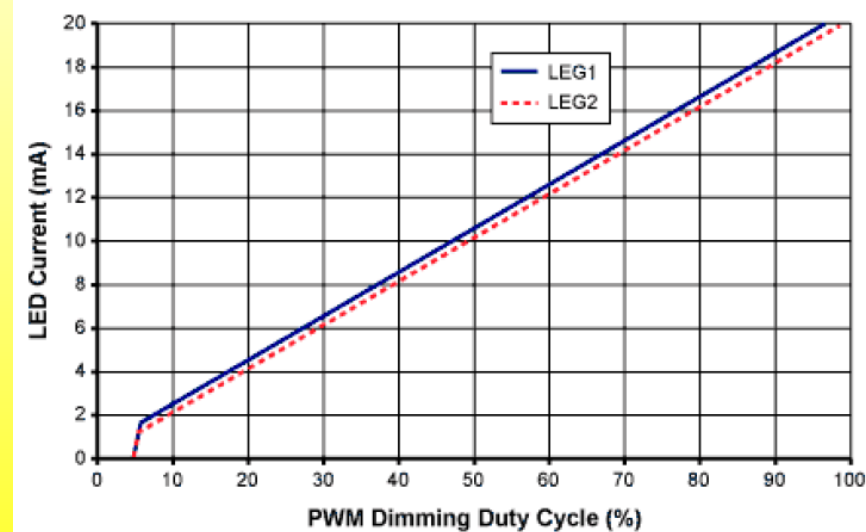
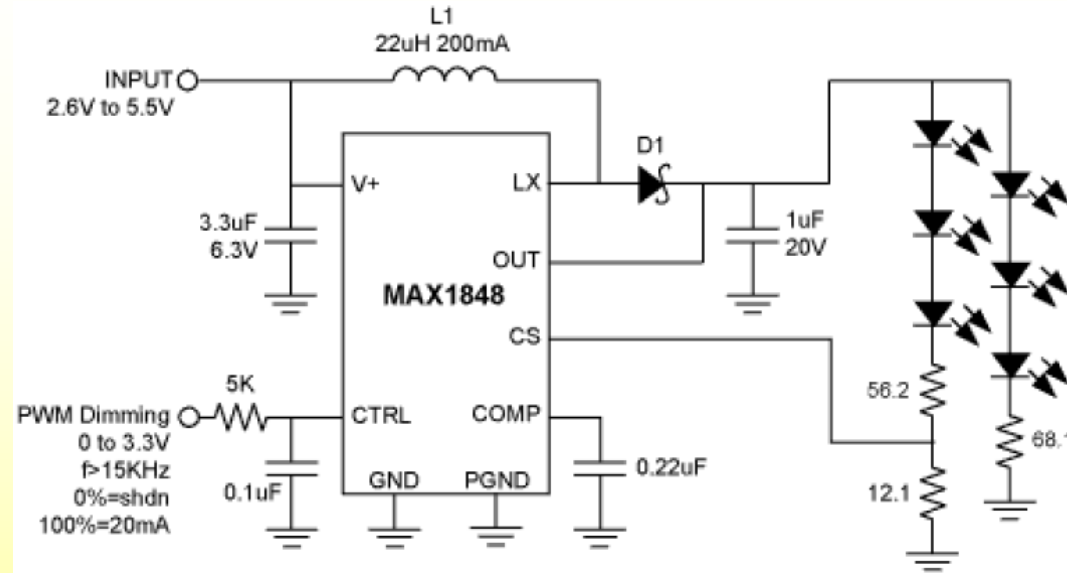
PWM Dimmen mehrerer LED Stränge mit einem Aufwärtswandler

Durch Aufwärtswandlung können mehrere LED in Serie betrieben werden.

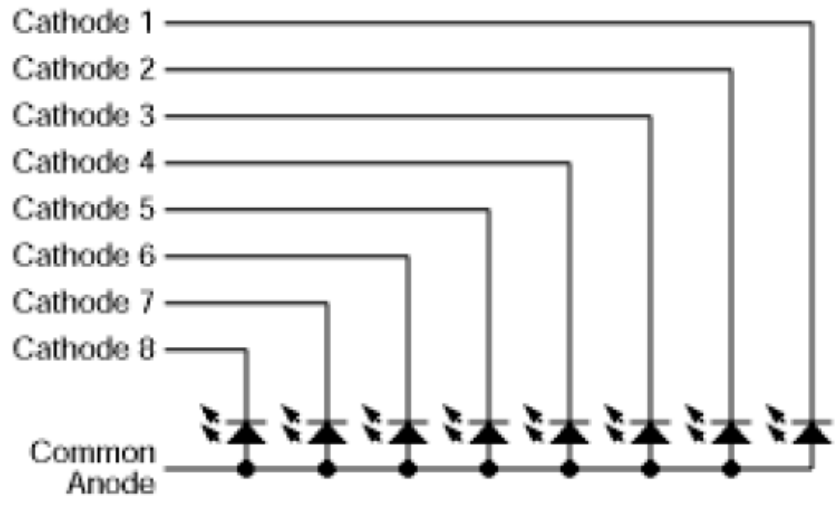
Zur Minimierung ohmscher Verluste ist der stromerfassende Widerstand R_{SENSE} ($= 12,1 \Omega$) klein zu wählen. Die anderen Widerstände dienen zur Stromanpassung der Stränge.

PWM:

$$V_{CTRL} = 0/3,3V \Rightarrow \text{LED Strom} \approx 0/20\text{mA}$$



Ansteuerung von LED Displays



Zum Betreiben der LED Segmente eines 7-, 14- oder 16-Segment Displays oder der LED Dots einer 5 x 7 LED Matrix erfordert eine statische Ansteuerung zu viele Treiberausgänge (2 mA).

Ausweg: Gemultiplexte Ansteuerung durch kurze nacheinander erfolgende Stromimpulse mit einer so hohen Wiederholrate, dass das Auge die Pulse zeitlich nicht auflöst.

Für gleiche Leuchtdichten muss wegen des so reduzierten Tastverhältnisses der LED Strom größer ausgelegt werden.

Intensive Lichtpulse kleineren Tastverhältnisses empfindet das Auge heller als eine DC Bestrahlung, die gleich dem Zeitmittelwert des Pulslichtes ist.

