

3. Lampen

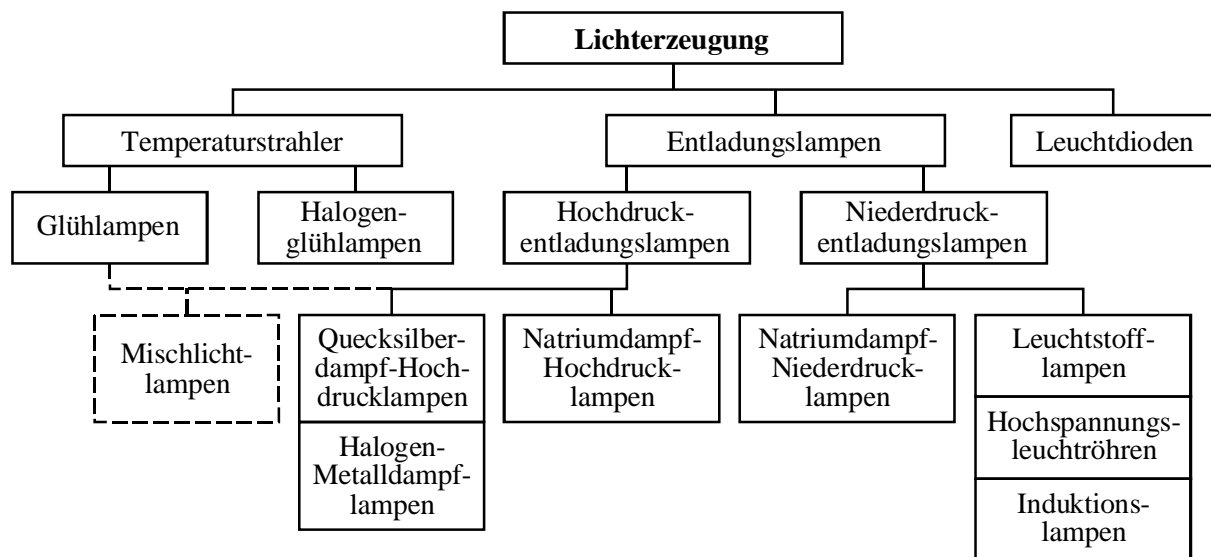
3.1 Übersicht über die Lampensysteme

Alle Lichtquellen senden elektromagnetische Strahlung im sichtbaren, aber auch im unsichtbaren UV- und IR-Bereich aus.

Temperaturstrahler wie die normale Glühlampe oder die Halogen-Glühlampe haben einen geringen Wirkungsgrad, da sie vorwiegend im IR-Bereich abstrahlen und nur ein kleiner Anteil des Spektrums sichtbar ist.

Entladungslampen haben ein geschlossenes Entladungsgefäß, das mit speziellen Gasen gefüllt ist. Durch Anregung der Atome entsteht sichtbare und UV-Strahlung. Mit Hilfe von Leuchtstoffen wird ein Teil der UV-Strahlung in den sichtbaren Bereich transformiert.

Leuchtdioden (LED) sind Halbleiter, die beim Anlegen einer äußeren Spannung in Durchlassrichtung Elektronen auf der n-dotierten Seite (Leitungsband) zur Rekombinationsschicht am p-n-Übergang wandern lassen. Beim Überschreiten der Grenzfläche auf das energetisch günstigere p-dotierte Valenzband geben einige Halbleiter sichtbares Licht ab. Die Lichtfarbe ist abhängig vom Bandenabstand W_D zwischen dem Leitungs- und Valenzband. Weißes Licht erhält man mit Hilfe von Farbstoffen, welche die UV-Strahlung (oder blaues Licht) in weißes Licht transformieren.



Übersicht über die Lampensysteme

Die Bezeichnung der Lampentypen erfolgt in D, CH, A und NL den Vereinbarungen vom **ZVEI** (Zentralverband Elektrotechnik- und Elektronikindustrie e.V.).

Im Rahmen der IEC wurde ein internationales Bezeichnungssystem definiert und als DIN 49805 "Internationales Lampenbezeichnungssystem ILCOS" (IEC 1231/ **I**nternational **L**amp **C**oding **S**ystem) herausgebracht.

Grundstruktur ILCOS DIN 49805:

Der erste Buchstabe gibt die Lampenkategorie an.

- I Glühlampen
- H Halogenlampen
- F Leuchtstofflampen

Weitere Buchstaben definieren die Formen, Anwendungen, Sockel usw.

- A Hauptreihennorm, größere Lampen
- B kleinere Lampen, Kerze
- G Kugel, allgemeine Beleuchtung
- D stabförmig, zweiseitiger Sockel
- IR Infrarotstrahler

Glühlampen zusätzlich Kolben und Farbe

- /C klar
- /F mattiert oder beschichtet
- /W weiß
- /R rot
- /Y gelb

Beispiele: IA Standard-Glühlampe
 HR Halogen-Glühlampe mit Kaltlichtreflektor
 FD Leuchtstofflampe, zweiseitig gesockelt

Der **Lampensockel** muss in Verbindung mit der zugehörigen Fassung:

- eine gute Halterung und Zentrierung der Lampe ermöglichen,
- eine gute elektrische Verbindung gewährleisten,
- Schutz gegen elektrischen Schlag bei zufälliger Berührung bieten,
- eine leichte Montage und Demontage der Lampe ermöglichen.

Sockelsysteme:

E Edison-Sockel meist für Glühlampen und Kompakt-Leuchtstofflampen
 B Bajonett-Sockel für Klein- und Zwecklampen
 F Stift-Sockel für Halogen-Glühlampen
 G Stift-Sockel meist für Leuchtstofflampen

Lebensdauer von Lampen

Ein Gütekriterium bezüglich der Lampenqualität ist die Lebensdauer der Lampe.

Die **lichttechnische Lebensdauer** sollte der wirtschaftlichen **Nutzlebensdauer** entsprechen (70% - 80% der Nennlebensdauer), da der Lichtstrom mit der Brenndauer abnimmt.

Die **Nennlebensdauer** (Physikalische Lebensdauer) ist eine statistische Größe. Sie ist die Betriebszeit mit bestimmter Betriebsweise (Spannung, Temperatur, mechanische Einflussgrößen) und Schalthäufigkeit bei der 50% der geprüften Lampen ausfallen dürfen.

3.2 Temperaturstrahler

Temperaturstrahler verhalten sich näherungsweise wie ein „Schwarze Strahler“ (Schwarzer Körper), der eine ideale thermische Strahlungsquelle darstellt. Er dient als Grundlage für theoretische Betrachtungen sowie als Referenz für praktische Untersuchungen elektromagnetischer Strahlung.

Ein „Schwarzer Körper“ nimmt auftreffende elektromagnetische Strahlung, etwa Licht, vollständig auf (Absorption). Er lässt weder Strahlung durch sich hindurch (Transmission), noch spiegelt oder streut er sie zurück (Reflexion). In der Realität können diese idealen Eigenschaften nur angenähert auftreten. Aufgrund seiner thermischen Energie (Temperatur)

gibt der „Schwarze Körper“ Strahlung einer bestimmten Intensität und spektralen Verteilung ab (Emission).

Das Plancksche Strahlungsgesetz für den „Schwarzen Körper“ im Vakuum lautet:

$$L_{\lambda, s}(\lambda, T) = \frac{2 \cdot c_1}{\Omega_0 \cdot \lambda^5} \cdot \left(e^{\frac{c_2}{\lambda \cdot T}} - 1 \right)^{-1} \quad (3.1)$$

$L_{\lambda, s}$ spektrale Strahldichte des „Schwarzen Körpers“ im Vakuum

λ Wellenlänge der Strahlung

T Temperatur des „Schwarzen Körpers“

$\Omega_0 = 1 \text{ sr}$ Einheitsraumwinkel (4π)

$c_1 = h \cdot c^2 = 5,955 \cdot 10^{-17} \text{ Wm}^2$ erste Plancksche Strahlungskonstante

$c_2 = h \cdot c/k = 1,4388 \cdot 10^{-2} \text{ m} \cdot \text{K}$ zweite Plancksche Strahlungskonstante

$h = 6,626 \cdot 10^{-34} \text{ Js}^2$ Plancksches Wirkungsquantum

$c = 2,998 \cdot 10^8 \text{ m/s}$ Lichtgeschwindigkeit im Vakuum

$k = 1,3807 \cdot 10^{-23} \text{ Ws/K}$ Boltzmann-Konstante

Nach dem Planckschen Strahlungsgesetz weist die Intensitätskurve eines „Schwarzen Körpers“ ein Maximum auf, das sich mit höherer Temperatur immer mehr in den kurzwelligeren Bereich verschiebt. Die Maxima der spektralen Strahldichte werden bei λ_m (Wiensches Verschiebungsgesetz) erreicht.

$$\lambda_m = \frac{A}{T} \quad \text{mit} \quad A = 2,8978 \cdot 10^{-3} \text{ m} \cdot \text{K} \quad (3.2)$$

Die Gesamtstrahlung $L_s\{T\}$ ist proportional zur vierten Potenz der absoluten Temperatur des „Schwarzen Körpers“ (Stefan-Boltzmann-Gesetz).

$$L_s\{T\} = \frac{\sigma}{\pi \cdot \Omega_0} \cdot T^4 \quad \text{mit} \quad \sigma = \frac{2 \cdot \pi^5 \cdot c_1}{15 \cdot c_2^4} = \frac{2 \cdot \pi^5 \cdot k^4}{15 \cdot h^3 \cdot c^2} = 5,67 \cdot 10^{-8} \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}^4} \quad (3.3)$$

Mit der spezifischen Ausstrahlung $M = \pi \cdot L_s = d\phi/dA$ lässt sich die gesamte Strahlungsleistung P eines „Schwarzen Körpers“ nach dem Stefan-Boltzmann-Gesetz bei gegebener Oberfläche A berechnen.

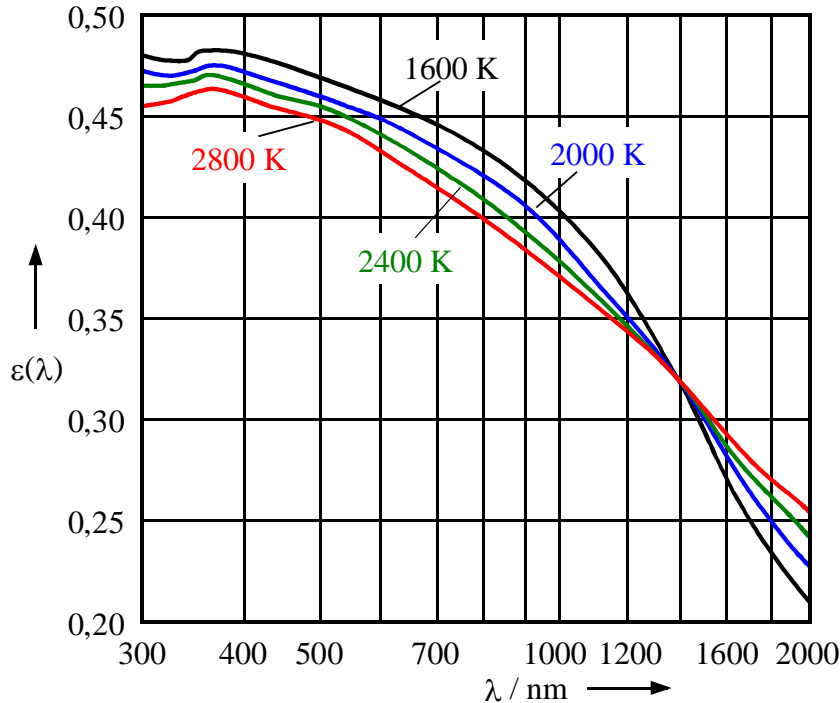
$$P\{T\} = A \cdot \sigma \cdot T^4 \quad (3.4)$$

Der „Schwarze Körper“ erscheint dem Auge bei niedrigen Temperaturen trotz der Strahlungsemission lediglich deshalb dunkel, weil das Auge in diesem Wellenlängenbereich nicht empfindlich ist. Bei einer Temperatur von 5780 K (Temperatur der Sonnenoberfläche) emittiert ein Schwarzer Körper eine Strahlungsleistung von 64 MW/m². Der Körper erscheint dem Auge jetzt hell leuchtend, da ein Teil der Strahlung in den optischen Spektralbereich fällt. Der Körper wird trotzdem als „Schwarzer Strahler“ bezeichnet, weil er nach wie vor alle auf ihn fallende Strahlung absorbiert. Die ausgesandte Strahlung besteht vollständig aus vom Körper selbst thermisch emittierter Strahlung, sie enthält keinerlei reflektierte Umgebungsstrahlung.

Bei den realen Temperaturstrahlern in der Beleuchtungstechnik ist die spektrale Strahldichte geringer als beim idealisierten „Schwarzen Strahler“. Sie werden in der Theorie als „Grauer Strahler“ bezeichnet. Der spektrale Emissionsgrad ϵ ist bei jedem Material abhängig von der Wellenlänge λ und von der absoluten Temperatur T .

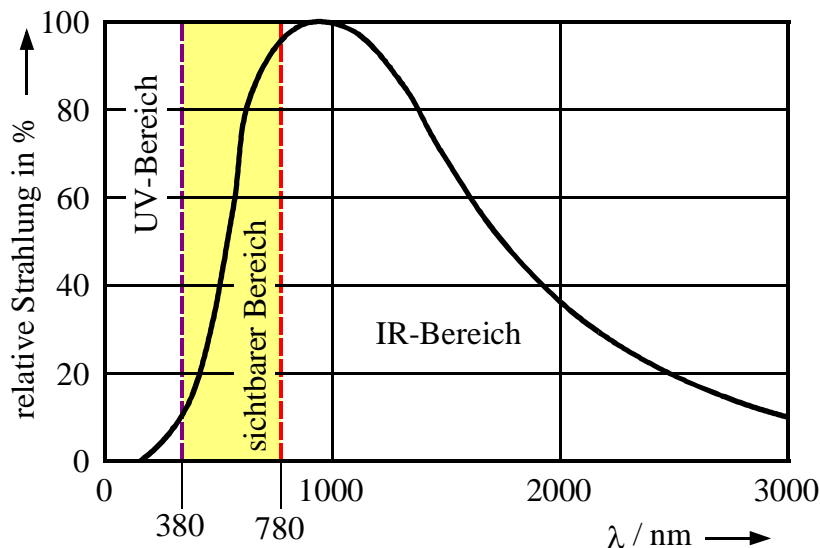
Die spektrale Strahlendichte des „Grauen Strahlers“ beträgt:

$$L_{\lambda,s}(\lambda, T) = \varepsilon\{\lambda, T\} \cdot \frac{2 \cdot c_1}{\Omega_0 \cdot \lambda^5} \cdot \left(e^{\frac{c_2}{\lambda \cdot T}} - 1 \right)^{-1} \quad (3.5)$$



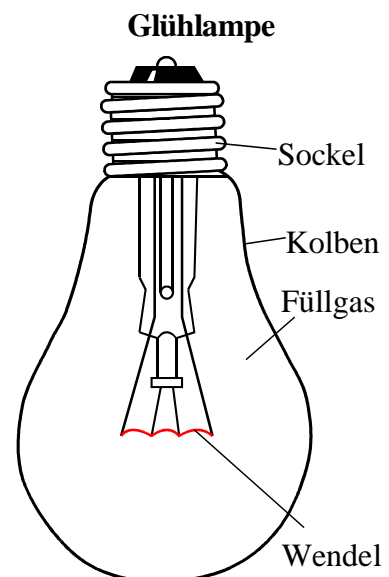
Spektraler Emissionsgrad $\varepsilon(\lambda)$ von Wolfram

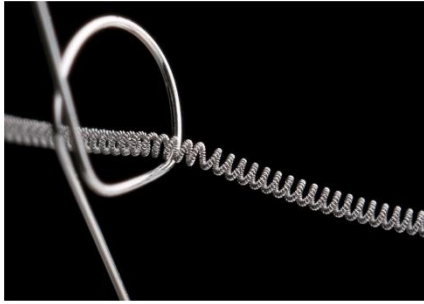
Bei **Glühlampen** wird ein sehr dünner Wolframdraht beim Stromdurchgang auf eine Temperatur von etwa 2500 °C bis 2700 °C gebracht. Nur 5 % bis 10 % der Leistung wird in warmweißes Licht umgewandelt, so dass die Lichtausbeute 10 lm/W bis 20 lm/W beträgt.



Relative Strahlungsverteilung einer 40-W-Glühlampe

Glühlampen – früher bis 25 W Vakuumlampen mit Einfachwendel – werden heute ausschließlich mit Doppelwendel ausgeführt und haben gewöhnlich eine Gasfüllung aus Stickstoff-Argon, welche die Verdampfungsgeschwindigkeit beim Wolfram reduziert. Glühlampen mit teurer Kryptonfüllung können aufgrund des höheren Molekulargewichtes von Krypton [84] mit einer etwa 100...150 °C höheren Temperatur des Wolframdrahtes betrieben werden. Hierdurch steigt die Lichtausbeute und das Licht wird weißer. Die Nennlebensdauer von Glühlampen liegt bei 1000 h.





Doppelwendel mit Halter



Doppelwendel



100-W-Glühlampe mit Doppelwendel bei niedriger Spannung

Hauptdaten und Wendelabmessungen einer 100-W-Glühlampe mit Doppelwendel:

$U = 230 \text{ V}$, Lichtstrom 1380 lm, Lebensdauer 1000 h,

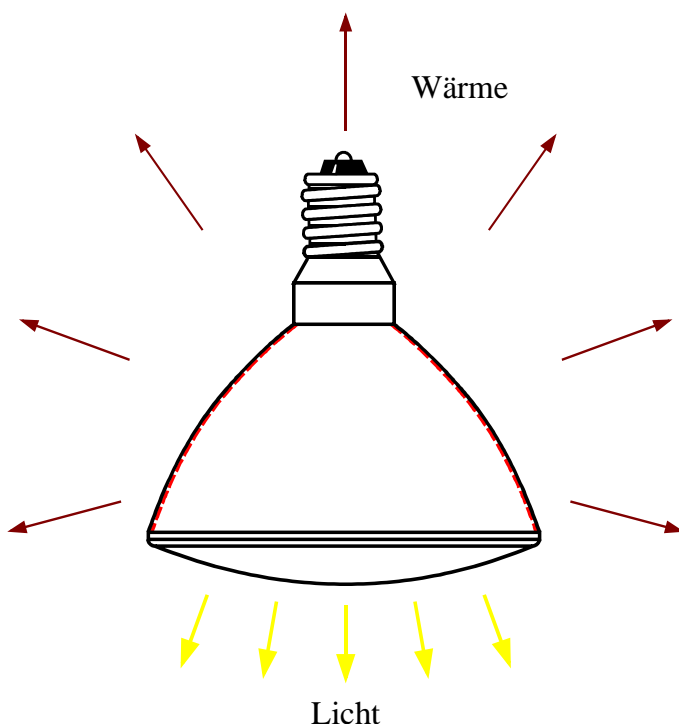
Drahtlänge 1000 mm, Drahtdurchmesser 43,7 μm ,

Länge der geschnittenen Doppelwendel 35 mm,

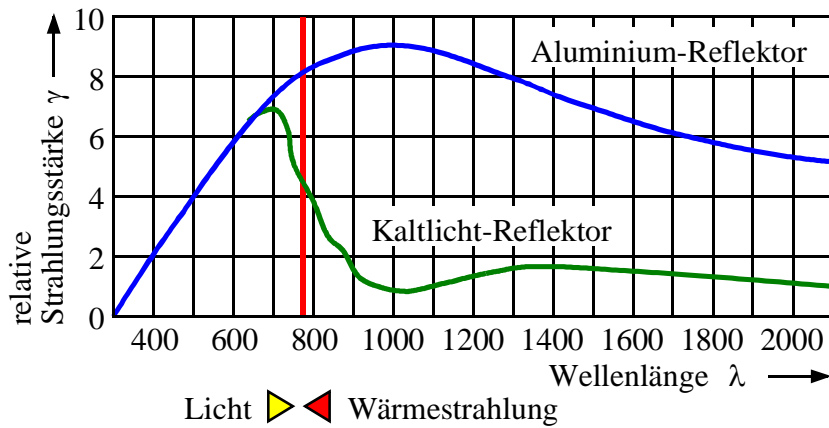
Durchmesser der Wendel 0,73 mm.

Lampen werden in verschiedenen Ausführungsformen hergestellt. Bei der Kopfspiegellampe wird beispielhaft der Lichtstrom Φ nicht nach vorne, sondern nach hinten abgestrahlt. Bei Reflektorlampen ist die Kolbeninnenwand mit einem verspiegelten Metallbelag versehen, so dass der Lichtstrom in eine bestimmte Richtung gelenkt wird. Sogenannte Kaltlichtspiegel bestehen aus

einer Folge von Interferenzschichten, die für Infrarot durchlässig sind. Ein Großteil der Wärme kann so nach hinten abgestrahlt werden, was somit auch eine Anstrahlung von wärmeempfindlichen Gegenständen ermöglicht.

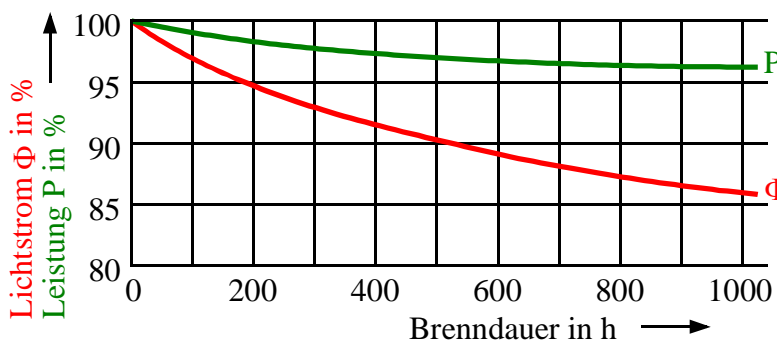


Reflektorglühlampe mit Kaltlichtspiegel



Relative Strahlungsstärke γ beim Kaltlichtspiegel

Mit zunehmender Lebensdauer wird Wolfram vom Wendel abgetragen und führt als Niederschlag zur Schwärzung des Kolbens. Dadurch verringern sich Lichtstrom und Farbtemperatur.



Lichtstrom Φ und Leistung P als Funktion der Brenndauer

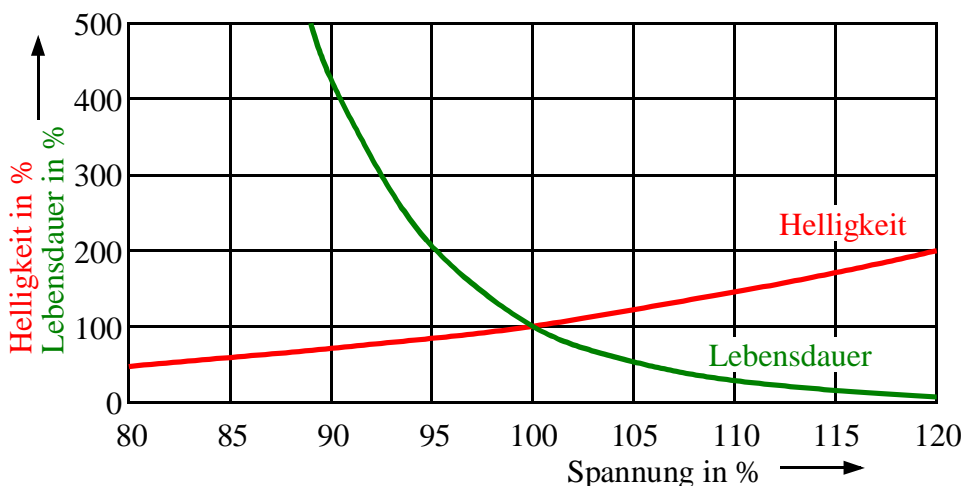
Da der Kaltwiderstand der Wendel nur einen Bruchteil des Widerstandes beim Lampenbetrieb beträgt, ist jeder Einschaltvorgang mit einem Stromstoß verbunden. Der Abklingvorgang ist von der Wärmeträgheit der Wendel abhängig und nach etwa 50 ms abgeschlossen.

Temperaturkoeffizienten von Wolfram:

$$\alpha_{20} = 4,1 \cdot 10^{-3} \text{ K}^{-1}; \quad \beta_{20} = 0,7 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-2}$$

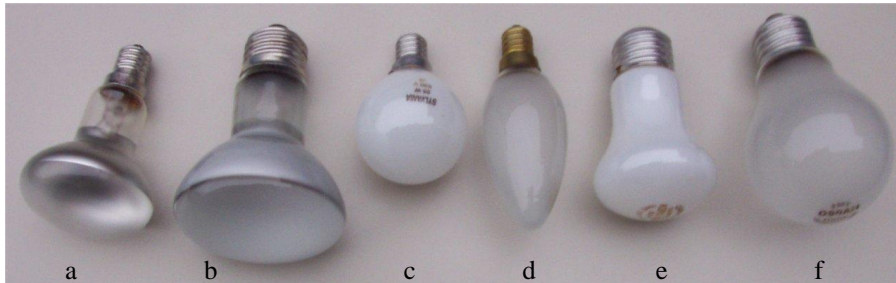
Bei Glühlampen beträgt das Verhältnis Einschaltstrom/Dauerstrom 12 bei $P = 25 \text{ W}$ und steigt auf 15 bei $P = 100 \text{ W}$.

Die lichttechnischen und die elektrischen Daten der Glühlampen sind stark von der Betriebsspannung U abhängig. Die Herstellerangaben beziehen sich auf die Nennspannung. Der Widerstand des Wolframwendels der Glühlampe verhält sich im Spannungsbereich $0,8 U_N \leq U \leq 1,2 U_N$ näherungsweise $R \sim U^{0,5}$.



Lebensdauer und Helligkeit in Abhängigkeit der Spannung

Entsprechend dem Stefan-Boltzmannschen Gesetz steigt beim „Schwarzen Körper“ der Lichtstrom $\Phi \sim T^4$. Bei der Glühlampe steigt die Temperatur an der Wendeloberfläche nicht ganz proportional mit der Spannung. Für den Lichtstrom gilt $\Phi \sim U^{3,8}$. Für die Wirkleistungsaufnahme $P = U^2/R$ gilt dann $P \sim U^{1,5}$. Damit ist der Wirkungsgrad $\eta \sim U^{2,3}$. Die Lebensdauer L_d der Glühlampe hängt stark von der Spannung ab. Es gilt $L_d \sim U^{-14}$. Eine Spannungserhöhung um 5 % reduziert die Lebensdauer auf die Hälfte.

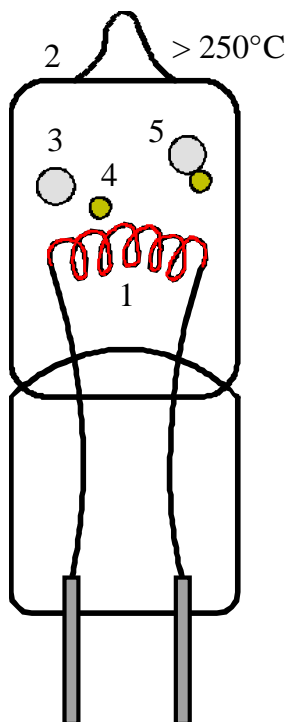


- a Reflektor R50 E14
- b Reflektor R63 E27
- c Tropfenform E14
- d Kerzenform E14
- e Pilzform E27
- f Normallampe E27

Formen von Glühlampen für 230 V

Bei **Halogenglühlampen** beträgt die Farbtemperatur 2800 K bis 3100 K, so dass das Licht weißer als bei normalen Glühlampen erscheint. Die Lichtausbeute ist mit 25 lm/W ebenfalls größer. Als Füllgas wird bei der Halogenglühlampe Jod oder eine Bromverbindung zugesetzt. Dieses Füllgas bewirkt, dass der Verdampfungsprozess des Wolframs verlangsamt wird und es zum Wolfram-Halogen-Kreisprozess kommt.

Das bei Lampenbetrieb abdampfende Wolfram verbindet sich bei Temperaturen $\vartheta_1 < 1400 \text{ }^\circ\text{C}$ mit zwei gasförmigen Halogenatomen. Die Verbindung bleibt bis etwa $250 \text{ }^\circ\text{C}$ gasförmig, so dass nur Quarzglaskolben Anwendung finden. Mit der thermischen Strömung gelangt die Wolfram-Halogen-Verbindung in die Nähe der heißen Wendel ($\vartheta_2 > 1400 \text{ }^\circ\text{C}$) und zerfällt dort wieder. Ein Teil des Wolframs schlägt sich auf dem Wendel nieder, das Halogen ist wieder frei und kann erneut am Kreisprozess teilnehmen.



- 1 Wolframwendel
- 2 Quarzglaskolben
- 3 Jodatome
- 4 Wolframatom
- 5 Wolframhalogenid

Halogenkreisprozess

Verglichen mit Glühlampen haben Halogenglühlampen die folgenden Vorteile:

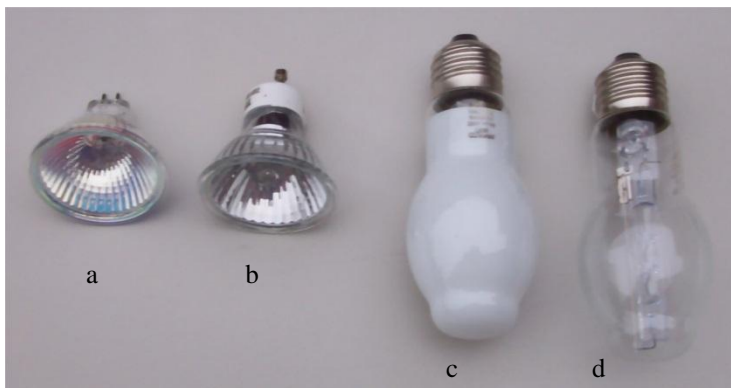
- kleines Bauvolumen,
- optimale Lichtlenkung,
- höhere Lichtausbeute,
- höhere Farbtemperatur,
- brillantes Licht,
- praktisch keine Kolbenschwärzung,
- höhere Wirtschaftlichkeit,
- höhere Lebensdauer.

Halogenglühlampen gibt es auch mit Kaltlichtspiegel, wobei etwa zwei Drittel der Wärme nach hinten abgeführt wird.

Durch Anwendung von infrarotreflektierenden Interferenzschichten IRC (Infra-Red-Coating) außen an der Lampe wird sichtbares Licht gut transmittiert und ein erheblicher Anteil der infraroten Strahlung zentriert auf die Wendel reflektiert. Die elektrische Leistung kann bei gleichem Lichtstrom reduziert werden. Die Lichtausbeute kann beispielsweise von 19 lm/W (Standardlampe) auf 24 lm/W (IR-Version) gesteigert werden.

Halogenglühlampen sind grundsätzlich dimmfähig. Der Kreisprozess wird hierdurch jedoch beeinträchtigt. Gleichzeitig reduziert sich der Verdampfungsprozess des Wolframs, so dass die Lebensdauer etwa gleich bleibt.

Halogenglühlampen sind für 6/12/24-V-Anlagen und für 230 V im Handel erhältlich.



- a Reflektorlampe DECOSTAR
20 W, 12 V, 38°, GU 5,3
- b Reflektorlampe HALOPAR 16
50 W, 230 V, 40°, GU 10
- c HALOLUX BT
100 W, 230 V, matt, E27
- d HALOLUX BT
100 W, 230 V, klar, E27

Halogenglühlampen

3.3 Niederdruck-Entladungslampen

Gasentladungslampen erzeugen Licht durch einen Entladungsvorgang in ionisierten Gasen, meist Metalldämpfe und/oder Edelgase, in einem Glasrohr. Die Niederdruck-Entladung erfolgt mit einem Druck von etwa 0,1 Pa bis 1 Pa in einem Entladungsgefäß mit geringer Leuchtdichte. Das Spektrum ist linienförmig und häufig mit einem UV-Anteil.

Durch die angelegte Spannung wird im Entladungsrohr nach dem "Zünden" eine sogenannte Stoßionisation ausgelöst, wodurch lawinenartig neue Ladungsträger entstehen. Die Strombegrenzung erfolgt durch Drosselspulen, Streufeldtransformatoren oder durch elektronische Betriebsgeräte.

Gasentladungslampen kann man grundsätzlich mit Gleich- und Wechselstrom betreiben. Bei Wechselstrombetrieb zündet die Lampe nach jedem Spannungsnulldurchgang neu, und der Lichtstrom folgt im Prinzip der Netz-Sinuskurve mit konstantem Anteil. Aus diesem Grund entsteht der stroboskopische Effekt.

Der Startvorgang der Entladungslampen wird wesentlich durch das Vorheizen der Elektroden bestimmt. Anwendung finden sogenannte Glüh- oder Oxidelektroden mit Temperaturen über 500 °C. Hierdurch wird der Austritt der Elektronen aus den Elektroden erleichtert.

Leuchtstofflampen

Die Leuchtstofflampe ist eine Quecksilber-Niederdruck-Entladungslampe mit einer Gasgrundfüllung aus Argon oder einer Mischung aus Argon und Neon und etwas Quecksilber. An den Rohrenden befinden sich Kathoden aus Wolframdraht. Beim herkömmlichen Startprozess

erhitzt eine hohe Spannung kurzfristig (1 s bis 2 s) die Kathoden so weit, bis sie Elektronen aussenden und dadurch das Gas ionisieren. Das ionisierte Gas ist elektrisch leitend und es kommt zu einem starken Elektronenfluss durch das Lampenrohr. Die Elektronen kollidieren auf ihrem Weg mit den Quecksilberatomen. Die Quecksilberatome werden dadurch angeregt und senden bei der Rückkehr in den Normalzustand daraufhin hauptsächlich UV-C-Strahlung mit der Wellenlänge 253,7 nm aus. Die Energie ΔW wird frei, wenn Quecksilber von seinem untersten angeregten Zustand in den Grundzustand zurückkehrt.

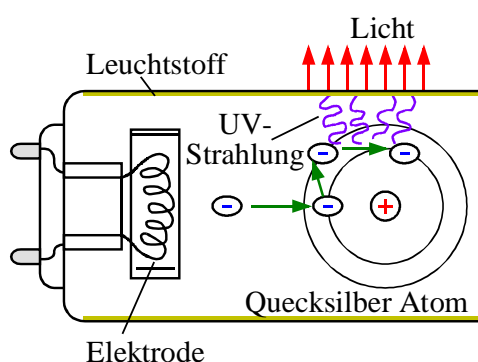
$$\Delta W = \frac{h \cdot c}{\lambda} = 7,8 \cdot 10^{-19} \text{ Ws} = 4,9 \text{ eV} \quad (3.6)$$

Damit sichtbares Licht entsteht, wird die UV-Strahlung durch die phosphorhaltigen Leuchtstoffe auf der Innenseite der Röhre in sichtbares Licht umgewandelt (Fluoreszenz).

Fluoreszenz ist der Übergang eines elektronisch angeregten Systems in einen Zustand niedrigerer Energie durch spontane Emission von Licht. Fluoreszenz wird meist optisch angeregt, also indem der Fluorophor mit einer geeigneten Lichtquelle - bei der Leuchtstofflampe UV-C-Strahlung mit $\lambda = 253,7 \text{ nm}$ - beleuchtet wird (Photolumineszenz). Der Fluorophor (Leuchtstoff) wird dann durch Absorption eines Photons elektronisch angeregt und emittiert die Anregungsenergie zeitversetzt in Form eines anderen Photons - bei der Leuchtstofflampe das sichtbare Licht mit $\lambda = 380 \text{ nm} \dots 780 \text{ nm}$ -.

Ein geringer Teil der UV-Strahlung gelangt durch die Leuchtstoffschicht und die Glasröhre hindurch nach außen (rd. $50 \mu\text{W/lm}$ UV-A-Strahlung und rd. $10 \mu\text{W/lm}$ UV-B-Strahlung).

Eine Leuchtstofflampe benötigt ein Vorschaltgerät und einen Starter. Diese liefern die kurzzeitig hohe Zündspannung und regeln den Stromfluss während des weiteren Betriebs. Nach einigen Augenblicken schaltet der Starter ab und die Elektroden bleiben durch das Auftreffen der Elektronen genügend warm, um die Gasentladung aufrechtzuerhalten. Falls dies beim ersten Mal nicht der Fall ist, startet der Starter einen zweiten Versuch - daher blinken Lampen beim Start bisweilen einige Male auf -. Ist die Gasentladung einmal in Gang gekommen, würde der Strom sofort lawinenartig ansteigen. Die Vorschaltgeräte sorgen daher für einen weitgehend konstanten Stromfluss, so dass am 230-V-Netz der Lampenstrom nahezu sinusförmig ist. Bei herkömmlichen Vorschaltgeräten geschieht dies durch eine Drosselspule, bei elektronischen durch Transistor-Schaltungen. Bei manchen Vorschaltgeräten sind beide Funktionen in einem Gerät vereint. Bei Sofortstart-Vorschaltgeräten geschieht die Zündung anstatt über das Vorheizen der Elektroden über eine sehr hohe Zündspannung.



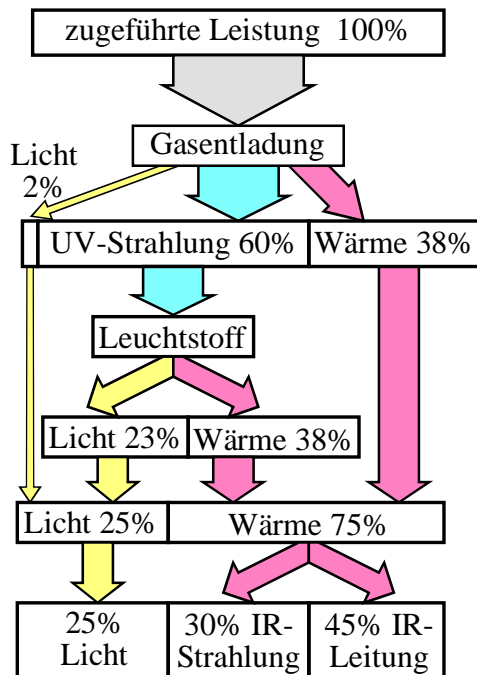
Vorteile der Leuchtstofflampen:

- hohe Lichtausbeute,
- lange Lebensdauer,
- relativ niedrige Leuchtdichte,
- große Auswahl an Lichtfarben,
- sehr gute Farbwiedergabe-Eigenschaften,
- große Auswahl an Typen und Leistungsstufen,
- sehr gute Wirtschaftlichkeit.

Prinzip der Lichterzeugung bei der Leuchtstofflampe

Leuchtstofflampen gibt es als:

- Stabform für spezielle Anwendungen (explosiongeschützte Leuchten, teils mit Zündhilfsstreifen) mit 38 mm Durchmesser, Leistungen von 20 W bis 65 W und Längen bis 1500 mm;
- Stabform T8 für Normalanwendungen mit 26 mm Durchmesser mit den Leistungen 10 W bis 58 W und Längen bis 1500 mm, $\Phi = 650 \dots 5200 \text{ lm}$;
- Stabform T5 für EVG-Betrieb mit Durchmessern von 16 mm und mit Längen bis 1449 mm;
- Stabform T2 für EVG-Betrieb mit Durchmessern von 7 mm und mit Längen bis 523 mm;
- U- und Ring-Form mit Durchmessern von 29 mm bis 38 mm;
- Miniatur- und Speziallängen.



Farbtemperatur von Leuchtstofflampen:

- 27 (ww) Warmton, 2700 K,
- 30 (ww) Warmton, 3000 K,
- 40 (nw) Neutralweiß, 4000 K,
- 50 (tw) Tageslicht, 5000 K,
- 60 (tw) Tageslicht, 6000 K.

Mit dem Leuchtstoff lassen sich die lichttechnischen Eigenschaften von Leuchtstofflampen wie

- Lichtfarbe ww, nw, tw,
- Farbwiedergabestufe 1 A, 1 B, 2, 3,
- Lichtausbeute η ,
- Lichtstromrückgang im Verlauf der Betriebszeit weitgehend beeinflussen.

Energiebilanz der Leuchtstofflampe ohne Vorschaltgerät

Die Lichtfarben von Leuchtstofflampen lassen sich in vier Gruppen einteilen:

- Standardlichtfarben,
- Dreibandenlichtfarben,
- Vollspektrumlichtfarben und
- Speziallichtfarben.

Leuchtstofflampen mit Standardlichtfarben sind aufgrund ihrer niedrigen Lichtausbeute, der schlechten Farbwiedergabe (Stufen 2 und 3) und der geringen nutzbaren Lebensdauer nur für Beleuchtungsaufgaben mit geringen Anforderungen einsetzbar, wo das Unterscheiden und Erkennen von Farben unbedeutend ist (Lagerhallen).

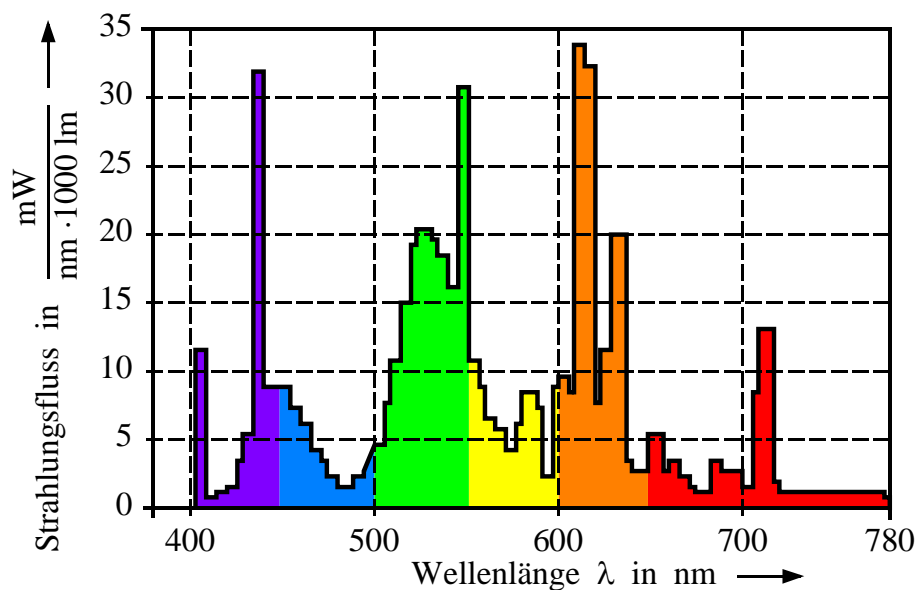
Moderne Leuchtstofflampen mit Dreibandenlichtfarben werden wegen ihrer sehr hohen Lichtausbeute $\eta = 96 \text{ lm/W}$, den guten Farbwiedergabeeigenschaften (Stufe 1 B) und der langen Lebensdauer häufig eingesetzt. Sie tragen den Namen, weil bei ihnen drei Leuchtstoffe Licht in relativ eng begrenzten Spektralbereichen ausstrahlen, die in der Mischung "weiß" ergeben.

Bei den Leuchtstofflampen mit Vollspektrumlichtfarben (De-Luxe-Lampen) sind die Lücken im Spektrum durch Verwendung weiterer Leuchtstoffe teilweise aufgefüllt. Sie werden deshalb manchmal auch als "Fünfbandenlampen" bezeichnet. Sie besitzen eine noch bessere

Farbwiedergabe als Dreibandlampen (Farbwiedergabestufe 1 A), das allerdings auf Kosten einer um etwa 30 % geringeren Lichtausbeute mit $\eta = 65 \text{ lm/W}$.

Leuchtstofflampen mit Speziallichtfarben zeichnen sich meist durch besondere Buntheit aus. Für Treibhäuser und Kühltheken werden auch Vollspektrumlampen mit Anteilen im UV-A-Bereich angeboten, die teilweise auch ein erweitertes Spektrum im roten Spektralbereich aufweisen.

Lichtfarbenbezeichnung	Generisch	Name	Farbtemperatur	Farbwiedergabe-Index R_a
Standardlichtfarben	765	Daylight	6500 K	75
	640	Cool White	4000 K	62
	535	White	3500 K	56
	740	Univ. White	4000 K	75
	530	Warm White	3000 K	50
Dreibandlichtfarben	865	Daylight	6500 K	85
	850	Daylight	5000 K	85
	840	Cool White	4000 K	85
	835	White	3500 K	85
	830	Warm White	3000 K	85
	827	INTERNA®	2700 K	85
Vollspektrumlichtfarben	965	Daylight	6500 K	95
	950	Daylight	5400 K	98
	940	Cool White	3800 K	96
	930	Warm White	3000 K	93



Spektraler Strahlungsfluss einer Dreiband-Leuchtstofflampe der Lichtfarbengruppe neutralweiß 4000 K

Handelsbezeichnung einer Leuchtstofflampe:

Bei den Leuchtstofflampenherstellern (Osram, Philips und Sylvania) kommt zuerst die Bauformbezeichnung, dann die Leistung der Lampe und abschließend der Lichtfarbename. So heißt eine stabförmige T8-Leuchtstofflampe mit 36 W und der Lichtfarbe 840 von Osram: L 36 W/21-840

und eine lange Kompaktleuchtstofflampe mit 55 Watt und der Lichtfarbe 930 von Philips: PL-L 55W/930.

Anwendung verschiedener Leuchtstofflampen:

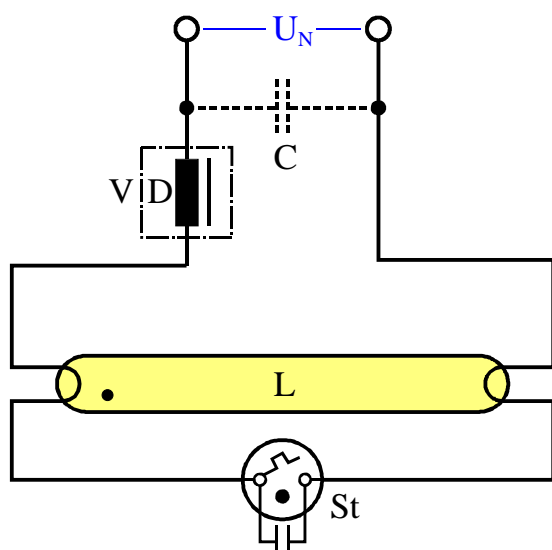
- Wirtschaftlichkeit, Farbwiedergabeeigenschaften und individuelle Neigungen wegen der Lichtfarben bestimmen den Einsatzort.
- ww setzt man dort ein, wo eine warme gemütliche Stimmung gewünscht wird (Wohnbereiche).
- nw betont eher sachliche Atmosphäre und wird vorwiegend in Arbeitsräumen verwendet.
- tw, mit stark bläulich-weißem Licht, wird in der Innenraumbeleuchtung verwendet, wo eine kühle Beleuchtungsatmosphäre gewünscht wird.

Start und Betrieb mit 50 Hz:

- Die Leuchtstofflampe hat wie alle Entladungslampen eine negative Strom-Spannungs-Kennlinie, man muss den Strom mit einem Vorschaltgerät stabilisieren.
- Das Vorschaltgerät muss eine genügende Vorheizung der Lampenelektroden ermöglichen.
- Das Vorschaltgerät muss, meist mit Hilfe eines Starters, eine genügend hohe Zündspannungsspitze erzeugen.
- Das Vorschaltgerät muss den Lampenstrom auf den richtigen Wert begrenzen.

KVG - Konventionelles Vorschaltgerät:

Nach dem Einschalten schließen sich die Bimetallkontakte des Glimmstarters, und der Vorheizstrom fließt über die Elektroden der Lampe und erhitzt diese. Kurze Zeit später öffnen die Kontakte des Glimmstarters, der Vorheizstrom wird unterbrochen, und in der Drosselspule wird eine hohe Induktionsspannung zum Zünden der Lampe erzeugt. Wenn die Lampe nicht zündet, wiederholt sich der Vorgang. Der Leistungsfaktor beträgt etwa $\lambda = 0,5$ induktiv. Die Drosselverluste betragen etwa 20 % der Lampenleistung. Bei einer 58-W-Leuchtstofflampe betragen sie etwa 13 W, so dass die Systemleistung 71 W beträgt.



VVG - Verlustarmes Vorschaltgerät:

Die Funktion entspricht dem KVG; die Drosselverluste betragen bedingt durch verlustarmes Eisen und mehr Kupfer nur 13 % der Lampenleistung, so dass die Systemleistung bei der 58-W-Lampe auf 66 W sinkt.

Kompensationskondensator

D Drosselspule V Vorschaltgerät

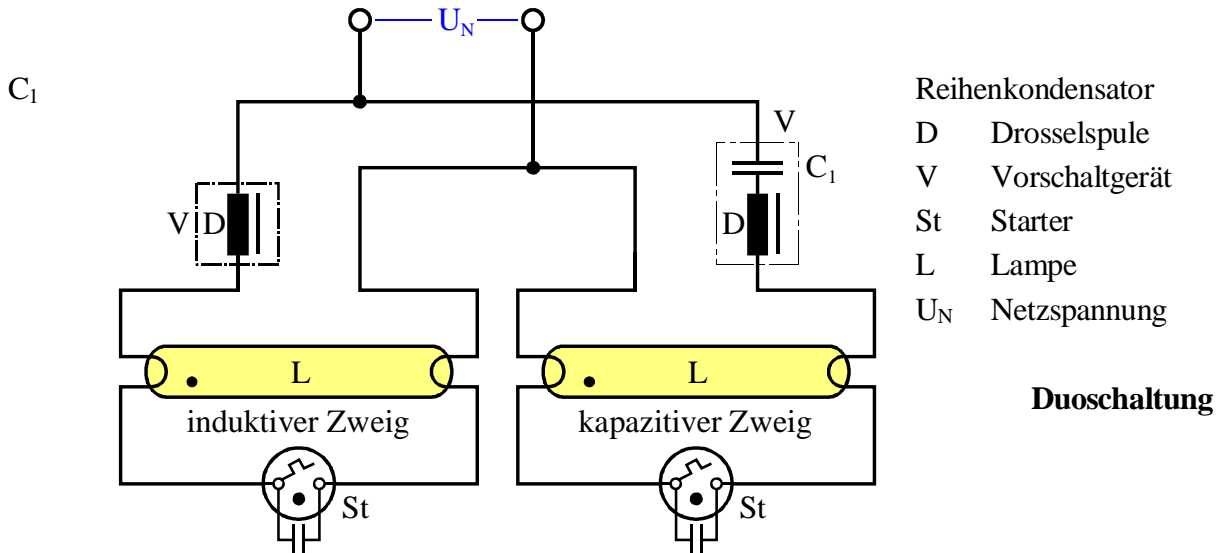
St Starter L Lampe

U_N Netzspannung

Konventionelles Vorschaltgerät (KVG)

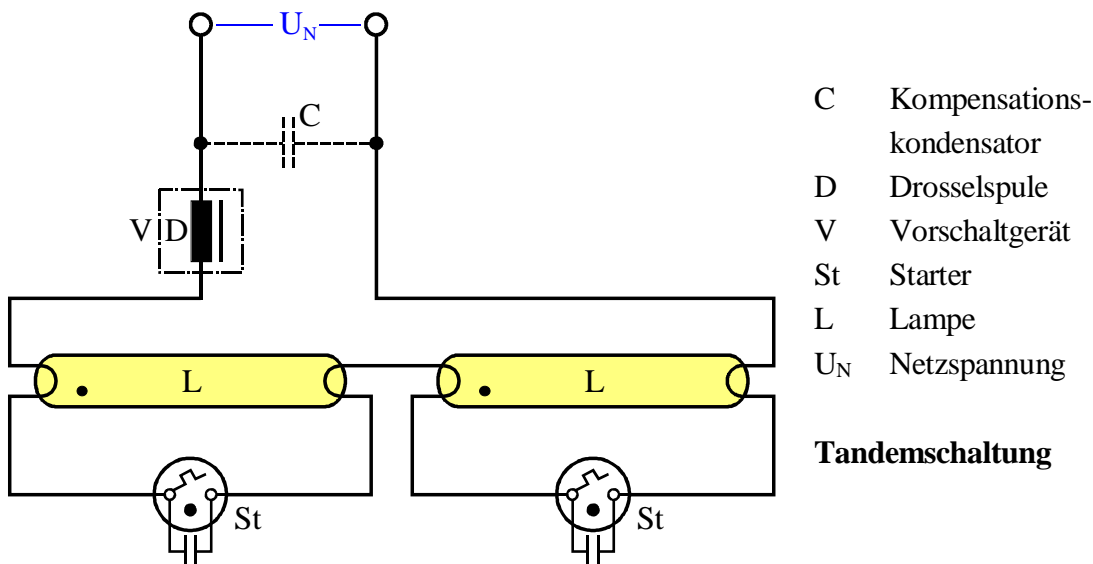
Duoschaltung:

Sie ist eine Parallelschaltung eines induktiven mit einem kapazitiven Vorschaltgerät, so dass der Leistungsfaktor $\lambda \approx 1$ beträgt. Die beiden Lampenströme und die Lichtströme sind phasenverschoben, so dass die Welligkeit des Gesamtlichtstromes gering ist.

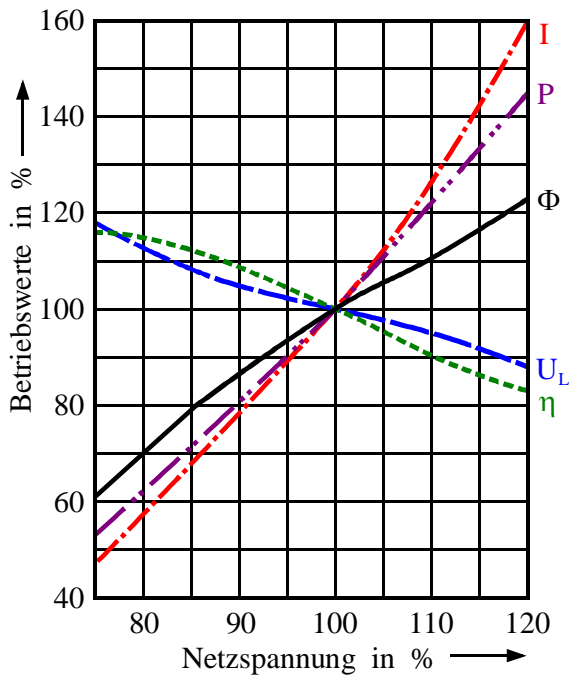


Tandemschaltung:

Sie wird für die Serienschaltung von kleinen Leuchtstofflampen, deren Brennspannung unter 60 V liegt, bis 22 W verwendet. Es sind nur eine Drosselspule und zwei Starter notwendig.

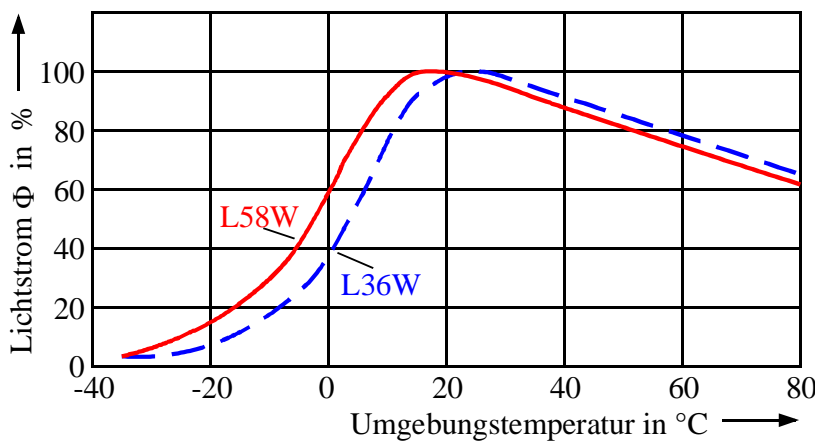


Einfache Starter sind als Glimmstarter ausgeführt (Startvorgang rd. 2 s). Sicherheits-Starter beinhalten neben dem Glimmstarter einen NTC-Widerstand mit paralleler Diode (Startvorgang 1 s). Bei Lampen mit Zündschwierigkeiten unterbricht ein Thermoschalter den Startvorgang nach 30 s. Elektronikstarter sind für die Sofortzündung in Verbindung mit einem induktiven Vorschaltgerät. Die Lampe wird "weich" gestartet, so dass häufige Starts die Lebensdauer nur gering beeinträchtigen.



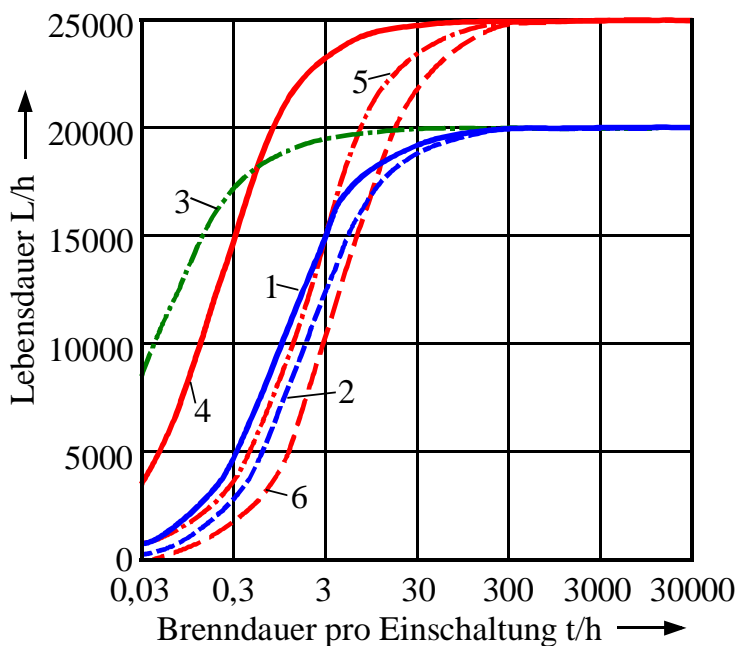
50-Hz-Betrieb mit KVG

Relative elektrische und lichttechnische Werte der Leuchtstofflampe als Funktion der Netzspannung



Der abgegebene Lichtstrom Φ ist von der Brenndauer der Lampe abhängig. Im Mittel reduziert sich der Lichtstrom nach 7500 h Brenndauer auf etwa 85 %.

Temperaturabhängigkeit des Lichtstroms Φ

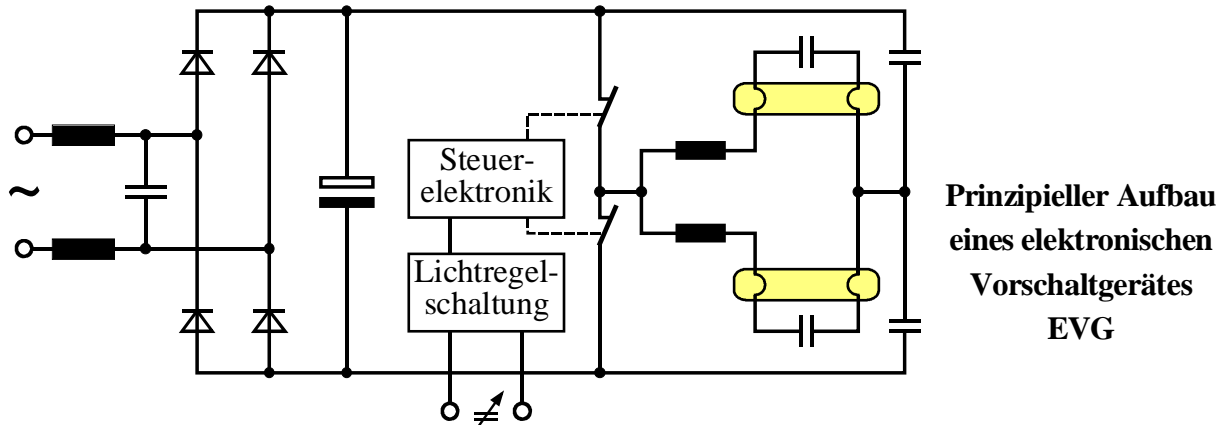


- 1 KVG, VVG induktiv oder kapazitiv mit PTC
- 2 KVG, VVG kapazitiv ohne PTC
- 3 Drosselspule mit integriertem Startsystem, optimale Vorheizung
- 4 EVG mit optimaler Vorheizung
- 5 EVG mit Sofortstart
- 6 EVG mit ungünstigen Eigenschaften

Absolute Lebensdauer stabförmiger Leuchtstofflampen

EVG - Elektronische Vorschaltgeräte:

Gegenüber dem 50-Hz-Netzbetrieb steigt beim Hochfrequenzbetrieb (30 kHz ... 45 kHz) der Lichtstrom Φ um rd. 10 % an, da die Kathodenverluste in der Übergangszone Kathode/Entladungsstrecke kleiner sind. Vorschaltgeräte mit moderner Leistungselektronik (EVG) haben geringere Verluste als KVG und VVG. Die Lichtausbeute steigt von 95 lm/W auf 104 lm/W. Bei konstanter Leuchtdichte der Lampenoberfläche kann die Lampenleistung von 58 W auf 50 W bzw. 36 W auf 32 W gesenkt werden.



EVG-Bauteile plus Lampe:

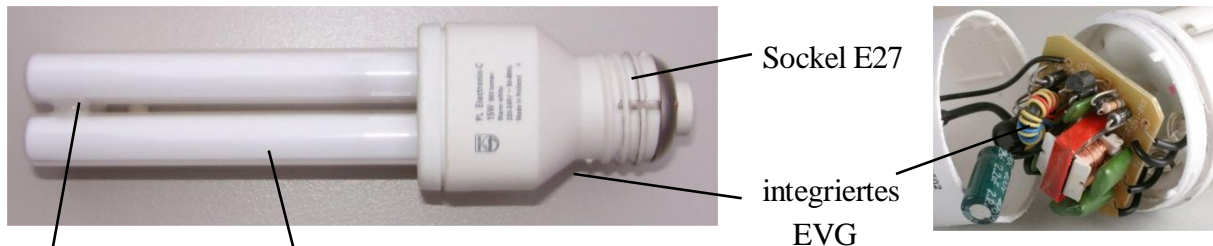
- Eingangsfiler, das die HF-Rückwirkungen auf das Netz verhindert und die elektronischen Bauteile gegen hohe Netzspannungsspitzen schützt,
- Gleichrichter, ungesteuerte B2-Schaltung,
- Siebung, für die Glättung der Gleichspannung mit Konstantspannungsregelung,
- Wechselrichter als HF-Generator für die hochfrequente Spannung mit Steuerelektronik und eventuell einer zusätzlichen Schaltung für die Lichtstromregelung,
- Strombegrenzung, meist mit einer kleinen Drosselspule,
- Lampenkreis mit Start- und Betriebsüberwachung; dieser gewährt einen schonenden und flackerfreien Start und einen einwandfreien Betrieb.

Vorteile elektronischer Vorschaltgeräte:

- geringere Leistungsaufnahme gegenüber konventionellem Betrieb,
- längere Lampenlebensdauer durch definierten Startbetrieb,
- geringerer Lichtstromrückgang während der Lebensdauer,
- Gleichstrombetrieb möglich, dadurch problemloser Einsatz für Notbetrieb,
- praktisch konstanter Lichtstrom im Spannungsbereich von 200 V bis 250 V (steigt weniger als 5 % an),
- keine Kompensation notwendig, da der Leistungsfaktor $\lambda \approx 0,95$ kapazitiv,
- flackerfreier Start, dadurch hoher Lichtkomfort; bei Ausführungen für Sofortstart entsteht ein Lebensdauerverlust,
- kein stroboskopischer Effekt, da praktisch keine Lichtstromwelligkeit,
- Sicherheitsabschaltung bei deaktivierten Lampen und damit kein Flackern der Lampen am Ende der Lebensdauer,
- automatische Wiedereinschaltung nach Lampenwechsel,
- geringe magnetische Störfelder,
- Energieersparnis gegenüber dem KVG bis 23 %.

Kompaktleuchtstofflampen

Kompaktleuchtstofflampen sind moderne Leuchtstofflampen kleiner Leistung, die nach den gleichen Gesetzen funktionieren wie die klassischen Leuchtstofflampen. Je nach Bauform wirken die ausgeprägten Ecken des gebogenen Rohrs oder die vorstehenden Rohre bei der Stegverbindung als Kühlstelle für die Gasfüllung. Die Temperatur dieser kühlfsten Stelle im Entladungssystem bestimmt den inneren Gasdruck und damit die Entladungseigenschaften, was schließlich Auswirkungen auf den Lichtstrom hat. Der Lichtstrom von Kompaktleuchtstofflampen ist abhängig von der Umgebungstemperatur und von der Brennlage.



Stegverbindung Entladungsstrecke mit Leuchtstoff

Aufbau und wichtige Bestandteile einer Kompaktleuchtstofflampe

Ausführungsformen von Kompaktleuchtstofflampen:

- Lampen mit Zwei-Stift-Sockel G 23 und G 24d mit eingebautem Starter (KVG-Betrieb, 5 W bis 26 W).
- Lampen mit Vier-Stift-Sockel 2G 7 und 24q ohne eingebauten Starter (EVG-Betrieb, 5 W bis 42 W).
- Lampen mit Vier-Stift-Sockel 2G 11 ohne eingebauten Starter (KVG- oder EVG-Betrieb, 18 W bis 55 W).

Kompaktleuchtstofflampen mit einschraubbarem Sockel:

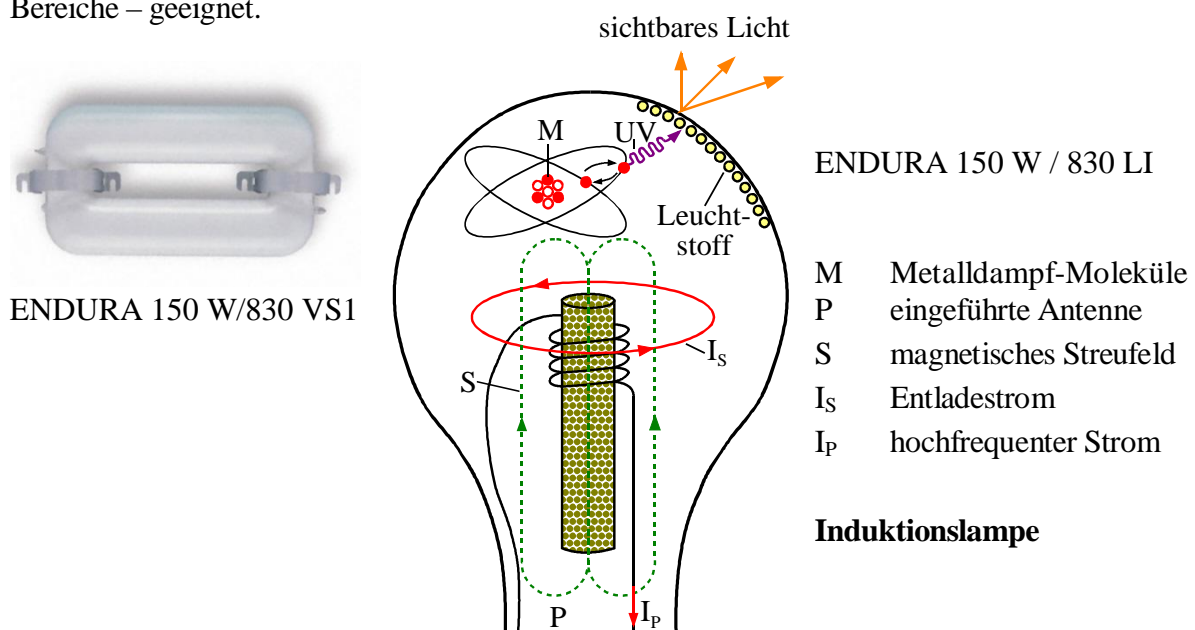
Moderne Bauformen werden mit den Sockeln E27 oder E14 und eingebautem EVG ausgeführt. Das Betriebsverhalten entspricht dem der klassischen Leuchtstofflampe mit EVG-Betrieb. Diese Lampen können anstelle bestehender Glühlampen im gewerblichen wie auch im privaten Bereich eingesetzt werden. Kompaktleuchtstofflampen mit einschraubbarem Sockel können nicht gedimmt werden. Ihr Vorteil im Vergleich zur Glühlampe sind nur 20 % der Wärmeentwicklung und die etwa zehnfache Lebensdauer der Glühlampe. Nach dem Einschalten liefern sie sofort Licht, das anfangs jedoch reduziert ist. Die Lichtfarbe und die Farbwiedergabeeigenschaft entsprechen praktisch denen der Glühlampe. Durch Hochfrequenzbetrieb tritt kein stroboskopischer Effekt auf. Die Lebensdauer der Kompaktleuchtstofflampen mit einschraubbarem Sockel wird im Schaltbetrieb praktisch nicht verkürzt, wenn die minimale Ausschaltzeit mehr als 2 min beträgt; es sind bis 500.000 Schaltungen möglich. Das Gewicht dieser Kompaktleuchtstofflampen ist gering.

Der Dampfdruck des Systems und damit der Lichtstrom sind von der Temperatur an der kühlfsten Stelle des Entladungsrohrs abhängig. Der maximale Lichtstrom wird erzielt, wenn die Temperatur an den Kühlzonen bei 55 °C liegt. Bei stehender Montage muss die Umgebungstemperatur $\vartheta_U \geq 0$ °C und bei hängender oder liegender Montage muss $\vartheta_U \geq 20$ °C sein, damit die optimalen Betriebsbedingungen erfüllt werden.

Induktionslampe

Die glühlampen- oder röhrenförmige Induktionslampe ist eine elektrodenlose Quecksilber-Niederdrucklampe. Sie funktioniert nur mit einem elektronischen Vorschaltgerät (EVG, HF-Generator $f = 2,6 \text{ MHz}$) und einer Antenne als Energiekoppler. Im Inneren der Lampe befindet sich die Empfangsantenne, deren magnetisches Streufeld das quecksilberhaltige Füllgas ionisiert und über atomare Wechselwirkungen innerhalb der Metaldampfmoleküle UV-Strahlung erzeugt, die in der Leuchtschicht in sichtbares Licht umgewandelt wird. Die System-Lichtausbeute beträgt 80 lm/W . Die extrem lange System-Lebensdauer wird mit 60.000 Stunden angegeben – hauptsächlich durch die Elektronik begrenzt, da weder Glühwendel noch Elektroden zum Betrieb nötig sind. Die Lampe lässt sich problemlos zwischen 0 und 100% dimmen.

Die Induktionslampe (Langlebensdauer-Lampe ENDURA der Fa. OSRAM, 70 W bis 150 W) mit flackerfreiem Sofortstart in $0,2 \text{ s}$ erreicht nach wenigen Sekunden bereits 80% ihres Nennlichtstromes. Die sofortige Wiederzündung mit annähernd voller Leistung ist möglich, wobei die Lebensdauer durch Schaltvorgänge praktisch nicht beeinflusst wird. Der Betrieb auch bei tiefen Temperaturen mit einer sicheren Zündung bei -30°C (rd. 90% Lichtstrom) und die Unempfindlichkeit gegen Spannungsschwankungen sind weitere Vorteile der Induktionslampe. Sie ist besonders für den Einsatz unter extremen Bedingungen - auch für explosionsgefährdete Bereiche – geeignet.

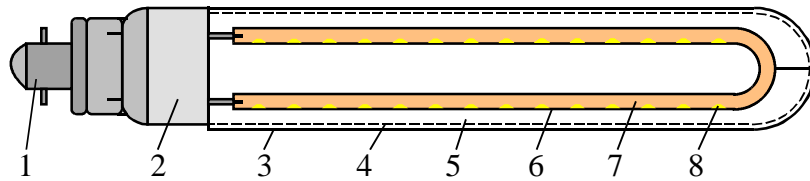


Natriumdampf-Niederdrucklampe

Natriumdampf-Niederdrucklampen haben mit bis zu 200 lm/W die höchste Lichtausbeute aller Lampen, was aus dem monochromatisch gelben Licht von 589 nm Wellenlänge in der Nähe der maximalen Hellempfindung resultiert. Alle Farben erscheinen gelb-orange, eine Farberkennung ist nicht möglich. Die Sehschärfe ist wegen der fehlenden chromatischen Aberration des Auges sehr hoch. Die Anwendung ist auf wenige Gebiete der Außenbeleuchtung beschränkt.

Die Lampe besteht aus einem U-förmigen Brenner aus natriumfestem Spezialglas, in dem sich das zur Lichterzeugung verwendete Natrium sowie eine Gasfüllung - vorwiegend Neon - befinden ($p \approx 0,1 \text{ Pa}$). Um die hohe Temperatur von 300°C zu erreichen, ist eine sehr gute Wärmeisolation notwendig. Deshalb ist der Außenkolben hoch evakuiert und er besitzt auf der Innenseite eine

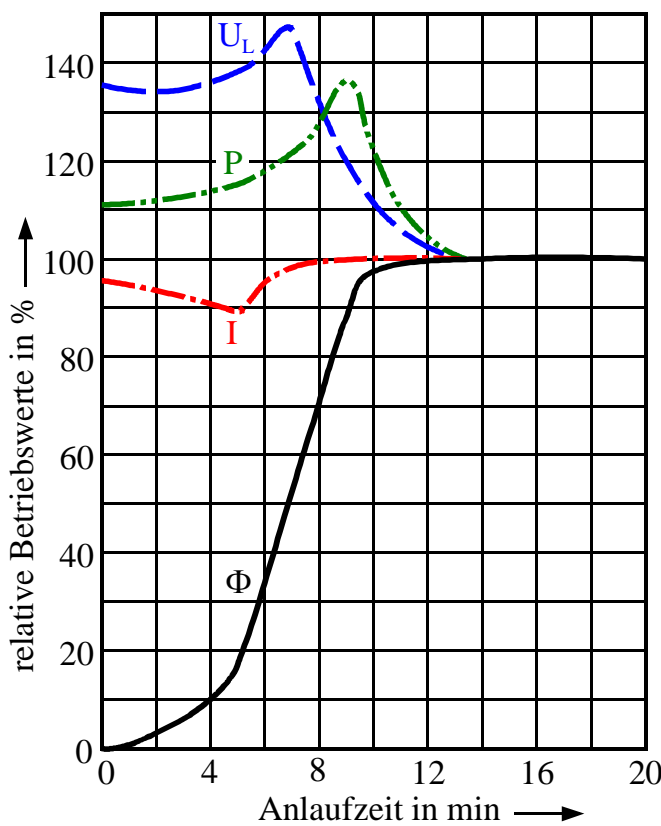
wärmereflektierende Schicht. Der Getter fängt auch letzte Spuren von Gasen ein und stellt so das Hochvakuum sicher.



- 1 - Sockel BY 22 ; 2 - Getter ; 3 - Außenkolben ; 4 - Infrarotreflektor ;
 5 - Vakuum ; 6 - Entladungsgefäß ; 7 - Gasfüllung (Neon) ; 8 - Natrium

Aufbau der Natriumdampf-Niederdrucklampe

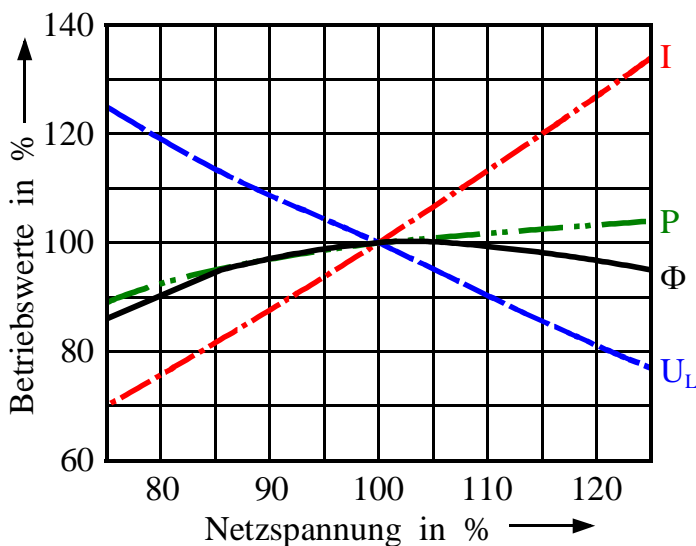
Nach dem Startvorgang erzeugt die Hilfsentladung mit Neon eine rötliche Farbe. Erst nach einer Einbrennzeit von 10 min bis 15 min ist das Natrium bei einer Temperatur von rd. 300 °C



vollständig verdampft, und die Lampe erreicht ihre lichttechnischen Nennwerte. Die IR-Beschichtung wirkt als Wärmeschutz. Zündung und Betrieb sind in einem weiten Temperaturbereich (-20 °C bis +80 °C) bei nahezu konstantem Lichtstrom möglich. Die mittlere Leuchtdichte der Lampe erreicht 10 cd/cm². Der Lichtstromrückgang während der Betriebszeit von 10.000 h beträgt nur 16 %.

- Φ Lichtstrom
 I Strom
 P Leistung
 U_L Lampenspannung

Startvorgang der Natriumdampf-Niederdrucklampe

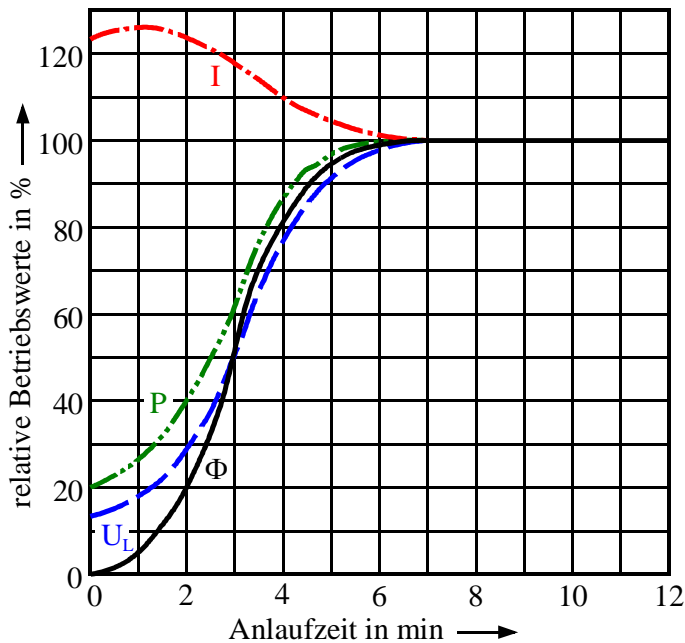


- Φ Lichtstrom
 I Strom
 P Leistung
 U_L Lampenspannung

Relative Betriebswerte der Natriumdampf-Niederdrucklampe als Funktion der Betriebsspannung

Anwendungen der Na-Hochdrucklampe sind:

Verkehrsbeleuchtung, Anstrahlungen, Schwerindustrie, Lagerräume (großer Temperaturbereich).



Na-Hochdrucklampen werden mit einem Vorschaltgerät (Drossel), einem Kompensationskondensator und teilweise zusätzlich mit einem speziellen Zündgerät betrieben. Der Lichtstrom geht nach 10000 h auf etwa 80 % zurück.

- Φ Lichtstrom
- I Strom
- P Leistung
- U_L Lampenspannung

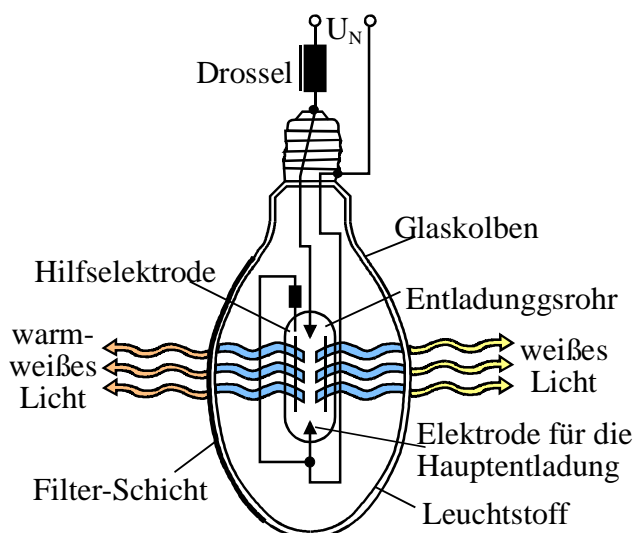
Relative Betriebswerte beim Startvorgang der Natrium-Hochdrucklampe

Für Akzentbeleuchtungen in Verkaufsräumen und Schaufenstern werden Spezialausführungen mit einer Farbtemperatur von 2500 K bis 3100 K und guten Farbwiedergabeeigenschaften angeboten. Die Lichtausbeute beträgt je nach Ausführung 37 lm/W bis 80 lm/W. Diese Lampen können nur mit speziellen EVG betrieben werden. Die Farbtemperaturumschaltung von 2600 K auf 3100 K per "Knopfdruck" schafft unterschiedliche Lichtstimmungen.

Natrium-Hochdrucklampen sind bedingt dimmbar (35 % - 100 %).

Quecksilberdampf-Hochdrucklampen

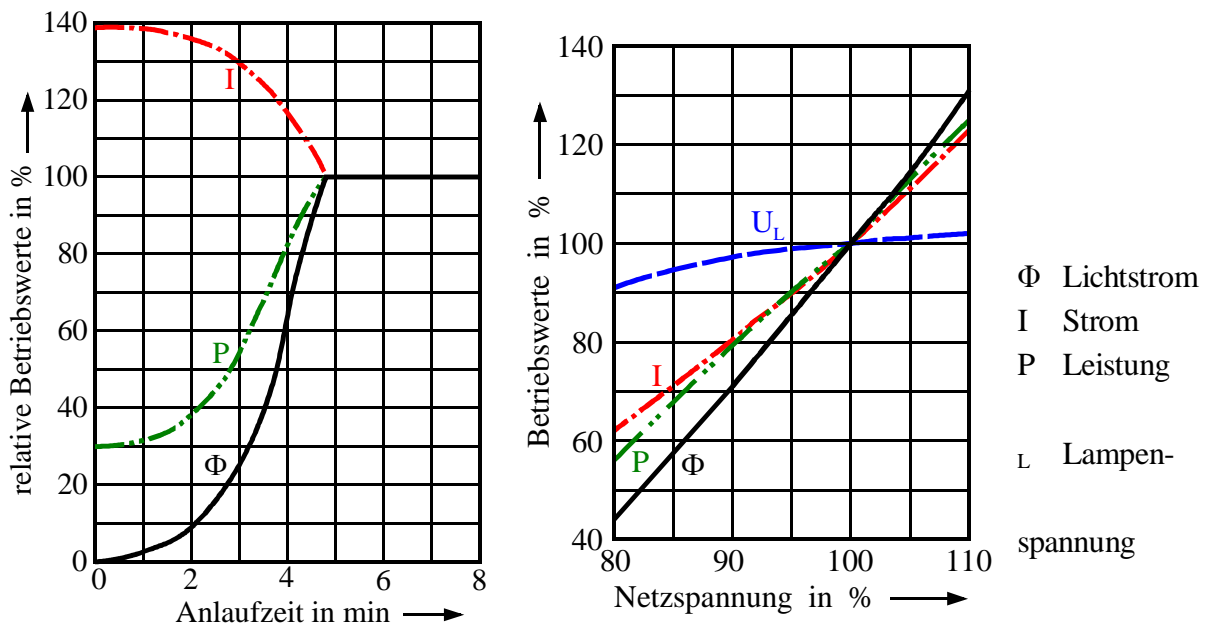
Das Entladungsröhre aus Quarzglas enthält Argon als Grundgas für den Aufbau der Entladung und als Füllgas Quecksilber für die Lichterzeugung. Während des Anlaufvorgangs verdampft das Quecksilber in ca. 4 min, wobei der Betriebsdruck auf 200 kPa bis 900 kPa ansteigt. Der Betriebsstrom wird durch eine Drosselspule begrenzt, so dass sich die Lampenspannung je nach Lampentyp zwischen 95 V und 154 V einstellt.



Das bläulich/weiße Licht der Hochdruck-Quecksilber-Entladung wird in der Filterschicht (Leuchtstoffschicht) auf eine Lichtfarbe zwischen neutralweiß nw mit 4200 K und warmweiß ww mit 2900 K umgewandelt. Die Leistungen reichen von 50 W bis 1000 W und die Lichtausbeuten liegen zwischen 32 lm/W bis 58 lm/W. Die Leuchtdichten betragen 4 cd/cm² bis 16 cd/cm².

Quecksilberdampf-Hochdrucklampe

Als Bauformen kommen vorwiegend die Ellipsoidform, die Pilzform mit Reflektor und die Kugelform zur Anwendung. Der Lichtstrom sinkt im Mittel nach 15000 h auf rd. 80 % ab.



Startvorgang und relative Betriebswerte der Quecksilber-Hochdrucklampe

Halogen-Metaldampf lampen

Sie sind eine Weiterentwicklung der Quecksilberdampf-Hochdrucklampen, wobei im Brennraum dem Quecksilber verschiedene Metallhalogenide beigemischt sind. Die hohe Lichtausbeute (bis 120 lm/W) und die sehr guten Farbwiedergabeeigenschaften sind die speziellen Merkmale. Mit Zusätzen wie:

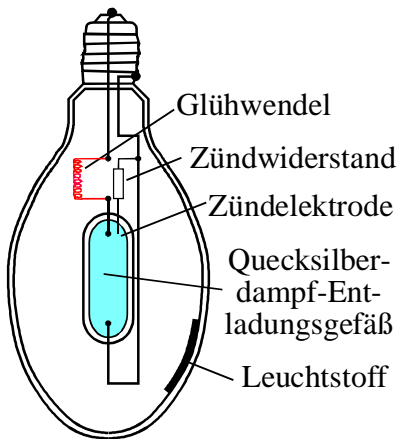
- Seltene Erden Vielwellenstrahler
- Zinn Sn Vielwellenstrahler
- Thallium Tl Grün
- Natrium Na Gelb
- Lithium Li Rot
- Indium In Blau

lässt sich ein breites Spektrum von Lichtfarben wie ww, nw und tw mit Farbtemperaturen von 3000 K bis 6000 K in den Farbwiedergabestufen 1 und 2 erzeugen.

Das Betriebsverhalten und die Schaltungen entsprechen den Quecksilberdampf-Hochdrucklampen, die Leuchtschicht kann entfallen, so dass Lampen mit Leuchtdichten bis 2000 cd/cm² erhältlich sind. Lampen mit Leistungen von 35 W bis 3500 W sind als Kompaktform (35 W - 150 W mit Sockel G 12), Röhrenkolben klar (250 W - 3500 W mit Sockel E 40), Ellipsoidkolben mit lichtstreuender Schicht (250 W - 400 W mit Sockel E 40) oder Pilzform mit Reflektor mit Sockel E 40 verfügbar.

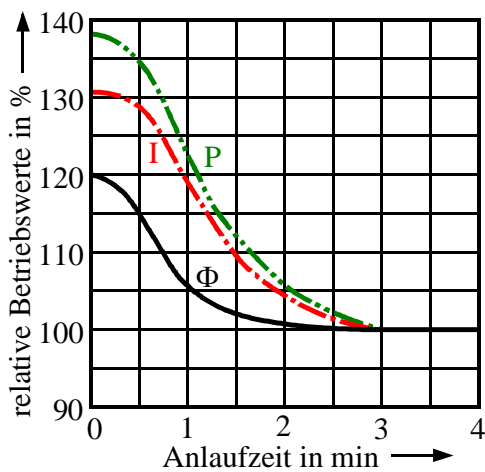
Mischlichtlampen

Mischlichtlampen sind eine Kombination aus Glühlampe und Quecksilberdampf-Hochdrucklampe in einem gemeinsamen Glaskolben. Die Glühwendel wirkt als Vorwiderstand und ist in

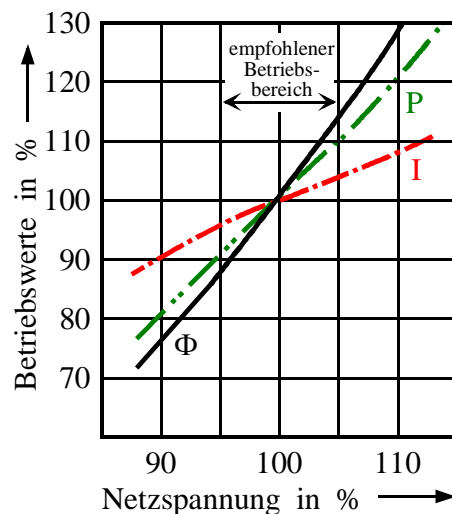


Serie mit dem Quecksilberdampfentladungsrohr geschaltet, womit kein Vorschaltgerät notwendig ist. Die Lampen mit mäßiger Farbwiedergabeeigenschaft, Lichtausbeute bis 28 lm/W und E27-Sockel können Glühlampen ersetzen. Nach dem Einschalten ist das Licht gelblich/rötlich (Glühwendel) und wird nach dem Einbrennen (2 min) bläulich/weiß. Die spannungsabhängige Lebensdauer beträgt bei Nennspannung 5000 h.

Schematischer Aufbau der Mischlichtlampe



Startvorgang der Mischlichtlampe



Relative Betriebswerte der Mischlichtlampe als Funktion der Betriebsspannung

3.5 Helligkeitssteuerung

Die Lichtstromregulierung wird heute vorwiegend mit elektronischen Steuergeräten realisiert. Bei Temperaturstrahlern findet meist die Phasenanschnittsteuerung (Dimmer) und bei Leuchtstofflampen und Hochdruckentladungslampen finden EVG für Dimmbetrieb Anwendung.

Gründe für die Lichtstromregulierung:

- Wirtschaftlichkeit
 - Reduktion der Energiekosten,
 - längere Lampenlebensdauer,
 - geringere Wartungskosten,
- Ökologie
 - geringerer Energieverbrauch,
 - Reduzierung der Umweltbelastung,
- Komfort
 - Beleuchtungsniveau kann man konstant halten,
 - gezielte Lichtinszenierung,
- Sicherheit
 - gezielte Adaption an verschiedene Beleuchtungsniveaus.

Die höheren Anlageninvestitionen müssen meist durch eine Wirtschaftlichkeitsanalyse vertretbar sein. Hierbei spielen neben der Energieeinsparung besonders die längere Lampenlebensdauer und die hiermit verbundenen längeren Wartungsintervalle eine entscheidende Rolle.

→ weniger Lampenentsorgung.

Dimmen von Glühlampen und Halogenglühlampen

Bei Glühlampen und Halogenglühlampen ist die Lichtstromabhängigkeit von der Spannung groß ($\Phi \sim U^{3,8}$). Deshalb reguliert man Glüh- und Halogenglühlampen mit einer variablen Spannung. Meist wird mit einem Wechselstromsteller durch Phasenanschnittsteuerung der Lichtstrom Φ zwischen 0 % bis 100 % eingestellt.

Im Dimmbetrieb sinkt die Farbtemperatur der Lampe, sie erscheint gelblich/rötlich. Bei Glühlampen steigt die Lebensdauer im Dimmbetrieb erheblich. Bei Halogenglühlampen kann sie ggf. sogar sinken, da der Halogenkreisprozess beim Dimmen unterbrochen werden kann. Bei Niedervolt-Halogenglühlampen mit Transformator wird wegen der großen sekundärseitigen Ströme der Wechselstromsteller primärseitig angeschlossen (induktive Last). Dieser Wechselstromsteller (Dimmer) muss für induktive Last geeignet sein.

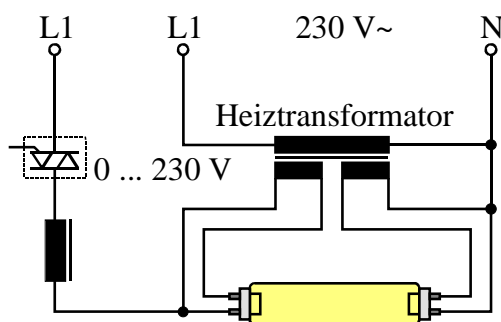
Niedervolt-Halogenglühlampen mit "Elektronik-Transformator" haben eine höhere Systemlichtausbeute. Der Dimmbetrieb wird hier mit der Phasenabschnittregelung realisiert. Bei Unterschreiten einer Mindestlast kommt es zu Flackererscheinungen.

Dimmer-Dimensionierung:

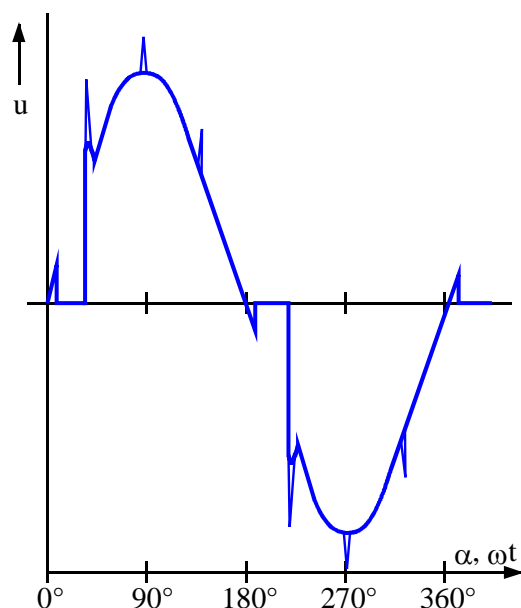
Die vom Hersteller geforderte Mindestlast muss eingehalten werden (Funktionssicherheit). Die Höchstlast darf nicht überschritten werden (Halbleiterschutz).

Dimmen von Leuchtstoff- und Kompakt-Leuchtstofflampen

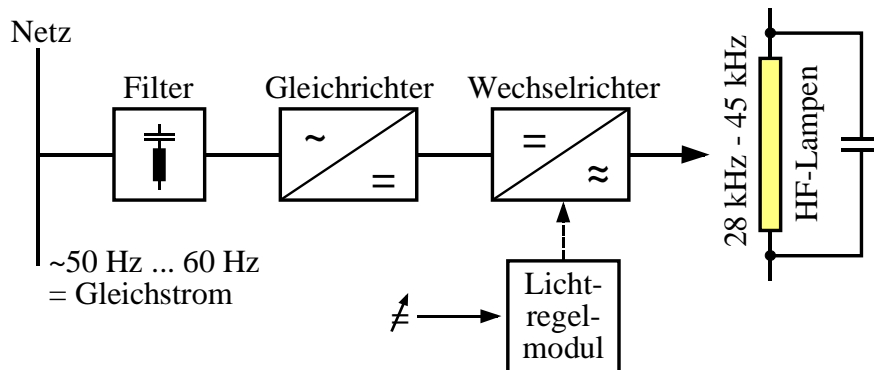
Leuchtstofflampen und Kompakt-Leuchtstofflampen mit 4-Stift-Anschluss sind dimmbar. Kompakt-Leuchtstofflampen mit 2-Stift-Anschluss oder mit EVG, E 27 sind nicht regelbar. Die konventionelle Methode wendet für die Regulierung von Leuchtstoff- und Kompakt-Leuchtstofflampen die Spannungsabsenkung zwischen den Elektroden mit Hilfe der Phasenanschnittsteuerung und überlagerten HF-Impulsen an. Die Elektroden müssen dauernd vorgeheizt werden. Die konventionelle Methode ermöglicht einen Regelbereich von 0 % bis 100 %. Die Lampenlebensdauer wird praktisch nicht beeinflusst. 100-Hz-Flimmern ist im unteren Regelbereich möglich.



Dimmen von Leuchtstofflampen mit der konventionellen Methode (50 Hz mit Phasenanschnittsteuerung)



Die vorteilhafte Betriebsweise beim Betrieb mit Hochfrequenz und elektronischen Vorschaltgeräten (EVG), wie flackerfreier Start, flimmerfrei, kein stroboskopischer Effekt, geringere Leistungsaufnahme und die höhere Lampenlebensdauer, bleibt in vollem Umfange auch beim Regulierbetrieb erhalten. Der Regulierbetrieb wird für Leuchtstofflampen von 1 % bis 100 % und für Kompakt-Leuchtstofflampen von 10 % bis 100 % angeboten. Die Regelung erfolgt über eine leistungslose Steuerleitung mit einem Potentiometer meist zwischen 1 V bis 10 V oder einen digitalen Steuerbus (EIB-Bus). Die Lichtstromregulierung erfolgt auf der Basis einer variablen Frequenz zwischen 28 kHz (Nennbetrieb) und 45 kHz (Dimmbetrieb).



Blockschaltbild eines regulierbaren EVG für das Dimmen von Leuchtstofflampen und Kompakt-Leuchtstofflampen

Dimmen von Hochdruck-Entladungslampen

(Natriumdampf-, Quecksilberdampf-Hochdrucklampe und Halogen-Metall dampflampe)

Die hohe Lichtausbeute, der große Lichtstrom, die kompakten Abmessungen, die lange Lebensdauer sowie die Farbtemperatur von etwa 3000 K der Hochdruck-Entladungslampen sind für Anwendungen in der Innenraumbeleuchtung bedeutend. Es ist zu beachten, dass die Hochdruck-Entladungslampen hinsichtlich der Brennerabmessungen und Elektroden für optimale Betriebsbedingungen bei Nennbetrieb ausgelegt sind. Bei der Lichtstromregulierung wird immer die Lampenleistung reduziert, was in jedem Falle eine Änderung der elektrischen Daten, aber auch der Temperatur und damit der Druckverhältnisse zur Folge hat. Da die Elektroden der Hochdruck-Entladungslampen nicht fremd beheizt werden können ist der Dimmbetrieb auf 50 % bis 100 % beschränkt. Im Dimmbetrieb sinkt die Lichtausbeute, die Farbwiedergabe verschlechtert sich und die Lampenlebensdauer erhöht sich. Der Dimmbetrieb wird relativ einfach mit der Phasenanschnittsteuerung (kontinuierlich) oder mit der Amplitudensteuerung (meist in Stufen) realisiert. Der Anlauf muss dabei immer mit Nennbedingungen erfolgen. Die Änderungen müssen langsam erfolgen, da sich der Dampfdruck entsprechend einstellen muss.

3.6 Leuchtdioden

Seit 1962 sind Leuchtdioden (LED) kommerziell als rote GaAsP-Lumineszenzdioden im Handel. Der Wirkungsgrad der ersten LED betrug nur $\eta \approx 0,1 \text{ lm/W}$. Isoelektronisches Dotieren von GaP und GaAsP mit Stickstoff führten 1971 zur Steigerung der Lichtausbeute auf $\eta \approx 1 \text{ lm/W}$; seitdem sind zusätzlich grüne, orangene und gelbe LED verfügbar. Anfang der 80er Jahre wurden hocheffektive rote AlGaAs-Lumineszenzdioden mit $\eta \approx 2,5 \text{ lm/W}$ entwickelt. All diese Leuchtdioden wurden vorwiegend als Anzeigelämpchen zur Darstellung von Ziffern und Buchstaben (7-Segment-System) verwendet. Für Lichtschranken und Fernbedienungen finden auch heute noch vorwiegend IR-LED Anwendung.

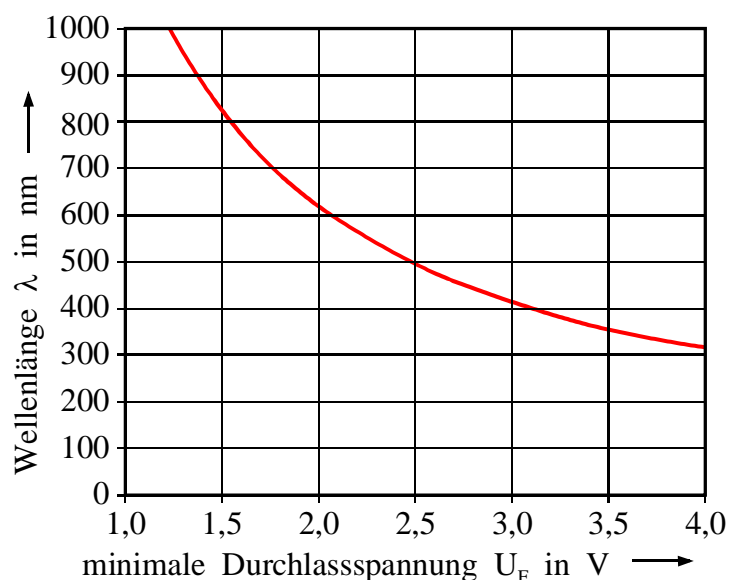
Anfang der 90er Jahre führten die AlInGaP-LED zu einer bedeutenden Steigerung im rotorangen bis gelben und grünen Spektralbereich mit $\eta \approx 10 \text{ lm/W}$. Eine Verdopplung der Lichtausbeute ergab das Ersetzen des GaAs-Substrates auf die lichtemittierenden pn-Schichten durch ein transparentes GaP-Substrat Mitte der 90er Jahre. Seit 2000 sind „Transparent-Substrat-Dioden“ (TS-AlInGaP) als Lumineszenzdioden mit $\eta \approx 40 \text{ lm/W}$ verfügbar. Heute sind Leuchtdioden mit $\eta = 100 \dots 150 \text{ lm/W}$ im Handel. Die Lichtausbeute beträgt damit rd. das 10fache der Glühlampen. Den Einzug in die klassische Beleuchtungstechnik haben die effektiven Leuchtdioden längst erreicht (KFZ, Ampelanlagen, Taschenlampen, allgemeine Beleuchtung als Ersatz für Glühlampen, Halogenglühlampen und Leuchtstofflampen). Weitere Steigerungen der Lichtausbeute sind das Hauptziel aktueller intensiver Forschungsarbeiten weltweit. Nach Angaben der Firma Cree wurden im Labor bei einer LED eine Lichtausbeute von $\eta = 303 \text{ lm/W}$ bei einer Farbtemperatur von $T_F = 5150 \text{ K}$ und einem Durchlassstrom $I_F = 350 \text{ mA}$ erreicht.

Wirkungsweise der LED:

Leuchtdioden werden auch "Licht emittierende Dioden" (LED, (Light Emitting Diodes) genannt. Sie bestehen aus Mischkristallhalbleitern wie Galliumarsenid (GaAs), Galliumarsenidphosphid (GaAsP), Galliumphosphid (GaP) und Indiumgalliumnitrid (InGaN). Sie wandeln elektrische Energie in Lichtenergie um.

Auf N-leitendes Grundmaterial lässt man eine rd. $1 \mu\text{m}$ dicke hochdotierte P-Zone aufwachsen.

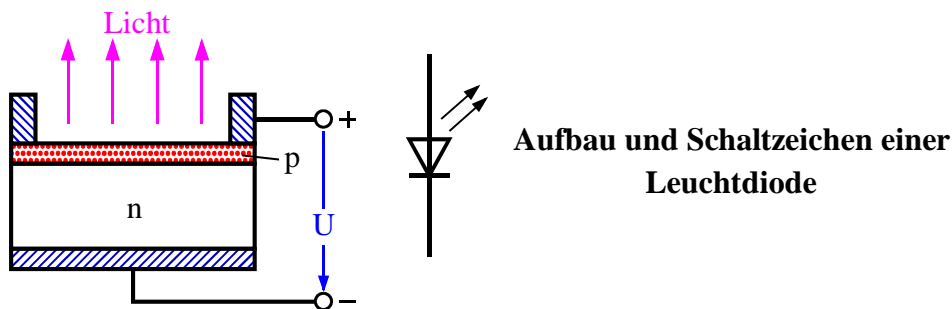
Die Diodenstrecke einer Leuchtdiode wird in Durchlassrichtung betrieben. Bei anliegender Spannung wandern die Elektronen von der N-Zone in die P-Zone. Dort kommt es zu häufigen Rekombinationen. Bei jeder Rekombination wird Energie in Form von Licht freigesetzt. Die Wellenlänge λ und damit die Leuchtfarbe ist im Wesentlichen abhängig vom Bandenabstand des Halbleitermaterials (ΔW).



LED-Leuchtfarbe \longleftrightarrow Durchlassspannung

$$\lambda = \frac{h \cdot c}{\Delta W} \quad \text{mit } h = 6,624 \cdot 10^{-34} \text{ Js}^2 \quad \text{und } c = 2,998 \cdot 10^8 \text{ m/s} \quad (3.7)$$

Es gibt rot-, gelb-, grün- und blaustrahlende LED's.



Die Lichtstärke wächst proportional mit der Stromstärke. Leuchtdioden reagieren fast trägheitslos. Eine Modulation des Lichtstrahls bis in den Megahertzbereich hinein ist möglich.

Verschiedenfarbige LED sind aus verschiedenen Materialien hergestellt.

Da praktisch keine Energie in Form von Wärme und UV-Strahlung abgegeben wird, sind LED weitaus effizienter als Glühlampen. Bei sehr niedriger Temperatur ist die Lichtausbeute im Übrigen wesentlich höher als bei Normaltemperatur. Die Lebensdauer beträgt bis 100 000 h.

Weiße LED:

Um weißes Licht zu erzeugen, werden vorwiegend blaue LEDs (ca. 470 nm) mit speziellen Lumineszenzkappen versehen, welche das blaue Licht größtenteils in weißes Licht umwandeln. Aufgrund der Sensibilität des menschlichen Auges ($V(\lambda)$ -Kurve) für den Gelb/Grünbereich nimmt der Lichtstrom hierdurch auf das Zweieinhalbfache zu. Die Dicke der Lumineszenzkappe ist für den Farbton entscheidend. Wenn sie zu dick ist, entsteht ein Gelbstich, ist sie zu dünn ein Blaustich. Da die Kappe zum Rand hin dünner wird, ist das Licht in den Randzonen stets etwas bläulich. Bei teuren LED werden nur Chips verwendet, deren Farbton in einem sehr engen Toleranzbereich liegt - nur dann ist es möglich, Art und Dicke der Lumineszenzschicht genau anzupassen. Die Farbtemperatur liegt zwischen 2700 K und 8000 K. Der Farbwiedergabewert liegt bei maximal $R_a = 94$. Durch Kombination verschiedener LED kann die Farbwiedergabestufe verbessert werden. LED verändern ihre Farbe beim Dimmen nicht. LEDs werden in verschiedenen Durchmessern (3 - 13,5 mm) angeboten. Das Licht wird immer nur in eine Richtung abgegeben. Es steht eine große Zahl von Abstrahlwinkeln zur Verfügung, von sehr stark gebündeltem Licht (Laserklasse 1, bekannt vom Laserpointer) bis breitstrahlende LED ($20^\circ - 120^\circ$).

Ähnlich wie bei Halogenlampen sind auch LED mit Reflektorgehäusen erhältlich. Neuentwickelte LED besitzen z.T. enorme Lichtstärken bis 150 Candela. Inzwischen sind LED selbst mit Schraubsockeln erhältlich.

Vor- und Nachteile von LED

Wirtschaftliche Vorteile:

- geringer Energieverbrauch,
- geringe Wärmeentwicklung → Reduzierung der Klimatisierungskosten,
- nahezu unbegrenzte Lebensdauer der Lampe → keine Wartungskosten,
- geringere Transport- Entsorgungskosten.

Design-Vorteile:

- kleine Bauform, miniaturisierte SMD-Ausführungen,
- Einbau in herkömmlichen Leuchten aber auch neues, feinstrukturiertes Design,
- individuelle Formbarkeit des Leuchtmittels durch unterschiedliche Anordnung der LED,
- Dimmen ist ohne Änderung der Lichttemperatur möglich,
- Lichtfarbe ist regelbar (bei Verwendung verschiedenfarbiger LED).

Technische Vorteile:

- stoß- und vibrationsfest (Fahrzeugtechnik),
- kann nicht implodieren,
- plötzlicher Ausfall ist unwahrscheinlich,
- präzise Lichtlenkung ohne zusätzlichen Reflektor durch LED mit definiertem Abstrahlwinkel,
- gute Blendungsbegrenzung,
- brummfrei,
- keine UV- und keine IR-Strahlung (Wärme),
- keine Lampenfassungen erforderlich,
- Sicherheit durch Schutzkleinspannung,
- praktisch trägheitslos, schalt- oder modulierbar,
- gute Farbwiedergabeeigenschaften bei RGB Mischung.

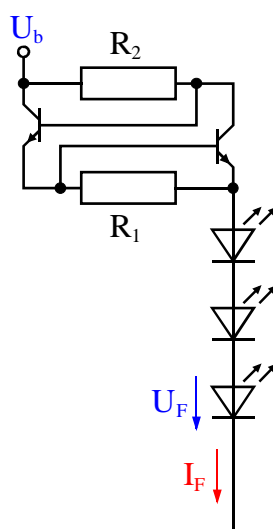
Wirtschaftliche Nachteile:

- der angestrebte Wirkungsgrad (Effizienz) ist noch nicht erreicht,
- geringere Lebensdauer bei High-Brightness-LED,
- große Zahl von LED nötig, um Leuchtstärke konventioneller Leuchtmittel zu erreichen,
- Entwicklungskosten der Platinen.

Technische Nachteile:

- Effizienz und Lichtfarbe ist mehr oder weniger temperaturabhängig,
- Lebensdauer ist kritisch zu bewerten,
- LED müssen farblich selektiert werden um homogene Farben zu erlangen,
- Vorschaltgeräte notwendig.

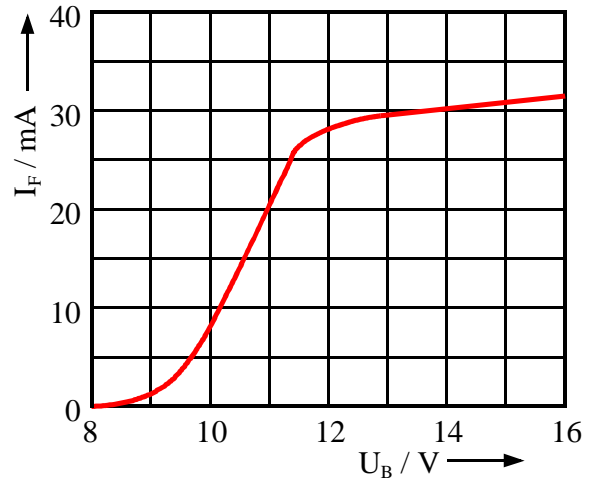
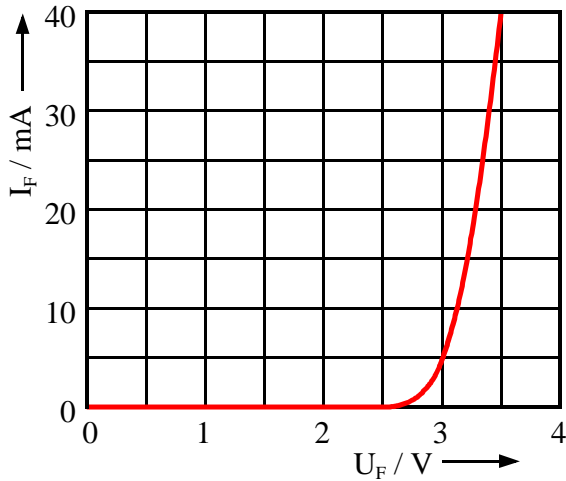
Einfache Stromversorgungs-Schaltung für Leuchtdioden



Soll die Lichtstärke der Leuchtdiode konstant sein, so muss der Vorwärtsstrom der Leuchtdiode unabhängig von der Spannung auf einen konstant Wert gehalten werden. Eine einfache Konstantstromquelle kann typische Spannungsschwankungen (z.B. im KFZ-Betrieb) ausregeln.

Für eine Batteriespannung 12 V ... 14,4 V kann für einen Vorwärtsstrom $I_F \approx 30$ mA (Nennwert der superhellen weißen LED mit der Farbtemperatur 6900 K) der Widerstand $R_1 = 22 \Omega$ und der Widerstand $R_2 = 3,3$ k Ω gewählt werden.

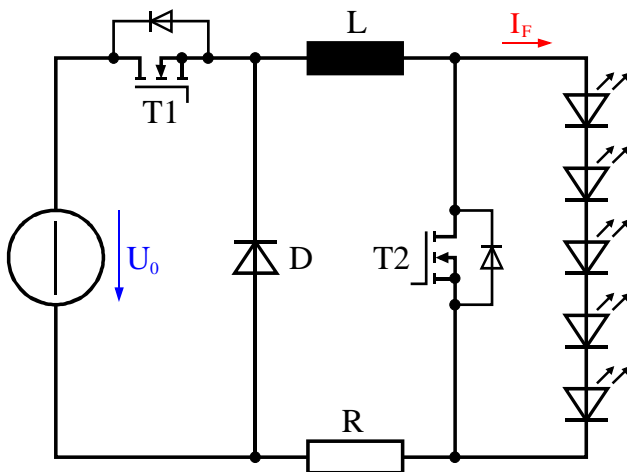
Einfache Konstantstromquelle für den KFZ-Betrieb



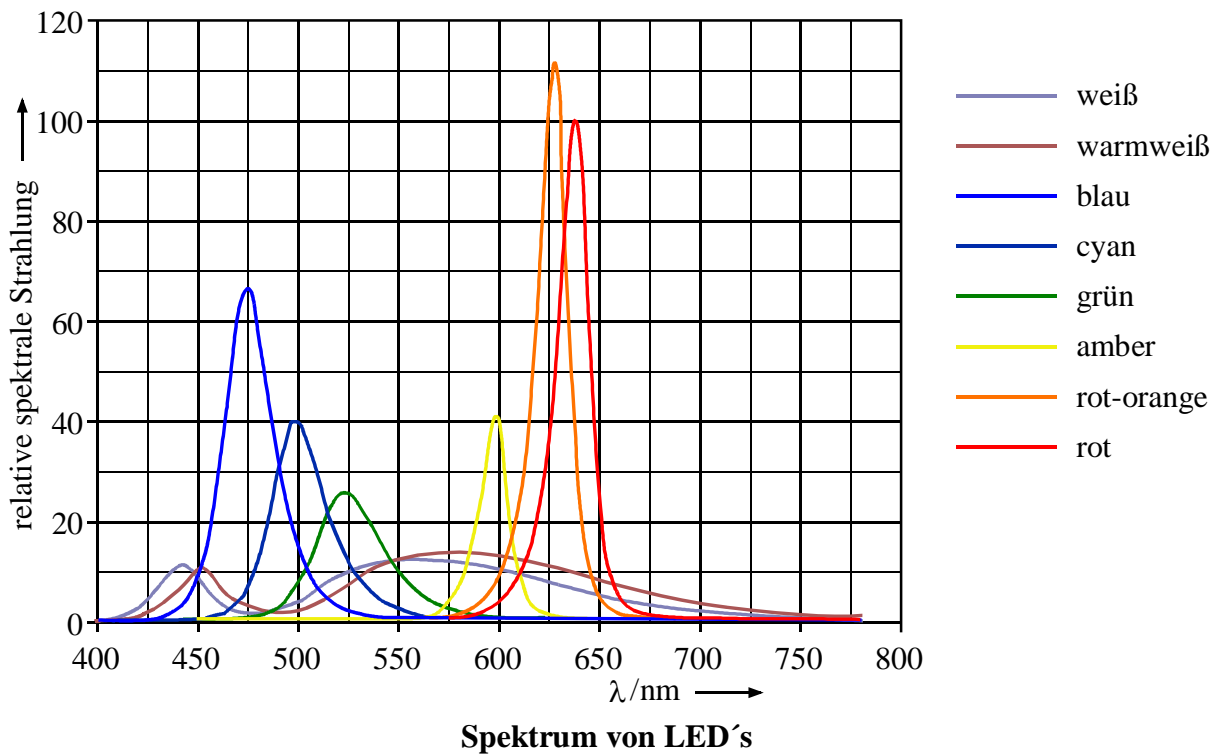
Vorwärtskennlinie $I_F = f\{U_F\}$ einer weißen Leuchtdiode und der Vorwärtsstrom von 3 Leuchtdioden $I_F = f\{U_B\}$ mit einfacher Konstantstromquelle für den KFZ-Betrieb

In der Industrie ist die 24-V-Gleichspannungsebene weit verbreitet. Leistungsstarke Schaltnetzteile mit Nennströmen bis 20 A stellen eine Gleichspannung $U_0 = 24\text{ V} \dots 30\text{ V}$ zur Verfügung. Mit einem Schaltregler kann die Reihenschaltung von mehreren Leuchtdioden an einem 24-V-Netzteil mit Dimmfunktion betrieben werden. Der FET T1 regelt vorzugsweise mit einer einfachen Zweipunktregelung den Strom. Die Stromschwankungsbreite sollte dabei kleiner als 10% des Stromwertes sein. Der Spannungsfall am Widerstand R ist proportional dem LED-Strom I_F ; er sollte zur Vermeidung unnötiger Verluste unter $1\ \Omega$ liegen. Der FET

T2 wird zum Dimmen mit einem PWM-Signal zwischen 0 und 100% angesteuert. Werden mindestens drei solcher Schaltungen mit verschiedenen farbigen LED's betrieben, so entsteht ein LED-Cluster, das beliebige Farbmischungen zulässt. Es kann beispielsweise weißes Licht mit unterschiedlicher Farbtemperatur T_f bei einem hohen Farbwiedergabeindex R_a realisieren.



Schaltung für Hochleistungs-Leuchtdioden mit $I_F = 350 \dots 700\text{ mA}$



Hochleistungs-Leuchtdioden sind als weiße mit zwei Farbtemperaturen und als farbige mit 6 Farben im Handel erhältlich. Das Spektrum der einzelnen LED's wurde auf das Maximum der roten LED's mit dem Wert 100 bezogen. Je Farbe wurden 5 Leuchtdioden in Reihe geschaltet und ein Diodenstrom $I_F = 600 \text{ mA}$ eingepreßt.

Im Rahmen eines LED-Projektes wurden 6 Ansteuerschaltungen für Hochleistungs-Leuchtdioden mit je fünf LED's in Reihenschaltung zu einem LED-Cluster realisiert, so dass 6 Kanäle beliebig gemischt werden können.

Kanal 1: 5 LED weiß

Kanal 2: 5 LED warmweiß

Kanal 3: 2 LED blau + 3 LED cyan

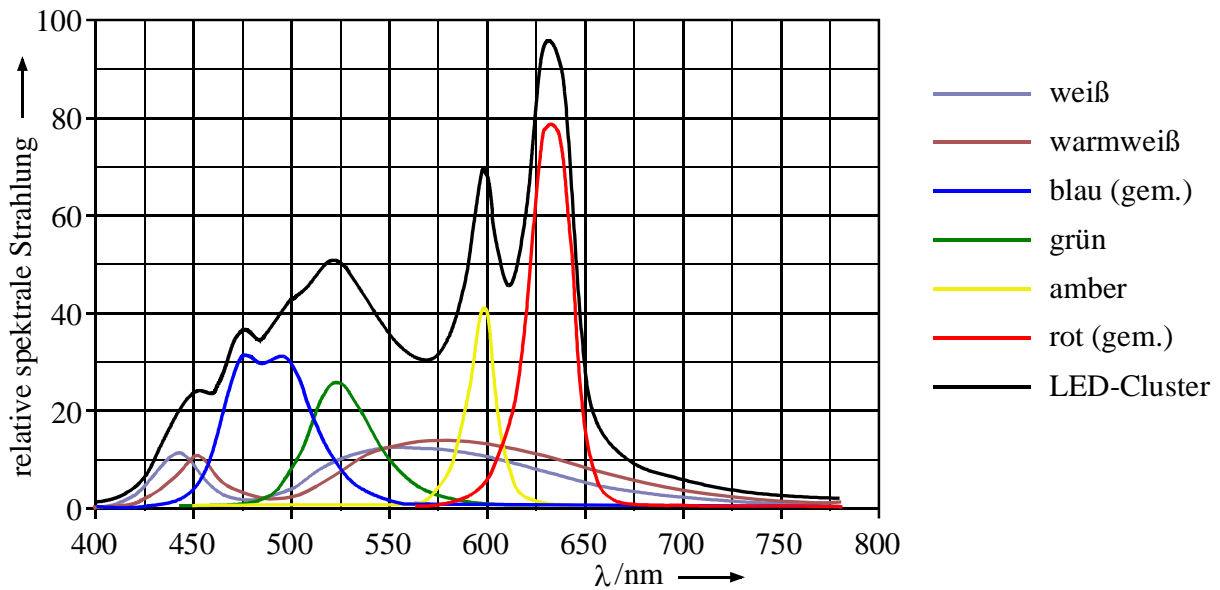
Kanal 4: 5 LED grün

Kanal 5: 5 LED amber

Kanal 6: 2 LED orange-rot + 3 LED rot

Das Spektrum des LED-Clusters und die additive 100%-Mischung aller Kanäle zeigt das folgende Spektrum. Der Bezugswert des vorherigen Spektrums wurde übernommen.

Bei den einzelnen LED-Kanälen kann durch Handsteuerung der Leuchtdiodenstrom I_F zwischen 250 mA und 750 mA und die Pulsdauer zwischen 0 und 100% frei eingestellt werden, so dass farbiges oder weißes Mischlicht in nahezu beliebiger Zusammenstellung erzeugt wird. Da das Spektrum einer Leuchtdiode vom Strom I_F abhängig ist, wurden im Labor alle Messungen bei $I_F = 600 \text{ mA}$ durchgeführt. Weißes Mischlicht kann im Automatikbetrieb mit beliebiger Farbtemperatur T_f in 100-K-Schritten gewählt werden. Das Mischlicht mit hohem Farbwiedergabeindex R_a wird berechnet und der R_a -Wert wird angezeigt.



Spektrum der einzelnen LED-Kanäle und des LED-Clusters (alle Kanäle 100%)

Weißes Licht mit einer Farbtemperatur zwischen 3000 K und 6000 K kann auch in 500-K-Schritten direkt angewählt werden. Die im Programm hinterlegten Werte ermöglichen eine besonders gute Farbwiedergabe. Das LED-Mischlicht kommt dem Licht von Temperaturstrahlern sehr nahe.

Inzwischen hat die LED einen festen Platz in der Beleuchtungstechnik erreicht. Hochleistungs-Leuchtdioden mit einer Lichtausbeute von $\eta \approx 100 \text{ lm/W}$ und bei der weißen LED werden in der Zukunft die Temperaturstrahler wegen der besseren Effizienz und die Kompaktleuchtstofflampe wegen des deutlich besseren Farbwiedergabeindex ablösen.

LED-Lampen:

Inzwischen sind LED-Lampen in allen gängigen Lampenfassungen im Handel. LED-Lampen mit der Lampenfassung E14 und E27 können die normale Glühlampe oder eine entsprechende Kompaktleuchtstofflampe ersetzen. LED-Lampen mit der Lampenfassung GU10 sind ein Ersatz für 230-V-Halogenlampen mit definiertem Abstrahlwinkel. Das elektronische Vorschaltgerät ist jeweils in die Lampe integriert. Die Lichtausbeute beträgt bei der Kompaktleuchtstofflampe $\eta \approx 50 \text{ lm/W}$ und bei der LED-Lampe $\eta \approx 100 \text{ lm/W}$. Gegenüber der Glühlampe mit $\eta \approx 12 \text{ lm/W}$ und der Halogenglühlampe mit $\eta \approx 15 \text{ lm/W}$ ist die Lichtausbeute der LED-Lampe deutlich höher. Der Klirrfaktor des Stromes k_i und der Leistungsfaktor λ von der Kompaktleuchtstofflampe sind schlecht und von der LED-Lampe mäßig (Tendenz besser). Der Farbwiedergabeindex ist bei LED-Lampen mit $R_a > 80$ in-

zwischen besser als bei Kompaktleuchtstofflampen.



Lampen mit der Lampenfassung E27

60-W-Glühlampe (links)

5,6-W-LED-Lampe (Bildmitte)

11-W-Kompaktleuchtstofflampe (rechts)

Bei neueren LED-Lampen steigt die gute Lichtausbeute noch an und der Klirrfaktor des Stromes und der Leistungsfaktor erreichen akzeptable Werte. Das Spektrum der LED-Lampen ist wie das Spektrum der Glühlampe kontinuierlich und für eine gute Farbwiedergabe dem weitgehend linienförmigen Spektrum der Kompaktleuchtstofflampe deutlich überlegen. LED-Lampen mit $R > 95$ sind bereits im Handel.



9-W-LED-Lampe mit der Lampenfassung E27 und $\Phi \approx 800 \text{ lm}$, $T_F = 2700 \text{ K}$

Mit und ohne Kunststoffkolben (links). 16 Hochleistungs-Leuchtdioden und die SMD-Bauteile des elektronischen Vorschaltgerätes sind auf einer Platine angebracht; die wenigen bedrahteten Bauteile (ein Vorwiderstand und ein Glättungskondensator) befinden sich im Kühlkörper zwischen der Platine und der Lampenfassung (rechts).

Für 12-V-Halogenglühlampen werden LED-Lampen mit der Lampenfassung GU5.3 angeboten. Ein spezielles Netzteil für LED-Lampen sollte verwendet werden.

Heute werden LED-Lampen mit den Fassungen E27, E14 und GU10 auch in dimmbarer Ausführung angeboten, so dass mit geeigneten Dimmern die Lichtszene kontinuierlich von 100% bis 5% eingestellt werden kann. Die Lichtausbeute η ist bei Nennbetrieb meistens etwas geringer als bei vergleichbaren nicht dimmbaren LED-Lampen. Die Farbtemperatur T_F verändert sich beim Dimmen kaum messbar; die Lichtausbeute η sinkt beim Dimmen deutlich.

Bei neueren SceneSwitch-LED-Lampen kann die Lichtszene mit normalen Ein-/Ausaltern über die integrierte Lampenlektronik beeinflusst werden. So kann nach Herstellerangaben die Farbtemperatur von 2700 K auf 4000 K bzw. die Helligkeit von 100% auf 40% und 10% durch schnelles Aus-/Einschalten verändert werden.



SceneSwitch-LED-Lampen mit der Lampenfassung E27 und einem Nennlichtstrom $\Phi_N = 806 \text{ lm}$

Herstellerangaben

links: $P = 9,5 \text{ W}$, $I = 100 \text{ mA}$

$T_F = 2700 \text{ K}$ und 4000 K

rechts: $P = 8 \text{ W}$, $I = 100 \text{ mA}$

100% bei $T_F = 2700 \text{ K}$

40% bei $T_F = 2500 \text{ K}$

10% bei $T_F = 2200 \text{ K}$

Labormessungen bei 230 V:

SceneSwitch-LED-Lampe 2 colour settings:

Warm: $P = 10,16 \text{ W}$; $I = 78,5 \text{ mA}$; $\Phi = 825 \text{ lm}$; $T_F = 2610 \text{ K}$; $R_a = 80,4$; $\eta = 81 \text{ lm/W}$

Kalt: $P = 10,16 \text{ W}$; $I = 78,5 \text{ mA}$; $\Phi = 895 \text{ lm}$; $T_F = 3780 \text{ K}$; $R_a = 82,0$; $\eta = 88 \text{ lm/W}$

SceneSwitch-LED-Lampe 3 light settings:

100%: $P = 8,04 \text{ W}$; $I = 64,5 \text{ mA}$; $\Phi = 855 \text{ lm}$; $T_F = 2680 \text{ K}$; $R_a = 82,1$; $\eta = 106 \text{ lm/W}$

40%: $P = 4,38 \text{ W}$; $I = 35,3 \text{ mA}$; $\Phi = 295 \text{ lm}$; $T_F = 2430 \text{ K}$; $R_a = 81,4$; $\eta = 67 \text{ lm/W}$

10%: $P = 2,05 \text{ W}$; $I = 16,0 \text{ mA}$; $\Phi = 56 \text{ lm}$; $T_F = 1820 \text{ K}$; $R_a = 66,1$; $\eta = 27 \text{ lm/W}$



LED-Lampe mit den 3 Lichtszenen von rechts nach links 100%, 40% und 10%

Neuen Lichtkomfort bietet eine Sensor-LED-Lampe, die wie eine normale E27-Lampe aussieht. Der integrierte HF-Sensor erfasst Bewegungen in der Umgebung – auch durch Glas oder Holz hindurch – und schaltet bei Dunkelheit unter 10 lx die Lampe ein. Wird nach 3 Minuten keine weitere Bewegung erfasst, schaltet sich die LED-Lampe ebenso automatisch wieder ab. Sie kann auch in geschlossenen Leuchten mit E27-Fassung verwendet werden. Die technischen Daten der 9-W-LED-Lampe: $\Phi = 720 \text{ lm}$, $T_F = 2700 \text{ K}$, $R_a = 80$. Im Stand-by-Betrieb beträgt die Leistungsaufnahme 0,5 W.

Für Langfeldleuchten mit herkömmlichen Leuchtstofflampen stehen LED-Röhren mit der Lampenfassung G13 in den Längen 600 mm, 1200 mm und 1500 mm mit verschiedenen Farbtemperaturen (3000 K, 4000 K und 6000 K) als Ersatz zur Verfügung. Das Vorschaltgerät mit großer Spannungstoleranz (80 V bis 250 V) ist in das Lampenrohr, das halbseitig einen Aluminiumspiegel aufnimmt, integriert. Der Lichtstrom wird so in nur einen Halbraum abgegeben.

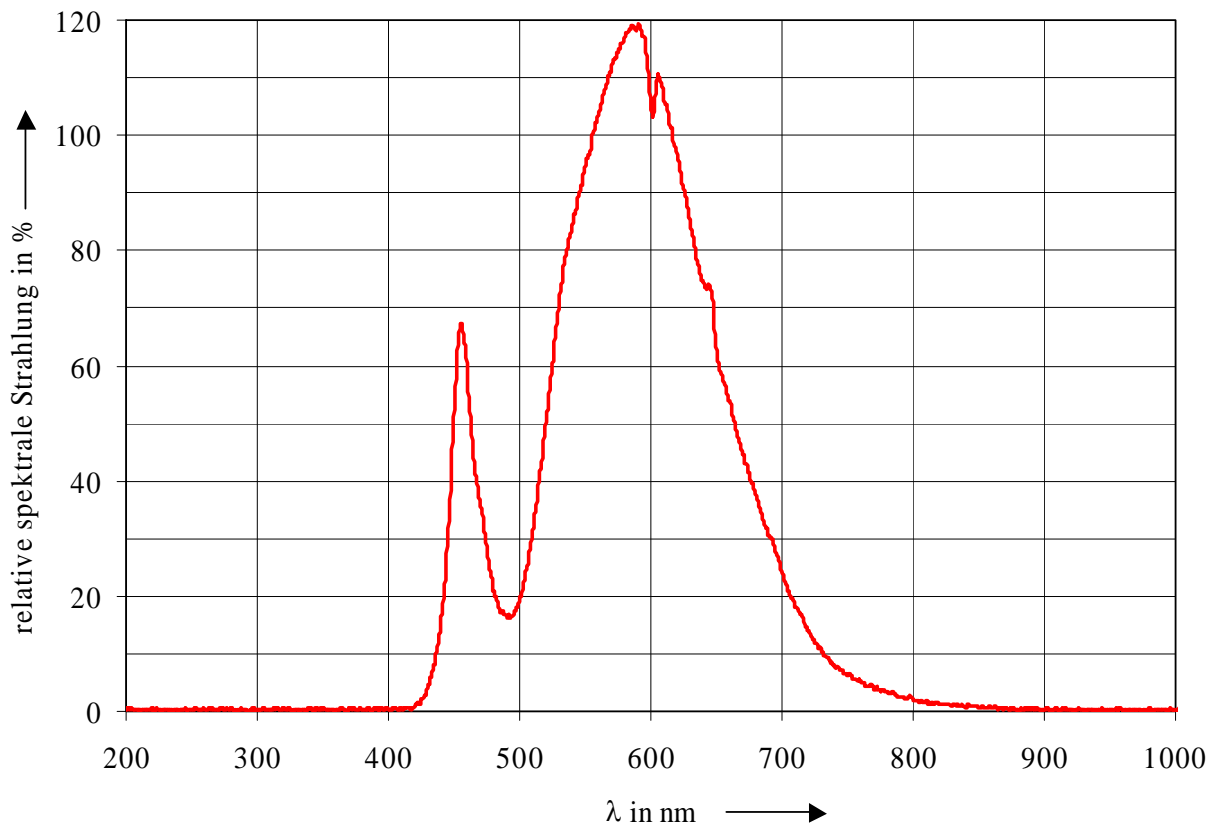


10-W-LED-T8-Röhre mit der Lampenfassung G13 (600 mm)

Im Rahmen einer Vergleichsmessung wurde eine 20-W-LED-T8-Röhre (1200 mm) mit der Farbtemperatur 3000 K und eine Leuchtstofflampe Osram L 36 W/32-930 mit elektronischem Vorschaltgerät in eine Spiegelrasterleuchte nacheinander eingebaut. Jeweils wurden die elektrischen und lichttechnischen Daten bei 230-V-Netzspannung gemessen. An 9 ausgewählten Messpunkten in der Bezugsebene wurden jeweils die Beleuchtungsstärke und die Farbtemperatur gemessen.

Bei der Netzspannung 230 V beträgt die aufgenommene Wirkleistung der Spiegelerleuchte 35,7 W bei einer Leuchtstofflampe mit EVG, 47,7 W bei einer Leuchtstofflampe mit KVG und 18,3 W bei einer 20-W-LED-Röhre. Der Lichtstrom geht aber nur von 100% bei der Leuchtstofflampe mit KVG auf 99% bei der Leuchtstofflampe mit EVG und 75% bei einer 20-W-LED-Röhre zurück, so dass die Effizienz durch das elektronische Vorschaltgerät um rd. 30% und mit der LED-Röhre um fast 90% steigt.

Die Farbtemperatur der Leuchtstofflampe liegt knapp unter 3000 K; bei der LED-Röhre wurden rd. 3200 K gemessen. Durch das kontinuierliche Spektrum der weißen LED ist die Farbwiedergabe bei der LED-Röhre sehr gut.



Spektrum einer 20-W-LED-Röhre mit der Farbtemperatur $T_F \approx 3000$ K

Die LED-Röhre nimmt im Bereich von 140 V bis 250 V eine konstante Leistung auf; entsprechend ist der Lichtstrom hier auch konstant. Zwischen 140 V und 80 V sinken die elektrische Leistung und der Lichtstrom auf etwa die Hälfte ab. Gegenüber konventionellen Leuchtmitteln ist die deutlich längere Lebensdauer von rd. 50.000 Betriebsstunden ein großer Vorteil der LED-Technik.

Die LED-Röhren sind vor allem für Industriebetriebe interessant. Aber auch im Privathaushalt ist das Sparpotenzial enorm. Wartungskosten bzw. Austausch sind durch die lange Laufzeit praktisch vernachlässigbar. Die LED-Röhren sind im Büro genauso einsetzbar wie in der Lagerhalle, im Haushalt genauso wie im Außenbereich. Die Röhren sind in genormten Längen erhältlich und entsprechend einfach zu verbauen. Der Austausch der bisher verwendeten Leuchtstofflampen ist also problemlos möglich.