**Raphaele Küng - Tamara Döllinger - Mathias Eberharter**

**3 AUL ÖSQM 2010/2001**

**Vergleich** zwischen:

Glühbirne

Energiesparlampe und

LED

 **LICHT INS DUNKEL**

**Inhaltsverzeichnis:**

[Vorwort 2](#_Toc282383726)

[Was ist eine Glühlampe? 2](#_Toc282383727)

[Prinzip der Funktion 2](#_Toc282383729)

[Aufbau 2](#_Toc282383730)

[Vorteile 2](#_Toc282383731)

[Nachteile 2](#_Toc282383732)

[ Die Lebensdauer der Glühbirne ist mit ca. 1000 Stunden vergleichsweise zu neueren Lichtquellen gering. Bei einer höheren Temperatur des Drahtes verbessert sich zwar die Lichtausbeute, jedoch sinkt die Lebensdauer drastisch, da der Wolframdraht schneller verdampft. 2](#_Toc282383733)

[Fazit 2](#_Toc282383734)

[Halogenlampen 2](#_Toc282383735)

[Prinzip der Funktion 2](#_Toc282383737)

[Aufbau 2](#_Toc282383738)

[Vorteile 2](#_Toc282383739)

[Nachteile 2](#_Toc282383740)

[Fazit 2](#_Toc282383741)

[Lichtausbeute 2](#_Toc282383742)

[Lichtspektrum und Farbtemperatur 2](#_Toc282383743)

[Anwendungsbereich: 2](#_Toc282383744)

[Lebensdauer 2](#_Toc282383745)

[Lange Lebensdauer – gute Lichtausbeute 2](#_Toc282383746)

[Sig-Lampen: 2](#_Toc282383747)

[Geschichte der Glühlampe 2](#_Toc282383748)

[Was ist eine Energiesparlampe? 2](#_Toc282383749)

[Kompaktleuchtstofflampen: 2](#_Toc282383750)

[Können Energiesparlampen überall eingesetzt werden? 2](#_Toc282383751)

[Sind Energiesparlampen denn teuer? 2](#_Toc282383752)

[Schadet häufiges Ein- und Ausschalten den Energiesparlampe? 2](#_Toc282383753)

[Sind Energiesparlampen umweltfreundlich? 2](#_Toc282383754)

[Geben Energiesparlampen „gutes“ Licht? 2](#_Toc282383755)

[Halten Energiesparlampen lange? 2](#_Toc282383756)

[Vorteile von Energiesparlampen 2](#_Toc282383757)

[Nachteile von Energiesparlampen 2](#_Toc282383758)

[Aufbau von Leuchtstofflampen 2](#_Toc282383759)

[Funktion der Leuchtstofflampe 2](#_Toc282383760)

[Energiebilanz der Leuchtstofflampe 2](#_Toc282383761)

[Entsorgung und Recycling 2](#_Toc282383762)

[Lichtausbeute 2](#_Toc282383763)

[Lebensdauer 2](#_Toc282383764)

[Lichtfarbe 2](#_Toc282383765)

[Farbwiedergabe 2](#_Toc282383766)

[Bauform 2](#_Toc282383767)

[Dimmbarkeit 2](#_Toc282383768)

[Flimmern 2](#_Toc282383769)

[Elektronische Vorschaltgeräte (EVG) 2](#_Toc282383770)

[Funktionsweise elektronischer Vorschaltgeräte 2](#_Toc282383771)

[Vorteile des Betriebes von Leuchtstofflampen durch EVG 2](#_Toc282383772)

[Leuchtstofflampen-Lichtfarben für verschiedene Anwendungsgebiete 2](#_Toc282383773)

[Geschichte 2](#_Toc282383774)

[Was ist eine LED (light emitting diode)? 2](#_Toc282383775)

[Vorteile: 2](#_Toc282383776)

[Nachteile: 2](#_Toc282383777)

[Wirtschaftliche Vorteile: 2](#_Toc282383778)

[Technische Vorteile: 2](#_Toc282383779)

[Vorteile für die Umwelt: 2](#_Toc282383780)

[Analysierung der 10 Watt LEDON LED Lampe 2](#_Toc282383781)

[Bei der Auswahl von LEDs ist zu beachten: 2](#_Toc282383782)

[Herstellmöglichkeiten der LED 2](#_Toc282383783)

[Das Funktionsprinzip der Lumineszenz 2](#_Toc282383784)

[Vergangene Jahre 2](#_Toc282383785)

[Gegenwärtiger Zustand 2](#_Toc282383786)

[Zukünftige Entwicklung 2](#_Toc282383787)

[Geschichte der LED 2](#_Toc282383788)

[Das LED Funktionsprinzip 2](#_Toc282383789)

[5mm LED: 2](#_Toc282383790)

[High-Flux LED: 2](#_Toc282383791)

[Typische Einsatzbereiche für LEDs: 2](#_Toc282383792)

[OLED 2](#_Toc282383793)

[Vorteile: 2](#_Toc282383794)

[Nachteile: 2](#_Toc282383795)

[Analyse des ÖKO-Kompasses 2](#_Toc282383796)

[Quellenangabe: 2](#_Toc282383797)

# Vorwort

Als wir uns im 2. AUL für ein Thema entscheiden mussten, war es für uns klar, dass wir ein Thema bearbeiten möchten, das nicht nur eine kurzfristige Entwicklung eines Produktes zeigt, sondern es sollte eine lange Evolution zeigen und auch Ideen für die Zukunft mit sich bringt.

Da kam uns die Unterscheidung bzw. der Vergleich zwischen den drei Lampen, der Glühbirne, der Energiesparlampe und der neuesten Erfindung, der LED, ganz gelegen.

Zuerst machten wir uns Gedanken, wer welche Lampe genau bearbeitet, dann erarbeiteten wir eine Struktur, wie unser Projekt aufgebaut werden soll. Jeder suchte sich Informationen über seine Lampe aus verschiedenen Internetseiten, Büchern, Zeitschriften etc. Wir hatten das Glück, das wir mit der Firma „LEDON“ kooperieren konnten und auch von ihnen einige Informationen erhielten.

Mit Abschluss dieses Referates, können wir sagen, dass es, sehr interessant war und wird auch einiges neues über die verschiedenen Lampen erfahren haben. Welche Lampen zu den lukrativsten und am zukunftsorientiertesten zählen, und welche weder vom Aufbau, der Dimmbarkeit, oder der Kosten, gut ist bzw. war.

# Was ist eine Glühlampe?[[1]](#footnote-1)



Abbildung Glühlampe[[2]](#footnote-2)

## Prinzip der Funktion

Jeder Körper strahlt elektromagnetische Strahlung aus, wenn er erwärmt wird. Bei Zimmer-Temperaturen liegt diese Strahlung im infraroten Bereich. Die Strahlung wird als Temperaturstrahlung bezeichnet und wir spüren sie als Wärme. Ab Temperaturen von ca. 1000 Grad Celsius wird sie sichtbar. Wenn ein Metall erhitzt wird beginnt es zu glühen. Je heißer der Körper ist, desto mehr Licht strahlt er ab. Dies ist die Grundlage der Glühbirne.

## Aufbau

In einer Glühbirne wird ein Mettaldraht mit Hilfe von elektrischem Strom erhitzt, bis er glüht und so sichtbares Licht erzeugt. Meistens handelt es sich um einen etwa 1 Meter langen, gewendelten Wolframdraht. Dieser Draht wird auf ca. 2600 Grad Celsius erhitzt. Der Schmelzpunkt beim Wolframdraht ist der höchste unter den Metallen. Daher hält er auch hohen Temperaturen stand.

Der Draht ist in einem Glaskolben untergebracht damit er nicht zu brennen beginnt mit der Umgebungsluft. Der Glaskolben ist evakuiert oder mit einem Schutzgas, meistens wird eine Edelgasmischung verwendet, gefüllt. Stickstoff-Argon Gemische sind in günstigen Glühlampen enthalten, für teure Lampen verwendet man Krypton oder Xenon, weil diese Edelgase eine stärkere Erwärmung ermöglichen. Die Lampe besteht ebenfalls aus einem Quetschfuß dem elektrischer Strom zugeführt wird.

## Vorteile

* Das Prinzip der Glühbirne ist simpel, die Herstellung ist ebenfalls einfache und somit auch kostengünstig.
* Das erzeugte Licht besitzt einen hohen Anteil von warm empfundenen Farben. Daher empfinden viele Menschen Glühlampenlicht als sehr angenehm.
* Die Glühbirne benötigt keine Aufwärmphase, das Soll-Licht ist binnen weniger Sekunden erreicht.
* Es ist eine stufenlose Dimmung möglich, durch die Regelung des Heizstroms.
* Das Leuchten ist kontinuierlich, d.h. es beginnt nicht zu flimmern bei Wechselstrom. Der Glühdraht ändert seine Temperatur nicht so schnell, dass es Auswirkungen auf das Licht stattfinden.
* Die Glühbirne kann unproblematisch entsorgt werden sie nur aus wenigen Komponenten besteht (Glas, Metalle und Edelgasfüllung)

## Nachteile

* Es werden nur ca. 5 % der aufgenommenen Energie in Licht umgewandelt. Die Lichtausbeute liegt bei ca. 10 bis 20 Lumen/Watt. Jede Glühbirne gibt den größten Teil ihrer Energie in Form von Wärme ab. Eine Glühbirne ist somit eines der ineffizientesten Leuchtmittel.
* Mit der Zeit verdampft der Glühdraht der Glühbirne, trotz Schutzgas bzw. Vakuum. An der kühleren Innenseite der Glühbirne schlägt sich der verdampfte Glühdraht nieder. Jede Glühbirne wird so mit der Zeit immer dunkler und dunkler, bis der Wolframdraht schlussendlich reißt.
* Die Lebensdauer der Glühbirne ist mit ca. 1000 Stunden vergleichsweise zu neueren Lichtquellen gering. Bei einer höheren Temperatur des Drahtes verbessert sich zwar die Lichtausbeute, jedoch sinkt die Lebensdauer drastisch, da der Wolframdraht schneller verdampft.

## Fazit

Die Glühbirne ist praktisch, einfach und billig, aber sie hat ausgedient. Der Urtyp des „elektrischen“ Lichts kann die modernen Anforderungen von energieeffizientem Licht nicht erfüllen. Nun müssen Alternativen her wie z.B. LED.

## Halogenlampen [[3]](#footnote-3)

## http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/d/d5/Halogen-Gluehbirne.jpg/220px-Halogen-Gluehbirne.jpg

Abbildung Halogenlampe[[4]](#footnote-4)

## Prinzip der Funktion

Die Halogenlampe ist im Prinzip eine Glühbirne. Sie erzeugt Licht, indem ein Draht erhitzt wird, bis er sichtbares Licht entsteht.

Der Unterschied zu normalen Glühbirnen ist, dass in Halogenglühlampen ein chemischer Kreislauf stattfindet. Durch diesen Kreislauf wird das aus dem Glühdraht verdampfende Metall wieder zurück zum Draht gebracht. Das verdampfende Metall wird so nicht am Glaskolben niedergeschlagen.

Halogenlampen erreichen so eine bis zu 40 % höhere Lichtausbeute, eine bis zu 3-mal längere Lebensdauer, da der Draht nicht so schnell reißt, und sehr viele kleinere Abmessungen als normale Glühbirnen. Der Glühdraht wird etwas heißer als bei normalen Glühbirnen mit ca. 2.700 Grad Celsius. Deshalb hat das Licht der Halogenlampe ein wenig mehr blau Anteil und ähnelt so dem Sonnenlicht mehr. Außerdem wird das Glas kaum geschwärzt durch das Verdampfen des Metalls, wie es bei der herkömmlichen Glühbirne der Fall ist.

Das Wolfram schlägt sich jedoch nicht immer dort wieder nieder, wo es zuvor verdampft ist. So entstehen auch hier immer dünnere und dickere Drahtbereiche, bis schlussendlich auch der Draht der Halogenlampe reißt.

Die Bauform der Halogenlampe macht es möglich das Licht stark zu fokussieren. Deswegen findet man sie auch in Autoscheinwerfern sowie Projektoren.

## Aufbau

In Halogenlampen wird genau wie in normalen Glühbirnen ein Wolframdraht mittels elektrischen Stroms erhitzt, bis er glüht und somit ein sichtbares Licht abstrahlt.

Glühbirnen sind größer als Halogenlampen. Der Glaskolben der Halogenlampen besteht aus hitzebeständigem Quarzglas. Eine Halogenverbindung z.B. Brommethan befindet sich im Glaskolben und das steht unter hohem Druck. Das Halogen verbindet sich mit dem verdampften Wolframdraht welcher in der Nähe des Glaskolbens befindet. In der Umgebung des Glühdrahtes zerfällt diese Verbindung wieder und das Wolfram kann sich wieder auf dem Draht niederschlagen.

Das Niederschlagen des Wolframs auf dem Glaskolben wird durch den hohen Gasdruck, den Halogenzusatz und auch durch die hohe Glaskolbentemperatur verhindert. Das ist der Grund, warum es zu keiner typischen Kolbenschwärzung kommt.

## Vorteile

* Es findet ein ausgereiftes Herstellungsverfahren statt und die technischen Schwierigkeiten wurden gelöst.
* Besser als bei der Glühbirne, wird ein Licht erzeugt welches einen hohen Anteil an warm empfundenen Farben enthält. Halogenlampen werden deshalb als sehr angenehm empfunden.
* Die Halogenlampe benötigt auch keine Aufwärmphase, das Soll-Licht ist binnen weniger Sekunden erreicht.
* Die Lampe kann in einer sehr kleinen Bauform gemacht werden.
* Das Leuchten ist kontinuierlich, d.h. es beginnt nicht zu flimmern bei Wechselstrom. Der Glühdraht ändert seine Temperatur nicht so schnell, dass es Auswirkungen auf das Licht stattfinden.
* Halogenglühlampen enthalten kaum umweltbelastende Inhaltsstoffe: Sie bestehen im Wesentlichen aus Metall und Glas. Die geringen Mengen der eingesetzten Halogenverbindungen werden als unschädlich angesehen.

## Nachteile

* Auch Halogenglühlampen geben den größten Teil ihrer Energie in Form von Wärme ab. Nur ca. 7 % der aufgenommenen Energie werden in Licht umgewandelt. (Die Lichtausbeute liegt bei 10 - 25 Lumen/Watt.) Die meisten handelsüblichen Halogenlampen sind zwar effizienter als normale Glühbirnen, einige erweisen sich in der Praxis jedoch sogar als noch ineffizienter.
* Die Lebensdauer von Halogenglühlampen ist mit ca. 2500 Stunden mäßig. Bei höherer Glühdrahttemperatur verbessert sich die Lichtausbeute, die Lebensdauer sinkt jedoch infolge der schnellen Verdampfung des Wolframs.

## Fazit

Die Halogenglühlampe ist kleiner als die normale Glühbirne und praktisch. Sie wird deshalb für Autoscheinwerfern und Deckenspots verwendet. Außerdem kann sie weniger Energie verbrauchen als normale Glühbirnen. Derzeit ist die Halogenlampe noch nicht effizient genug für einen langfristigen Einsatz.

Wenn in Zukunft nicht in die Forschung und Entwicklung dieser Lampe investiert wird, wird die Halogenlampe wohl als das nächste Leuchtmittel sein, welches aus dem Verkauf genommen wird, aufgrund des hohen Stromverbrauches.

## Lichtausbeute[[5]](#footnote-5)

Fast die ganze zuführte Energie wir in Strahlung umgewandelt, der Verlust durch Wärmeleitung ist gering. Jedoch ist nur ein geringer Anteil der Strahlung für das menschliche Auge sichtbar. Der Großteil ist im unsichtbaren Infrarotbereich und so nur als Wärme spürbar.

Das Lichtspektrum ist kontinuierlich im Gegensatz zu vielen anderen Lampen. Durch Temperaturerhöhung wird die Lichtausbeute erhöht. So versucht man das Strahlungsmaximum aus dem Bereich des unsichtbaren Infrarotbereiches in den Bereich des sichtbaren Lichtes zu verschieben.

Bei einer Glühfadentemperatur von 2400 Grad Celsius beträgt die Lichtausbeute etwa 3 %, wird die Temperatur auf 3000 Grad Celsius erhöht so beträgt die Lichtausbeute etwa 5 %. Die Folge davon ist jedoch, dass die Lebensdauer der Lampe verkürzt wird, aufgrund der höheren Betriebsspannung.

Die Höchsttemperatur des Glühfadens ist durch dessen Eigenschaften begrenzt. Um eine möglichst hohe Temperatur zu ermöglichen, wird das hochschmelzende Metall Wolfram verwendet. Die Schmelztemperatur von Wolfram ist bei etwa 3422 Grad Celsius. Auch durch dieses Metall kann die optimale und wünschenswerte Farbtemperatur von ca. 5900 Grad Celsius nicht erreicht werden, da bei diesen Temperaturen das Wolfram schon gasförmig ist. Selbst wenn es ein Material gäbe, welches diese Temperaturen aushalten würde, wäre die Lichtausbeute nicht mehr als 15 %.

## Lichtspektrum und Farbtemperatur

Die Glühbirne gibt das Licht mit einer Farbtemperatur von etwa 2300 K bis 3900 K ab, dieses Licht ist wesentlich gelb-rötlicher als das natürliche Tageslicht. Das Tageslicht liegt etwa bei 5000 K bis 7000 K je nach Sonnenschein. Andere Lichtquellen wie die Energiesparlampe oder die LED-Lampe werden als „Warmton“ angeboten, sie haben aber im Gegensatz zu der Glühbirne kein kontinuierliches Lichtspektrum und deshalb bieten sie nicht denselben starken Rot- und Gelbanteil.

Von den nördlichen Ländern wird die „Warmton“ Beleuchtung mit starken Rot- und Gelbanteilen bevorzugt. Im Gegensatz dazu wird im Mittelmeerraum und in tropischen Ländern kältere Lichtfarben mit höheren Blau- und Grünanteilen bevorzugt, das die Akzeptanz der Energiesparlampen erleichtert.

## Anwendungsbereich:

Glühlampen eignen sich gut für die Anwendung in Bereichen bei denen gebündeltes Licht gebraucht wird. Ein Beispiel wäre, für Projektoren und Scheinwerfer. Natürlich findet sie auch einen Platz in sämtlichen Bereichen der Innen- und auch der Außenbeleuchtung, von Wohnräumen und Schaufenstern, Verkehrsanlagen und Sportplätzen. Manchmal wird sie aber auch als Spezialbeleuchtungen, wie z.B. als Studio- und Bühnenbeleuchtung, in der Foto-Optik und als Verkehrs- und Signallampe eingesetzt.

## Lebensdauer

Die Lebensdauer hängt von der Temperatur des Glühfadens ab, wird die Temperatur erhöht, so sinkt die Lebensdauer drastisch. Bei etwa 2700 K erreicht eine Glühlampe eine Lebensdauer von ca. 1000 Stunden, wird die Temperatur auf 3400 K erhöht, beträgt die Lebensdauer nur noch wenige Stunden.

Die Helligkeit wird verdoppelt, wenn man die Betriebsspannung um 20 % erhöht, zugleich wird aber auch die Lebensdauer um 95 % reduziert. Wird die Betriebsspannung halbiert durch Beispielsweise eine Reihenschaltung zweier gleichartiger Glühbirnen, vermindert sich zwar der Wirkungsgrad, zur gleichen Zeit wird jedoch die Lebensdauer um mehr als das Tausendfache erhöht.

Entstehen durch das Auswechseln einer bestimmten Lampe hohe Kosten, so kann zu Gunsten einer längeren Lebensdauer auf eine hohe Lichtausbeute verzichtet und die Betriebsspannung verringert werden. Bestimmte Geräte mit eingebauten Lampen sind durch Fachleute zu wechseln. Entwickler dieser Geräte sollten eine deutlich geringere Betriebsspannung für diese Lampen vorsehen.

Die Lebensdauer der Lampe wird meistens nicht durch das gleichmäßige Verdampfen des Wolframdrahtes bestimmt, sondern durch das Durchbrennen an einer gewissen Stelle. Der Grund dafür ist die Instabilität, die mit der Zunahme des elektrischen Widerstandes mit der Temperatur zusammenhängt. Eine Stelle des Glühfadens, die nur ein wenig dünner ist und sich beim Einschalten zunächst schneller aufheizt aufgrund der höheren Stromdichte, hat dann auch noch aufgrund ihrer zu hohen Temperatur einen höheren Widerstand. Diese Stellen heizen sich innerhalb kürzester Zeit extrem auf und verlieren dabei etwas Material durch das Verdampfen des Drahtes. Wird die Lampe erneut eingeschalten, verschärft sich das Problem und so kommt es schlussendlich zum Durchbrennen des Wolframs. Beim letzten Einschalten kann es sogar zu einer Bogenentladung im Füllgas kommen.

Um Überströme durch solche Bogenentladungen gerade durchgebrannter bzw. anders innen kurzgeschlossener Glühlampen zu reduzieren, haben viele 230-Volt-Lampen im Glasfuß eine Schmelzsicherung, die in dünnen Glasröhrchen eingebaut ist.

Eine Möglichkeit, die Lebensdauer zu erhöhen, ist daher die Begrenzung des eingeschalteten Stroms oder die in der Veranstaltungstechnik oft auch angewandte Vorheizmethode durch einen kontinuierlichen Stromfluss, der nur knapp unterhalb der Leuchtschwelle liegt.

## Lange Lebensdauer – gute Lichtausbeute

Die Dimensionierung von Glühlampen bei einer gegebenen Betriebsspannung ist ein Kompromiss zwischen der Lebensdauer und der Lichtausbeute und ergibt sich aus den technologischen Fähigkeiten der diversen Hersteller, aber wesentlich aus der vorgesehenen Anwendung.

In der heutigen Zeit unterscheidet sich die angegebene Lebensdauer von herkömmlichen Glühlampen verschiedener Hersteller nur wenig. Für 1000 und für 2000 Stunden Lebensdauer werden Lampen angeboten. Halogenlampen werden für 2000 bis 6000 Stunden Lebensdauer angeboten. Lampen mit geringer Nennspannung haben bei gleicher Leistung einen dickeren Wolframdraht und damit eine höhere Lebensdauer. Die tatsächliche Lebensdauer hängt jedoch deutlich von den Einsatzparametern ab.

* Die Nennspannung sollte genau eingehalten werden, eine mögliche Netzüberspannung von nur 15 % führt zu einer drastischen Lebensdauerverkürzung.
* Während des Leuchtens sollte eine Lampe keinen Erschütterungen zum Opfer fallen.
* Auch die Umgebungstemperatur hat wesentliche Auswirkungen auf die Lebensdauer einer Glühlampe.
* Häufiges Ein- und Ausschalten ist ebenfalls nicht von Vorteil, da der dünn gewordene Teil des Glühfadens dadurch schneller durchbrennt.

Für Bereiche, bei denen das Auswechseln aufwendig oder zu höheren Kosten führen kann, gibt es Glühlampen, die eine längere Lebensdauer durch eine Verringerung der Lichtausbeute erreichen. Die Sogenannten Sig-Lampen haben eine Lebenserwartung von bis zu 6000 Stunden. Die Lebensdauer von Projektor Glühlampen beträgt aufgrund der hohen Temperatur oft nur 50 bis 100 Stunden.

## Sig-Lampen:

Die Lampen werden auch als Ewigkeitsglühbirnen bezeichnet, wie der Name schon sagt, haben sie eine lange Lebensdauer, die beträgt angeblich 17 Jahre und ist durch ein Vorschaltgerät möglich. Entwickelt wurde sie vom deutschen Erfinder Dieter Binninger, der jedoch bevor die Lampe produziert wurde, gestorben ist.

## Geschichte der Glühlampe[[6]](#footnote-6)

**1809:**

Humphry Davy entwickelte die erste Bogenlampe.

**1820:**

Glühlampe wurde mit einem Platindraht gefertigt und der Glaskolben war evakuiert. Heute wird diese Lampe als „De-la-Rue-Lampe“ bezeichnet.

**1841:**

Frederick de Moleyns hatte das erste Patent auf einer Glühlampe.

**20. Jahrhundert:**

In Deutschland erfand Heinrich Göbel die Kohlefadenglühlampe.

**1878:**

Joseph Wilson Swan ein Brite entwickelte die erste elektrische Glühlampe, die auch als brauchbar galt.

Zur gleichen Zeit in den USA entwickelte auch Thomas Alva Edison seine Glühlampe und erhielt 1880 das Patent dafür.

**1890:**

Der Österreicher Osram Carl Auer von Welsbach das Patent auf die Erfindung eines Verfahrens, bei dem der heute noch verwendete Wolfram-Draht genutzt wird.

**21. Jahrhundert:**

Die Glühbirne wird nahezu überall verwendet. Man erhält sie in verschiedenen Arten und Formen sowie mit verschiedenen Watt Anzahlen.

**2005: [[7]](#footnote-7)**

Beschluss des Glühlampenverbots.

**2009:**

Verbot von:

* Halogen- und Glühlampen ab 80 Watt und mehr.
* Lampen mit einer schlechter als Energieeffizienzklasse C.
* Matte Lampen mit einer schlechteren Energieeffizienzklasse wie A.
* Energiesparlampen die schlechter als die Energieeffizienzklasse A sind.

**2010:**

Verbot der Halogen- und Glühlampen ab 65 Watt und einer schlechteren Energieeffizienzklasse als C.

**2011:**

Verbot der Halogen- und Glühlampen ab 45 Watt und einer schlechteren Energieeffizienzklasse als C.

**2012:**

Verbot der Halogen- und Glühlampen ab 7 Watt und einer schlechteren Energieeffizienzklasse als C.

**2013:**

Steigerung der Qualitätsanforderung und der Kriterien.

**2014:**

Verbot der Halogen- und Glühlampen die einer schlechteren Energieeffizienzklasse als B angehören.

# Was ist eine Energiesparlampe?



Abbildung Energiesparlampe[[8]](#footnote-8)

Energiesparlampen werden auch als energiesparende Leuchtmittel bezeichnet, und sind ein direkter Ersatz für Glühbirnen. Die geläufigsten Typen sind Kompaktleuchtstofflampen, LED‘s oder Halogenlampen.

Energiesparlampen sind Leuchtstofflampen in kompakter Bauform mit einem Sockel. Das erforderliche Vorschaltgerät, für den Betrieb, ist im Sockel integriert, daher können Glühlampen einfach durch Energiesparlampen ersetzt werden. Energiesparlampen haben eine 6 – 16-mal längere Lebensdauer und eine rund 5-mal höhere Lichtausbeute gegenüber den Glühbirnen.

In den letzten Jahren gab es eine rasante Weiterentwicklung, eine Vielfalt an Modellen für verschiedene Einsatzbereiche und optischen Ansprüchen.

## Kompaktleuchtstofflampen:

Dies sind ziemlich kleine Leuchtstofflampen (werden häufig als Energiesparlampe bezeichnet).

Der bekannteste Typ effizienter Leuchtmittel, Kompaktleuchtstofflampen, ist aber sehr umstritten

Seit den 1990er Jahren sind sie auf dem Markt und ihre Entwicklung ist so gut wie abschlossen.

Heute liegt die Effizienz bei 50 lm/W (entsprechen ca. 80 % Einsparung).

Ein weiterer Kritikpunkt, ist das Quecksilber, das die Lampen enthalten und sie daher aufwändig in der Entsorgung machen.

Auch das Design unterscheidet sich recht deutlich von anderen Typen, denn durch die aufwändige Technik ist ein klarer Glaskolben nicht möglich.

Doch hier ist die Röhre, in der die Gasentladung von statten geht, ist kleiner und gebogen, gewendelt oder mehrfach gefaltet. Dies ist um einiges platzsparender.

Sie besitzen auch ein Vorschaltgerät (erforderliche Vorrichtung zur Strombegrenzung) und einen Edisonsockel (Schraubsockel), damit sie als direkter Nachfolger der Glühbirne verwendet werden kann.

## Können Energiesparlampen überall eingesetzt werden?

Neben der „klassischen“ Form der Energiesparlampe (gebogene Stäbe) gibt es Modelle in Glühlampen- und Kerzenform. Sie unterscheiden sich optischen kaum von herkömmlichen Glühlampen.

Es gibt bereits Energiesparlampen für viele Anwendungsbereiche, wie z.B.:

* Energiesparlampen mit Reflektor für Deckenstrahler
* Energiesparlampen mit Nachtlichtfunktion für Kinderzimmer
* dimmbare Energiesparlampen
* Energiesparlampen, die für Notbeleuchtung und im Stiegenhaus geeignet sind und mit einem Bewegungsmelder oder Netzfreischalter funktionieren.
* Energiesparlampen für den Außenbereich wie z.B.: mit automatischem Sensor für die Hauseingangsbeleuchtung

## Sind Energiesparlampen denn teuer?

Der Großteil der Kosten fällt im Betrieb (Stromkosten) und nicht in der Anschaffung an. Und obwohl Energiesparlampen beim Kauf um einiges teurer sind als Glühlampen, wird durch die längere Lebensdauer und der höheren Lichtausbeute einiges an Geld gespart.

z.B.: eine jährliche Einsparung von rund € 40 durch den von 5 Glühbirnen.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Einsparung** | **50 Glühlampen á 60 Watt** | **5 Energiesparlampen á 12 Watt** |
| Lampenkosten / Jahr | € 3,50 | € 5,83 |
| Stromkosten / Jahr | € 54,00 | € 10,80 |
| Gesamtkosten / Jahr | € 57,50 | € 16,63 |
| **Jährliche Einsparung**  |  | **€ 40,87** |

## Schadet häufiges Ein- und Ausschalten den Energiesparlampe?

Energiesparlampen, deren Qualität hoch ist, werden mit energieeffizienten, elektronischen Vorschaltgeräten betrieben. Sie flackern nicht beim Starten, erreichen im Durchschnitt 95 % des Lichtstroms bereits nach einer Minute und sind in der Regel sehr schaltfest, d.h. die Lebensdauer hängt nicht oder kaum von der Häufigkeit des Ein- und Ausschaltens.

Solche Energiesparlampen werden daher häufig in Bereichen verwendet, in denen oft ein- und ausgeschaltet wird.

## Sind Energiesparlampen umweltfreundlich?

Die Herstellung einer Energiesparlampe benötigt zwar etwa zehnmal so viel Energie wie die einer herkömmlichen Glühlampe, bei Berücksichtigung der höheren Lebensdauer ist der Energieverbrauch bei der Lampenherstellung fast gleich.

Energiesparlampen tragen durch ihren geringen Stromverbrauch wesentlich zur Umweltentlastung bei, weil die bei der Stromerzeugung anfallenden Emissionen vermindert werden.

Die elektromagnetischen Felder von Energiesparlampen und Glühlampen unterscheiden sich nicht wesentlich.

Es stimmt nicht, dass Energiesparlampen beim Start übermäßig viel Energie verbrauchen. Die Zündung benötigt lediglich für Sekundenbruchteile etwa 30 bis 50 Watt, was aber gemessen an der Gesamtbetriebsdauer nicht ins Gewicht fällt.

Energiesparlampen müssen auch ordnungsgemäß entsorgt werden. Sie gehören in das Altstoffsammelzentrum und nicht in den Restmüll.

## Geben Energiesparlampen „gutes“ Licht?

Beim Kauf einer Energiesparlampe ist auf die Angabe der Lichtfarbe zu achten. Es gibt Energiesparlampen mit der Lichtfarbe „warm-weiß“, deren Licht kaum vom Glühlampenlicht zu unterscheiden ist.

Moderne Energiesparlampen „flimmern“ nicht, sie sind mit elektronischem Vorschaltgerät ausgestattet.

**Gleicher Lichtstrom bei weniger elektrischer Leistung**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Glühlampe** | **entspricht ->** | **Energiesparlampe** |
| 25 Watt | -> | 5/6 Watt |
| 40 Watt | -> | 8/9 Watt |
| 60 Watt | -> | 11/12 Watt |
| 75 Watt | -> | 14/15/16 Watt |
| 100 Watt | -> | 18/20 Watt |
| 120 Watt | -> | 23 Watt |

## Halten Energiesparlampen lange?

Die Lebensdauer von qualitativ hochwertigen Energiesparlampen reicht von 6.000 bis 16.000 Stunden (Lampen für den gewerblichen Einsatzbereich)

Bei einer typischen „6.000 – Stunden Energiesparlampe“ und einer durchschnittlichen Brenndauer von 1.000 Stunden /Jahr im Haushaltsbereich, erreichet man eine durchschnittliche Lebensdauer von rund 6 Jahren, im Unterschied dazu würde eine Glühlampe nur etwa 1 Jahr halten.

Qualitätslampen erreichen nach einigen tausend Stunden immer noch über

90 % der ursprünglichen Helligkeit.

## Vorteile von Energiesparlampen

Ein wesentlicher Vorteil der Leuchtstofflampe, gegenüber der Glühbirne, liegt in der Lichtausbeute -> 25 % des Stroms wird in Licht umgewandelt. Bei Glühbirnen lediglich 5 %. Der Rest des Stroms wird an die Umwelt in Form von Wärme abgegeben.

Die Umweltfreundlichkeit steht bei Energiesparlampen im Focus. Der Ausstoß von CO2 ist bei den Energiesparlampen deutlich geringer, als bei den Glühbirnen.

## Nachteile von Energiesparlampen

Ein Nachteil der Leuchtstofflampen liegt in der Qualität des Lichtes, das erzeugt wird.

Weiteres liegt ein Nachteil in der Entsorgung vor. Wer Leuchtstofflampen nicht gerecht entsorgt, schadet der Umwelt durch die Freisetzung von Quecksilber, welches in den Energiesparlampen zu finden ist.

## Aufbau von Leuchtstofflampen

Leuchtstofflampen bestehen aus einem zylinderförmigen Glasrohr, das auch kreisförmig gebogen oder mehrfach gefaltet sein kann. Der Durchmesser des Glasrohres hat sich im Laufe der technischen Entwicklung von 38 mm über

26 mm auf heute 16 mm verringert.

Die innere Oberfläche des Glasrohres ist mit Leuchtstoffpulver beschichtet. An den beiden Lampenenden sind Wolframelektroden in das Rohr eingeschmolzen, die mit einer besonderen Emitterpaste (meistens aus Erdalkalioxiden) beschichtet sind.

Die beiden Enden der Wolframwendel sind vakuumdicht als Sockelstifte auf beiden Seiten aus dem Rohr herausgeführt. Diese Kontaktstifte sorgen in Verbindung mit der Fassung für einen stabilen mechanischen Halt der Lampe und für eine gute elektrische Kontaktierung.

## Funktion der Leuchtstofflampe

Kompaktleuchtstofflampen zählen als Leuchtstofflampen zu den Quecksilberdampf-Niedrigdrucklampen (= eine Gasentladungslampe mit Quecksilberdampffüllung).

Jede Leuchtstofflampe enthält ein Füllgas (Argon oder ein Argon-Krypton-Gemisch) und einer geringen Menge Quecksilber (ca. 7mg Quecksilber). Die Quecksilbermenge ist zwar im Laufe der Jahre durch kontinuierliche Verbesserung immer geringer geworden, aber nach wie vor ist Quecksilber für die Funktion einer Leuchtstofflampe erforderlich. Der in der Lampe fließende Strom wird zum Teil durch die im elektrischen Feld beschleunigten Elektronen getragen.

Eine Verkleinerung und eine höhere Leuchtdichte (Lichtstärke) werden durch einen erhöhten Innendruck erreicht.

## Energiebilanz der Leuchtstofflampe

Die Energiebilanz unter der Berücksichtigung des Energieverbrauchs für die Produktion des Leuchtmittels fällt für die Kompaktleuchtstofflampen positiv aus.

Die Produktion einer Kompaktleuchtstofflampe benötigt etwa zehnmal mehr Energie, als die Herstellung einer Glühbirne. Doch, durch die lange Lebensdauer wird das jedoch deutlich überkompensiert.

Die Herstellung einer Kompaktleuchtstofflampe erfordert etwa 3,33 kWh Primärenergie (natürlich vorkommende Energieformen wie Kohle, Gas oder Wind) und ist somit deutlich aufwändiger als die Produktion einer Glühlampe. Weiterhin werden für den Vertrieb beider Lampen je 52 MJ (MegaJoul) aufgewendet.

Im Betrieb benötigt die Kompaktleuchtstofflampe in 1000 h etwas 99 MJ Primärenergie, während die Glühlampe in 1000 h etwas 540 MJ verbraucht.

Wenn die Kompaktleuchtstofflampe eine Lebensdauer von 10 000 Stunden hätte, wäre das in Summe 1054 MJ. In derselben Zeit verbrauchen 10 Glühlampen 5930 MJ.

Dies würde eine **Einsparung** von **82 %** bedeuten.

Würde eine Kompaktleuchtstofflampe nicht länger als eine Glühlampe halten, ergäbe sich mit 163 MJ (bei der Leuchtstofflampe) gegenüber 593 MJ (bei der Glühlampe) bereits eine deutliche Einsparung von gut 72 %.

Die Beleuchtung, in einem durchschnittlichen Haushalt macht ca. 8 % des Stromverbrauchs aus. Doch ersetzt man alle Glühbirnen (oder zumindest die, welche am häufigsten eingeschaltet werden) durch Kompaktleuchtstofflampen, die 80 % Stromersparnis aufweisen, würde dies den Gesamtstromverbrauch des Haushaltes um ca. 6 % reduzieren.

## Entsorgung und Recycling

Die Entsorgung von (Kompakt-) Leuchtstofflampen ist sehr aufwändig (->Sondermüll)

Nicht mehr funktionierende Kompaktleuchtstofflampen sind Sondermüll. Denn sie enthalten Quecksilber. Aber auch in der Lampe, dem Starter und der Elektronik befinden sich mehrere Problemstoffe. Kompaktleuchtstofflampen dürfen, aus Umweltschutzgründen, NICHT in den Hausmüll oder in einen Glascontainer entsorgt werden. Deshalb müssen sie fachgerecht, getrennt vom Hausmüll und Gewerbeabfall entsorgt werden.

Rohstoffe wie Kupfer, Aluminium und Zinn, aber auch die Leuchtstoffe können teilweise wiederverwertet werden. Für Quecksilber würde dies nur gelten, wenn der Glaskolben unbeschädigt ist, da das Quecksilber bei Zimmertemperatur verdunstet.

Blei, Chrom und Cadmium sind nicht mehr zugelassen. Sie sollten noch in den älteren Lampen (Herstellung vor Juli 2006) enthalten sein.

Zurzeit werden nur etwa 10 % der Kompaktleuchtstofflampen ordnungsgemäß entsorgt. Dies unterliegt den Quoten anderer Länder und wird von Umweltverbänden reichlich kritisiert.

## Lichtausbeute

Gegenüber den normalen Glühlampen haben Kompaktleuchtstofflampen eine vier- bis fünfmal höhere Leistung (Lichtausbeute) und sie benötigen 75 % bis 80 % weniger elektrische Leistung (Strom/Energie), bei gleichem Lichtstrom.

Die Lichtausbeute einer Kompaktleuchtstofflampe nimmt, innerhalb der Lebenszeit, ab.

Es ist auch zu beachten, dass benützte Lampen zur Verwendung mit Glühbirnen konzipiert wurden und mit einer Kompaktleuchtstofflampe, welche die gleiche Helligkeit vorweist, möglicherweise nicht so hell leuchten.

## Lebensdauer

Im Gegensatz zu einer Glühbirne, die nur (!) eine Lebensdauer von 1000 Stunden hat, liegt die Lebensdauer einer Kompaktleuchtstofflampe bei 3000 – 15.000 Stunden. Diesen Angaben zu Folge, halten Kompaktleuchtstofflampen, bei durchschnittlicher Nutzung von vier Stunden/Tag, zwischen zwei und mehr als zehn Jahren.

Weiteres hängt sie auch von der Art des Leuchtstoffs, der Art des Schaltkreises, der Art des Vorschaltgeräts (VVG, EVG) und vom Schaltrythmus ab.

Die Schalthäufigkeit spielt ebenso eine große Rolle. Es gibt zwei Arten von Kompaktleuchtstofflampen:

* Sofortzündende, welche ohne Vorglühen gezündet werden. Sie sind sehr empfindlich und verlieren bei jedem Zündvorgang zwei bis 5 Stunden an Lebensdauer.
* (Bsp.: Lebensdauer ~ 10.000 Std. = 3.000 Startvorgänge)
* Lampen mit Vorheizung; vorgeheizt werden die Elektroden 0,2 bis 2 Sekunden. Dann beginnt der Versuch, die Lampe zu zünden. Bei diesen Lampen werden über 500.000 Schaltungen versprochen.

Es entsteht ein (Ziel-) Konflikt, da Kompaktleuchtstofflampen, welche sofort Licht abgeben (was zB in Treppenhäusern sehr sinnvoll wäre) die sind, die nicht oft ein- und ausgeschaltet werden sollen. Sie sollten also nicht unbedingt im Treppenhaus angebracht werden.

Es bezieht sich, die Lebensdauer der Lichtquellen, immer auf einen „Drei-Stunden-Rhythmus“. Das bedeutet, Lampen sollten immer für 2 ¾ Stunden (165 Minuten) eingeschalten und für 15 Minuten ausgeschaltet werden.

Durch ganz spezielle Elektrodenkonstruktionen kann die Funktionsfähigkeit verbessert werden. Heutzutage sind Leuchtstofflampen mit hoher Lebensdauer auf dem Markt erhältlich, die durch Betrieb mit einem elektronischen Vorschaltgerät 800.000 Stunden Lebensdauer erreichen.

## Lichtfarbe

Ein häufig erwähntes Argument, das gegen die Kompaktleuchtstofflampe spricht ist, dass die Kompaktleuchtstofflampe ein kälteres Licht als Glühlampe hätte.

Ein weiterer Unterschied gibt es bei Dimmen (näheres über die „Dimmbarkeit“ folgt). Bei einer üblichen dimmbaren Kompaktleuchtstofflampe reduziert sich nur die Helligkeit. Doch bei einer gedimmten Glühlampe sinkt der Farbeeindruck des Lichtes, weil die Temperatur, des in der Glühbirne befindlichen Glühdrahts, niedriger ist.

Somit ist bewiesen, dass die Kompaktleuchtstofflampe ein kälteres Licht erzeugt.

Es wäre auch denkbar, dass Kompaktleuchtstofflampen kühler wirken als eine Glühlampe, wenn sie die gleiche Farbtemperatur hätten. Dies ist nur möglich, da Kompaktleuchtstofflampen ein Spektrum aufweisen, und sie dadurch ein Unterschied zwischen den verschiedenen Lampen gleicher Farmtemperatur möglich.

Heutzutage sind Kompaktleuchtstofflampen in verschiedenen Farbtemperaturen erhältlich. Sie liegen in Bereichen zwischen 2500 K (Farbtemperatur etwas unter einer 60 Watt Glühbirne) bis hin zu einem Ton der dem Tageslicht ähnlich ist.



K=Kelvin; Maß für die Intensitätsverteilung im Spektrum der Lampe -> es zeigt, wie die Gewichtung zwischen langen und kurzen Wellenlängen zueinander ist.

Kompaktleuchtstofflampen werden, je nach Wahl der Leuchtstoffe, einfarbig gefertigt. Sie sind in den Farben rot, gelb, grün und blau erhältlich. Ebenso werden Kompaktleuchtstofflampen in Ultraviolett gefertigt.

## Farbwiedergabe

Im Gegensatz zu Glühlampen (oder auch Tageslicht) emittieren Leuchtstofflampen ein diskontinuierliches Spektrum. Daher können Farben oder auch Gegenstände unter dem Licht dieser Lampe anders aussehen.

Bei den meisten Kompaktleuchtstofflampen liegt der Farbwiedergabeindex im Bereich zwischen 80 und 85. Bei den seltenen und auch teureren Fünfbanden-Leuchtstofflampen beträgt der Farbwiedergabeindex, bei einer geringeren Lichtausbeute, einen Wert von 95.

Unter dem Farbwiedergabeindex versteht man eine Größe, mit der sich die Farbwiedergabequalität von Lichtquellen messen lässt. Es handelt sich aber nicht um prozentuelle Angabe.

## Bauform

Der Unterschied zwischen Kompaktleuchtstofflampen und klaren Glühlampen ist, dass Kompaktleuchtstofflampen keine annähernden punktförmigen Lichtquellen sind.

Geringere Unterschiede sind zu erkennen, wenn man eine matte Glühlampe durch eine Kompaktleuchtstofflampe ersetzt. Kompaktleuchtstofflampen blenden auch weniger als Glühlampen.

Ein weiterer Unterschied besteht in der Abmessung zwischen Kompaktleuchtstofflampen und Glühlampen.

Kompaktleuchtstofflampen sind meistens länger als Glühlampen und dies erfordert möglicherweise einen Leuchtenwechsel. Auch der Eindruck kann, im Vergleich zu Glühlampen, unterschiedlich sein.

Für bestimmte Spezialglühlampen sind keine entsprechenden Kompaktleuchtstofflampen verfügbar.

## Dimmbarkeit

„Normale Kompaktleuchtstofflampen können nicht zusammen mit normalen Dimmern verwendet werden“. Dimmer sind bestimmte Gerätschaften zur Regelung der Helligkeit einer Glühbirne.

Es können nur Kompaktleuchtstofflampen, die ein speziell angepasstes elektronisches Vorschaltgerät besitzen, mit dem Lampenstrom variieren um so eine Regelung der Helligkeit der Lampe zu erreichen.

Die Leistungsaufnahme des elektronischen Vorschaltgeräts ist bei geringer Helligkeit entsprechend niedriger. Kompaktleuchtstofflampen solcher Art sind gekennzeichnet und sie lassen sich auch mit normalen Glühlampen-Dimmern betreiben, welche nur nach dem Phasenanschnittsteuerungsprinzip funktionieren.

Das Prinzip der Phasenanschnittsteuerung ist eine Methode, bei der die Leistungsregelung elektrischer Verbraucher, die auch mit Wechselspannung (=elektrische Spannung, bei der die Polarität in regelmäßigen Wiederholungen sich abwechselt) betrieben werden, geregelt wird.

Aber auch Touch-Dimmer, Funk-Dimmer etc. arbeiten mit einer solchen Phasenanschnittsteuerung. Das bedeutet, dass sie auch nur mit bestimmten Kompaktleuchtstofflampen gedimmt werden können. Solche Kompaktleuchtstofflampen sind meist teuer in der Anschaffung, da sie eine etwas komplizierte Technik besitzen und auch nur in kleiner Stückzahl produziert werden.

Es werden aber auch Kompaktleuchtstofflampen hergestellt bzw. angeboten, welche sich durch mehrfaches Ein- und Ausschalten auch ohne externe Dimmer in mehreren verschiedenen Helligkeitsstufen betreiben lassen.

## Flimmern

Das „Flimmern“ einer Lampe (Kompaktleuchtstofflampe) bedeutet, dass Lichtschwankungen im 100-Hz-Rhtythmus (der doppelten Netzfrequenz) vor sich hergehen. Dies tritt vor allem bei Leuchtstoffröhren und auch bei Kompaktleuchtstofflampen mit üblichen Vorschaltgeräten auf.

Dieses „Flimmern“ führt zur Ermüdung und der Einsatz solcher Lampen ist an bewegten Maschinen ausgeschlossen.

Bei photosensiblen Personen (=Reaktion des Gehirns auf regelmäßige und wechselnde Hell-Dunkel-Kontraste; Bsp.: Fernsehen, Videospiele, Flackerlicht ins Discos,…) kann dieses „Flimmern“ zu epileptischen Anfällen führen.

Kompaktleuchtstofflampen, die mit elektronischen Vorschaltgeräten versehen sind flimmern eigentlich nicht. Das liegt daran, weil die Röhre nicht mit einer Netzfrequenz von 50 Hz betrieben wird, sondern mit Wechselspannungen von ca. 45.000 Hz.

Doch diese Frequenzen sind kaum wahrnehmbar. Das liegt an der Nachtleuchtzeit des Leuchtstoffes und der Trägheit des Auges.

Ein zusätzlicher Vorteil liegt in der Leichtausbeute, wenn die Lampe mit Hochfrequenzen betrieben wird.

Die Lebensdauer kann verkürzt werden, wenn die Helligkeit der Glühlampe durch Schwankungen in der Netzspannung beeinträchtigt wird.

Hingegen, bei Kompaktleuchtstofflampen mit qualitativ hohen elektronischen Vorschaltgeräten, die Spannungsschwankungen bis ca. 4 % reichen können und dies trotzdem nicht die Helligkeit beeinträchtigen oder die Lebensdauer verkürzen würde. Bei Kompaktleuchtstofflampen mit einer geringen Qualität solcher Probleme nicht auszuschließen sind.

## Elektronische Vorschaltgeräte (EVG)

Wird eine Kompaktleuchtstofflampe mit einem elektronischen Vorschaltgerät betrieben, wird die Lampe mit 50 Hz Wechselstrom betrieben. Doch erhöht man die Frequenz der Versorgungsspannung auf 35 Hz bis 50 Hz, steigt die Lichtausbeute der Leuchtstofflampe um ca. 10 %.

Derartige elektronische Vorschaltgeräte sind seit Mitte der achtziger Jahre auf dem Markt. Die elektronischen Vorschaltgeräte werden mit ca. 10 % weniger Leistungsaufnahme betrieben, damit sie den, unabhängig vom eingesetzten Vorschaltgerät, den angegebenen Nennstrom auch erreichen.

Und genau in diesem Punkt liegt der wirtschaftliche Vorteil dieses elektronischen Vorschaltgeräts. Aber der wesentliche Vorteil liegt nicht nur in der Energieeinsparung, sondern auch in weiteren Punkten. Zum Beispiel Warmstart, das heißt, dass es zu einem fast verzögerungsfreien Zünden der Lampe kommt.

## Funktionsweise elektronischer Vorschaltgeräte

Zunächst wird die Netzspannung 230 V, 50 Hz gerichtet und auch geglättet. Der dadurch entstandene Gleichstrom wird dann in eine Wechselspannung umgeformt. Diese Wechselspannung versorgt dann über Stabilisierungsglieder die Leuchtstofflampe.

Der Gleichrichter besteht aus einer Dioden-Brückenschaltung, welche die Netzwechselspannung umwandelt. Die Dioden-Brückenschaltung wandelt die Netzwechselspannung in eine Gleichspannung um und lädt den Pufferkondensator auf. Dann wird die Gleichspannung, durch den Halbleiter-Wechselrichter, in die hochfrequente Wechselspannung umgewandelt. An dieser hochfrequenten Wechselspannung werden ein oder auch zwei Leuchtstofflampen betrieben.

Eine sogenannte Abschaltautomatik schaltet nach 2 Sekunden die Lampenversorgung ab, falls die Lampen nicht zünden. Wird die schadhafte Lampe ersetzt, ist das elektronische Vorschaltgerät sofort wieder betriebsbereit

## Vorteile des Betriebes von Leuchtstofflampen durch EVG

Der Betrieb von Leuchtstofflampen an elektronischen Vorschaltgeräten hat nicht nur wirtschaftliche Vorteile, sondern bietet auch Vorzüge in den Bereichen Komfort, Umwelt und Gesundheit.

|  |  |
| --- | --- |
| **Wirtschaft** | Energieersparnis (25 – 30 %)Höherer Lampenlebensdauer (ca. 50 %)Geringere Verdrahtungskosten |
| **Komfort** | Flackerfreier StartDimmbarkeit (spezielle Versionen)Abschaltung am Ende der Lebensdauer |
| **Umwelt** | Weniger Energieverbrauch (25 – 30 %)Höhere Lampenlebensdauer (ca. 50 %)Weniger Lampenabfall (ca. 30 %) |
| **Gesundheit** | Ruhiges flimmerfreies LichtBrummfreier BetriebGeringe magnetische Feldstärken |

## Leuchtstofflampen-Lichtfarben für verschiedene Anwendungsgebiete

Je nach Anwendungsgebiet, müssen auch verschiedene Anforderungen, was die Lichtfarbe und die Farbwiedergabeeigenschaft betreffen, gestellt werden. Bei Leuchtstofflampentypen wird die Lichtfarbe anhand von Zahlen gekennzeichnet.

Wo sollen sie eingesetzt werden?

* Leuchtstofflampen mit warmweißer Lichtfarbe: werden dort eingesetzt, wo eine lampenähnliche, behagliche Lichtfarbe erwünscht ist. Zum Beispiel in Gasthäusern oder in Wohnungen
* Neutral-weiße Leuchtstofflampen: werden in Räumen eingesetzt, in denen eher eine sachliche Atmosphäre herrschen soll. Lampen, deren Lichtfarbe zwischen natürlichem Tageslicht und gewohntem Glühlampenlicht liegt sind für Arbeitsräume ideal.
* Tageslichtweiße Lichtfarben (mit bläulich-weißer Lichtfarbe): Lampen, mit einer solchen Lichtfarbe, kommen nur sehr selten für allgemeine Beleuchtungszwecke infrage.

⚫ : Lichtfarben mit dieser Kennzeichnung, sind Lichtfarben mit dieser Kennzeichnung **X** vorzuziehen.

|  |  |
| --- | --- |
|  | **Lichtfarbenbezeichnung** |
| warm-weiß | neutral-weiß | tageslicht-weiß |
| 927 | 827 | 930 | 830 | 940 | 840 | 950 | 865 |
| Lebensmittelverkauf |  | X |  | ⚫ |  | ⚫ |  |  |
| Bäckerei |  | ⚫ |  | ⚫ |  |  |  |  |
| Schlachterei |  |  |  |  |  | ⚫ |  |  |
| Sport-, Spielwaren |  |  |  | ⚫ |  | ⚫ |  |  |
| Textilien, Lederwaren |  | ⚫ | ⚫ | X | ⚫ | X |  |  |
| Büro, Klassen |  |  |  | ⚫ |  | ⚫ |  |  |
| Sitzungsräume |  | ⚫ |  | ⚫ |  |  |  |  |
| Sporthalle |  |  |  | ⚫ |  | ⚫ |  |  |
| Museum |  | X | ⚫ |  | ⚫ |  | ⚫ |  |
| Gaststätte | ⚫ | ⚫ |  |  |  |  |  |  |
| Wohnung | ⚫ | ⚫ |  |  |  |  |  |  |
| Straße |  |  |  |  |  | ⚫ |  |  |
| Werkstatt |  |  |  |  |  | ⚫ |  |  |
| Lager |  |  |  |  |  | ⚫ |  |  |
| Grafische Gewerke |  |  |  |  | ⚫ |  | ⚫ | X |
| Kosmetik, Friseur | ⚫ | X | ⚫ | X | ⚫ | X |  |  |

⚫ bevorzugt anwenden

## Geschichte

Vor mehr als 150 Jahren wurde die Leuchtröhre vom deutschen Physiker Heinrich Geißler erfunden. Er versuchte eine Spannung anzulegen, in dem er eine Glasröhre mit Gas füllte. Dieser Versuch gelang ihm.

**1901:** Der US-Amerikaner Peter Cooper-Hewitt erfand die Quecksilberdampflampe. Dies ist eine Entladungslampe, die mit Quecksilber gefüllt ist und blaugrünes Licht ausstrahlt.

**1926:** Edmund Germer (deutscher Erfinder) meinte, dass der Druck in der Röhre erhöht werden sollte und die Röhre mit einem Leuchtstoff beschichtet werden soll. Diese Leuchtstoffbeschichtung würde die ultraviolette Strahlung in sichtbares Licht umwandeln.

**1980:** „Philips“ brachte die erste „kompakte schmalförmige Leuchtstofflampe“ auf den Markt. Ihre (Gesamt-) Länge betrug 17 cm, der Durchmesser lag bei 7 cm und sie wog etwas mehr als 500 g. Durch die Größe und das Gewicht war eine flächendeckende Verwendung nicht möglich.

Weiteres, kamen in den darauf folgenden Jahren, von anderen Herstellern, Leuchtstofflampen, die ebenfalls ein Vorschaltgerät besaßen, auf den Markt. Diese waren jedoch um einiges schwerer und größer als die Modelle von heute, da sie am Lampenfuß ein Vorschaltgerät besitzen, welches am Anfang noch mit einem Schutzglas über den Leuchtröhren versehen war.

Der Unterschied zwischen den damaligen und heutigen Kompaktleuchtstofflampen ist, das bei den damaligen Lampen das flimmern deutlich sichtbar war und sie hatten auch keine gute Farbwiedergabe. Auch die Aufheizphase war um einiges länger und die Lichtausbeute geringer, als bei den heutigen Kompaktleuchtstofflampen.

Doch diese Punkte änderten sich mit der Einführung der elektronischen Vorschaltgeräte. Sie arbeiten genauer und erhöhen auch (durch hohe Betriebsfrequenz von 25 – 50 kHz (Kilohertz)) den Wirkungsgrad der Leuchtstofflampe um ca. 10 %.

**9. April 1984:** Veröffentlichung der ersten elektronischen Vorschaltgeräte mit Glühlampenfassung von Jürg Nigg.

Laut einer Ökobilanz, sich diese elektronischen Vorschaltgeräte, noch Rohstoffsparsamer sind, als Einwegsparlampen mit integriertem EVG. Daher werden diese Sparlampenadapter bis heute gebaut.

**1985:** Der Hersteller Osram brachte die erste Kompaktleuchtstofflampe mit einem im Sockel integriertem EVG und Startelektronik auf den Markt (eigene Angaben zufolge).

# Was ist eine LED (light emitting diode)?



Abbildung LED Lampe[[9]](#footnote-9)

## Vorteile:

* Hohe Lichtausbeute pro Watt
* Extrem lange Lebensdauer (wird momentan mit 50.000 Std. angegeben)
* Gute Lichtqualität
* Unempfindlich vor Erschütterungen
* Gute Umwelt Verträglichkeit

## Nachteile:

* Derzeit noch hohe Anschaffungskosten
* Lichtausbeute noch zu gering

**Vorteile:**

Hohe Lichtausbeute pro Watt:

Im Gegensatz zu einer Glühlampe die 40 Watt bei 400 lm (Lumen) benötigt, braucht eine LED max. 6 Watt (eine Energiesparlampe benötigt 9 Watt).

Extrem lange Lebensdauer:

Durch die geringe Hitzeentwicklung bleibt die LED immer relativ kühl. Dadurch wird die Lebensdauer extrem erhöht (anders als bei der Glühbirne).

Gute Lichtqualität:

Anders als bei der Energiesparlampe muss nicht erst die volle Lichtausbeute erreicht werden, sondern bei der LED ist von Anfang an die gesamte Lichtstärke vorhanden.

Unempfindlich vor Erschütterungen:

Eine LED kann durch Erschütterungen nicht zerstört werden, da sich keine losen Materialien in der Lampe verbinden.

Gute Umwelt Verträglichkeit:

Die LED enthält keine problematischen Stoffe und wird somit als gewöhnlicher Elektronikschrott entsorgt.

**Nachteile:**

Derzeit noch hohe Anschaffungskosten:

Durch die hohen Produktionskosten (größtenteils durch die noch geringe Produktionsmenge und wenig Bekanntheit) ist die Anschaffung noch relativ teuer.

Lichtausbeute noch zu gering:

Durch die hohe Wärmeempfindlichkeit der LED kann keine höhere Wattanzahl erreicht werden und dadurch ist die Lichtausbeute noch zu gering. Das Problem liegt noch bei den Kühlkörpern, deren Effizienz bei baulich gleichbleibender Größe noch erhöht werden muss, um eine höhere Lumenzahl als 600 zu erreichen

## Wirtschaftliche Vorteile:

* Die sehr lange Lebensdauer von 50.000 Stunden führt zu fast vollständiger Wartungsvermeidung.
* Der hohe Wirkungsgrad von farbigen und weißen LEDs sorgt für einen geringen Energieverbrauch

## Technische Vorteile:

* LEDs haben eine hohe Funktionssicherheit
* LEDs können einfach gedimmt werden – im gesamten Bereich von 0 bis 100%
* Die Farbsteuerung bei RGB-Farbmischungen ist unkompliziert
* Mit LEDs kann gebündeltes Licht mit hoher Leuchtdichte erzeugt werden

## Vorteile für die Umwelt:

* Der geringe Energiebedarf von farbigen und weißen LEDs reduziert den Energieaufwand für Betriebe und Klimatisierung
* Langlebigkeit der LEDs bedeutet auch, dass weniger Altlampen anfallen[[10]](#footnote-10)

## Analysierung der 10 Watt LEDON LED Lampe

* Lichtstrom 600 Lumen
* Energieverbrauch 10 Watt
* normal dimmbar oder double-click (bei schnellem zweimaligem einschalten wird die Lichtleistung auf 30% minimiert)
* E27-Sockel (Sockel der konventionell gebräuchlich ist)
* Lebensdauer von 13 Jahren, bei ca. 5 Std. Verwendung pro Tag
* Kosten: 40 Euro (stand 04.12.10)

## Bei der Auswahl von LEDs ist zu beachten:

* Der Lichtstrom (bei Glühbirnen wurde immer von der Watt Anzahl ausgegangen, was jetzt nicht mehr zwingend möglich ist. Bei LEDs muss auf die Lumenanzahl geachtet werden)
* Farbtemperatur (gibt die „Wärme“ des Lichtes an)
* Farbwiedergabeindex (gibt an, wie hoch die Farbwiedergabe von Leuchtmitteln ist und orientiert sich dabei an der Glühlampe, die den höchstmöglichen Wert von 100 besitzt)

## Herstellmöglichkeiten der LED

LEDs sind grundsätzlich nur in Farben erhältlich. Um ihr Licht weiß erscheinen zu lassen, gibt es verschiedene Methoden:

* Leuchtdioden verschiedener Farben (grün, blau und rot) werden so kombiniert, dass sich ihr Licht gut vermischt, und so als weiß erscheint.
* Lumineszenz: Eine blaue LED wird mit photolumineszierendem Material kombiniert (Fluoreszenzfarbstoff, Leuchtstoff). Dies ist die am häufigsten verwendete Methode, da es billiger ist, wenn man nur eine blaue LED verwendet, als eine Kombination aus mehreren Farben.[[11]](#footnote-11)

## Das Funktionsprinzip der Lumineszenz

Es gibt drei Arten von Lumineszenzen

Die Chemolumineszenz, Elektrolumineszenz und Photolumineszenz

Die LED verwendet die Elektrolumineszenz. Hierbei wird an einen Festkörper eine Spannung angelegt und dieser von einem Strom durchflossen. [[12]](#footnote-12)

## Vergangene Jahre

Früher wurde die LED größtenteils als Kontrolllampe für elektronische Komponenten verwendet. Vorteil war damals die geringe Größe, denn eine Kontrolllampe musste ja nichts beleuchten, sondern nur den momentanen Zustand des Gerätes anzeigen.

## Gegenwärtiger Zustand

Durch die hohen CO² Emissionen und die Klimaerwärmung die wir zurzeit haben, muss CO² eingespart werden. Da die Glühbirne eine relativ geringe Lichtausbeute pro Watt Leistung besitzt, musste eine alternative her; die Energiesparlampe (Leuchtstofflampe). Da hierbei aber die problematische Herstellung und Entsorgung ein Rückschritt darstellen, wird an einer Lichttechnik gearbeitet, die sich schon länger auf dem Markt befindet; die LED (light emitting diode oder auf Deutsch ,,Licht ausstrahlende Diode). LEDs werden derzeit meistens noch als Zusatzbeleuchtung verwendet.

## Zukünftige Entwicklung

Die LED wird mit 99,9 %iger Sicherheit die Beleuchtungsmethode der Zukunft, nicht nur im privaten Bereich, sondern auch im Unternehmen, bei Fahrzeugen und bei der Beleuchtung von Objekten. LED-Licht enthält keine ultraviolette (UV) und infrarote (IR) Strahlung. LEDs können deshalb an vielen Orten eingesetzt werden, wo es bei anderen Lichtquellen problematisch werden würde wie z.B. in der Lebensmittelindustrie, zur Beleuchtung leicht ausbleichender Kunststoffe und empfindlicher Kunstwerken in Museen.[[13]](#footnote-13)

## Geschichte der LED

**1907:**

Henry Joseph Round entdeckt den physikalischen Effekt der Elektrolumineszenz

**1923:**

Loser untersucht die physikalischen Effekte der Elektrolumineszenz systematisch

**1948:**

Die ersten Transistoren wurden entwickelt

**1951:**

In diesem Jahr gelang die erste quantenphysikalische Beschreibung des LED-Effekts

**1962:**

Die allererste Lumineszenz Diode kommt auf den Markt

**80er- bis 90er-Jahre:**

Hochleistungs-LEDs in Rot, Gelb und Grün sind erhältlich

**1995:**

Die erste LED mit weißem Licht wird vorgestellt

**1997:**

Weiße LEDs kommen auf den Markt[[14]](#footnote-14)

## Das LED Funktionsprinzip

## 5mm LED:

Der elektronische LED-Chip liegt in einem Reflektor, der auf der Kathode befestigt wird. Der Reflektor bestimmt den Abstrahlwinkel der LED-Leuchte. Der LED-Chip wird wiederum durch einen Anschlussdraht (meistens wird dazu ein Golddraht verwendet) mit der Anode verbunden. Über dem gesamten System befindet sich eine Kunststofflinse. Bei der LED funktioniert die Erzeugung von Licht durch den Übergang zwischen dem Bereich des Elektronenüberschusses und des Elektronenmangels.[[15]](#footnote-15)

## High-Flux LED:

Der LED Chip sitzt direkt auf einem Basisträger, der mit der Anode und Kathode verbunden ist. Außerhalb befindet sich wieder eine Kunststofflinse.

Der Unterschied der beiden LED Typen ist, dass bei der High-Flux LED ein höherer Lichtstrom, der größtenteils auf der Zunahme der Chipgröße und Optimierung der Chipgeometrie basiert, besteht.[[16]](#footnote-16)

## Typische Einsatzbereiche für LEDs:

Signalanlagen und Ampeln, weil hierbei eine hohe Leuchtdichte und eine lange Lebensdauer gewährleistet wird.

Instrumenten- und Displaybeleuchtung im Bereich der Automobilbeleuchtung, da die Niederspannung den leichten Einbau ins Bordnetz ermöglicht und eine lange Lebensdauer (kein Lampenwechsel) benötigt wird.

Zur Effektbeleuchtung, Werbung und Lichtinszenierung, weil eine Lichtdimmung ermöglicht wird und die LED leicht schalt- und steuerbar ist.

Display Beleuchtung da extrem kompakte Leuchten und eine niedrige Betriebstemperatur erreicht werden kann.

Sicherheitszeichen für Rettungswege, hohe Zuverlässigkeit, Sofortstart

Vitrinen- und Museumsbeleuchtung, bei der auch empfindliche Objekte aus kurzer Entfernung mit IR und UV freiem Licht angestrahlt werden können

Als Arbeitsplatzleuchten z.B. in der Industrie bei Maschinen beweist die LED ihre Immunität gegen Vibrationen

Zur Verwendung als Unterwasserleuchten, da bei der benötigten Kleinspannung keine Gefahr von übermäßigen Strohmflüssen besteht

Perfekt zur Außenbeleuchtung, da sie eine sehr qualitativ hochwertige und niedrig energieaufwändige Lichtquelle ist, zudem ist ihre Lebensdauer extrem lang. [[17]](#footnote-17)

## OLED

Die Weiterentwicklung der LED stellt die OLED (organische LED) dar. Sie besteht aus organischen, halbleitenden Materialien. [Stromdichte](http://de.wikipedia.org/wiki/Stromdichte) und [Leuchtdichte](http://de.wikipedia.org/wiki/Leuchtdichte) sind dadurch geringer, als bei einer LED. Der Hauptvorteil davon ist, dass sie sich billiger herstellen lässt, aber dafür momentan noch kurzlebiger ist.

Haupteinsatzgebiet der OLED ist im Moment der Einsatz in Displays, solche wie der von Fernsehern und Bildschirmen. OLED Displays sollen in Zukunft die Flüssigkristallbildschirme (LCDs) ablösen. Das Problem ist dabei momentan noch, dass die drei eingesetzten Farben (rot, grün, blau) unterschiedlich schnell altern. Im Jahr 2008 wurde eine 50%ige Nutzlebensdauer von 150.000 Stunden erreicht. Große OLED-Bildschirme sind aber bisher noch nicht zu wettbewerbsfähigen Preisen herstellbar. Sie werden aber auch schon häufig zur Beleuchtung von Großräumen eingesetzt.

Das Besondere an diesen OLED-Displays ist die Verwendungsmöglichkeit als biegsamer Bildschirm oder als elektronisches Papier. Die Vorstellung, an jedem beliebigen Ort einen „Bildschirm“ erscheinen zu lassen oder eine Lichtquelle zu platzieren, wäre genial.

## Vorteile:

Vergleich zu einem LCD Display: Da sich OLED Displays auf so ziemlich jedes Material aufdrucken lässt, würde man sich für die Herstellung enorme Kosten sparen. Außerdem könnte man z.B. ein OLED-Display in ein Kleidungsstück integrieren oder aufrollbare Bildschirme durch die verwendeten Materialien herstellen lassen.

Ein weiterer Vorteil gegenüber LCD Bildschirmen ist der deutlich höhere Kontrast, da OLED-Displays keine Hintergrundbeleuchtung benötigen, weil im Gegensatz zur LCD Technologie keine separate Hintergrundbeleuchtung benötigt wird, sondern die OLED Oberfläche selbst farbiges Licht emittiert. Dadurch lässt sich wiederum der Energieverbrauch senken. Zusätzlich wird ein Einsatz in kleinen Geräten wie Handys, Notebooks etc. besser ermöglicht.

Die Reaktionszeit von OLED-Displays ist zudem um das 1000 fache besser als bei LCD Bildschirmen. [[18]](#footnote-18)

## Nachteile:

Zu nennen wäre eine geringere thermische Stabilität, sowie ein aufwändigeres Reinigungsverfahren und die um einiges größere Empfindlichkeit durch Korrosion bei Sauerstoff- und Feuchtigkeitseintritt.[[19]](#footnote-19)



## Analyse des ÖKO-Kompasses

**Materialintenstität**: Zur Herstellung der Energiesparlampe wird Quecksilber, welches sehr Energieintensiv ist Die LED wird aus elektronischen Bauteilen gefertigt die den LED-Chip, Anode und Kathode miteinschließt. Zusätzlich wird noch ein Golddraht und eine Kunststofflinse benötigt. Die Kunststofflinse muss aus Erdöl hergestellt werden, dazu wird aber nur eine verschwindend geringe Menge benötigt und hier könnten sicher Alternativen verwendet werden.

**Energieintensität**: Die Herstellung der LED ist so gut wie nicht energieintensiv. Im Alltagsleben benötigt sie noch ein gutes Stück weniger Energie als die Leuchtstofflampe.

**Dienstleistungsintensität**: Die Wartungskosten der LED sind gegenüber der Energiesparlampe noch einiges geringer, da die LED eine noch höhere Lebensdauer besitzt.

**Nicht effizient recycelter Abfall**: Die Recyclung von Quecksilber ist sehr problematisch, da beachtet werden muss, dass es ein sehr giftiges Material ist. Im Gegensatz zur LED kann alles recycelt werden.

**Nicht erneuerbare Ressourcen**: Bei der LED wie auch bei der Energiesparlampe kann hier das verwendete Kunststoff erwähnt werden. Da es aus Erdöl gewonnen wird, könnte das in Zukunft durch die immer geringer werdenden Erdölvorräte ein Problem darstellen.

**Potenzielle Risiken**: Die LED stellt gegenüber der Energiesparlampe ein geringes potenzielles Risiko dar, da die Ausfallquote relativ gering ist und sie im Gegensatz zur Energiesparlampe viel weniger elektronische Komponenten besitzt.

## Quellenangabe:

[www.wikipedia.de/Kompaktleuchtstofflampe](http://www.wikipedia.de/Kompaktleuchtstofflampe)

www.wikipedia.de/Glühlampe

Buch: „Beleuchtungstechnik für den Elektrofachmann“; Zieseniß –Lindemuth –Schmits; Hüthig & Pflaum Verlag

Broschüre: „Energiesparlampen. Schön und kostengünstig“; OÖ Energiesparverband; [www.energiesparverband.at](http://www.energiesparverband.at)

1. <http://www.biobay.de/artikel/serie-leuchtmittel-teil-1-gluehbirnen-licht-durch-waerme> [↑](#footnote-ref-1)
2. [http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Gluehlampe\_01\_KMJ.jpg](http://commons.wikimedia.org/wiki/File%3AGluehlampe_01_KMJ.jpg) [↑](#footnote-ref-2)
3. ##  <http://www.biobay.de/artikel/leuchtmittel-teil-2-halogenlampen-getunete-gluehbirnen/129>

 [↑](#footnote-ref-3)
4. <http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/d/d5/Halogen-Gluehbirne.jpg> [↑](#footnote-ref-4)
5. [http://de.wikipedia.org/wiki/Glühlampe](http://de.wikipedia.org/wiki/Gl%C3%BChlampe) [↑](#footnote-ref-5)
6. <http://www.stromvergleich.org/stromtipps/beleuchtung/gluehbirne/geschichte-gluehlampe.html> [↑](#footnote-ref-6)
7. <http://www.dieenergiesparlampe.de/gluehlampenverbot/> [↑](#footnote-ref-7)
8. [http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/f/f6/01\_Spiral\_CFL\_Bulb\_2010-03-08\_(transparent\_back).png](http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/f/f6/01_Spiral_CFL_Bulb_2010-03-08_%28transparent_back%29.png) [↑](#footnote-ref-8)
9. <http://www.ledon-lamp.com/media/images/10W_LED_E27_A5.png> [↑](#footnote-ref-9)
10. LED – Licht aus der Leuchtdiode [↑](#footnote-ref-10)
11. <http://de.wikipedia.org/wiki/LED> [↑](#footnote-ref-11)
12. Grundlagen der Lichterzeugung [↑](#footnote-ref-12)
13. LED – Licht aus der Leuchtdiode [↑](#footnote-ref-13)
14. LED – Licht aus der Leuchtdiode [↑](#footnote-ref-14)
15. LED – Licht aus der Leuchtdiode [↑](#footnote-ref-15)
16. Grundlagen der Lichterzeugung [↑](#footnote-ref-16)
17. LED – Licht aus der Leuchtdiode [↑](#footnote-ref-17)
18. <http://de.wikipedia.org/wiki/OLED> [↑](#footnote-ref-18)
19. Grundlagen der Lichterzeugung [↑](#footnote-ref-19)