

Die Geschichte der Leuchtmittel

1 Kurzübersicht

Energie in Form von elektrischem Strom ist im Leben kaum wegzudenken. Der Lichtschalter, bei dessen Betätigung die Lampen anfangen zu leuchten, die Elektrogeräte, die für den Unterricht im Schulgebäude benötigt werden, Computer, Mobiltelefone, Tablets und vieles mehr. Alles verbraucht Strom in unterschiedlichem Maße. Um Energie nun sinnvoll einsparen zu können, ist es wichtig zu wissen, wie Verbrauch und Effizienz gemessen werden kann. In diesem Modul wird dabei ein Blick auf die Geschichte der Leuchtmittel geworfen. Wie hat sich die Effizienz einzelner Leuchtmittel über die Jahre verändert? Warum ist diese Entwicklung dringend nötig gewesen?



Abbildung 1 Leuchtmittelvergleich

Es erfolgt am Beispiel des Leuchtmittelvergleichs eine Einordnung der Entwicklungsgeschichte beginnend mit der Kohledraht-Glühbirne bis hin zur modernen LED-Leuchte. Lampen aus verschiedenen Epochen der Geschichte werden besprochen und miteinander verglichen. Dies ist mit einem Leuchtmittelkoffer mit integriertem Leistungsmessgerät und einem Luxmeter (Abb. 1) möglich. Die Leuchtmittel liegen dem Koffer bei.

Die Handhabung dieses Experiments ist zwar relativ simpel, sollte jedoch unbedingt von einer Lehrperson durchgeführt werden, da es sich um 230 V Niederspannung handelt und die Fassungen keinen Berührungsschutz aufweisen. Ebenso sind die Leuchtmittel sehr fragil und einige sehr schlecht ersetzbar.

2 Thematische Einordnung

Im Vordergrund dieses Experiments steht das Unterrichtsfach Physik. Einheiten wie Spannung, Strom, Leistung und Lichtstärke werden besprochen und ausgewertet. Gemeinsam werden auch Nutzungszeiten von Lampen abgeschätzt und gemessene Energieverbräuche einzelner Leuchtmittel tabellarisch erfasst. Daraus lassen sich die Verbräuche pro Tag, Monat und Jahr berechnen. Schülerinnen und Schüler bekommen die Möglichkeit, Leuchtmittel anhand ihrer Effizienzklassen zu unterscheiden und Schlussfolgerungen über das eigene Nutzungsverhalten anzustellen. Damit wird ein Bewusstsein entwickelt, das Einfluss auf das eigene Konsumverhalten und den energetischen Fußabdruck haben kann.

Ebenso sieht die Projektarbeit vor, in Gruppenarbeit Quellen zu den einzelnen Leuchtmitteln zu studieren, wichtige Inhalte zusammenzufassen und sie dann gemeinsam auszuwerten. Somit wird projektorientiertes Arbeiten und der Umgang mit Quellen zu Leuchtmitteln und zu aktuellen Klimaschutzverordnungen geschult.

3 Benötigte Materialien

Im SENSOR-Paket enthalten:

Bezeichnung	Anzahl	Bezugsquelle (Beispiel)
Leuchtmittel Vergleichskoffer (mit Leuchtmitteln bestückt)	1	https://shop.david-comm.de/suche?controller=search&s=koffer
Messgeräte koffer (Luxmeter, Lautstärke, Windstärke, Temperatur)	1	https://www.reichelt.de/messgeraeteset-fuer-umweltmessung-5-teilig-peaktech-8103-p155896.html

4 Ablauf

4.1. Vorbereitung

Zur Vorbereitung des Experiments werden der Leuchtmittelkoffer (Abb. 2) und der Messgeräte koffer ausgeklappt und in Augenschein genommen. Der Leuchtmittelkoffer enthält eine Kohlefaden-, eine Heiz-, eine Metallfaden-, eine Halogen-, eine Kompakt-Leuchtstoff und eine LED-Filament-Lampe mit E27 Sockel sowie eine Glimmlampe (E14) + Adapter für den Betrieb an 230 V Niederspannung. Zusätzlich dazu sind einige 12 V Halogen- und LED-Strahler, Adapter sowie eine Glimmleuchte enthalten. Diese sind für dieses Experiment nicht nötig und dienen nur zu Demonstrationszwecken. Im oberen Bereich des aufgeklappten Koffers ist das Leistungsmessgerät angebracht.



Abbildung 2 Leuchtmittelkoffer im Auslieferungszustand

Der Messgerätekofter enthält ein Thermometer, ein Luxmeter, ein Anemometer und ein Lärmpegelmessgerät (Abb. 3). Installieren Sie eine der 9 V Batterien in dem Luxmeter. Stellen Sie das Messgerät nach dem Einschalten per Knopfdruck auf „Range“ auf den Wert 2000 ein. Erst danach sollte die blaue Schutzabdeckung entfernt werden (Abb. 4).



Abbildung 4 Luxmeter vorbereitet



Abbildung 3 Messgerätekofter (von links)
Thermometer, Luxmeter, Anemometer,
Lärmpegelmessgerät

Nun wird das enthaltene Kaltgerätekabel am Leuchtmittelkofter (hinten) eingesteckt. Im Anschluss daran werden die vorhandenen Leuchtmittel vorsichtig in die vorgesehenen Fassungen des Leuchtmittelkoffers geschraubt bzw. gesteckt.

Bitte stecken Sie erst nach Abschluss dieser Tätigkeit das Kaltgerätekabel in eine Schuko-Steckdose ein und versorgen den Versuchsaufbau mit Strom (Abb. 5). Jeder Lampensockel hat einen eigenen Schalter zum Ein- und Ausschalten der Leuchtmittel.



Abbildung 5 Leuchtmittelvergleichskoffer vorbereitet

4.2. Versuchsdurchführung

Die Leuchtmittel werden im Verlauf des Versuches der Reihe nach ein- und nach Messung der Werte für Leistung und Lichtstärke wieder ausgeschaltet. **Es ist dabei zu vermeiden, dass mehrere Leuchtmittel gleichzeitig eingeschaltet werden. Ebenso erwärmen sich ältere Leuchtmittel bei längerem Betrieb, sodass sie sehr heiß werden können. Bitte achten Sie auch auf einen festen Stand des Koffers, damit im Betrieb keine Erschütterungen stattfinden.**

Während der Demonstration wird näher auf die Entwicklungsgeschichte einzelner Leuchtmittel eingegangen (siehe Kapitel 4.3 Geschichte der elektrischen Beleuchtung).

Jedes Leuchtmittel wird mittels Luxmeter im gleichen Abstand von etwa 15 cm (Abb. 6) gemessen. Das Luxmeter sollte beim Einschalten auf „Auto Range“ stehen. Um die Skala einheitlich zu gestalten, wird durch Drücken des „RANGE“-Knopfes 2.000 LUX eingestellt. Das Messgerät besitzt auf der gegenüberliegenden Seite einen „Hold“-Knopf, bei dessen Betätigung der aktuell gemessene Wert gehalten wird. Durch erneutes Drücken dieses Knopfes werden wieder neue Werte gemessen.

Zu beachten ist dabei, dass direktes Sonnenlicht oder die Hintergrundbeleuchtung die Messwerte verfälschen können. Die Skaleneinteilung für den Messwert wird mit einem Multiplikator (x10) angegeben (Abb. 7). Ebenso muss eine Umrechnung von Lux zu Lumen erfolgen, damit die Werte mit Hersteller*innenangaben vergleichbar sind.

Die beiden Messwerte Leistung [W] und Beleuchtungsstärke [LUX] werden von den Schüler*innen auf die Arbeitsblätter übernommen und ausgewertet. Dabei wird die Energieeffizienz berechnet. Schlussendlich kann gemeinsam ausgewertet werden, welches Leuchtmittel am besten abschneidet.

Achtung! Nach der Durchführung müssen die Leuchtmittel wieder auf Raumtemperatur abkühlen, bevor sie in die vorgesehenen Schaumstofftaschen eingelegt werden können.

Auf den nachfolgenden Seiten enthalten Informationsmaterial zu den einzelnen Leuchtmitteltypen. Das Quellmaterial für die Schüler*innengruppen basiert auf diesen Informationen. Die Seiten sind so angeordnet, dass pro Gruppe genau eine Seite ausreicht.

Laut Aufgabenblatt sollen die Schülerinnen und Schüler sich gegenseitig Ergebnisse präsentieren, während das gewählte Leuchtmittel am Versuchskoffer gemessen wird. So werden die Informationen allen zur Verfügung gestellt und können im Plenum diskutiert werden.



Abbildung 6 Messung des Leuchtmittels mittels Luxmeter



Abbildung 7 Ablesen des gemessenen Beleuchtungswertes (hier 296*10 = 2960 Lux)

5 Die Geschichte der elektrischen Beleuchtung

Erste Glühlampen gab es bereits ab Anfang des 19. Jahrhunderts. Oftmals existierten diese jedoch nur als Prototypen, deren Herstellung und Verwendung sich durch den Einsatz teurer Materialien (wie Platin) nicht lohnte. In der Zeit vor 1880 wurden im städtischen Außenbereich überwiegend Gasleuchten verwendet. Es gab Personen, die den Beruf „Lichtner“ ausgeübt haben. Sie liefen bei Einbruch der Nacht in der Stadt umher, um Gaslaternen zu entzünden. Im Morgengrauen mussten sie diese dann wieder löschen. In Haushalten fand Kerzenlicht und ebenfalls Stadtgas als Energiequelle Anwendung. Die Verwendung von Gas im häuslichen Bereich führte jedoch in der Vergangenheit nicht selten zu Wohnungsbränden, da die offenen Flammen nicht zu jeder Zeit bewacht wurden. Zu dieser Zeit gab es noch keine Elektrizität in Privathaushalten, sodass weder Glühbirnen noch Elektrogeräte verwendet wurden.

Die erste Erwähnung einer möglichen Nutzung von Elektrizität zur Beleuchtung geschah im Jahre 1801 durch den Chemiker und Erfinder Louis Jacques Thénard. Er legte dar, dass Metalldrähte, die von Strom aus galvanischen Elementen (Batterien) durchflossen wurden, zu Glühen beginnen.

Die Kohlefadenglühbirne: Die erste elektrische „Glühbirne“ für den alltäglichen Gebrauch wurde Jahrzehnte danach von Thomas Alva Edison im Jahre 1880 patentiert. Die Kohlefadenlampe (Abb. 8) bestand aus einem Glaskolben, in dem ein feiner Kohlefaden spiralförmig angebracht war. Der Raum zwischen dem äußeren Glaskolben und dem Faden war weitgehend evakuiert (luftleer), sodass der durch elektrischen Strom zum Glühen gebrachte Faden nicht oxidieren (verbrennen) konnte. So behielt er seine Form und Temperaturbeständigkeit.

Dieser Lampentyp fand erstmals im Bergbau unter Tage Anwendung. Über die folgenden Jahrzehnte hielt er mit der voranschreitenden Elektrifizierung der Städte und Wohnhäuser Einzug in die Haushalte. Die Deutsche Edison Gesellschaft (Vorläufer der Firma AEG) und Siemens dominierten zu diesem Zeitpunkt den Markt in Deutschland mit ihren Produkten. Die damals übliche Schraubfassung E27 stammt aus genau dieser Zeit. Das E steht für Edison und 27 für den Durchmesser von 27 mm. Das in Abbildung 8 dargestellte Leuchtmittel hat eine Leistungsaufnahme von etwa 100 W bei einer gleichzeitig sehr geringen Lichtausbeute von nur 3 Lumen pro Watt. Ein Großteil der aufgewendeten Energie wird in Wärme umgewandelt.

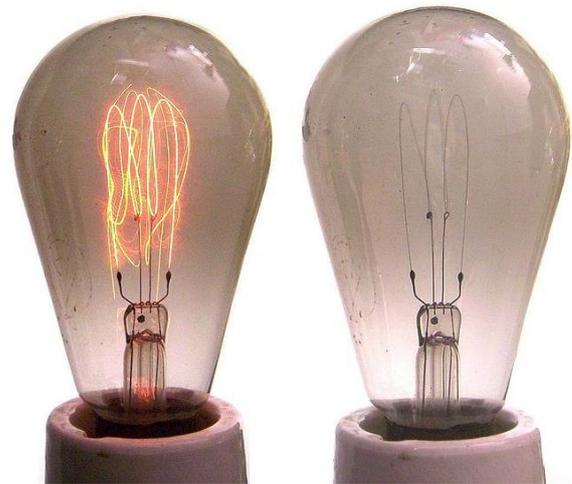


Abbildung 8 Kohlefadenglühbirne, ©Ulfbastel¹

Dieser Lampentyp fand erstmals im Bergbau unter Tage Anwendung. Über die folgenden Jahrzehnte hielt er mit der voranschreitenden Elektrifizierung der Städte und Wohnhäuser Einzug in die Haushalte. Die Deutsche Edison Gesellschaft (Vorläufer der Firma AEG) und Siemens dominierten zu diesem Zeitpunkt den Markt in Deutschland mit ihren Produkten. Die damals übliche Schraubfassung E27 stammt aus genau dieser Zeit. Das E steht für Edison und 27 für den Durchmesser von 27 mm. Das in Abbildung 8 dargestellte Leuchtmittel hat eine Leistungsaufnahme von etwa 100 W bei einer gleichzeitig sehr geringen Lichtausbeute von nur 3 Lumen pro Watt. Ein Großteil der aufgewendeten Energie wird in Wärme umgewandelt.

Aus heutiger Sicht werden Kohlefadenglühbirnen mit einer Energieeffizienzklasse G und F (ineffizient) bewertet. Der Verkauf solcher Leuchtmittel ist in Deutschland seit 2009 auf Basis der Ökodesign-Richtlinie der Europäischen Union [►2009/244/EG](https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2009:076:0003:0016:DE:PDF)² stufenweise verboten. Darüber hinaus werden solche Leuchtmittel schon seit fast 100 Jahren nicht mehr produziert.

¹ © [CC BY-SA 3.0 Ulfbastel](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Carbonfilament.jpg) (<https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Carbonfilament.jpg>)

² Verordnung (EG) Nr. 244/2009 der Kommission vom 18. März 2009 zur Durchführung der Richtlinie 2005/32/EG des Europäischen Parlaments und des Rates im Hinblick auf die Festlegung von Anforderungen an die umweltgerechte Gestaltung von Haushaltslampen mit ungebündeltem Licht. URL: <https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2009:076:0003:0016:DE:PDF>, letzter Zugriff: 12.01.2023.

Der Heizstrahler: Als Sonderform der Leuchtmittel gelten so genannte Heizstrahler (Abb. 9). Im Grunde sind diese keine Leuchtmittel im klassischen Sinn, sondern so genannte Dunkelstrahler. Das physikalische Wirkprinzip ist die Wärme statt per Konvektion (Erwärmung der Luft) per unsichtbarer Infrarot-Strahlung an Objekte im Raum (Möbel, Wände, Fußböden) abzugeben. Diese Strahlung wird dann von den Objekten absorbiert. Dadurch erwärmen sie sich und geben selber Wärme ab.

In den frühen Jahren des 20. Jahrhunderts wurden sie hauptsächlich dazu verwendet, Wasserleitungen in entlegenen Sanitäranlagen vor Frost zu schützen, die Viehzucht zu unterstützen und den Komfort in Wohnbereichen zu erhöhen.

Sinn und Zweck dieser Strahler ist es also, mit elektrischem Strom zu heizen. Somit lassen sich Heizbirnen, Heizstrahler und Dunkelstrahler nicht anhand ihrer Energieeffizienz kategorisieren, da die Effizienz der Quotient aus Lichtenergie und Gesamtenergie ist. Hier wird nahezu 100 % der eingesetzten Energie in die gewünschte Energieform „Wärme“ umgewandelt. Heizstrahler wie diese erlebten zwischen den Jahren 1920 und 1990 große Anwendung. Heutzutage werden kaum noch Heizstrahler in Birnenform vertrieben. Grund dafür ist, dass Lichtstromkreise nicht für starke Belastungen (wie Heizungen) ausgelegt sind. Stattdessen gibt es Infrarotheizungen in Panelform (Abb. 10), die dann Heizkörper ersetzen können und alle Gegenstände in den Räumen per Sekundärstrahlung erwärmen. Das Wirkprinzip ist hier das gleiche, nur haben sich das Design und die Anwendungsmöglichkeiten geändert.



Abbildung 9 Heizstrahler in Birnenform



Abbildung 10 Moderne Infrarotheizung im Wohnbereich

Die Metalldrahtglühbirne: Die ersten elektrischen Leuchtmittel waren Kohlefadenglühbirnen. Sie wurden erstmals im Jahre 1880 präsentiert. Nur 25 Jahre später, im Jahre 1905, wurde es durch Entwicklungen in der Materialbearbeitung und Werkstoffwissenschaft möglich, dass die Kohlefäden durch das Metall Wolfram ersetzt werden konnten. Wolfram ist bis heute das härteste natürlich vorkommende Metall, das ebenfalls einen sehr hohen Schmelzpunkt von 3422°C aufweist. Metalldrahtglühbirnen (Abb. 11) hatten im Vergleich zu den Kohlefäden eine wesentlich höhere Lichtausbeute von 10-12 Lumen pro Watt. Auch die Lichtfarbe näherte sich von dem überwiegend rötlichen Licht dem Erscheinungsbild von Tageslicht. Nach und nach verdrängten die etwas besseren Metalldrahtglühfadenleuchten die ineffizienteren Kohledrahtbirnen vom Markt. Sie wurden über die kommenden Jahrzehnte immer weiter verbessert. Im Inneren des Glaskolbens befand sich damals ein Vakuum, damit die heißen Leuchtdrähte nicht mit Sauerstoff in Berührung kommen. Bei den herrschenden Temperaturen würde der heiße Draht sonst in Bruchteilen von Sekunden oxidieren und verglühen. Im Laufe der Entwicklung wurde das Vakuum durch reaktionsträges Schutzgas (Stickstoff, Argon, Xenon oder Krypton) ersetzt. Dadurch konnten Glaskolben viel dünner ausgelegt werden, da sie nicht mehr dem atmosphärischen Druck standhalten mussten. Auch die Abfuhr von entstehender Wärme wurde damit verbessert. Trotz Verbesserungen liegt die Haltbarkeit einer solchen Glühbirne bei nur etwa 1.000 – 2.000 h.



Abbildung 11 Metalldraht-Glühfadenleuchte, © KMJ³

Weitere Änderungen der Füllgasbestandteile und der Glaskörperfarbe versprachen auch andere Lichtfarben. Die Verwendung von Metalllegierungen, Oberflächenbeschichtungen des Glühdrahtes ermöglichten eine kostengünstigere Herstellung. Jedoch blieb die Technologie an sich über 100 Jahre bis zum Anfang des 21. Jahrhunderts unverändert.

Aus heutiger Sicht werden Metalldrahtglühbirnen überwiegend mit der Energieeffizienzklasse E, D und C (ineffizient) bewertet. Der Verkauf solcher Leuchtmittel ist in Deutschland seit 2009 auf Basis der Ökodesign-Richtlinie der Europäischen Union [▷2005/32/EG](#)⁴ in der Unterrichtsrichtlinie für Leuchtmittel mit ungebündeltem Licht [▷2009/244/EG](#)² stufenweise verboten.

Die 100 W Glühbirne mit Effizienzklasse E darf seit 2009 nicht mehr verkauft werden. Seit Anfang 2010 gilt selbiges für die 75 W Glühbirne und seit 2011 werden Glühbirnen mit 60 W Leistungsaufnahme nicht mehr für den Verkauf zugelassen. Am 01. September 2018 trat etwas verspätet die letzte Stufe (von insgesamt sechs) in Kraft. Somit dürfen für den Hausgebrauch Glühbirnen mit ungebündeltem Licht, die eine Effizienzklasse von B nicht erreichen, nicht mehr in Umlauf gebracht werden. Die letzte Stufe betrifft Leuchtmittel mit Lampensockeln G9 (Stiftsockelleuchte) und R7s (Halogenstrahler).

Heute existieren nur noch vereinzelt einige Sonderformen, z. B. in Bereichen der Industrie, Foto- und Filmstudios oder in bildgebendem Laborequipment.

³ © [CC BY-SA 3.0 KMJ](#) (https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Gluehlampe_01_KMJ.png)

⁴ Richtlinie 2005/32/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 6. Juli 2005 zur Schaffung eines Rahmens für die Festlegung von Anforderungen an die umweltgerechte Gestaltung energiebetriebener Produkte und zur Änderung der Richtlinie 92/42/EWG des Rates sowie der Richtlinien 96/57/EG und 2000/55/EG des Europäischen Parlaments und des Rates. URL: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:32005L0032&from=DE>, letzter Zugriff: 12.01.2023.

Die Halogenleuchte: Als Weiterentwicklung der herkömmlichen Metalldrahtglühbirne werden bis zum heutigen Tage vor allem im Niederspannungsbereich (KFZ, Schifffahrt, Ampeln, Signalleuchten, etc.) Halogenleuchten (Abb. 12) verwendet. Nach Einführung der ersten Ökodesign-Richtlinie der EU [▷2005/32/EG](#)⁴ und dem stufenweisen Verbot von konventionellen Glühbirnen mit ungebündeltem Licht im Jahre 2009 wurde diese weiterentwickelte Art wegen der etwas höheren Effizienz und Lichtausbeute von 10 – 19,5 Lumen pro Watt für den Heimgebrauch interessant. Auch wenn es Halogenleuchten in Fahrzeugen und Projektoren bereits seit mehreren Jahrzehnten (seit etwa 1980) Einsatz finden, werden sie erst ab der Jahrtausendwende (2005) im Heimbereich vor allem dort eingesetzt, wo Licht häufig ein- und ausgeschaltet wird.

Im Inneren des Glaskolbens befinden sich ein kleinerer, mit einem Halogen (meist Iod) gefüllter Glaszylinder und ein stärkerer Metalldraht aus Wolfram. Das Halogen und der stärkere Draht ermöglichen zusammen ein zerstörungsfreies Glühen bei höheren Temperaturen. Ohne das Halogen im Glaskolben würde der Wolframdraht im Betrieb nach und nach verdampfen und sich auf dem inneren Glaskolben absetzen. Somit würde der Draht immer dünner und damit heißer glühen, bis er schlussendlich durchbrennt. Das Halogen verhindert diesen Prozess weitestgehend.



Abbildung 12 Halogenleuchte

Durch den Einsatz des Halogens wird die Haltbarkeit auf bis zu 5.000 h erhöht. Alle Halogenleuchten sind auch dimmbar, allerdings verlieren sie durch das Dimmen ihre Effizienzvorteile gegenüber konventionellen Leuchtmitteln. Im Normalbetrieb ist die Energieausbeute im Vergleich zu Metalldrahtglühbirnen etwas erhöht. Die Lichtfarbe ist auch etwas weißer und nähert sich somit weiter dem Tageslicht an.

Da dieser Leuchtmitteltyp trotz Verbesserungen im Niederspannungsbereich (110 – 230 V) nur Effizienzklassen von E bis C erreicht, wird er auf Grundlage der oben genannten EG-Richtlinie bis zum 01.09.2021 vom Markt genommen. Im Schutzspannungsbereich (5 - 24 V) werden Halogenleuchtmittel auch in Zukunft noch als unverzichtbar angesehen, da es vor allem in der Automobilindustrie noch keine Alternativen gibt. Zwar steigen Fahrzeugherstellern bei Neufahrzeugen vermehrt auf Xenon-Gasentladungslampen um, jedoch werden Halogenlampen mindestens noch solange verfügbar sein, solange es ältere Fahrzeuge auf unseren Straßen gibt.

Die Leuchtstofflampe: Fast zeitgleich mit der Erfindung von Kohle- oder Metallfadenlampen wurden Gasentladungslampen erfunden. 1901 patentierte Peter Cooper-Hewitt die Quecksilberdampf Lampe. Quecksilberdampf emittiert Licht überwiegend im ultravioletten, grünen und blauen Spektrum. Im Jahre 1913 entwickelte Philipp Siedler die ersten Gasentladungslampen mit Edelgasfüllung (Neon bzw. Argon). Daher haben die Leuchten auch viele Jahre ihren Namen „Neonröhren“ erhalten.

Das in der Röhre befindliche Gas wird durch eine Initialzündung in einen elektrisch leitfähigen Plasmazustand gebracht. Es tritt in den Gasmolekülen ein Lawinenzustand ein, der sie zum Fluoreszieren (Leuchten) anregt, wenn sie ihre Ladung an die anderen in der Röhre befindlichen Gasmoleküle weitergeben. Nach der Initialzündung kann der Strom heruntergedrosselt werden, sodass gerade so ein Stromfluss zwischen den Kathoden zustande kommt. Deshalb brauchen alle Gasentladungslampen ein Vorschaltgerät, das diesen Vorgang übernimmt.

Das emittierte Lichtspektrum der Neonröhren ist überwiegend im ultravioletten Bereich angesiedelt. Daher schlug Edmund Germer im Jahre 1926 vor, die Röhren von innen mit einem Leuchtstoff zu beschichten, der fluoresziert und somit UV-Licht in sichtbare Spektren verschiebt. So erhielten sie fortan den Namen Leuchtstofflampen (Abb. 13). Erst ab 1938 wurden diese mit kommerziellem Erfolg vertrieben, da sie im Vergleich zu Glühlampen als sehr sparsam galten. Durch die Lichtfarbe, die Qualität und eine permanente Geräuschentwicklung wurden sie überwiegend in Arbeitsbereichen verwendet.



Abbildung 13 Verschiedene Typen von Leuchtstofflampen, © Christian Taube⁵

Die Kompaktleuchtstofflampe (Energiesparlampe): Seit etwa 1980 wurden die großen Leuchtstoffröhren und deren Vorschaltgeräte immer kompakter. Die Vorschaltgeräte konnten so klein ausgeführt werden, dass sie in die Fassung einer E27 Birne passten. Somit wurde die Energiesparlampe bzw. Kompaktleuchtstofflampe (Abb. 14) entwickelt. Anwendung erhielten sie jedoch erst in den letzten Jahrzehnten als Alternative zu Glühlampen. Sie haben mit 45-100 Lumen pro Watt eine recht hohe Energieeffizienz. Gemessen an Energieeffizienzklassen erreichen sie Bewertungen von B bis A. Die bescheidene Lichtqualität, der Quecksilbergehalt und die Neigung zum Flimmern werden jedoch oftmals bemängelt. Auch die Haltbarkeit ist mit 5.000 h Stunden angegeben, was in der Praxis jedoch kaum erreicht wird. Oftmals tritt ein Defekt bei kurzzeitiger Benutzung (viele Schaltvorgänge) bereits sehr viel schneller ein.

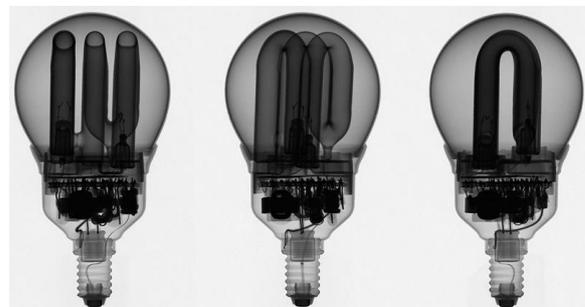


Abbildung 14 Röntgenbild einer Energiesparlampe, © SecretDisc⁶

Die Gase im Inneren der Röhre sind bis zum heutigen Tage noch quecksilberhaltig. Auf dem Gebiet der europäischen Union sind Kompaktleuchtstofflampen mit integriertem Vorschaltgerät ab dem 01.09.2021 verboten.

⁵ © [CC BY-SA 3.0 Christian Taube](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Leuchtstofflampen-ctaube050409.jpg) (https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Leuchtstofflampen-ctaube050409.jpg)

⁶ © [CC BY-SA 3.0 SecretDisc](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Defective_compact_fluorescent_lamp_x-ray.jpg) (https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Defective_compact_fluorescent_lamp_x-ray.jpg)

LED-Leuchtmittel: Die momentan fortschrittlichste Technologie in Bezug auf Beleuchtung ist die Leuchtdiode, auf Englisch *light emitting diode*, kurz LED (Abb. 15). Grundstoffe für die LED sind Halbleiter wie Galliumarsenid, Galliumphosphid, Zinkselenit, Siliziumcarbid und viele weitere, die bei Stromfluss Licht emittieren können. Das emittierte Lichtspektrum ist abhängig von den Stoffen, mit denen die Halbleiter dotiert wurden.

Die Entwicklung der LED geht zurück auf die Erfindung des Halbleitertransistors und wird in mehreren Quellen Nick Holonyak im Jahre 1962 zugeschrieben. Erste Prototypen hatten eine Lichtausbeute von nur 0,1 Lumen pro Watt und die einzig emittierbare Farbe war rot. Technologische Fortschritte ermöglichten jedoch Halbleitermaterialien von besserer Qualität herzustellen und es wurde an unzähligen weiteren Stoffkombinationen sowie Herstellungsprozeduren geforscht. Heutzutage kann das gesamte Lichtspektrum von Infrarot über alle sichtbaren Spektralfarben bis hin zu ultraviolettem Licht dargestellt werden. Ebenso hat sich die Lichtausbeute im Vergleich zu ersten verkäuflichen Leuchtmitteln vom Jahr 2007 um den Faktor 60 auf etwa 125 – 180 Lumen pro Watt gesteigert. Unter Laborbedingungen wurden bereits $303 \text{ lm} / \text{W}$ erreicht. Die heutige Technologie ermöglicht es, einzelne LED so klein herzustellen, dass sie mit dem bloßen Auge kaum zu erkennen sind. Die Elektronikindustrie arbeitet mit Wissenschaftler*innen weltweit fieberhaft daran, Displays auf Basis der LED-Technik in Marktreife herzustellen. Einige Produkte mit organischen Leuchtdioden (OLED, AMOLED, PMOLED) existieren bereits. Damit hält die LED auch Einzug in die Unterhaltungs-, Informatik- und Telekommunikationsbranche.

LEDs für die Heimbeleuchtung werden nach aktuellem Stand der Technik in so genannten Filamenten angeordnet und zusätzlich mit Leuchtstoff beschichtet (Abb. 16). Im Inneren des Sockels ist eine Vorschalt elektronik angebracht, die Spannung und Strom reguliert. Die Haltbarkeit von diesen Leuchtmitteln liegt zwischen 2.000 h und 10.000 h, je nach Qualität der Vorschalt elektronik. Einzelne LEDs sollen ohne Leistungseinbußen eine Haltbarkeit von über 100.000 h (etwa 11,4 Jahre) aufweisen. Aufgrund der relativ neuen Technologie kann diese Zahl jedoch noch nicht verifiziert werden. Einige Firmen ermöglichen mit ihren Schaltkreisen LED-Leuchtmittel dimmbar zu machen, um ein hohes Maß an Komfort zu ermöglichen und damit größere Anwendungsfelder abzudecken.



Abbildung 15 RGB-LED SMD 5050 Makroaufnahme



Abbildung 16 LED Filament Leuchtmittel mit Edison Sockel

Zusammenfassung: Es mag so erscheinen, als sei die Entwicklung ein linearer Prozess gewesen. Jedoch hat ein Großteil der bahnbrechenden Forschung erst in den letzten 30 Jahren stattgefunden. Zwar sind die Herstellungskosten vergleichsweise hoch, jedoch spiegelt sich dies auch in besseren Energieeffizienzklassen (A bis A++) und einer höheren Lebenserwartung wider. So werden LEDs aktuell als Mittel der Wahl angesehen. In ihnen enthaltene Stoffe, die als gesundheitlich bedenklich gelten könnten, liegen stark gebunden vor. Aktuell enthalten sie gemäß der RoHS Richtlinie (Restriction of Hazardous Substances) keine freien gesundheits- und umweltschädlichen Stoffe. Geeignete Prozeduren für das Rohstoffrecycling von LED stehen im Moment noch aus, sollen jedoch in den kommenden Jahren weltweit angeregt werden.

Die Technologie und die Herstellung haben im Laufe des letzten Jahrhunderts stetig Verbesserungen erfahren. So auch die Mittel der künstlichen Beleuchtung. Mit zunehmender Ressourcenknappheit und dem wachsenden Umweltbewusstsein wird seit den 1990er Jahren fieberhaft an Alternativen zur effizienteren Beleuchtung und Energienutzung gearbeitet. Die LED ermöglicht hierbei den Einsatz auf weiten Bereichen des täglichen Lebens und unterstützt somit einen ressourcenschonenden Einsatz von Geräten.

Die maximal mögliche Energieausbeute für warmweißes Licht beträgt rund 350 Lumen pro Watt. Daraus lässt sich der theoretische Wirkungsgrad ermitteln. Die von Schüler*innen auszufüllende Tabelle sollte am Ende in etwa den unten angegebenen Werten entsprechen.

Leuchtmitteltyp	Vermarktung	Lichtausbeute	Wirkungsgrad	Haltbarkeit	Energieeffizienz
Kohlefadenglühbirne	1884 - 1930	etwa 3 <i>lm/W</i>	$\mu \leq 0,85 \%$	Bis 1.000 h	G bis F
Metalldrahtglühbirne	1905 - 2006	10 – 15 <i>lm/W</i>	$\mu \leq 5 \%$	1.000 – 2.000 h	D
Strahlungsheizung	1930 - heute	-	$\sim 100\%$	20.000 – 50.000h	Nicht Verfügbar
Halogenleuchte	2009 - 2021	10 – 19 <i>lm/W</i>	$\mu \leq 5,7 \%$	2.000 – 5.000 h	E bis C
Kompaktleuchtstofflampe	1980 - 2015	40 – 60 <i>lm/W</i>	$\mu \leq 17,1 \%$	2.000 – 5.000 h	B bis A
LED-Leuchtmittel	2007 - heute	bis 180 <i>lm/W</i>	$\mu \leq 51,4 \%$	2.000 – 100.000 h	A bis A++

Im Anschluss an die Auswertung im Plenum kann eine kritische Betrachtung der Situation im Schulgebäude erfolgen. Wenn noch veraltete Leuchtmittel verwendet werden, kann berechnet werden, welches Einsparpotenzial im Klassenzimmer, Schulhaus oder in Turnhallen besteht.