

Ein Überblick über die LED-Technik: Geschichte, Grundlagen und die Umwelt

Bernhard Weller

Naturschutzbund Schwarzwald-Baar (NABU)

05.04.2013



Inhalt

1 Lichtgeschichte

- Und es werde Licht?

2 Grundlagen

- Das Spektrum und die Farbwiedergabe
- Wie funktioniert eigentlich eine Glühbirne?
- Lumen statt Watt
- Warum LEDs anders sind

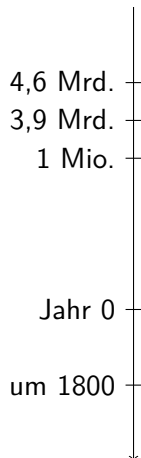
3 Umwelt

- Vergleich der Lichtquellen
- Herstellung und Recycling von LEDs

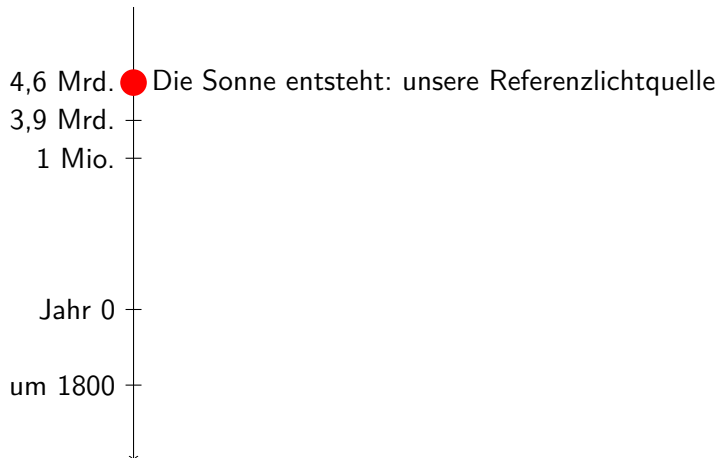
4 Zusammenfassung



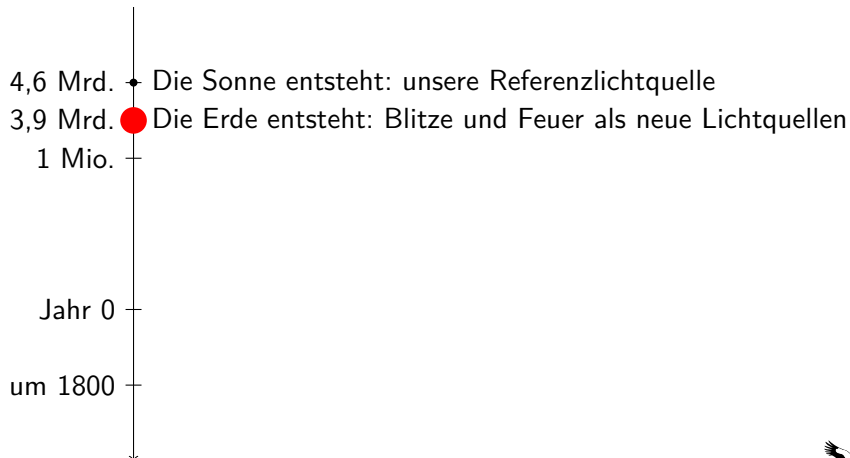
Und es werde Licht: Vorgeschichte



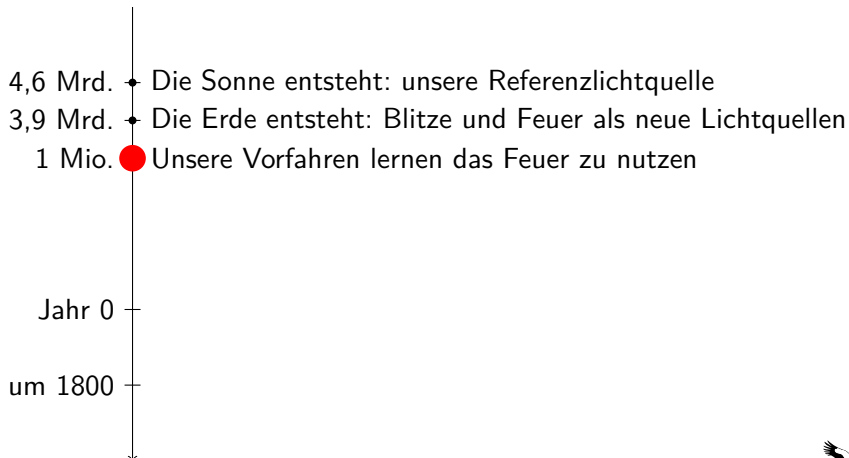
Und es werde Licht: Vorgeschichte



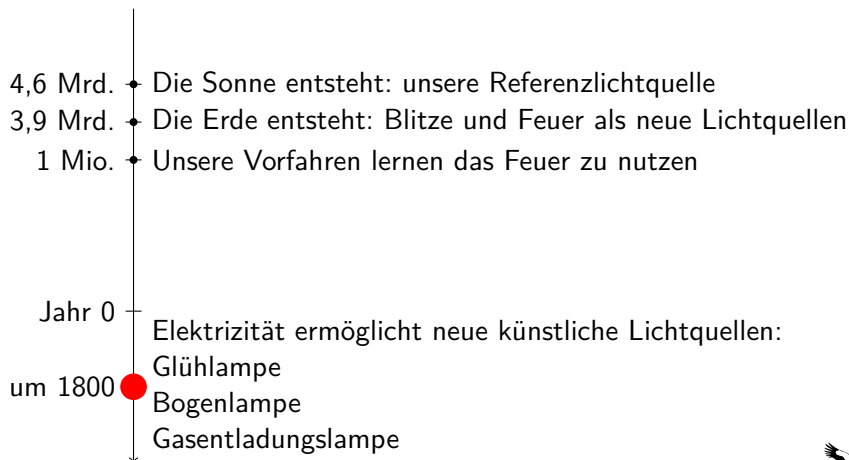
Und es werde Licht: Vorgeschichte



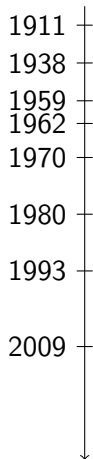
Und es werde Licht: Vorgeschichte



Und es werde Licht: Vorgeschichte



Und es werde Licht: Das 20. und 21. Jahrhundert



Und es werde Licht: Das 20. und 21. Jahrhundert

1911 ● Die Allgebrauchsglühlampe in der heutigen Form

1938

1959

1962

1970

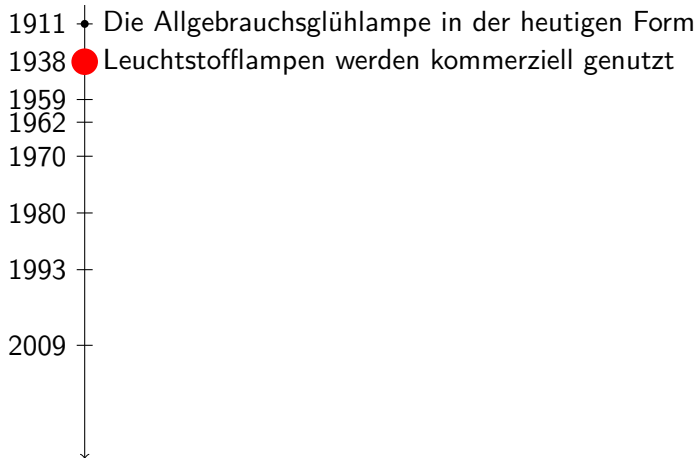
1980

1993

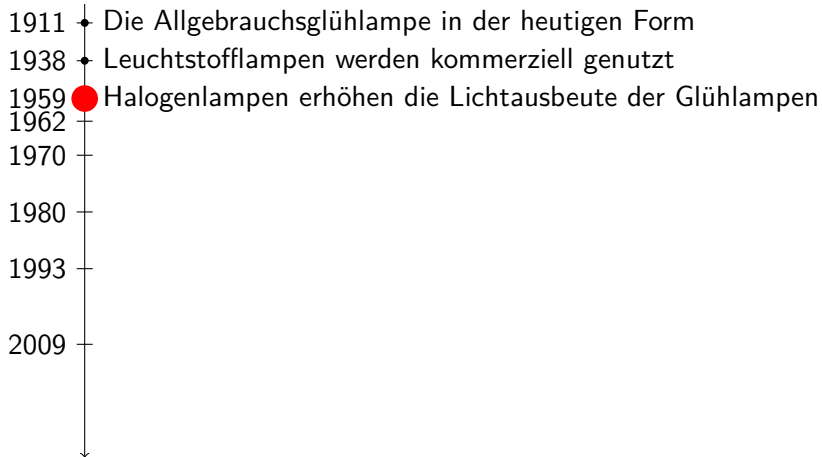
2009



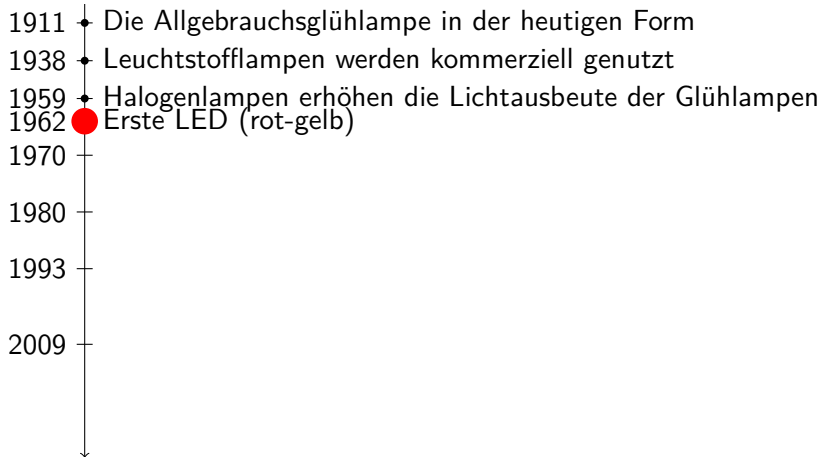
Und es werde Licht: Das 20. und 21. Jahrhundert



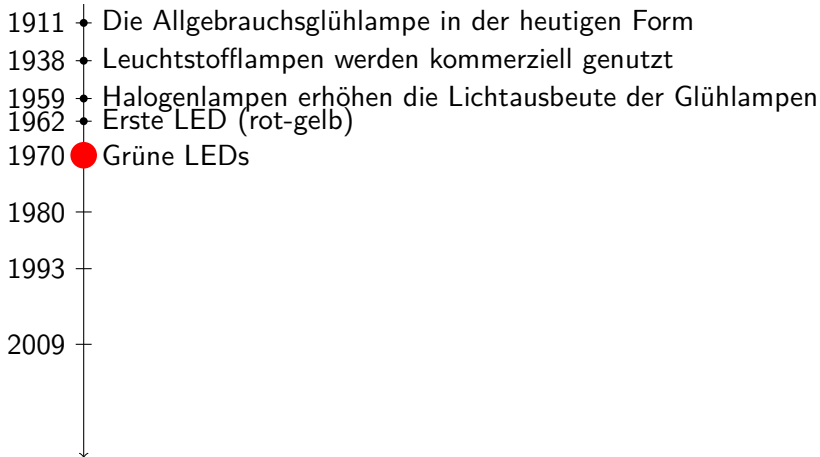
Und es werde Licht: Das 20. und 21. Jahrhundert



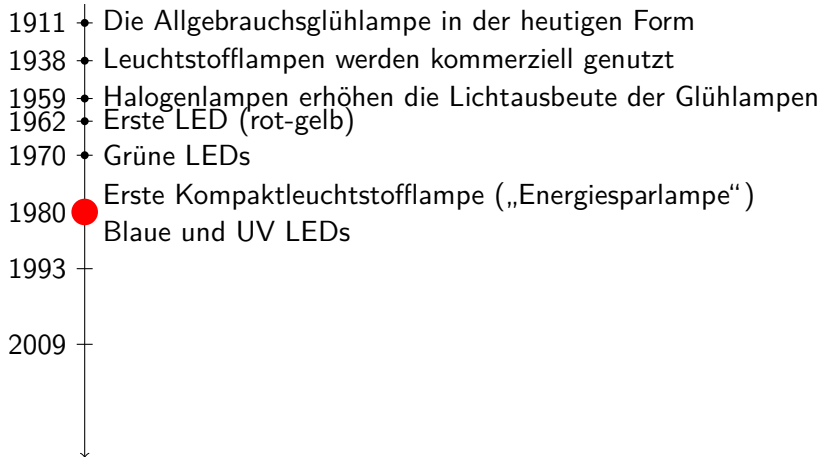
Und es werde Licht: Das 20. und 21. Jahrhundert



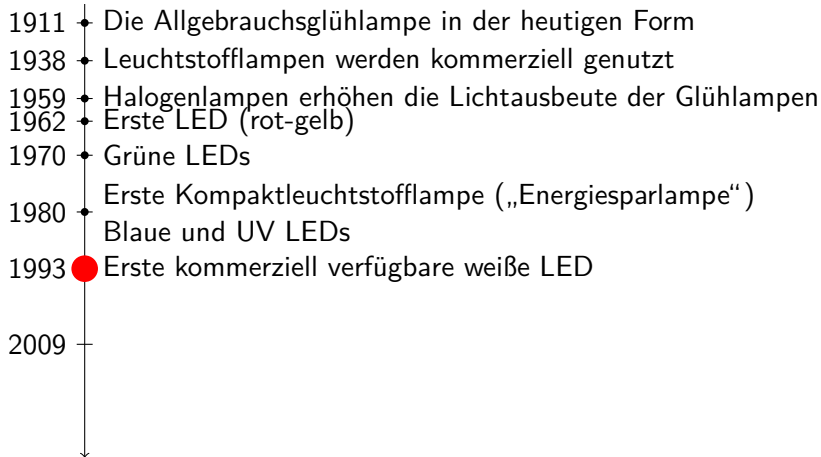
Und es werde Licht: Das 20. und 21. Jahrhundert



Und es werde Licht: Das 20. und 21. Jahrhundert



Und es werde Licht: Das 20. und 21. Jahrhundert



Und es werde Licht: Das 20. und 21. Jahrhundert

- 1911 ♦ Die Allgebrauchsglühlampe in der heutigen Form
- 1938 ♦ Leuchtstofflampen werden kommerziell genutzt
- 1959 ♦ Halogenlampen erhöhen die Lichtausbeute der Glühlampen
- 1962 ♦ Erste LED (rot-gelb)
- 1970 ♦ Grüne LEDs
- 1980 ♦ Erste Kompaktleuchtstofflampe („Energiesparlampe“)
Blaue und UV LEDs
- 1993 ♦ Erste kommerziell verfügbare weiße LED
- 2009 ● **Herstellungs- und Vertriebsverbote von Lampen geringer Energieeffizienz**

Das Spektrum

- Das Spektrum zeigt aus welchen Farben sich das Licht zusammensetzt
- Die Sonnenstrahlung besitzt ein recht gleichmäßiges Spektrum

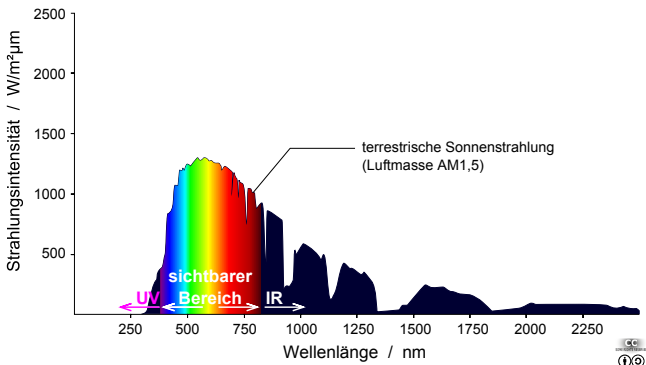


Abbildung: Spektrum der Sonne [Deg06]

Die Farbwiedergabe

- Der Farbwiedergabeindex (CRI) gibt an wie gut Farben im Licht einer Lampe erscheinen
- Willkürliche Skala:
 - 100 - naturgetreue Farbwiedergabe
 - 90 - sehr gute Farbwiedergabe
 - 50 - Leuchtstoffröhre aus 1930
 - negative Werte sind möglich
- Glühlampen haben prinzipbedingt einen Farbwiedergabeindex von 100

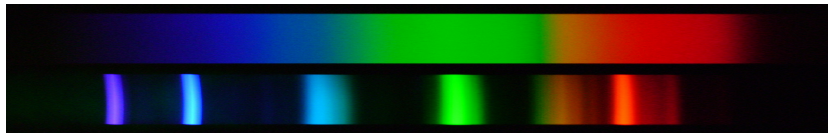


Abbildung: Spektrum: Glühlampe (oben) und Energiesparlampe

Beispiel zur Farbwiedergabe



(a) natürliche Farbwiedergabe



(b) falsche Farbwiedergabe

Abbildung: Vergleich zwischen natürlicher und falscher Farbwiedergabe

Wie funktioniert eine Glühlampe?

- Gleich- oder Wechselstrom erhitzt einen Wolframdraht:
 - bis zu 3000 °C heiß
- Die Leistung wird nur zu etwa 5 % in sichtbares Licht umgesetzt
- Das Betreiben nahe dem Schmelzpunkt von Wolfram verkürzt die Lebensdauer auf 1000 Stunden

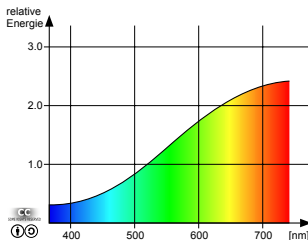


Abbildung: Spektrum einer Halogenlampe [Wdw12]

Lumen statt Watt

Warum ist Watt keine geeignete Einheit um die Lichtmenge einer Lampe anzugeben?

- Watt: physikalische Einheit der Leistung = Arbeit pro Zeit
- Eine Lampe braucht eine gewisse Leistung um Licht zu erzeugen, wieviel Licht herauskommt ist vom Typ abhängig
- Ähnlich: „Ich wohne 1 Stunde von der Arbeit weg“
Wieviele Kilometer sind eine Stunde?

Lumen statt Watt

Deshalb: Lumen

- Einheit des Lichtstroms
- Maß für die gesamte abgegebene sichtbare Strahlung
- Definition recht komplex
- Vergleichbar für alle Lichtquellen
- „Ich wohne 10 Kilometer von der Arbeit weg.“

Lichtausbeute

- Wieviel Lumen erzeugt eine Lichtquelle pro aufgewendetem Watt
- Ein Maß für die Effizienz
- Beispiel Glühlampe: 9 lm/W bis 20 lm/W
 - 40 W Glühlampe: 430 lm → 10,8 lm/W
 - 60 W Glühlampe: 730 lm → 12,2 lm/W
 - 100 W Glühlampe: 1380 lm → 13,8 lm/W

Funktionsweise der LED

- LEDs sind Gleichstrombauteile
 - Für den Betrieb an Wechselspannung wird eine Vorschalt elektronik benötigt, ähnlich wie bei Leuchtstoffröhren
 - Diese muss bei der Betrachtung der LED-Lampe mit einfließen
- Einfarbige LEDs geben ihr Licht in einem sehr engen Spektrum ab
- Es kann nicht die komplette Energie in Licht umgewandelt werden
 - Verlorene Energie wird in Wärme umgewandelt
- Weiße LEDs können unterschiedlich funktionieren
 - Mischung aus verschiedenfarbigen Einzel-LEDs (Rot + Grün + Blau)
 - Einfarbige UV oder Blaue LED + Leuchtstoff der den Rest des Spektrums erzeugt

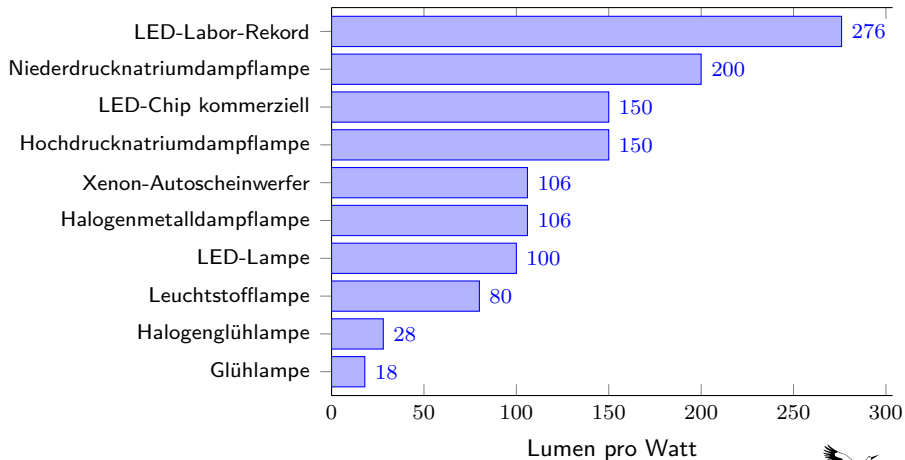
Vorteile der LED

- LEDs lassen sich beliebig oft schalten
 - Aber: Die Vorschaltелеktronik nicht unbedingt
- LEDs halten bis zu 100 000 Stunden
 - Aber: Die Vorschaltелеktronik teilweise nur 5 000 Stunden
- Gute Lichtbündelung bringt Licht an die Stelle wo es gebraucht wird
- Eine LED verliert kontinuierlich an Leuchtkraft
 - Die Lebensdauer gibt an wann die LED noch zu 70 % oder 50 % ihrer ursprünglichen Kraft leuchtet
- Keine Probleme mit tiefen Temperaturen
- Licht geht sofort an (noch schneller als bei Glühlampen)

Nachteile der LED

- Stark verringerte Lebensdauer bei höheren Temperaturen (50°C)
 - Liegt meist trotzdem noch über der von Glühbirnen
- Lichtausbeute deckt extrem großen Bereich ab
 - Angaben können irreführend sein, falsche Werbeversprechen
 - Die Vorschalt elektronik wird teilweise nicht miteinbezogen
- Farbwiedergabeindex kann sehr gering sein
- Herstellung ist aufwändig und teuer

Vergleich der erreichten Lichtausbeuten



Energiebedarf über Lebensdauer

Umfangreiche Studie verfügbar: [Nav12] eine Zusammenstellung aus 10 Studien

Frage: Wieviel Energie wird benötigt um 20 Millionen Lumen-Stunden zu erzeugen?

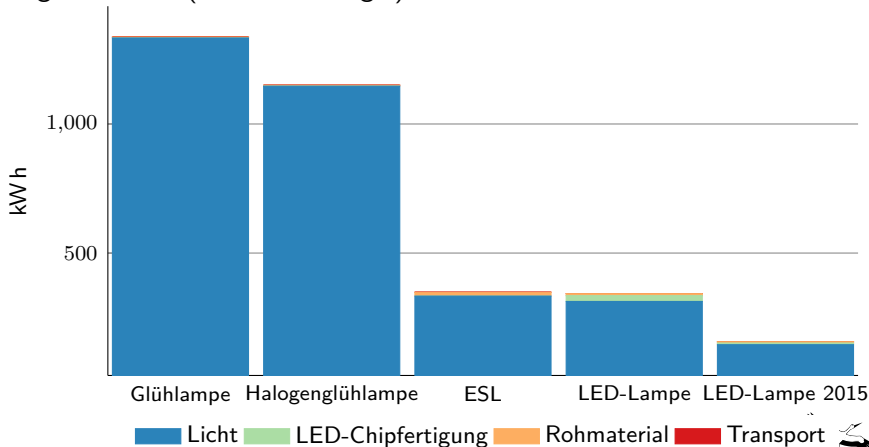
Wieviele Lampen werden überhaupt benötigt um 20 Millionen Lumen-Stunden zu erzeugen?

- 22,2 60W Glühlampen
- 3 Energiesparlampen
- 1 LED-Lampe
- 0,6 LED-Lampen (2015)



Energiebedarf über Lebensdauer

Energie ab Netz (Sekundärenergie)



Umweltrisiken bei der Herstellung

Bei der Herstellung werden viele unterschiedliche umweltgefährdende Stoffe eingesetzt (Säuren, Laugen, Photolack, Entwickler u.a.).

Der Prozess ist durch die Massenfertigung vieler integrierter Schaltungen (Computer, Handys, Elektronik) sehr ausgereift.

Die Fertigung findet zu großen Teilen im Reinraum statt, ein sorgfältiger Umgang mit den Stoffen ist Pflicht.

LEDs benötigen kein Quecksilber wie Energiesparlampen.

Manche LEDs (gelbe und rote) können Arsen enthalten und sind giftig.



Recyclingmöglichkeiten

Eine LED-Lampe ist Elektronikschrott. Recycling dementsprechend kompliziert.

Viele unterschiedliche Materialien auf kleinstem Raum. Trennung stellenweise kaum möglich.

Der LED-Chip kann grundsätzlich recycled werden, der Aufwand ist aber sehr hoch.

Zusammenfassung

- LEDs sind in Zukunft vermutlich das effizienteste Beleuchtungsmittel
- Derzeit sind Energiesparlampen vergleichbar aufgestellt und günstiger
- Abgesehen von der etwas besseren Farbwiedergabe gibt es keinen Grund Glühbirnen einzusetzen
- Es wird mehr technisches Verständnis benötigt um die richtige Lampe zu kaufen
- Einsparpotenzial ist immens

References

[Deg06] Degreen.

Datei:sonne strahlungsintensitaet.svg, 2006.

URL: http://de.wikipedia.org/wiki/Datei:Sonne_Strahlungsintensitaet.svg [cited 03.04.2013].

[Nav12] Navigant Consulting, Inc.

Life-cycle assessment of energy and environmental impacts of led lighting products, 2012.

URL: http://apps1.eere.energy.gov/buildings/publications/pdfs/ssl/2012_LED_Lifecycle_Report.pdf [cited 03.04.2013].

[Wdw12] Wdwd.

File:spectre d'une lampe halogène.svg, 2012.

URL: http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Spectre_d'une_lampe_halogène.svg [cited 03.04.2013].

