



**Energie Sparen
mit LED Beleuchtung**

Ulrich Boeke, 10. Dezember 2021

Heute wird 13 % des weltweiten Stromverbrauchs für die Beleuchtung verwendet.

Das Umschalten auf LED Beleuchtung kann dies in 2030 auf 8 % reduzieren.

Das entspricht einem Einsparpotential von etwa 30 Mrd. kWh pro Jahr in Deutschland.

[1]

Inhalt

1. Signify
2. Beispiele
3. Die Farbempfindlichkeit des menschlichen Auges
4. Wirkungsgrad
5. Mitmachen

Anhang

1. Signify ist Weltmarktführer für die Beleuchtung

Lampen



Leuchten



Systeme und Services



Nr. 1

Vernetzte
Beleuchtung, LED,
konventionelle
Beleuchtung

6,2 Mrd. €

Umsatz in 2019,
75% Professionelle Kunden

38.000

Mitarbeiter*innen
in 74 Ländern

Nr. 1

Branchenführer
Dow Jones
Sustainability Index

1. Signify lässt sich von den UN Sustainable Development Goals leiten [1]



SDG 3 Good health and wellbeing

We contribute to improved health and wellbeing in two main ways:
with light that increases food availability and quality and with light that helps people to see, feel and function better.



SDG 7 Affordable and clean energy

As part of our Brighter Lives, Better World commitments, we will be powered by 100% renewable electricity by the end of 2020. We drive energy efficiency programs in partnership with EU-ASE, UNEP and SE4AI. By distributing our solar LED products to off-grid and underserved communities, we increase the access to both affordable and clean electric light sources.



SDG 8 Decent work and economic growth

We contribute to a better quality of life for all by fostering decent work and economic growth and improving the safety and wellbeing of employees and suppliers. We are committed to support 10,000 lighting entrepreneurs with technical and business skills development.



SDG 11 Sustainable cities & communities

Our sustainable products, systems, and services and our LED lighting programs with city associations, and NGOs such as The Climate Group and the World Green Building Council, help reduce the environmental impact of cities, while making them smarter, safer and more vibrant.



SDG 12 Responsible consumption and production

is addressed through our circular economy approach, our zero waste to landfill program, our work in 3D printed luminaires, and our solutions to increase food yields in horticulture



SDG 13 Climate action

We have implemented several energy efficiency and carbon reduction programs to achieve carbon neutrality by the end of 2020. We actively work with suppliers to implement measures to reduce their environmental footprint.

1. Signify - Sustainable Development Goal 7 Affordable and Clean Energy

Signify hat in 2020 als Firma die Ziele erreicht [1].

- Eine Energieversorgung zu 100 % aus erneuerbaren Energien
 - Signify signs VPPA with Green Investment Group, blowing fresh breeze of renewable energy into Polish operations [8]
- Keinen Abfall produzieren, der dauerhaft auf Deponien gelagert wird.
- Sichere und gesunde Arbeitsplätze
- Lieferketten die nachhaltige Kriterien erfüllt

2. Beispiel Industriebeleuchtung

Beispiel: Verhoef Access Technology [9]

- Schiffswerft in Aalsmeerderbrug, Niederlande
- 1700 TLD Leuchtstoffröhren 58 W wurden ersetzt durch 31 W LEDtubes
- 400 TLD Leuchtstoffröhren 36 W wurden ersetzt durch 20 W LEDtubes
- 46 % weniger Stromverbrauch
- Weniger Wartungsaufwand (4 Jahre - > 17 Jahre)
- Kondensatoren für die Blindleistungskorrektur im Stromnetz konnten ausgebaut werden.
- Im Sommer wird weniger Energie für Kühlung verbraucht, weil die Beleuchtung 52 kW weniger Abwärme erzeugt.



2. Beispiel Kirchenbeleuchtung

Beispiel: Evangelische Kirchengemeinde Inden [10]

- Analyse der alten Beleuchtung in jedem Raum:
Lampen Leistung, Lichtfarbe, Sockeltyp, LED Alternativen
- 92 LED Lampen ersetzen alte Lampentechnologien, Beispiele
 - 7 W CFL -> 4 W LED Filament Lampe
 - 58 W Leuchtstofflampe -> 24 W LEDtube
 - 100 W Glühlampe -> 11 W LED Filament Lampe
- Reduktion der Anschlussleistung von 3253 W auf 1144 W
- 2 Gruppenräume mit Lichtsteuerung ausgerüstet
- Stromverbrauch messen und vergleichen
 - 3655 kWh in 2019 d. h. 23 % weniger Stromverbrauch gegenüber 4727 kWh/Jahr als Mittelwert für 2012 – 2016





Neu: Philips 35 W True Force Core, Ra 80, 4000 K

Alt: Philips 70 W SON, Ra 25, 1900 K

Außenbeleuchtung der evangelischen Kirche in Langerwehe



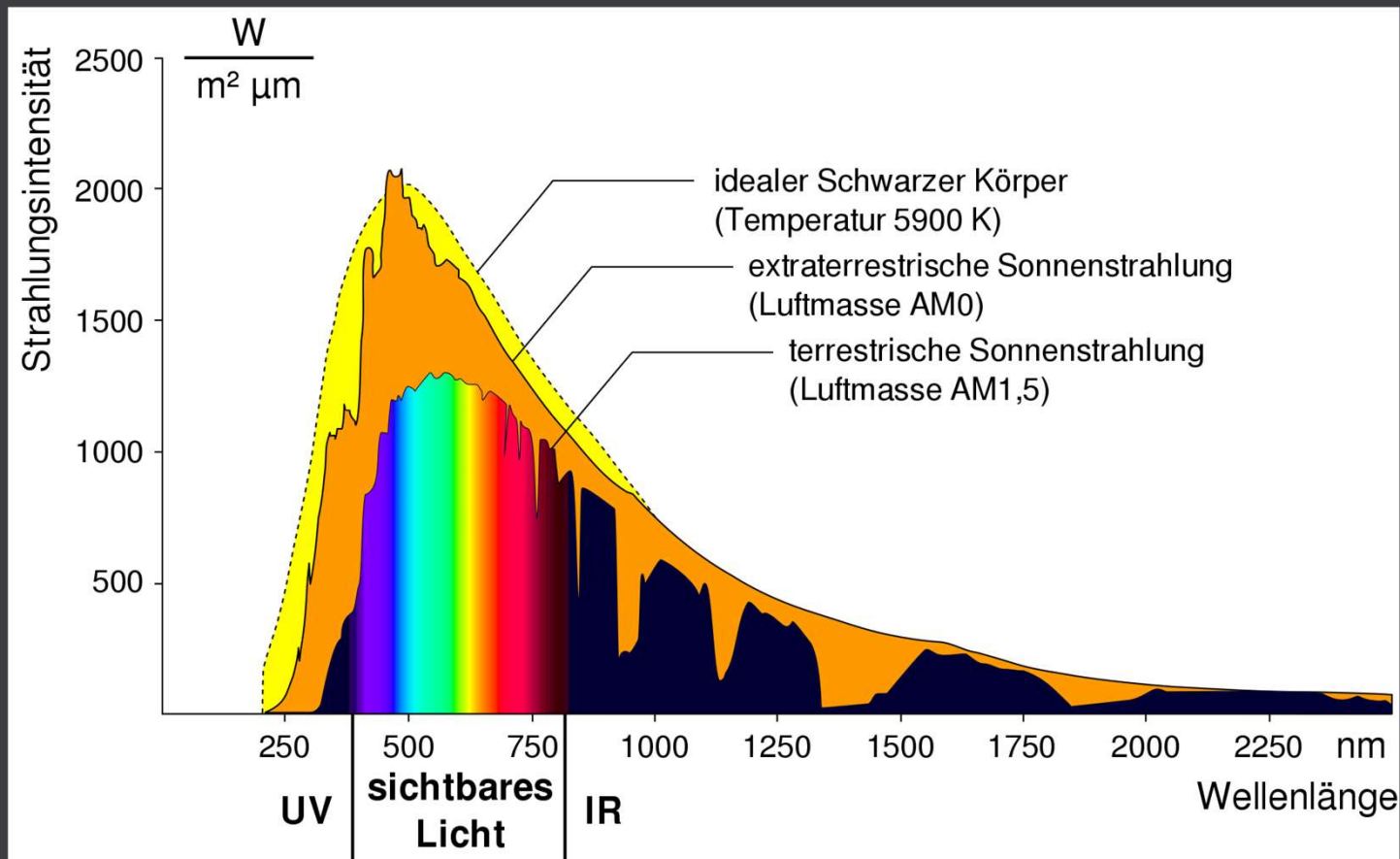
2. Beleuchtung ohne Stromkabel

Straßenlampen [11]

- Mit Solarmodul und Batterie
- Für Länder in der Nähe des Äquators, also ohne jahreszeitliche Wetterschwankungen. Länder mit wenig technischer Infrastruktur z. B. an Landstraßen



3. Die Farbempfindlichkeit des menschlichen Auges



Weißes Licht setzt sich zusammen aus Licht mit verschiedenen Farben, die man bei einem Regenbogen sieht.

Direkte Sonnenstrahlung hat die größte Strahlungsintensität bei blau-grünem Licht.

Das menschliche Auge hat seine Farbempfindlichkeit an das Spektrum des Sonnenlichts angepasst.

Wikipedia: Sonnenstrahlung, <https://de.wikipedia.org/wiki/Sonnenstrahlung>

3. Die Farbempfindlichkeit des menschlichen Auges

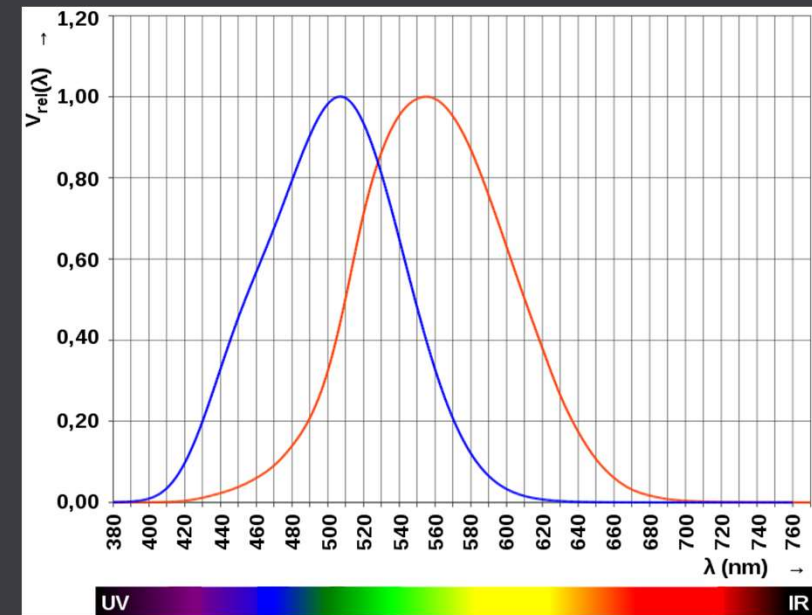
Für das menschliche Auge sind zwei relative wellenlängenabhängige Hellempfindlichkeiten definiert [12].

- Tagsehen $V(\lambda)$ (rote Kurve)
- Nachtsehen $V'(\lambda)$ (blaue Kurve)

Bei Tageslicht ist das menschliche Auge bei gelb-grünem Licht am empfindlichsten.

Die Farbempfindlichkeit des menschlichen Auges wird bei dem Wirkungsgrad von Lampen und Leuchten mit berücksichtigt.

- Das Verhältnis von „gesehenem“ Lichtstrom/elektrische Leistung hat die Einheit: Lumen/Watt (lm/W)
- Bei gelb-grünem Licht (555 nm Wellenlänge) entspricht 1 W Strahlungsleistung 683 Lumen.
- Bei grünem (510 nm) und bei orange-rotem Licht (610 nm) Wellenlänge erreicht 1 W Strahlungsleistung nur noch 341 Lumen.



4. Der Wirkungsgrad der Beleuchtung

Das Wellenlängengemisch von Lampen und Leuchten wird mit zwei technischen Parametern beschrieben.

- Die Farbtemperatur in Kelvin
 - 2700 Kelvin warm-weißes Licht mit Schwerpunkt bei Orange
 - 4000 Kelvin neutral-weißes Licht für Büroumgebung
 - 6500 Kelvin kaltweises Licht wie „Sonnenlicht ohne Wärme“
- Und der Farbwiedergabe Index (CIE 1974 general color rendering index R_a [13])
 - $R_a = 70$ weißes Licht mit ausgesuchten Farbanteilen für hohen Wirkungsgrad (Straßenbeleuchtung)
 - $R_a = 80$ Standard Beleuchtung
 - $R_a = 90...97$ weißes Licht mit besonders vielen Farbanteilen

4. Der Wirkungsgrad der Beleuchtung

Beispiele LED Lampen [14]

- 50 mm Reflektorlampen, $R_a = 97$, 2700 K 67 Lumen/Watt (6.7 W, 450 Lumen)
- 50 mm Reflektorlampen, $R_a = 97$, 4000 K 75 Lumen/Watt (6.5 W, 490 Lumen)
- 50 mm Reflektorlampen, $R_a = 80$, 4000 K 94 Lumen/Watt (7 W, 660 Lumen)



4. Der Wirkungsgrad der Beleuchtung

Beispiele LED Lampen [14]

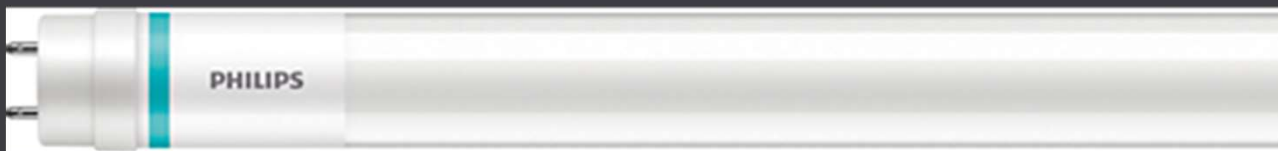
- 50 mm Reflektorlampen, $R_a = 97$, 2700 K 67 Lumen/Watt (6.7 W, 450 Lumen)
- 50 mm Reflektorlampen, $R_a = 97$, 4000 K 75 Lumen/Watt (6.5 W, 490 Lumen)
- 50 mm Reflektorlampen, $R_a = 80$, 4000 K 94 Lumen/Watt (7 W, 660 Lumen)
- Filament LED Lampen, $R_a = 80$, 2700 K 125 Lumen/Watt (2 W, 250 Lumen)
- 144 Lumen/Watt (17 W, 2450 Lumen)



4. Der Wirkungsgrad der Beleuchtung

Beispiele LED Lampen [14]

- 50 mm Reflektorlampen, $R_a = 97$, 2700 K 67 Lumen/Watt (6.7 W, 450 Lumen)
- 50 mm Reflektrolampen, $R_a = 97$, 4000 K 75 Lumen/Watt (6.5 W, 490 Lumen)
- 50 mm Reflektrolampen, $R_a = 80$, 4000 K 94 Lumen/Watt (7 W, 660 Lumen)
- Filament LED Lampen, $R_a = 80$, 2700 K 125 – 144 Lumen/Watt (2 W - 17 W)
- MASTER LEDtube T8, $R_a = 83$, 4000 K 131 – 185 Lumen/Watt (600 mm, 8 W, 1050 Lumen, 1500 mm, 20 W, 3700 Lumen)



4. Der Wirkungsgrad der Beleuchtung

Konventionelle Hallenpendelleuchte
HPI 250 W, 274 W mit Vorschaltgerät
18 000 Lumen, 72 Lumen/Watt, R_a 65
Leider mit optischen Verlusten im Reflektor



LED Hallenleuchte
Coreline Highbay Gen4, 69 Watt
10 000 Lumen, 145 Lumen/Watt, R_a 80
75 % weniger Stromverbrauch !



5. Mitmachen

1. Übersicht zu LED Lampen lesen [14]

https://www.lightingservicearea.philips.com/LightingProducts/Content/Catalogs/Kompaktuebersicht_Lampe_LED.pdf

2. LED Lampen oder Leuchten in Fachgeschäften oder online bestellen

www.beleuchtungdirekt.de/

www.leds.de

www.elv.de

www.dg-licht.de

www.oscarlux.de

www.elting.de

3. Lampen und Leuchten auswechseln und weniger Strom verbrauchen

Zusammenfassung

LED Beleuchtung ermöglicht hohe Einsparung des Stromverbrauchs.

LED Beleuchtung ist aus „technischer Sicht“ am effizientesten

- Bei 4000 K neutral-weißem Licht
- Farbwiedergabe Index $R_a \sim 70 - 83$
- Eine stärker Lampe - statt zwei Lampen mit der halben Nennleistung
- Lichtaussendung in einen Halbraum (LEDtube, Coreline Highbay). Zusätzliche Optiken kosten Effizienz.
- Automatisches dimmen oder ausschalten mit Lichtsteuerungen

In Deutschland arbeiten noch 80 % aller Lampen und Leuchten mit alter Technik und zu hohem Stromverbrauch. Das können wir ändern. Überall.

Signify

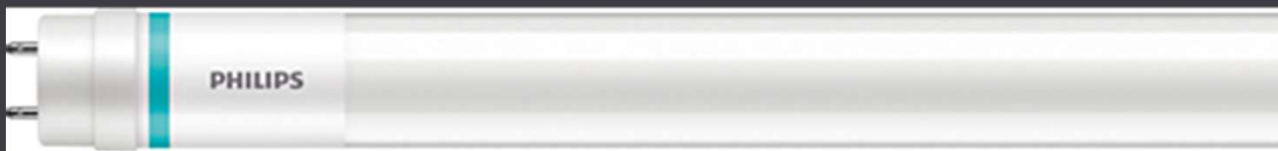
Quellen

- [1] Signify: Sustainable Development Goals <https://www.signify.com/global/sustainability/sustainable-development-goals>
- [2] The Nobel Prize in Physics 2014. NobelPrize.org. Nobel Media AB 2019. Fri. 27 Sep 2019, <https://www.nobelprize.org/prizes/physics/2014/summary/>
- [3] University of California Santa Barbara, <https://ssleec.ucsb.edu/nakamura/research>
- [4] TU Darmstadt, Fachgebiet Lichttechnik, https://www.lichttechnik.tu-darmstadt.de/fachgebiet_lit/uebersicht/FachgebietLichttechnik.de.jsp
- [5] Aixtron: https://www.aixtron.com/en/products/AIX%202800G4-TM_p89,
<https://www.aixtron.com/de/innovation/forschung-entwicklung/aktuelle-forschungsprojekte>
- [6] Signify: Innovation, <https://www.signify.com/de-de/innovation> , <https://en.wikipedia.org/wiki/Li-Fi>
- [7] Wikipedia: https://en.wikipedia.org/wiki/L_Prize
- [8] Signify: Press release, <https://www.signify.com/global/our-company/news/press-releases/2019/20191002-signify-signs-vppa-with-gig-blowing-fresh-breeze-of-renewable-energy-into-polish-operations>
- [9] Signify: Referenzprojekte, <https://www.lighting.philips.de/projekte/referenzprojekte/produktion/verhoef-access-technology>
- [10] U. Boeke: Eigenes Projekt in der evangelischen Kirchengemeinde Inden-Langerwehe
- [11] Signify: Solar Outdoor Luminaires, <https://www.lighting.philips.com/main/prof/outdoor-luminaires/solar>
- [12] Wikipedia: Lumen (Einheit), https://de.wikipedia.org/wiki/Lumen_%28Einheit%29
- [13] Wikipedia: Color rendering index, https://en.wikipedia.org/wiki/Color_rendering_index
- [14] Signify: Philips Kompaktübersicht LED Lampen, September 2021, https://www.lightingservicearea.philips.com/LightingProducts/Content/Catalogs/Kompaktuebersicht_Lampe_LED.pdf

4. Der Wirkungsgrad der Beleuchtung

Beispiele LED Lampen [14]

- 50 mm Reflektorlampen, $R_a = 97$, 2700 K 67 Lumen/Watt (6.7 W, 450 Lumen)
- 50 mm Reflektrolampen, $R_a = 97$, 4000 K 75 Lumen/Watt (6.5 W, 490 Lumen)
- 50 mm Reflektrolampen, $R_a = 80$, 4000 K 94 Lumen/Watt (7 W, 660 Lumen)
- Filament LED Lampen, $R_a = 80$, 2700 K 125 – 144 Lumen/Watt (2 W - 17 W)
- MASTER LEDtube T8, $R_a = 83$, 4000 K 131 – 185 Lumen/Watt (600 mm, 8 W, 1050 Lumen, 1500 mm, 20 W, 3700 Lumen)



MASTER LEDtube - Gesamtbetriebskosten

Vergleich von MASTER LEDtube und Leuchtstofflampe in einer gewerblichen Anwendung (ohne Umsatzsteuer).

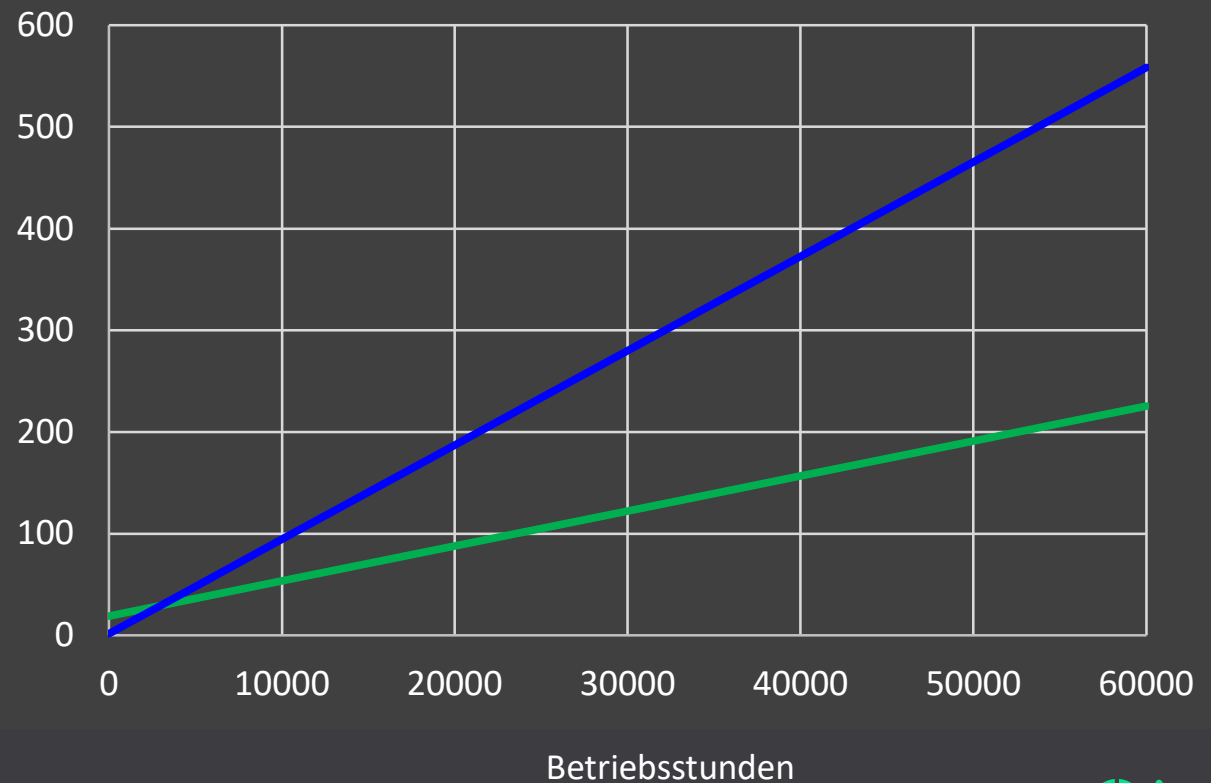
333 € Kosteneinsparung für die LEDtube
in 60.000 Betriebsstunden,
das „17-fache“ des Lampen Preises

Parameter

- 21,5 W Philips MASTER LEDtube UE T8
 - 19 € / Lampe
- 58 W Philips TLD Leuchtstofflampe
 - 1,50 € / Lampe
- Strompreis 16 ct/kWh

Pay-Back Zeit: 3000 Stunden

Kaufpreis & Stromkosten (€)



4. Der Wirkungsgrad der Beleuchtung

Konventionelle Hallenpendelleuchte
HPI 250 W, 274 W mit Vorschaltgerät
18000 Lumen, 72 Lumen/Watt, R_a 65
Leider mit optischen Verlusten im Reflektor



LED Hallenleuchte
Coreline Highbay Gen4, 69 Watt
10000 Lumen, 145 Lumen/Watt, R_a 80
75 % weniger Stromverbrauch !



Coreline LED Hallenleuchte - Gesamtbetriebskosten

Vergleich von Coreline Highbay LED und HPI Hochdruckgasentladungslampe in einer gewerblichen Anwendung (ohne Umsatzsteuer).

2000 € Kosteneinsparung für LED

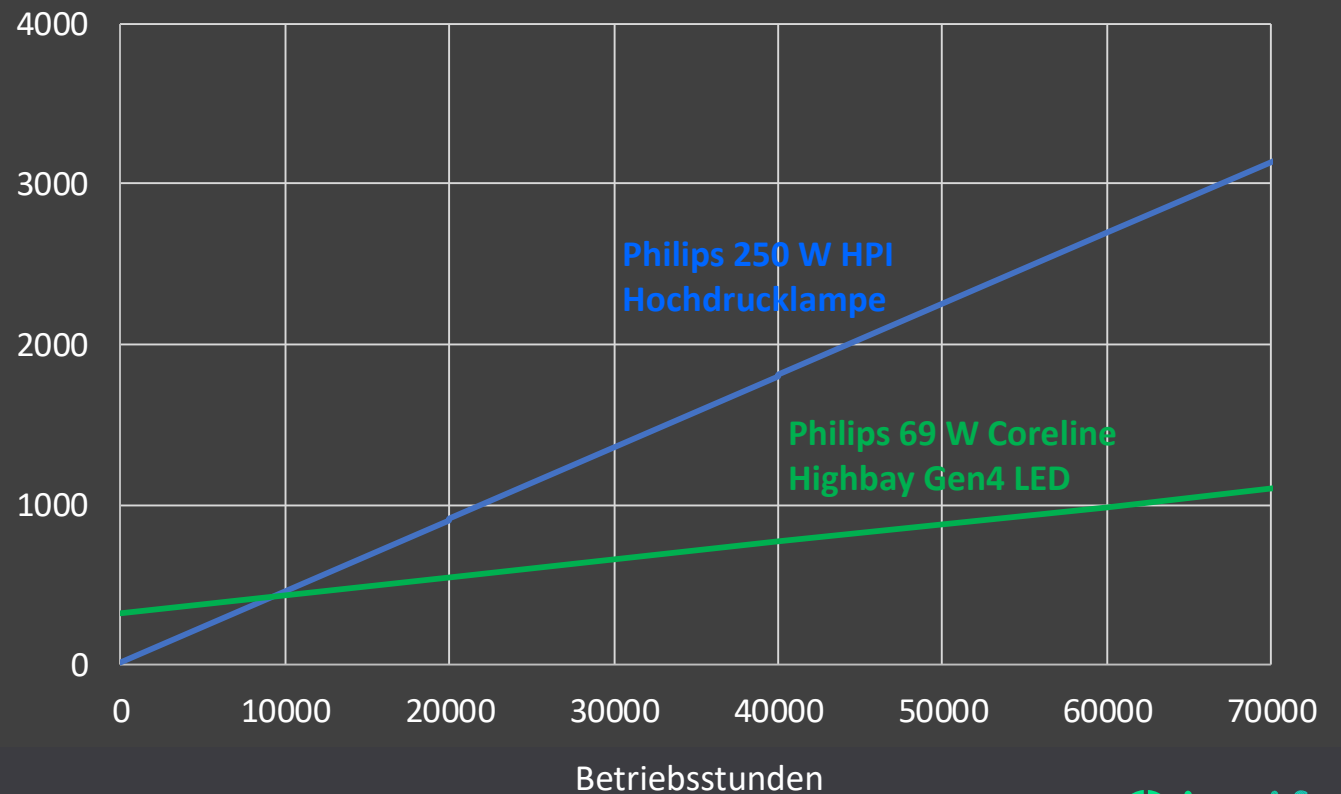
in 70.000 Betriebsstunden,
das „6-fache“ des Lampen Preises

Parameter

- 69 W Philips Coreline Highbay Gen4 LED
 - 325 € / Leuchte
- 250 W Philips HPI Lampe
 - 20 € / Lampe
- Strompreis 16 ct/kWh

Pay-Back Zeit: 9300 Stunden

Kaufpreis & Stromkosten (€)



Signify



**Today, lighting accounts for 13%
of the world's electricity demand.**

**The global shift to LED
will reduce this to 8% by 2030.**

[1]

We contribute to the UN Sustainable Development Goals (SDGs)



We contribute to the UN Sustainable Development Goals (SDGs)

3 GOOD HEALTH AND WELL-BEING



SDG 3 Good health and wellbeing

We contribute to improved health and wellbeing in two main ways:
with light that increases food availability and quality and with light that helps people to see, feel and function better.

7 AFFORDABLE AND CLEAN ENERGY



SDG 7 Affordable and clean energy

As part of our Brighter Lives, Better World commitments, we will be powered by 100% renewable electricity by the end of 2020. We drive energy efficiency programs in partnership with EU-ASE, UNEP and SE4AI. By distributing our solar LED products to off-grid and underserved communities, we increase the access to both affordable and clean electric light sources.

8 DECENT WORK AND ECONOMIC GROWTH



SDG 8 Decent work and economic growth

We contribute to a better quality of life for all by fostering decent work and economic growth and improving the safety and wellbeing of employees and suppliers. We are committed to support 10,000 lighting entrepreneurs with technical and business skills development.

11 SUSTAINABLE CITIES AND COMMUNITIES



SDG 11 Sustainable cities & communities

Our sustainable products, systems, and services and our LED lighting programs with city associations, and NGOs such as The Climate Group and the World Green Building Council, help reduce the environmental impact of cities, while making them smarter, safer and more vibrant.

12 RESPONSIBLE CONSUMPTION AND PRODUCTION



SDG 12 Responsible consumption and production

is addressed through our circular economy approach, our zero waste to landfill program, our work in 3D printed luminaires, and our solutions to increase food yields in horticulture

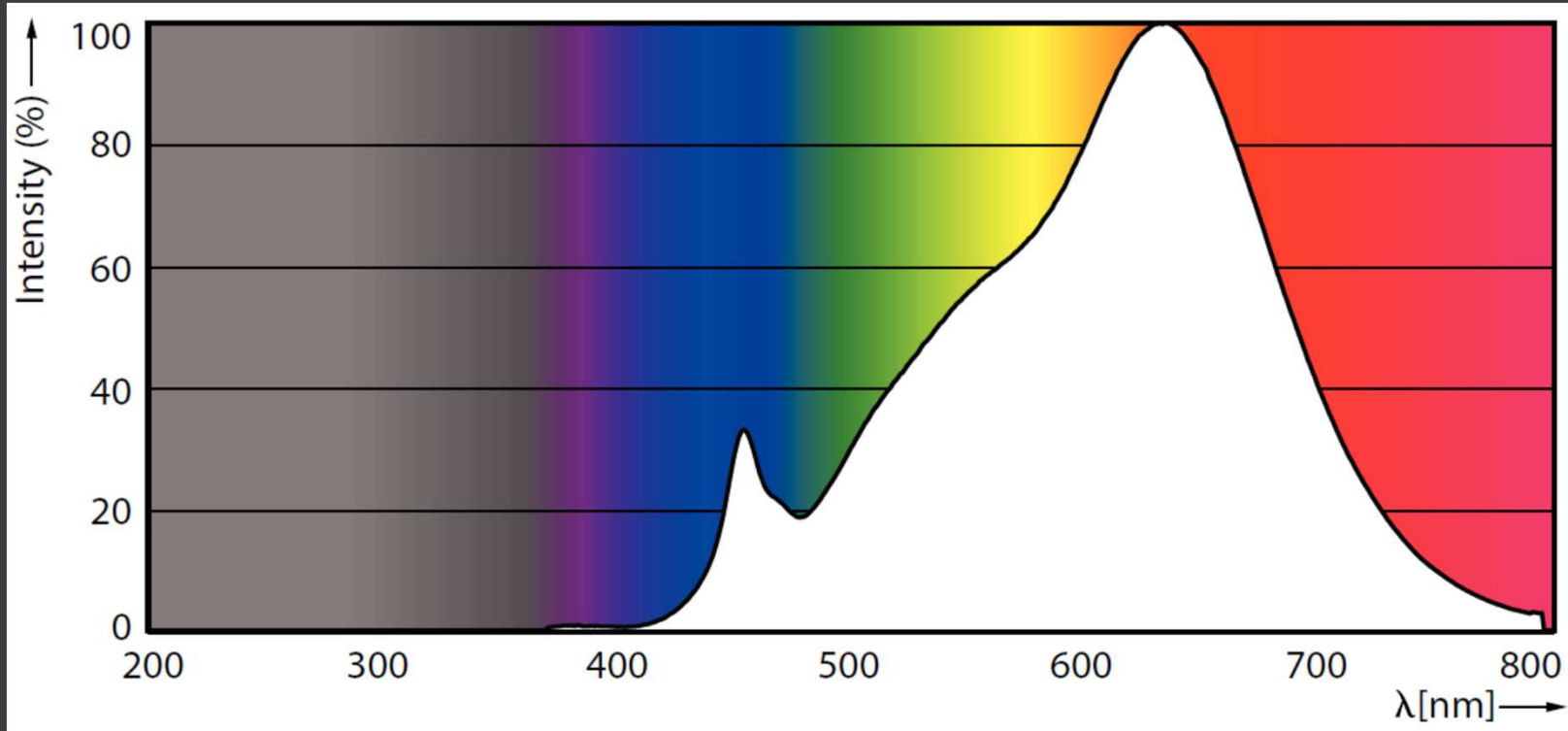
13 CLIMATE ACTION



SDG 13 Climate action

We have implemented several energy efficiency and carbon reduction programs to achieve carbon neutrality by the end of 2020. We actively work with suppliers to implement measures to reduce their environmental footprint.

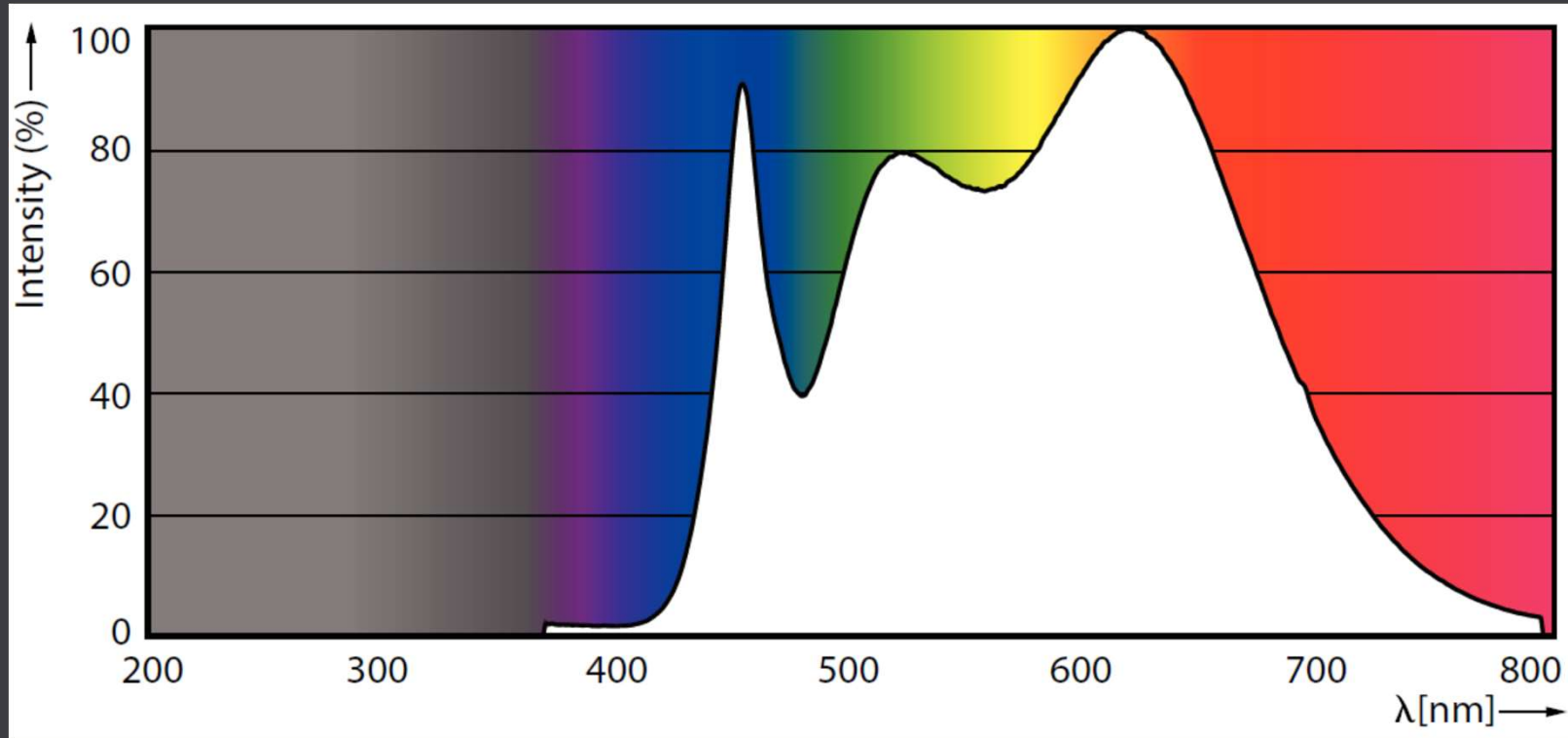
LED Lampen Lichtspektrum R_a 97 2700 K



Philips MASTER LEDspot ExpertColor 6.5-35W MR16 927 36DIM, R_a 97, 2700 K, 6.5 W, 400 Lumen, 62 Lumen/Watt

Datenblatt: https://www.lighting.philips.de/prof/led-lampen-und-roehren/led-reflektorlampen/master-ledspot-mr16-expertcolor/929001342302_EU/product

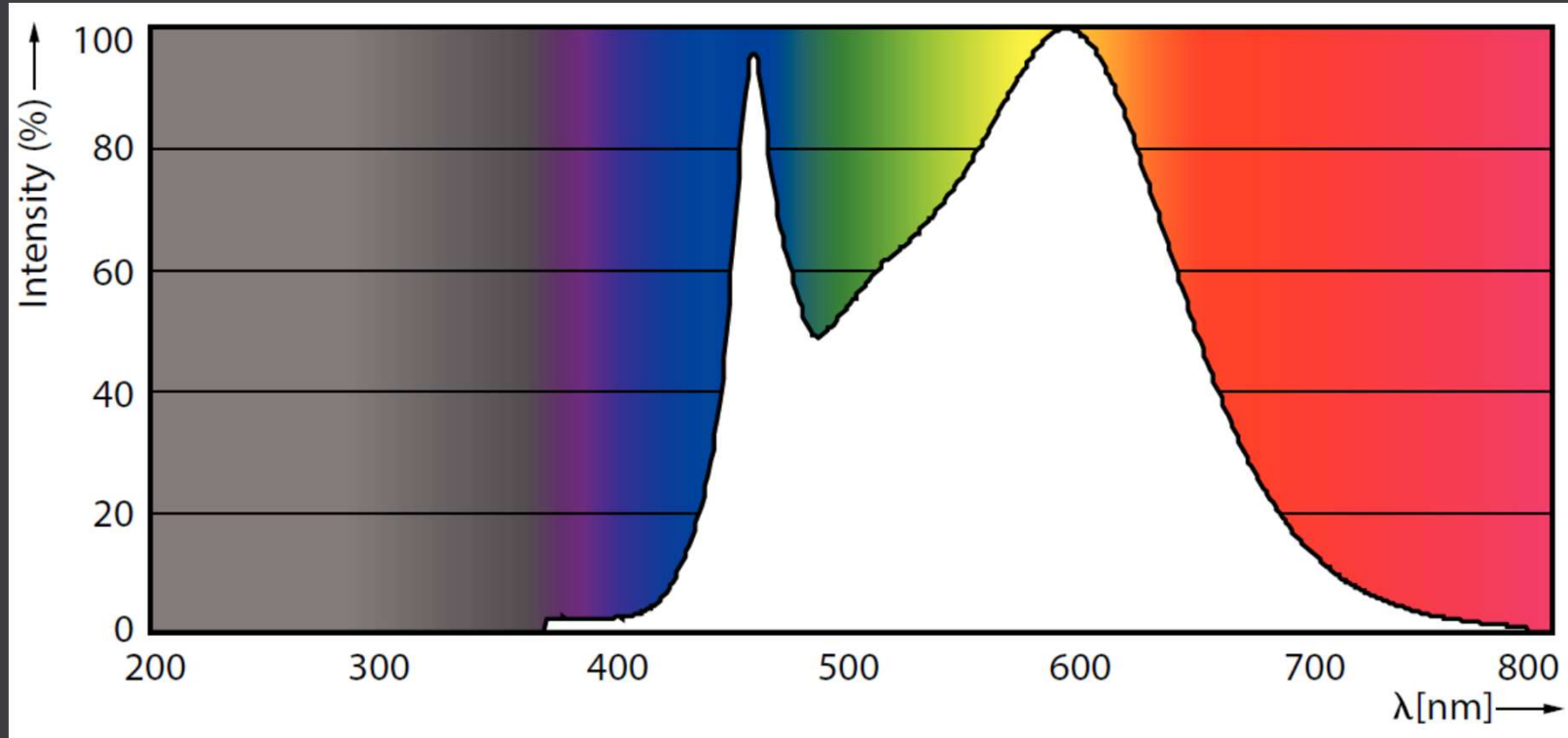
LED Lampen Lichtspektrum R_a 97 4000 K



Philips MASTER LEDspot ExpertColor 6.5-35W MR16 940 36DIM, R_a 97, 4000 K, 6.5 W, 460 Lumen, 71 Lumen/Watt

Datenblatt: https://www.lighting.philips.de/prof/led-lampen-und-roehren/led-reflektorlampen/master-ledspot-mr16-expertcolor/929001342502_EU/product

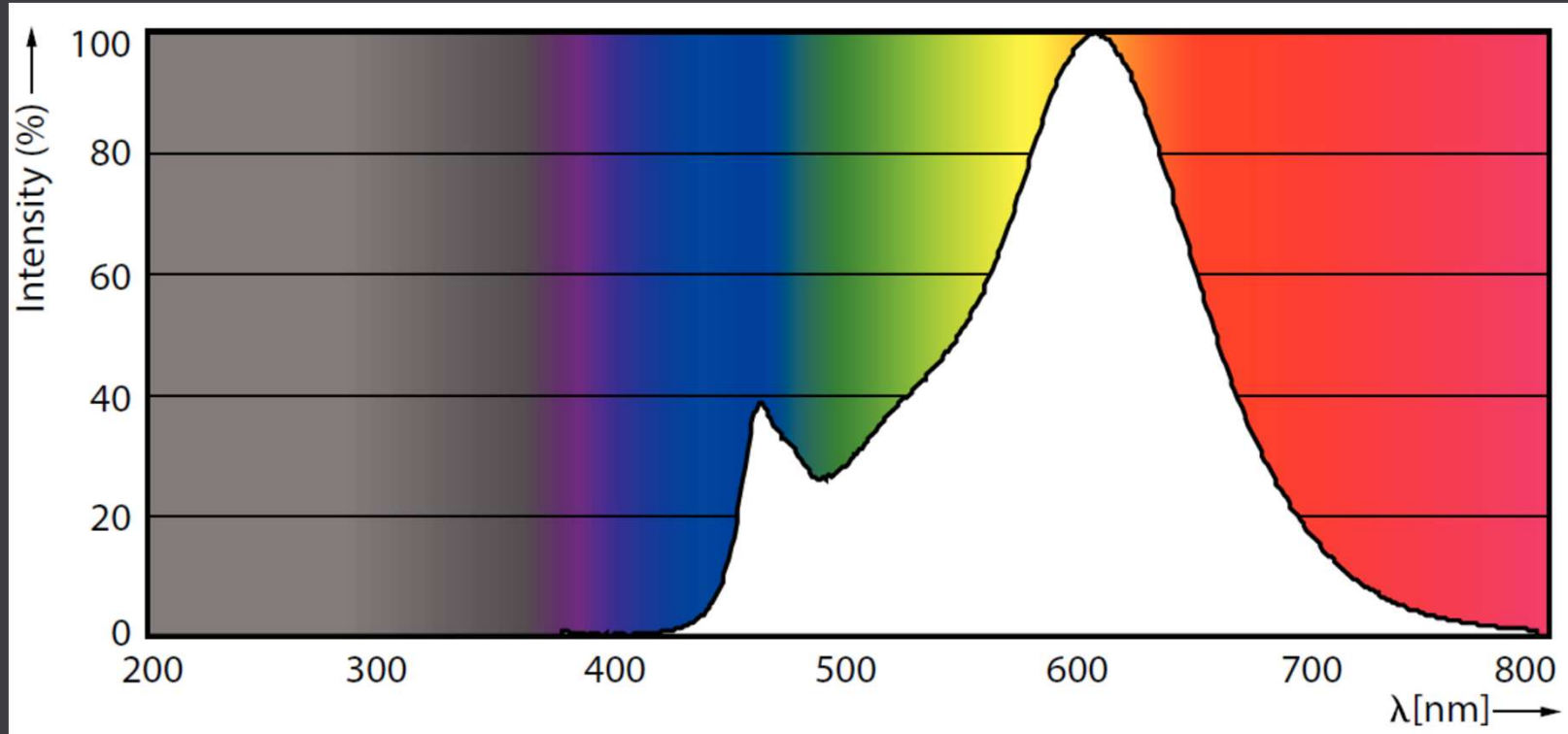
LED Lampen Lichtspektrum R_a 80 4000 K



Philips MASTER LEDspot Value 7-50W MR16 840 36DIM, R_a 80, 4000 K, 7 W, 660 Lumen, 94 Lumen/Watt

Datenblatt: https://www.lighting.philips.de/prof/led-lampen-und-roehren/led-reflektorlampen/master-ledspot-value-mr16-mr11-niedervolt-reflektorlampen/929001903602_EU/product

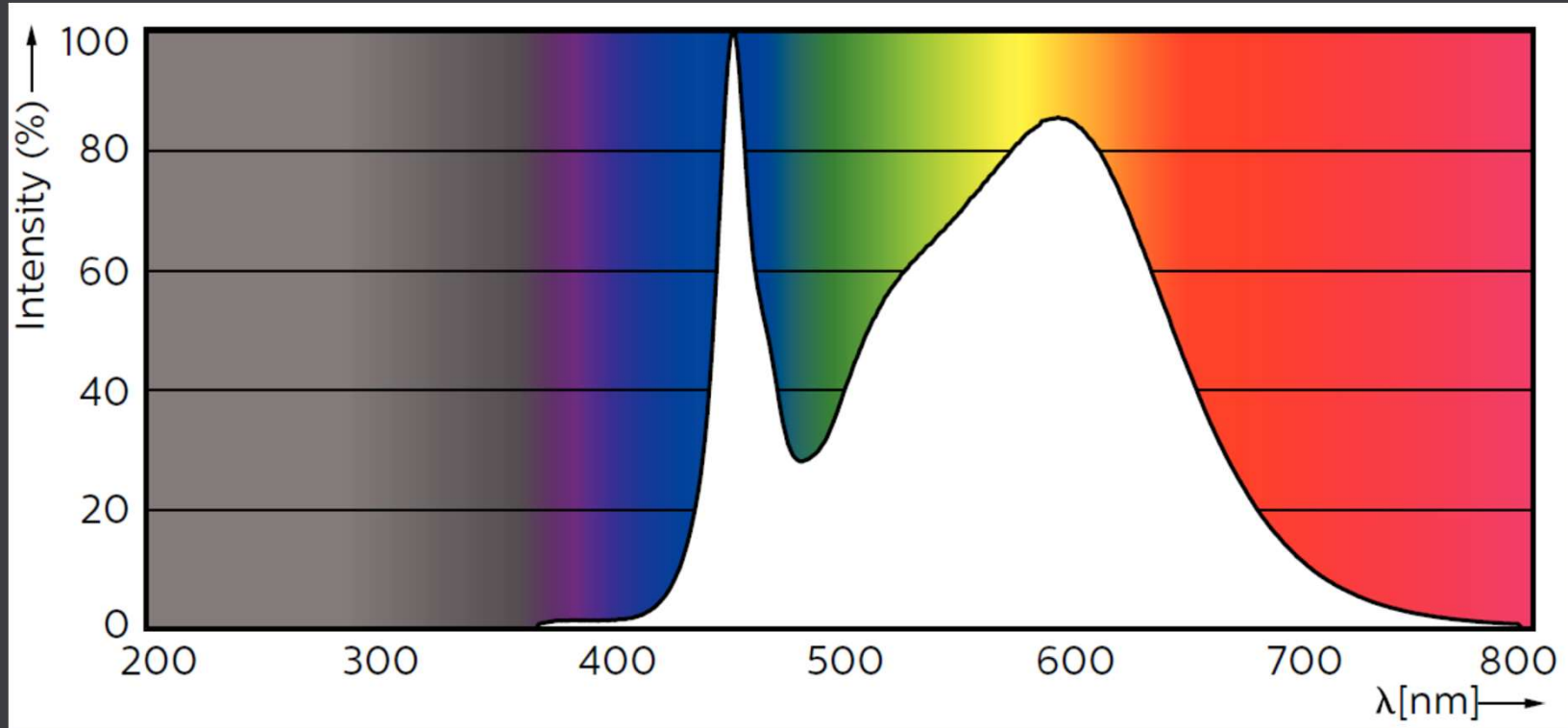
LED Lampen Lichtspektrum R_a 80 2700 K



Philips CLA LEDBulb ND 10.5-100W A60 E27 827 CL, R_a 80, 2700 K, 10.5 W, 1521 Lumen, 144 Lumen/Watt

Datenblatt: https://www.lighting.philips.de/prof/led-lampen-und-roehren/led-gluehlampen/led-lampen-mit-klassischem-gluehfaden/929002026102_EU/product

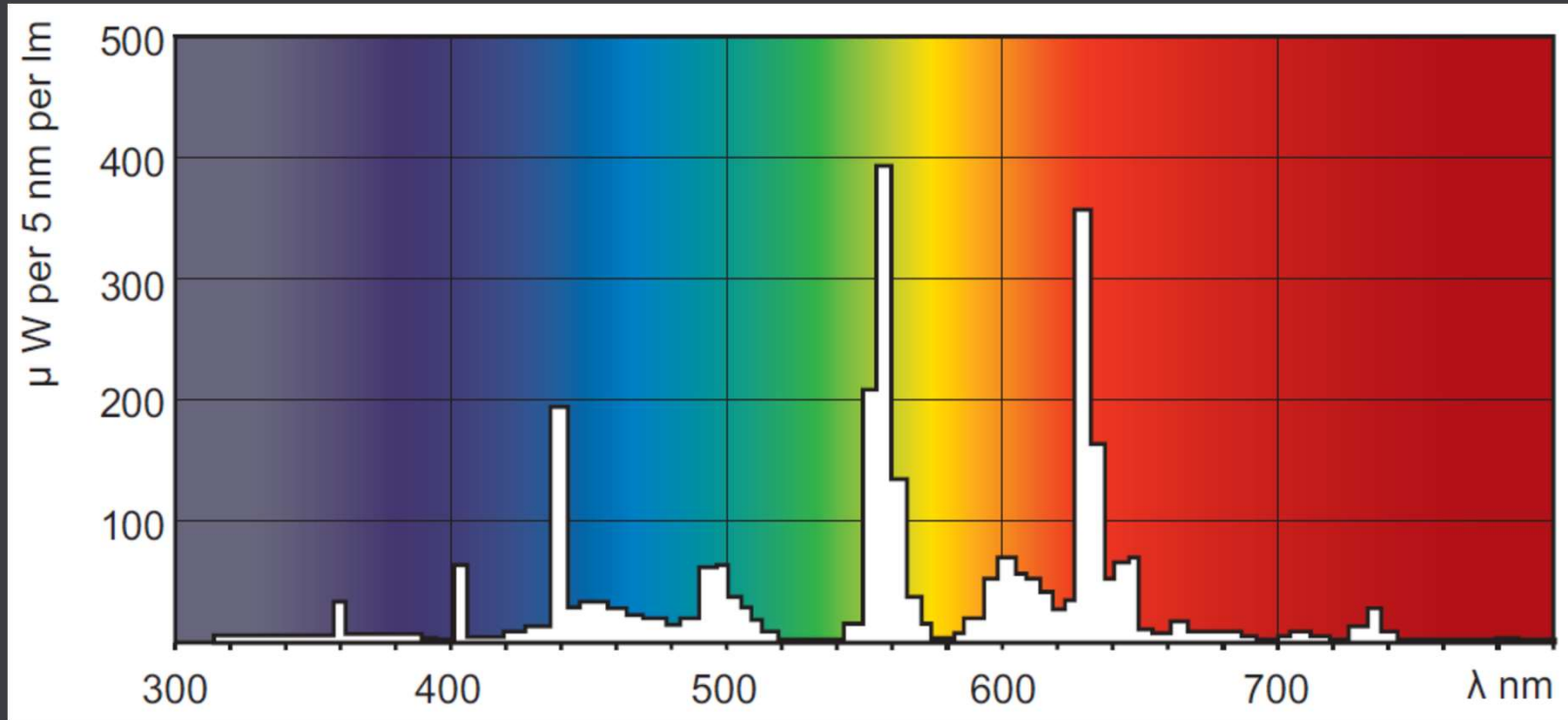
LED Lampen Lichtspektrum R_a 80 4000 K



Philips MASTER LEDtube 1500mm UE 21.5W 840 T8, R_a 83, 4000 K, 21.5 W, 3700 Lumen, 172 Lumen/Watt

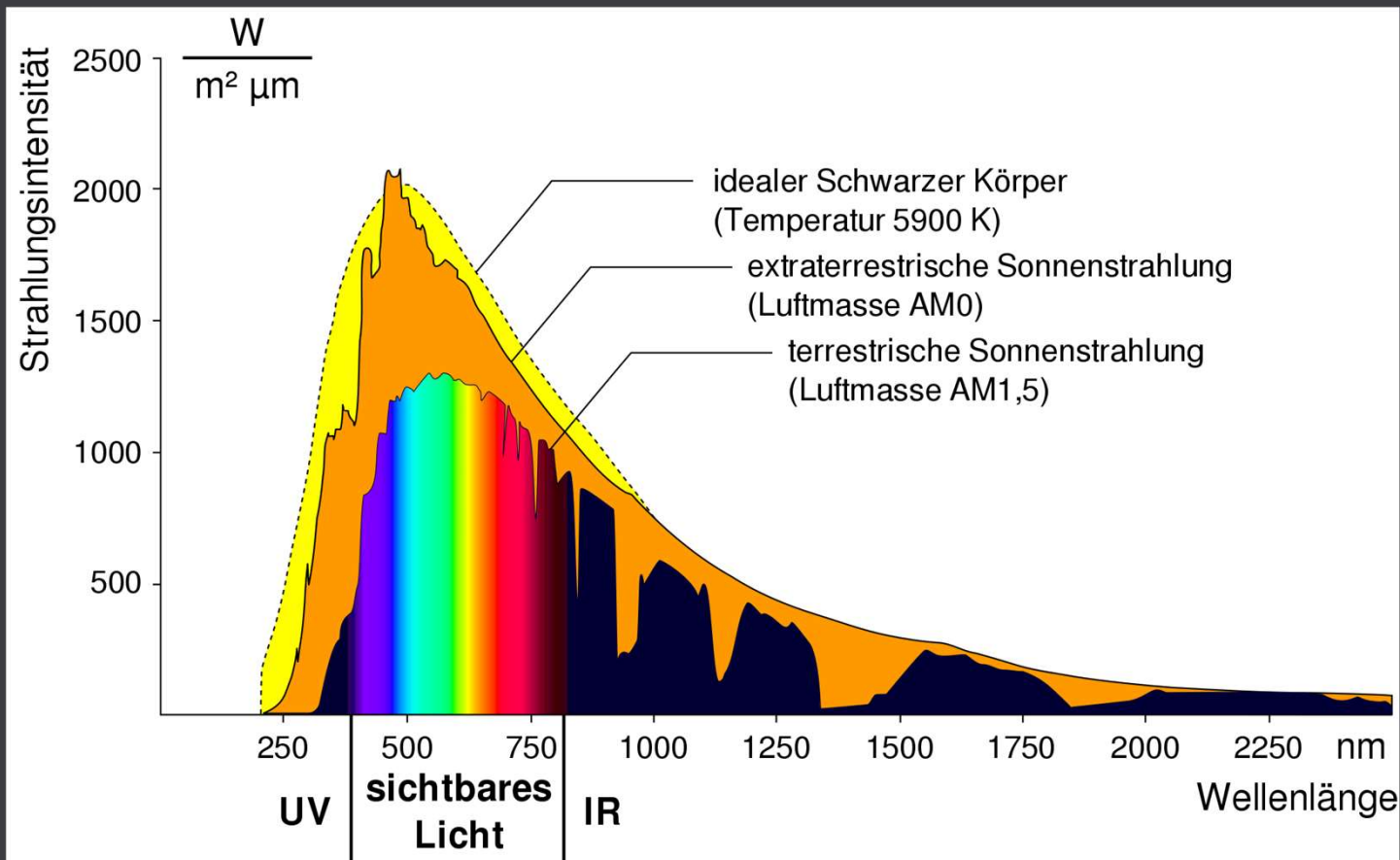
Datenblatt: https://www.lighting.philips.de/prof/led-lampen-und-roehren/led-roehren/master-ledtube-t8-kvg-vvg/929001377002_EU/product

TL5 Leuchtstofflampe Lichtspektrum R_a 80 4000 K



Philips MASTER TL5 HO 49W/840 1SL, R_a 80, 4000 K, 49 W, 4900 Lumen, 99 Lumen/Watt

Sonnenstrahlung



Intensität der Sonnenstrahlung bei AM0 (erdnaher Weltraum) und AM1,5 (etwa zum Sonnenhöchststand in Karlsruhe) im Vergleich zur Emission eines idealen Schwarzen Körpers bei einer Temperatur von 5900 K.

Wikipedia: Sonnenstrahlung, <https://de.wikipedia.org/wiki/Sonnenstrahlung>

LED Lampen sind mit mindestens den folgenden Anschlusssockel erhältlich.

Stecksockel für 12 V:

- G4, GU4, GU5.3, GY6,35, G53

Schraubsockel für 230 V:

- E14, E27, E40

Steck-Drehsockel für 230 V

- G9, GU10

Stecksockel für PLC und PLS Lampen mit 230 V

- 2G11, G23, G24d-1, G24d-2, G24d-3, G24q-1, G24q-2, G24q-3

LED-Röhren, LEDtubes für 230 V

- G5, G10q, G13

Sockel für Stablampen 230 V

- R7S 78mm, R7S 118 mm, S14S

[14] Signify: Philips Kompaktübersicht LED Lampen, September 2021,

https://www.lightingservicearea.philips.com/LightingProducts/Content/Catalogs/Kompaktuebersicht_Lampe_LED.pdf

Signify

1. Unsere Helden

Isamu Akasaki, Hiroshi Amano and Shuji Nakamura

Ausgezeichnet mit dem Nobel Prize in Physik 2014

für die Erfindung effizienter, blauer Licht-emittierender Halbleiterdioden aus Galliumnitrid (GaN), die helle und energie-sparende weiße Lichtquellen ermöglicht haben [2].



1. Lichtforschung an Universitäten

Beispiel Prof. Dr. Shuji Nakamura [3]

- University of California Santa Barbara,
 - High Efficiency, High Power LEDs for Lighting
 - InGaN Injection Lasers for Displays
 - Bulk Crystal Growth

Beispiel Prof. Dr.-Ing. Tran Quoc Khanh [4]

- TU Darmstadt, Fachbereich Elektrotechnik, Fachgebiet Lichttechnik
- Arbeitsgebiet Lichtmesstechnik mit den Schwerpunkten
 - Verkehrs- / Kfz-Lichttechnik
 - Augenphysiologie / Farbwahrnehmung
 - Optoelektronik (LED, Sensorik)
 - digitalen Kinotechnik

1. Lichtforschung in der Industrie

Beispiel Aixtron [5]

- Deposition System for Compound Semiconductors

Beispiel Signify [6]

- LIFI: Breitbanddatenverbindung mit Lichtwellen - statt Radiowellen bei Wifi
- Digital vernetzte und intelligente LED-Beleuchtung mit eingebetteten Sensor Netzwerken
- Indoor Positioning System z.B. für die Navigation in großen Gebäude mit Smartphone Apps
- Lichtmischungen für die Gewächshausbeleuchtung um Lebensmittel schneller und mit weniger Energieaufwand wachsen zu lassen

1. Lichtforschung in der Industrie

Beispiel Aixtron [5]

- Deposition System for Compound Semiconductors

Beispiel Signify [6]

- LIFI: Breitbanddatenverbindung mit Lichtwellen - statt Radiowellen bei Wifi
- Digital vernetzte und intelligente LED-Beleuchtung mit eingebetteten Sensor Netzwerken
- Indoor Positioning System z.B. für die Navigation in großen Gebäude mit Smartphone Apps
- Lichtmischungen für die Gewächshausbeleuchtung um Lebensmittel schneller und mit weniger Energieaufwand wachsen zu lassen
- Energieeffiziente LED Lampen,
für die Philips 2011 in den USA den L-Prize erhalten hat [7].

