

## Lichtqualitäten: Größen und Merkmale

- **Beleuchtungsstärke, Leuchtdichte, Reflexion, Wartungsfaktor**
- **Lichtspektrum, Farbtemperatur, Farbwiedergabe verschiedener Leuchtmittel**

**Dipl. Biol. Pamela Jentner, Baubiologische Messtechnikerin IBN**

## Licht und biologische Relevanz beim Menschen

### Optische Wahrnehmung

- Sehsinn
- Sehzellen: Stäbchen, Zapfen
- Orientierung, Sicherheit
- Situationen erkennen
- Gefahren meiden

### Körperfunktionen

- Photosensitive intrinsische retinale Ganglienzellen
- Innere Uhr, Wach/Schlaf-Rhythmus  
Chronobiologie, circadianer Rhythmus
- Steuerung Hormonproduktion, z.B.  
Melatonin („Schlafhormon“),  
Serotonin („Wach- und Glückshormon“)  
Produktion Vitamin D (Prohormon)



## Subjektive Licht- und Raumempfindung

- Helligkeit
- Farben
- Kontraste
  
- Wohlbefinden?
- Orientierung ?
- Gefühl von Sicherheit ?



# Verkehrsflächen



# Verkehrsflächen



- Eintrübung der Linsen und Hornhaut
- Unschärferes Sehen
- Erschwertes räumliches Empfinden

Bedarf:

- Bessere Kontraste
- Hellere Beleuchtung
- Mehr Blauanteile im Lichtspektrum





## Natur:

- Sonnenlicht: Beleuchtungsstärken ca. 100.000 Lux
- im Schatten unter einem Baum ca. 10.000 Lux,
- mondhelle Nacht 0,2 Lux
- Sternenlicht < 0,2 Lux



## Lebensweise: 70 - 90 % der Zeit in Innenräumen

- Innenraum: Beleuchtungsstärken 50 - 500 Lux
- Licht: natürlicher „Zeitgeber“ des Menschen
- Steuerung des circadianen Systems: wirksam erst ab Beleuchtungsstärken >1.000 Lux !!!
- „Chronobiologische Finsternis“ in Innenräumen



Mögliche Folgen:

- **Schlafstörungen, Energielosigkeit, Verstimmungen, Depressionen.**



- Größen und Merkmale von Lichtqualitäten
- Heftreihe Licht.wissen
- Kostenloser Download  
**www.licht.de**
- licht.de = Brancheninitiative
- Mitglieder ca. 130 Unternehmen der Leuchten- und Lampenindustrie, die im Zentralverband der Elektrotechnik- und Elektronikindustrie (ZVEI) e.V. organisiert sind.



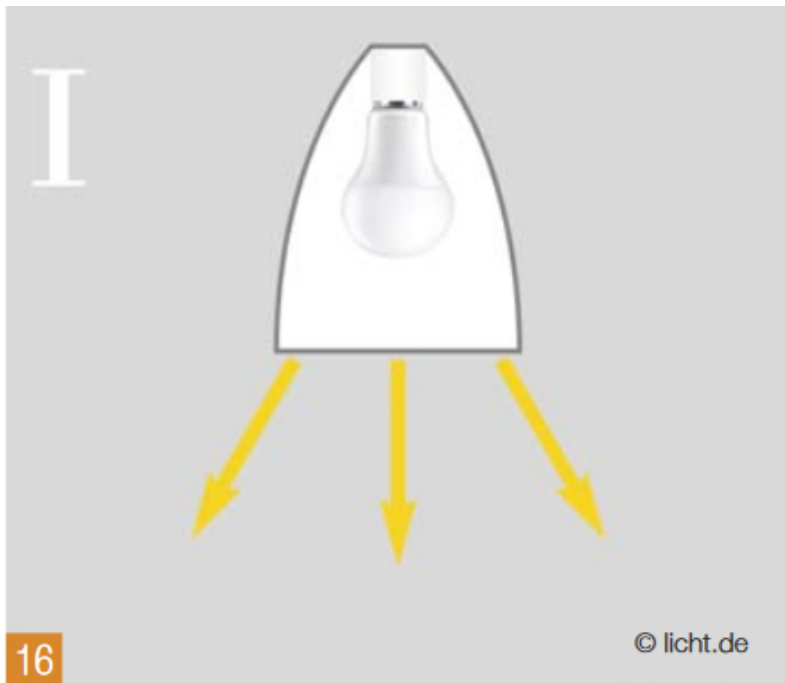


## Der Lichtstrom $\Phi$

Der Lichtstrom gibt an, wie viel Licht eine Lichtquelle in alle Richtungen abgibt. Er kennzeichnet die gesamte Lichtleistung und wird in Lumen (lm) gemessen.

Der Lichtstrom wird mit speziellen Messgeräten oder rechnerisch ermittelt. Er gilt als Maßstab für die vom menschlichen Auge  $V(\lambda)$  wahrgenommene Gesamthelligkeit eines Leuchtmittels. Einen virtuellen Durchschnitt nennt DIN 5031-1 mit der V-Lambda-Kurve.

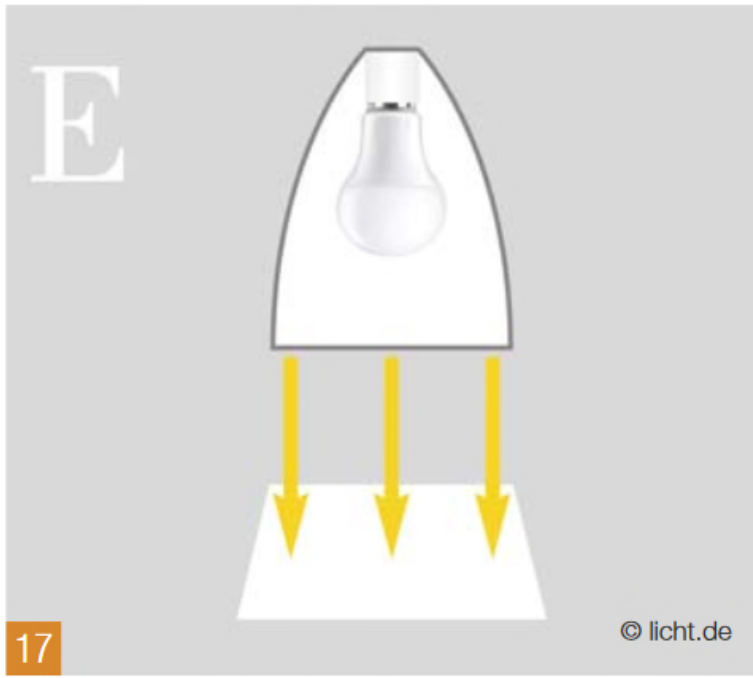
Im Zeitalter effizienter LEDs ersetzt die Lumenangabe zunehmend die Wattzahl, die früher bei der Glühlampe als Maß der Helligkeit galt. Für die Lichtplanung zählt der Leuchtenlichtstrom, der – im Gegensatz zum Lampenlichtstrom – bereits durch das Leuchtendesign bedingte Verluste berücksichtigt.



## Die Lichtstärke I

Für die Berechnung der Lichtverteilung in einer Beleuchtungsanlage ist die Kenntnis des Lichtstroms nicht ausreichend; hier muss die Verteilung des Lichtstroms pro Raumwinkel bekannt sein. Die Lichtstärke ist also der Teil des Lichtstroms, der in eine bestimmte Richtung strahlt. Sie wird in Candela (cd) gemessen.

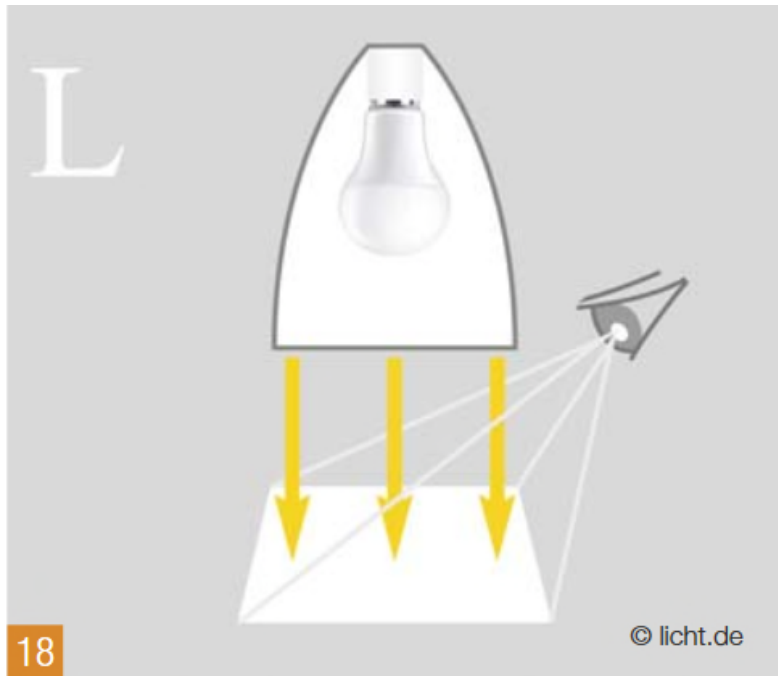
Die Lichtstärkeverteilung von Reflektorlampen und Leuchten wird grafisch in einem Polardiagramm dargestellt (Lichtstärkeverteilungskurven, LVK).



## Die Beleuchtungsstärke E

Die Beleuchtungsstärke ( $E$ ) beschreibt, wie viel Licht auf eine Fläche fällt. Dazu wird der Quotient aus dem Lichtstrom ( $= \Phi$ ) und der beleuchteten Fläche ( $= A$ ) bestimmt:  $E = \Phi/A$ . Einheit für die Beleuchtungsstärke ist Lumen pro Quadratmeter; in der Maßeinheit Lux (lx) angegeben.

Die Beleuchtungsstärke lässt sich in jeder virtuellen Ebene im Raum berechnen oder einfach mit einem Luxmeter messen. Im Büroraum liegt die Nutzebene, z. B. der Schreibtisch, horizontal – Lichttechniker sprechen hier von horizontalen Beleuchtungsflächen. Bei Regalwänden oder zur Gesichtserkennung ist dagegen die vertikale Beleuchtungsstärke von Bedeutung.



## Die Leuchtdichte L

Die Leuchtdichte kann vom Auge wahrgenommen werden. Sie bestimmt den Helligkeitseindruck einer Fläche, der von Farbe und Material abhängt. Die Einheit der Leuchtdichte ist cd/m<sup>2</sup>.

Die Leuchtdichte wird in der Außenbeleuchtung als Planungsgröße verwendet. Für vollkommen diffus reflektierende Oberflächen in Innenräumen kann die Leuchtdichte in cd/m<sup>2</sup> aus der Beleuchtungsstärke E in Lux und dem Reflexionsgrad  $\rho$  berechnet werden:

$$L = \frac{\rho \cdot E}{\pi}$$

## Normen für die Beleuchtung

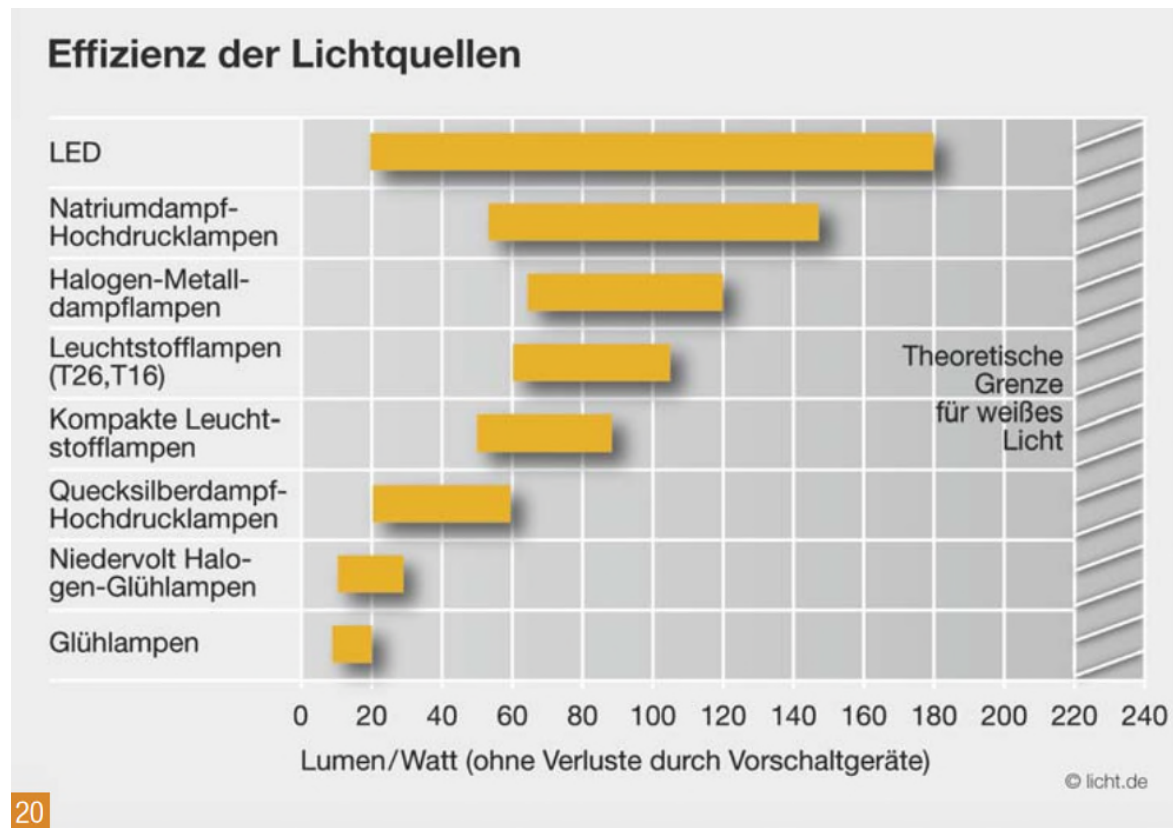
---

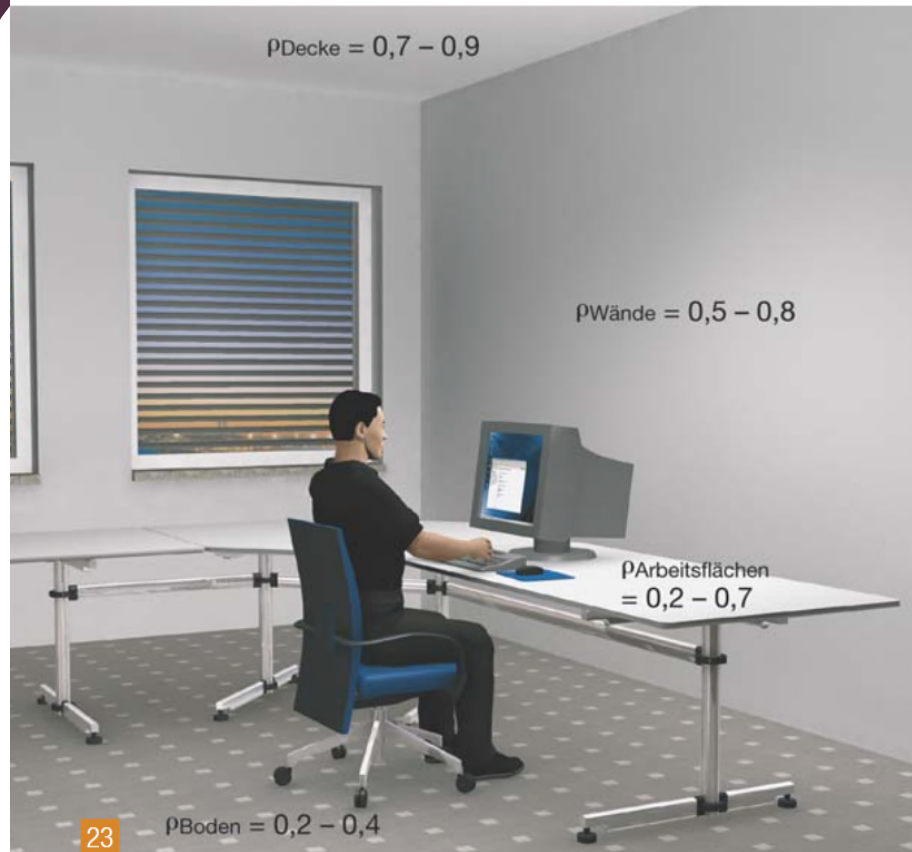
Normen nennen grundsätzliche Anforderungen an die Beleuchtung. Die meisten Normen gelten als EN heute europaweit. Wichtige europäische Normen sind:

- DIN EN 12464 zur Beleuchtung von Arbeitsstätten
- DIN EN 13201 zur Straßenbeleuchtung
- DIN EN 12193 zur Sportstättenbeleuchtung
- DIN EN 1838 zur Notbeleuchtung
- DIN EN 12665 zu grundlegenden Begriffen und Kriterien für die Beleuchtung.

## Lichtausbeute

- Maß für die Effizienz von Lichtquellen.
- Wie viel Energie wird für einen bestimmten Lichtstrom aufgewendet
- Einheit Lumen/Watt (lm/W)
- Je höher der Wert, umso effizienter das Leuchtmittel





Empfohlene Reflexionsgrade von Wänden, Boden, Decke und Arbeitsfläche nach DIN EN 12464-1.

Quelle: Licht.wissen, Heft 1, [www.licht.de](http://www.licht.de)



Der Verkehrsteilnehmer nimmt das von der Straßenoberfläche reflektierte Licht als Leuchtdichte wahr.



## Normen nennen Wartungswerte

Gütemerkmale der Beleuchtung sowie die erforderlichen Wartungswerte der Beleuchtung für verschiedene Sehaufgaben oder Tätigkeiten sind in den relevanten Normen aufgeführt. Von hoher Bedeutung ist zum Beispiel DIN EN 12464-1 für Arbeitsstätten in Innenräumen sowie DIN EN 12464-2 für Arbeitsstätten im Freien. Beispiele für Wartungswerte in Innenräumen:

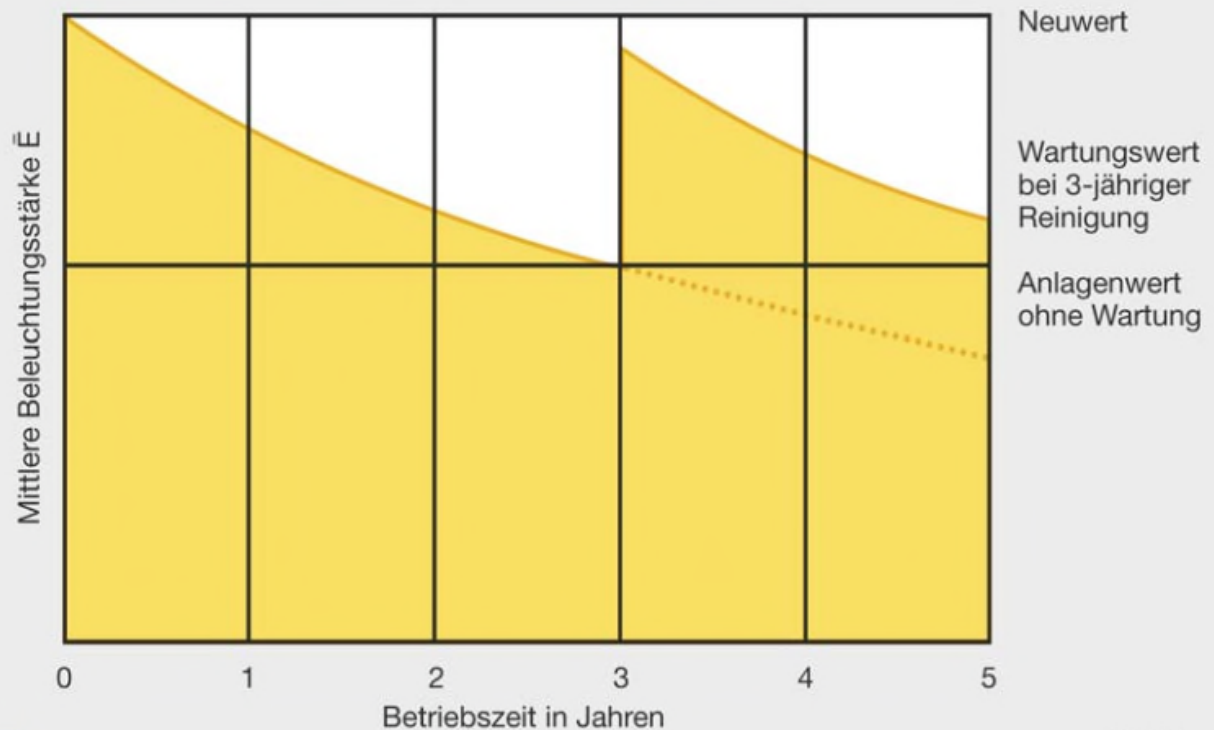
Büro	500 lx
Operationsfeld	bis 100.000 lx
Verkehrsflächen	100 lx

Gütemerkmale der Straßenbeleuchtung sind in DIN EN 13201-2 aufgeführt.

Empfehlungen:

Anliegerstraße	7,5 lx
Hauptverkehrsstraße	1,5 cd/m <sup>2</sup>
Parkplatz	15 lx

## Wartungswert der Beleuchtungsstärke



25

© licht.de

Der Wartungswert: Wert, den die Beleuchtungsstärken während der Betriebszeit einer Anlage nicht unterschreiten dürfen; Bsp: Wartungsintervall 3 Jahre.

## Wartungsfaktor:

- $\text{Wartungswert} = \text{Wartungsfaktor} \times \text{Neuwert}$ .
- Der Wartungsfaktor wird individuell ermittelt. Kriterien:
  - Art der Lampen und der Leuchten
  - Staub- und Verschmutzungsgefahr des Raums bzw. der Umgebung
  - Wartungsmethode und Wartungsintervall
  - Häufig sind die betriebsbedingten Einflüsse (Verschmutzung) bei der Lichtplanung noch nicht genau bekannt.

### Beispiel: Wartungsintervall 3 Jahre

- Wartungsfaktor von 0,67 (in saubereren Räumen)
- Wartungsfaktor von bis zu 0,5 (in schmutzigeren Räumen)
- Das Wartungsprogramm – die Intervalle zum Reinigen und Wechseln der Lichtquellen und Wartung der Anlage – muss dokumentiert sein.

## MK350 S UPRtek

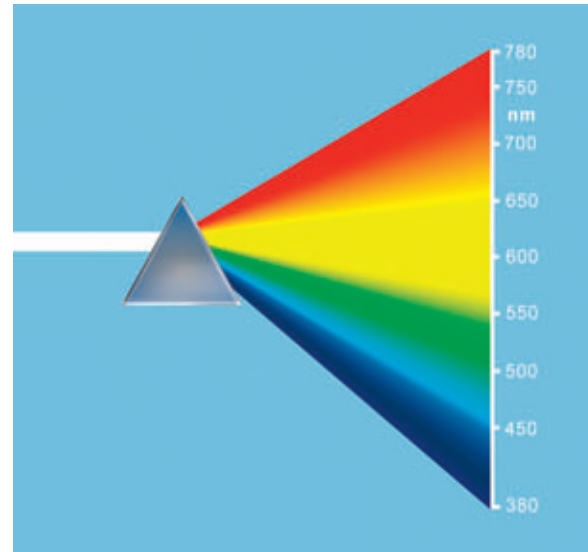
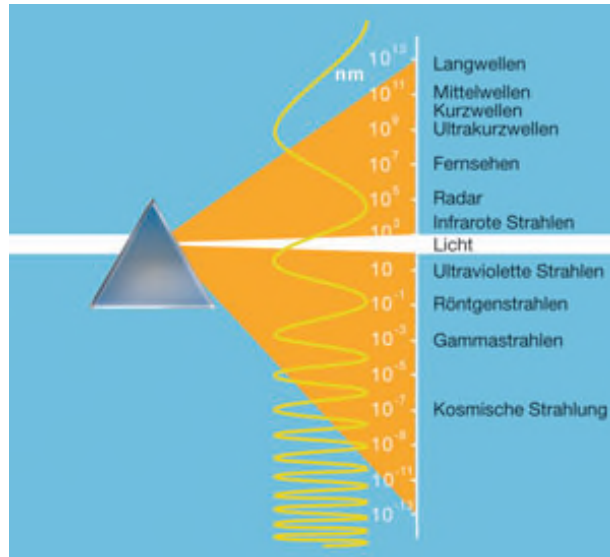
Beleuchtungsstärke  
Farbtemperatur  
Lichtspektrum  
Farbwiedergabe



## Lichtmeter LM10 Fauser

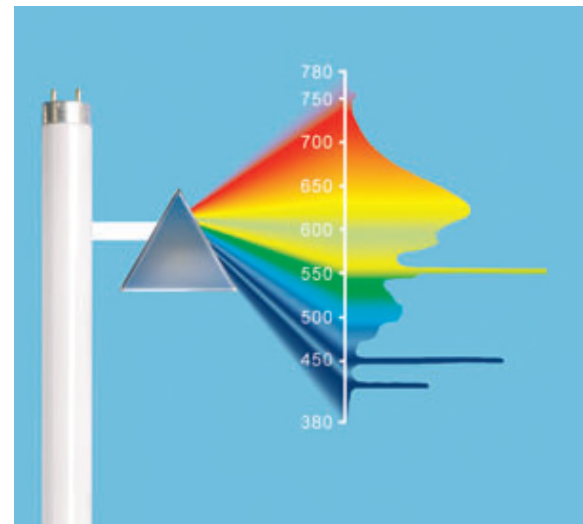
Beleuchtungsstärke  
Lichtflimmer-Anteil  
Lichtflimmer-Frequenz  
Optische / akustische Darstellung





## Lichtspektrum von Leuchtmitteln

Unterschiedliche Anteile  
der Spektralfarben



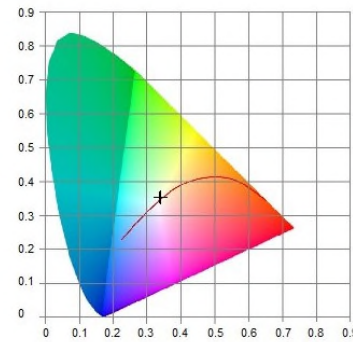
Auge + Gehirn:  
Wahrnehmung „Weiß“

# Natürliches Sonnenlicht

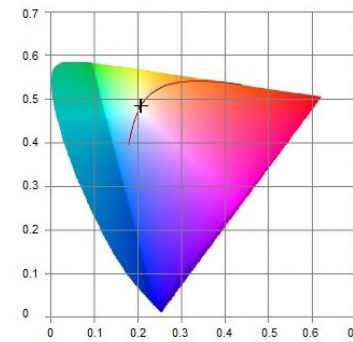


Benutzer :	Messzeit : 14:21:53	LUX : 93846
Modell-Nr. : MK350S	Lichtquelle : Sonne Himmel	CCT : 5183K
Memo :	Beleuchtungsstärke	CRI : 99,4
	Farbtemperatur	$\lambda_D$ : 567nm
	Farbwiedergabe	$\lambda_P$ : 549nm

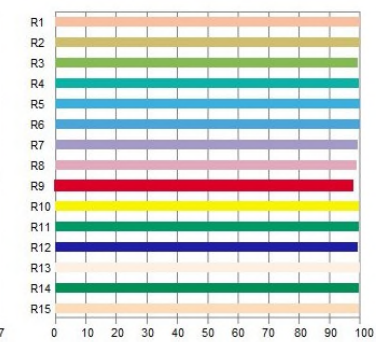
■ CIE1931



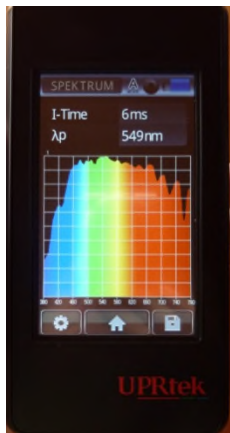
■ CIE1976



■ CRI



■ Spektrum



Flimmern 0 %

Farbtemperatur passend zur Uhrzeit oder Tätigkeit auswählen

## Lichtfarben nach DIN 5035:

### Tageslichtweiß (Kaltweiß) über 5000 K

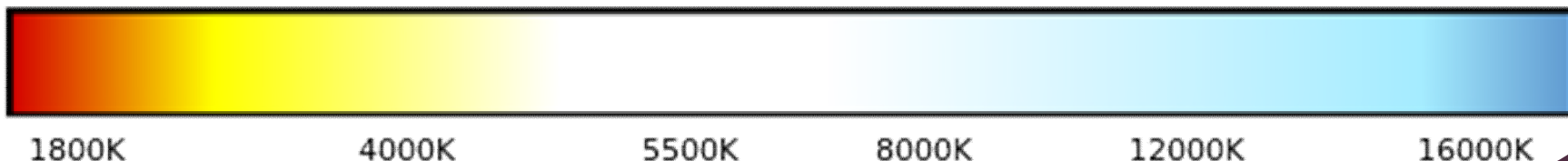
Hohe Blauanteile im Licht, Unterdrückung von Melatonin, Schichtarbeit

### Neutralweiß 3300 K – 5000 K

Aktivierendes Licht, unterstützt Wach-Phase, „Hallo-Wach-Licht“  
Einsatz im Büro, am Morgen, gute Erkennung von Kontrasten

### Warmweiß unter 3300 K

Gemütlichere Lichtwirkung, unterstützt Entspannung  
Einsatz im Büro am Nachmittag/Abend, Übergang in Feierabend  
Stimmungslicht in Wohnbereichen



# Farbwiedergabe: verschiedene Leuchtmittel

















# Farbwiedergabindex Ra (CRI)

Wirkung einer Lichtart auf das farbliche Aussehen von Gegenständen.

**Index-a**: allgemeiner Farbwiedergabeindex, berücksichtigt nur die Werte der ersten **8 Testfarben**.

Die 14 Testfarben nach DIN 6169

	# 1 Altrosa		# 9 Rot gesättigt
	# 2 Senfgelb		# 10 Gelb gesättigt
	# 3 Gelbgrün		# 11 Grün gesättigt
	# 4 Hellgrün		# 12 Blau gesättigt
	# 5 Türkisblau		# 13 Rosa (Hautfarbe)
	# 6 Himmelblau		# 14 Blattgrün
	# 7 Asterviolett		
	# 8 Fliederviolett		

Quelle Wikipedia



## Farbwiedergabeindex einiger Lampen

- | • Lampe                                       | Index $R_a$ |
|---|-------------|
| • Glühlampe                                   | bis 100     |
| • Halogen-glühlampe                           | bis 100     |
| • LED, weiß                                   | 80...95     |
| • OLED, weiß                                  | 80...90     |
| • Leuchtstofflampe                            | 50...90     |
| • Halogen-Metaldampf Lampe                    | 60...95     |
| • Natriumdampf-Hochdrucklampe, warmweiß       | 80...85     |
| • Quecksilberdampf-Hochdrucklampe             | 45          |
| • Natriumdampf-Hochdrucklampe, Standard       | 18...30     |
| • Natriumdampf-Hochdrucklampe, farbverbessert | 60          |
| • Natriumdampf-Niederdrucklampe               | -44         |

## Lichtflimmern

- Natürliches Licht ist gleichmäßig, ohne Frequenz, ohne stroboskopartige Taktung.

Flimmern 0 %



- "Flimmerfrequenzen wirken sich, bewusst oder unbewusst wahrgenommen, negativ aus auf Augen, Gehirn, Hirnströme, Hormone, Nervosität, neurologische Abläufe, Verarbeitungs- und Steuerungscentren, Koordination, Stoffwechsel, Glukoseverbrauch, kapillaren Blutfluss oder Schlafqualität und können Migräne, Kopfschmerz oder epilepsieartige Anfälle auslösen."

Ludwig-Maximilians-Universität in München,  
Dissertation von Dr. Christin Steigerwald.

Flimmern 63 %

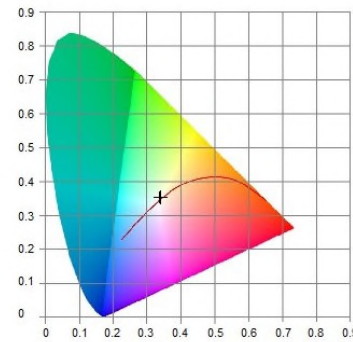


# Natürliches Sonnenlicht

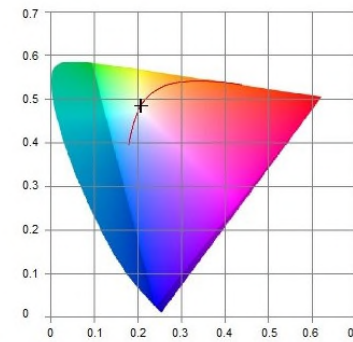


Benutzer :	Messzeit : 14:21:53	LUX : 93846
Modell-Nr. : MK350S	Lichtquelle : Sonne Himmel	CCT : 5183K
Memo :	Beleuchtungsstärke	CRI : 99,4
	Farbtemperatur	$\lambda_D$ : 567nm
	Farbwiedergabe	$\lambda_P$ : 549nm

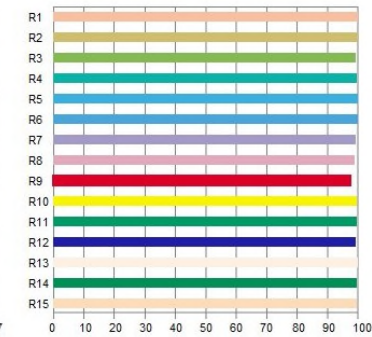
■ CIE1931



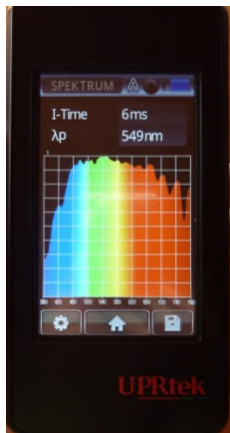
■ CIE1976



■ CRI



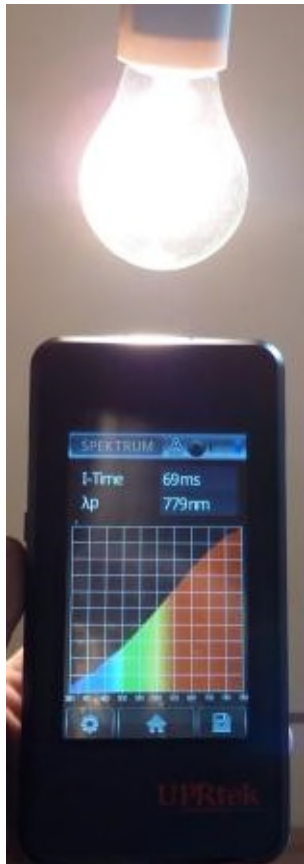
■ Spektrum



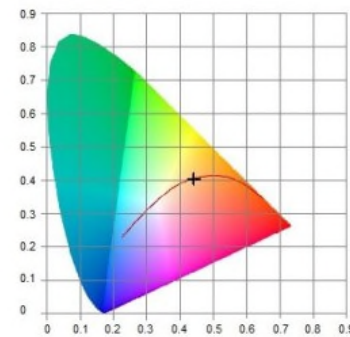
Flimmern 0 %

# Glühlampe

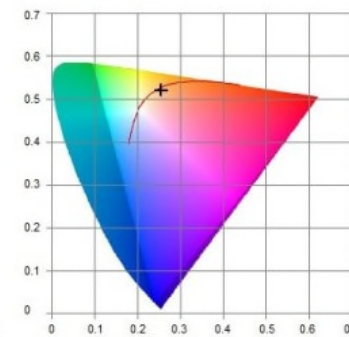
Benutzer :	Messzeit : 13:23:31	LUX : 5327
Modell-Nr. : MK350S	Lichtquelle : Glühlampe 2900K	CCT : 2913K
Memo :	Beleuchtungsstärke	CRI : 99,2
	Farbtemperatur	$\lambda_D$ : 483nm
	Farbwiedergabe	$\lambda_P$ : 779nm



■ CIE1931



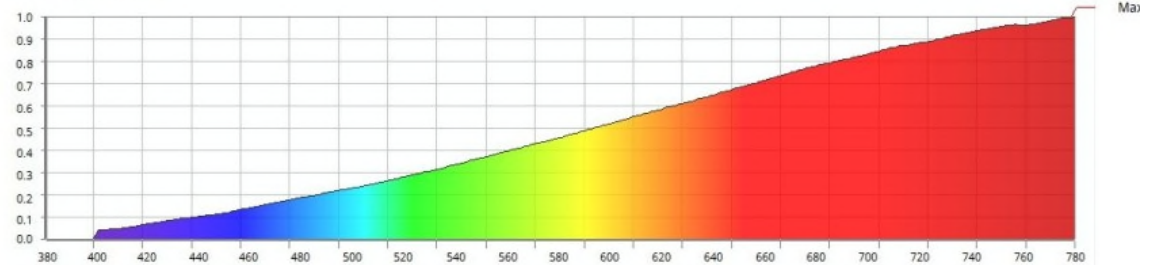
■ CIE1976



■ CRI



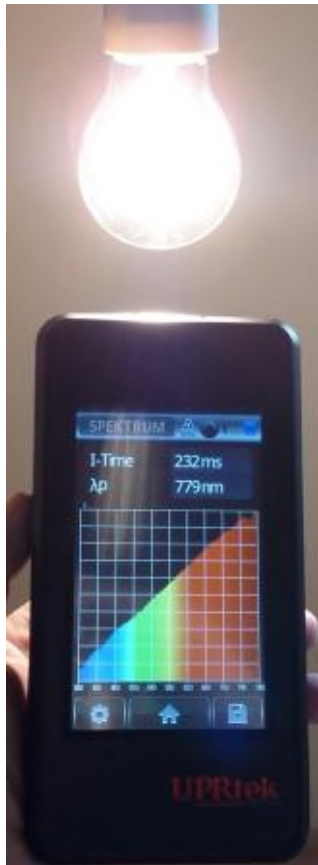
■ Spektrum



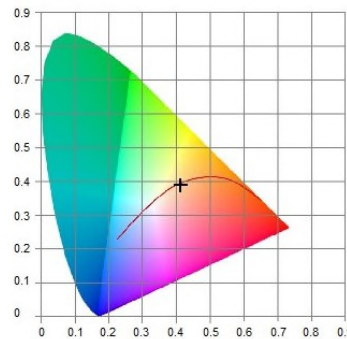
Flimmern 22% bei 100 Hz

# Halogenglühlampe

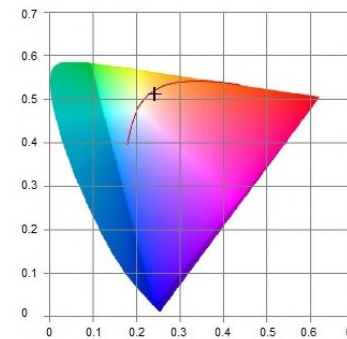
Benutzer :	Messzeit : 13:08:07	LUX : 1517
Modell-Nr. : MK350S	Lichtquelle : Halogenglühlampe	CCT : 3335K
Memo :	<b>Beleuchtungsstärke</b>	CRI : 98,2
	<b>Farbtemperatur</b>	$\lambda_D$ : 482nm
	<b>Farbwiedergabe</b>	$\lambda_P$ : 779nm



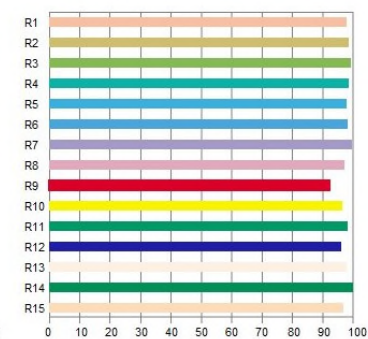
■ CIE1931



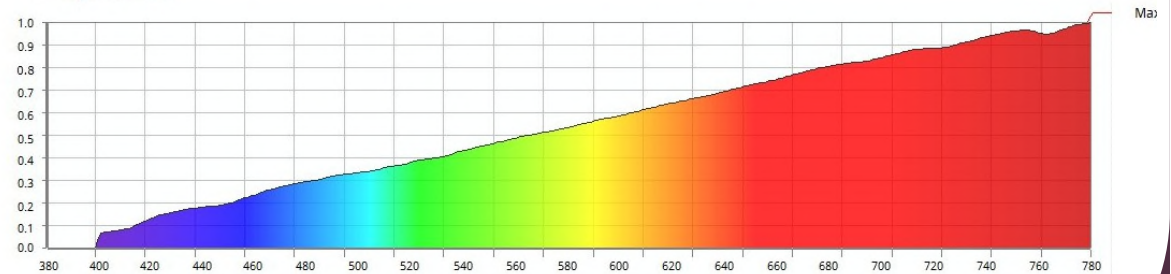
■ CIE1976



■ CRI



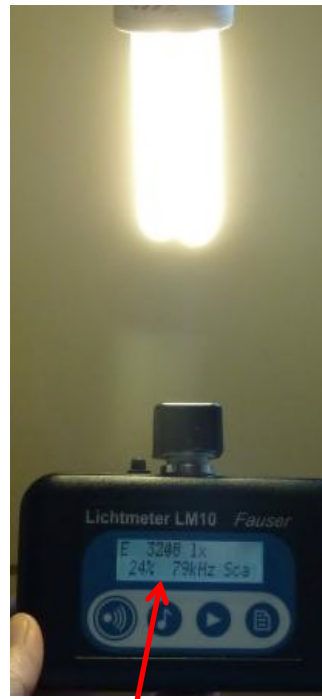
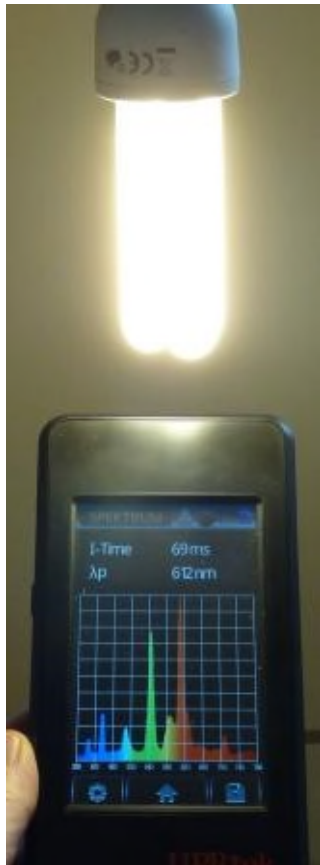
■ Spektrum



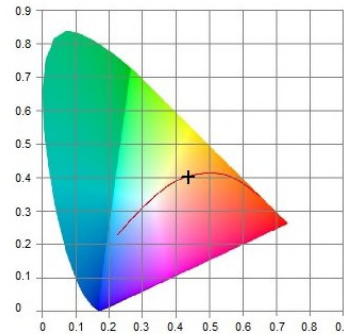
Flimmern 21% bei 100 Hz

# Kompaktleuchtstofflampe „Energiesparlampe“

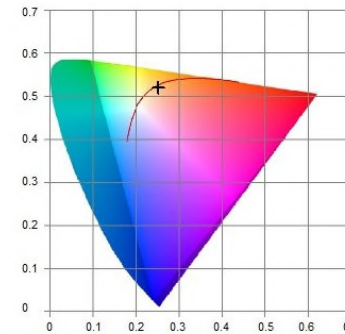
Benutzer :	Messzeit : 13:01:46	LUX : 1952
Modell-Nr. : MK3505	Lichtquelle : Kompaktleuchtst	CCT : 2969K
Memo :	<b>Beleuchtungsstärke</b>	CRI : 86,7
	<b>Farbtemperatur</b>	$\lambda D$ : 583nm
	<b>Farbwiedergabe</b>	$\lambda P$ : 612nm



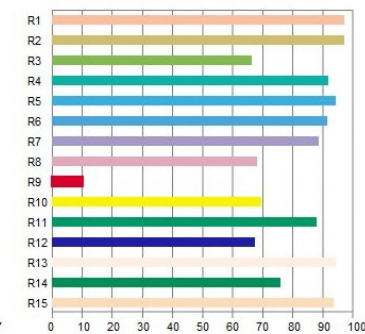
■ CIE1931



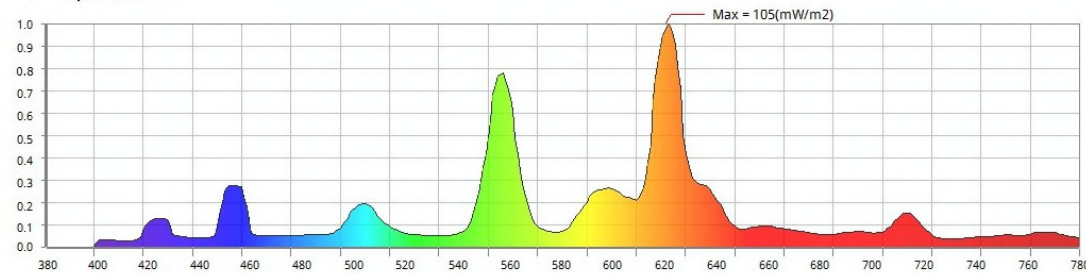
■ CIE1976



■ CRI



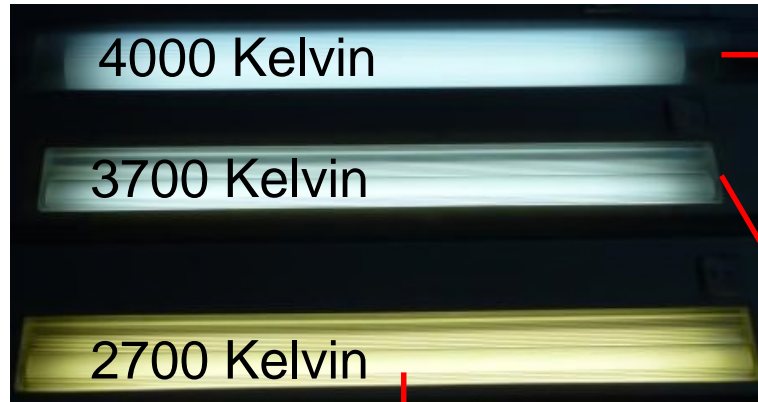
■ Spektrum



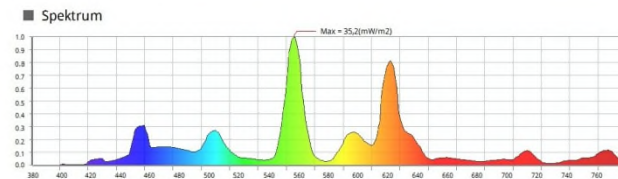
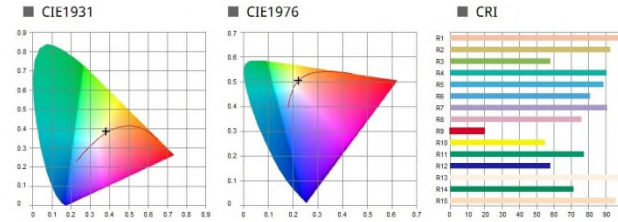
Flimmern 24% bei 79 kHz (79.000 Hz)

# Leuchtstofflampen: verschiedene Farbtemperaturen

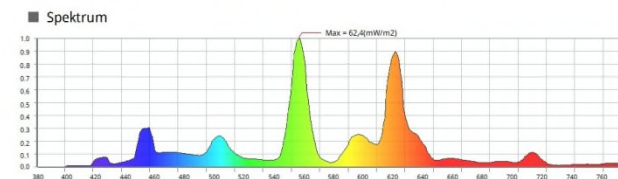
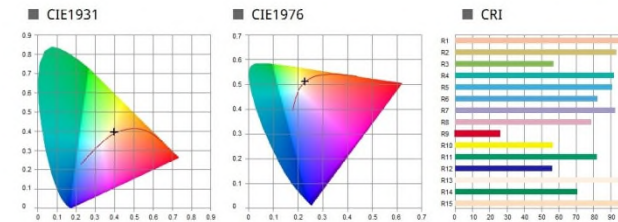
Flimmern 22-35% bei 45-57 kHz



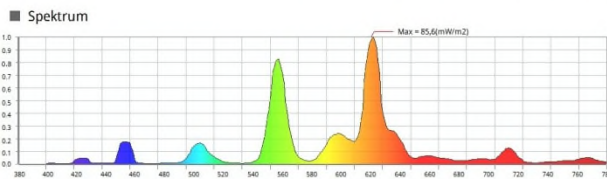
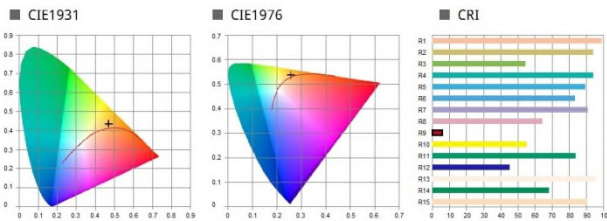
Benutzer :	Messzeit : 16:05:31	LUX : 658
Modell-Nr. : MK3505	Lichtquelle : Leuchtstoff 4000	CCT : 4060K
Memo :		CRI : 84,2
		$\lambda_D$ : 475nm
		$\lambda_P$ : 545nm



Benutzer :	Messzeit : 15:47:47	LUX : 1211
Modell-Nr. : MK3505	Lichtquelle : Leuchtstoff 3700K	CCT : 3737K
Memo :		CRI : 85,3
		$\lambda_D$ : 578nm
		$\lambda_P$ : 545nm



Benutzer :	Messzeit : 16:09:05	LUX : 1439
Modell-Nr. : MK3505	Lichtquelle : Leuchtstoff 2700	CCT : 2745K
Memo :		CRI : 83,4
		$\lambda_D$ : 582nm
		$\lambda_P$ : 612nm



# LED Lampe 2.900 K

Benutzer :	Messzeit : 12:37:43	LUX : 5785
Modell-Nr. : MK350S	Lichtquelle : LED Lampe 2900K	CCT : 2905K
Memo :	<b>Beleuchtungsstärke</b>	CRI : 81,4
	<b>Farbtemperatur</b>	$\lambda D$ : 482nm
	<b>Farbwiedergabe</b>	$\lambda P$ : 610nm

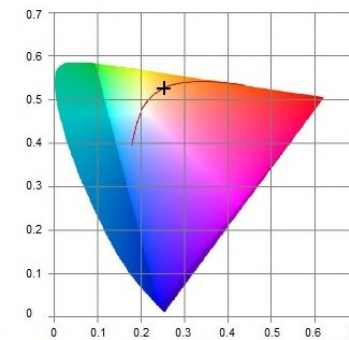


Flimmern 98% bei 120 Hz

■ CIE1931



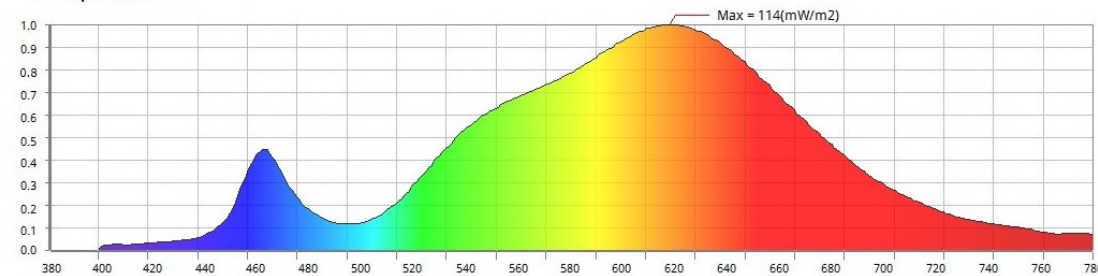
■ CIE1976



■ CRI



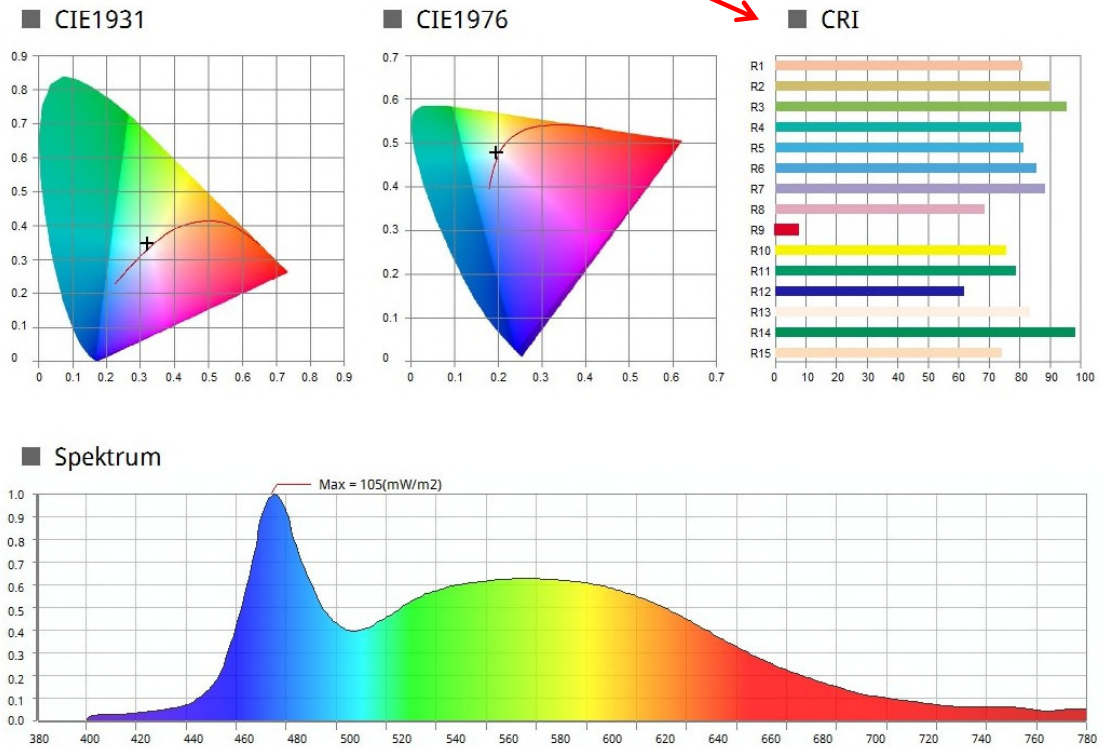
■ Spektrum





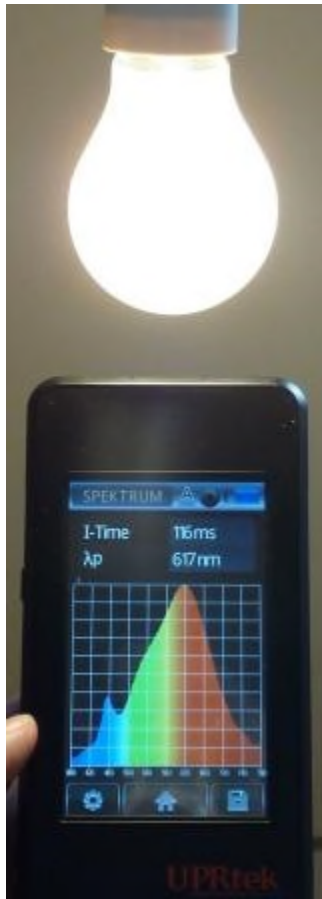
# LED Lampe 6.000 K

Benutzer :	Messzeit : 12:26:56	LUX : 4306
Modell-Nr. : MK350S	Lichtquelle : LED 6000K	CCT : 6074K
Memo :	Beleuchtungsstärke	CRI : 83,6
	Farbtemperatur	$\lambda_D$ : 505nm
	Farbwiedergabe	$\lambda_P$ : 454nm



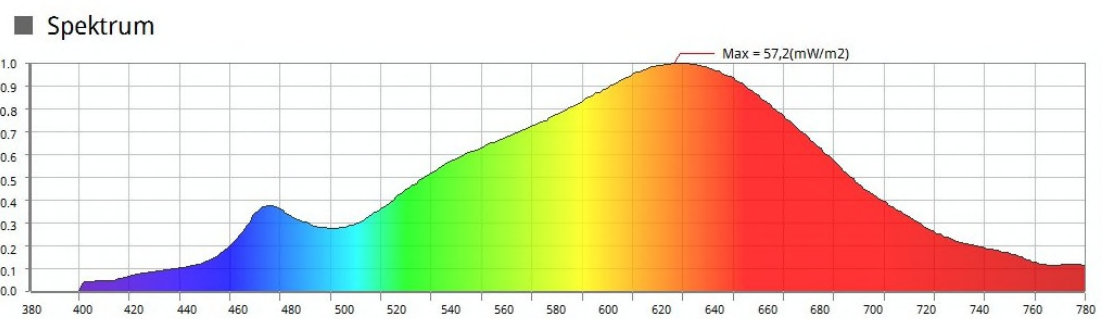
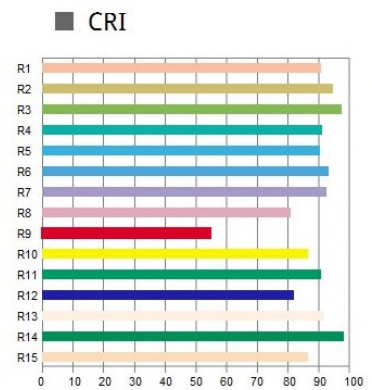
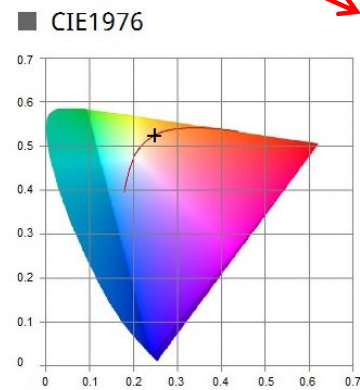
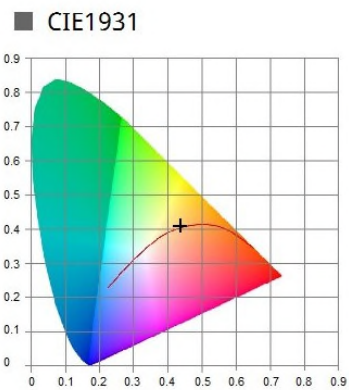
Flimmern 63% bei 100 Hz

# LED Lampe 3.000 Kelvin, PureZ



Flimmern <1%

Benutzer :	Messzeit : 12:22:35	LUX : 2982
Modell-Nr. : MK350S	Lichtquelle : LED PureZ matt	CCT : 3040K
Memo :	Beleuchtungsstärke	CRI : 91,2
	Farbtemperatur	$\lambda_D$ : 582nm
	Farbwiedergabe	$\lambda_P$ : 617nm



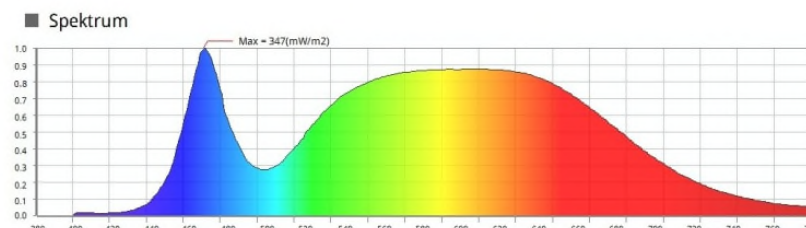
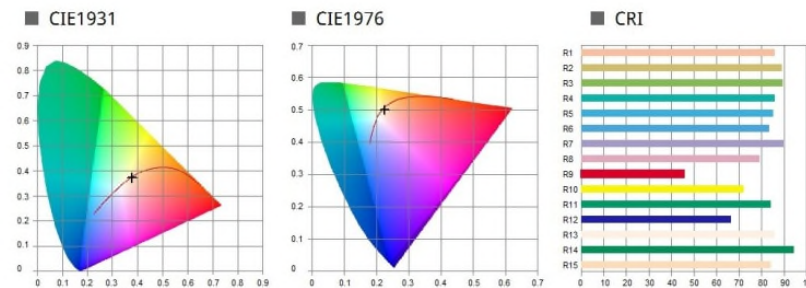
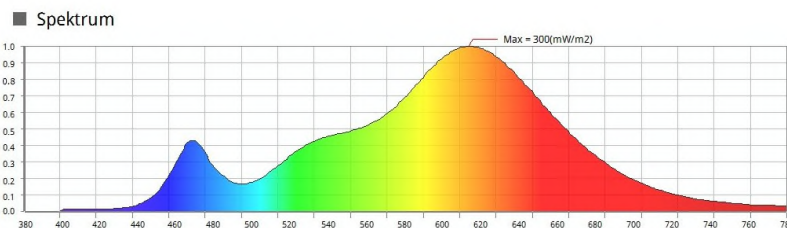
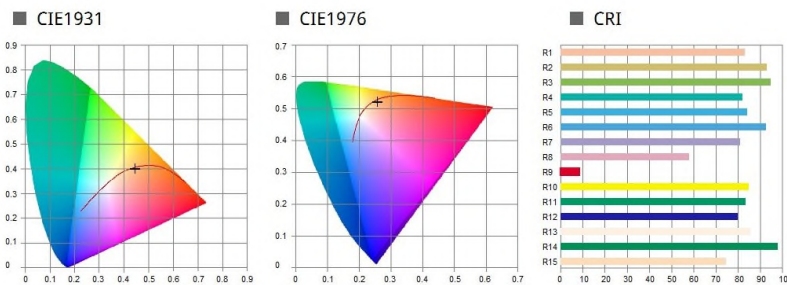
# LED - Auswahl nach Verwendungszweck



Benutzer :	Messzeit : 12:04:05	LUX : 13770
Modell-Nr. : MK3505	Lichtquelle : LED Einbau	CCT : 2820K
Memo :		CRI : 83,3
		$\lambda D$ : 585nm
		$\lambda P$ : 605nm

Flimmern 1%

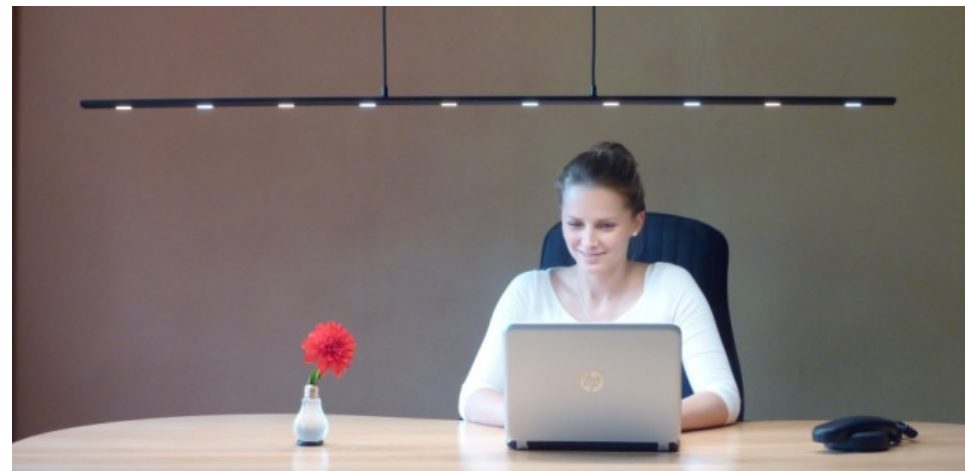
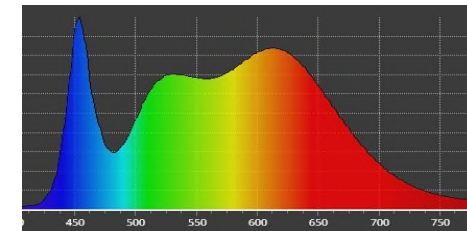
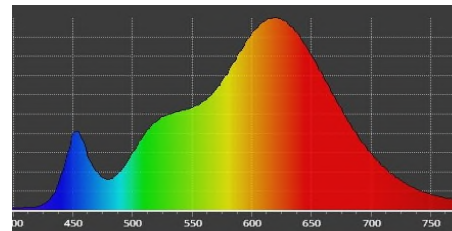
Benutzer :	Messzeit : 12:08:20	LUX : 19620
Modell-Nr. : MK3505	Lichtquelle : LED Einbau	CCT : 4050K
Memo :		CRI : 85,7
		$\lambda D$ : 479nm
		$\lambda P$ : 451nm

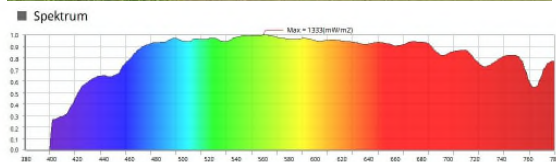


# La Girafe – Vitale baubiologische Leuchten

- Baubiologisch abgeschirmt, ohne Elektromog
- LED Leuchtmittel (je 3 Watt pro Leuchtfeld)
- Minimaler Energieverbrauch bei bestem Licht
- Naturnahes Lichtspektrum
- Sehr gute Farbwiedergabe
- Warmweißes Licht, 2.700 K
- Neutralweißes Licht, 4.000 K
- Nahezu flimmerfrei
- [www.vital-led.de](http://www.vital-led.de)

Neuheit:  
2700 K + 4000 K





Weitere Infos:  
[www.vital-led.de](http://www.vital-led.de)  
[www.licht.de](http://www.licht.de)

Baubiologischer Grundsatz:  
**Vorbild und Maßstab ist die Natur**

**Gutes Licht = Lebensqualität**

- Helligkeit
- Farbspektrum
- Farbtemperatur
- Farbwiedergabe
- Blendfreiheit
- Flimmerfreiheit

**Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit**

Dipl. Biol. Pamela Jentner  
OrangePep GmbH&Co.KG  
D-85354 Freising  
[www.orangepep.de](http://www.orangepep.de)