

Der effektive Lichtstrom -

Warum wir unsere LED - Leuchtmittel auch mit „Pupil - Lumen“ beschreiben:

Auf diesen Seiten möchten wir Ihnen kurz aufzeigen, dass man als Anwender der LED – Technik die Angabe „Lumen pro Watt“ nur noch zur Abgrenzung unterschiedlicher LED – Qualitätsklassen und nicht mehr als Vergleichsgröße zwischen konventioneller und LED – basierter Beleuchtungstechnik verwenden kann.

Inhalt:

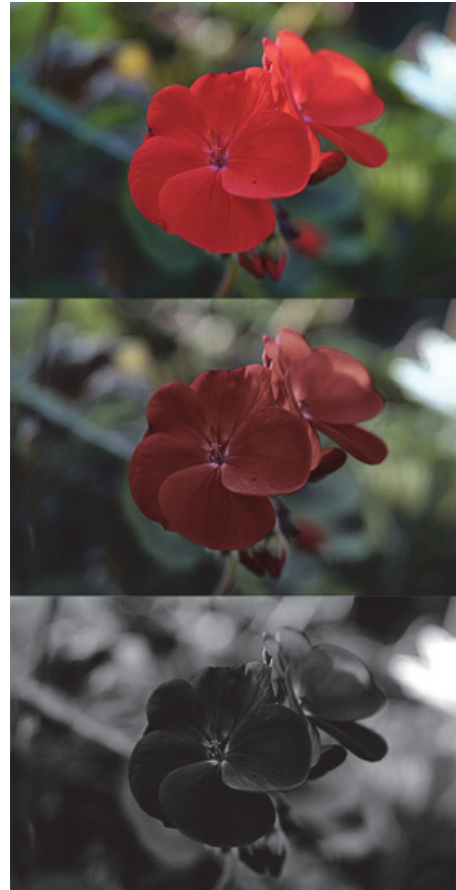
1.	Menschliche Lichtwahrnehmung.....	Seite 2
2.	Der Purkinje – Effekt.....	Seite 3
3.	Pupil – Lumen.....	Seite 4
4.	Der P/S – Korrekturfaktor.....	Seite 5
5.	P/S – Korrekturfaktoren und Pupil – Lumen bei ausgewählten Lichtquellen.....	Seite 6

1. Menschliche Lichtwahrnehmung:

Liegt die Leuchtdichte eines Bildes auf der Netzhaut oberhalb von 3.4 Candela pro m², schaltet das menschliche Auge auf **photopisches** Sehen, liegt die Leuchtdichte jedoch unter 0.034 Candela pro m², schaltet das menschliche Auge auf **skotopisches** Sehen. Im Zwischenbereich kombiniert das menschliche Auge beide Arten als mesopisches Sehen.

Photopisches Sehen ist der wissenschaftliche Ausdruck für den Sehvorgang während des Tages unter normalen Lichtverhältnissen. Bei einer Leuchtdichte von mehr als 3.4 Candela pro m² treten die Zäpfchen der Netzhaut in Aktion, um diverse Wellenlängen und damit Farben wahrzunehmen. Dabei weisen die Pigmente in den Zäpfchen ihr Empfindlichkeitsmaximum bei folgenden Wellenlängen auf: ca. 445 nm (**blau**), ca. 535 nm (**grün**) und ca. 575 nm (**rot**). Diese Empfindlichkeitsbereiche überlappen sich gegenseitig und ermöglichen uns ein kontinuierliches, aber nicht lineares Sehen über das gesamte, sichtbare Farbspektrum. Der Peak der Empfindlichkeit befindet sich mit 683 Lumen pro Watt bei einer Wellenlänge von ca. 555 nm (**gelb**).

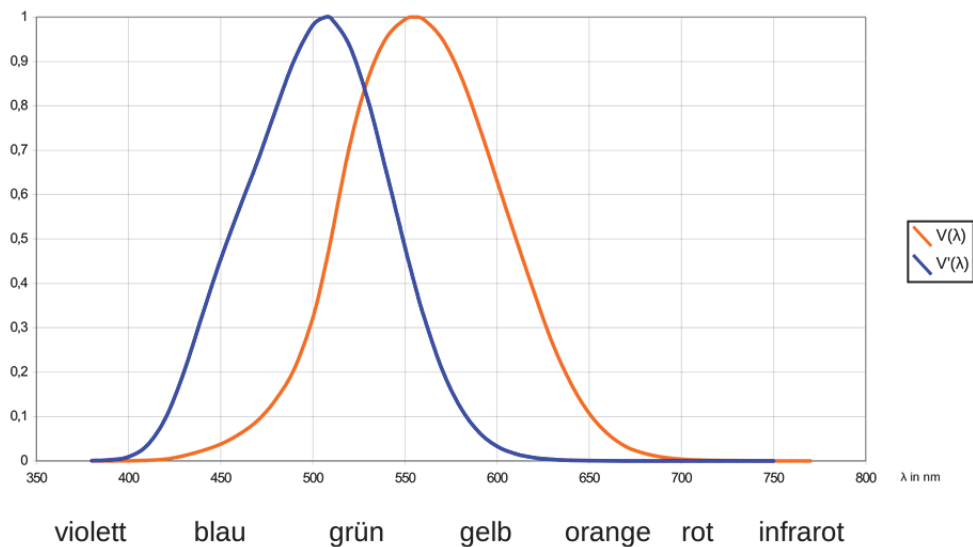
Skotopisches Sehen ist der wissenschaftliche Ausdruck für den Sehvorgang in der Dunkelheit. Bei einer Leuchtdichte von weniger als 0.034 Candela pro m² treten die Stäbchen der Netzhaut in Aktion, um ein brauchbares Sehen im Dunkeln oder in der Dämmerung zu ermöglichen. Der Peak der Empfindlichkeit befindet sich mit 1.700 Lumen pro Watt bei einer Wellenlänge von ca. 507 nm und macht das menschliche Auge unter diesen Umständen blind für die Farbwahrnehmung. Der im Farbspektrum nach unten verschobene Schwerpunkt (Blauverschiebung) der Empfindlichkeit lässt das menschliche Auge so wesentlich stärker auf blaues Licht reagieren und rotes Licht fast vollständig verschwinden.



Fotografen: Dick Lyon & Lewis Collard.
Quelle: http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Red_geranium_3.jpeg.

2. Der Purkinje – Effekt:

Hellempfindlichkeit des Auges

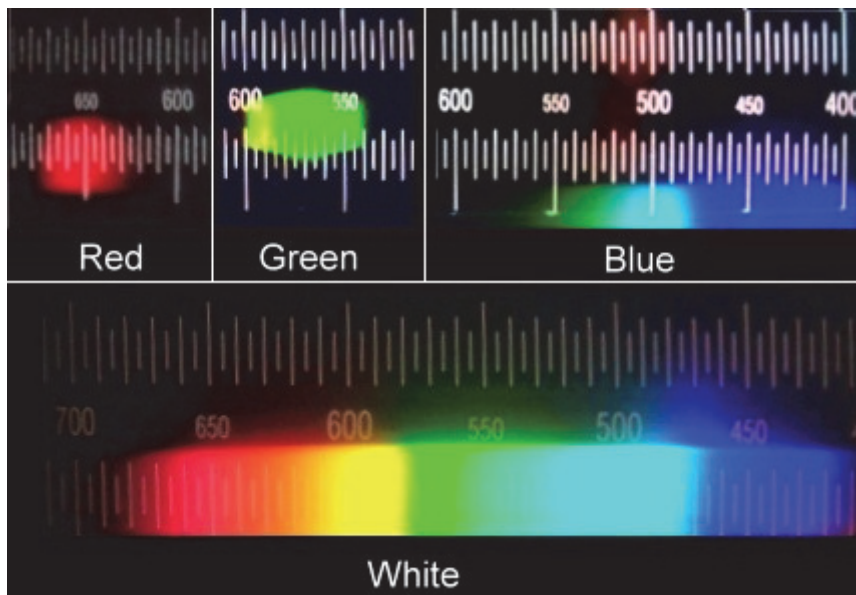


Quelle: Wikipedia.de.

„Als **Purkinje-Effekt** (nach Jan Evangelista Purkinje) wird das unterschiedliche Helligkeitsempfinden von Farben bei Tag und Nacht bezeichnet. Er beruht auf der unterschiedlichen spektralen Empfindlichkeit der Sehzellen (Fotorezeptoren) bei Tag- und Nachtsehen, wie es in der $V(\lambda)$ - bzw. $V'(\lambda)$ -Kurve dargestellt ist. Am Tag sind vor allem die farbempfindlichen Zapfen aktiv, in der Nacht vor allem die lichtempfindlichen Stäbchen. Da die Stäbchen vor allem auf grün – blaues Licht reagieren, verschiebt sich die Empfindlichkeit der menschlichen Netzhaut auch in diese Richtung. Aus diesem Grund verwendet man bei Nachtbeobachtungen rote Lichtquellen (beispielsweise rote Armaturenbeleuchtung im PKW), um die Dunkeladaptation des Auges nicht zu stören.“

(Quelle: Wikipedia.de).

3. Pupil – Lumen:



Fotograf: Anton (rp).
Quelle: www.wikipedia.de.

Diese Erkenntnisse aus Wissenschaft und Biologie haben eine durchschlagende Wirkung auf die **LED – Beleuchtungstechnik**:

Da das menschliche Auge, wie oben beschrieben, in der Dunkelheit auf blaues Licht wesentlich intensiver reagiert als auf andere Lichtfarben, sind LED – Beleuchtungsprodukte mit einem nahezu hundertprozentigen Blauspektrum stark im Vorteil und damit die Angabe „Lumen pro Watt“ nicht mehr als Vergleichsgröße geeignet, da zuerst eine prozentuale Herunterrechnung auf die für das menschliche Auge relevanten Bereiche des Farbspektrums des mit konventionellen Beleuchtungsprodukten erzeugten Gesamtfarbspektrums im Lichtstrom erfolgen müsste.

Fazit: Ein LED – Lichtprodukt erzeugt mit einer geringeren Lumenzahl ein optisch helleres Licht durch den konsequenten Einsatz blauer oder royalblauer LEDs als Lichtquelle in Verbindung mit einer integrierten oder externen („Remote Phosphor“) Phosphorschicht, deren chemische Zusammensetzung die endgültige Lichtfarbe (z.B. warmweiss mit 3.000 K) bestimmt.

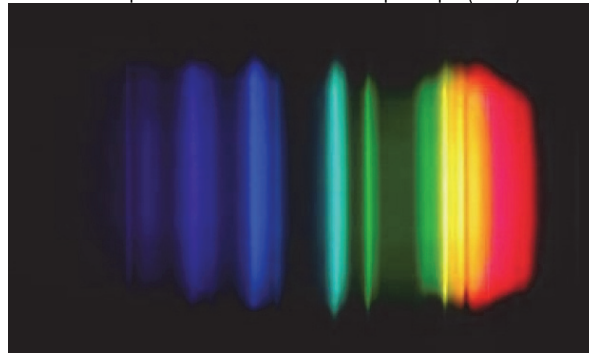
Zusätzlich verbessert die LED durch ihre hohe Lichtleistung im blauen und grünen Bereich die Wahrnehmung und ermöglicht damit in der Dunkelheit eine bessere Erkennbarkeit von Fahrzeugen, Personen und Gegenständen. Der stärkeren Lichtleistung der LED im für das menschliche Auge bei Dunkelheit so wichtigen Farbspektrums wird durch die Angabe des „**effektiven Lichtstroms**“ und dessen Einheit „**Pupil – Lumen**“, abgekürzt „PLm“ Rechnung getragen und misst das Licht so, wie es real und natürlich durch den menschlichen Sehsinn wahrgenommen und genutzt werden kann.

4. Der P/S – Korrekturfaktor:

Nach den nun bekannten Informationen aus Wissenschaft und Biologie lassen sich folgende Folgerungen ziehen:

In der Dunkelheit sind alle Lichtquellen mit rötlichem oder gelblichem Licht wie beispielsweise die Natriumdampf Lampe (NAV) ganz klar im Nachteil. Die Kontrasterkennung sowie die Farbwahrnehmung sind sehr schlecht. Um nun trotzdem eine adäquate Ausleuchtung (wie bei Weißlicht) für die Sicherheit beispielsweise im Straßenverkehr zu erreichen, muss die Beleuchtungsstärke nach oben korrigiert werden, was das erklärte Ziel der Energieeinsparung, welches dem Einsatz von Gelblicht zugrunde liegt, ab absurdum führt. Anders gesagt: je höher der Blauanteil im Farbspektrum der Lichtquelle, desto höher das Einsparungspotenzial an Energie.

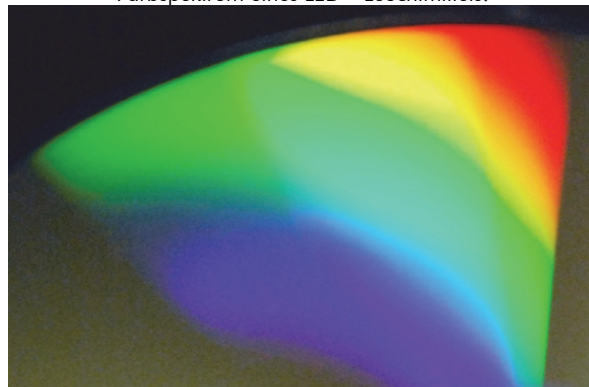
Farbspektrum einer Natriumdampf Lampe (NAV):



Fotograf: Chris Heilman.
Quelle: <http://commons.wikimedia.org>.

Um alle verschiedenen Beleuchtungstechniken nun direkt miteinander vergleichbar zu machen, entwickelten die Wissenschaftler am Lawrence Berkley Laboratory (LBL) den **P/S – Korrekturfaktor**, welcher die Umrechnung der Standardlumen (= photopische Lumen) in Pupil – Lumen (= skotopische Lumen) in Abhängigkeit der Lichtquelle und deren Spektralverteilung erlaubt. Somit kann der Lichtstrom der Lichtquelle als „effektiver Lichtstrom“ wesentlich genauer angegeben werden und berücksichtigt dabei gleichzeitig die Blauverschiebung des menschlichen Sehsinns in dunkler Umgebung.

Farbspektrum eines LED – Leuchtmittels:



Fotograf: Jason Morrison.
Quelle: <http://www.flickr.com/photos/jasonmorrison/3471835685/sizes/o/in/photostream/>.

→ Der P/S – Korrekturfaktor bei LED – Lichtquellen wurde dabei auf 1,90 festgelegt.

5. P/S – Korrekturfaktoren und Pupil – Lumen bei ausgewählten Lichtquellen:

Lichtquelle	Leistung in Watt	Lichtleistung in Lumen/Watt	Lichtstrom in Lumen	P/S – Korrekturfaktor	Effektive Lichtleistung in Pupil-Lumen/Watt	Effektiver Lichtstrom in Pupil-Lumen
Natrium-Dampf-Hochdruck (NAV):	70	80,0	5.600	0,38	30,40	2.128
Quecksilber-Dampf-Hochdruck (HQL):	80	47,5	3.800	0,86	40,80	3.268
Halogen-Metaldampf (HQL-E):	70	70,0	4.900	1,49	104,3	7.301
Induktion (bei 5.000 Kelvin):	50	80,0	4.000	1,97	157,6	7.880
Neon (bei 2.900 Kelvin):	58	65,0	3.770	0,98	63,70	3.695
Wolfram-Glühdraht (AGL):	100	15,0	1.500	1,26	18,90	1.890
Wolfram-Glühdraht Edelgas (Halogen):	50	22,0	1.100	1,32	29,00	1.450
LED	25	95,0	2.375	1,90	180,5	4.512