

Auf der Suche nach dem schöneren Weiß

Abendforum:

Effiziente Beleuchtung der Verkehrsflächen in und vor Gebäuden



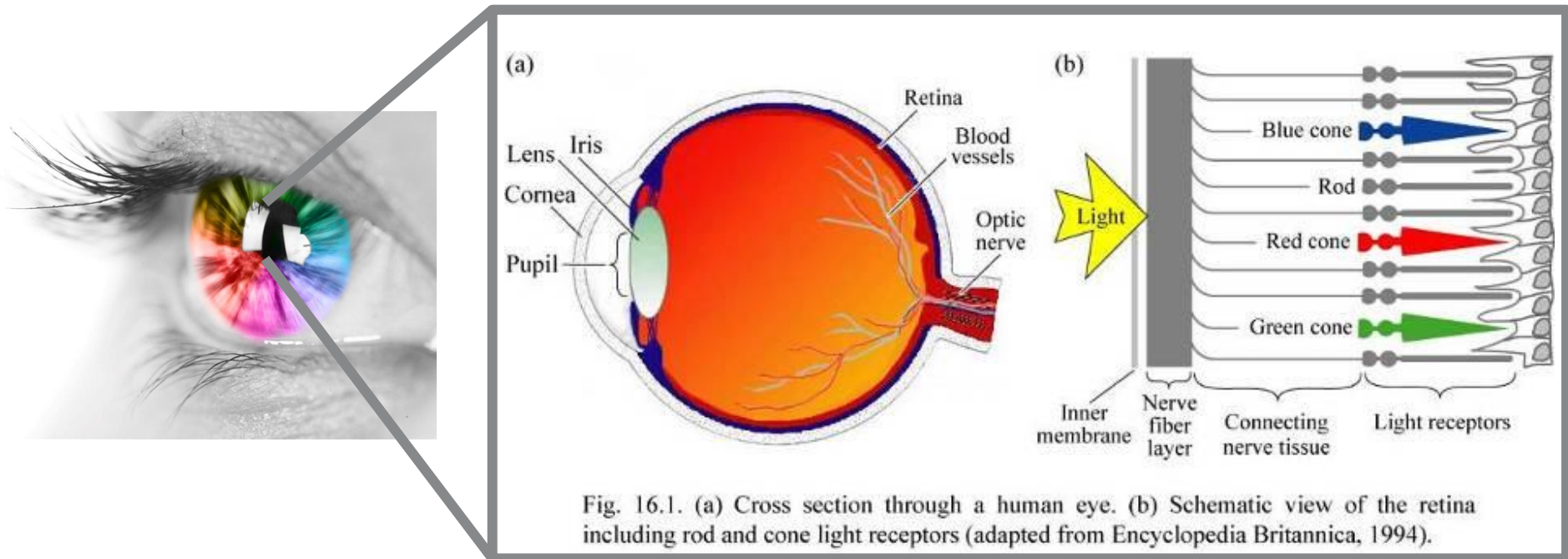
Bauzentrum
München

OSRAM
Opto Semiconductors

1. Die Wahrnehmung des Menschen
2. Die photopische, skoptopische und mesopische Lichtwahrnehmung
3. Was ist Weiß?
4. Binning Systeme
5. Das schönste Weiß!?

Im Auge des Menschen

Das Auge ist ein komplexes optisches System bestehend aus abbildenden Elementen, wie der Hornhaut, der Linse und der Augenflüssigkeit und dem verarbeitenden Nervensystem der Netzhaut mit der Fovea.



Unsere Sensoren

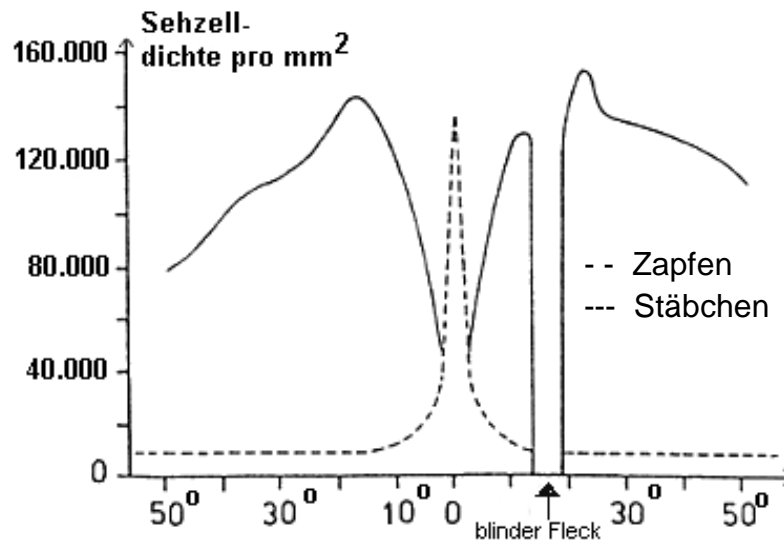
- Die Photorezeptoren -

Zapfen

- Drei Rezeptortypen
- Verantwortlich für Farbsehen
- Reines Zapfensehen oberhalb 10cd/m^2

Stäbchen

- Ein Rezeptortyp
- Verantwortlich für Helligkeitssehen
- Reines Stäbchensehen unterhalb $0,001\text{cd/m}^2$

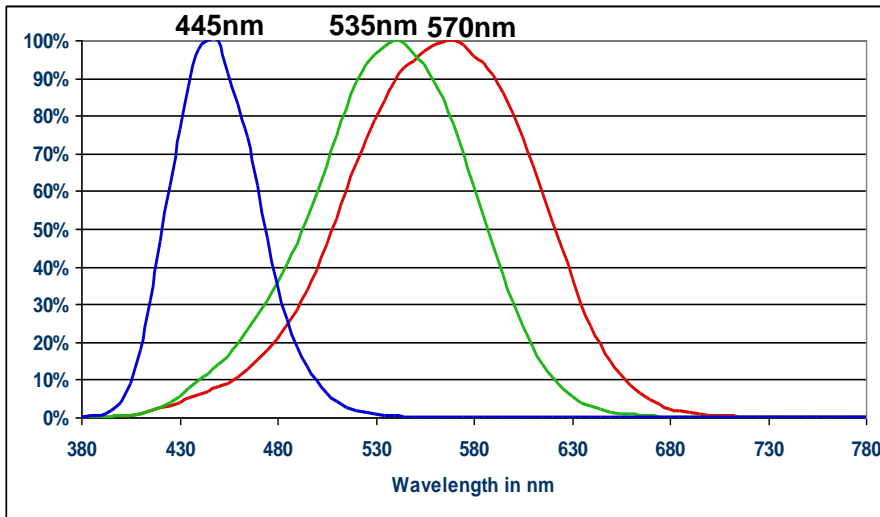


Die Verteilung der Rezeptoren über der Retina ist ungleichmäßig

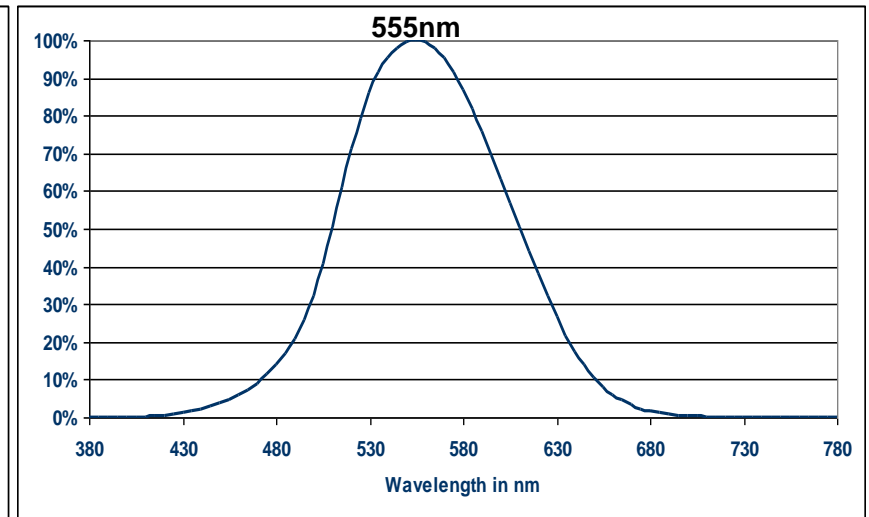
Quelle: <http://www.scheffel.og.bw.schule.de/faecher/science/biologie/sehsinn/2netzhaute/au1.gif>, 02.12.2016

Die visuelle Wahrnehmung

Spektrale Zapfenempfindlichkeiten



Spektrale Hellempfindlichkeit V_λ

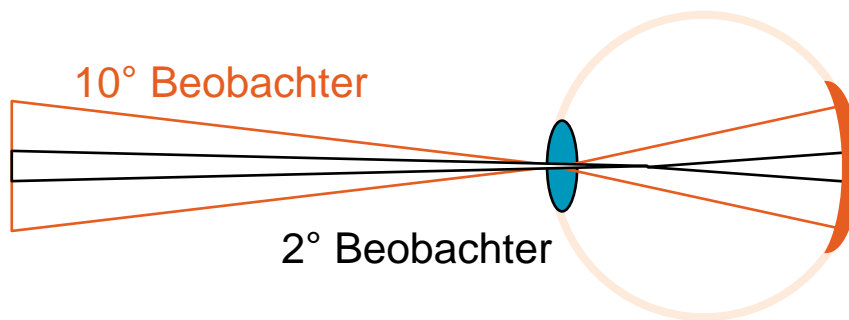


Farbe ...

- Die wahrgenommene Farbe resultiert aus den Signalen der Photorezeptoren (Zapfen)
 - Farbe ist kein physiologisches Phänomen, es existiert nur in unseren Köpfen
- Unser Gehirn beeinflusst was wir sehen: Wahrnehmung basiert auf vielen verschiedenen Faktoren, darunter Erfahrung und Erinnerung

Die Verteilung der Photorezeptoren auf der Retina

Unser Auge hat verschiedene Anteile der einzelnen Zapfentypen und auch die Pigmentdichte variiert über den Beobachtungswinkel.

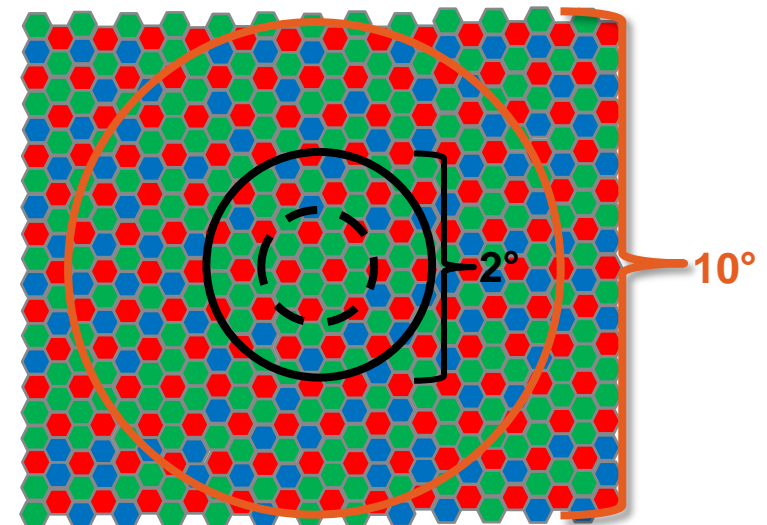


1931 2° Beobachter:

Beobachtungsfeldgröße: ~ Ø 17mm @ 0,5m

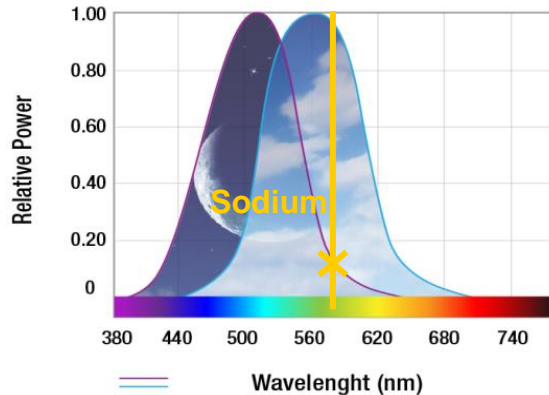
1964 10° Beobachter:

Beobachtungsfeldgröße: ~ Ø 90mm @ 0,5m



Zapfentypen in der Retina

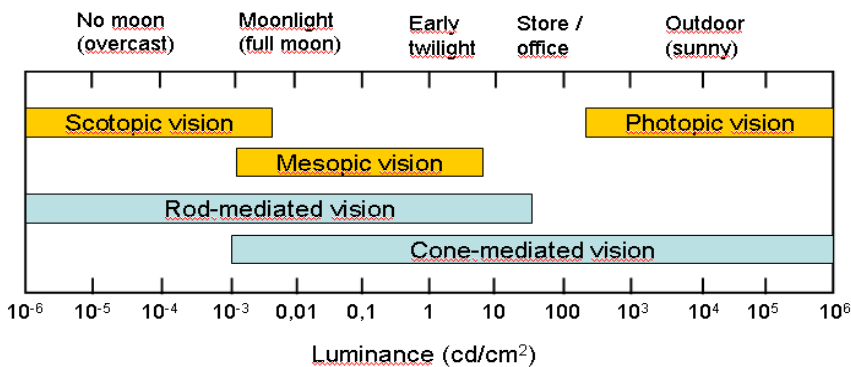
Photopische, Skotopische und Mesopische Sichtverhältnisse



- Photopisch: Das untere Limit: “mindestens einige cd/m^2 ” (nur Zapfen aktiv)
- Skotopisch: “weniger als ein paar hundert cd/m^2 ” (nur Stäbchen aktiv)
- Mesopisch: $0.001 \sim 10 \text{ cd/m}^2$ (Zapfen und Stäbchen aktiv)

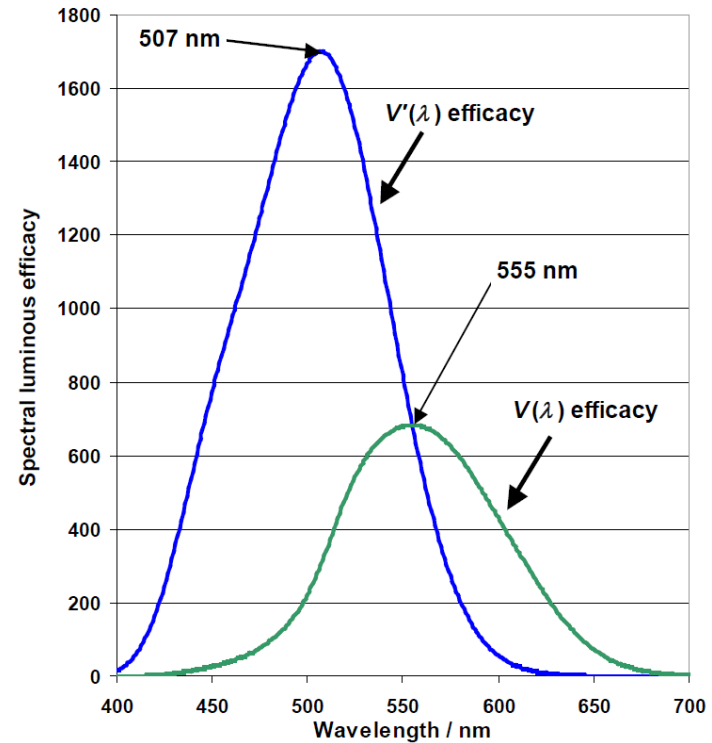
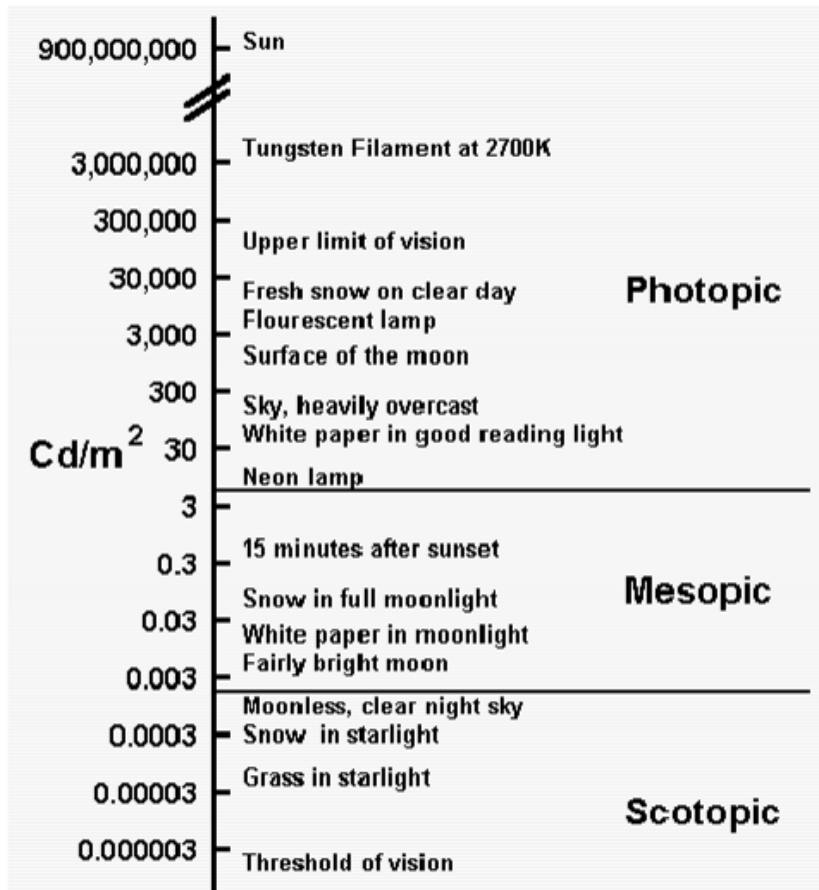


Die meisten Outdoor-Anwendungen befinden sich im mesopischen Leuchtdichtelevel:



- Straßenbeleuchtung, Tunnelbeleuchtung, Notfallbeleuchtung, Cockpitbeleuchtung im Flugzeug
- Signal- und Kontrollbeleuchtung im Flugverkehr, einige militärische und medizinische Anwendungen
- Hinweisende Nachtsicht Systeme und Displays

Photopische, Skotopische und Mesopische Sichtverhältnisse

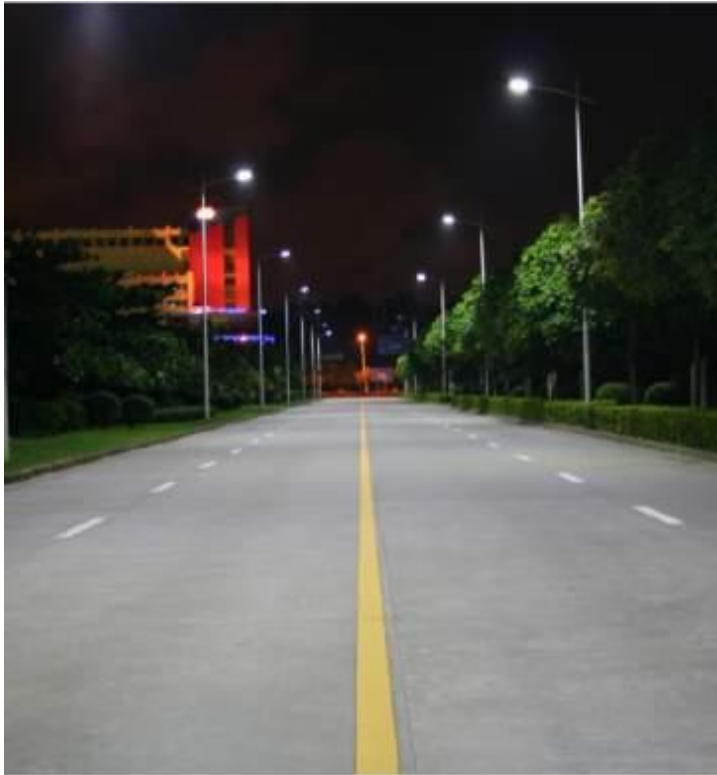


Skotopisch Mesopisch Photopisch

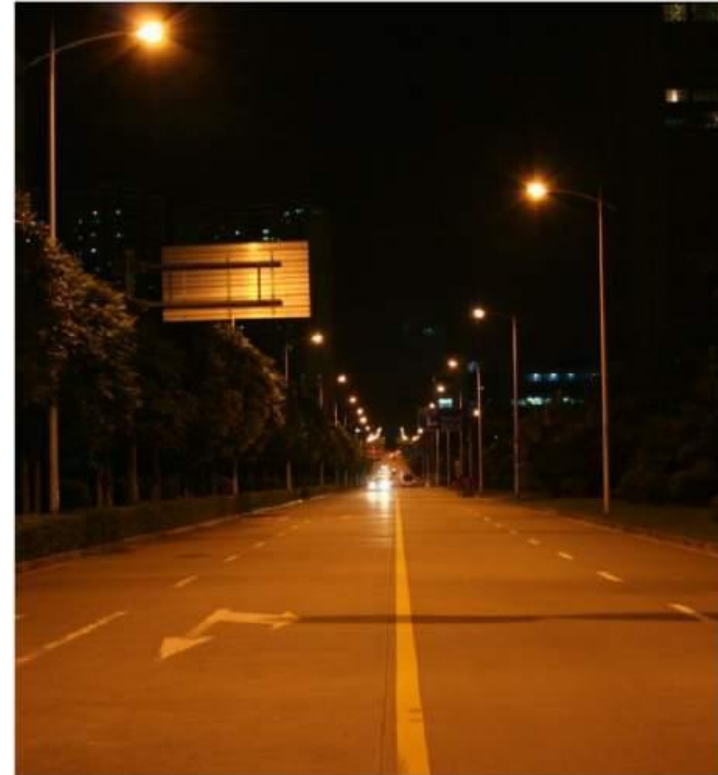


Wann wird eine Berücksichtigung der mesopischen und skotopischen Verhältnisse notwendig?

**Straßenbeleuchtung
mit LEDs**

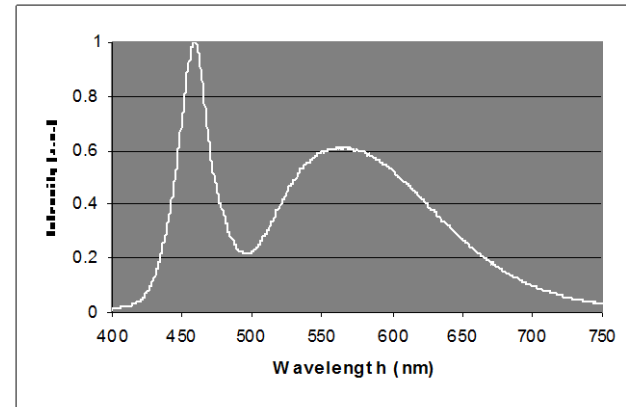
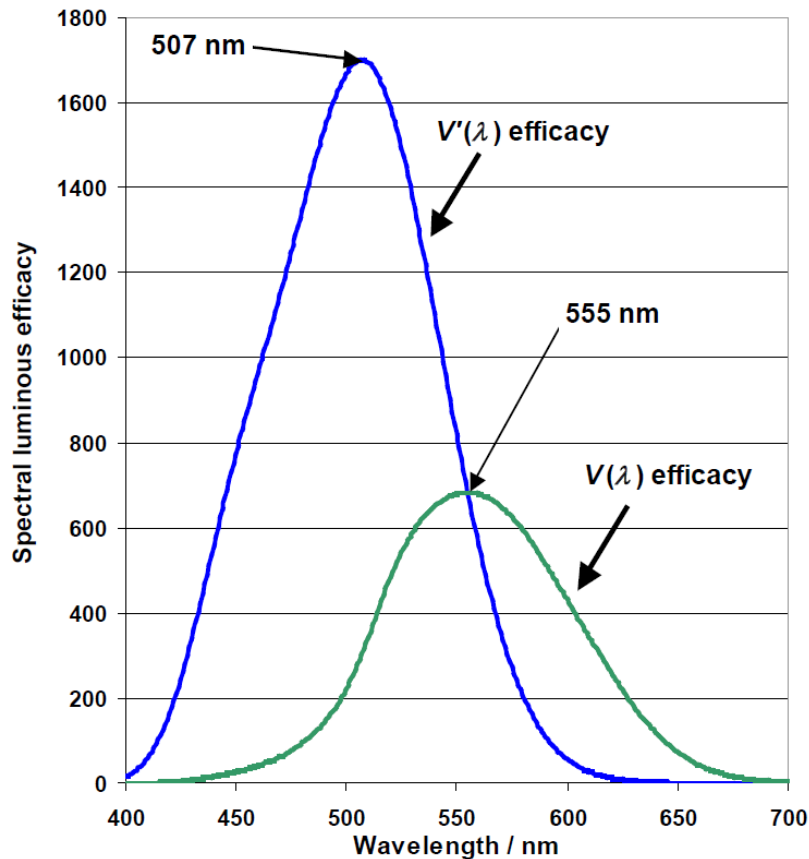


**Straßenbeleuchtung
mit HPS Lampen**



Das Verhältnis zwischen Skotopisch und Photopisch

- Die S/P Ratio -



$P_e(\lambda)$

$$\Phi_P = 683 \int_{380}^{780} P_e(\lambda) V(\lambda) d\lambda$$

$$\Phi_S = 1700 \int_{380}^{780} P_e(\lambda) V'(\lambda) d\lambda$$

$$\text{S/P ratio} = \frac{\Phi_S}{\Phi_P}$$

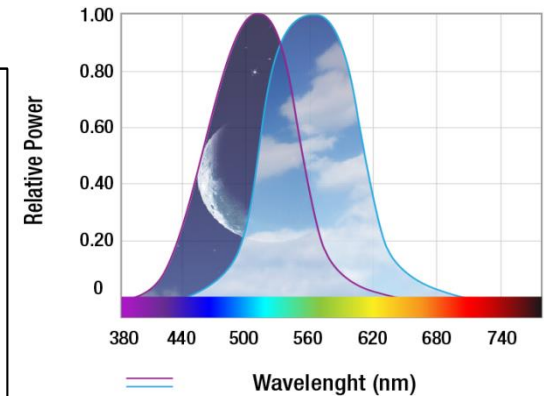
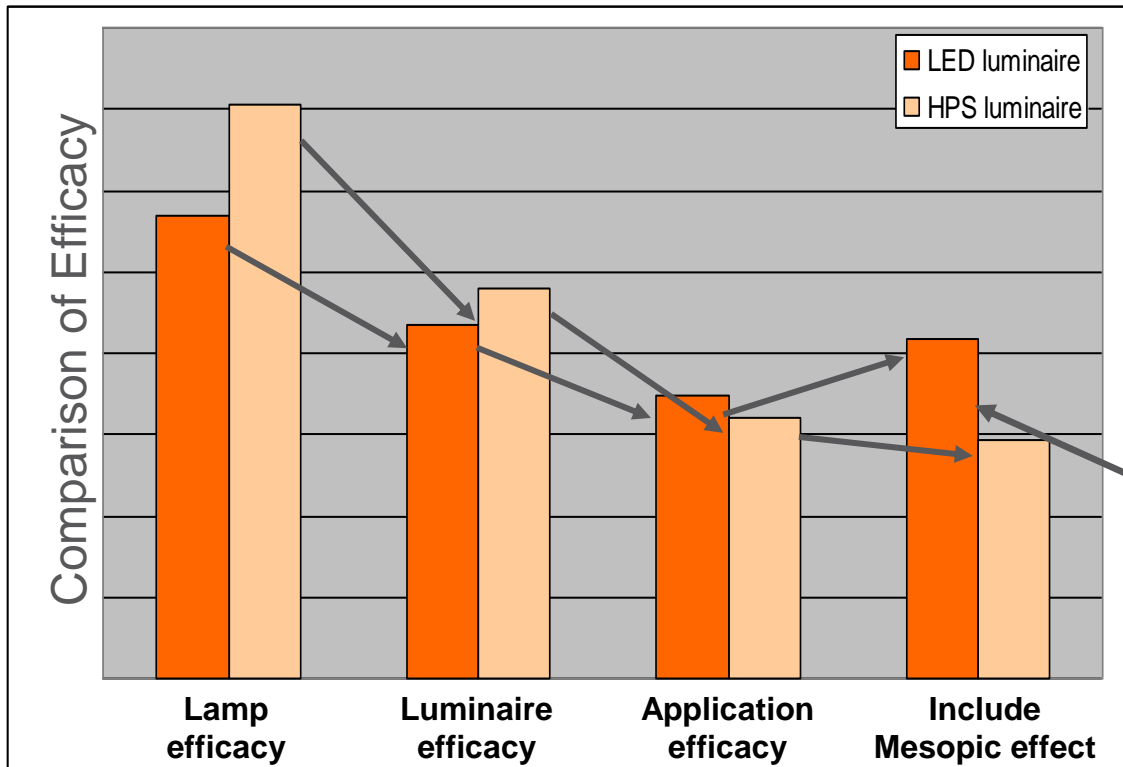
Typische S/P Ratios

Lampen Typ	Typische S/P Ratio
Natrium-Niederdrucklampe	0.25
Natrium-Hochdrucklampe	0.66
Halogenscheinwerfer	1.43
Fluoreszenzlampe	1.3 to 2.3
Metaldampf Lampe	1.26 to 2.1
Warmweiße LED	1.21
Kaltweiße LED	2.04

Detailliertere Tabellen z.B. in IES TM-12-12

Konsequenzen für die Straßenbeleuchtung

- Energieeinsparung -

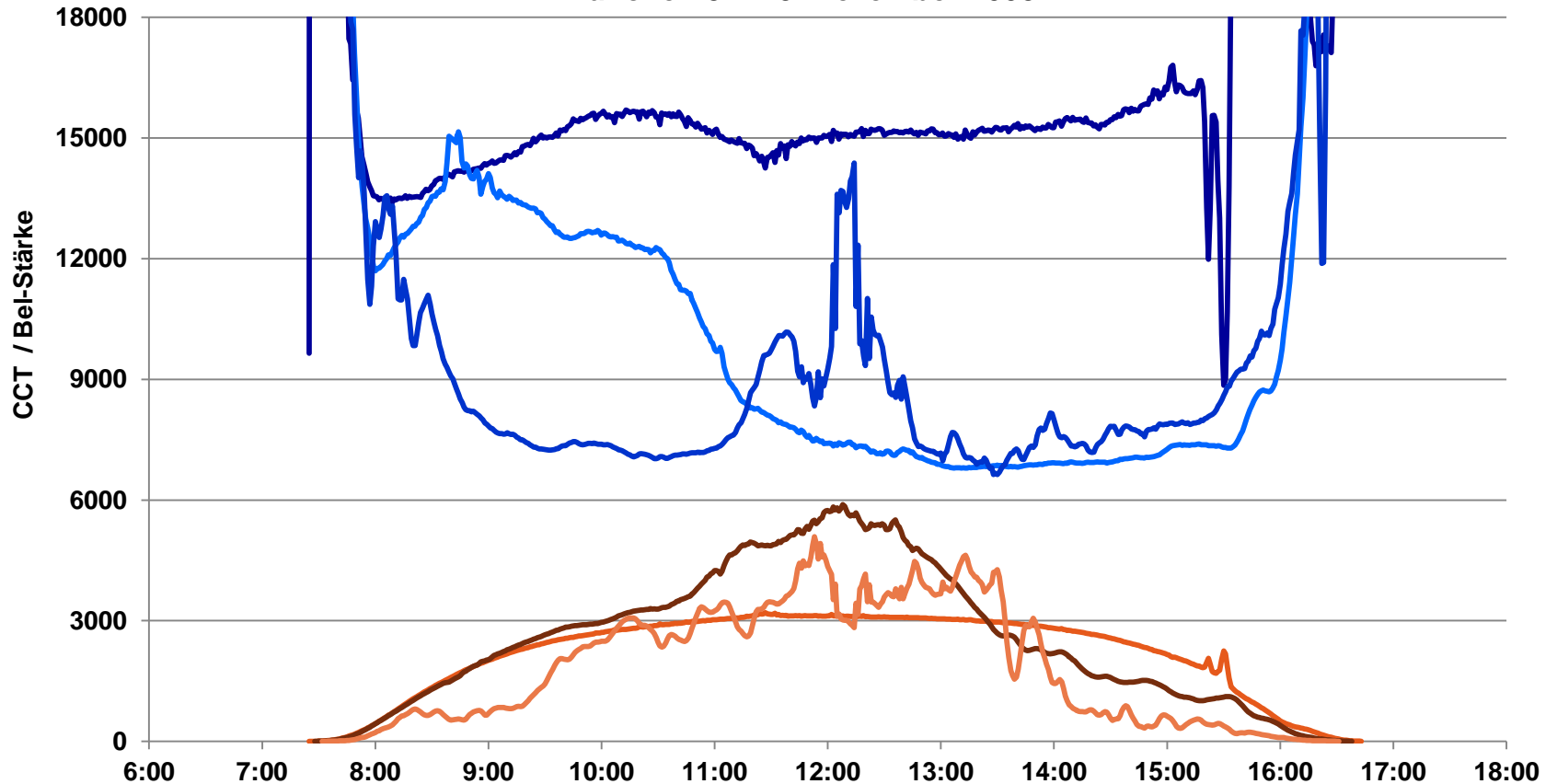


Vorteil der LED gegenüber HPS Lampen aufgrund des mesopischen Effekts

Weißes Licht

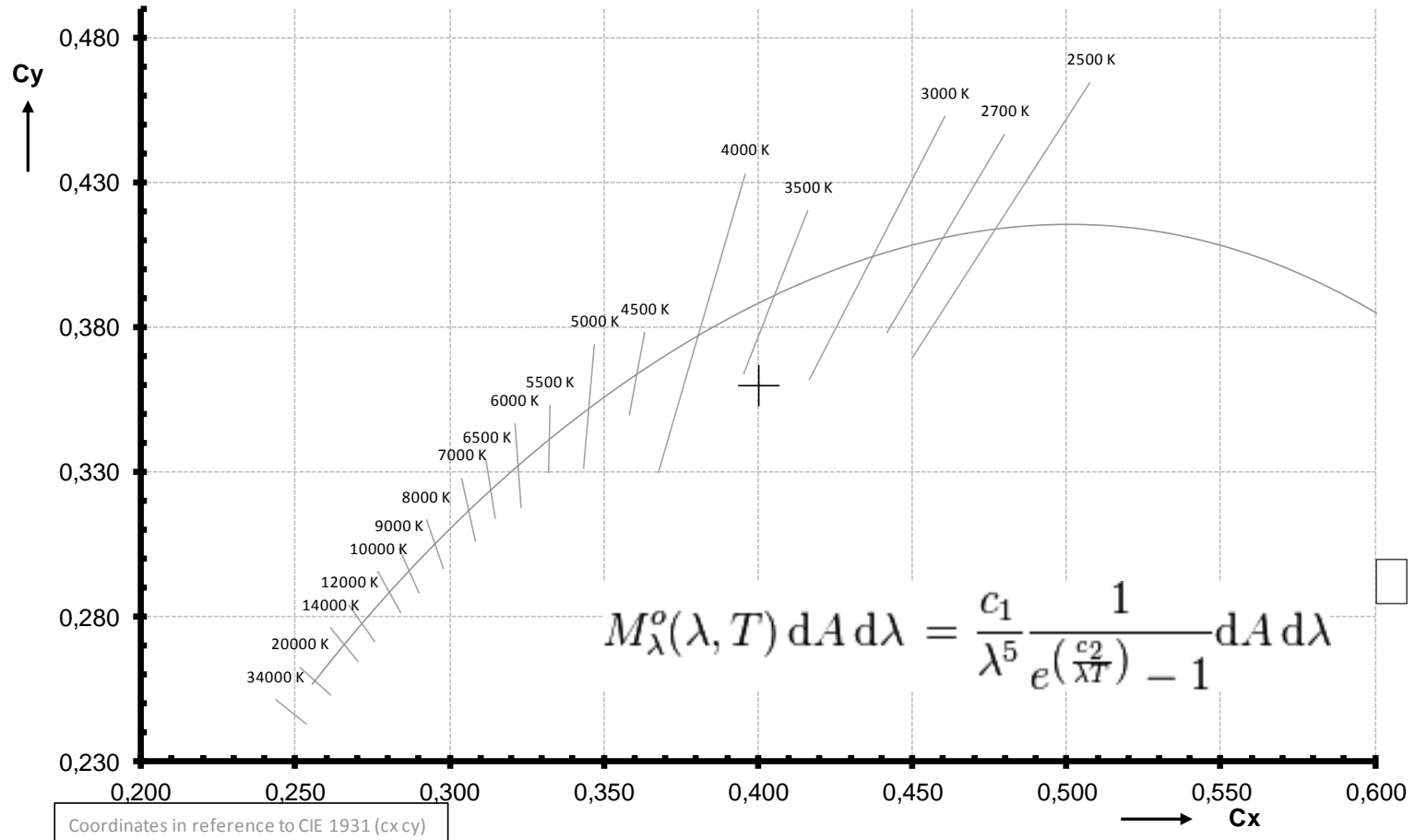
- Die Sonne als natürliche Lichtquelle -

Beleuchtungsstärke vertikal integral nach Norden:
München 3.-4.-5. Dezember 2008



Der Plancksche Kurvenzug

- Die physikalische Natürlichkeit? -



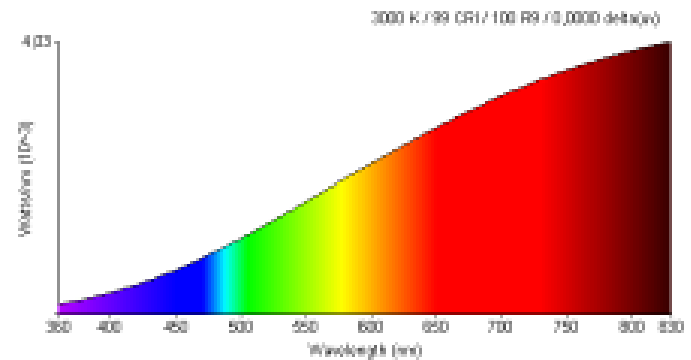
Das Referenzweiß

Planck'scher Strahler

- Definiert über physikalische Regeln und Konstanten

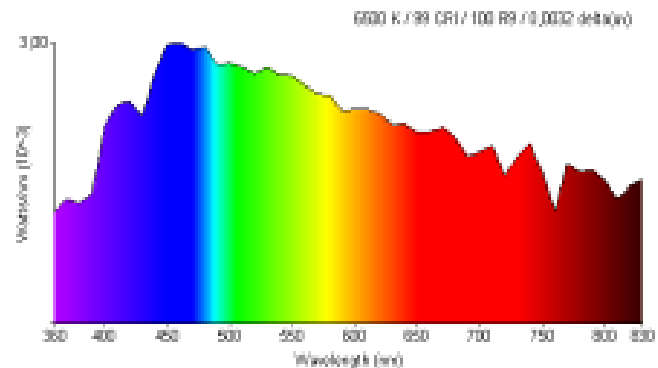
$$M_{e,\lambda}(\lambda, T) = \frac{c_1}{\lambda^5 \cdot \left[\exp\left(\frac{c_2}{\lambda \cdot T}\right) - 1 \right]}, \text{ units W/m}^3$$

$c_1 = 2\pi \cdot h \cdot c^2 = 3.74183 \times 10^{-16} \text{ W/m}^2$, $c_2 = h \cdot c/k = 1.4388 \times 10^{-2} \text{ m} \cdot \text{K}$,
 c is the speed of light in vacuum, h is Planck's constant, and k is the Boltzmann constant.

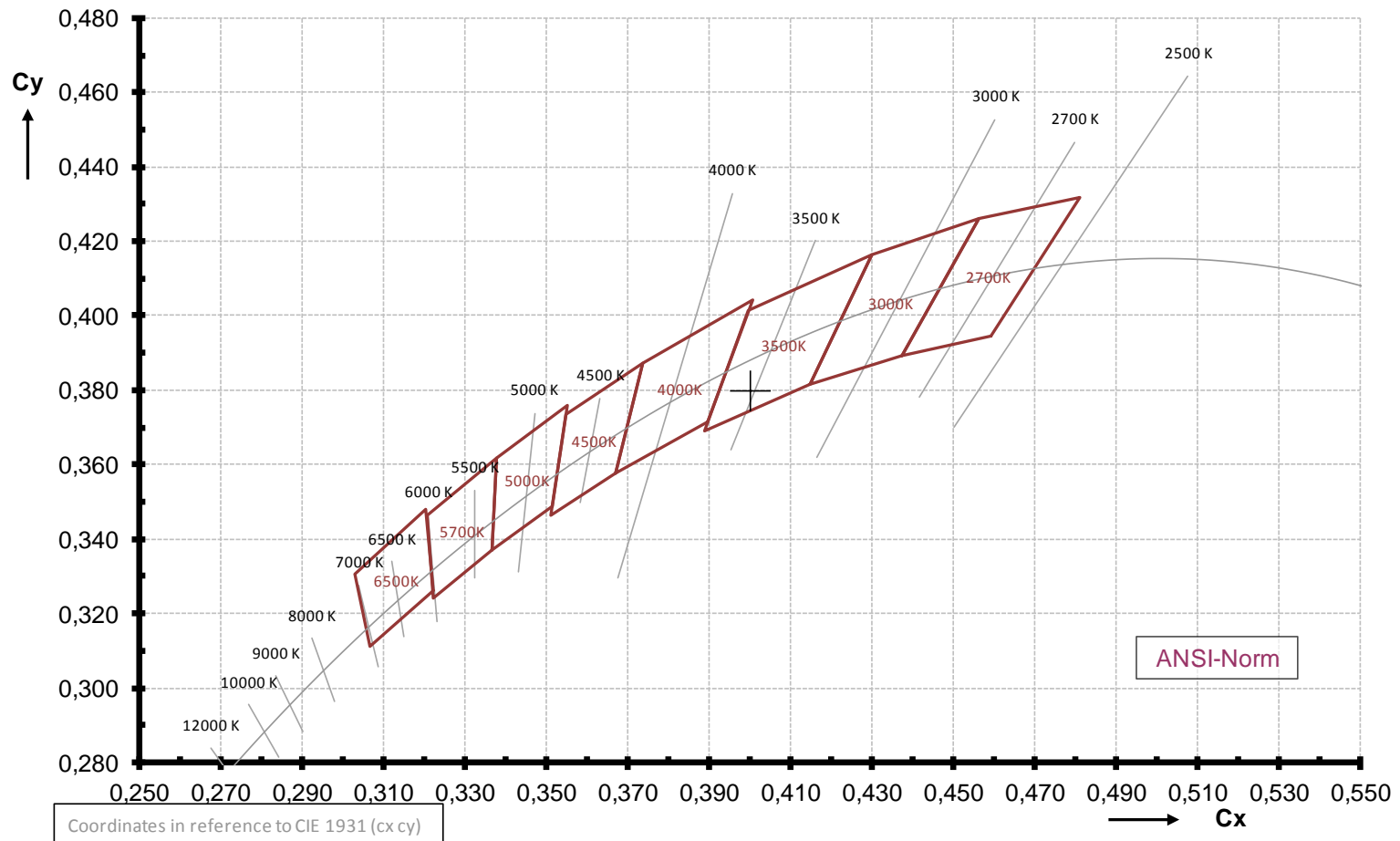


Tageslicht

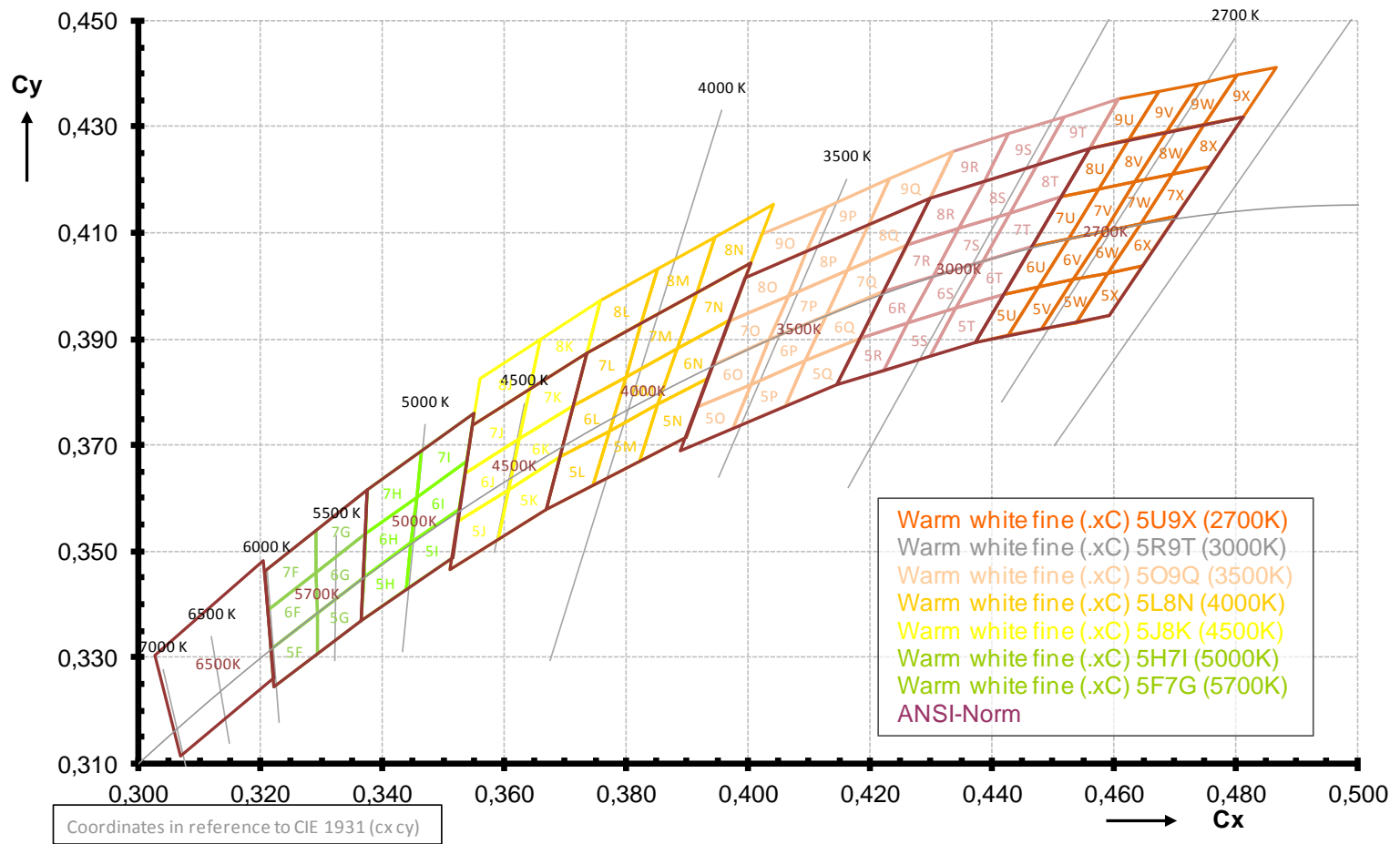
- Natürliche Beleuchtung
- Das Spektrum besteht aus dem Sonnenlicht und dem durch Wolken gestreuten Tageslicht
- Empfehlungen von Judd (1964) beschreiben die Tageslichtphasen
- Definiert für: $4000\text{K} < \text{CCT} < 25000\text{K}$



Die ANSI Farbboxen: Die Grundlage für viele LED Binning Systeme von LED Herstellern

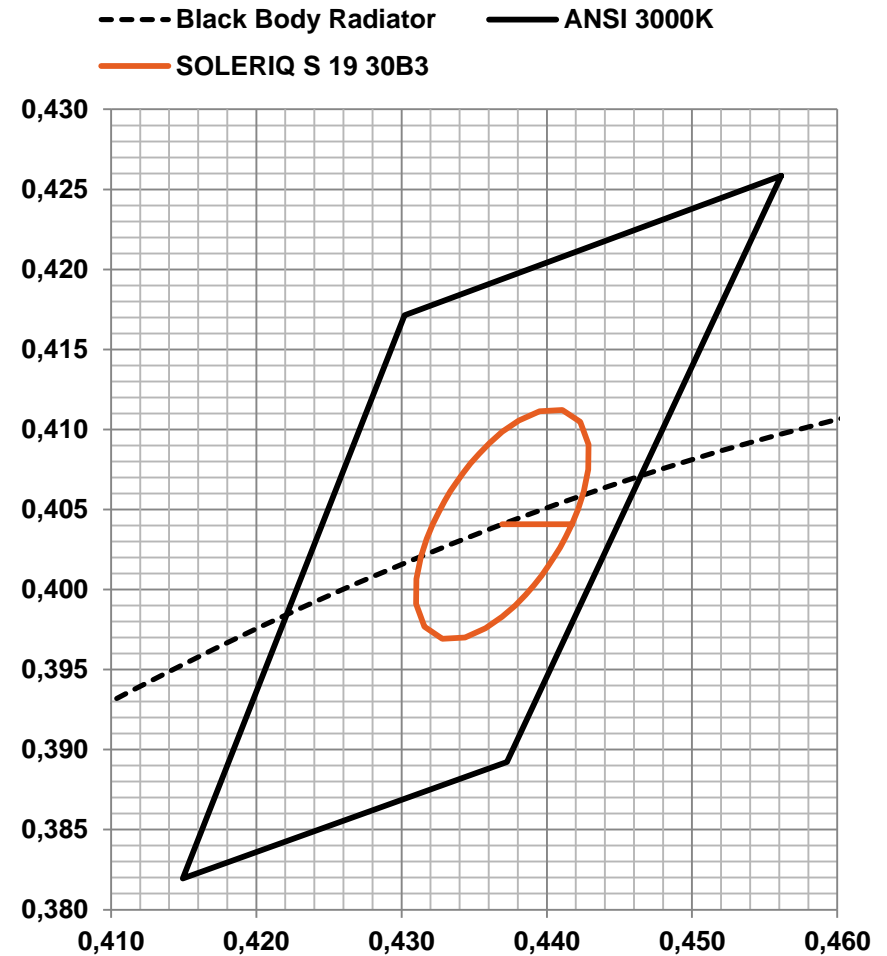
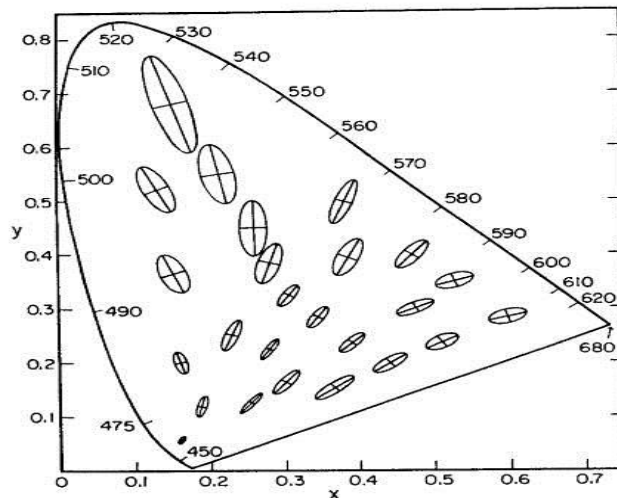


Finebinning

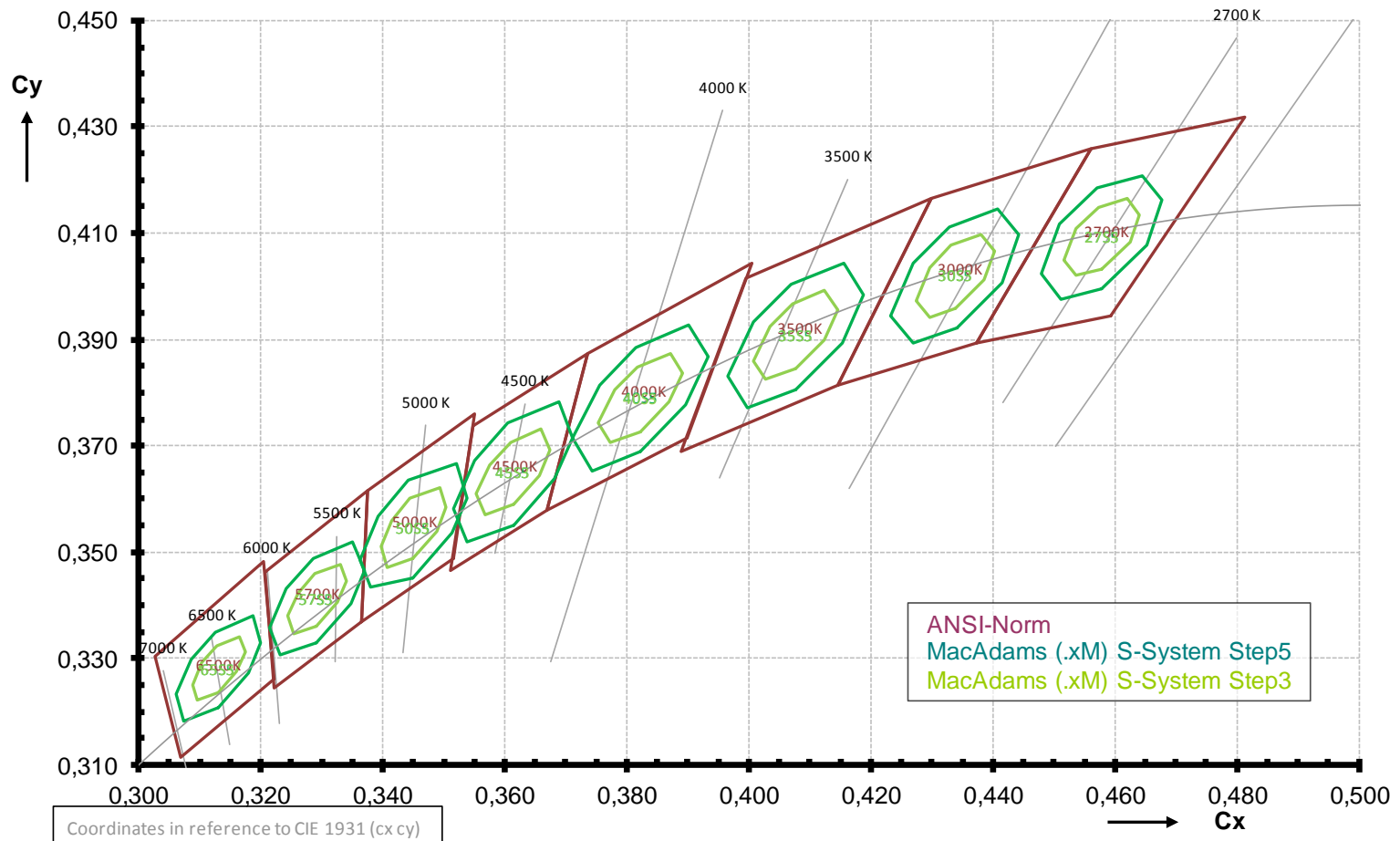


Die MacAdam Ellipsen oder: SDCM (Standard Deviation of Color Matching)

- Ermittlung im Rahmen eines Experiments
- Der Farbort zweier Flächen wurde vom Zentrum nach außen gehend verändert
- Markierung des Abstands des „just noticeable different“ Farbeunterschieds
- Keine Aussage über bevorzugte Weißfarborte



Die MacAdam Ellipsen halten Einzug in das Binning für LEDs in der Allgemeinbeleuchtung



CIE 15:2004

- Formeln zur Evaluierung der Weißheit und des Farbstichs -

Weißheit:

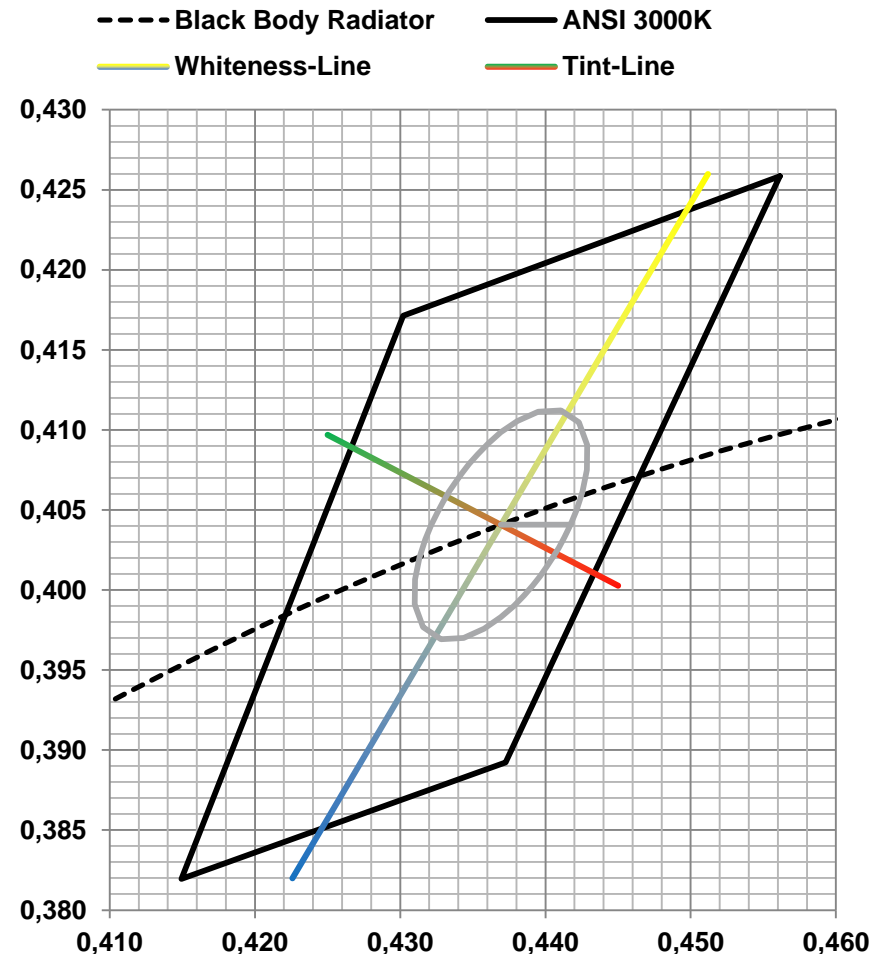
$$W = Y + 800(x_n - x) + 1700(y_n - y)$$

$$\text{Grenzen: } 40 < W < (5Y - 280)$$

Farbstich:

$$T_w = 1000 / (x_n - x) - 650(y_n - y)$$

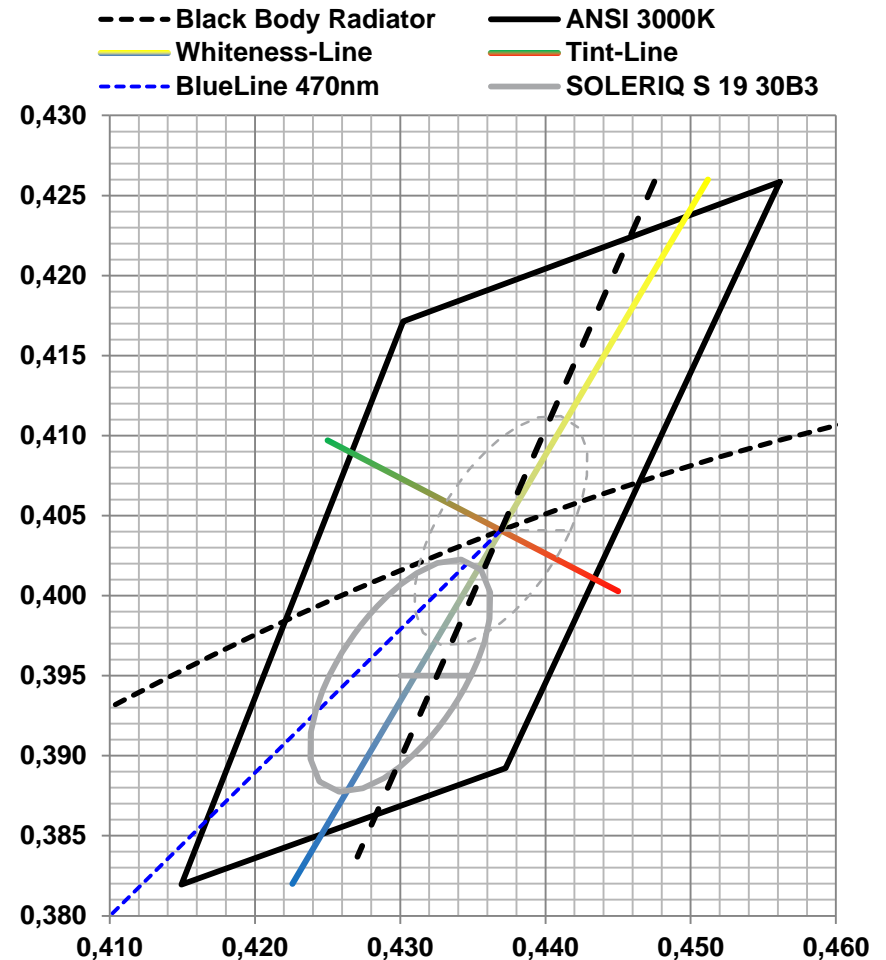
$$\text{Grenzen: } -4 < T < 2$$



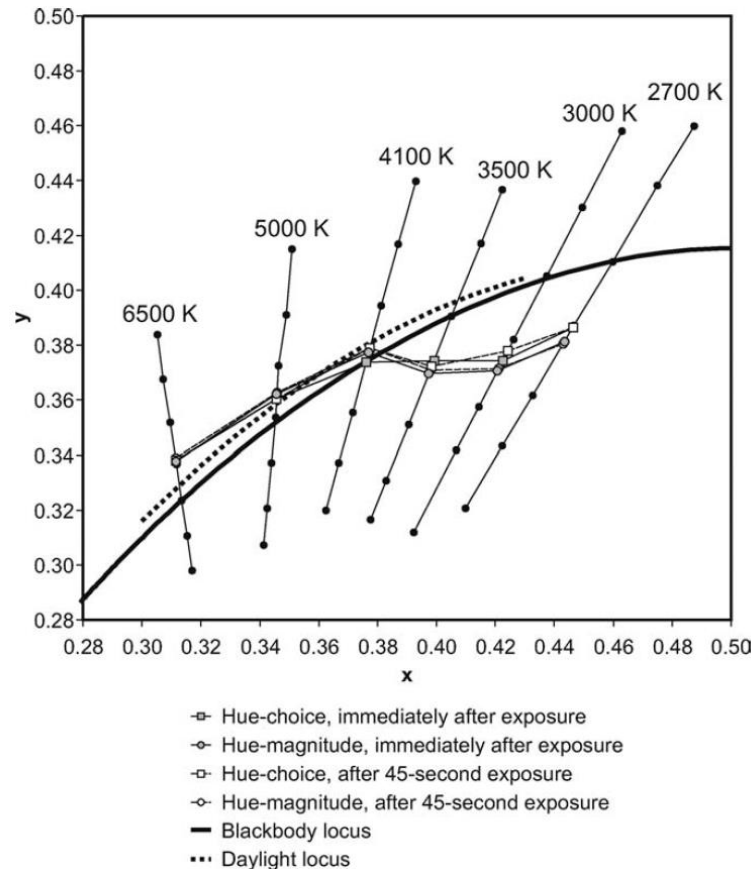
Diese Formeln finden Anwendung in internationalen Normen zur Beurteilung des Weißgrades von z.B. Papier

ISO 11475:2004: Paper and board – Determination of CIE whiteness, D65/10 degrees (outdoor daylight)

ISO 11476:2010: Paper and board – Determination of CIE whiteness, C/2 degrees (indoor illumination conditions)

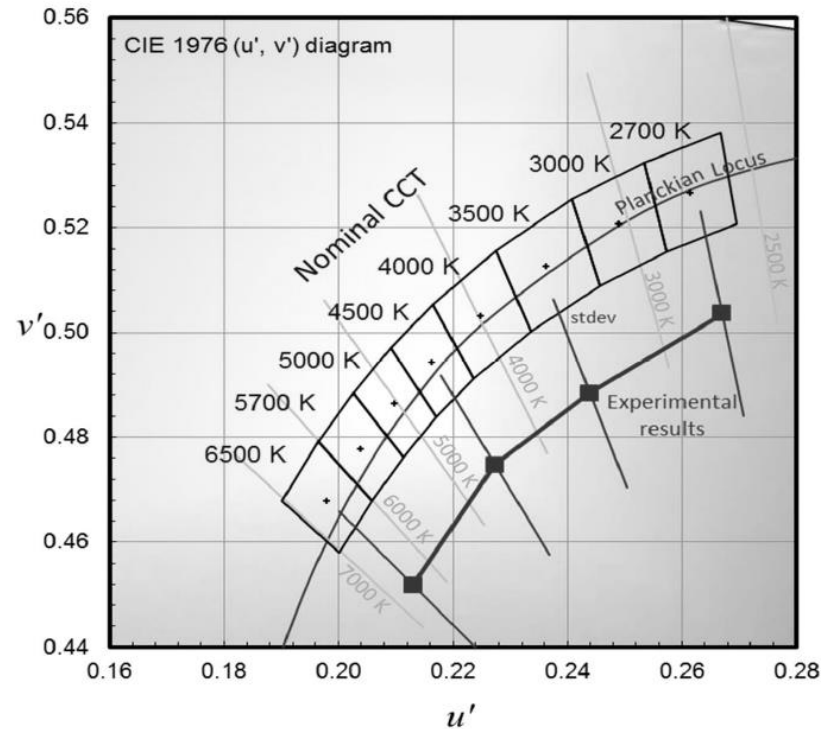


Studie 1: White Lighting – M. S. Rea,* J. P. Freyssinier Lighting Research Center, Rensselaer Polytechnic Institute



Quelle: White Lighting - M. S. Rea,* J. P. Freyssinier Lighting Research Center, Rensselaer Polytechnic Institute, Troy, NY

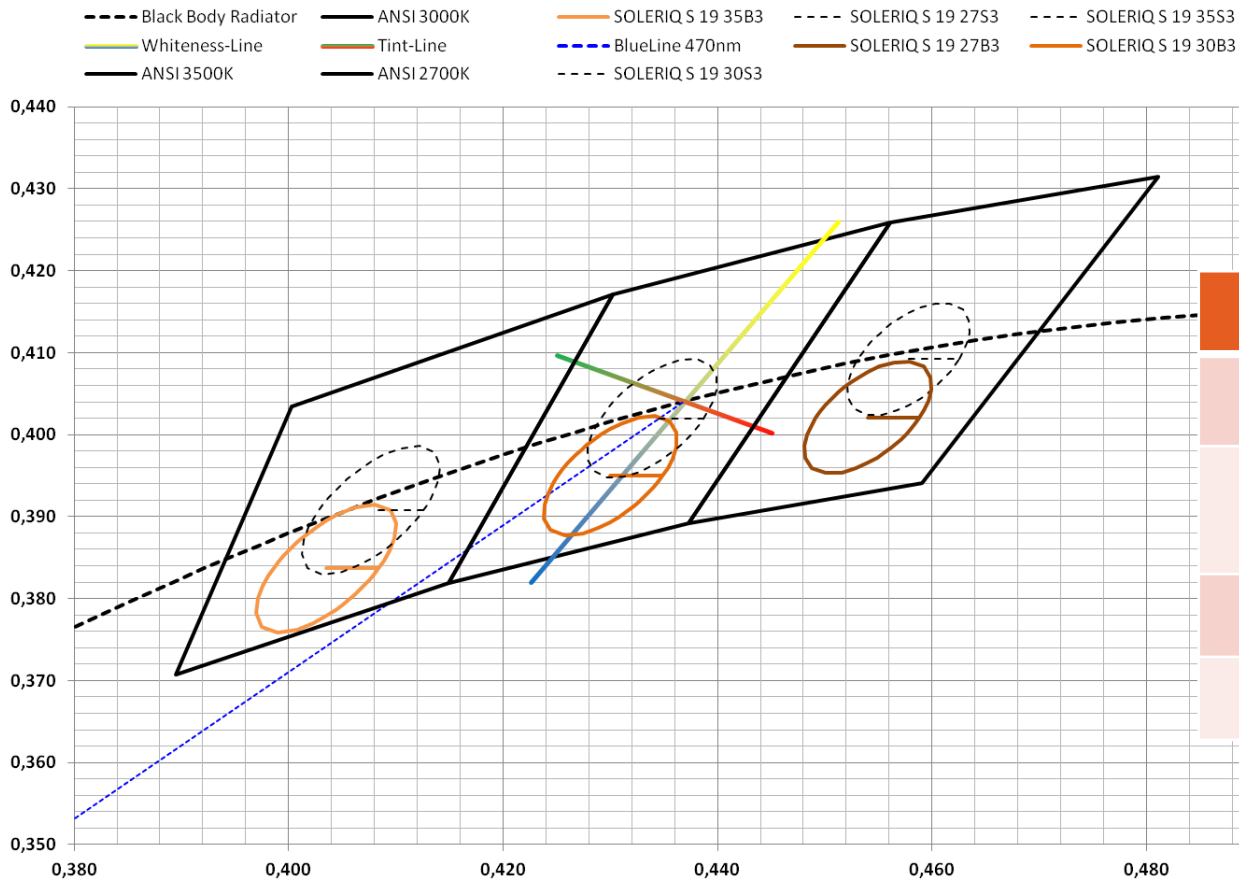
Studie 2: Vision Experiment on White Light – Chromaticity for Lighting – Duv levels perceived most natural – Y. Ohno et.al.



Quelle: Vision Experiment on White Light Chromaticity for Lighting – Duv levels Perceived Most Natural – Yoshi Ohno*1 and Mira Fein*2 1 National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, Maryland, USA Ph. D., NIST Fellow, IESNA Fellow, CIE VP-Technical 2 Oberlin College, Oberlin, Ohio, USA

SOLERIQ S 19

- Below Black Body -



Type	Unit
Type	GW KAHLB2.CM
CCT	2700K = 27B3 3000K = 30B3 3500K = 35B3
CRI	>90
Φ_v	2700lm @ 3000K

Zusammenfassung

- Im Auge sind verschiedene Photorezeptoren enthalten
- Zapfen sind verantwortlich für das Farbsehen
- Stäbchen sind verantwortlich für das Helligkeitssehen
- Es gibt einen Unterschied der Helligkeitswahrnehmung bei verschiedenen Leuchtdichten: photopisch, skotopisch und mesopisch
- Typische Referenzlichtquellen sind der Planck'sche Strahler und das Tageslicht
- Verschiedene Weißtöne werden über die Farbtemperatur definiert
- Über Binningsysteme nach ANSI oder MacAdam werden LEDs in verschiedene Weißtöne unterteilt
- Aktuelle Studien ergeben das schönste Weiß bei einem Farbort unterhalb des Planck'schen Kurvenzugs



Vielen Dank!