

Leuchtstoffe für LEDs

Peter Schmidt, Lumileds Development
Center Aachen



United Nations
Educational, Scientific and
Cultural Organization



International
Year of Light
2015



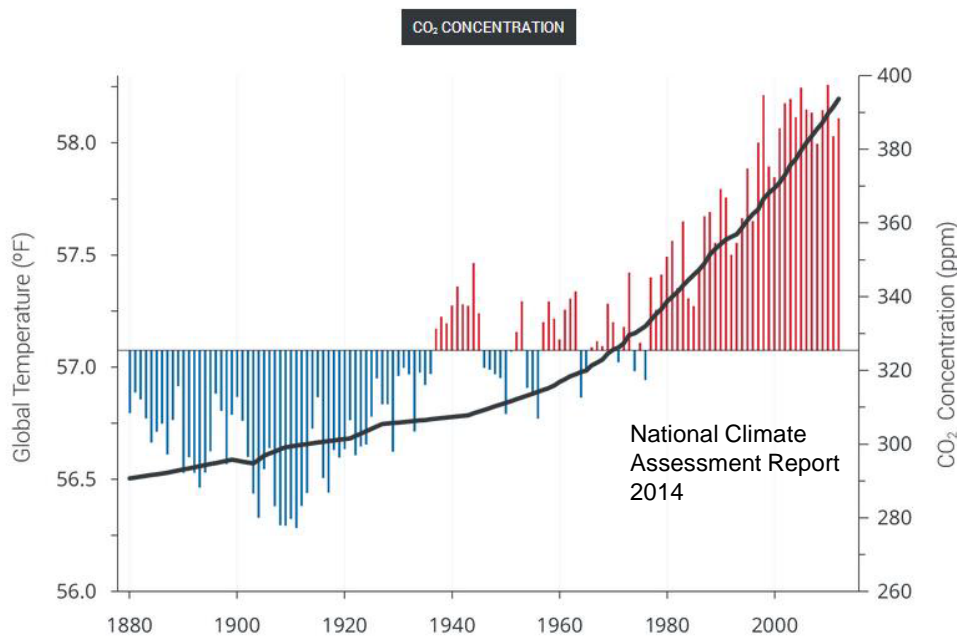
Lumileds Development Center Aachen (LDCA)

- F&E-Zentrum von LUMILEDS
 - seit 1. April eigenständiger Hersteller von LEDs und Automobil-Beleuchtungslösungen
 - Marken: **LUXEON**, **PHILIPS**, **NARVA** GERMANY
- LDCA: fokussiert auf die Entdeckung und Anwendung von neuen LED-Leuchtstoffen
 - ca. 60 Mitarbeiter in 2015
 - strategische Kooperation mit dem Arbeitskreis Prof. Wolfgang Schnick der Universität München (LMU) seit 2002



Die Herausforderung

- Stromverbrauch seit 1990 um 30 % gestiegen
- weiterer Anstieg um 70 % bis 2030 erwartet
- 2000-2012: +66% mehr Kohleverstromung, Tendenz steigend
- weltweit werden ca. 20 % der elektrischen Energie für Beleuchtung verbraucht



NASA/ Suomi/ NPP Viirs

Effizientere Lichtquellen!

- Glühlampen wandeln die zugeführte Energie nur zu 5 – 10 % in Licht und zu 90 – 95 % in Wärme um
- In der EU werden Produktion, Import und Vertrieb von Glühlampen seit 2009 gesetzlich eingeschränkt



Glühlampe

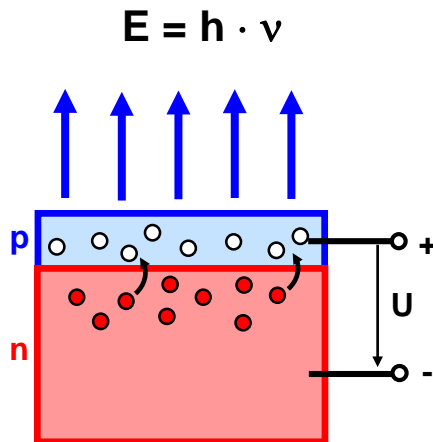


Kompaktleuchtstofflampe



LED-Lampe

Leuchtdioden (LEDs) – die Lichtquellen der Zukunft



- Halbleiter-Bauelemente (Dioden)
- Farbton einstellbar, je nach Halbleiter
- aber jede LED erzeugt nur einen Farbton
- Energie-Effizienz bis zu 80 %
- Blaue Hochleistungs-LEDs erst seit Mitte der 1990er Jahre kommerziell verfügbar
- Nobel-Preis für Physik 2014 für die Erfindung und Entwicklung blauer LEDs



Photo: A. Mahmoud
Isamu Akasaki

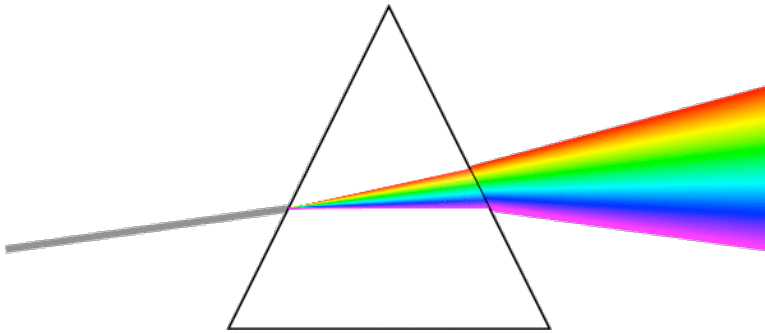


Photo: A. Mahmoud
Hiroshi Amano

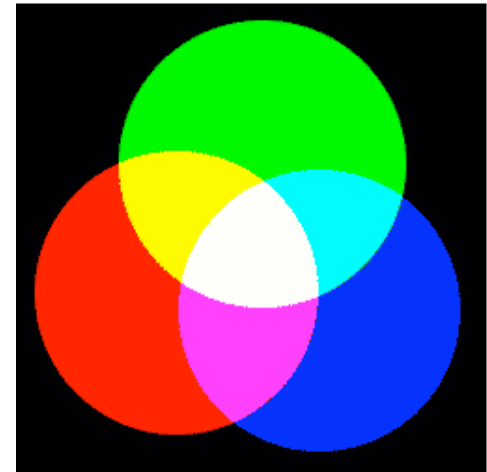


Photo: A. Mahmoud
Shuji Nakamura

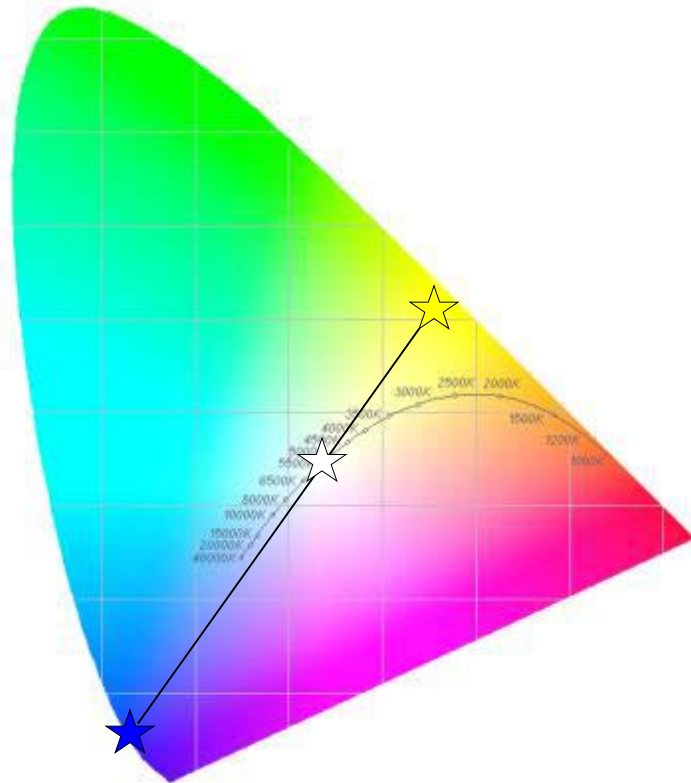
Weißlicht – Spektralfarben – additive Farbmischung



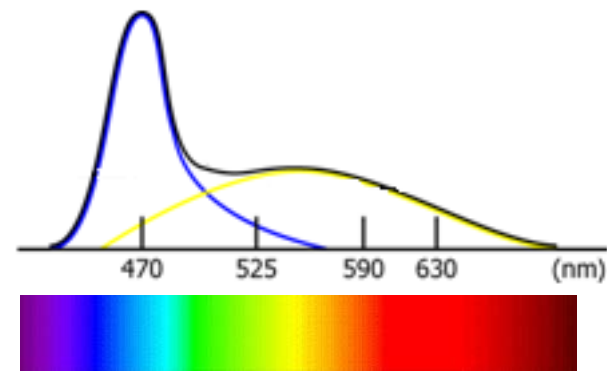
- ein Prisma zerlegt weißes Licht in die Spektralfarben
 - additive Farbmischung



Weißes Licht: Blaue LEDs + Leuchtstoffe



- Erste weisse LEDs: blau + gelber Granat-Leuchtstoff (YAG:Ce)
- Weisslicht durch additive Farbmischung
- Beschränkt auf hohe Farbtemperaturen (Kaltweiss)



Schwarzkörperstrahlung / Farbtemperatur

kalt weiss

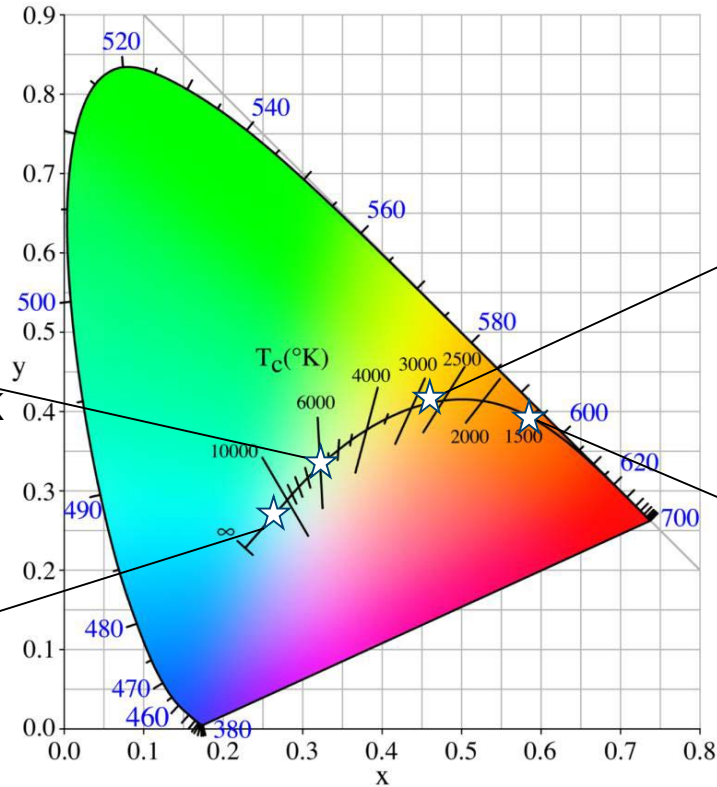


Mittagssonne @ 6000K

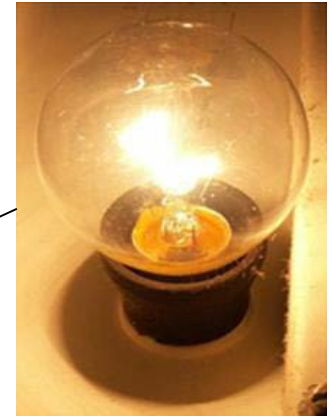


Klasse B Stern @ 11000K

1931 CIE Farbdiagramm



warm weiss

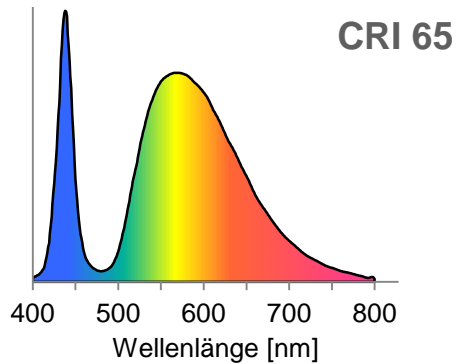


Wolfram @ 2700K

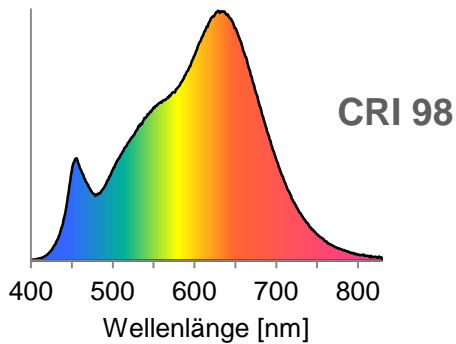


Eisen @ 1500K

Qualität der Farbwiedergabe (CRI)



niedrig CRI 60 - 70



gut CRI 70 - 80

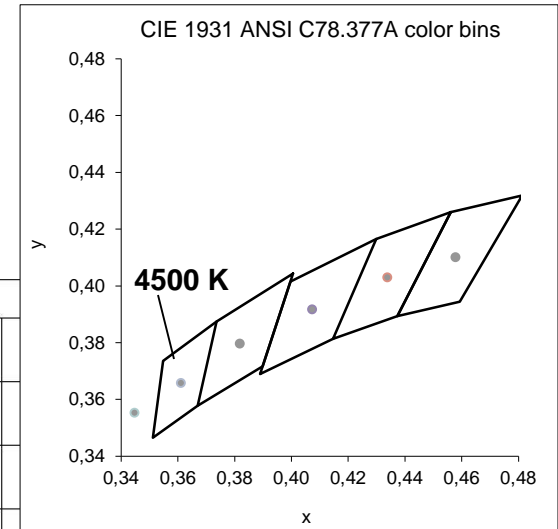
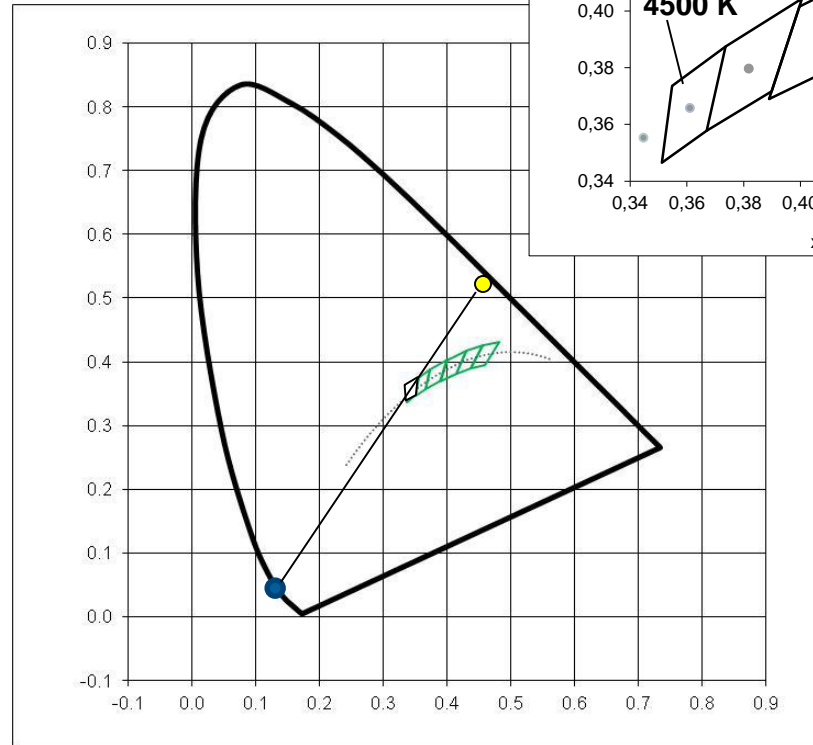
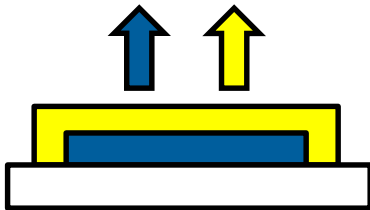
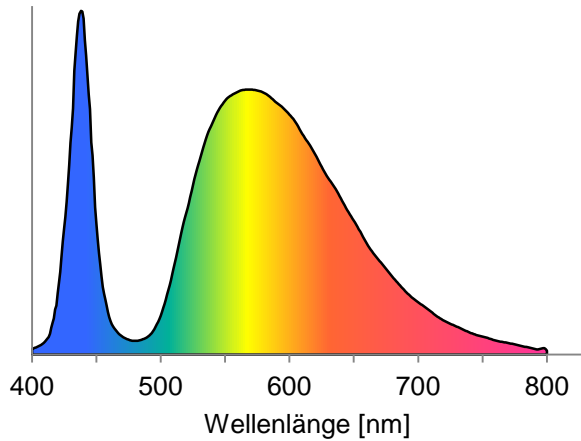
CRI 80 - 90

hervorragend

CRI 90 - 100

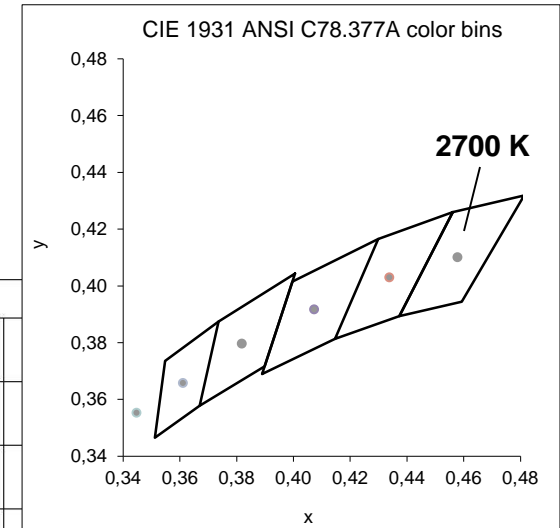
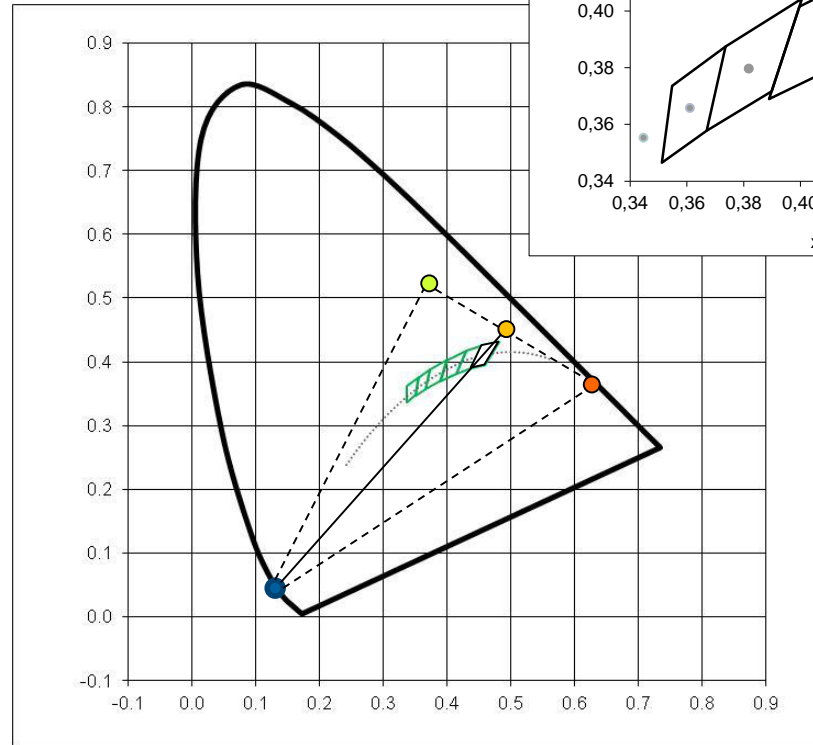
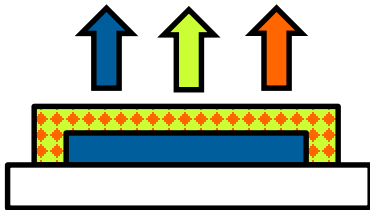
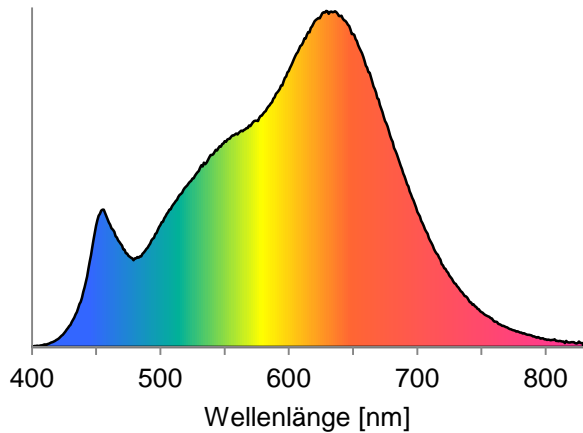


Von hoher Farbtemperatur...



zu "Illumination grade"-LEDs

Multi-Leuchtstoffmix, höhere Lichtqualität



Oranger Nitridosilicat-Leuchtstoff (2-5-8)



- $(\text{Ba,Sr})_2\text{Si}_5\text{N}_8:\text{Eu}^{2+}$
- extrem hohe Quantenausbeute QE bis 100 %
- hervorragende Stabilität (thermisch, chemisch)
- ökologisch unbedenklich
- ermöglichte erstmals die Herstellung vollwertiger LED-Lampen



DEUTSCHER ZUKUNFTSPREIS
Preis des Bundespräsidenten
für Technik und Innovation

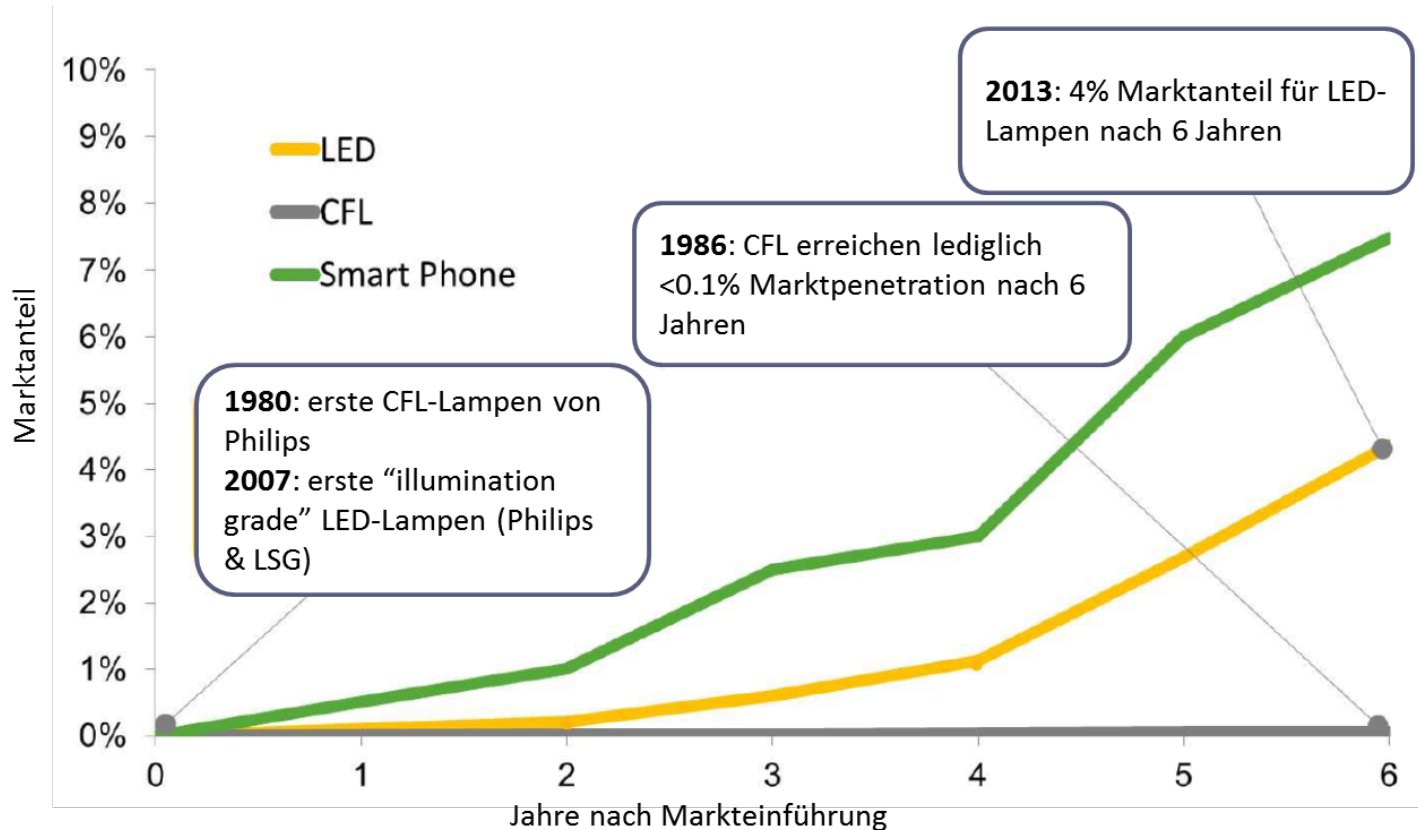
nominiert 2013

12 W Retrofit-LED ersetzt eine 60 W Glühbirne



- herkömmliche E27-Fassung
- warm-weiß (2700 K)
- exzellente Farbwiedergabe
- dimmbar
- enthält 2-5-8-Leuchtstoff
- 80 % Energieersparnis
- Lebensdauer 25.000 h
- Erster 60W Glühlampenersatz gem. der Europäischen Öko-Design-Richtlinie

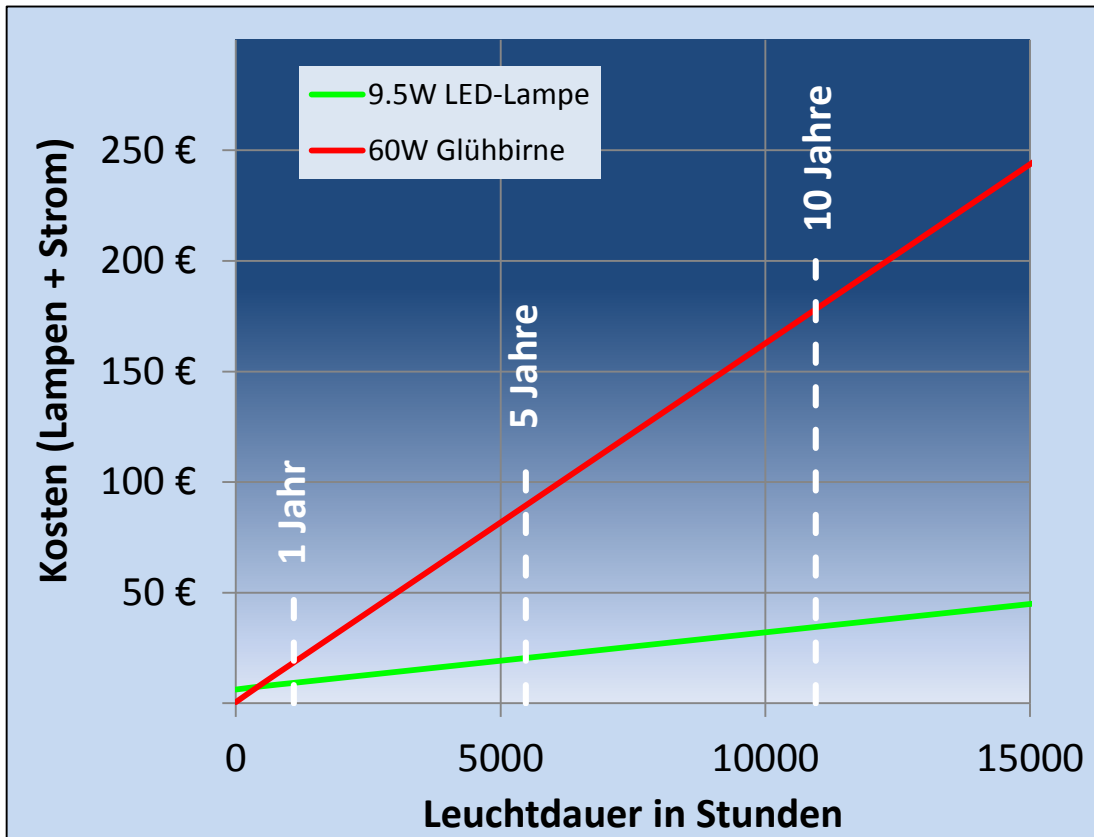
Marktanteil-Entwicklung von LED-Lampen



T. Cenicola, NY Times

Quelle: Navigant Consulting

Energiesparpotential von LED-Lampen (10 Jahre)



Glühbirne 60 W – Lebensdauer 1 Jahr



Anschaffung (10 Stück):	5,- €
Stromkosten:	173,- €
Kosten (Lampe + Strom):	178,- €

LED 9.5 W – Lebensdauer 15 Jahre

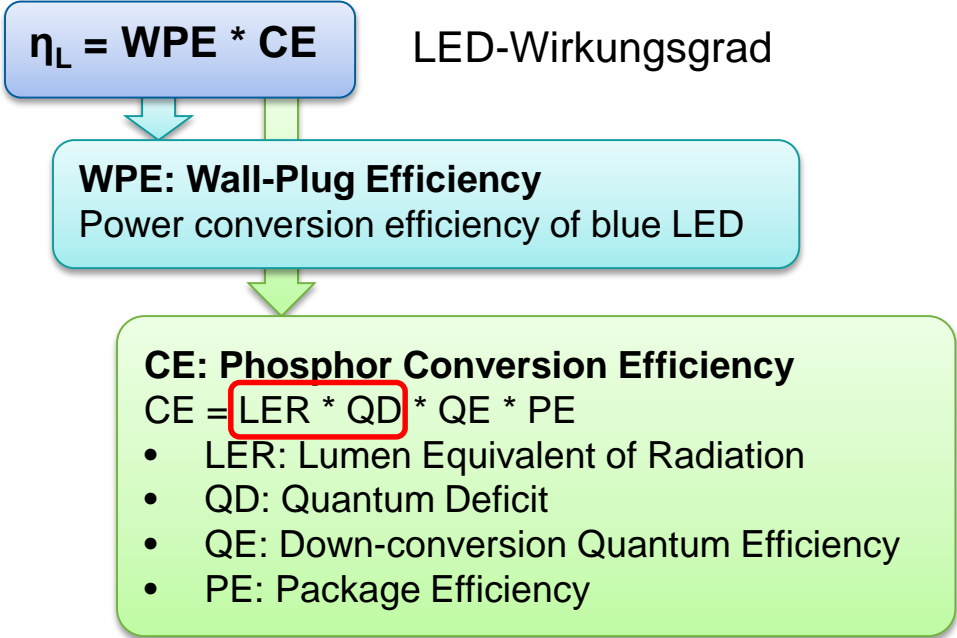
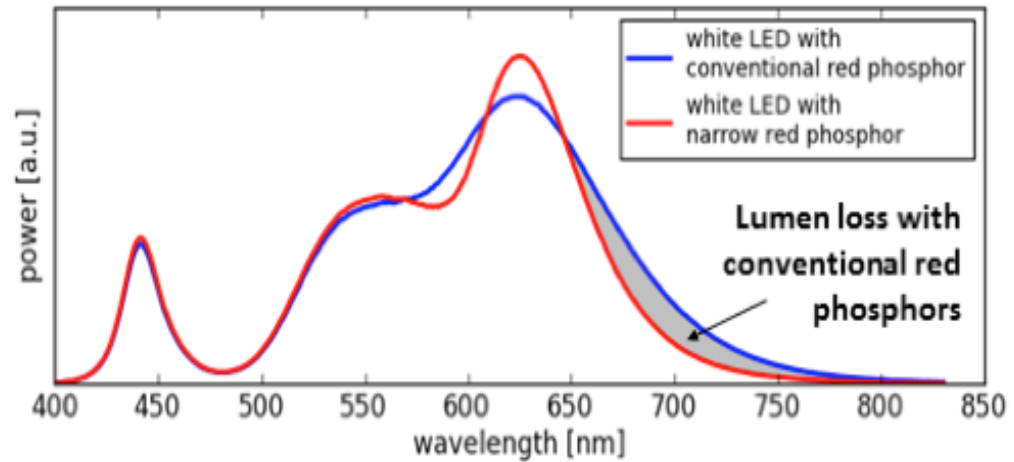


Anschaffung:	7,- €
Stromkosten:	28,- €
Kosten (Lampe + Strom):	35,- €

Durchschn. Leuchtdauer pro Tag: 3 h
Strompreis: 0.27 €/KWh

Schmalbandige Rot-Leuchtstoffe

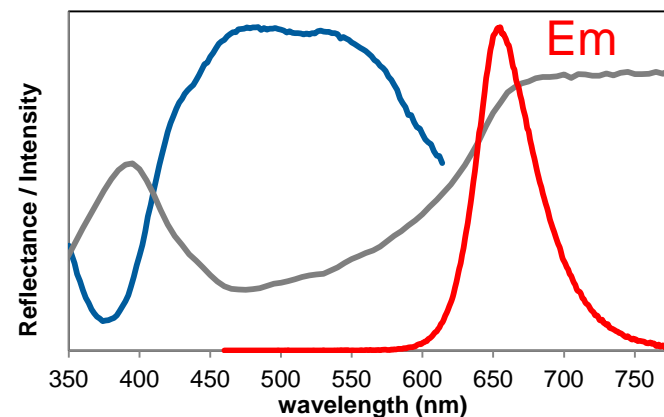
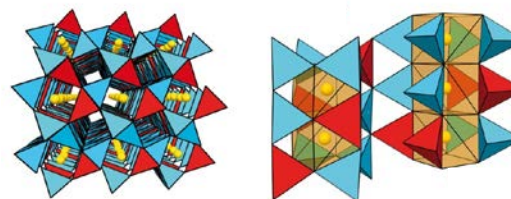
- “Konventionelle” rote Leuchtstoffe zeigen breite Emissionsbanden
- Erhebliche Lichtverluste im infraroten Spektralbereich, kaum Beitrag zur Lichtqualität
- 30% LED-Effizienzgewinn möglich durch Verringerung der Rot-Spektrums-Halbwertsbreite!



Narrow-band red-emitting Sr[LiAl₃N₄]:Eu²⁺ as a next-generation LED-phosphor material

Philipp Pust¹, Volker Weiler², Cora Hecht², Andreas Tücks², Angela S. Wochnik¹, Ann-Kathrin Henß¹, Detlef Wiechert², Christina Scheu¹, Peter J. Schmidt² and Wolfgang Schnick^{1*}

- Bandbreite halbiert (!) im Vergleich zu kommerziellen Leuchtstoffen
- höchste thermische Stabilität
- in Entwicklung für die nächste Generation von LED-Lampen mit höchster Farbqualität und Effizienz



Better phosphors
for brighter LEDs



News analysis, June 2014

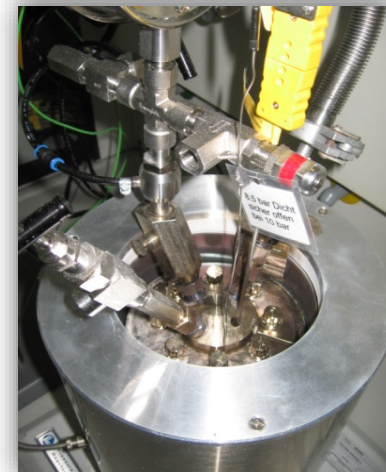
Nitrid-Leuchtstoff-Synthesen

- Ungewöhnlich hohe Bindungsenergie von N₂ (941 kJ/mol) führt zu relativ niedrigen Zersetzungstemperaturen:
 - Si₃N₄ → 3 Si + 2 N₂ (1 atm, ~1900°C)
 - AlN → Al + ½ N₂ (1 atm, ~1800°C)
 - 7 Ba₂Si₅N₈:Eu → 5 BaSi₇N₁₀:Eu + 9 Ba + 3 N₂ (~1650°C)
- Hohe Kovalenz von Nitriden verzögert Kristallwachstum bei Synthese, sehr hohe Temperaturen sind meist notwendig
- Die meisten Elemente zeigen eine höhere Affinität zu O als zu N
 - Bildungsenthalpien:

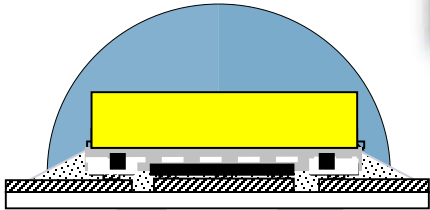
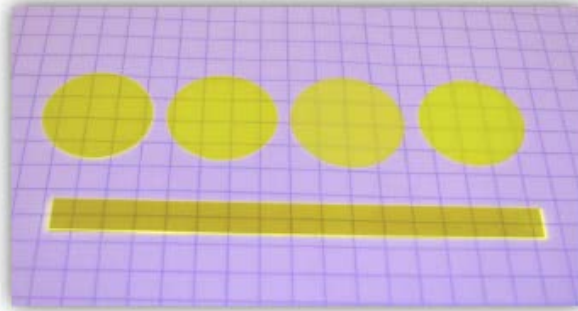
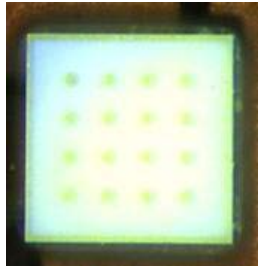
$\Delta H_f^0(\text{SiO}_2) = - \mathbf{911} \text{ kJ/mol}$	$\frac{1}{2} \Delta H_f^0(\text{Al}_2\text{O}_3) = - \mathbf{838} \text{ kJ/mol}$	
$\frac{1}{3} \Delta H_f^0(\text{Si}_3\text{N}_4) = - \mathbf{248} \text{ kJ/mol}$	$\Delta H_f^0(\text{AlN}) = - \mathbf{318} \text{ kJ/mol}$	

Synthese von neuartigen Nitridleuchtstoffen

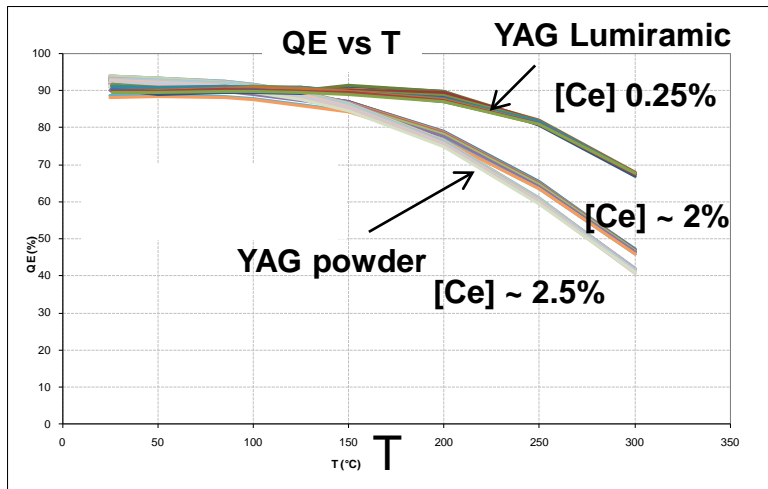
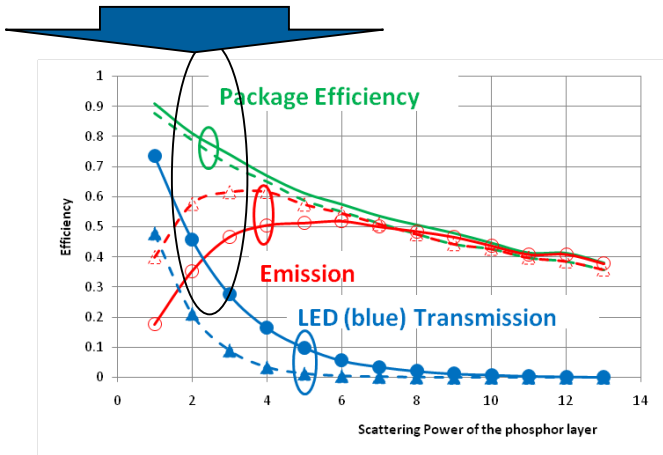
- “Mix & Fire”; reaktive Precursor
 - $2 \text{ Sr} + 5 \text{ Si}(\text{NH})_2 + x \text{ Eu} \rightarrow \text{Sr}_2\text{Si}_5\text{N}_8:\text{Eu}$
(Schlieper et al., Z. anorg. Allg. Chem. 621 (1995) 1380)
 - $2 \text{ BaN}_{2/3} + 0.01 \text{ Eu}_2\text{O}_3 + 5 \text{ SiN}_{4/3} + 3/2 \text{ N}_2 \rightarrow \text{Ba}_2\text{Si}_5\text{N}_8:\text{Eu}$
 - $\text{CaN}_{3/2} + \text{AlN} + \text{SiN}_{4/3} + 0.005 \text{ Eu}_2\text{O}_3 \rightarrow \text{CaAlSiN}_3:\text{Eu}$
(Uheda et al., Electrochem. Solid State Lett. 9 (2006) H22)
 - $\text{Sr}_2\text{SiO}_4:\text{Eu} + 3 \text{ SiN}_{4/3} \rightarrow 2 \text{ SrSi}_2\text{O}_2\text{N}_2:\text{Eu}$
- Kohle-Reduktion & Nitridierung
 - $2 \text{ SrO}:\text{Eu} + 5 \text{ SiN}_{4/3} + 2.1 \text{ C} + \text{N}_2 + x \text{ SrF}_2 \rightarrow \text{Sr}_2\text{Si}_5\text{N}_8:\text{Eu} + 2 \text{ CO}$
(P. Schmidt et al. Eur. Patent 1753840B1)
- Selbst-zündende Hochtemperaturreaktion
 - $2 \text{ BaSi}_2:\text{Eu} + \text{Si} + 4 \text{ N}_2 \rightarrow \text{Ba}_2\text{Si}_5\text{N}_8:\text{Eu}$
(Piao et al., Appl. Phys. Lett. 91 (2007) 0411908)
 - $\text{CaAlSi}:\text{Eu} + 1.5 \text{ N}_2 \rightarrow \text{CaAlSiN}_3:\text{Eu}$
(Piao et al., Chem. Mater. 19 (2007) 4592)
- Ammonothermal-Synthesen
 - $\text{CaAlSi}:\text{Eu} + \text{NaNH}_2 \text{ or } \text{NaN}_3 \text{ in } 100 \text{ MPa } \text{NH}_3, 600^\circ\text{C} \rightarrow \text{CaAlSiN}_3:\text{Eu}$
(Li et al., Chem. Mater. 20 (2008) 2095)



Leuchtstoff-Keramik – Lumiramic™

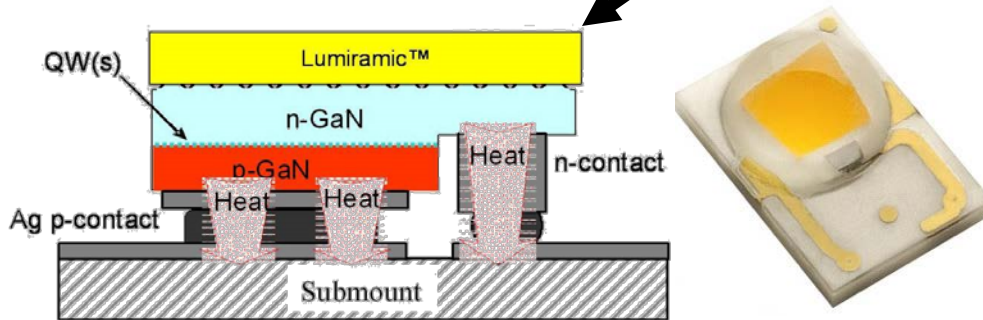
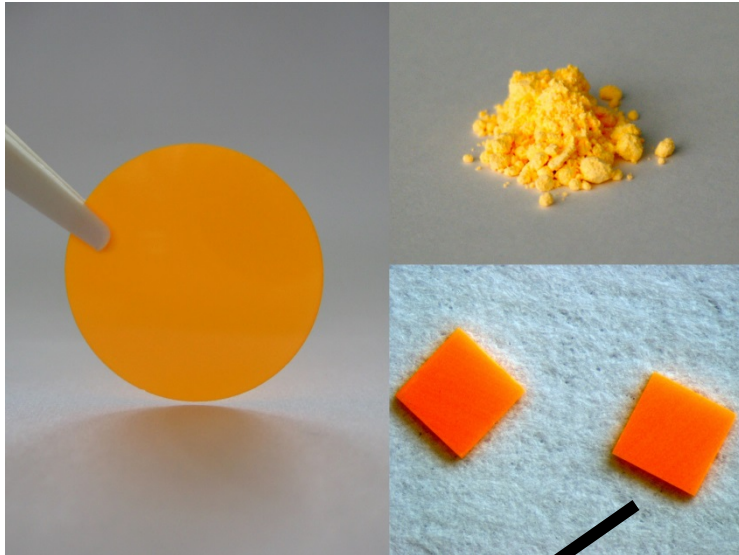


Keramik: Streuverhalten kann justiert werden, um Lichtextraktion und Package-Verluste zu kontrollieren



Durch niedrigere Aktivator-Konzentration zeigen Keramiken gegenüber Pulver besseres thermisches Verhalten

Transluzente Lumiramic®-Keramiken aus $(\text{Ba,Sr})_2\text{Si}_5\text{N}_8:\text{Eu}^{2+}$



physica
status
solidi
Srrl

First Impact Factor 2008
 2.147

www.pss-rapid.com
rapid research letters

all nitride full conversion

External Quantum Efficiency (%) vs. Peak Wavelength (nm)

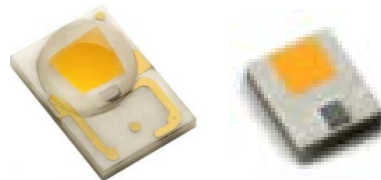
(Ga,In)N (Al,Ga,In)P
 color converter amber Lumiramic
 GaInN pump

All-nitride monochromatic amber-emitting phosphor-converted light-emitting diodes
 (Regina Mueller-Mach, Gerd O. Mueller, Michael R. Krames, Oleg B. Shchekin, Peter J. Schmidt, Helmut Bechtel, Ching-Hui Chen, and Oliver Steigelmann, p. 215)

3 • 7–8 • October 2009
WILEY-VCH
 ISSN 1862-6254, Phys. Status Solidi RRL
 3, No. 7–8 (October), A99–A118, 215–274 (2009)

With Expert Opinion:
 Shine a light with nitrides
 (Wolfgang Schnick, p. A113)

Anwendung: Front-Blinker



weitere Lumiramic-ermöglichte Innovationen

LED-Frontscheinwerfer



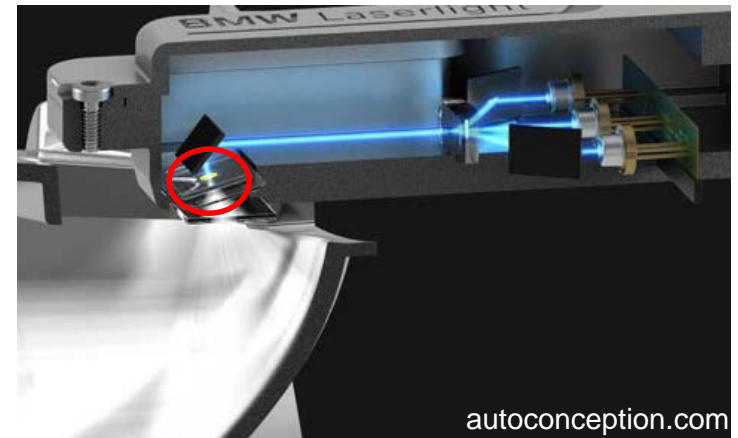
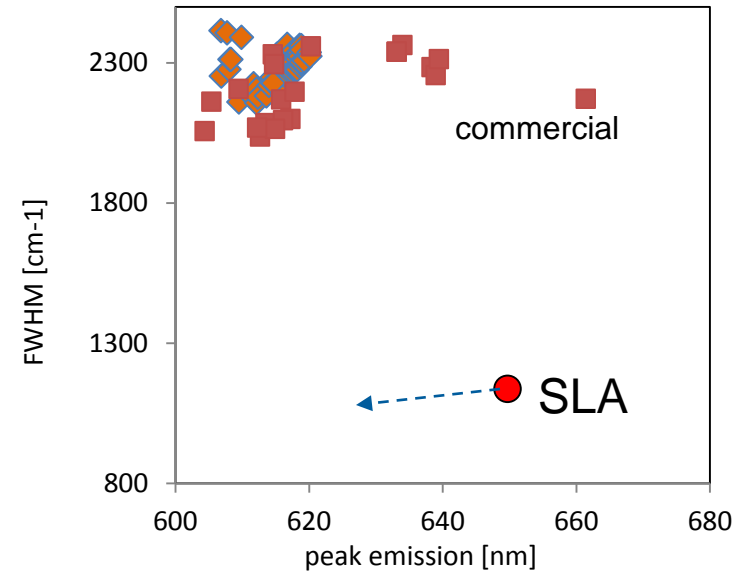
farbsteuerbare LED-Lampen



Ausblick

- Neue schmalbandige Rot-Leuchtstoffe mit Peakwellenlängen um 620 nm:
 - Voraussetzung für weitere deutliche Effizienzsteigerungen

- Keramische Leuchtstoffe:
 - LARP (LASER excited remote phosphor)
 - ermöglicht deutlich kleinere Lichtquellen / höhere Luminanz-Level
 - erste Laser-Fernlichter im Markt (BMW, Audi)
 - höchste Anforderungen an Leuchtstoffe





LUMILEDS