

Die LED in der effizienten Allgemein-Beleuchtung



Die derzeitige Revolution in der Lichtwelt ...

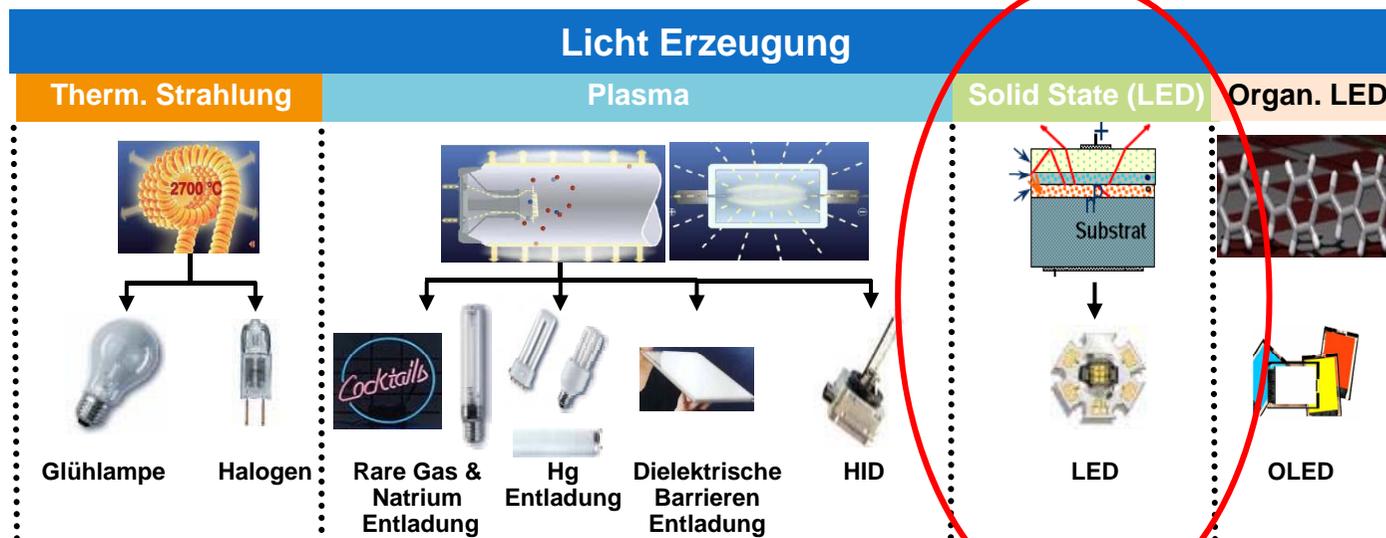
... ist eine mächtige „Welle“ hin zu Solid State Lighting (SSL)

Derzeit überzieht die LED Technologie den Lichtmarkt wie eine riesige Welle. LED sind in aller Munde. Das Potential ist groß, die Erwartungen sind hoch.

Dieser Beitrag soll dafür sorgen, dass die zugrunde liegende Technologie besser verstanden wird und der Leser in die Lage versetzt wird sich selbst mit der Materie auseinander setzen zu können, um sich eine eigene Meinung zu bilden.

LED die Zukunft der Lichterzeugung

Nach der Lichterzeugung mit thermischer Strahlung und der Gasentladung bewegen wir uns derzeit in die Welt der „Nanostrukturen“.



Neben anorganischen kommen inzwischen auch verstärkt organische Halbleiter-Materialien zum Einsatz. Wir konzentrieren uns hier aber auf die Anorganik.



PARATHOM® Classic A 60, dimmbare LED Retrofit Lampe als 60W Glühlampenersatz

Eine echte Alternative zur Glühlampe

Produktvorteile

- Sehr niedriger Energieverbrauch: 12W
- Hohe Lichtausbeute: (60 lm/W).
- Lichtstrom 800 lm
- Einfacher 1:1 Austausch
- Lange Lebensdauer (**25.000h**)
- Sofort Licht
- Dimmbar an gebräuchlichen Dimmern
- Verfügbar in warm- und kalt-weiß

Anwendungen

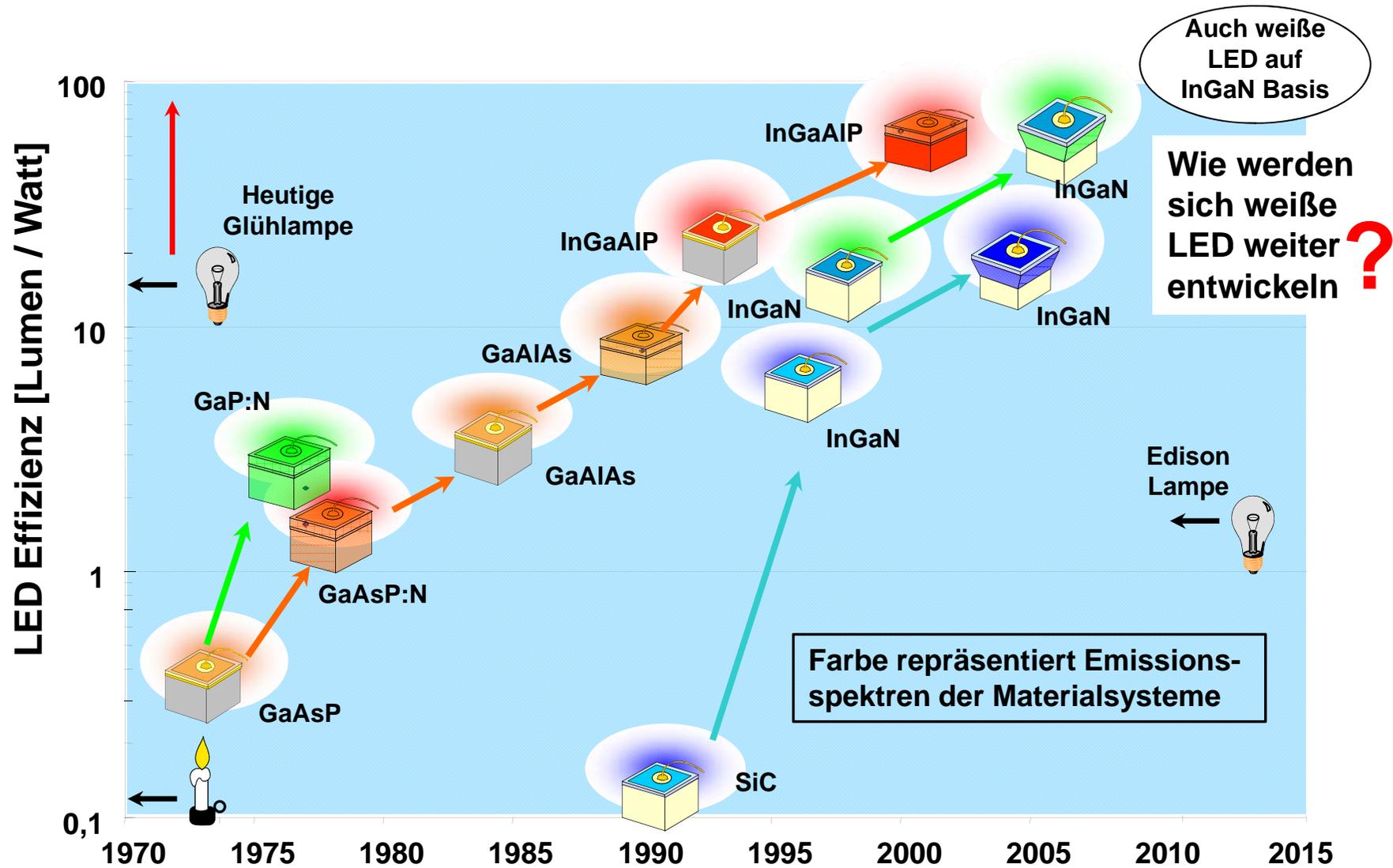
- **Ersatz für 60W Glühlampen**



Entwicklung und Technologie der LED

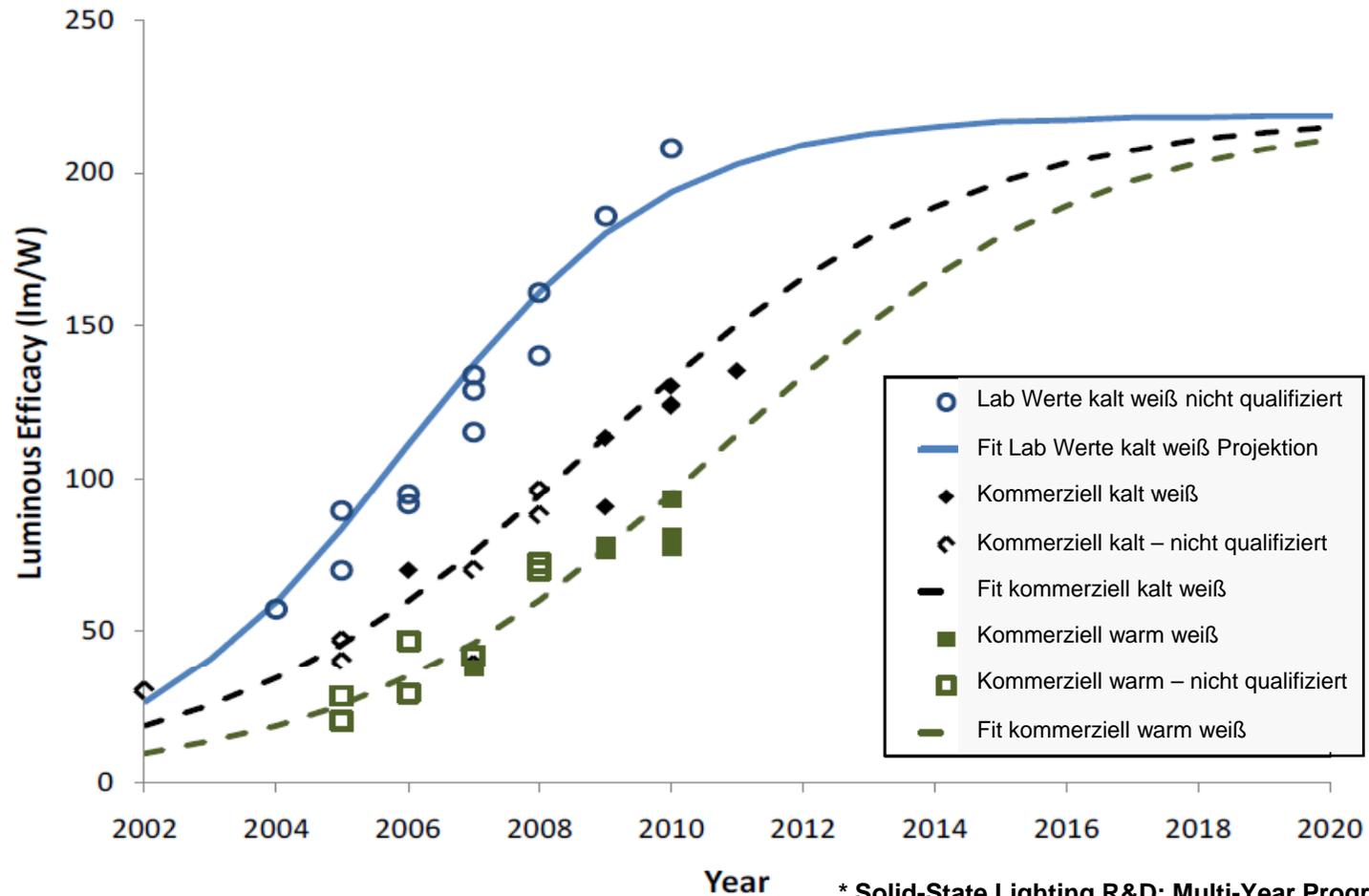


Material- & Helligkeitsentwicklung anorganischer LED bis 2008



Helligkeitsentwicklung von weißen LED 2002 – 2020 (Prognose)

Erwartungen des DOE (Department Of Energy)* für die Helligkeitsentwicklung weißer LED Packages auf InGaN Basis (März 2011).



* Solid-State Lighting R&D: Multi-Year Program Plan, U.S. Department of Energy, March 2011

Entwicklung von weißen LED 2009 - 2015 (Prognose)

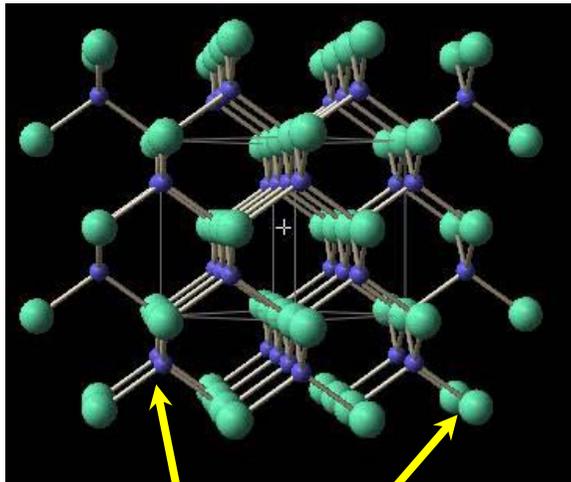
Roadmap weißer LED (in Zahlen)

Kenngroße	Unit	2009	2010	2012	2015
LED Effizienz (2580-3710K, 80-90 Ra) <small>(Warmweiß)</small>	lm/W	70	88	128	184
LED Preis (2580-3710K; 35 A/cm ²) <small>(Warmweiß)</small>	\$/klm	36	25	11	3
LED Effizienz (4746-7040K, 70-80 Ra) <small>(Kaltweiß)</small>	lm/W	113	134	173	215
LED Preis (4746-7040K; 35 A/cm ²) <small>(Kaltweiß)</small>	\$/klm	25	13	6	2
OEM Lampen Preis	\$/klm	130	101	61	28

Quelle: Solid-State Lighting R&D: Multi-Year Program Plan, U.S. Department of Energy, March 2011

Verbindungshalbleiter: Das Material zur Lichterzeugung

III-V-Kristallgitter einer anorganischen LED

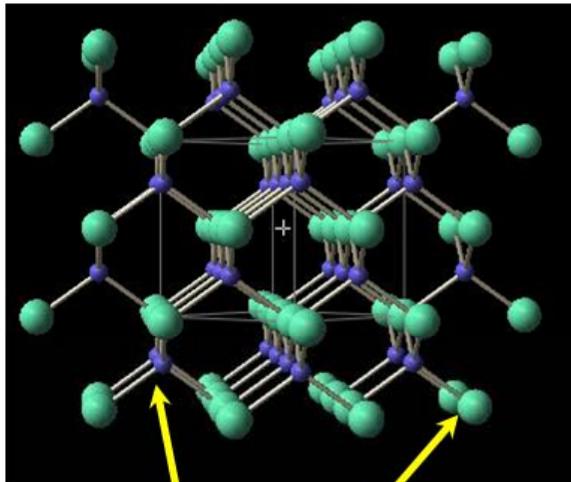


									VIIIB
									² He
		IIIB	IVB	VB	VIB	VIIB			
		5 B	6 C	7 N	8 O	9 F	10 Ne		
		13 Al	14 Si	15 P	16 S	17 Cl	18 Ar		
IB	IIB								
29 Cu	30 Zn	31 Ga	32 Ge	33 As	34 Se	35 Br	36 Kr		
47 Ag	48 Cd	49 In	50 Sn	51 Sb	52 Te	53 I	54 Xe		

III-V-Verbindungshalbleiter wurden **1952 von Heinrich Welker** im Siemens Forschungslabor in Erlangen **erfunden**.

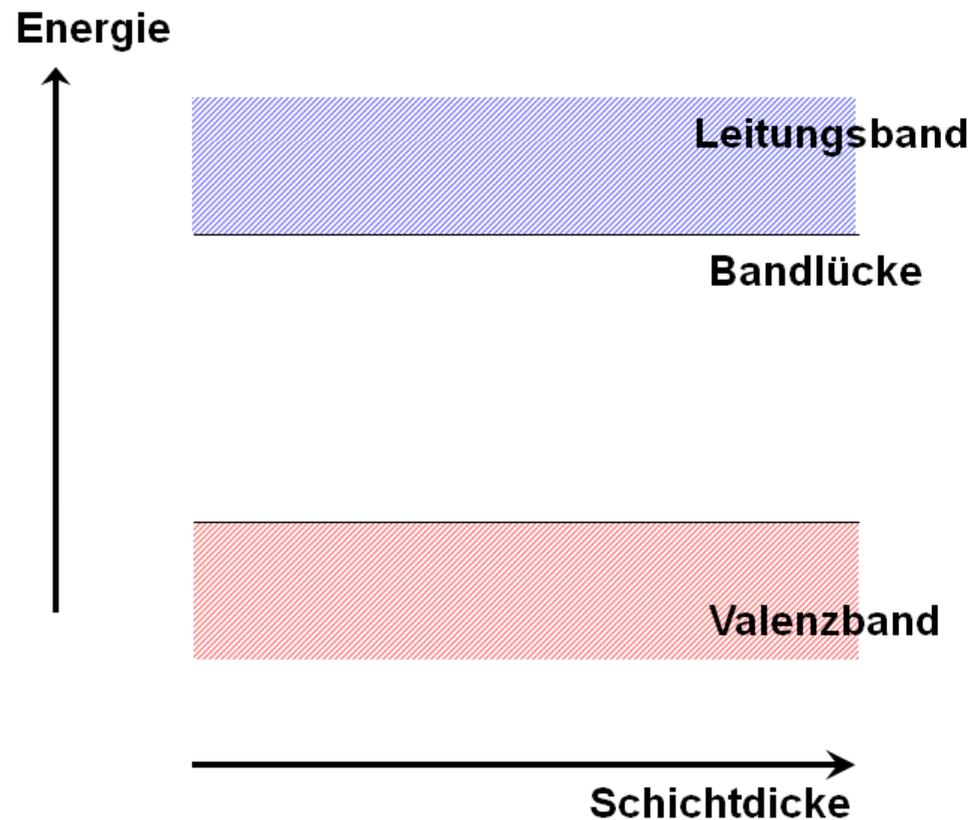
Bandstruktur, Anregung und Lichterzeugung

III-V-Kristallgitter einer anorganischen LED



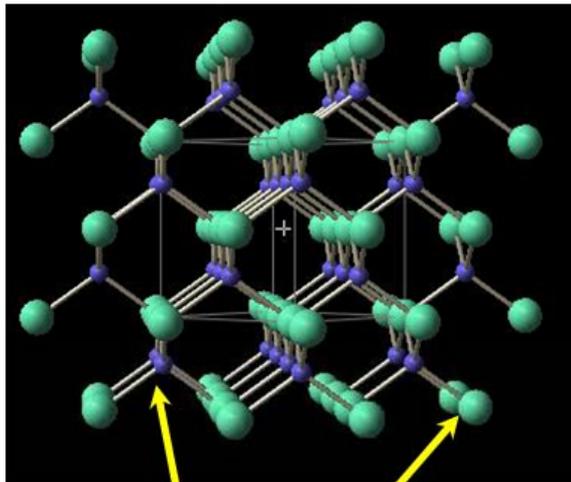
										VIIIB
		IIIB	IVB	VB	VIB	VIIB				2 He
		5 B	6 C	7 N	8 O	9 F				10 Ne
		13 Al	14 Si	15 P	16 S	17 Cl				18 Ar
IB	IIB	31 Ga	32 Ge	33 As	34 Se	35 Br				36 Kr
29 Cu	30 Zn	49 In	50 Sn	51 Sb	52 Te	53 I				54 Xe
47 Ag	48 Cd									

Periodizität des Gitters → Energiebänder



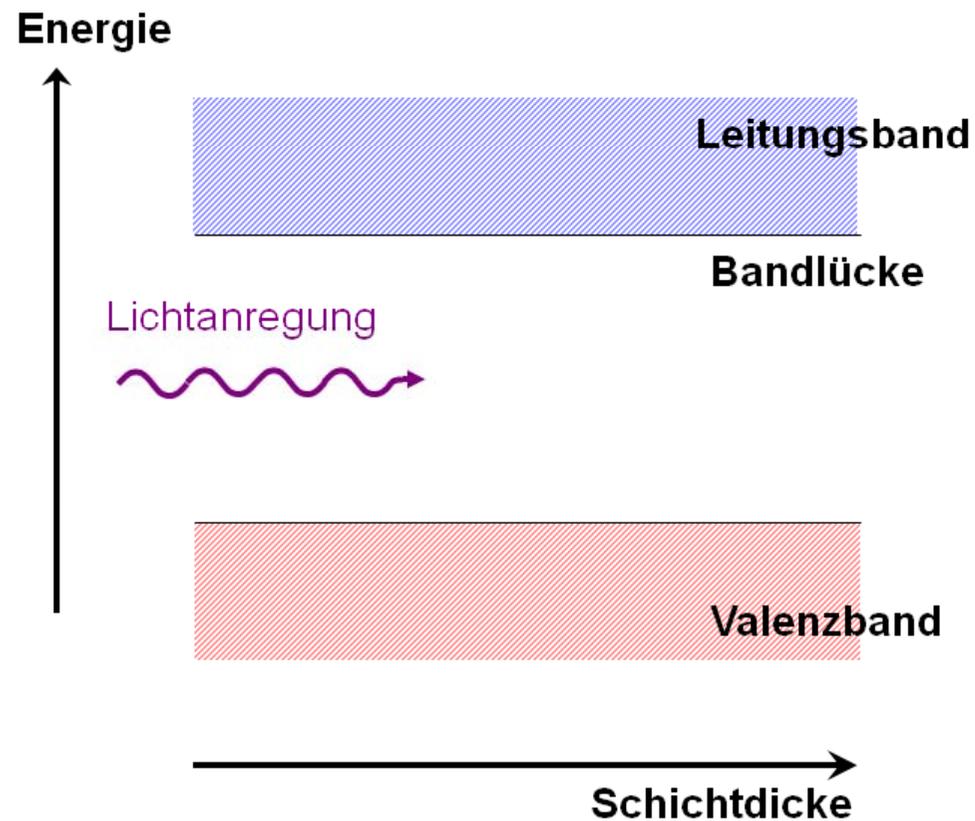
Bandstruktur, Anregung und Lichterzeugung

III-V-Kristallgitter einer anorganischen LED



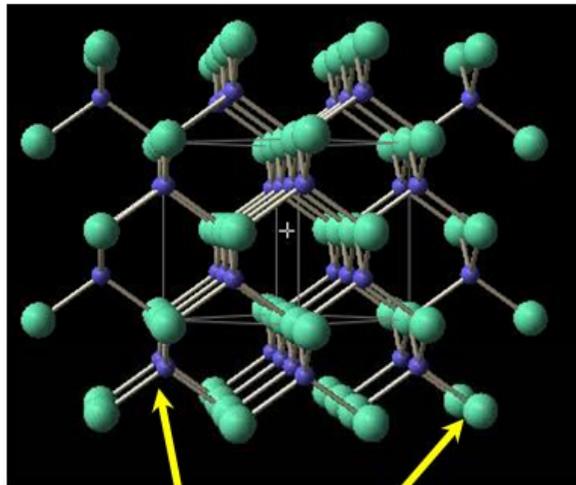
			IIIB	IVB	VB	VIB	VIB	VIIIB
			5	6	7	8	9	10
			B	C	N	O	F	Ne
			13	14	15	16	17	18
			Al	Si	P	S	Cl	Ar
29	30	31	32	33	34	35	36	
Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr	
47	48	49	50	51	52	53	54	
Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe	

Periodizität des Gitters → Energiebänder



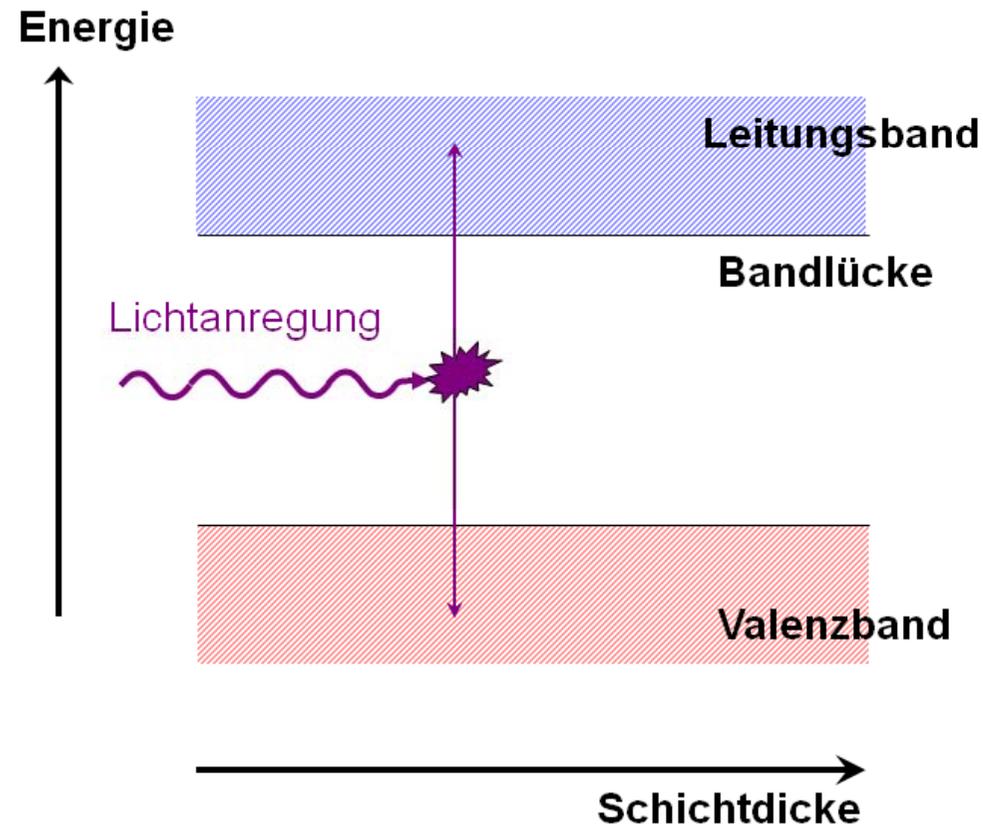
Bandstruktur, Anregung und Lichterzeugung

III-V-Kristallgitter einer anorganischen LED



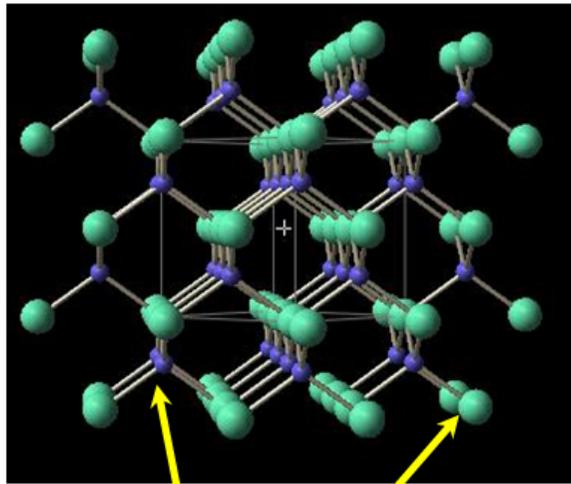
			III B	IV B	V B	V I B	V I I B	V I I I B
			5 B	6 C	7 N	8 O	9 F	10 Ne
			13 Al	14 Si	15 P	16 S	17 Cl	18 Ar
29 Cu	30 Zn	31 Ga	32 Ge	33 As	34 Se	35 Br	36 Kr	
47 Ag	48 Cd	49 In	50 Sn	51 Sb	52 Te	53 I	54 Xe	

Periodizität des Gitters → Energiebänder



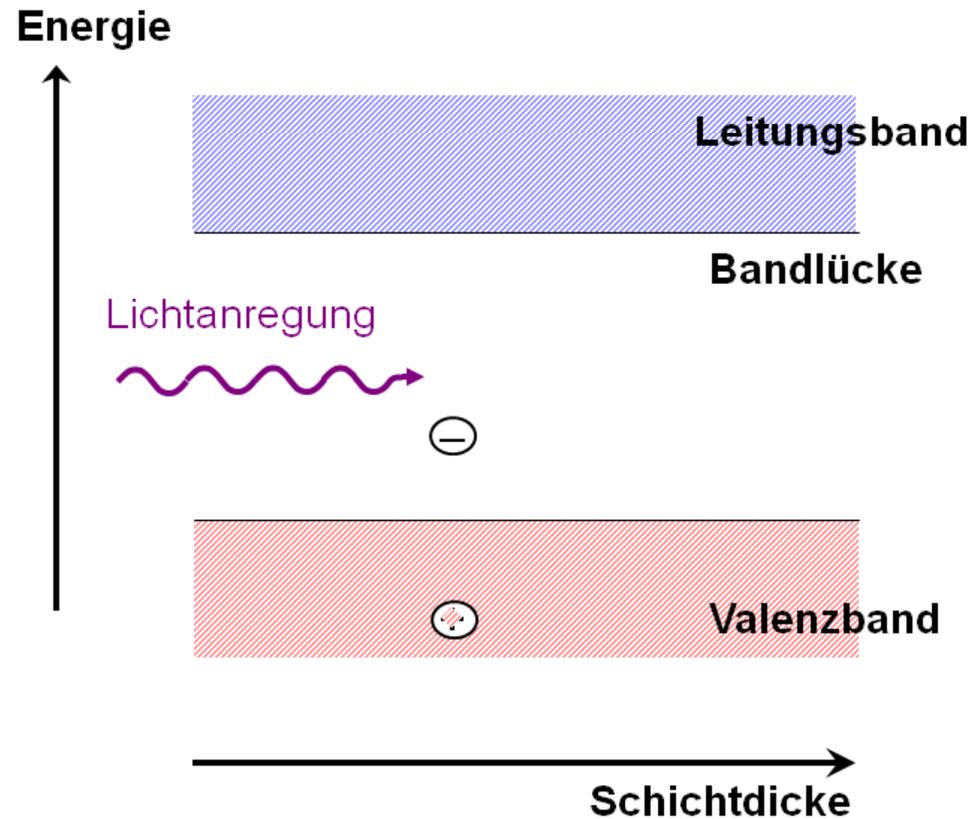
Bandstruktur, Anregung und Lichterzeugung

III-V-Kristallgitter einer anorganischen LED



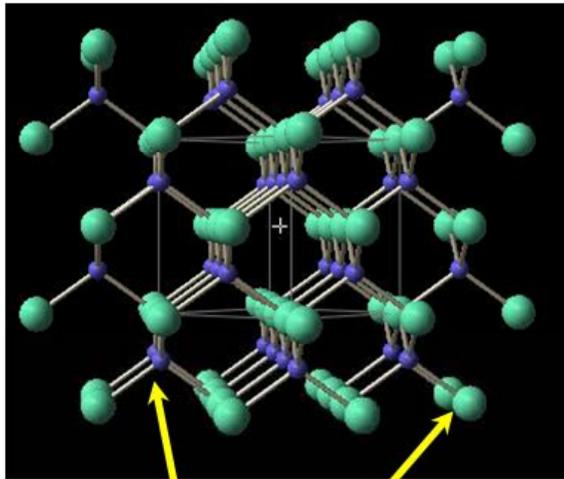
						VIIIB
		IIIB	IVB	VB	VIB	VIIIB
		5	6	7	8	9
		B	C	N	O	F
		13	14	15	16	17
		Al	Si	P	S	Cl
IB	IIB	31	32	33	34	35
Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br
47	48	49	50	51	52	53
Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I
						54
						Xe

Periodizität des Gitters → Energiebänder



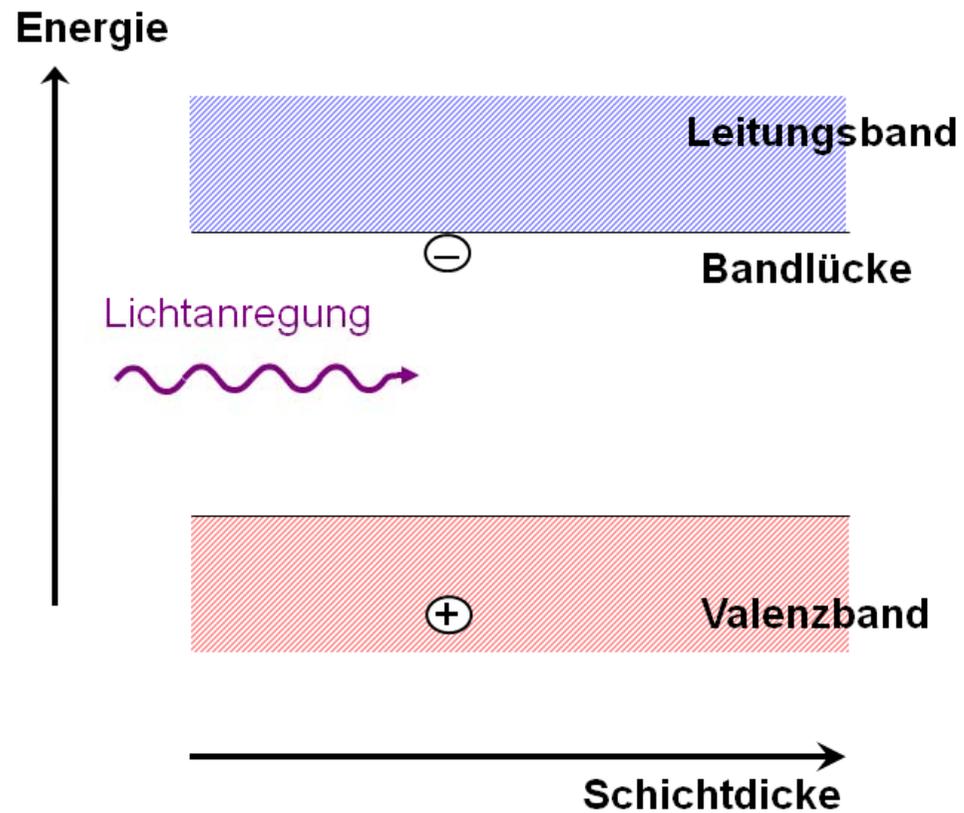
Bandstruktur, Anregung und Lichterzeugung

III-V-Kristallgitter einer anorganischen LED



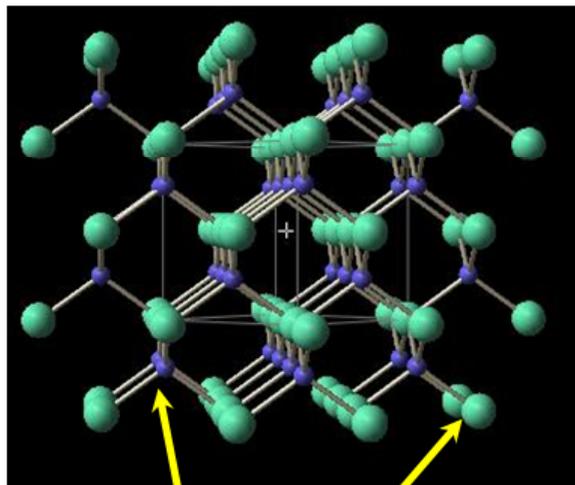
										VIIIB
										² He
			III B	IV B	V B	VI B	VII B			
			5 B	6 C	7 N	8 O	9 F	10 Ne		
			13 Al	14 Si	15 P	16 S	17 Cl	18 Ar		
IB	IIB		31 Ga	32 Ge	33 As	34 Se	35 Br	36 Kr		
29 Cu	30 Zn		49 In	50 Sn	51 Sb	52 Te	53 I	54 Xe		
47 Ag	48 Cd									

Periodizität des Gitters \rightarrow Energiebänder



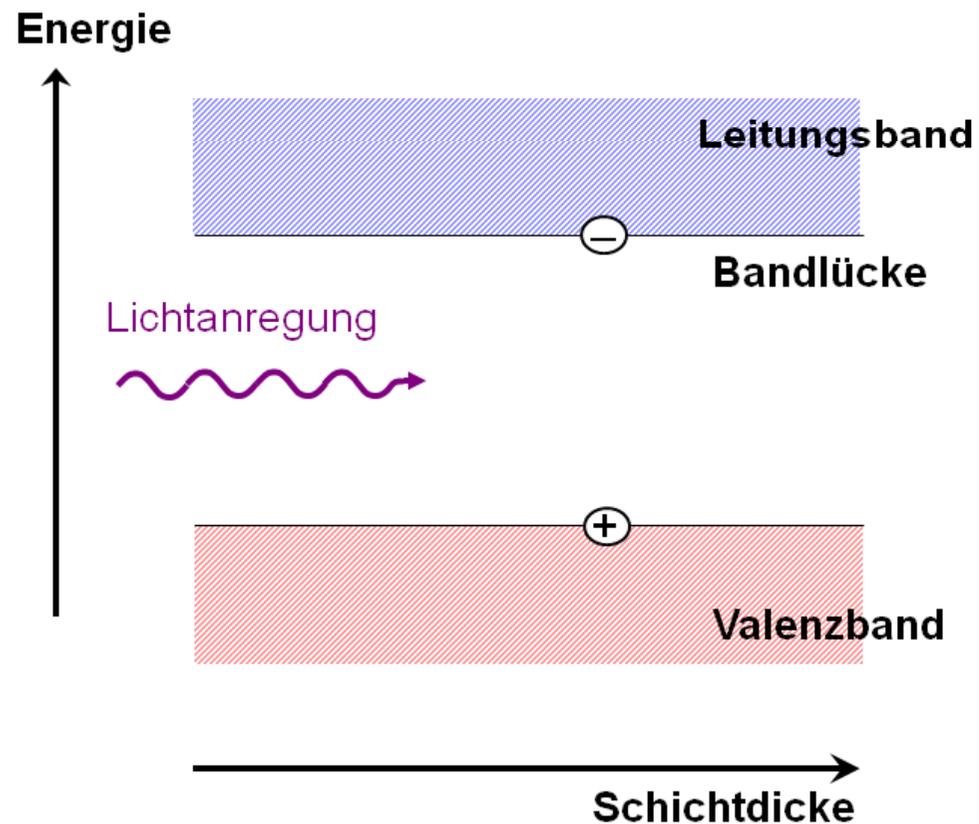
Bandstruktur, Anregung und Lichterzeugung

III-V-Kristallgitter einer anorganischen LED



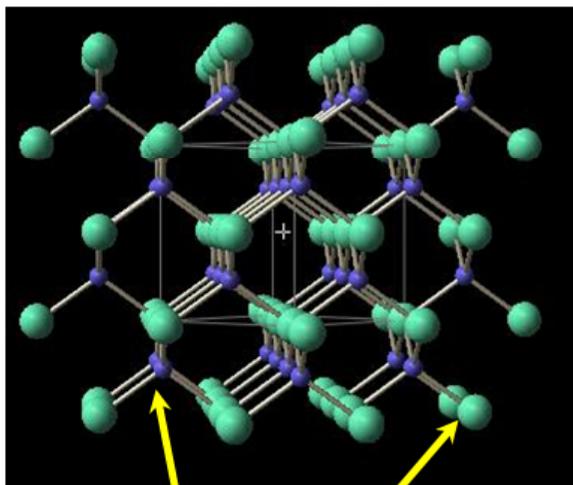
			III B	IV B	V B	V I B	V II B	V III B
			5 B	6 C	7 N	8 O	9 F	10 Ne
			13 Al	14 Si	15 P	16 S	17 Cl	18 Ar
29 Cu	30 Zn	31 Ga	32 Ge	33 As	34 Se	35 Br	36 Kr	
47 Ag	48 Cd	49 In	50 Sn	51 Sb	52 Te	53 I	54 Xe	

Periodizität des Gitters \rightarrow Energiebänder



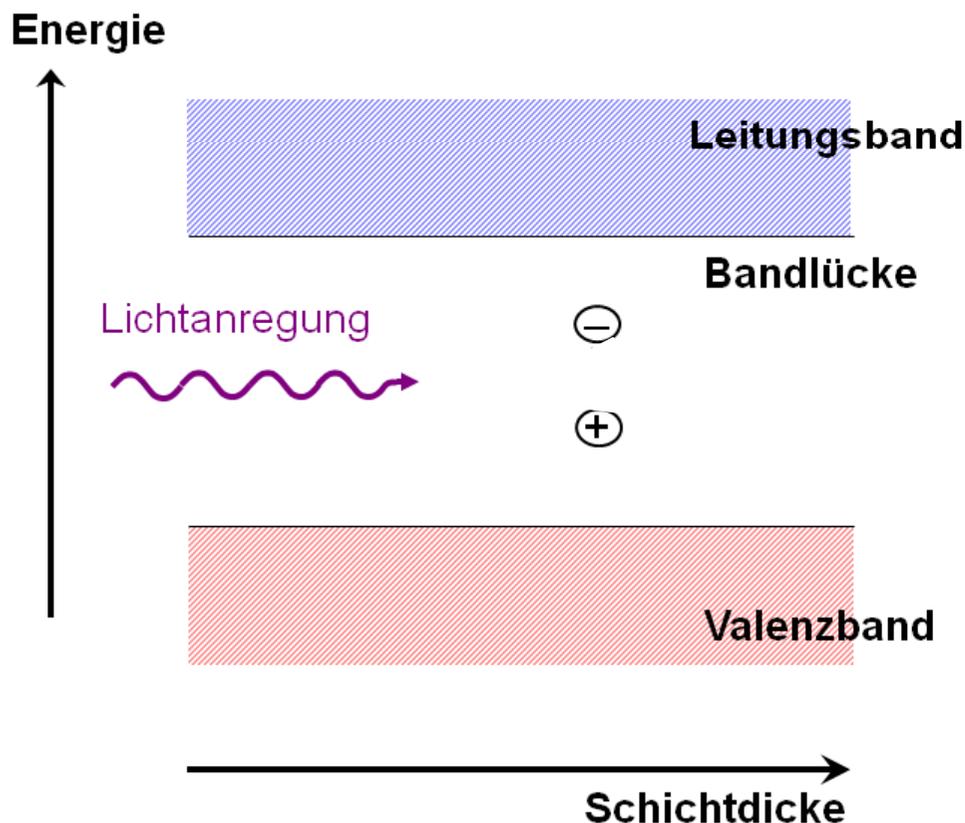
Bandstruktur, Anregung und Lichterzeugung

III-V-Kristallgitter einer anorganischen LED



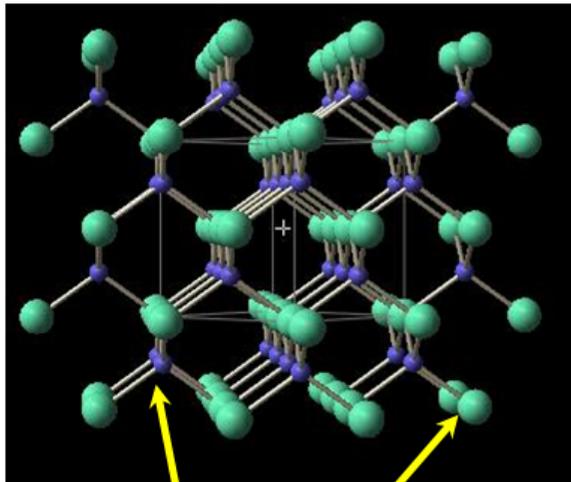
									VIIIB
		IIIB	IVB	VB	VIB	VII B			2 He
		5 B	6 C	7 N	8 O	9 F			10 Ne
		13 Al	14 Si	15 P	16 S	17 Cl			18 Ar
IB	IIB	31 Ga	32 Ge	33 As	34 Se	35 Br			36 Kr
29 Cu	30 Zn	49 In	50 Sn	51 Sb	52 Te	53 I			54 Xe

Periodizität des Gitters \rightarrow Energiebänder



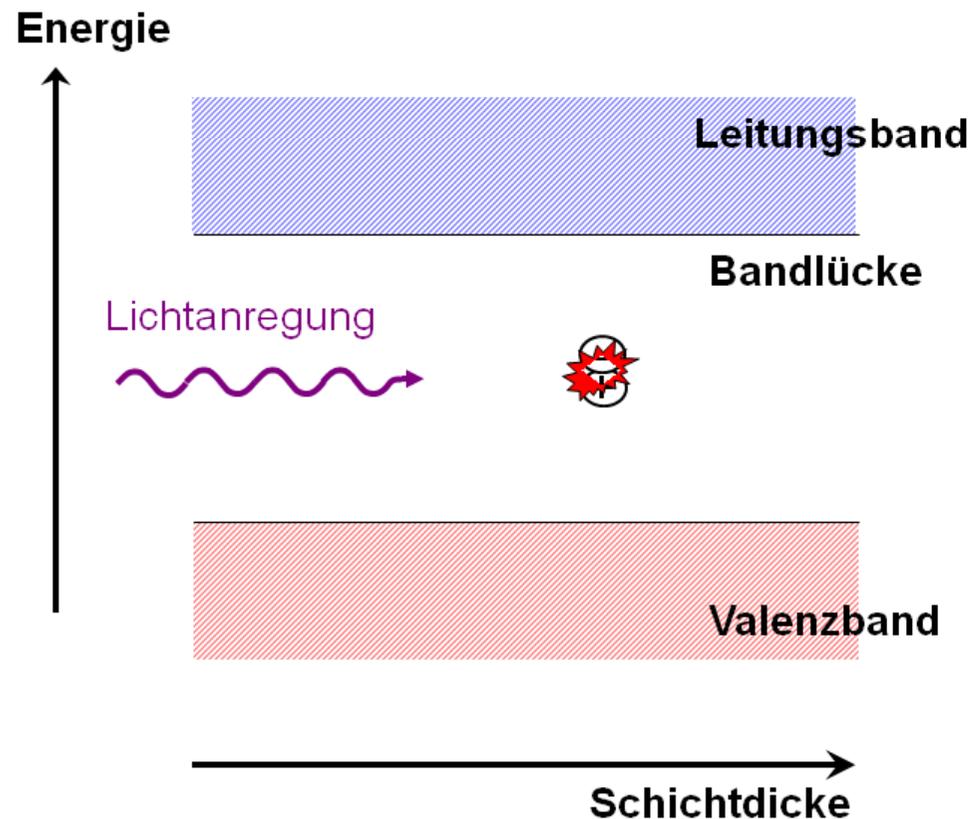
Bandstruktur, Anregung und Lichterzeugung

III-V-Kristallgitter einer anorganischen LED



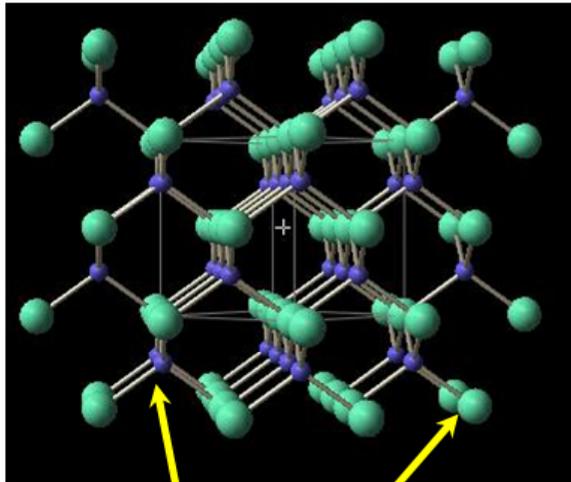
										VIIIB
		IIIB	IVB	VB	VIB	VIIIB				2 He
		5 B	6 C	7 N	8 O	9 F	10 Ne			
		13 Al	14 Si	15 P	16 S	17 Cl	18 Ar			
IB	IIB	31 Ga	32 Ge	33 As	34 Se	35 Br	36 Kr			
29 Cu	30 Zn	49 In	50 Sn	51 Sb	52 Te	53 I	54 Xe			
47 Ag	48 Cd									

Periodizität des Gitters → Energiebänder



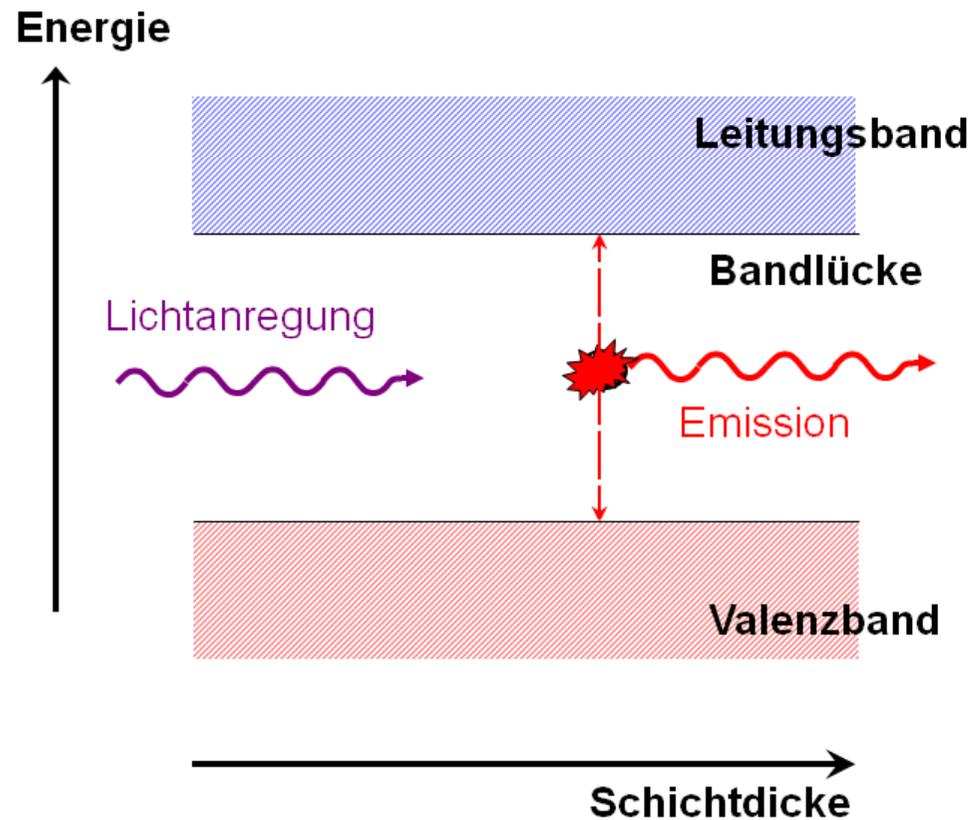
Bandstruktur, Anregung und Lichterzeugung

III-V-Kristallgitter einer anorganischen LED



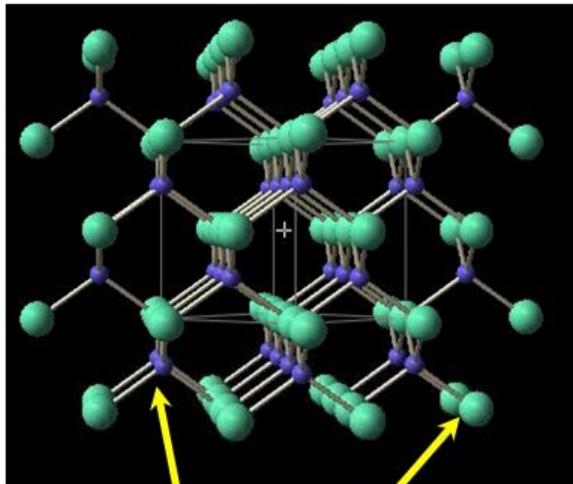
						VIIIB	
		IIIB	IVB	VB	VIB	VIIIB	² He
		5 B	6 C	7 N	8 O	9 F	10 Ne
		13 Al	14 Si	15 P	16 S	17 Cl	18 Ar
29 Cu	30 Zn	31 Ga	32 Ge	33 As	34 Se	35 Br	36 Kr
47 Ag	48 Cd	49 In	50 Sn	51 Sb	52 Te	53 I	54 Xe

Periodizität des Gitters → Energiebänder



Bandstruktur, Anregung und Lichterzeugung

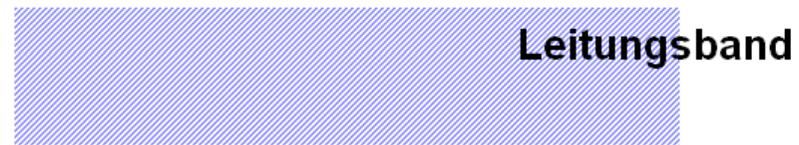
III-V-Kristallgitter einer anorganischen LED



						VIIIB	
		IIIB	IVB	VB	VIB	VIIIB	2 He
		5 B	6 C	7 N	8 O	9 F	10 Ne
		13 Al	14 Si	15 P	16 S	17 Cl	18 Ar
IB	IIB	31 Ga	32 Ge	33 As	34 Se	35 Br	36 Kr
29 Cu	30 Zn	49 In	50 Sn	51 Sb	52 Te	53 I	54 Xe

Periodizität des Gitters → Energiebänder

Energie



Bandlücke

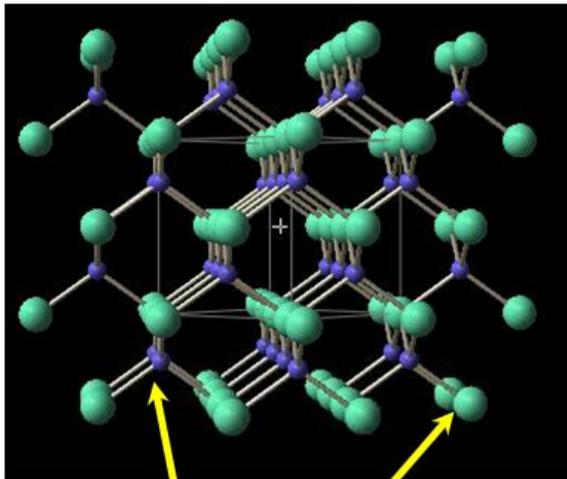


Schichtdicke



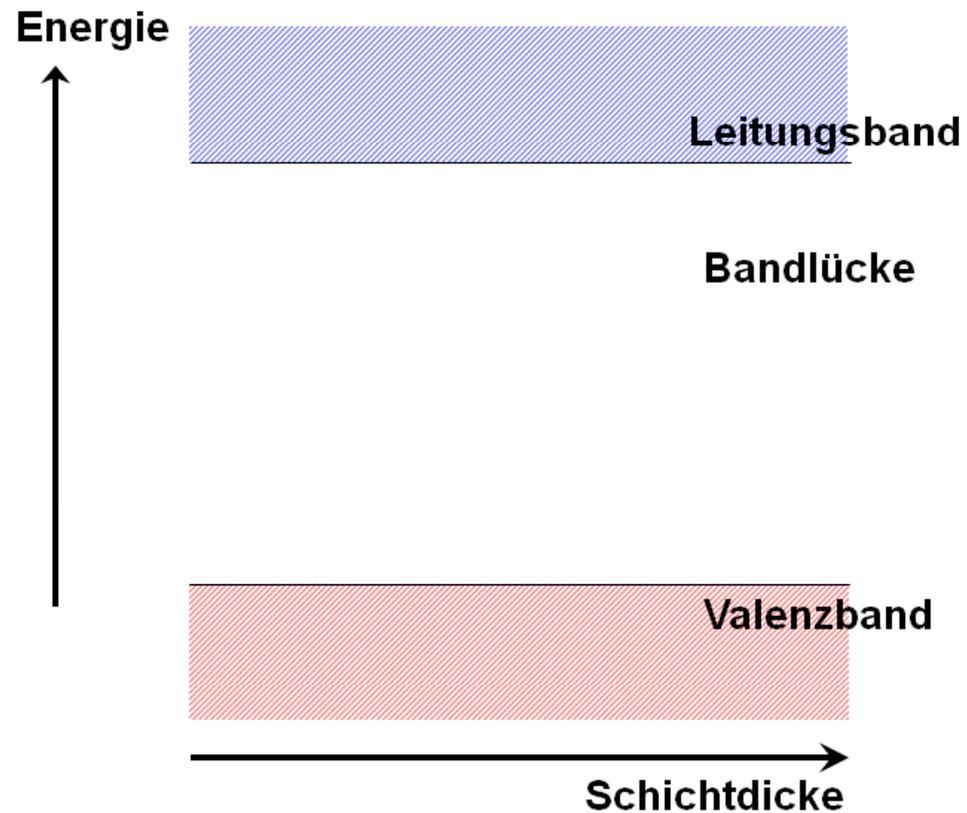
Bandstruktur, Anregung und Lichterzeugung

III-V-Kristallgitter einer anorganischen LED



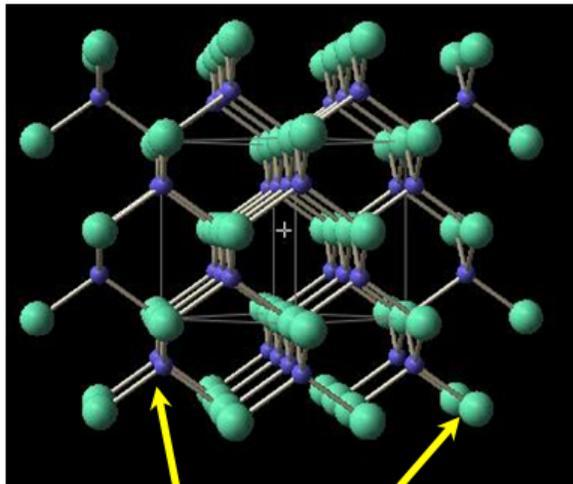
			IIIB	IVB	VB	VIB	VII B	VIII B	2
			5	6	7	8	9	10	He
			B	C	N	O	F	Ne	
			13	14	15	16	17	18	
			Al	Si	P	S	Cl	Ar	
29	30	31	32	33	34	35	36		
Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr		
47	48	49	50	51	52	53	54		
Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe		

Periodizität des Gitters → Energiebänder



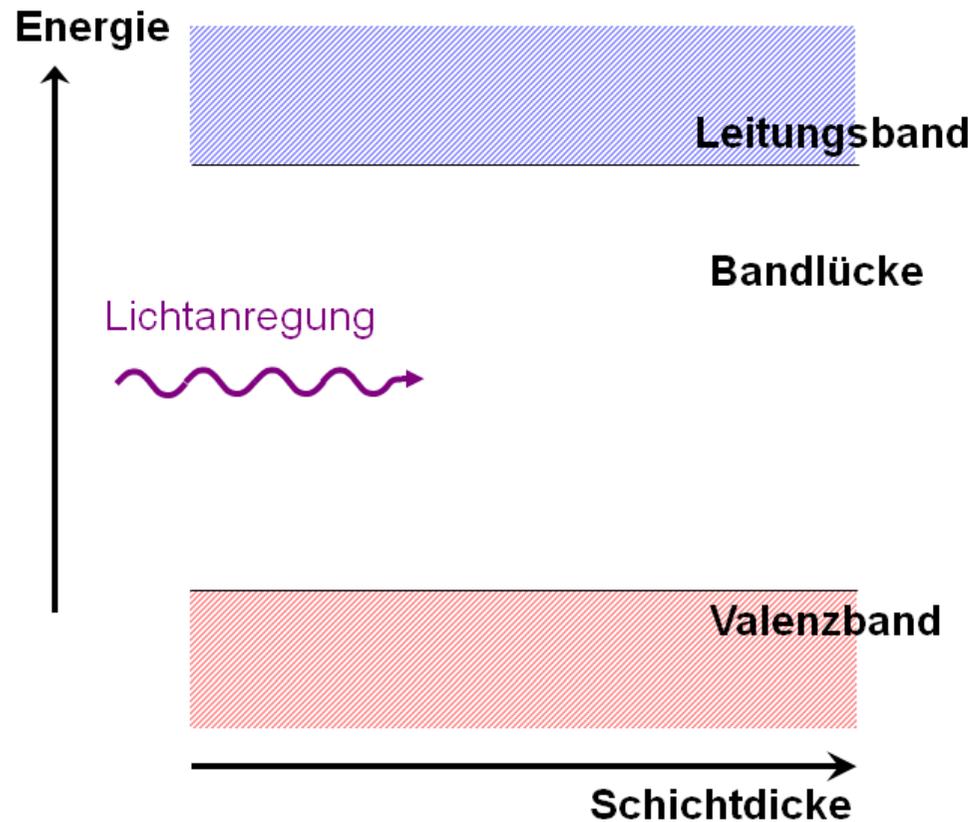
Bandstruktur, Anregung und Lichterzeugung

III-V-Kristallgitter einer anorganischen LED



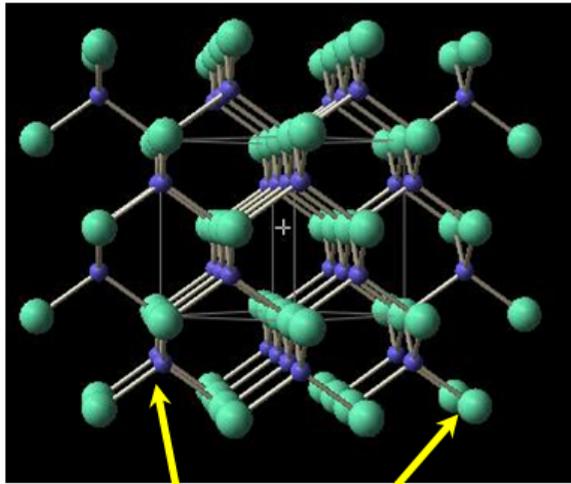
									VIIIB
		IIIB	IVB	VB	VIB	VII B			² He
		5 B	6 C	7 N	8 O	9 F	10		Ne
		13 Al	14 Si	15 P	16 S	17 Cl	18		Ar
29 Cu	30 Zn	31 Ga	32 Ge	33 As	34 Se	35 Br	36		Kr
47 Ag	48 Cd	49 In	50 Sn	51 Sb	52 Te	53 I	54		Xe

Periodizität des Gitters → Energiebänder



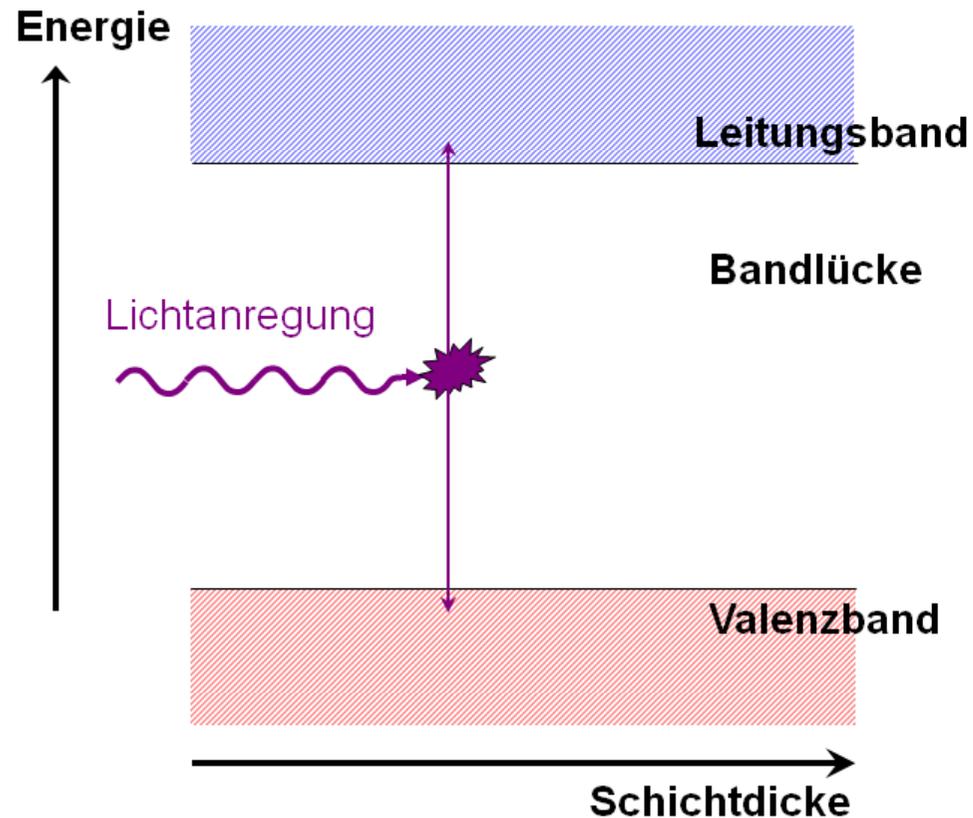
Bandstruktur, Anregung und Lichterzeugung

III-V-Kristallgitter einer anorganischen LED



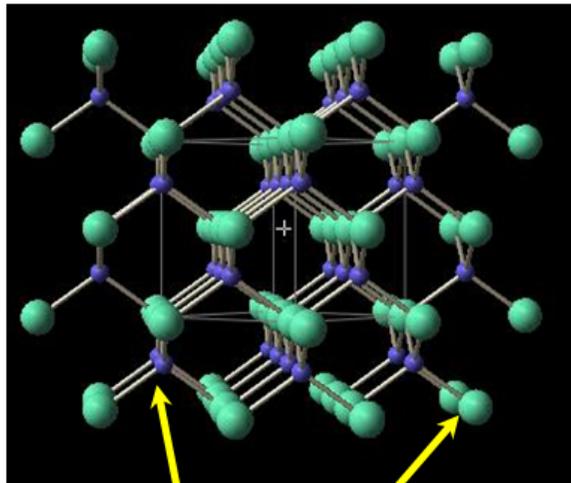
			III B	IV B	V B	VI B	VII B	VIII B	2
			5	6	7	8	9	10	He
			B	C	N	O	F	Ne	
			13	14	15	16	17	18	
			Al	Si	P	S	Cl	Ar	
29	30	31	32	33	34	35	36		
Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr		
47	48	49	50	51	52	53	54		
Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe		

Periodizität des Gitters → Energiebänder



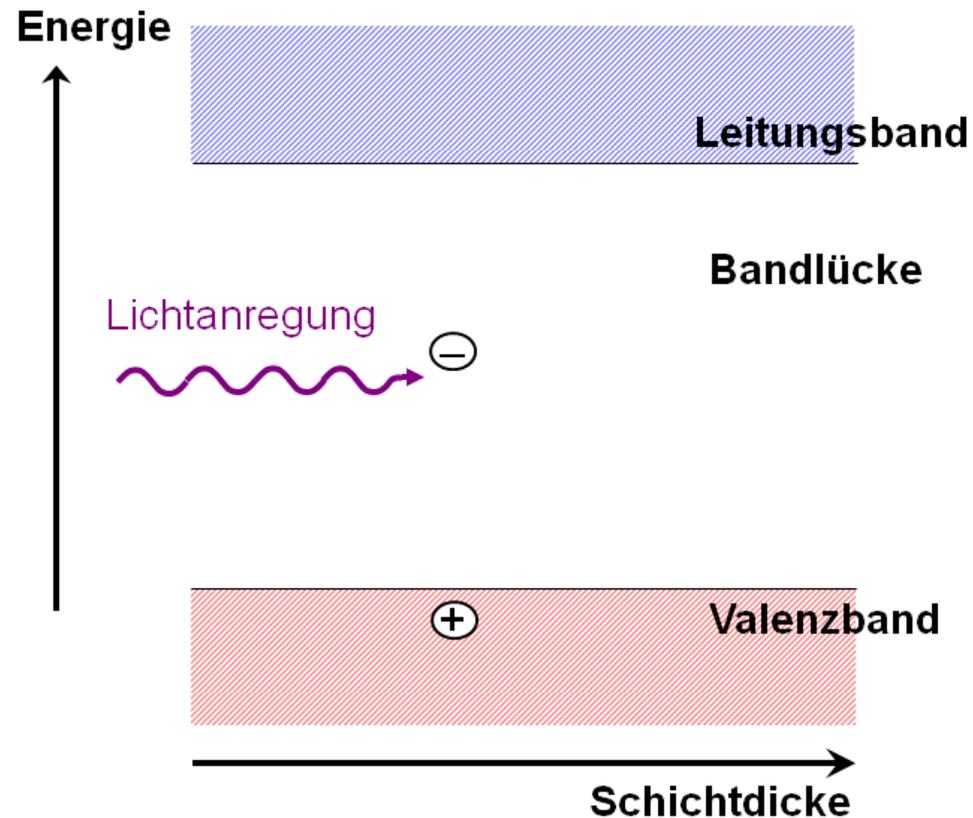
Bandstruktur, Anregung und Lichterzeugung

III-V-Kristallgitter einer anorganischen LED



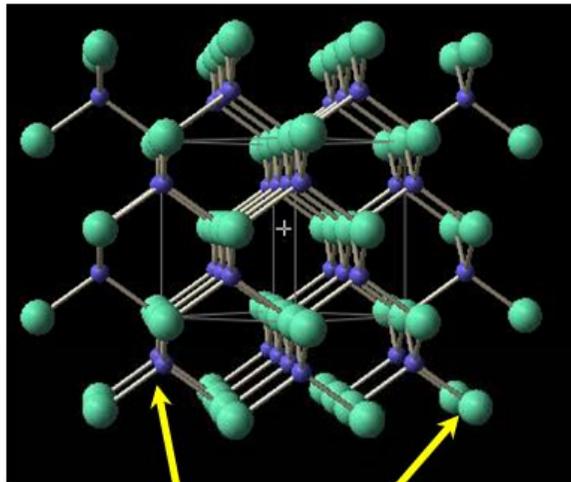
			III B	IV B	V B	VI B	VII B	VIII B	2
			5	6	7	8	9	10	He
			B	C	N	O	F	Ne	
			13	14	15	16	17	18	
			Al	Si	P	S	Cl	Ar	
29	30	31	32	33	34	35	36		
Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr		
47	48	49	50	51	52	53	54		
Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe		

Periodizität des Gitters \rightarrow Energiebänder



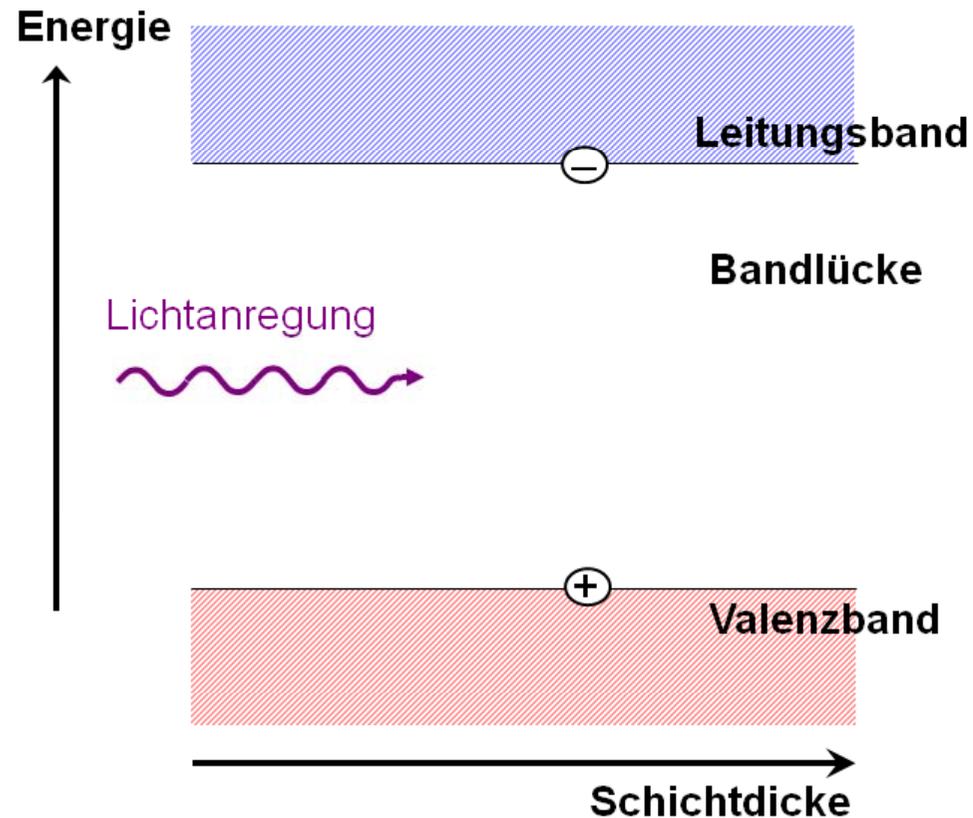
Bandstruktur, Anregung und Lichterzeugung

III-V-Kristallgitter einer anorganischen LED



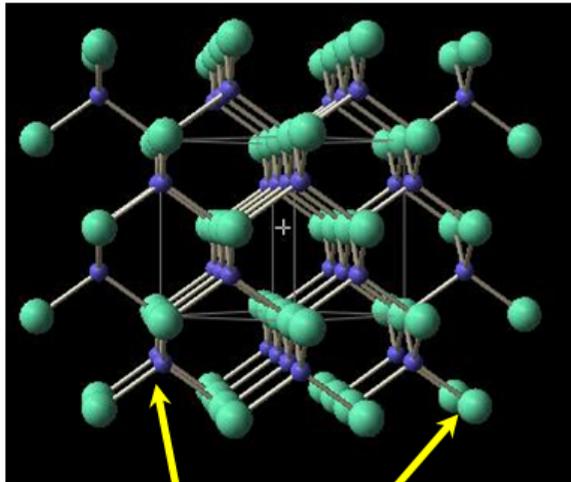
			III B	IV B	V B	VI B	VII B	VIII B	2
			5	6	7	8	9	10	He
			B	C	N	O	F	Ne	
			13	14	15	16	17	18	
			Al	Si	P	S	Cl	Ar	
29	30	31	32	33	34	35	36		
Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr		
47	48	49	50	51	52	53	54		
Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe		

Periodizität des Gitters \rightarrow Energiebänder



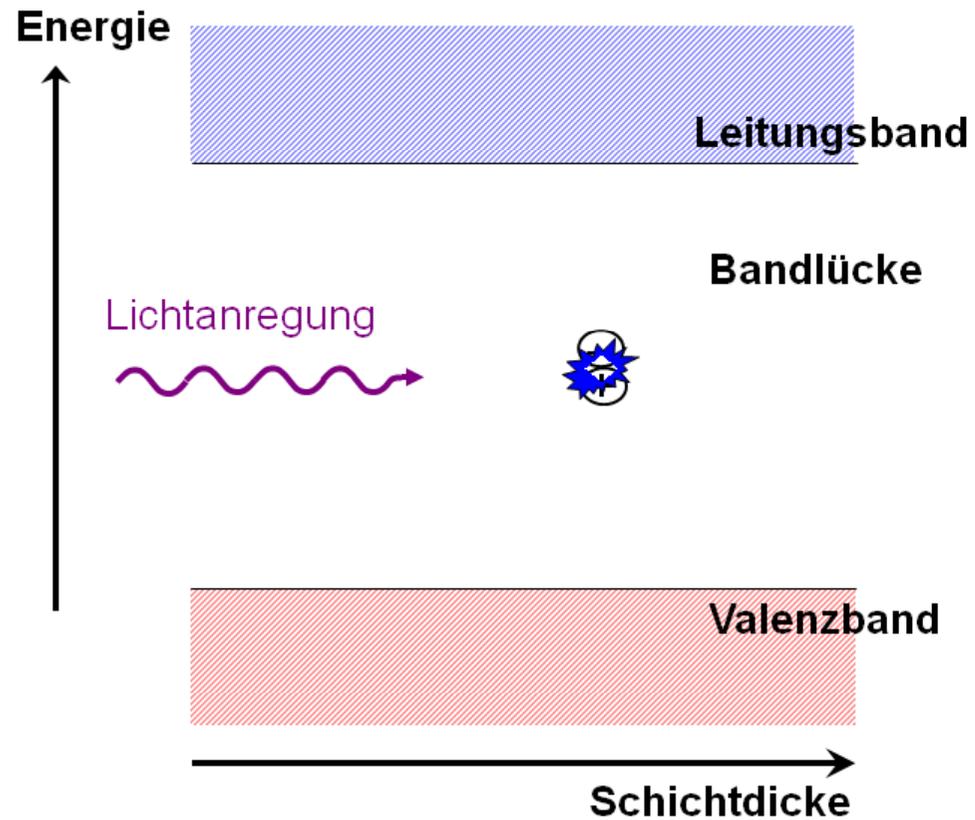
Bandstruktur, Anregung und Lichterzeugung

III-V-Kristallgitter einer anorganischen LED



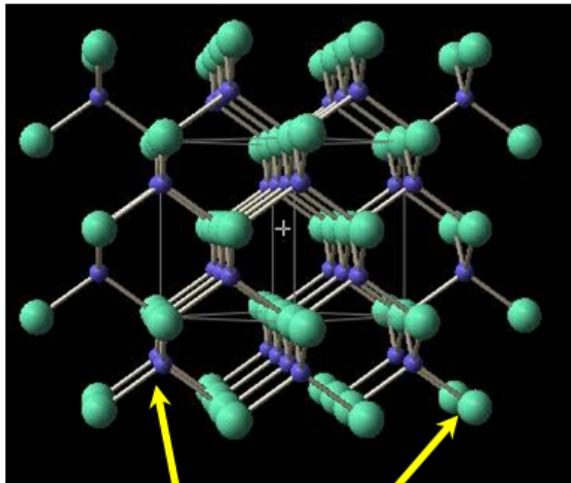
									VIIIB
		III B	IV B	V B	VI B	VII B			² He
		5 B	6 C	7 N	8 O	9 F	10 Ne		
		13 Al	14 Si	15 P	16 S	17 Cl	18 Ar		
IB	IIB	31 Ga	32 Ge	33 As	34 Se	35 Br	36 Kr		
29 Cu	30 Zn	49 In	50 Sn	51 Sb	52 Te	53 I	54 Xe		
47 Ag	48 Cd								

Periodizität des Gitters → Energiebänder



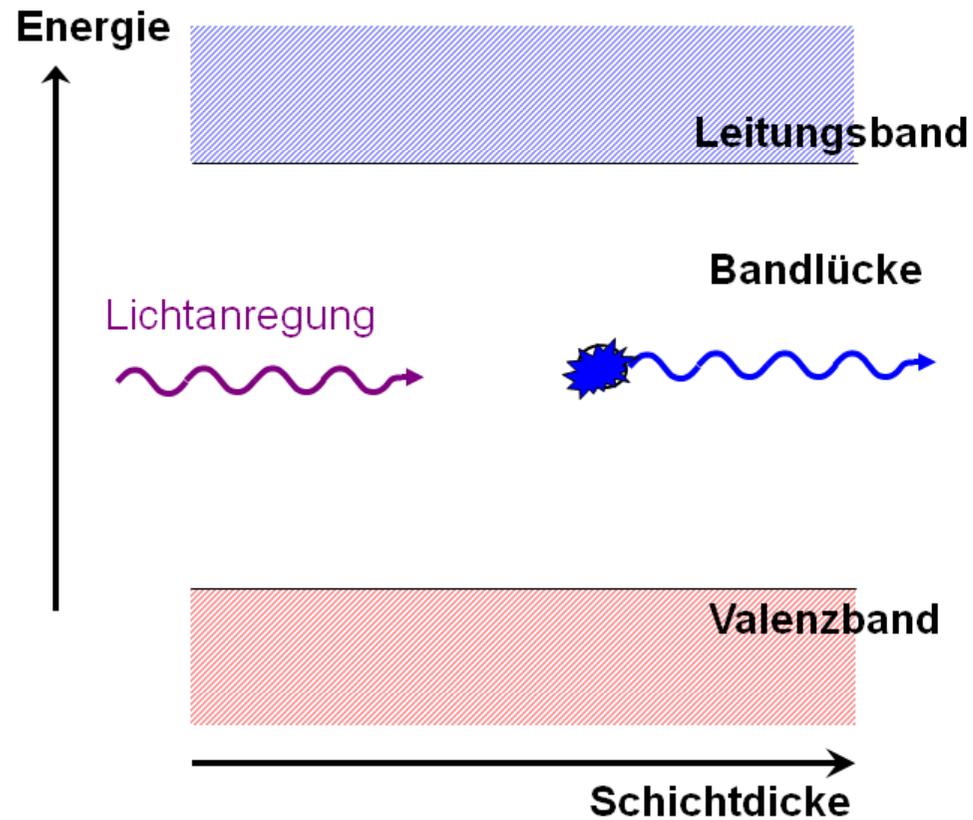
Bandstruktur, Anregung und Lichterzeugung

III-V-Kristallgitter einer anorganischen LED



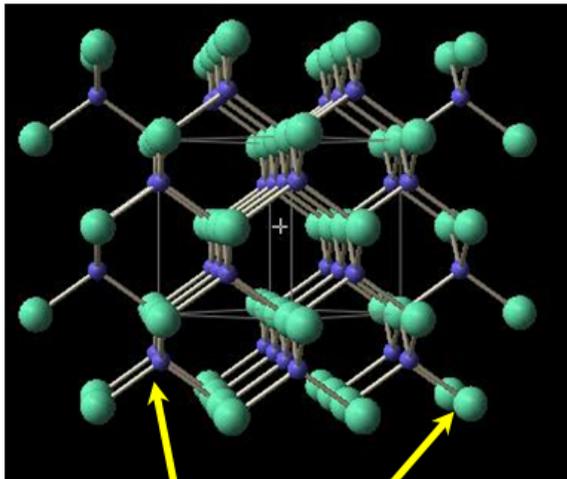
						VIIIB
		IIIB	IVB	VB	VIB	VIIIB
		5 B	6 C	7 N	8 O	9 F
		13 Al	14 Si	15 P	16 S	17 Cl
29 Cu	30 Zn	31 Ga	32 Ge	33 As	34 Se	35 Br
47 Ag	48 Cd	49 In	50 Sn	51 Sb	52 Te	53 I
						54 Xe

Periodizität des Gitters → Energiebänder



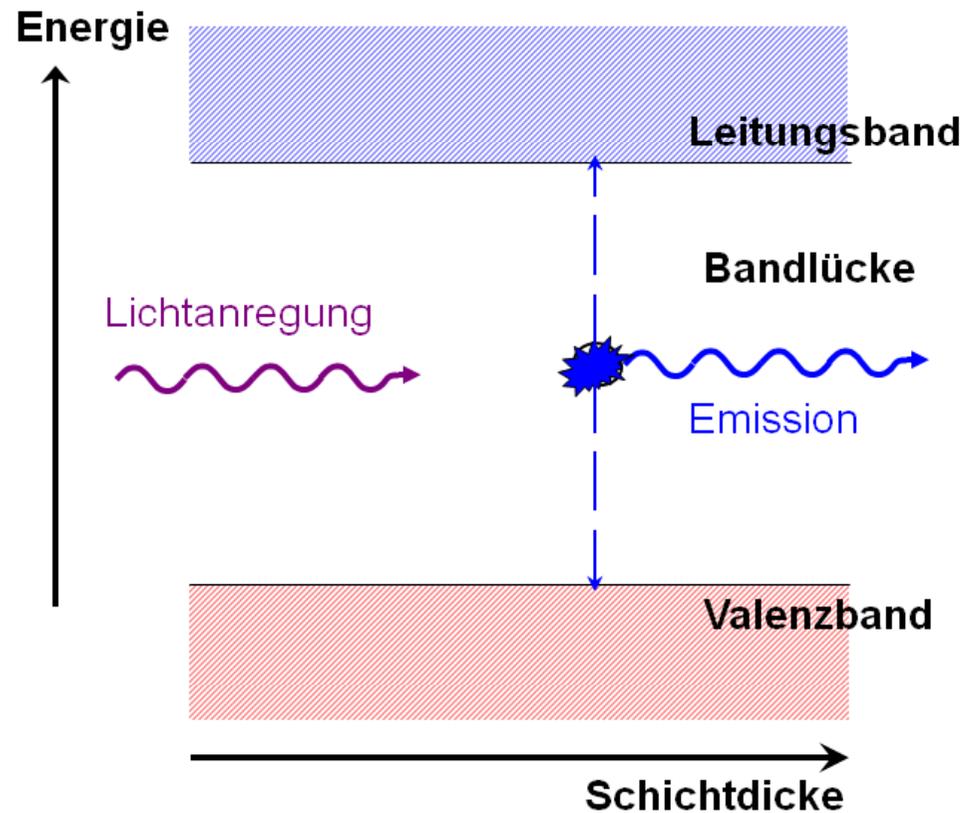
Bandstruktur, Anregung und Lichterzeugung

III-V-Kristallgitter einer anorganischen LED



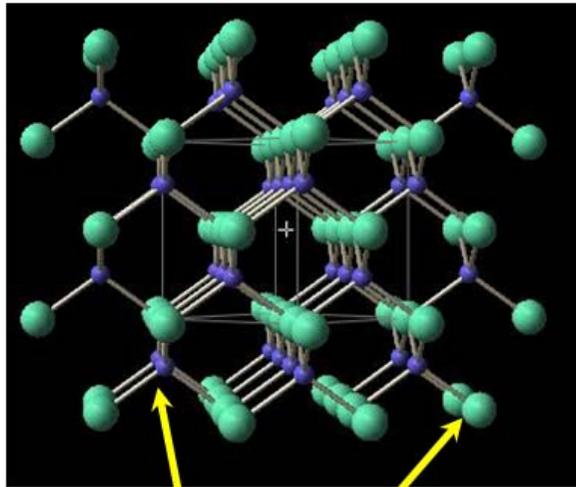
			III B	IV B	V B	V I B	V I I B	V I I I B
			5 B	6 C	7 N	8 O	9 F	10 Ne
			13 Al	14 Si	15 P	16 S	17 Cl	18 Ar
29 Cu	30 Zn	31 Ga	32 Ge	33 As	34 Se	35 Br	36 Kr	
47 Ag	48 Cd	49 In	50 Sn	51 Sb	52 Te	53 I	54 Xe	

Periodizität des Gitters → Energiebänder



Funktionsweise einer anorganischen LED

III-V-Kristallgitter einer anorganischen LED

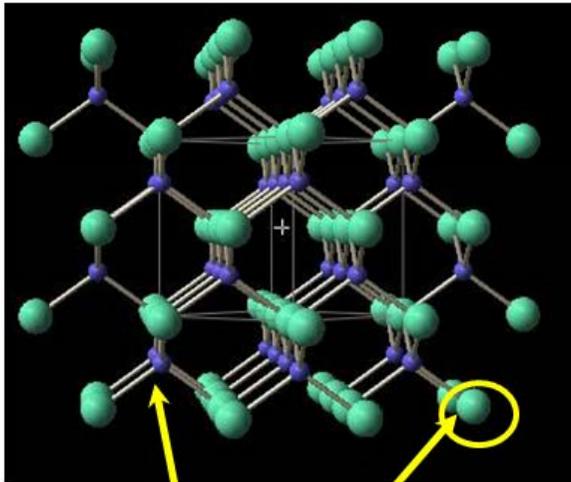


							VIIIB
		IIIB	IVB	VB	VIB	VIIIB	² He
		5 B	6 C	7 N	8 O	9 F	10 Ne
		13 Al	14 Si	15 P	16 S	17 Cl	18 Ar
IB	IIB	31 Ga	32 Ge	33 As	34 Se	35 Br	36 Kr
29 Cu	30 Zn						
47 Ag	48 Cd	49 In	50 Sn	51 Sb	52 Te	53 I	54 Xe



Funktionsweise einer anorganischen LED

III-V-Kristallgitter einer anorganischen LED



						VIIIB	
		IIIB	IVB	VB	VIB	VIIIB	
		5 B	6 C	7 N	8 O	9 F	10 Ne
		13 Al	14 Si	15 P	16 S	17 Cl	18 Ar
29 Cu	30 Zn	31 Ga	32 Ge	33 As	34 Se	35 Br	36 Kr
47 Ag	48 Cd	49 In	50 Sn	51 Sb	52 Te	53 I	54 Xe

n-Leitung

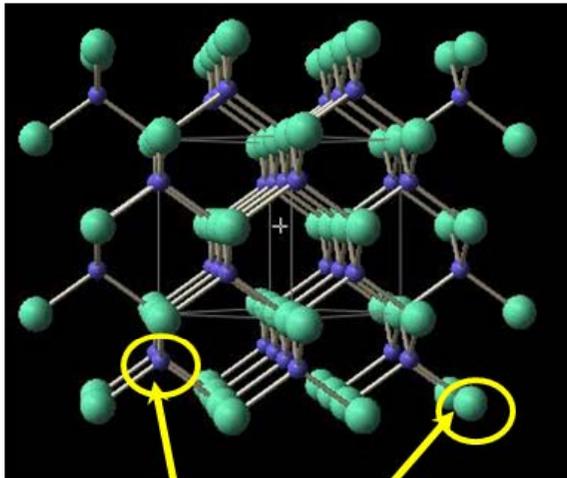


Ferminiveau



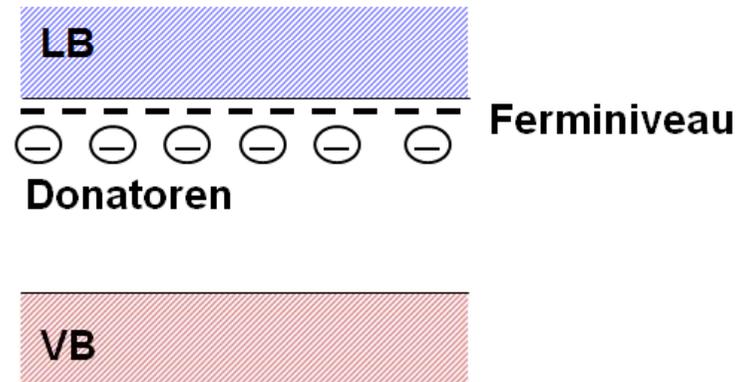
Funktionsweise einer anorganischen LED

III-V-Kristallgitter einer anorganischen LED

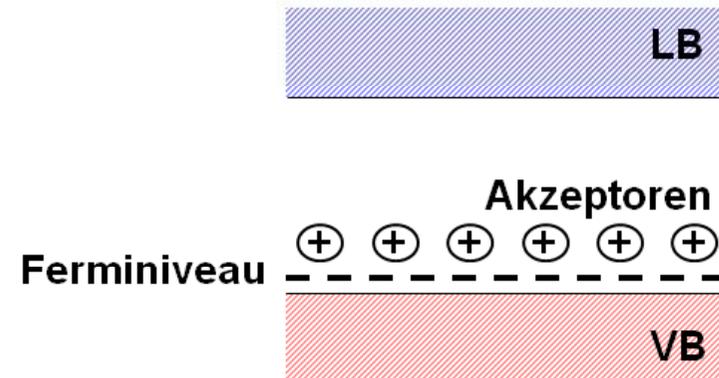


						VIIIB	
		IIIB	IVB	VB	VIB	VIIIB	
		5 B	6 C	7 N	8 O	9 F	10 Ne
		13 Al	14 Si	15 P	16 S	17 Cl	18 Ar
29 Cu	30 Zn	31 Ga	32 Ge	33 As	34 Se	35 Br	36 Kr
47 Ag	48 Cd	49 In	50 Sn	51 Sb	52 Te	53 I	54 Xe

n-Leitung

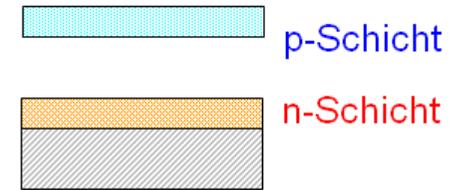
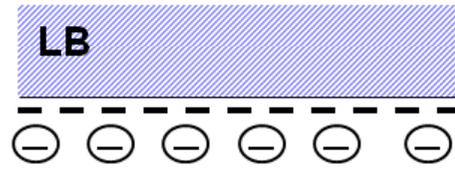


p-Leitung

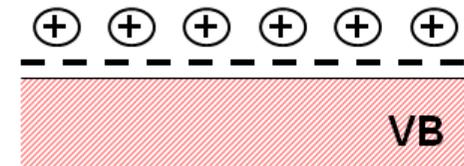


Funktionsweise einer anorganischen LED

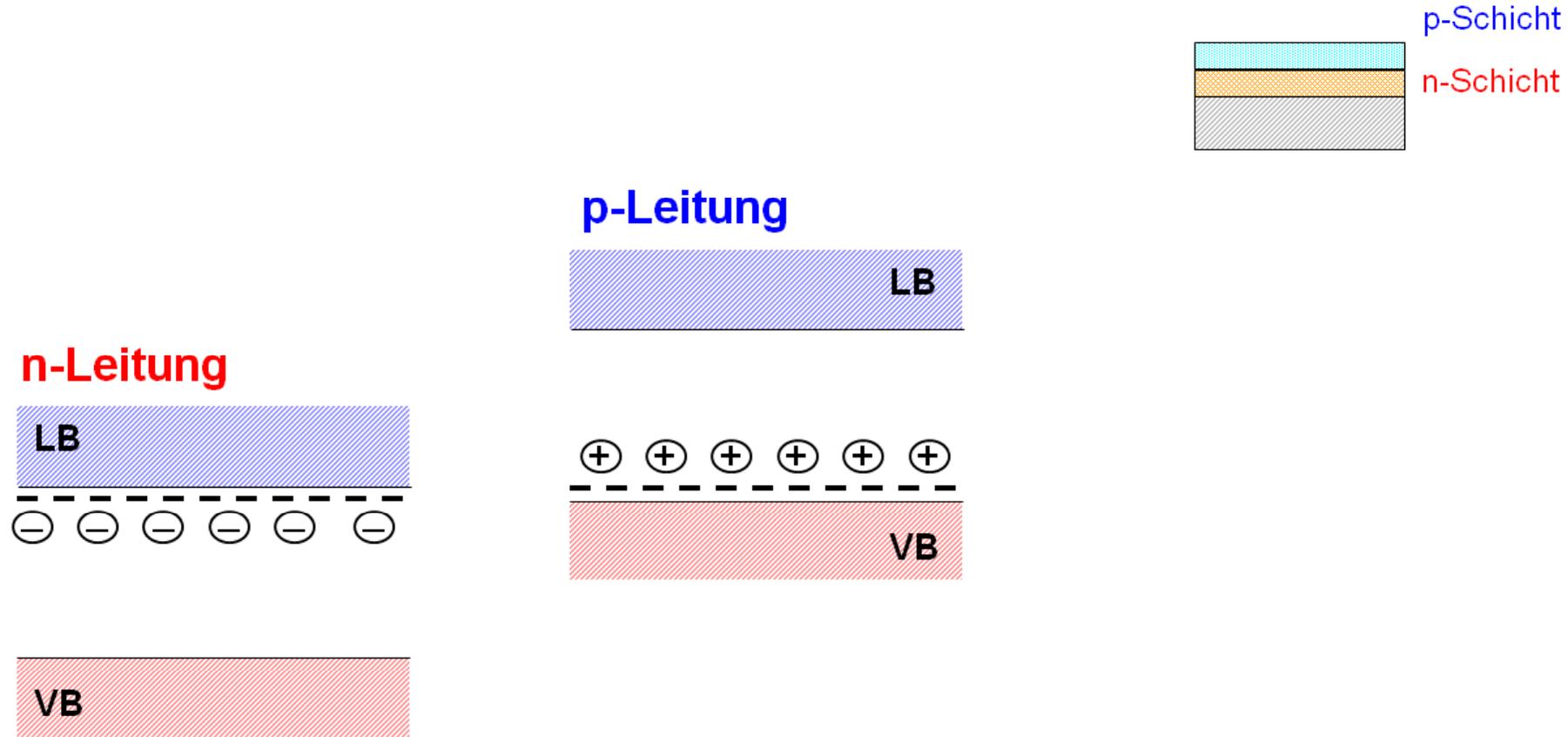
n-Leitung



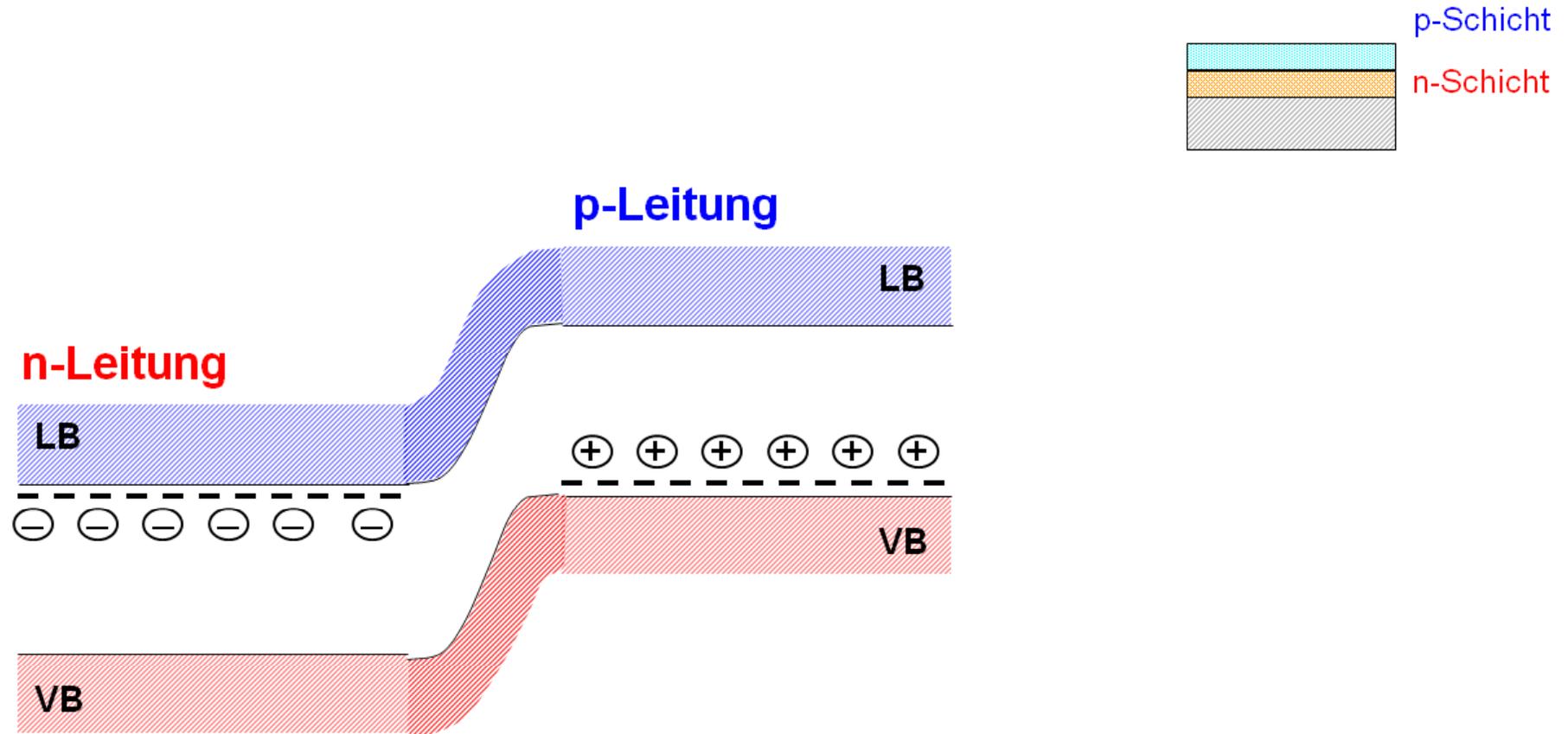
p-Leitung



Funktionsweise einer anorganischen LED

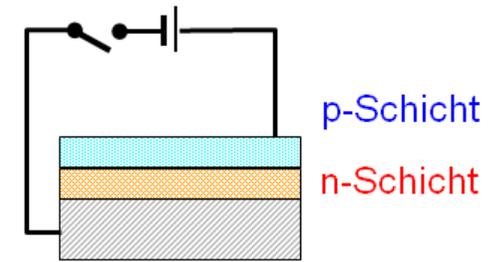
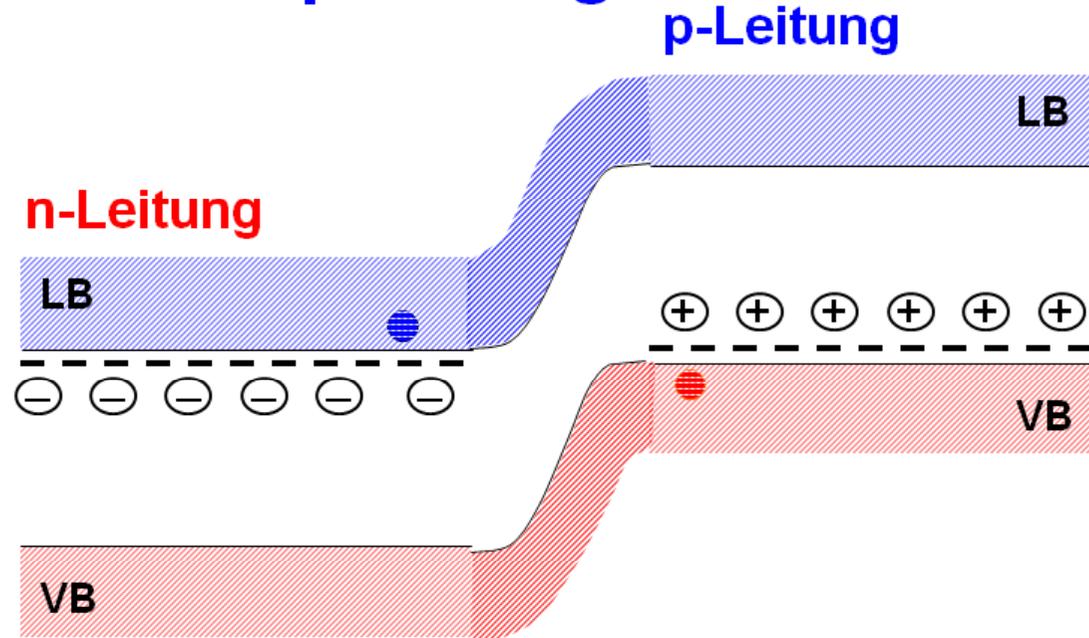


Funktionsweise einer anorganischen LED



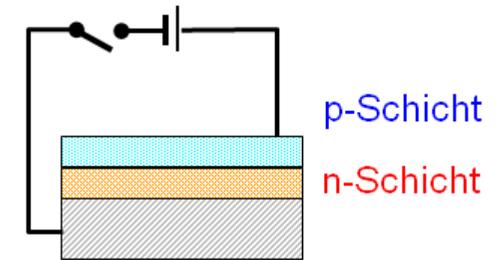
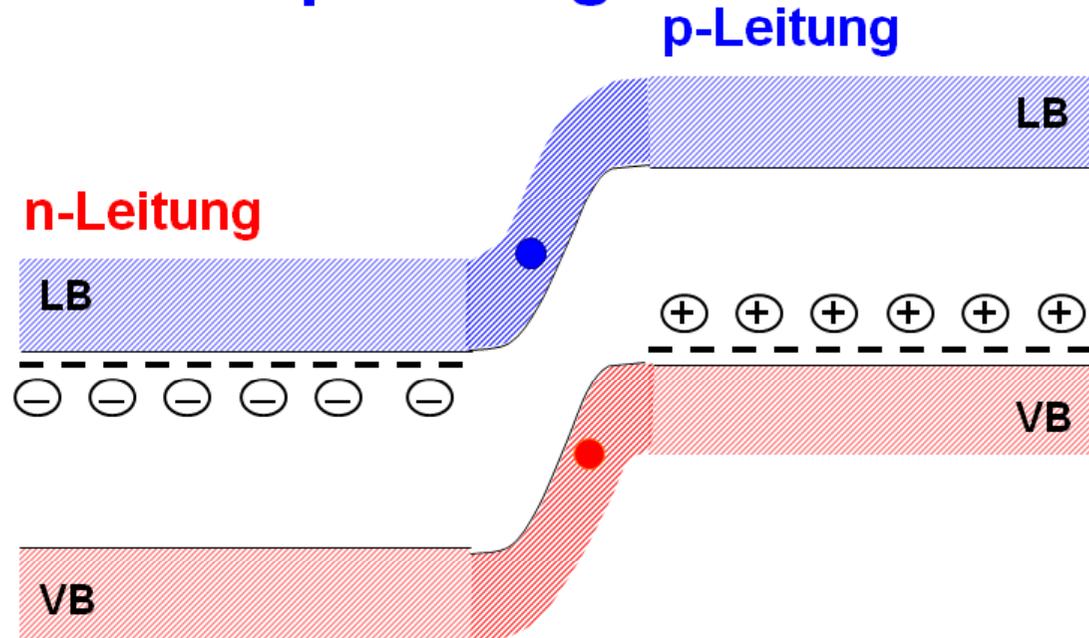
Funktionsweise einer anorganischen LED

ohne
Flussspannung

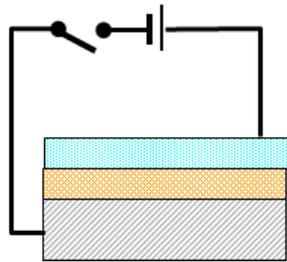


Funktionsweise einer anorganischen LED

ohne
Flussspannung

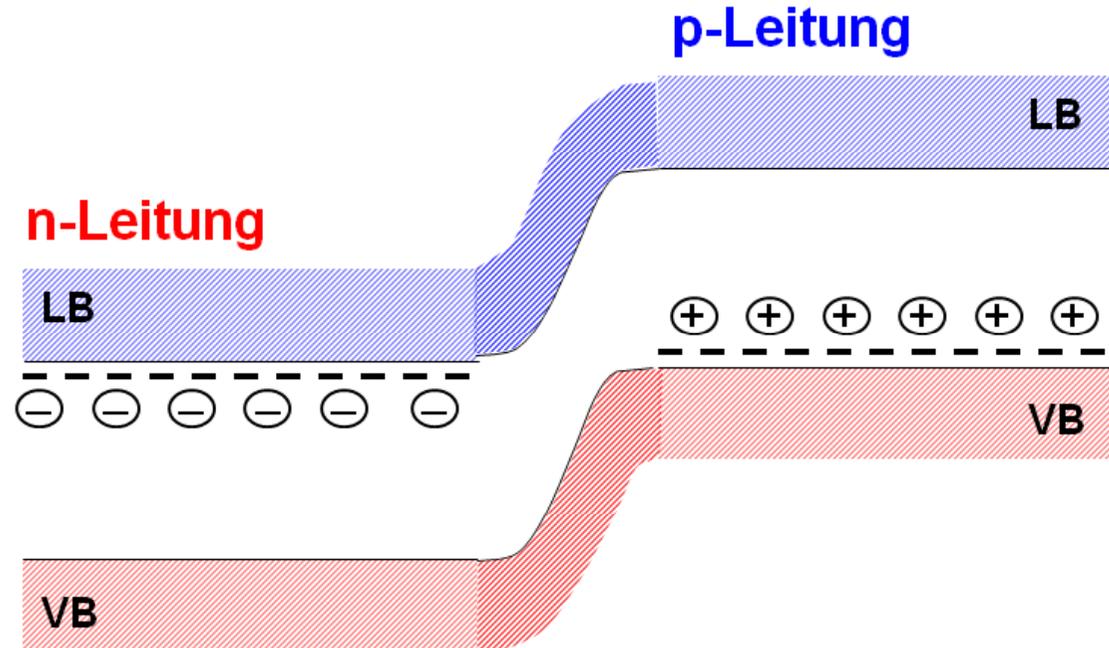
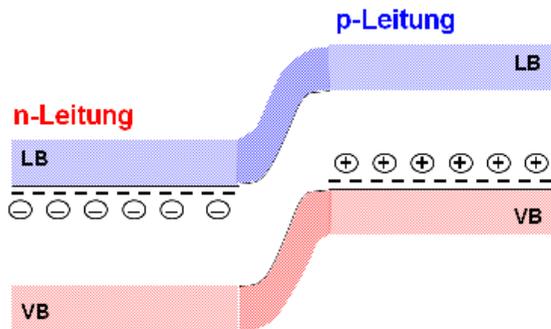


Funktionsweise einer anorganischen LED

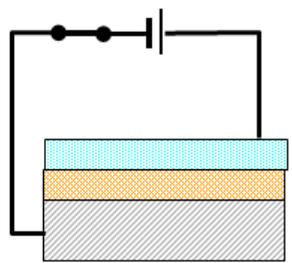


ohne Flußspannung

ohne Flußspannung

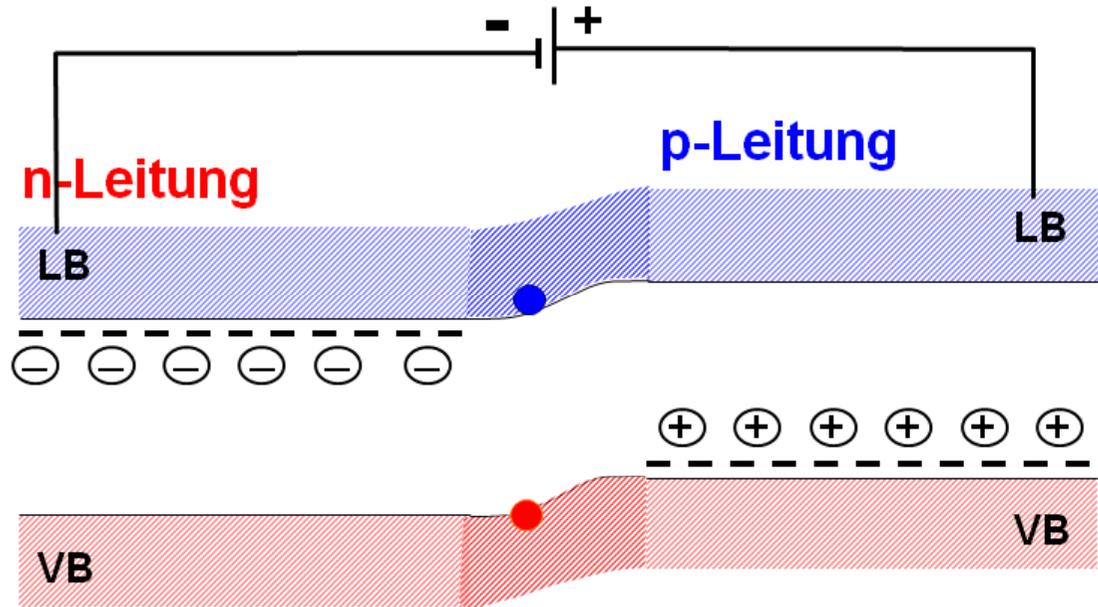
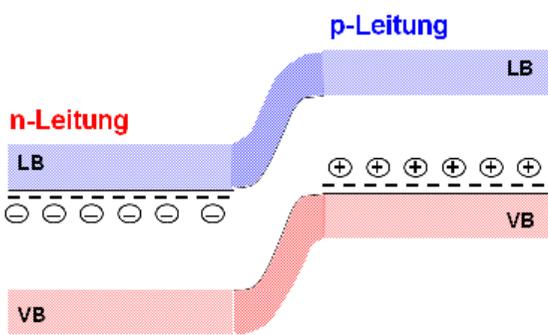


Funktionsweise einer anorganischen LED

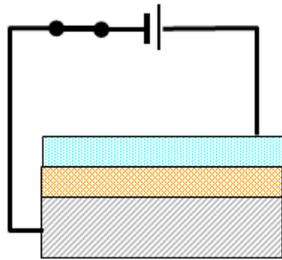


mit Flußspannung

ohne Flußspannung

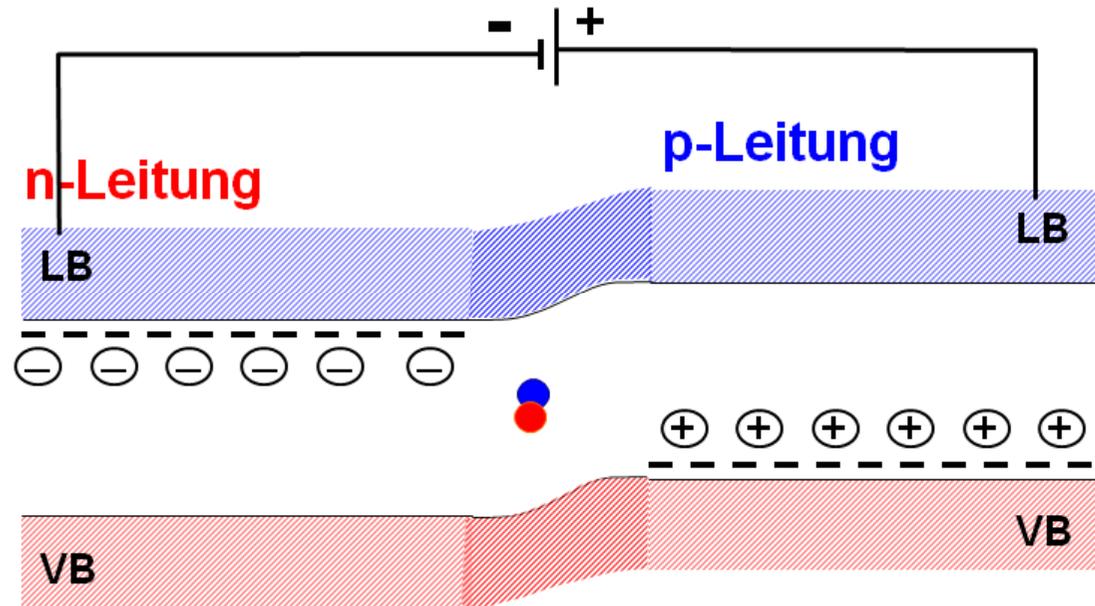
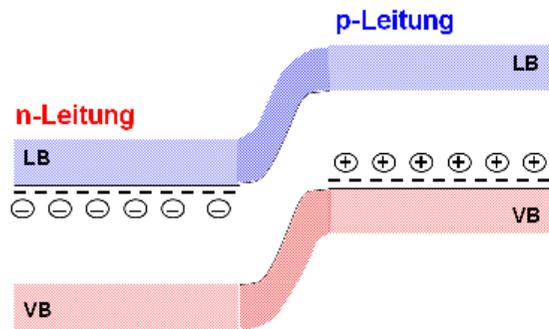


Funktionsweise einer anorganischen LED

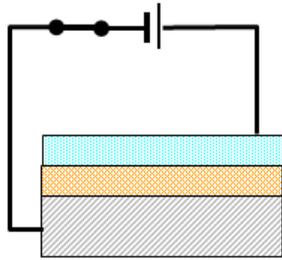


mit Flußspannung

ohne Flußspannung

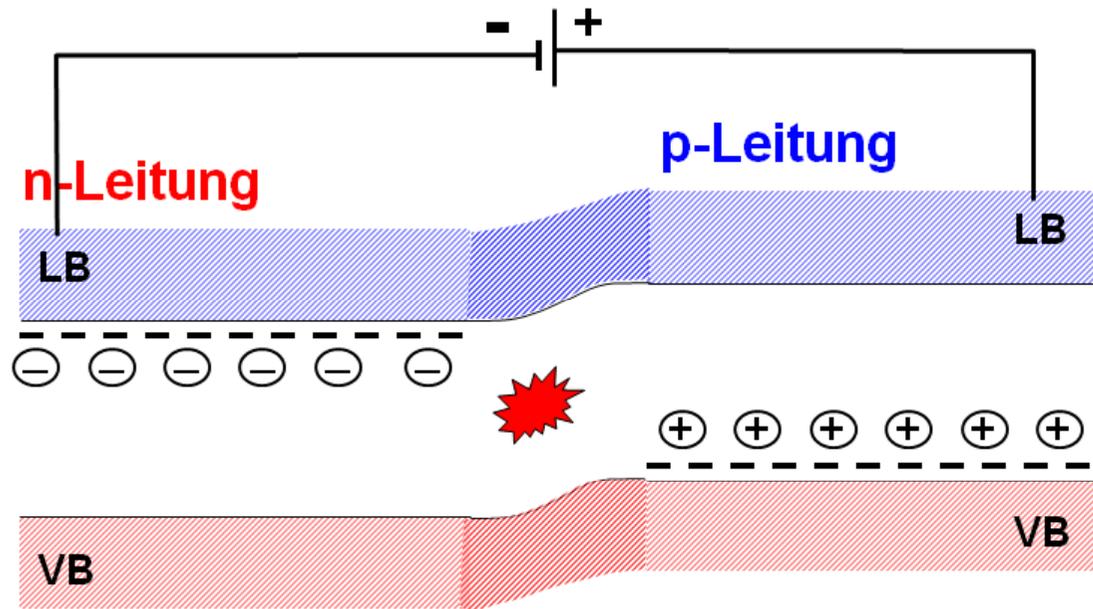
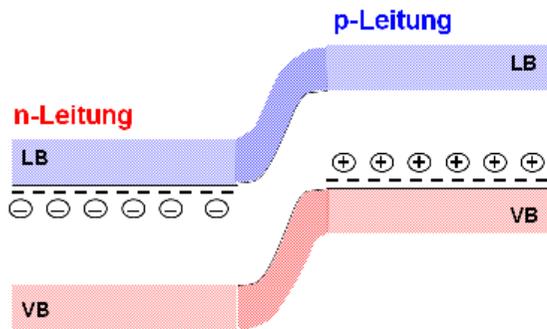


Funktionsweise einer anorganischen LED

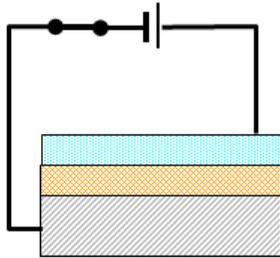


mit Flußspannung

ohne Flußspannung

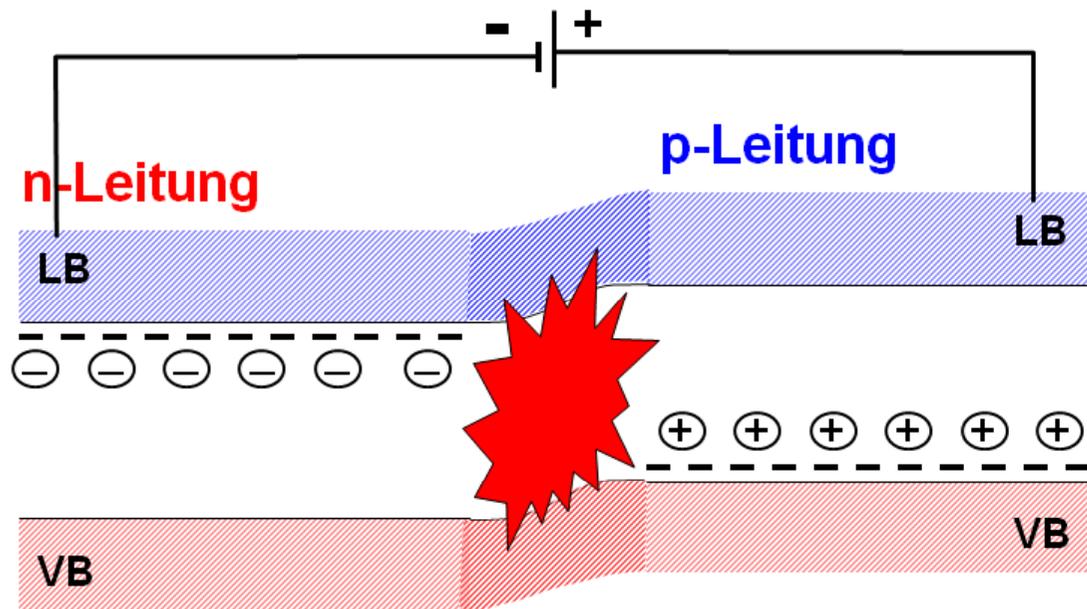
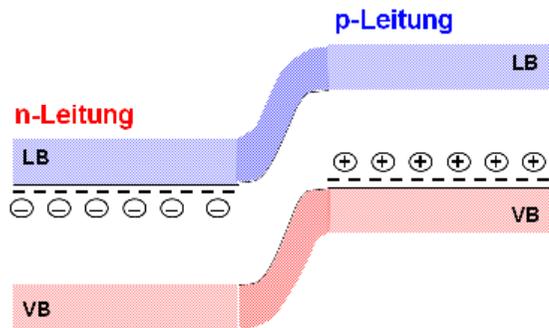


Funktionsweise einer anorganischen LED



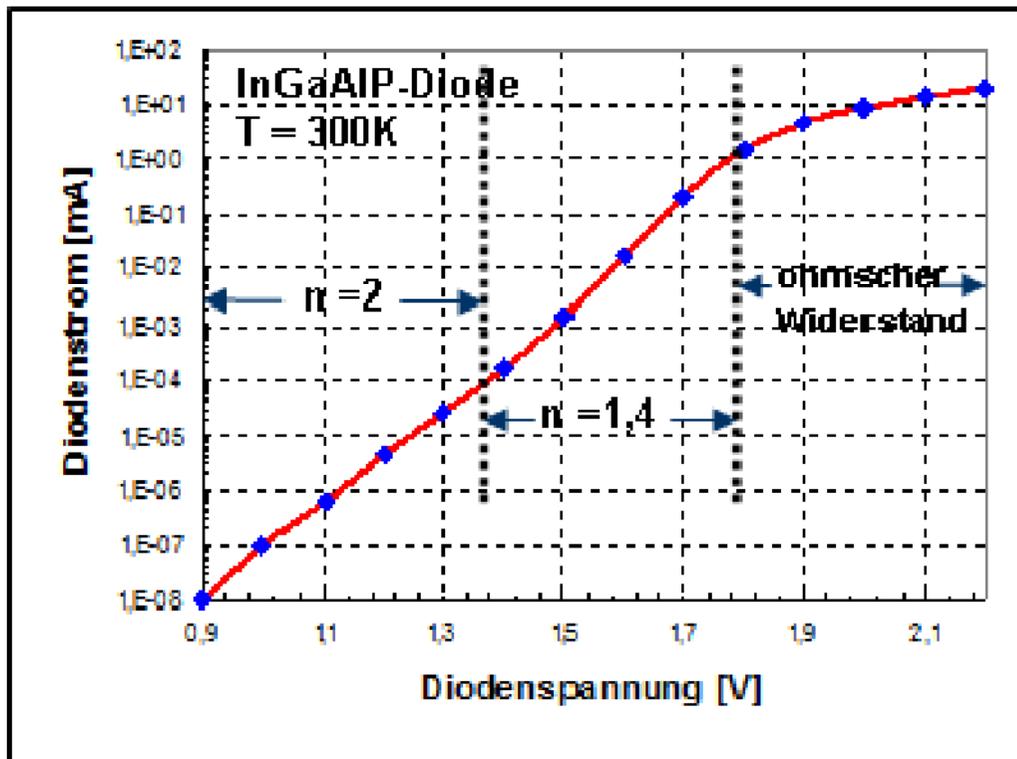
mit Flußspannung

ohne Flußspannung



Strom-Spannungskennlinie einer anorganischen LED

Reale Shockley-Gleichung und Kennlinie einer InGaAlP-LED bei Raumtemperatur T in logarithmischer Stromskala



Reale Shockley-Gleichung:

$$I(V) = I_s \cdot \left[\exp \frac{eV - eR_s I}{n k_B T} - 1 \right]$$

I_s = Sättigungsstrom

R_s = Serienwiderstand

n = Dioden Idealfaktor

High Brightness LED Prozesskette Schlüssel für eine hohe Lichteffizienz

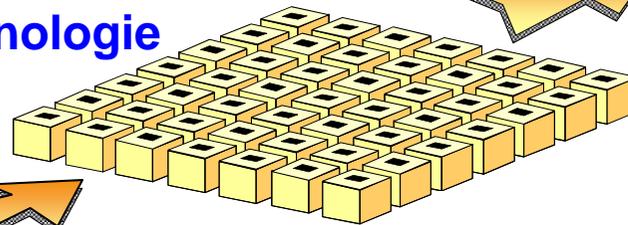
Schritte zur Herstellung einer LED: Epitaxie, Chip- & Gehäusetechnologie

**Metal Organic
Vapor Phase Epitaxy**

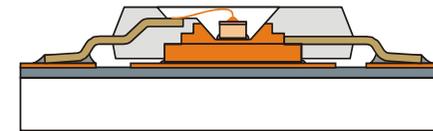


Epitaxie

**Chip
Technologie**

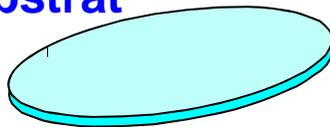


Gehäuse



**Wärmeabfuhr
Lichtauskopplung
(λ-Konversion
+ Stokes-Verluste)**

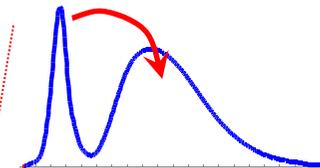
Substrat



Interne Effizienz

Elektr. Verluste

Lichtauskopplung



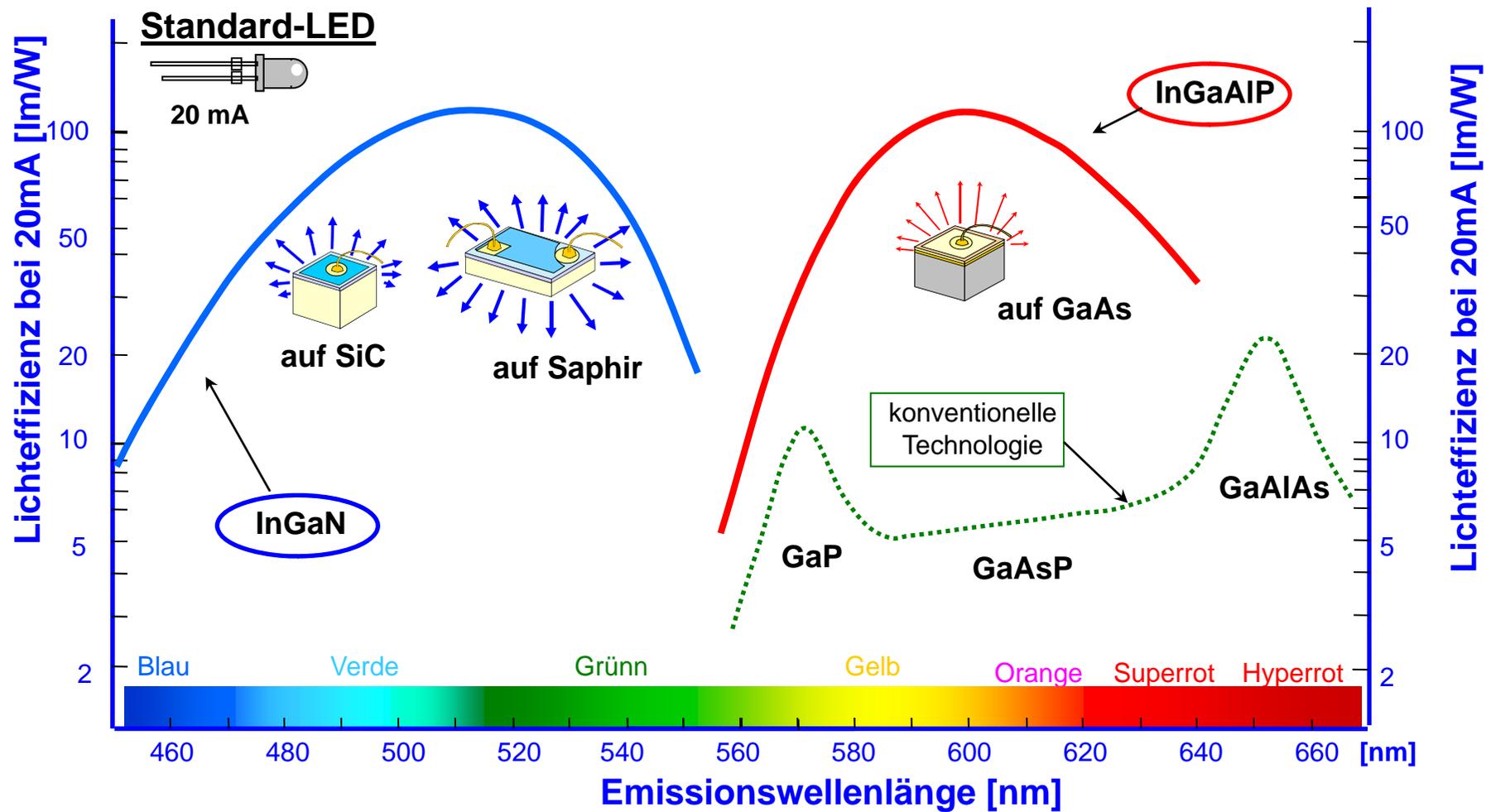
$$\eta_{\text{Wall plug}} = \eta_{\text{int}} \cdot \eta_{\text{electr}} \cdot \eta_{\text{extr}} \cdot \eta_{\text{package}}$$

@ 350 mA GaInN (white, 5000K): 40% = 75% 87% 86% 71% → 136 lm/W

Beispiel **OSRAM** Weltrekord 07/2008

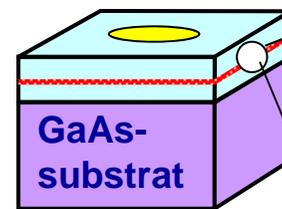
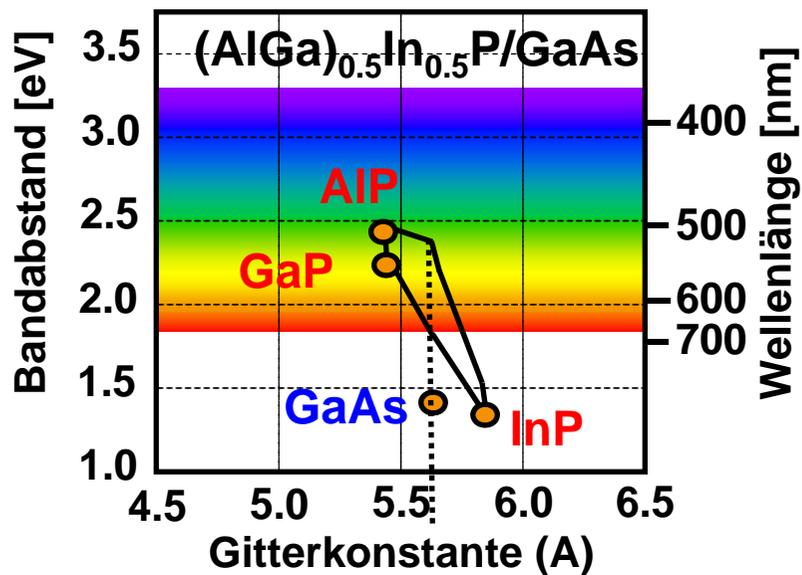
Later reported records: Cree 05/2011: 213 lm/W; Nichia 02/2009: 145 lm/W

Lichteffizienz bei InGaN- und InGaAlP-LED in Abhängigkeit der Wellenlänge

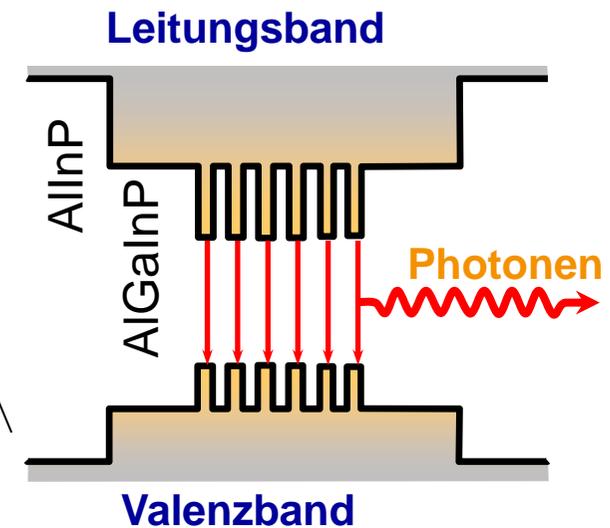


„Bandgap Engineering“ am Beispiel hoch effizienter (AlGa)InP LED

Bandabstand in Abhängigkeit der Gitterkonstanten von AlGaInP (links) und Multi-Quantumwell-Struktur in der aktiven Zone („Bandgap Engineering“) (rechts).



Gitterangepasste aktive BG-Struktur



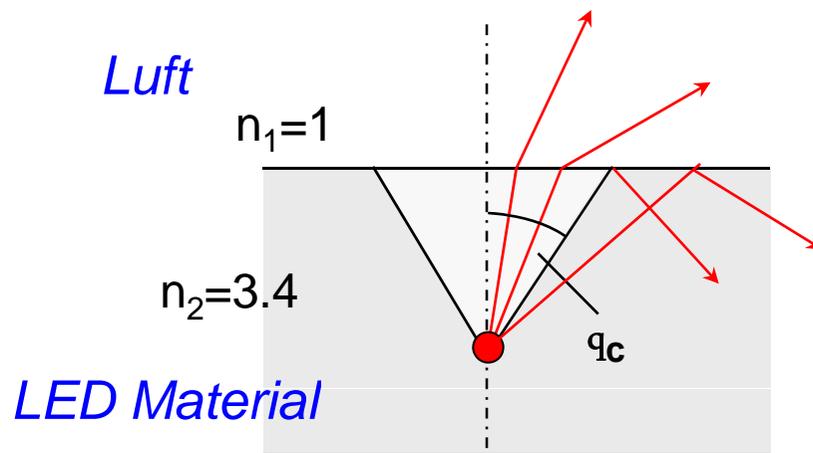
Quanten-Töpfe und Barrieren mit 5-10 nm Dicke



Hohe int. Quanten-Wirkungsgrad für rote Emission (90%)

Lichtauskopplung aus einem LED-Chip

Auf Grund des hohen Brechzahlunterschiedes können nur 2-4% der Photonen den Chip im ersten Durchgang verlassen



$$\Theta_c = \sin^{-1}(n_1 / n_2) \quad \text{Formel (1)}$$

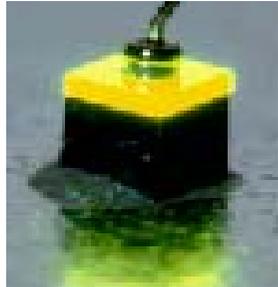
$$\eta_{\text{ext}} = \frac{1}{2} (1 - \cos \Theta_c) \left(1 - \frac{(n_m - n_s)^2}{(n_m + n_s)^2} \right) \quad \text{Formel (2)}$$

➔ Vergrößerung der Lichtaustrittsfläche

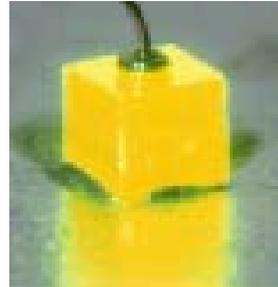
➔ Senkrechte Lichtführung durch Dünnschicht-Chipdesign

Chipkonzepte zur Steigerung der Lichtauskopplung

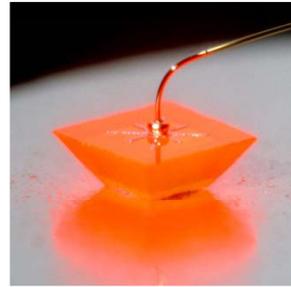
AlGaInP-Chipkonzepte von Philips Lumileds



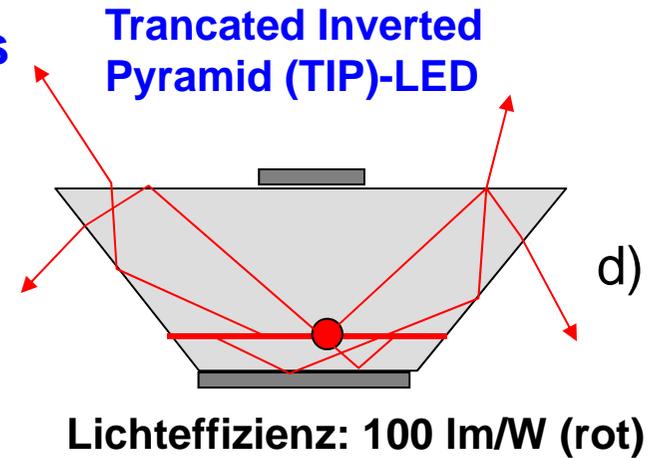
a)



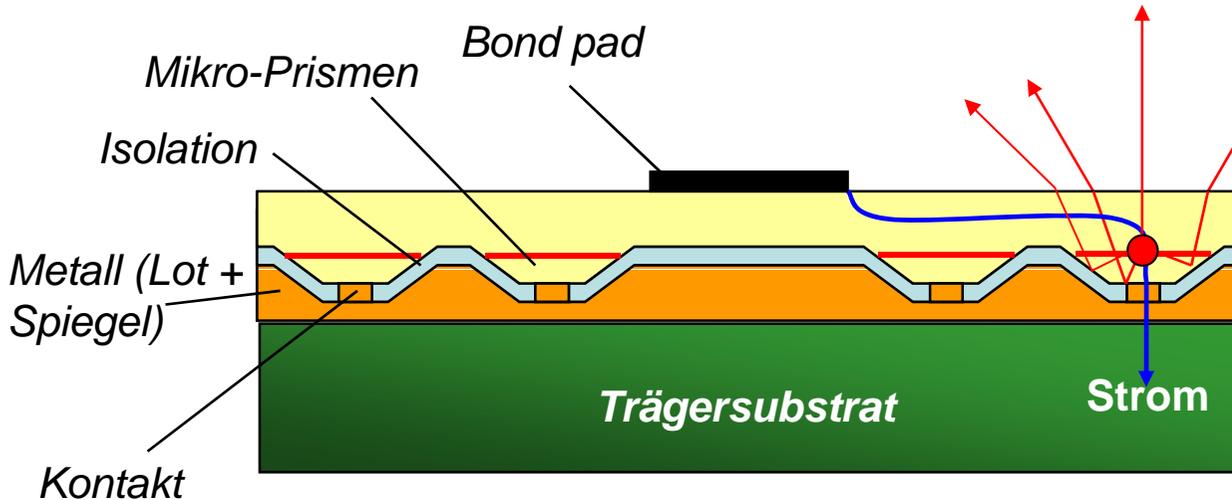
b)



c)



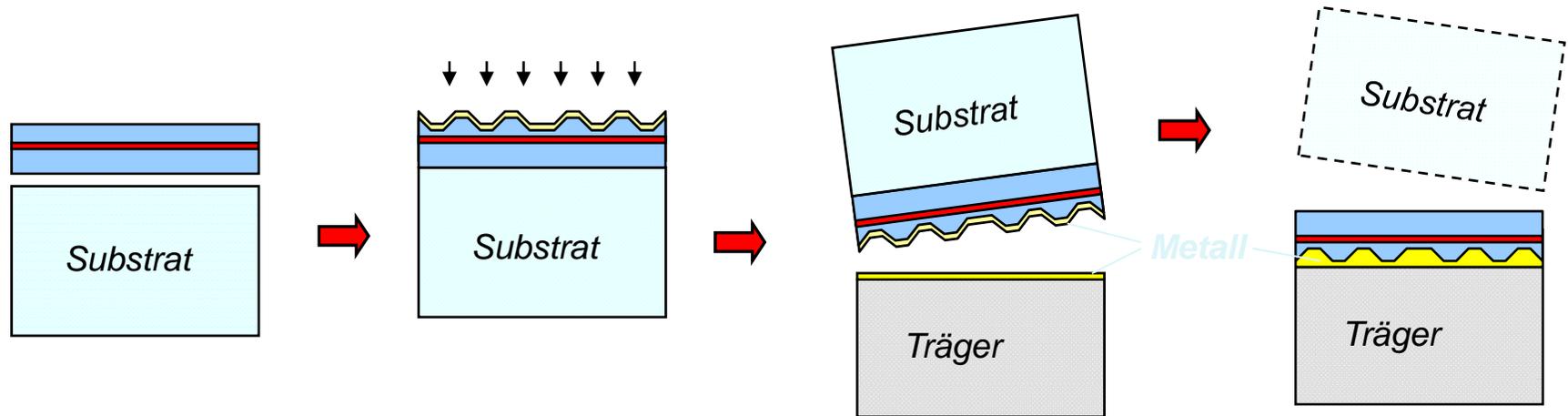
AlGaInP-Chipkonzept von OSRAM: Dünnschicht



Lichteffizienz: 100 lm/W
Höchste Leuchtdichte
Exzellente Skalierbarkeit



Leuchtdioden, Dünnschichttechnologie



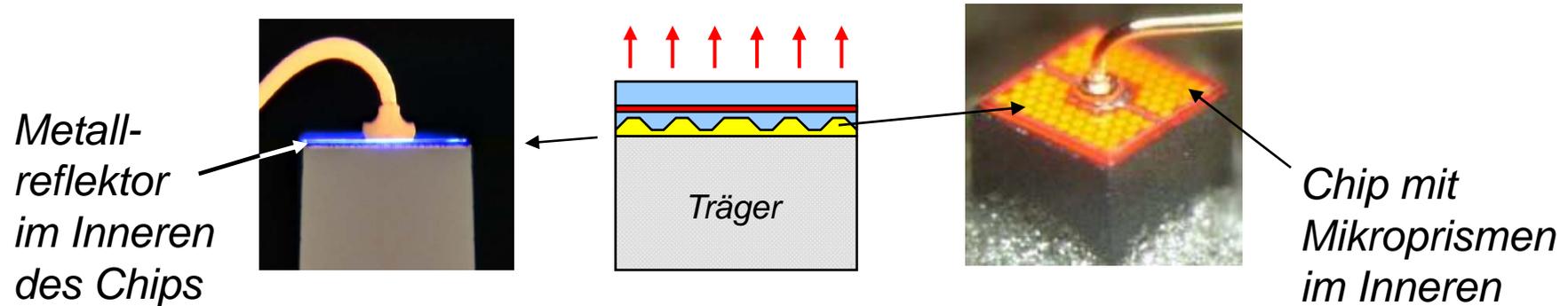
*Aufwachsen der
LED Schichten auf
einen Substrat-
Wafer
(z.B. GaAs, Saphir)*

*Bearbeiten der
Oberfläche*

*Auflöten auf
einen Träger-
Wafer
(z.B. Ge, Si...)*

*Entfernen des
alten Substrates*

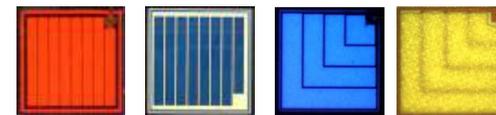
Leuchtdioden: Vorteile der Dünnschichttechnologie



Vorteile:

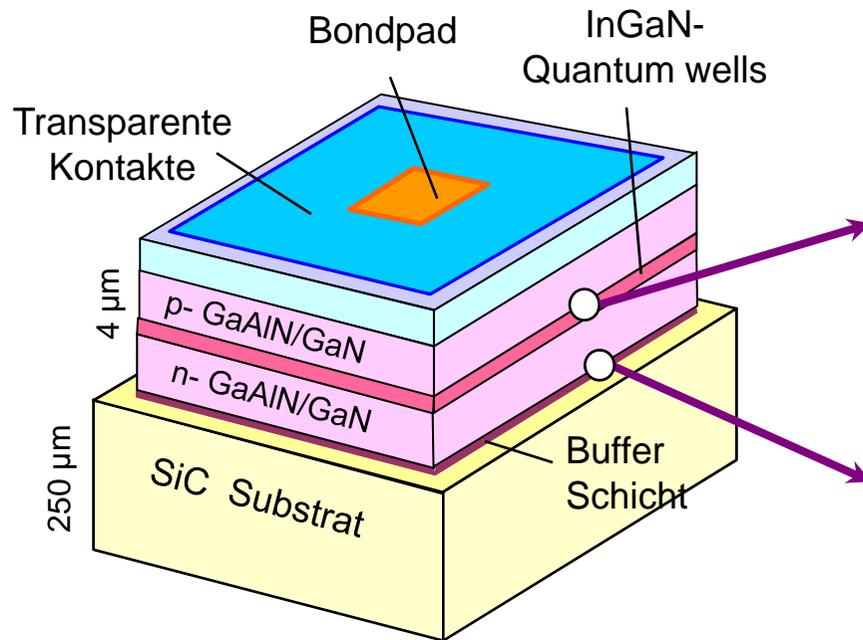
- Sehr hohe Energieeffizienz, > 50%
- Abstrahlung nur durch die Oberfläche, neue Möglichkeiten für 2D Arrays
- Effizienz unabhängig von der Chipgröße, Vorteil für große Leistungschips

*Dünnschicht Chips für alle Farben:
rot, infra-rot, blau und weiß*

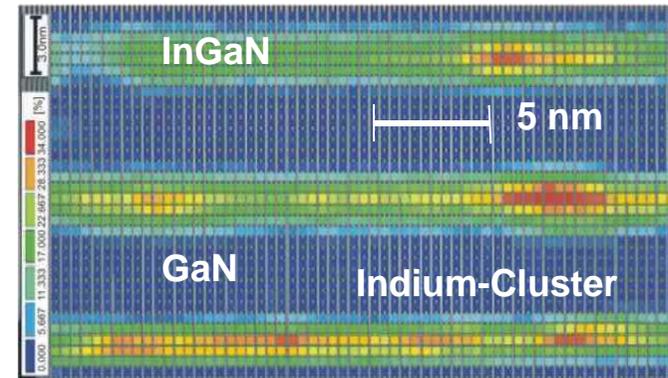


Kurzwellige Lichterzeugung (UV, Blau, Grün) mit InGaN-Technologie

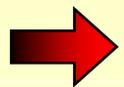
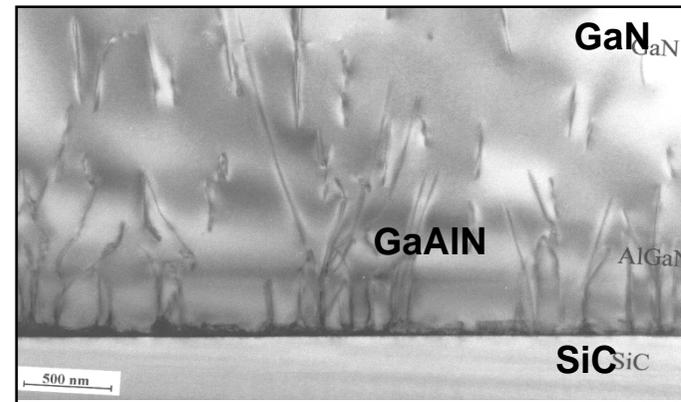
InGaN-Chip



UV - blau - grün



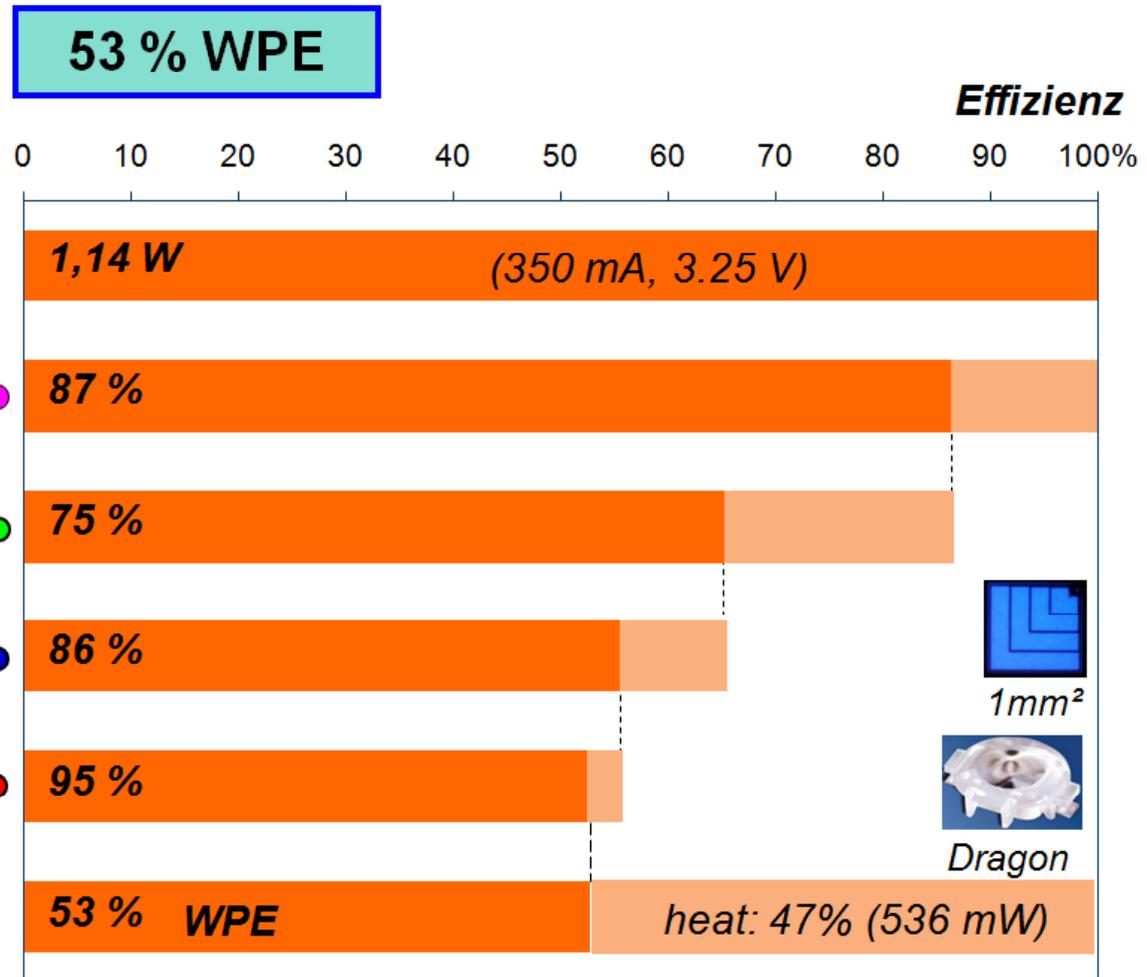
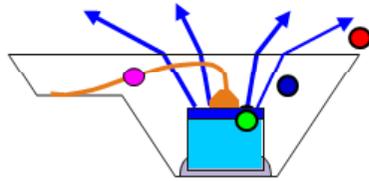
TEM-Analyse:
J. Zweck, Uni Regensburg



Bei kleinen Strömen sind derzeit WPE. > 50% erzielt >70% möglich

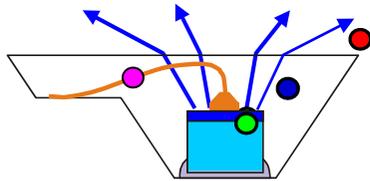
Effizienzpotential von blauen (440nm) InGaN-ThinGaN® Chips

Beste Dragon® heute @ 350 mA

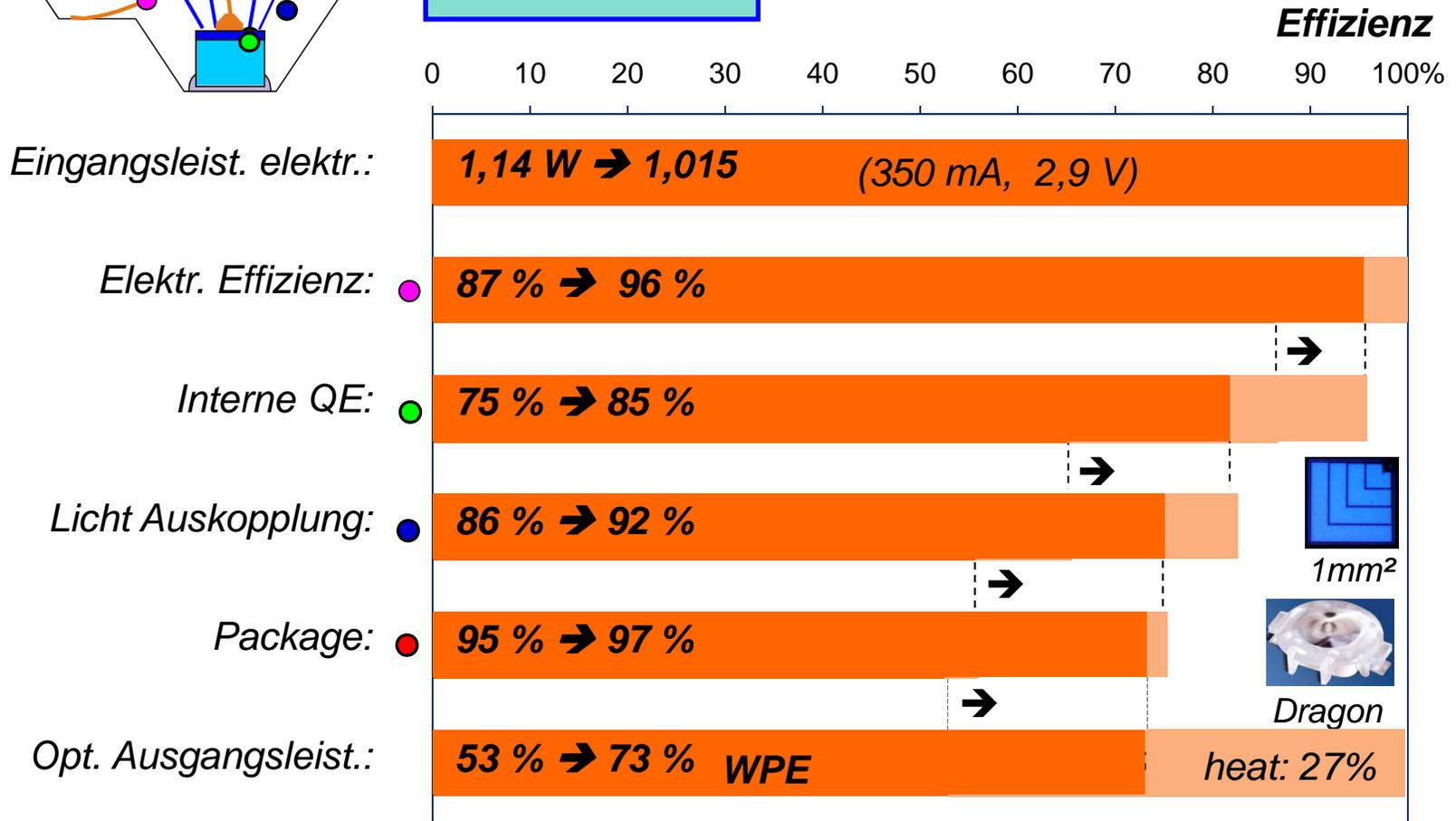


Effizienzpotential von blauen (440nm) InGaN-ThinGaN® Chips

In Zukunft @ 350 mA



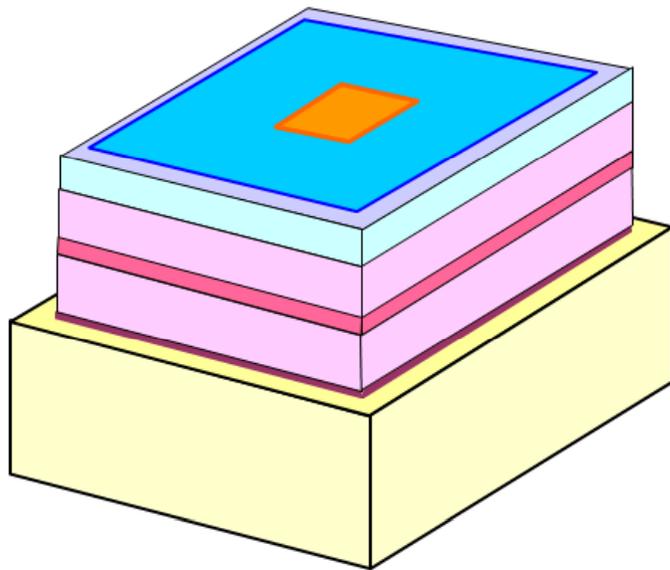
73 % WPE



Lichterzeugung von Weißlicht mit λ -Konversion

Die Mischung von primärem blauen LED Licht mit Phosphor ermöglicht die Erzeugung von Weißlicht.

InGaN blau



Lichterzeugung von Weißlicht mit λ -Konversion

Die Mischung von primärem blauen LED Licht mit Phosphor ermöglicht die Erzeugung von Weißlicht.

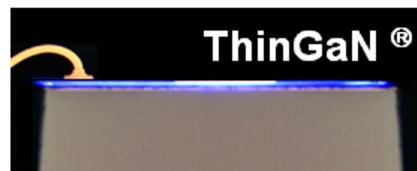
InGaN-Dünnschicht-Chip



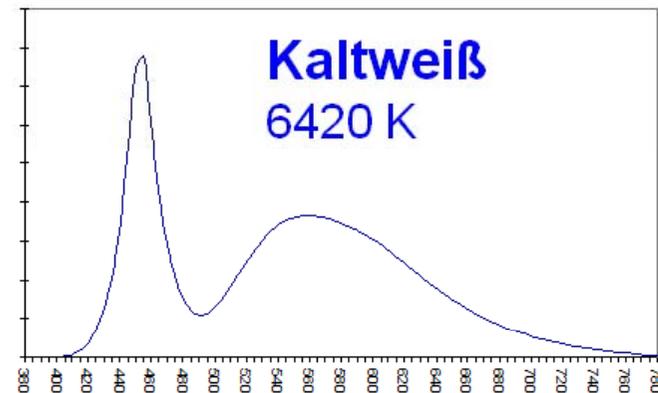
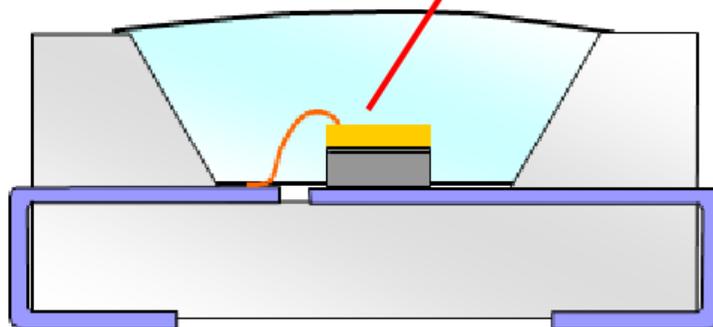
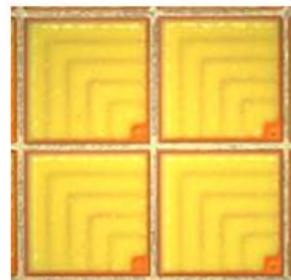
Lichterzeugung von Weißlicht mit λ -Konversion

Die Mischung von primärem blauen LED Licht mit Phosphor ermöglicht die Erzeugung von Weißlicht.

InGaN-Dünnsfilm-Chip



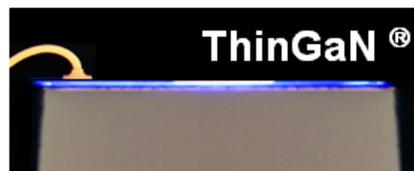
InGaN-ThinGaN mit Konversionsschicht



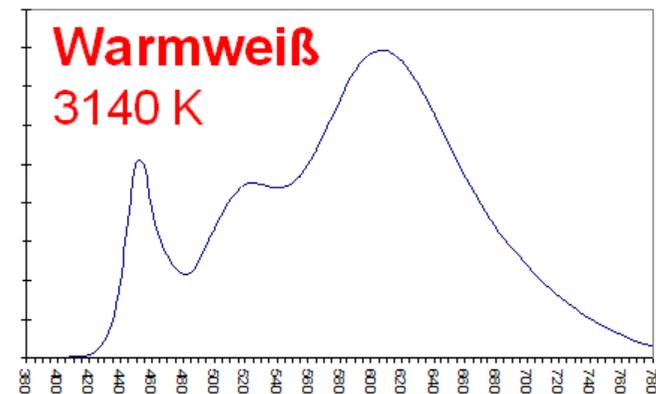
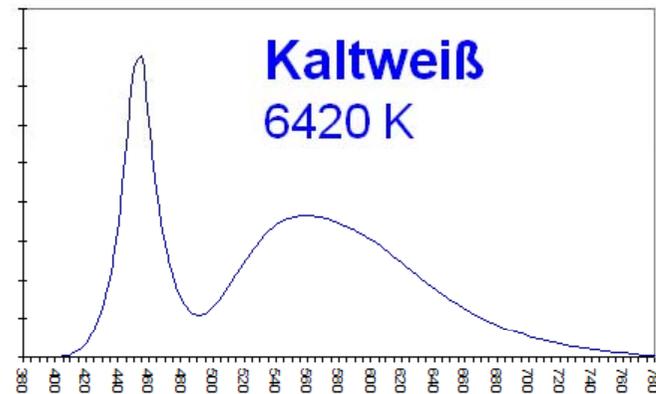
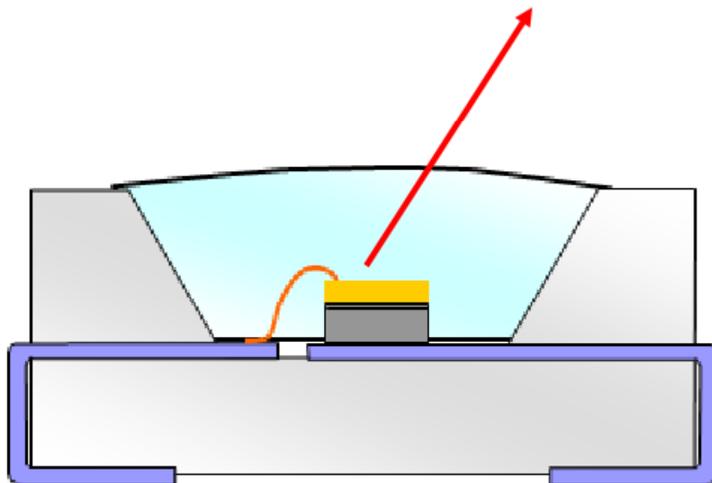
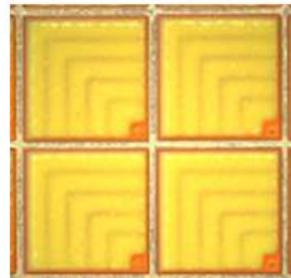
Lichterzeugung von Weißlicht mit λ -Konversion

Die Mischung von primärem blauen LED Licht mit Phosphor ermöglicht die Erzeugung von Weißlicht.

InGaN-Dünnsfilm-Chip



InGaN-ThinGaN mit Konversionsschicht

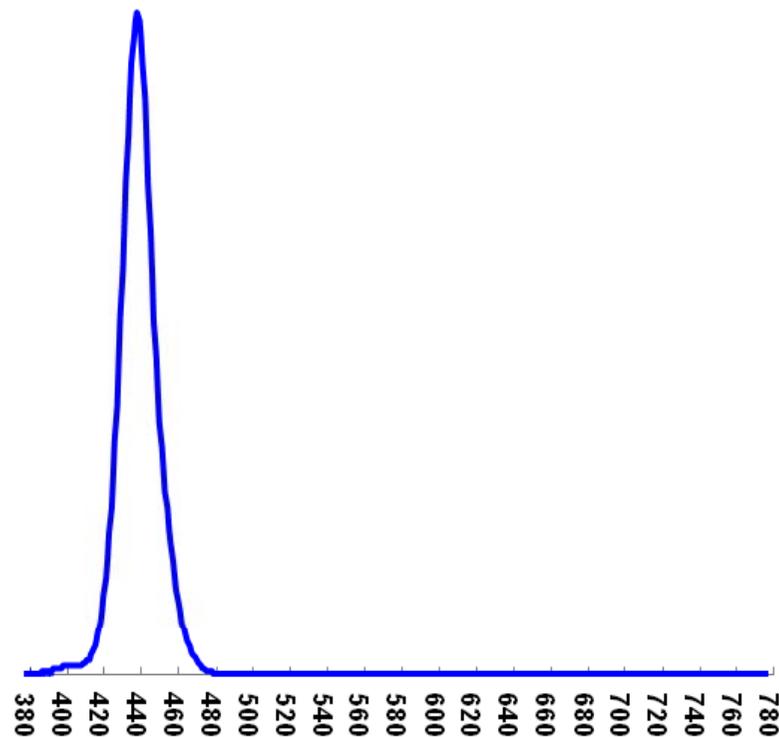


Verluste bei der Erzeugung weißen Lichtes

Weißer LED auf Phosphorbasis haben Konversionsverluste zwischen 30% und 50%.



InGaN = Indium, Gallium, Nitride



Verluste bei der Erzeugung weißen Lichtes

Weißer LED auf Phosphorbasis haben Konversionsverluste zwischen 30% und 50%.

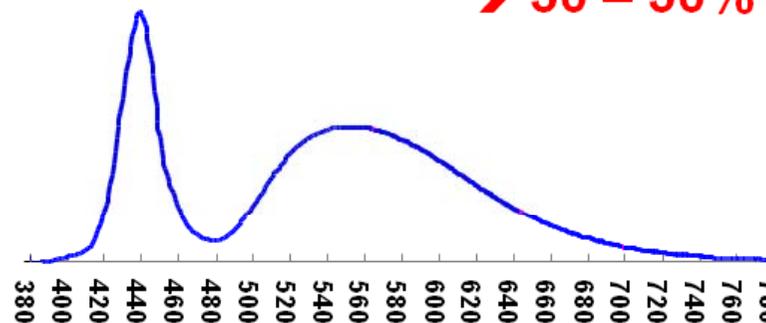


InGaN = Indium, Gallium, Nitride

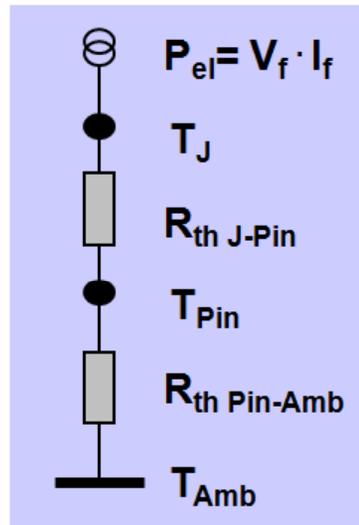
Konversions Verluste

- Phosphor Effizienz
- Scattering
- Stokes shift
- thermisches Quenching

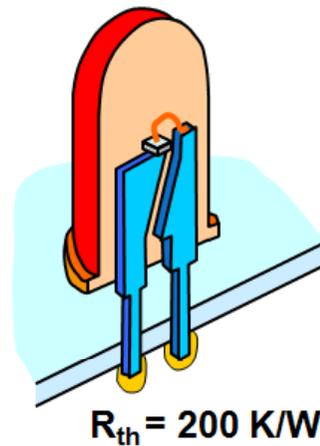
→ 30 – 50%



Temperaturmanagement ist entscheidend für die Effizienz und Performance von LED



Radiale LED
Chip 250 x 250 μm



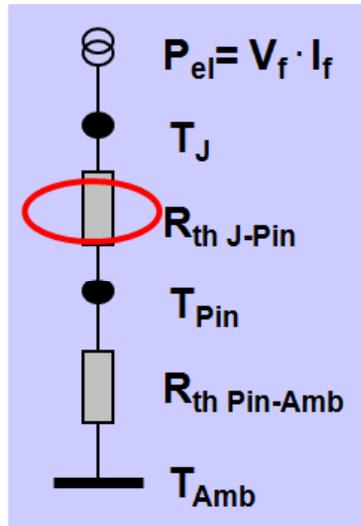
Junction-Temperatur

$$T_J = T_{Amb} + (R_{th\ J-Pin} + R_{th\ Pin-Amb}) \cdot V_f \cdot I_f$$

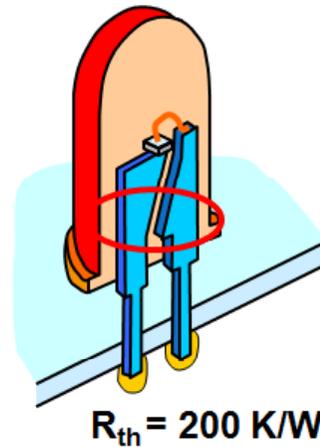
Light Output Power

$$LOP(T_J) = \sim \exp\left[-\frac{T_J - 25^\circ\text{C}}{T_0}\right]$$

Temperaturmanagement ist entscheidend für die Effizienz und Performance von LED



Radiale LED
Chip 250 x 250 μm



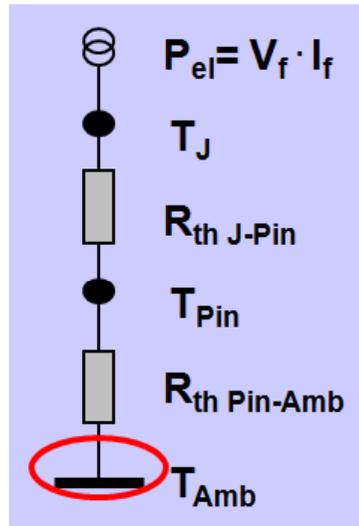
Junction-Temperatur

$$T_J = T_{Amb} + (R_{th\ J-Pin} + R_{th\ Pin-Amb}) \cdot V_f \cdot I_f$$

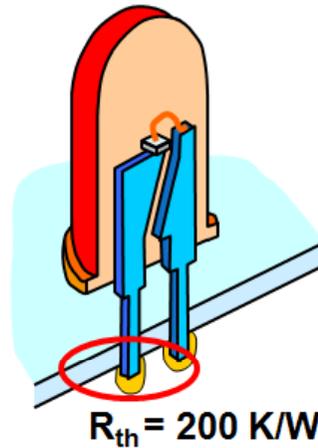
Light Output Power

$$LOP(T_j) = \sim \exp\left[-\frac{T_j - 25^\circ\text{C}}{T_0}\right]$$

Temperaturmanagement ist entscheidend für die Effizienz und Performance von LED



Radiale LED
Chip 250 x 250 μm



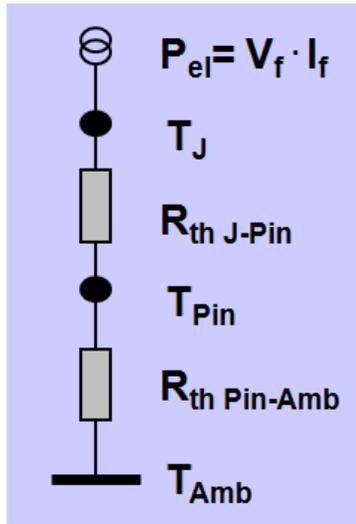
Junction-Temperatur

$$T_J = T_{Amb} + (R_{th\ J-Pin} + R_{th\ Pin-Amb}) \cdot V_f \cdot I_f$$

Light Output Power

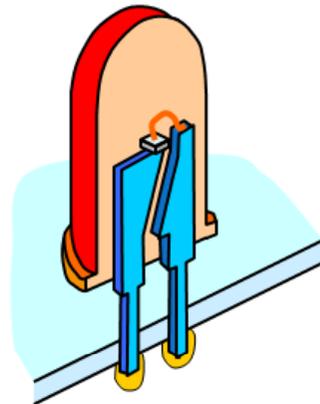
$$LOP(T_j) = \sim \exp\left[-\frac{T_j - 25^\circ\text{C}}{T_0}\right]$$

Temperaturmanagement ist entscheidend für die Effizienz und Performance von LED



Radiale LED

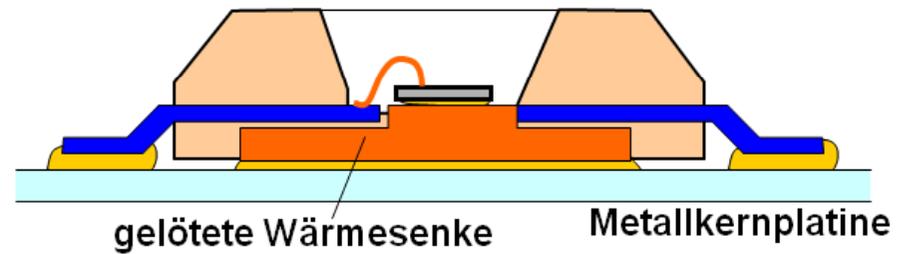
Chip 250 x 250 μm



$R_{th} = 200\ \text{K/W}$

High Power LED

Chip 1000 x 1000 μm



$R_{th} = 10\ \text{K/W}$



Luxeon K2
Philips
Lumileds



Golden
Dragon
OSRAM

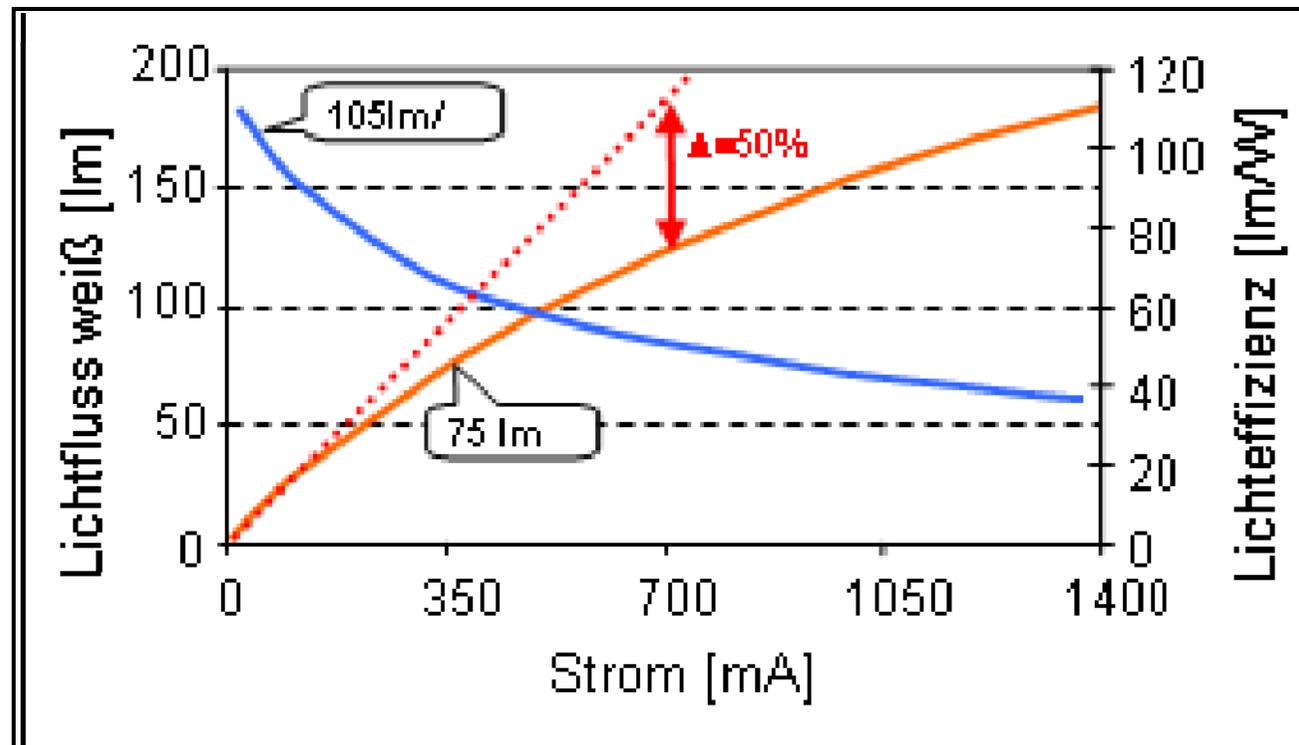
Klassen von Weiß-Leistungs-LED

Unterschiedliche Klassen von Weiß-Leistungsbauerelementen von OSRAM

Package	Package size (mm)	Thermal resistance (K/W)	Typ Chip size (μm)	Max DC current (mA)	Max output white (lm)
Power TOPLED 	2.8 x 3.5	130 - 180 K/W ↑	300 x 300 ↓	50-70 ↓	5 lm ↓
Advanced Power TOPLED 	3.3 x 3.4	40 - 60 K/W ↑	500 x 500 ↓	150 - 200 ↓	23 lm ↓
Golden DRAGON 	7.2 x 6.2	8 K/W ↑	1000 x 1000 ↓	400 - 1000 ↓	105 lm ↓
OSTAR 	10 x 30	3-5 K/W ↑	4 x 1mm ² ↓	1 A ↓	↓
OSTAR lighting 	23	2-3,6 K/W	6 x 1 mm ²	1000	600 lm ↓

Effizienzbilanzen von anorganischen LED

Licht- und Effizienz einer konvertierten Weißdiode mit einem 1mm² Chip in Abhängigkeit vom Strom.

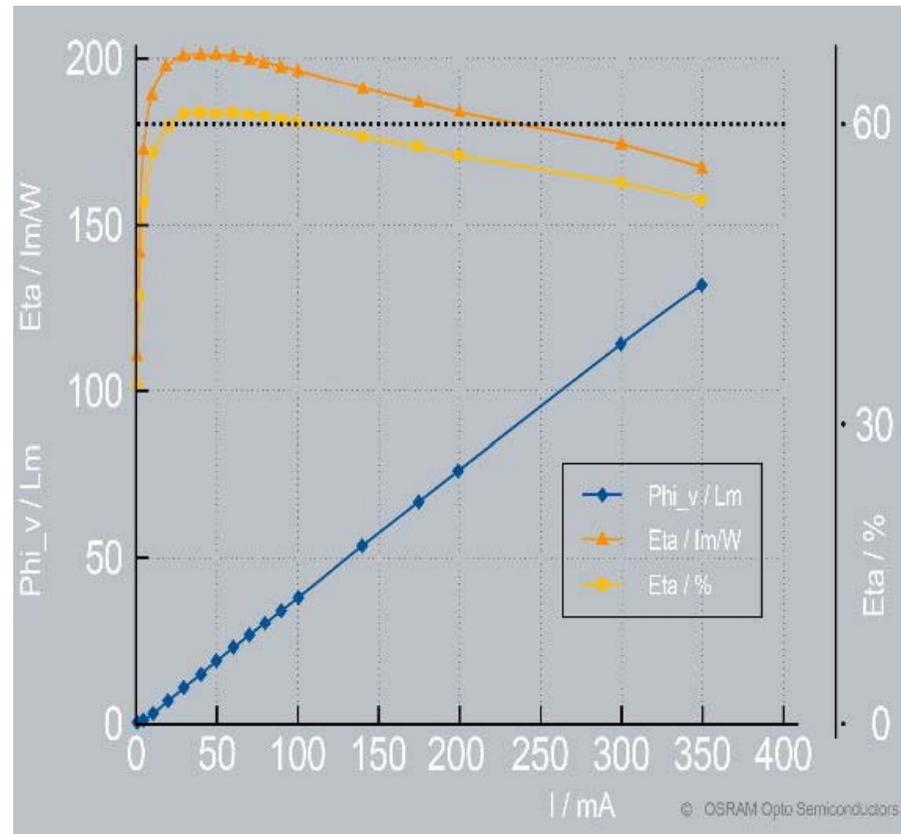


Quelle: OSRAM AG

Effizienzbilanzen von anorganischen LED

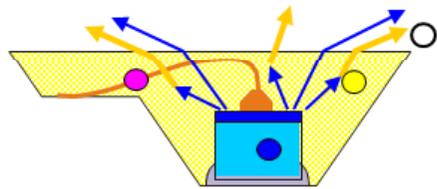
Licht- und Effizienz einer roten InGaAlP Diode mit einem 1mm^2 Chip im Laborgehäuse in Abhängigkeit vom Strom.

Die InGaAlP-Chiptechnologie ermöglicht bei geringer Stromdichte von 40mA eine Lichtausbeute von etwas mehr als 200 lm/W .

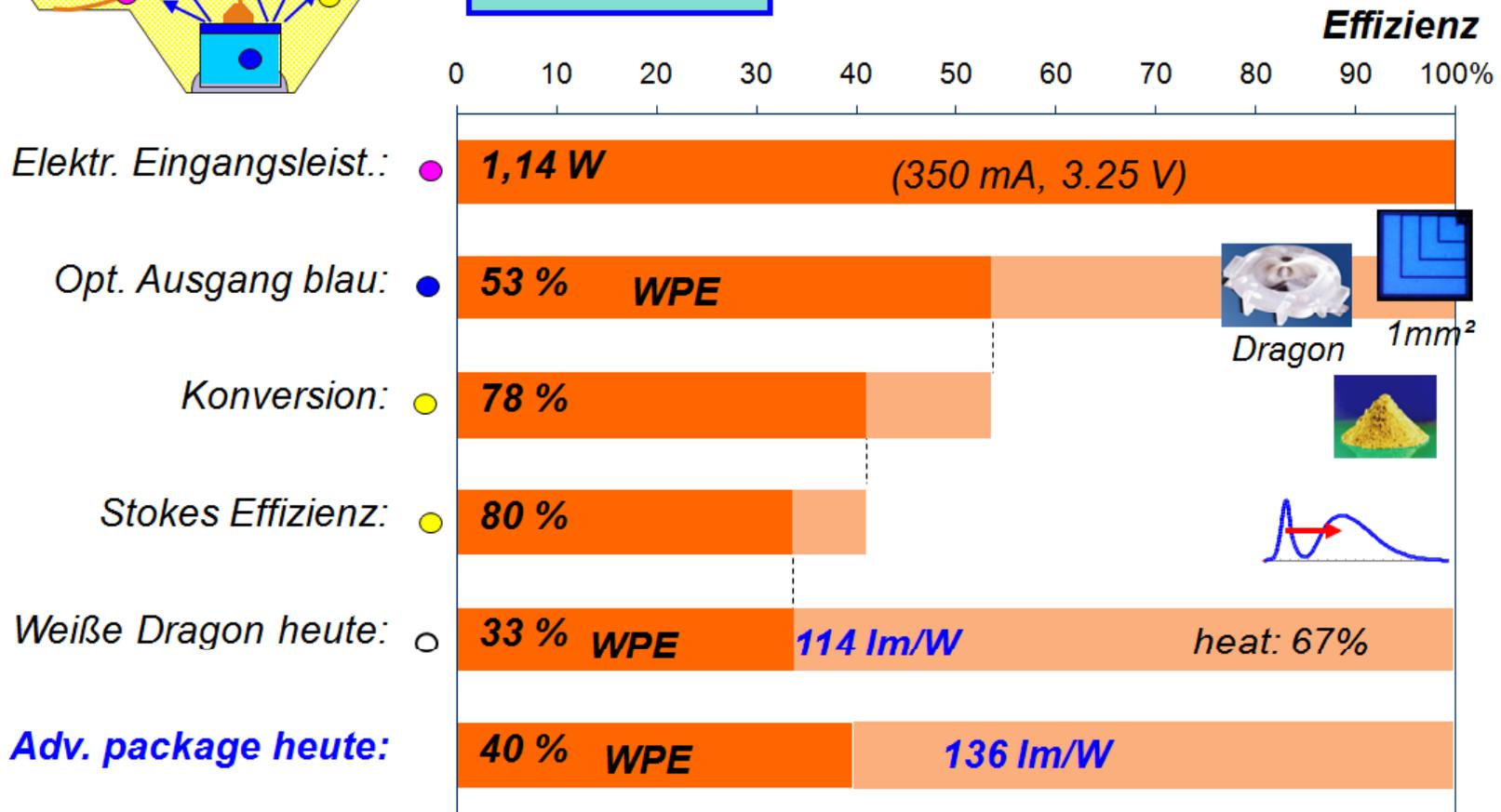


Effizienzpotential von kaltweißen (5000K) InGaN -ThinGaN® Chips

Beste Dragon® heute @ 350 mA

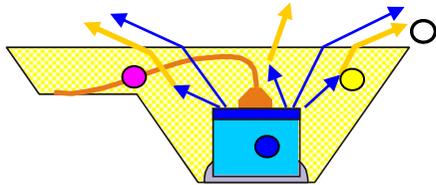


114 lm/W

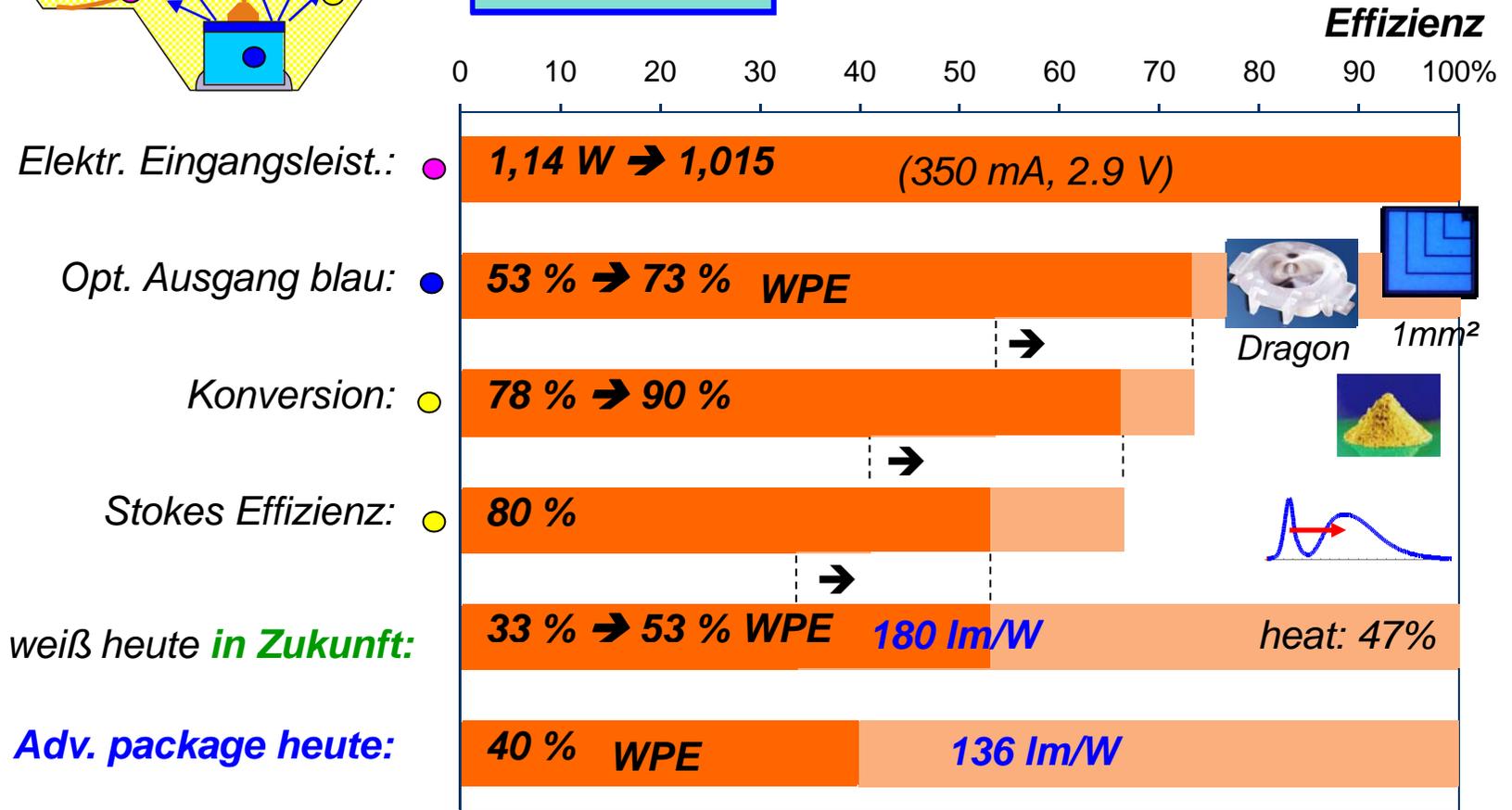


Effizienzpotential von kaltweißen (5000K) InGaN -ThinGaN® Chips

In Zukunft @ 350 mA

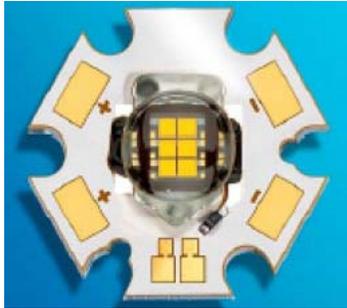


180 lm/W



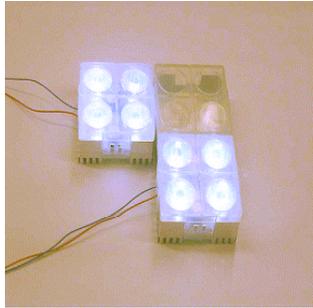
LED - Module

OSTAR lighting



OSRAM

12 W-Module



Philips

LED-String



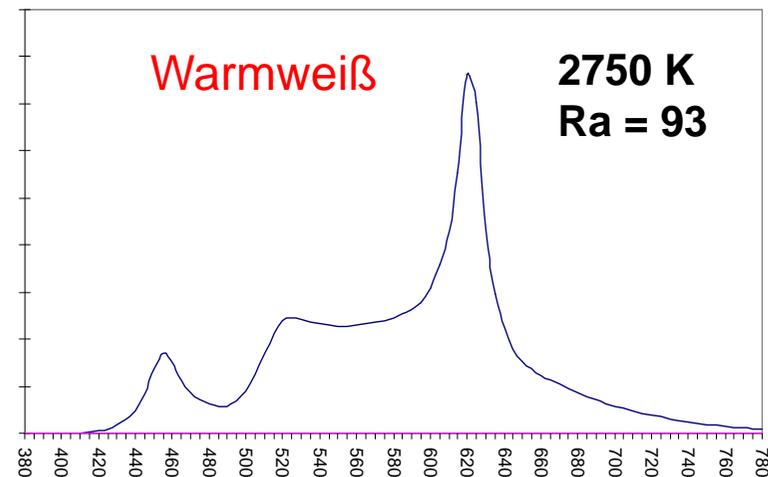
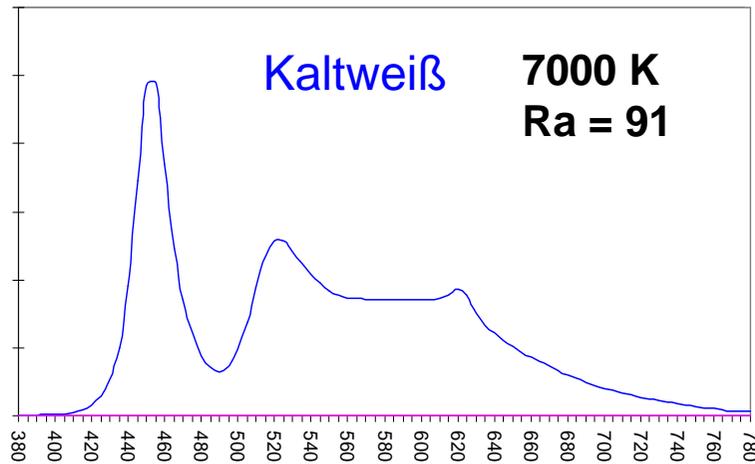
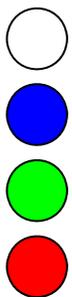
Philips

LEDline-Leuchte



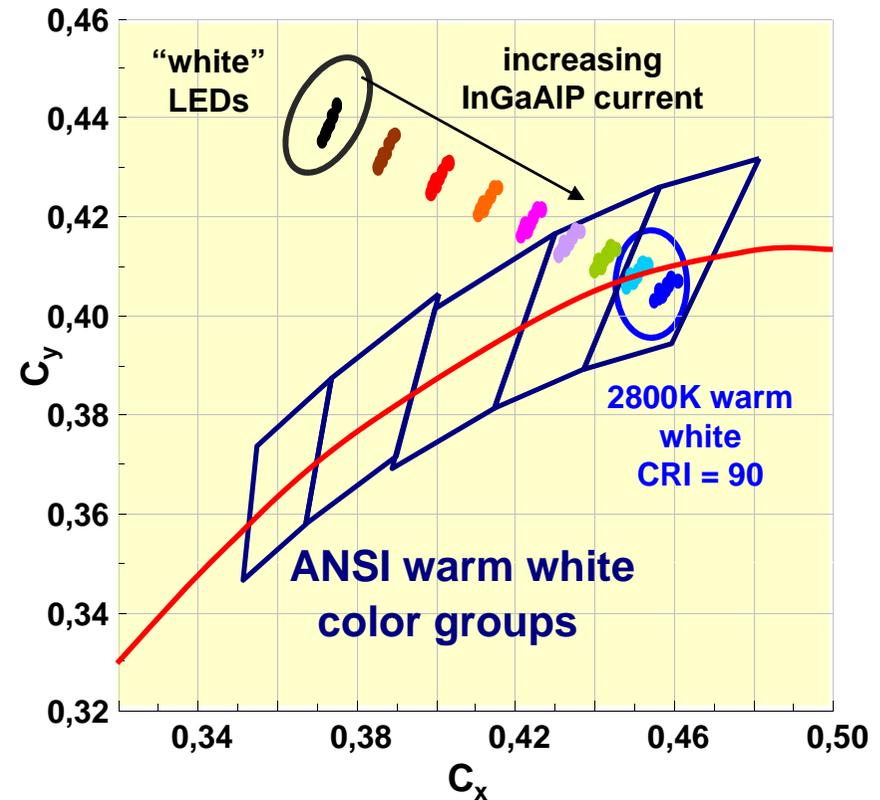
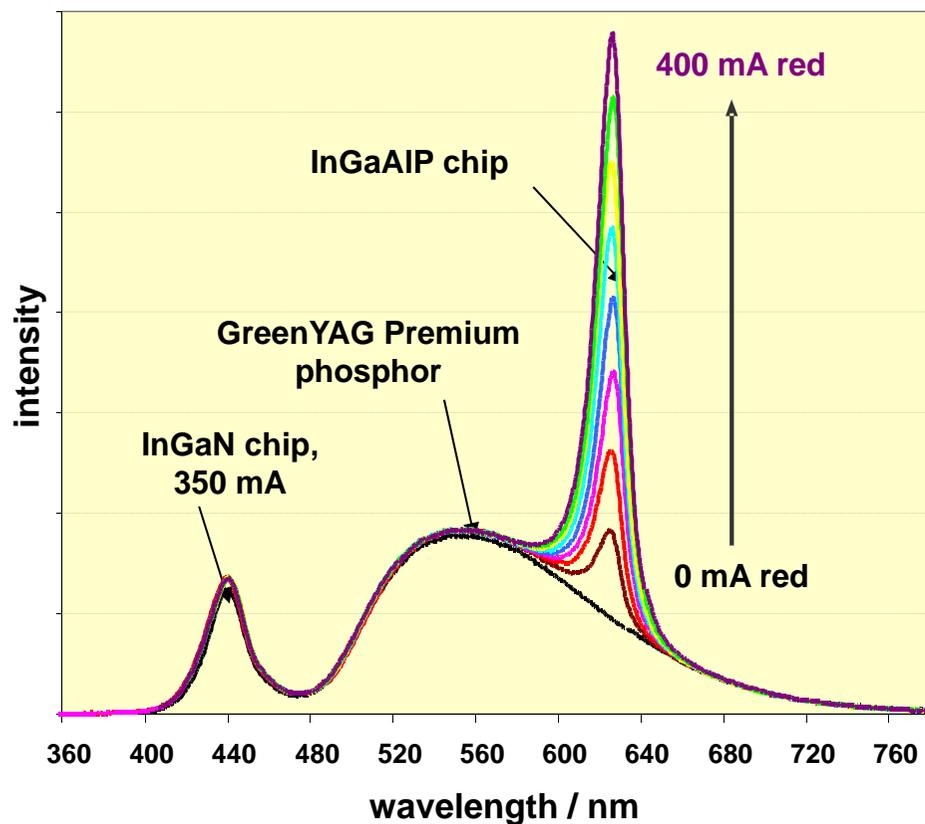
Philips

Spektren einer veränderbaren RGBW-Multichip-Lichtquelle



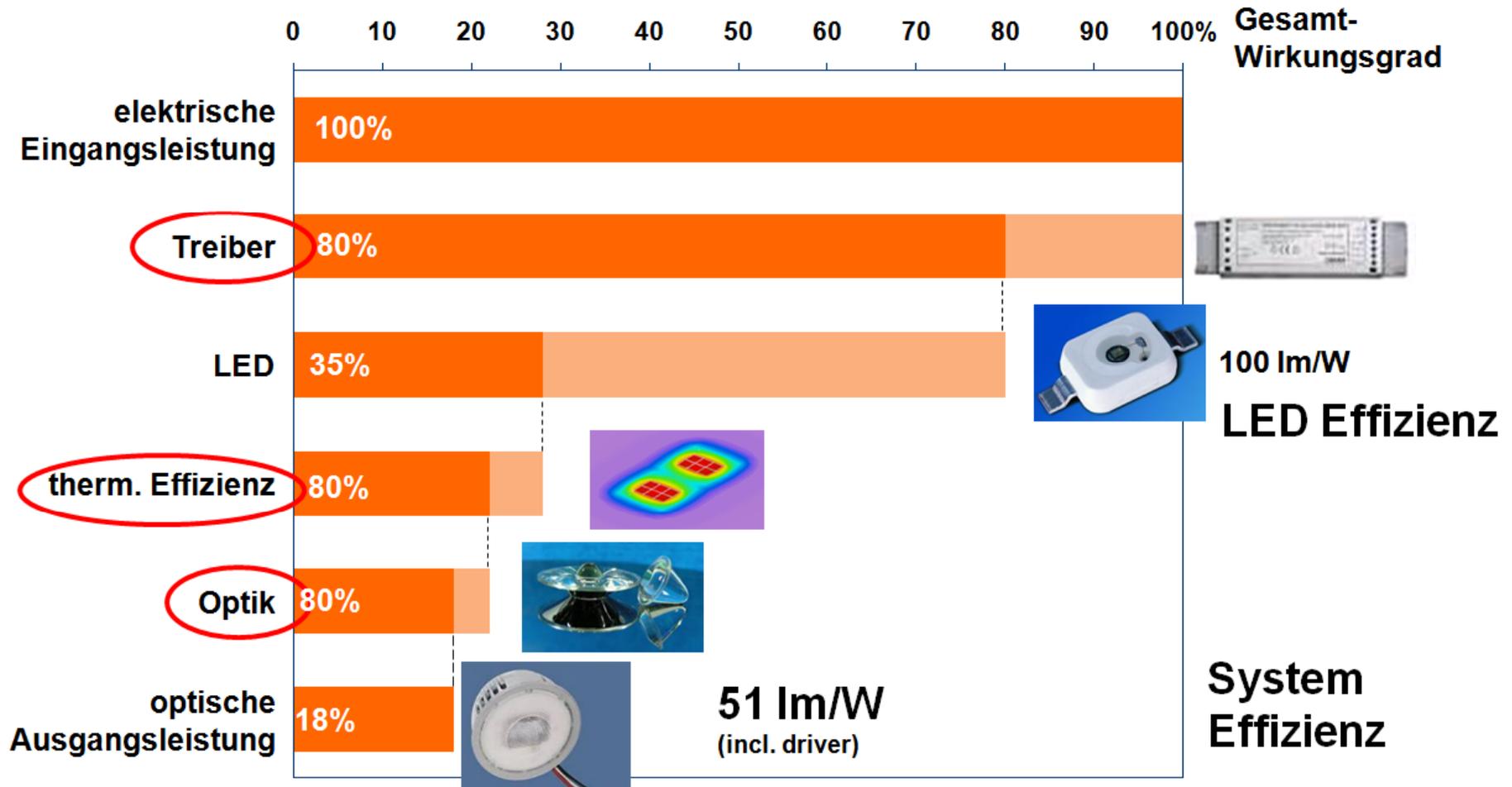
Warm-Weiß durch Kombination weißer und roter Chips

Der Farbort weißer Konversions-LED wird durch die Beimischung roter „Chipemission“ zu wärmeren Farbtemperaturen verschoben.

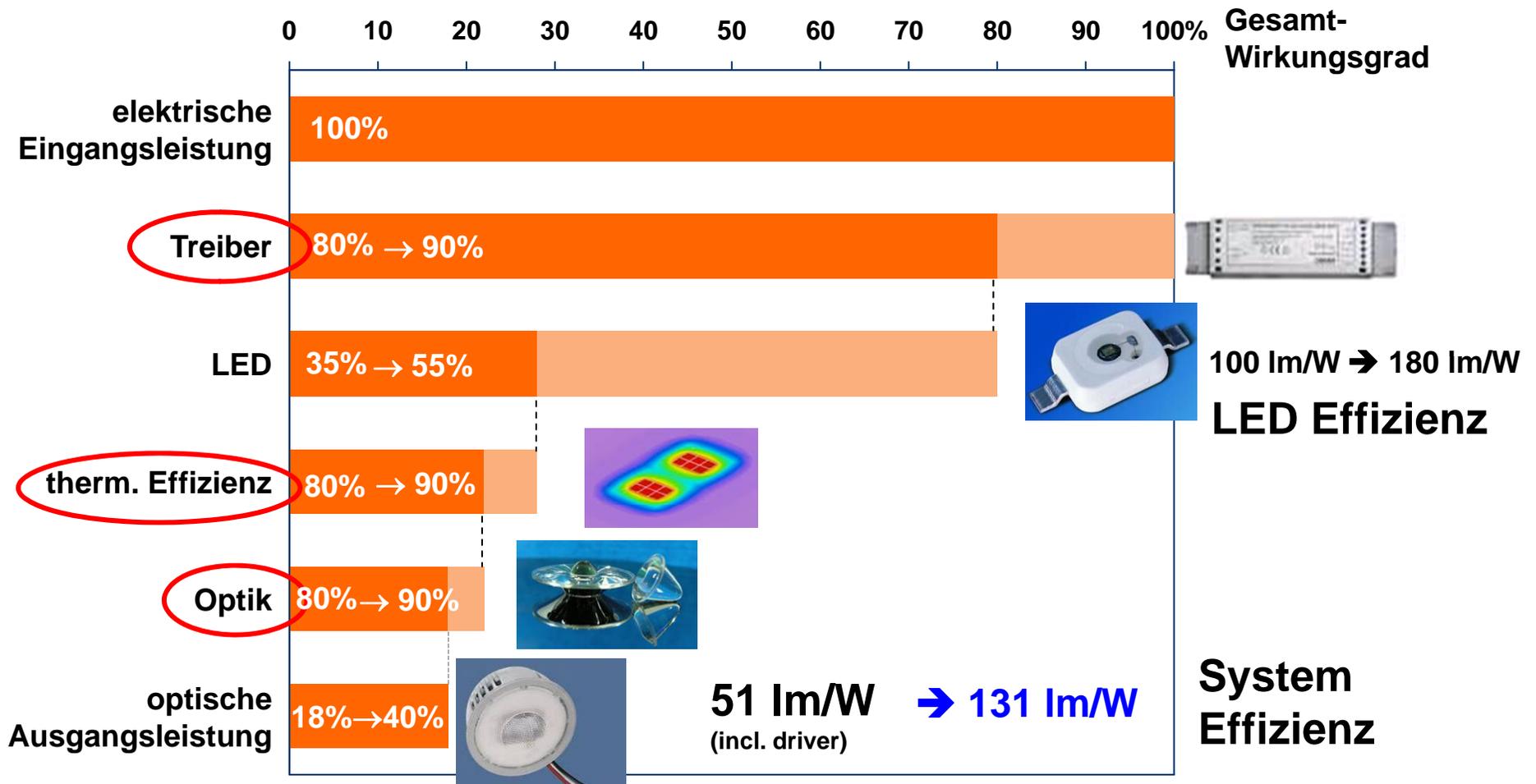


Module: 6 weiÙe + 2 rote 1mm²-Chips: 100 lm/W_{el}; Ra 90; 3000K; 850 lm

Die System Effizienz



Die System Effizienz



Literaturverzeichnis LED

- [1] C.P. Kuo, R.M. Fletcher, T.D. Osentowski, M.C. Lardizaabal, M.G. Craford, *Appl. Phys. Lett.* 57, p. 2937 (1990)
- [2] H. Sugawara, M. Ishikawa, G. Hatagosshi, *Appl. Phys. Lett.* 58, p. 1010 (1991)
- [3] H. Amano, M. Kito, K. Hiramatsu, I. Akasaki, *Jpn. J. Appl. Phys.* 28, p. 2112 (1989)
- [4] H. Amano, M. Kito, K. Hiramatsu, I. Akasaki, *Gallium Arsenide and Related Compounds 1989*, T. Ikoma and H. Watanabe, Eds. Bristol, U.K.: UKIOP, 1990, pp- 725-730
- [5] S. Nakamura, T. Mukai, and M. Senoh, *Appl. Phys. Lett.*, 64, p. 1687 (1994)
- [6] S. Nakamura, M. Senoh, N. Iwasa, S. Nagahama, T. Yamada, T. Mukai, *Appl. Phys. Lett.*, 34, p. 1332 (1995)
- [7] Nichia Patent US 5,998,925
- [8] OSRAM Patent US 6,576,930
- [9] Strategies Unlimited, "High Brightness LED: Market Review and Forecast " Report OM-32, July 2005
- [10] M.R. Krames, M. Ochinai-Holcomb, G.E. Höfler, C. Carter-Coman, E.I. Chen, I.-H. Tan, P.Grillot, N.F. Gardner, H.C. Chui, J.-W. Huang, S.A. Stockmann, f.A. Kish, and M.G. Craford, *Appl. Phys. Lett.*, Vol. 75, pp. 2365-2367, 1999
- [11] S. Illek, U. Jacob, A. Plössel, P. Stauss, K. Streubel, W. Wegleiter, and R. Wirth, *Compound Semiconductor, Vol. 8, No 1*, pp. 39-42, 2002
- [12] V. Härle, B. Hahn, S. Kaiser, A. Weimar, D. Eisert, S. Bader, A. Plössel, F. Eberhard, *Proceedings of SPIE Vol. 4996* , p. 133 (2003)
- [13] <http://www.siemens.com/press/de/pressemitteilungen/?press=/de/pressemitteilungen/2011/osram/osram-fe-rekord.htm> (2011).

Zusammenfassung LED

- Das Potential der anorganische LED in der Allgemeinbeleuchtung ist sehr hoch, die LED wird zu (einer) der wichtigsten Lichtquelle(n) werden.
- Lichtausbeuten $>200 \text{ lm/W}$ weiß für Leistungs-LED sind im Labor bereits erreicht. In diesem Bereich scheint nach den Prognosen des DoE die mögliche Grenze für hochqualitatives weißes Licht zu sein.
- Hohe Lichtqualität mit $R_a > 90$ ist bereits möglich.
- LED werden vornehmlich in den Anwendungsfeldern eingesetzt werden, wo sie ihre Systemvorteile besonders ausspielen können (z.B. Steuerbarkeit, Farbvariabilität, geom. Flexibilität, Lebensdauer)
- In einigen Anwendungsfeldern außerhalb der Allgemeinbeleuchtung hat sich die LED bereits als die Lichtquelle der Wahl durchgesetzt, z.B. beim Automobil und in der Display-Hinterleuchtung.
- Die Herausforderungen der nächsten Jahre werden auch weiterhin Effizienzsteigerung, Kostensenkung und Wärmemanagement sein.