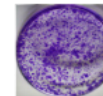
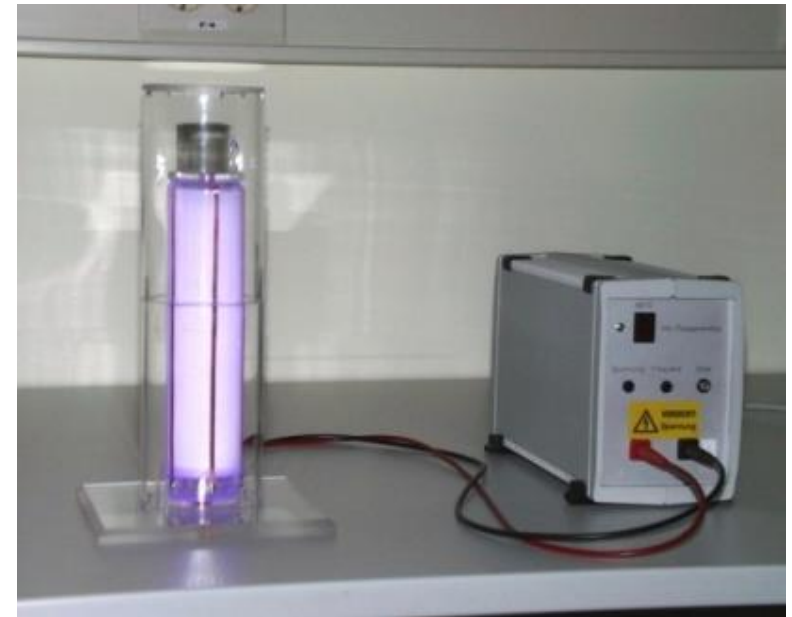


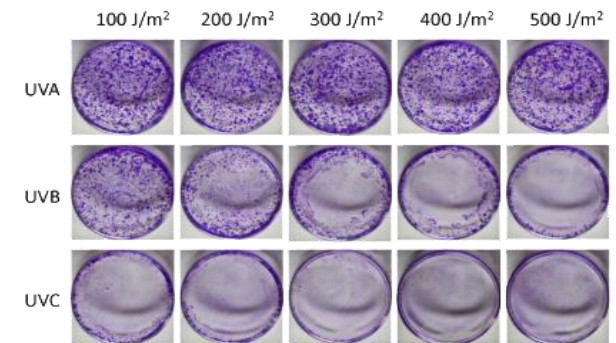
12. UV-Strahlungsquellen

Inhalt

- 12.1 Einteilung der UV-Strahlung
- 12.2 Eindringtiefe der UV-Strahlung
- 12.3 Photochemische Anwendungen
- 12.4 Biochemische Anwendungen
- 12.5 Natürliche UV-Strahlungsquellen
- 12.6 Künstliche UV-Strahlungsquellen
- 12.7 UV-Leuchtstoffe
- 12.8 Bräunungslampen
- 12.9 Psoriasislampen
- 12.10 Strahlungsquellen für Desinfektionszwecke
- 12.11 UV LEDs
- 12.12 Zusammenfassung



Ctrl



12.1 Einteilung der UV-Strahlung

VUV	UV-C	UV-B	UV-A	
100 nm	200 nm	280 nm	320 nm	400 nm
12.5 - 6.9 eV	6.2 - 4.5 eV	4.5 - 3.9 eV	3.9 - 3.1 eV	
<p>Spaltung von H₂O und O₂ in Radikale</p> <p>Ozonbildung</p> <p>Spaltung von C-C, C-H, C-O Bindungen</p>	<p>Anregung von C=C Bindungen</p> <p>Anregung der Nucleobasen</p> <p>Spaltung von O₃, ClO₂ und H₂O₂</p>	<p>Vitamin D Bildung</p> <p>Transkription von Reparaturenzymen</p> <p>Bildung von Melanosomen in der Haut</p>	<p>Photokatalytische Reaktionen</p> <p>Oxidation von Melanin in der Haut</p> <p>Zersetzung organischer Pigmente</p> <p>Aktivierung photokatalytischer Pigmente</p>	
<p>Wasserreinigung</p> <p>Photochemie</p>	<p>Desinfektion von Luft, H₂O und Oberflächen</p> <p>Photochemie</p>	<p>Behandlung von Hautkrankheiten (Psoriasis)</p> <p>Bräunung</p> <p>Photochemie</p>	<p>Wasser- und Luftreinigung mittels TiO₂ Photokatalysator</p> <p>Bräunung</p> <p>Photochemie</p>	

12.2 Eindringtiefe der UV-Strahlung

In die Atmosphäre

Vakuum-UV

Photolyse von Wasser,
Stickstoff, Sauerstoff, ...
Ozonbildung

UV-C

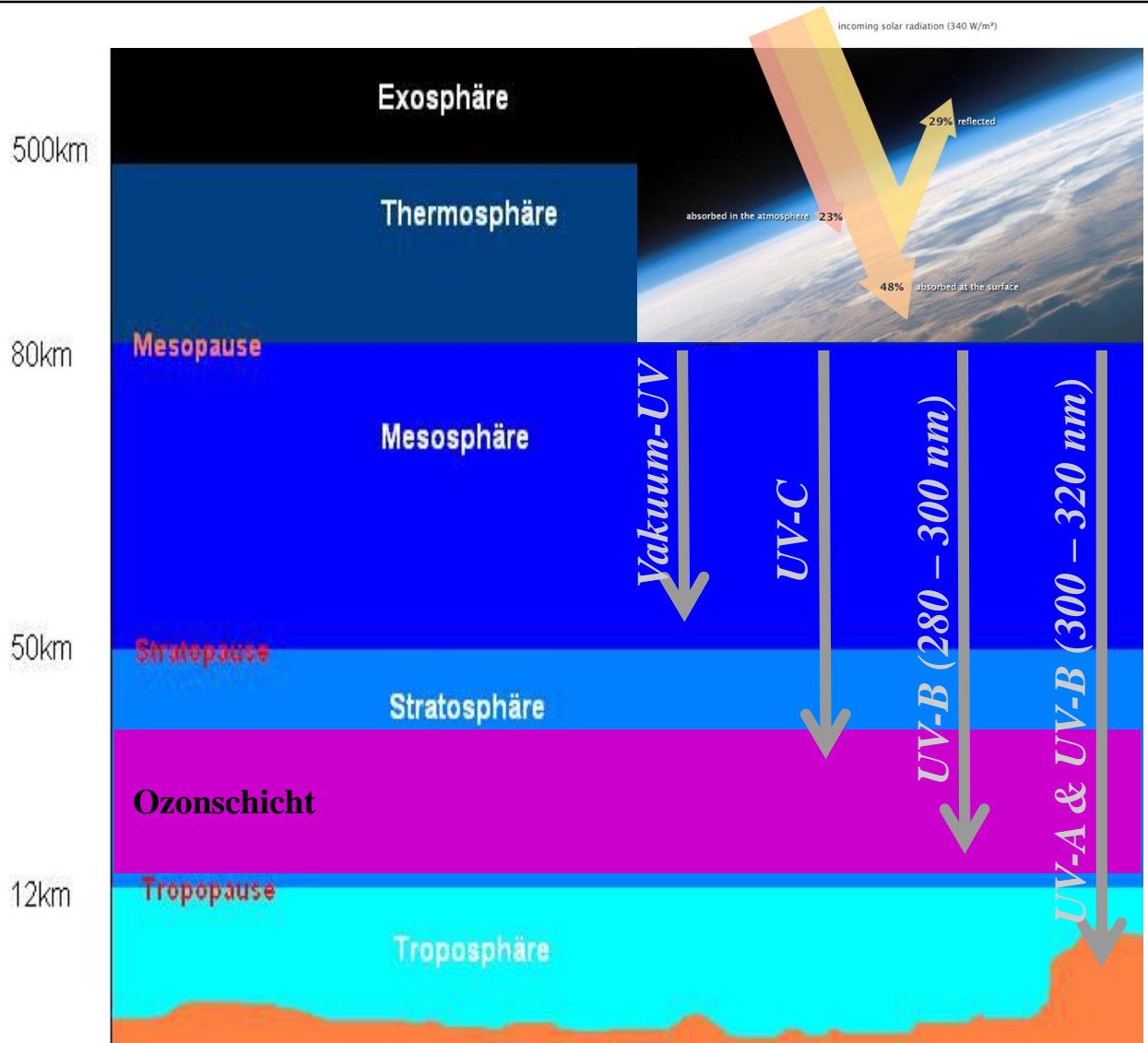
Ozonspaltung

UV-B (280 – 300 nm)

Ozonspaltung

Luftbestandteile:

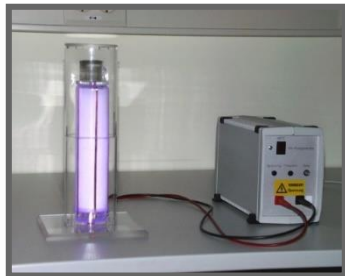
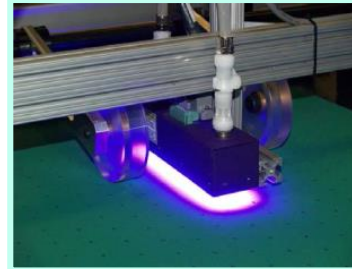
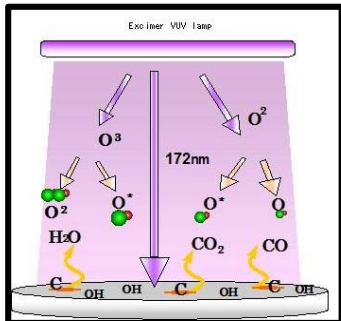
- Stickstoff ~ 78%
- Sauerstoff ~ 21%
- Edelgase, H₂O, CO₂,
CH₄, N₂O: ~ 1%



12.2 Eindringtiefe der UV-Strahlung

In Materie

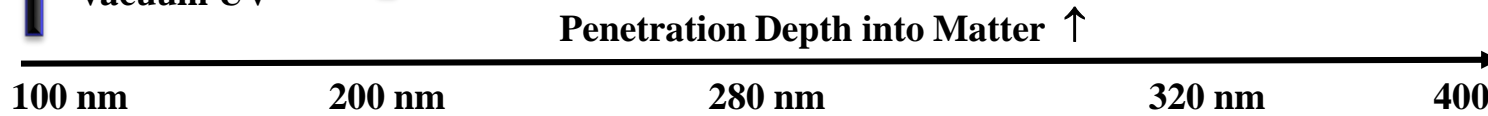
Rather low penetration depth: UV radiation works solely at the surface!



↓
Mutation

→ Inactivation of harmful cells

→ Disinfection & tumour inhibition



Phototechnology Disinfection/Imaging Skin treatment/Curing/Sensing

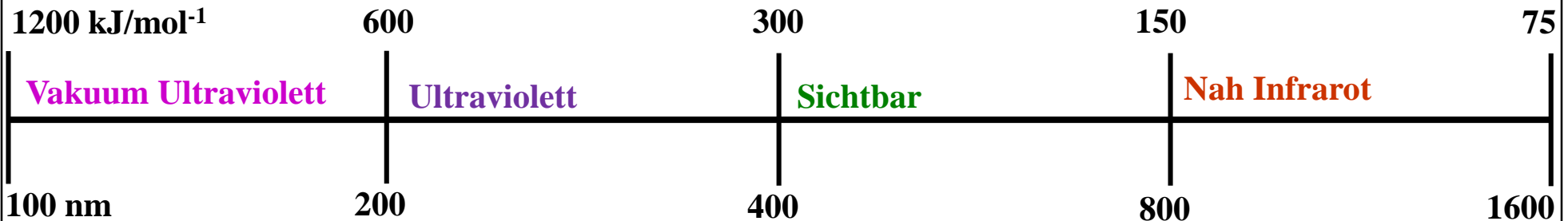
12.3 Photochemische Anwendungen

Chemische Bindung und Photonenenergie

Energie von chemischen Bindungen
~ 10 – 1100 kJ/mol

Energie von optischer Strahlung
 $E = N_A hc/\lambda = 119226/\lambda$ [kJmol⁻¹]

E-E	100 – 500 kJ/mol	F-F	159 kJ/mol
		C-C	348 kJ/mol
E=E	400 – 700 kJ/mol	O=O	498 kJ/mol
		C=C	648 kJ/mol
E≡E	800 – 1100 kJ/mol	N≡N	946 kJ/mol
		C≡C	839 kJ/mol
H-Brücken	10 - 160 kJ/mol	H...F > H...O > H...N	
Van-der-Waals	0.5 - 5 kJ/mol		

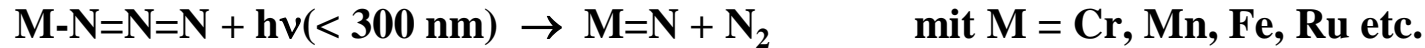


(V)UV - VIS Strahlung kann also chemische Bindungen spalten

12.3 Photochemische Anwendungen

Photolysereaktionen

- **Spaltung von Aziden**



- **Homolytische Spaltung von Iod**



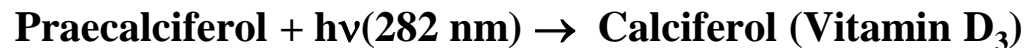
- **Zersetzung von HgO**



- **Zersetzung von Diazoverbindungen**



- **Isomerisierungen**



- **Spaltung von Ameisensäure HCOOH**



12.3 Photochemische Anwendungen

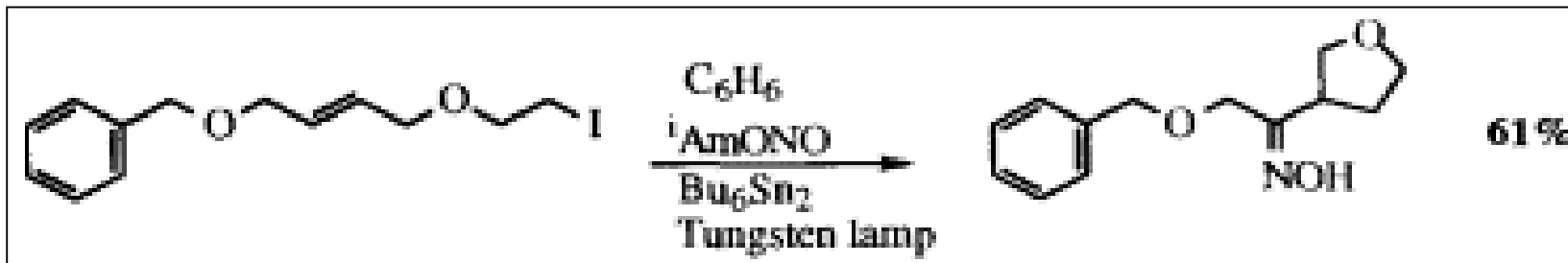
Effects on organic molecules

- Photoinitiated polymerisation



→ Anionic Polymerisation of ethyl- α -cyanoacrylate by the addition of NCS^- as a chain starter

- Photoinduced formation of oximes

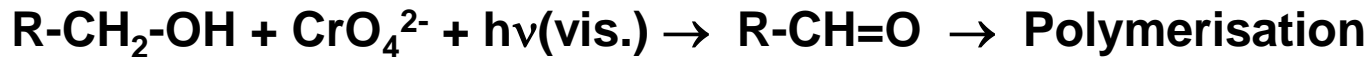


12.3 Photochemische Anwendungen

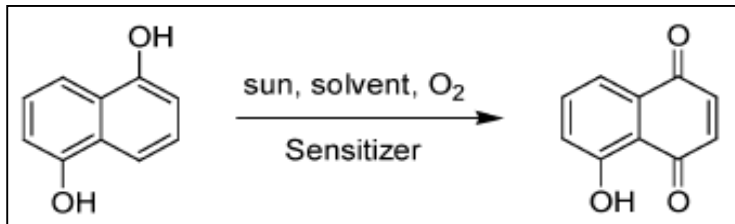
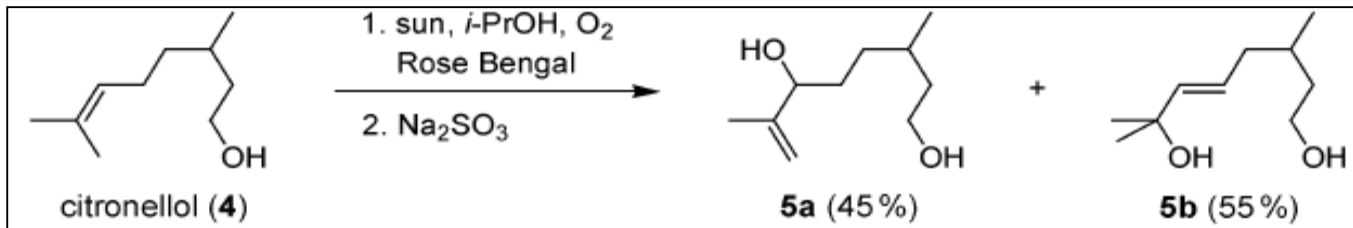
Effects on organic molecules

- Photooxidative initiated polymerisation

Flow coat process as a step of the CRT production process
(polyvinyl alcohol + ammonium dichromate)



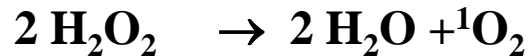
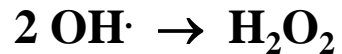
- Photooxidative synthesis of organic molecules



12.3 Photochemische Anwendungen

Wasser- und Oberflächenreinigung mit VUV-Licht

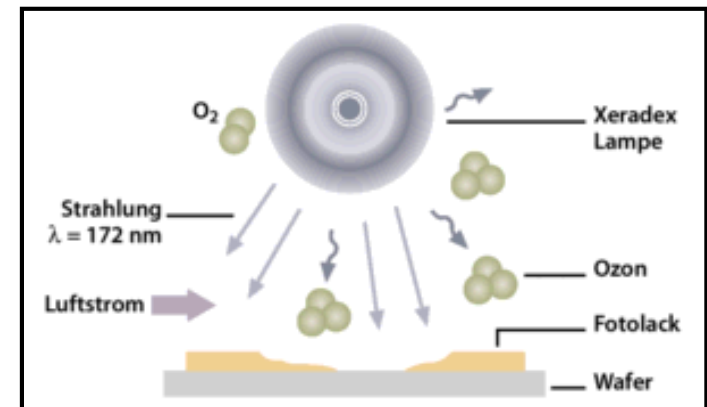
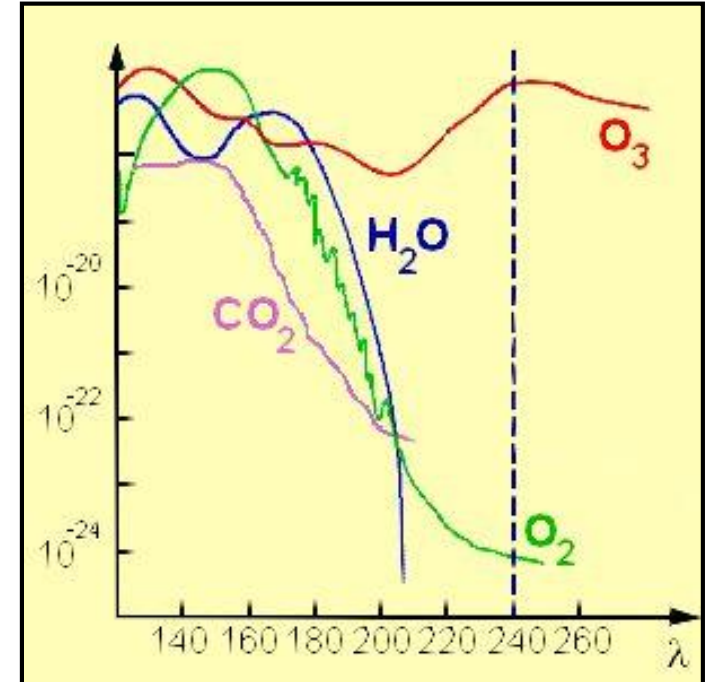
1. Spaltung von Wasser in Radikale



2. Ozonbildung



H_2O_2 und O_3 bauen organische Substanzen oxidativ ab



12.4 Biochemische Anwendungen

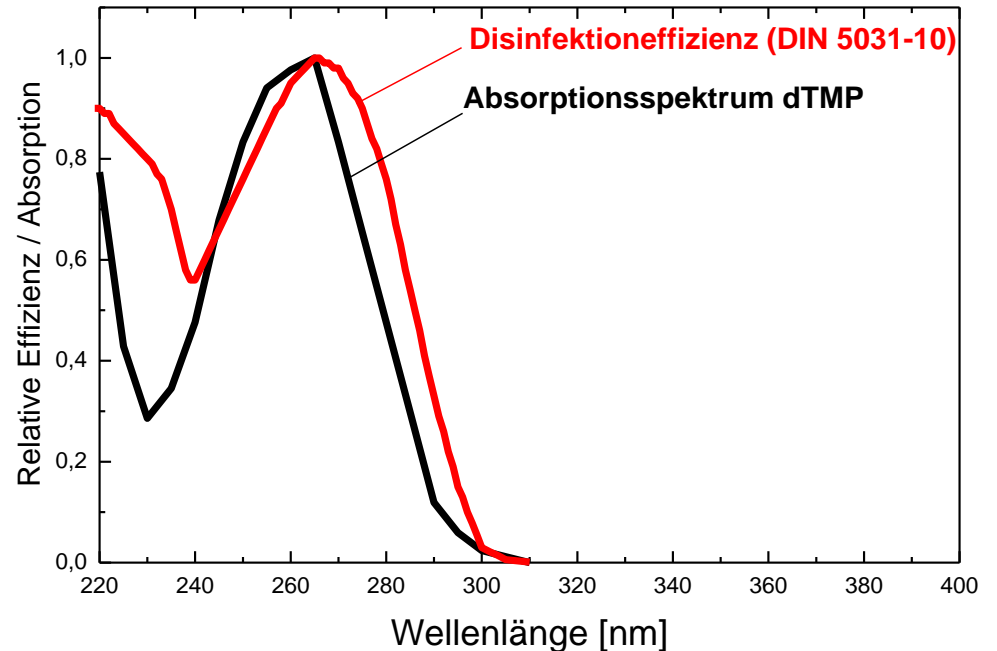
Desinfektion

Wasser, Luft und Oberflächen enthalten Mikroorganismen, wie Pilze, Bakterien, Protozoen und Viren

Abtötung der Mikroorganismen durch

- Hitze ($> 80 - 120 \text{ }^{\circ}\text{C}$)
- Chemikalien (Cl_2 , ClO_2 , O_3)
- UV-Strahlung ($< 300 \text{ nm}$)

Der Effekt von UV-Strahlung beruht vor allem auf der Hemmung des Wachstums der Mikroorganismen



12.4 Biochemische Anwendungen

Desinfektion – Photobiochemie

Struktur von DNA

- helikaler Doppelstrang aus Nucleotiden dNMP
- dNMP = Base + Phosphat + Desoxyribose

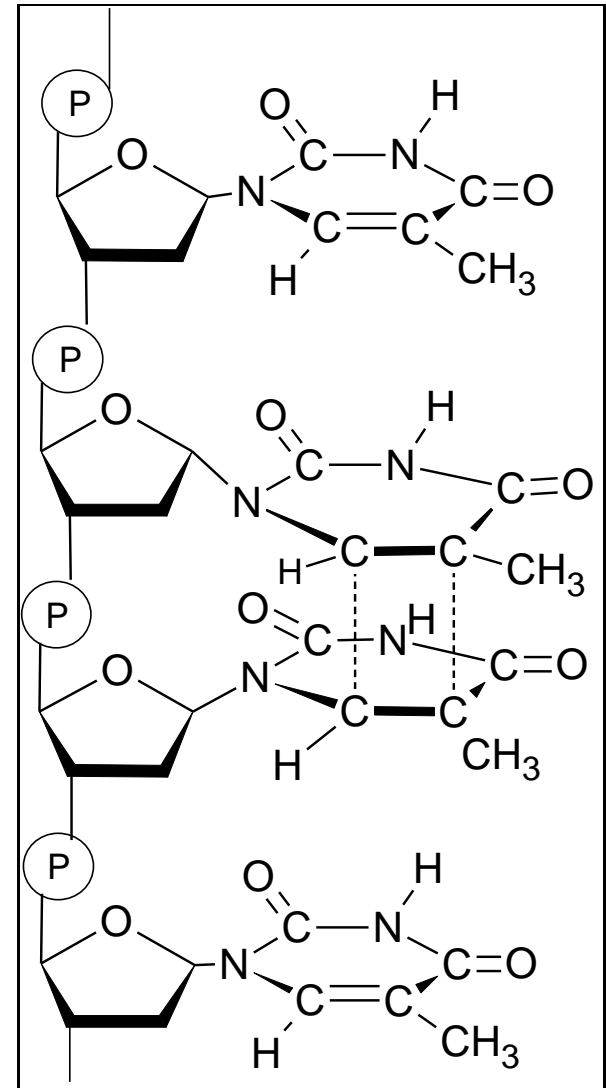
-A-T-A-T-G-C-T-A-G-G-C-C-
-T-A-T-A-C-G-A-T-C-C-G-G-

Mechanismus der Desinfektionswirkung

UV-C wird von Purin- und Pyrimidinbasen absorbiert

- ⇒ Reaktion zwischen benachbarten Thyminbasen
(2 + 2 Cycloaddition erlaubt nach Woodward-Hoffmann)
⇒ Fehler beim Kopieren der DNA

<u>Nucleotid</u>	<u>Extinktionskoeffizient ϵ bei 260 nm</u>
dAMP	15200
dTMP	8400
dGMP	12000
dCMP	7100

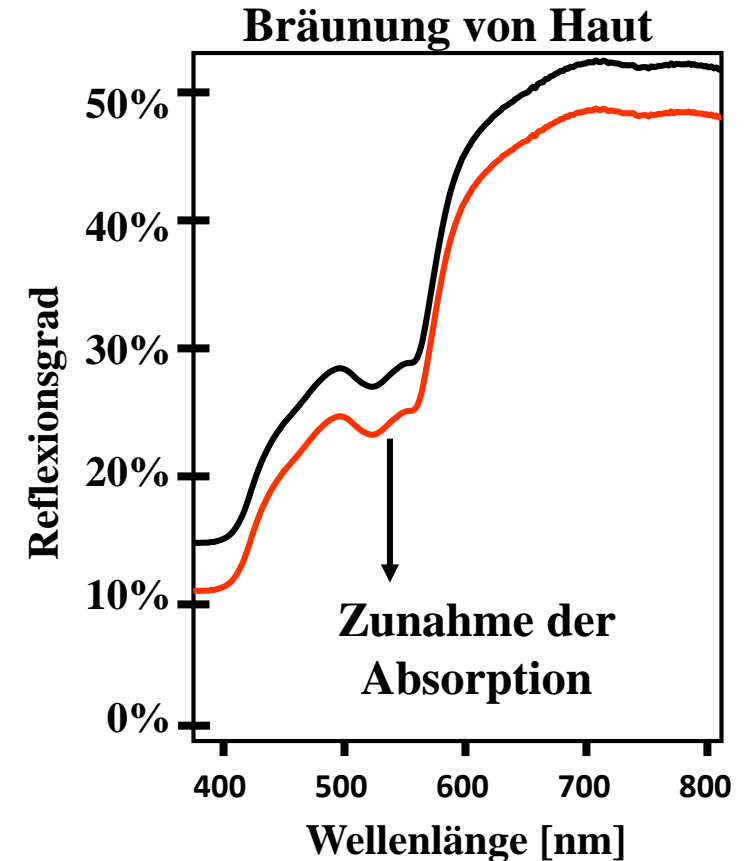
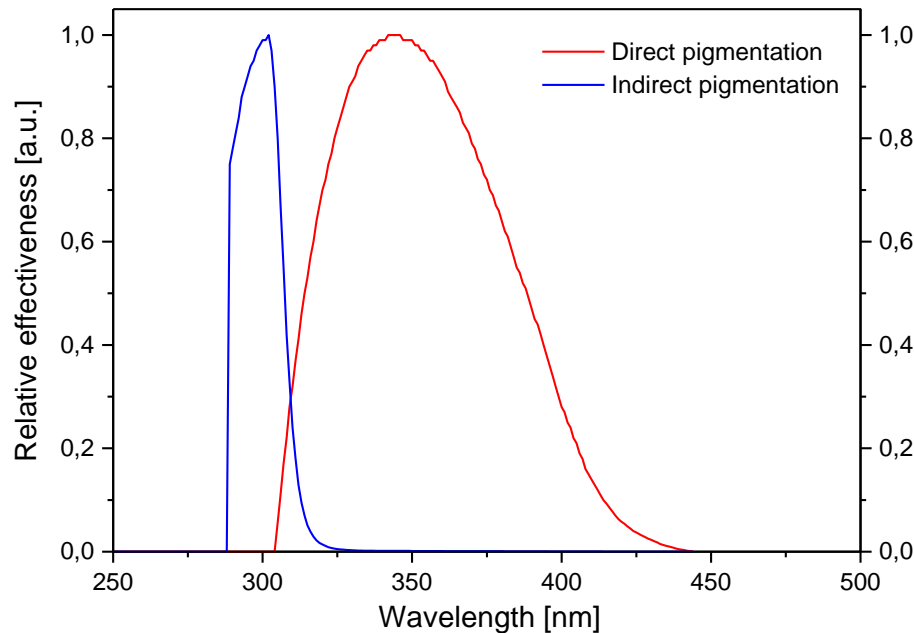


12.4 Biochemische Anwendungen

Bräunung

UV-A: Direkte Pigmentierung

UV-B: Indirekte Pigmentierung

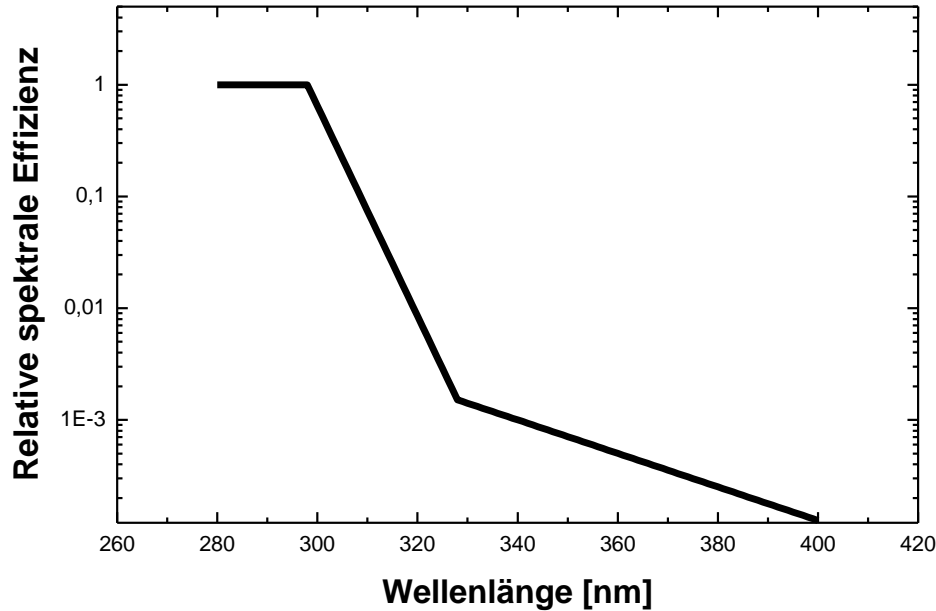


Direkte Pigmentierung: Oxidation von Melanin zu Melaninoxid (geringe Lebensdauer)

Indirekte Pigmentierung: Einlagerung von neuen Melanosomen (Langzeiteffekt)

12.4 Biochemische Anwendungen

Bräunung - Nebeneffekt: Erythem = Hautrötung oder Sonnenbrand



Hautempfindlichkeit gemäß
DIN 5031-10

250 - 298 nm: $E = 1$

298 - 328 nm: $E = 1 \cdot 10^{(0.094 \cdot (298 - \lambda))}$

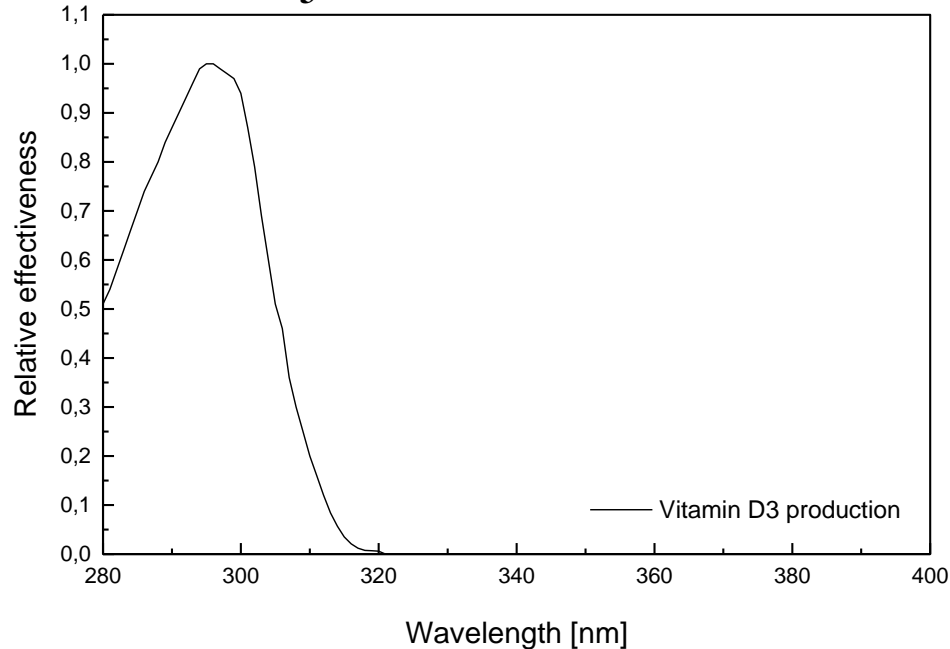
328 - 400 nm: $E = 1 \cdot 10^{(0.015 \cdot (140 - \lambda))}$

- Durch UV-Licht wird die Haut gereizt und in Folge der stärkeren Durchblutung gerötet
- Bei längerer UV-Exposition kommt es zu phototoxischen Reaktionen (Sonnenbrand)

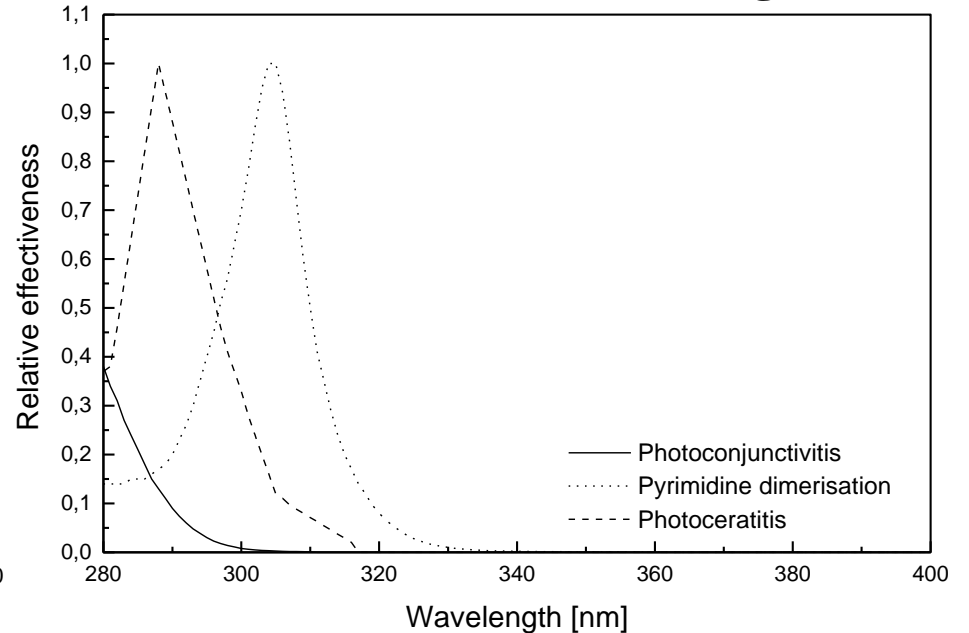
12.4 Biochemische Anwendungen

Bräunung – Weitere Nebeneffekte

Vitamin D₃ Produktion in der Haut



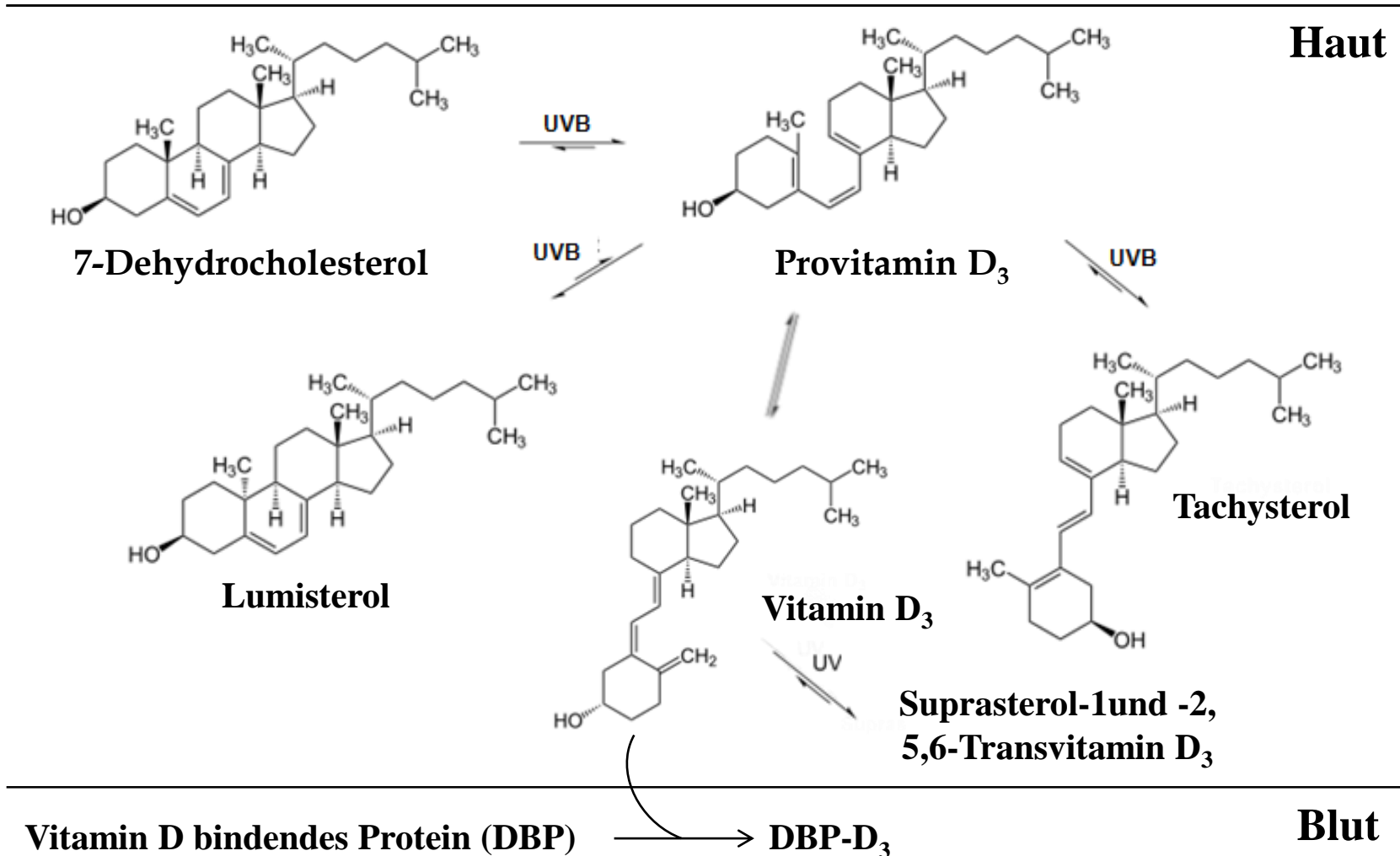
Phototoxische Wirkungen



- Im wesentlichen ist UV-B Strahlung für positive und negative Wirkungen verantwortlich
- Die Wellenlängenabhängigkeit der biologischen Effekte ist im UV-B sehr ausgeprägt

12.4 Biochemische Anwendungen

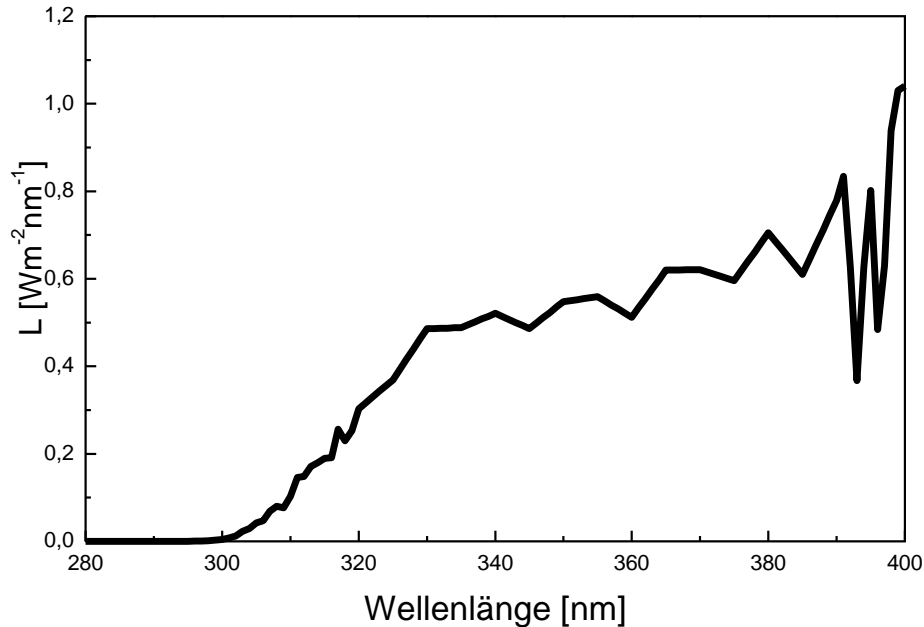
Prävitamin D₃-Bildung in der Haut



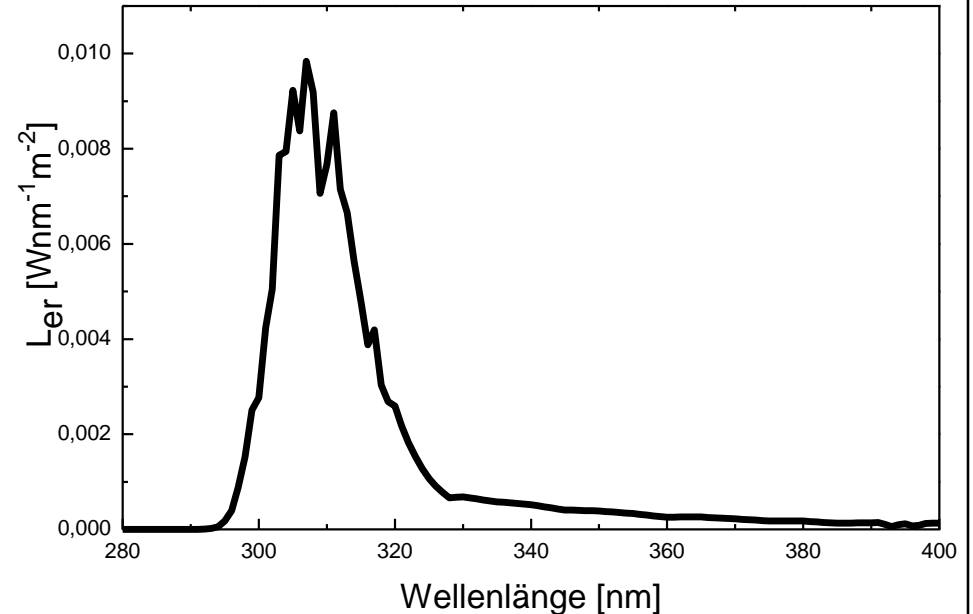
12.5 Natürliche UV-Strahlungsquellen

Die natürliche UV-Strahlungsquelle ist die Sonne

UV-Spektrum bei 60° Sonnenhöhenwinkel



Entsprechendes Erythem-Spektrum

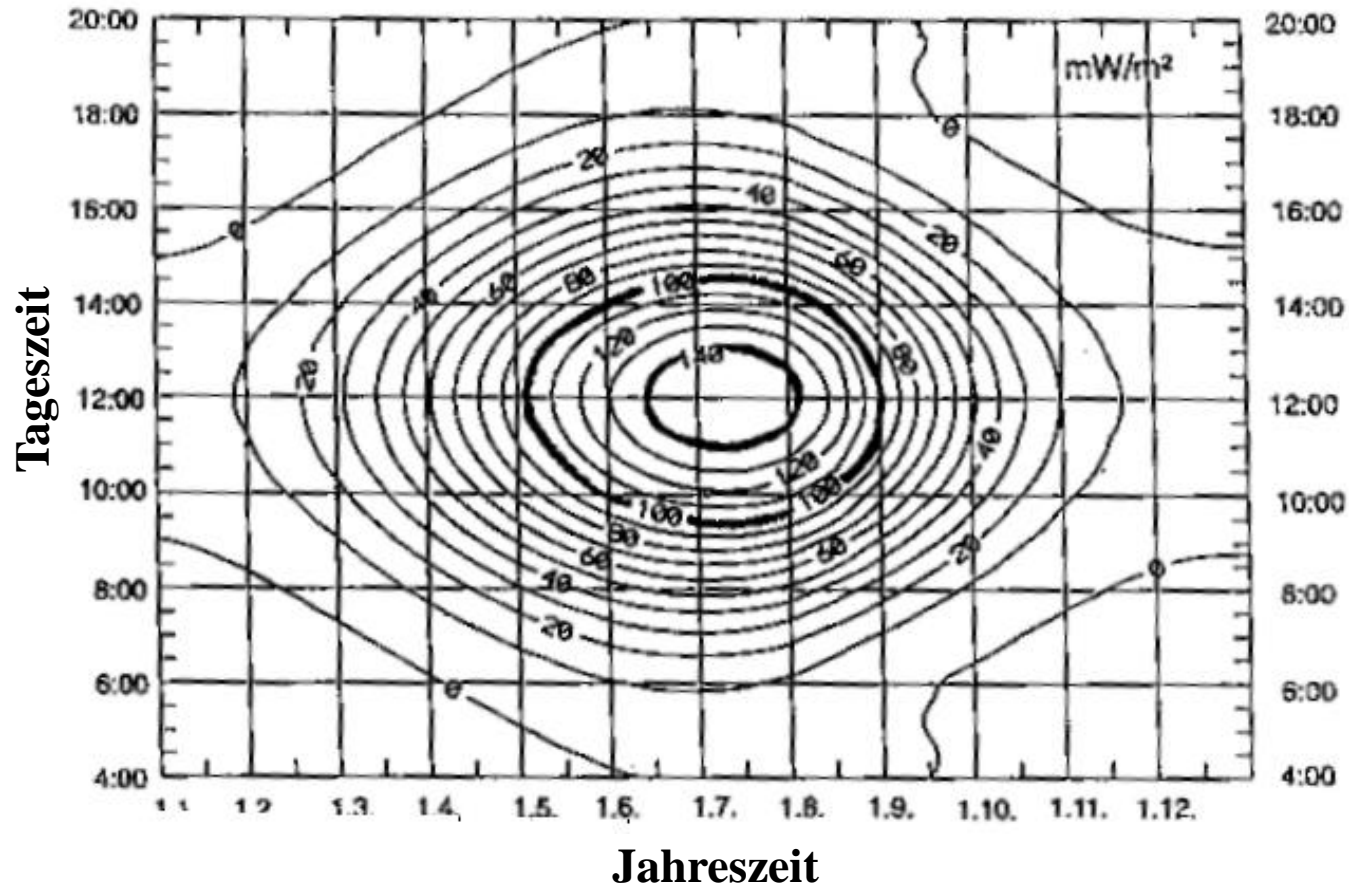


$$L_{er,tot} = \int_{280}^{400} L(\lambda)E(\lambda)d\lambda$$

⇒ Hautrötung bzw. Sonnenbrand werden im Wesentlichen durch UV-B Strahlung verursacht

12.5 Natürliche UV-Strahlungsquellen

Zeitabhängige Verteilung der UV-Strahlung (Norderney: 53.2° nördlicher Breite)



12.5 Natürliche UV-Strahlungsquellen

Ortsabhängige Verteilung der UV-Strahlung (am 21. Juni zur Mittagszeit)

Solar height	Latitude [°] N	Nearest location at 10° E	UV-B [W/m ²]	UV-A [W/m ²]	UV-B [%]	E _{<320} [W/m ²]	E _{>320} [W/m ²]	E _{<320} /E _{>320}
83.5	30	Ghadames, Libya	1.66	61.0	2.65	0.1654	0.0380	4.35
78.5	35	Sfax, Tunisia	1.61	59.9	2.61	0.1587	0.0373	4.25
73.5	40	Sardinia	1.52	58.0	2.55	0.1487	0.0360	4.13
68.5	45	La Spezia, Italy	1.41	55.7	2.47	0.1359	0.0345	3.94
63.5	50	Schweinfurt, Germany	1.28	52.7	2.37	0.1208	0.0325	3.72
60	53.5	Hamburg, Germany	1.18	50.2	2.30	0.1094	0.0309	3.54
58.5	55	Århus, Denmark	1.13	49.1	2.25	0.1043	0.0302	3.45
53.5	60	Oslo, Norway	0.97	45.0	2.11	0.0870	0.0275	3.16
48.5	65	Trondheim, Norway	0.80	40.5	1.94	0.0697	0.0246	2.83

In hohen Breiten ist nur sehr wenig UV-B Strahlung im Tageslicht

Hamburg (~53,5° nördlicher Breite) am 21. Juni, mittags (Sonnenhöhenwinkel ~ 60°)

- **UV-B/UV-A [%] 2,30**
- **E(<320)/E(>320) 3,54**

12.6 Künstliche UV-Strahlungsquellen

Lampentypen

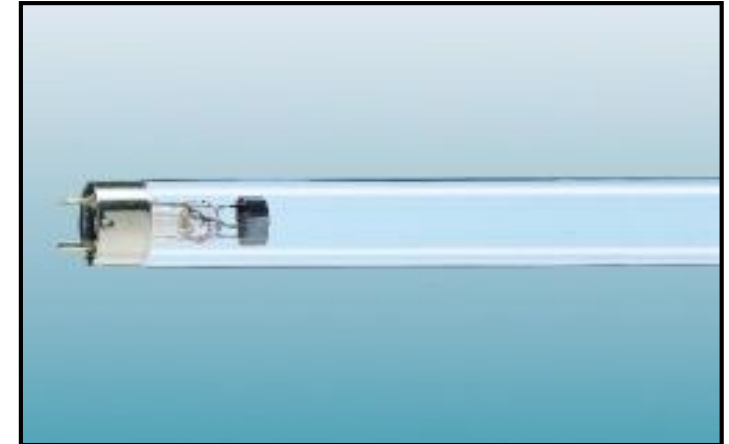
Hg-Entladungslampen

- Niederdruck 185, 254 nm
- Mitteldruck + Filter 200 - 400 nm
- Niederdruck + Leuchtstoff 200 - 400 nm

Exzimerlampen

- Xe_2^* 172 nm
- XeBr^* 282 nm
- XeCl^* 308 nm
- Xe_2^* + Leuchtstoff 200 - 400 nm

“UVC-Strahlungsquelle”



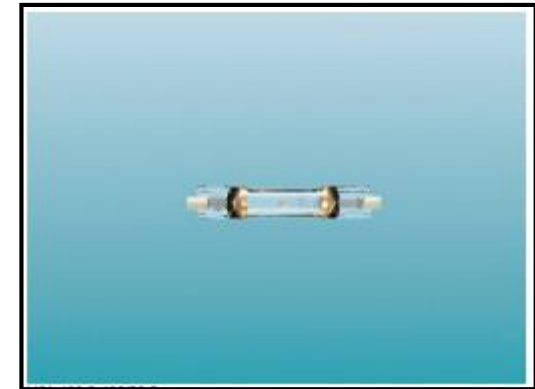
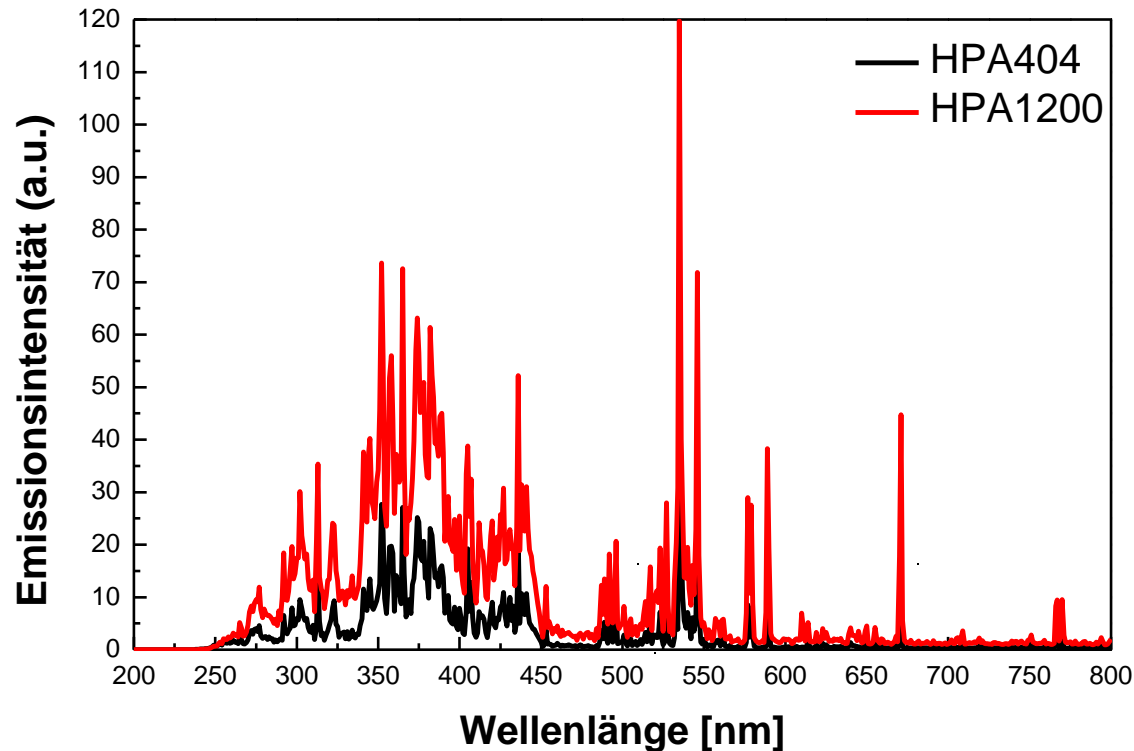
12.6 Künstliche UV-Strahlungsquellen

Emissionsmaxima und Effizienzen von Exzimerlichtquellen im Sinus-Betrieb

	F	Cl	Br	I	Edelgas
Reines Halogen	? 158 nm	? 258 nm	? 293 nm	? 342 nm	-
Ar	> 10% 193 nm	ca. 5% 175 nm	< 0.1% 161 nm	-	Ar ₂ [*] ~10% 126 nm
Kr	> 10% 248 nm	18% 222 nm	ca. 5% 207 nm	< 0.1% 185 nm	Kr ₂ [*] ~15% 146 nm
Xe	> 10% 351 nm	14% 308 nm	15% 282 nm	ca. 5% 253 nm	Xe ₂ [*] 30% 172 nm

12.6 Künstliche UV-Strahlungsquellen

Hg-Mitteldrucklampen

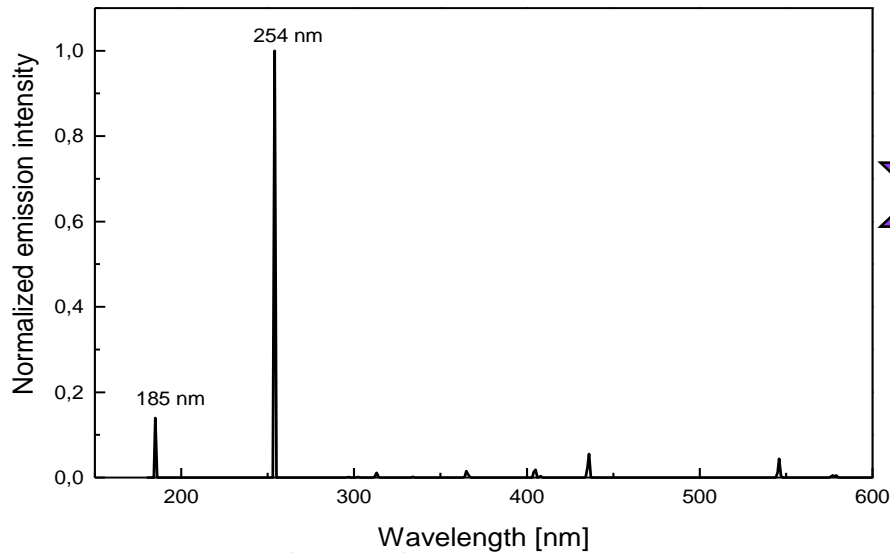


- **Lampenglas und Filter: Keine Emission unterhalb von 280 nm!**
- **Hoher UV-B Anteil ~ 10% ⇒ Gesichtsbräuner**

12.6 Künstliche UV-Strahlungsquellen

Fluoreszenzlampen

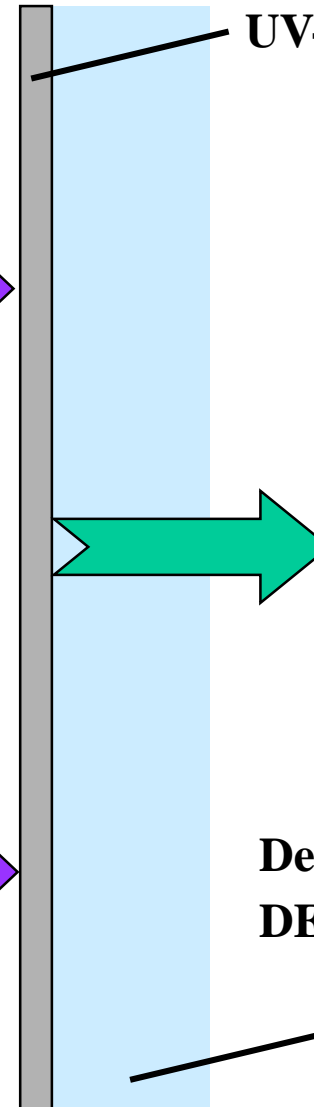
Hg-Niederdruckentladung



185 nm
254 nm

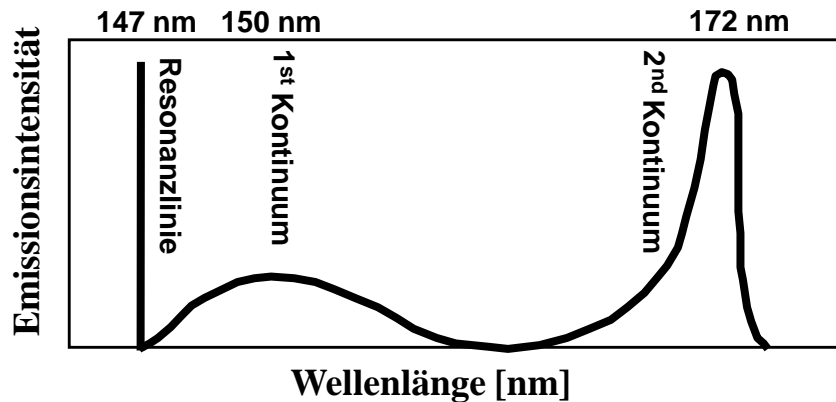


UV-Leuchtstoffschicht



UV-Strahlung

Xe₂*-Exzimerentladung



150 nm
172 nm



Deutsches Patent
DE 199 19 169.7

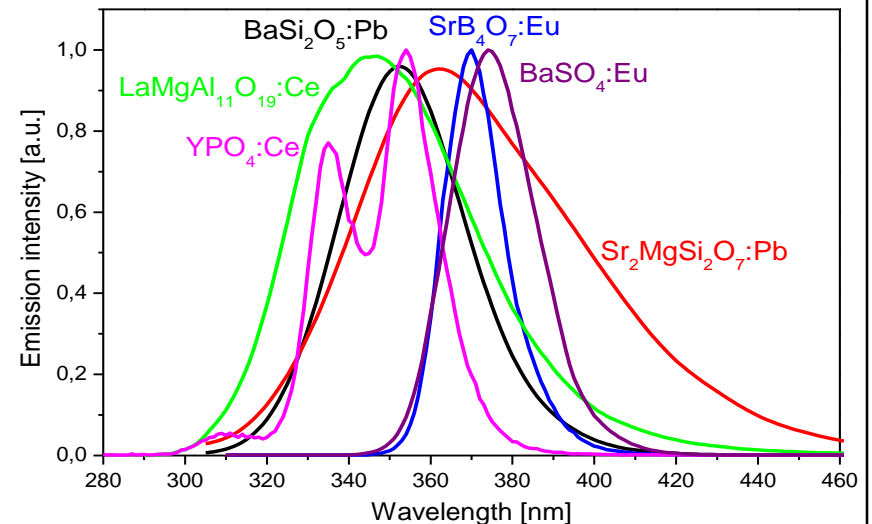
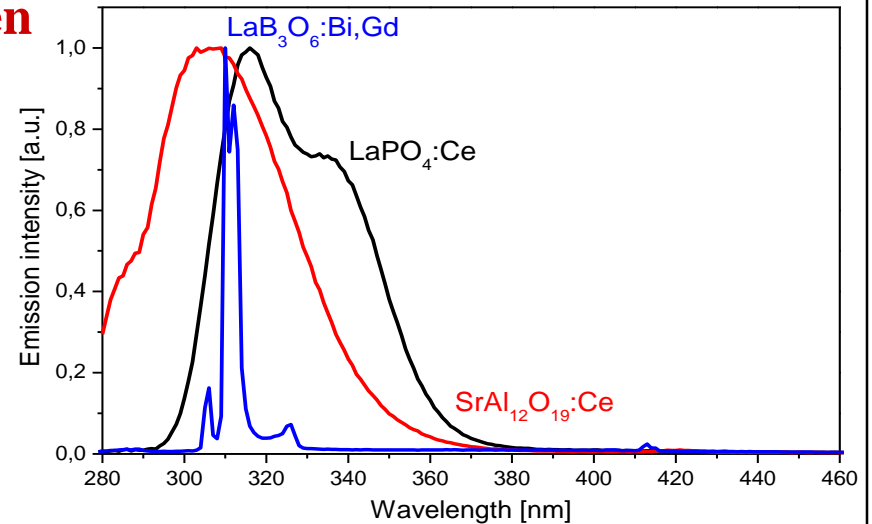
Lampenglas

12.7 UV-Leuchtstoffe

Kommerzielle Leuchtstoffe für UV-Lichtquellen auf der Basis einer Hg-Niederdruckentladung

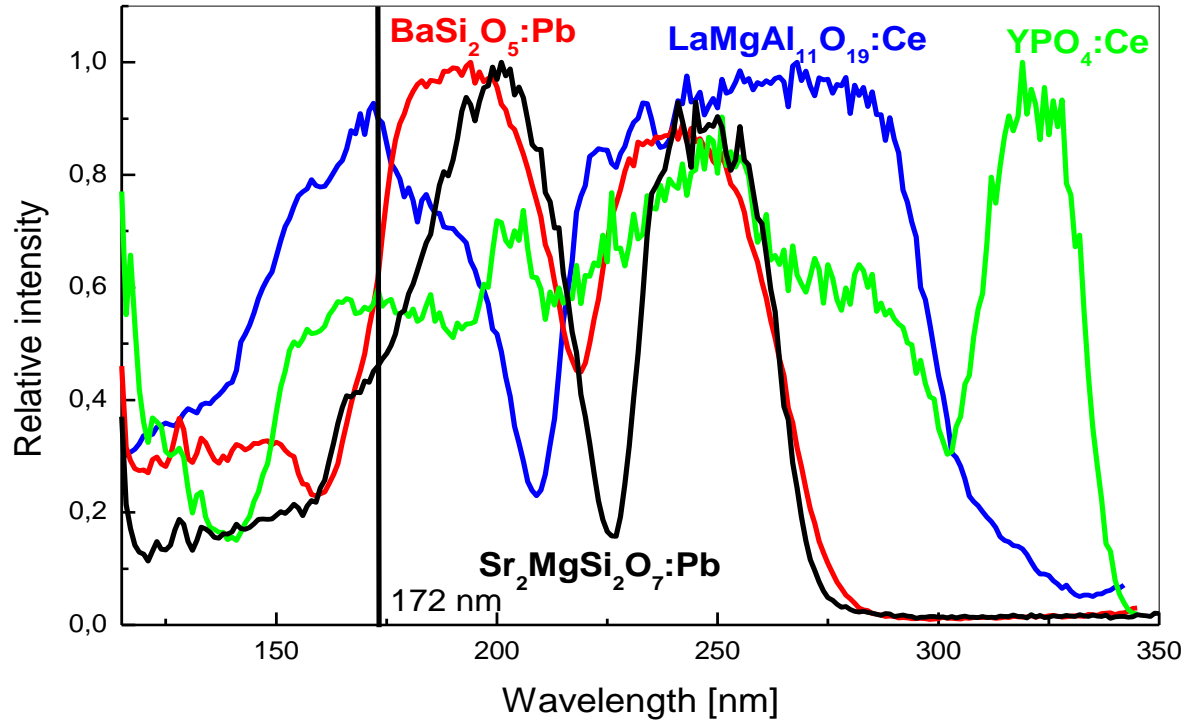
$\text{SrAl}_{12}\text{O}_{19}:\text{Ce}^{3+}$	305 nm
$\text{LaB}_3\text{O}_6:\text{Bi}^{3+},\text{Gd}^{3+}$	311 nm
$\text{LaPO}_4:\text{Ce}^{3+}$	320 nm
$\text{LaMgAl}_{11}\text{O}_{19}:\text{Ce}^{3+}$	340 nm
$(\text{Y},\text{Gd})\text{PO}_4:\text{Ce}^{3+}$	335, 355 nm
$\text{BaSi}_2\text{O}_5:\text{Pb}^{2+}$	350 nm
$\text{Sr}_2\text{MgSi}_2\text{O}_7:\text{Pb}^{2+}$	365 nm
$\text{SrB}_4\text{O}_7:\text{Eu}^{2+}$	370 nm
$\text{BaSO}_4:\text{Eu}^{2+}$	375 nm

Aktivatoren: Ce^{3+} , Gd^{3+} , Pb^{2+} , Eu^{2+}



12.7 UV-Leuchtstoffe

UV und VUV Effizienz von UV-A Leuchtstoffen (Ce^{3+} und Pb^{2+} aktiviert)



254 nm Effizienz: $\text{LaMgAl}_{11}\text{O}_{19}:\text{Ce} \sim \text{YPO}_4:\text{Ce} \sim \text{BaSi}_2\text{O}_5:\text{Pb} \sim \text{Sr}_2\text{MgSi}_2\text{O}_7:\text{Pb}$

172 nm Effizienz: $\text{LaMgAl}_{11}\text{O}_{19}:\text{Ce} > \text{YPO}_4:\text{Ce} \sim \text{BaSi}_2\text{O}_5:\text{Pb} > \text{Sr}_2\text{MgSi}_2\text{O}_7:\text{Pb}$

12.8 Bräunungslampen

Historische Entwicklung

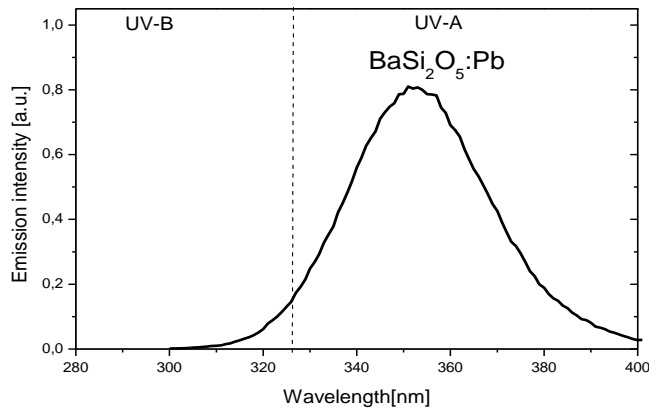
- **60er und frühe 70er** **Harte UV Strahlungsquellen (UV-C!) “Höhensonnen”**
- **Mitte der 70er** *Harte UV Strahlung schädigt die DNA*
TL Lampen mit UV-A Leuchtstoff
- **späte 70er** **TL Lampen mit verbessertem UV-A Leuchtstoff**
- **80er** *Bräunung mit UV-A Strahlung ist sicher*
TL Lampen mit UV-Leuchtstoffmischungen
Hg-Hochdrucklampen mit Filter
- **frühe 90er** *Ausgewogenes UV-B/UV-A Verhältnis ist günstig*
Lampen mit Glas mit erhöhter UV-Transparenz (und UV-B Leuchtstoff)
- **späte 90er** *Optimal sind Strahlungsquellen mit tageslichähnlichem UV-Spektrum*
UV-B/UV-A Leuchtstoffmischungen
- **2010er** **UV-A LEDs (+ UV-B LEDs)**

12.8 Bräunungslampen

Fluoreszenzlampen – Historische Entwicklung

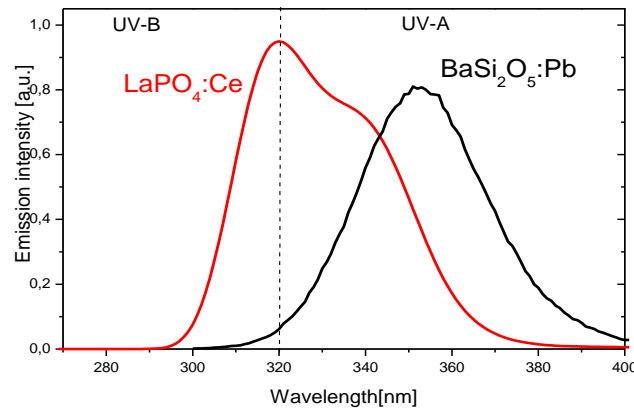
1. Generation

$\text{BaSi}_2\text{O}_5:\text{Pb}$
oder $\text{Sr}_2\text{MgSi}_2\text{O}_7:\text{Pb}$



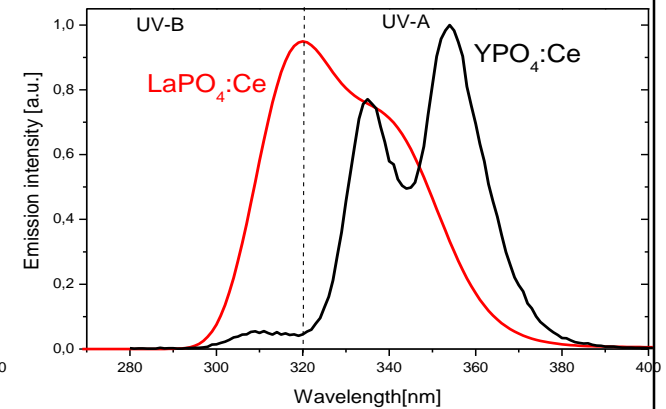
2. Generation

$\text{BaSi}_2\text{O}_5:\text{Pb}$
+ $\text{LaPO}_4:\text{Ce}$



3. Generation

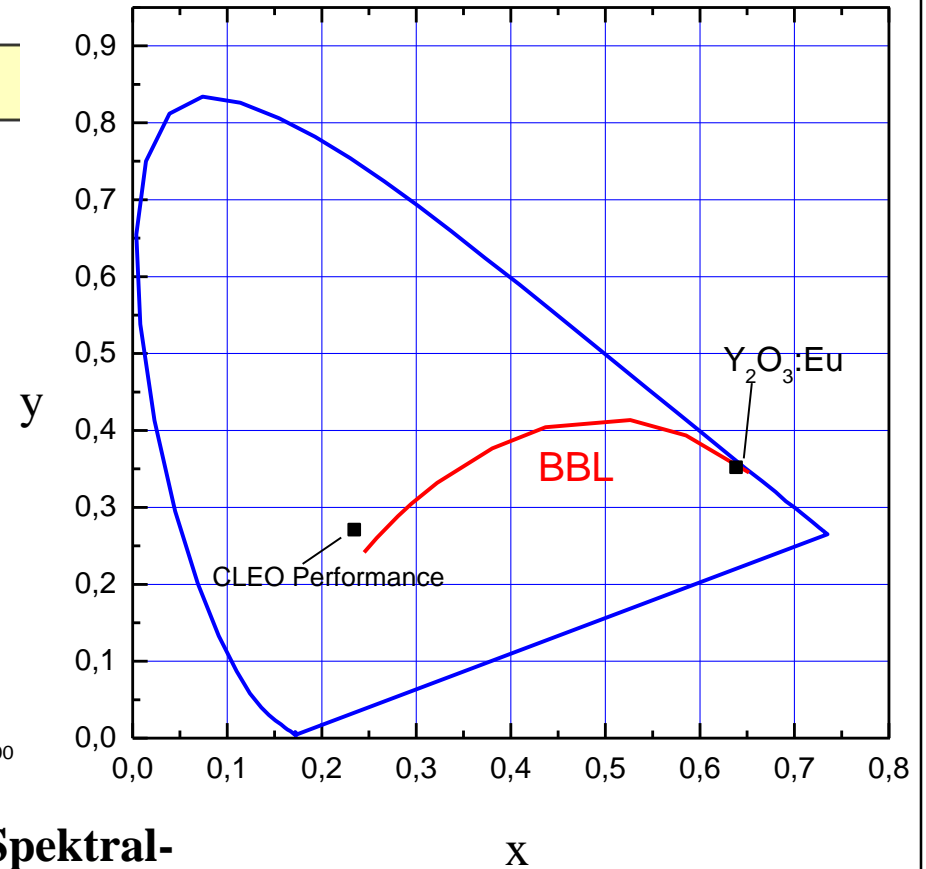
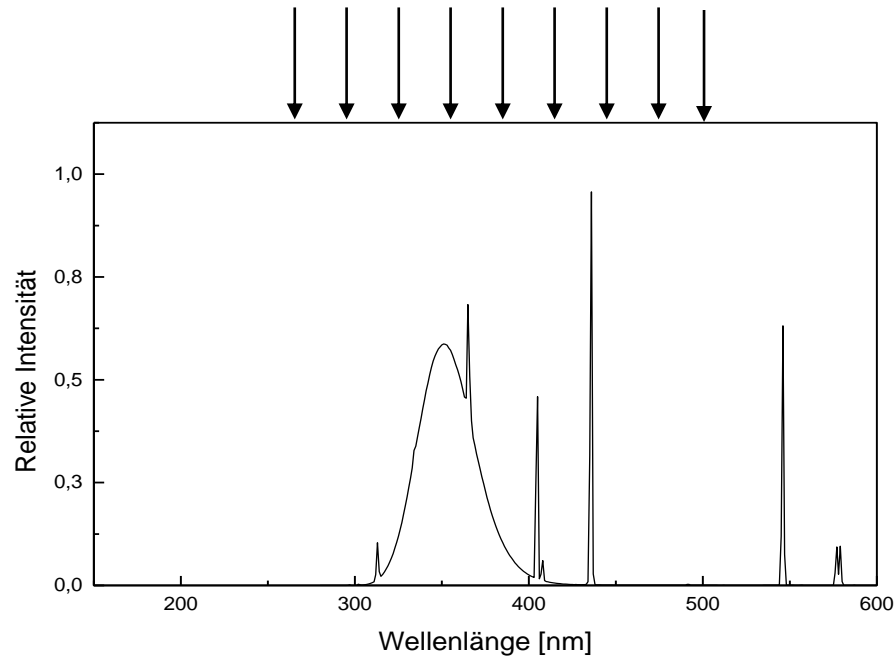
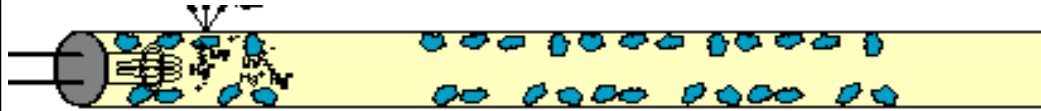
$\text{YPO}_4:\text{Ce}$
+ $\text{LaPO}_4:\text{Ce}$



Die Stabilität der Pb^{2+} -Leuchtstoffe begrenzt die Lebensdauer der Sonnenbanklampen auf etwa 1000 h

12.8 Bräunungslampen

Fluoreszenzlampen – Spektren + Farbpunkte

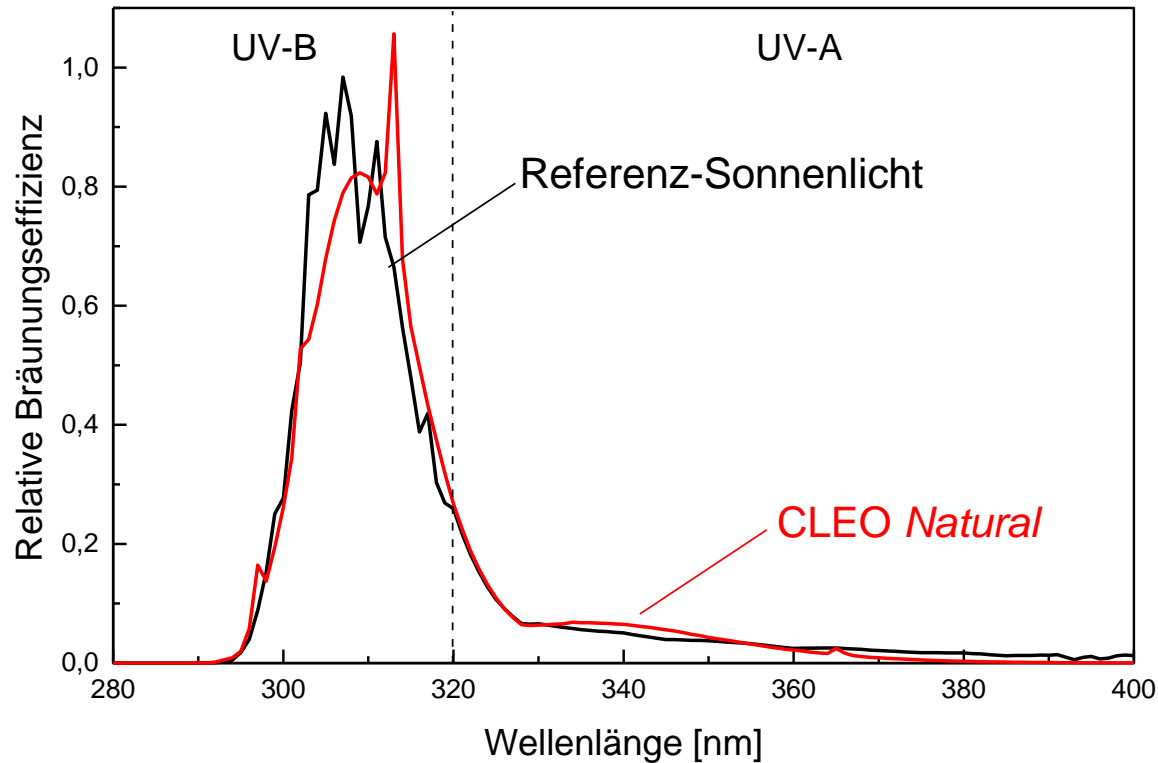


**Durch die Präsenz der Hg-Linien im sichtbaren Spektralbereich emittieren Sonnenbanklampen bläuliches Licht
⇒ Konversion in ein Weißlichtspektrum durch Zugabe eines rot-emittierenden Leuchtstoffes, wie z.B. Y₂O₃:Eu**

12.8 Bräunungslampen

Fluoreszenzlichtquellen mit tageslichtähnlichem Erythemspektrum

⇒ UV-A + UV-B Leuchtstoff, z.B. $\text{LaPO}_4:\text{Ce}$ + $\text{BaSi}_2\text{O}_5:\text{Pb}$



12.9 Psoriasislampen

Behandlung von Hautkrankheiten

Psoriasis, Vitiligo, atopische Dermatitis und andere Hautkrankheiten können mit UV-B Strahlung behandelt werden

Psoriasislampen

Hg-Niederdrucklampen

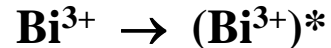
+ UV-B Leuchtstoff

Standardleuchtstoff

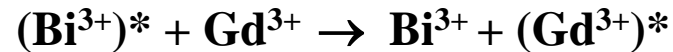
$\text{LaB}_3\text{O}_6:\text{Bi}^{3+},\text{Gd}^{3+}$

UV-B Linienemitter!

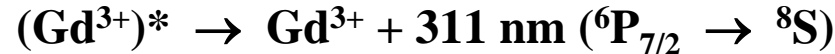
Anregung



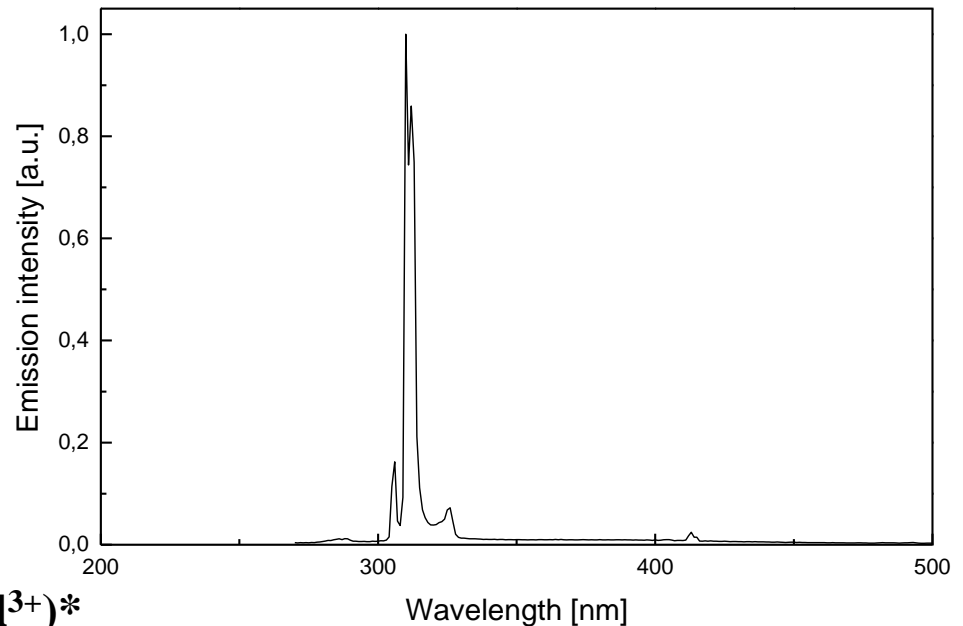
Energietransfer



Emission



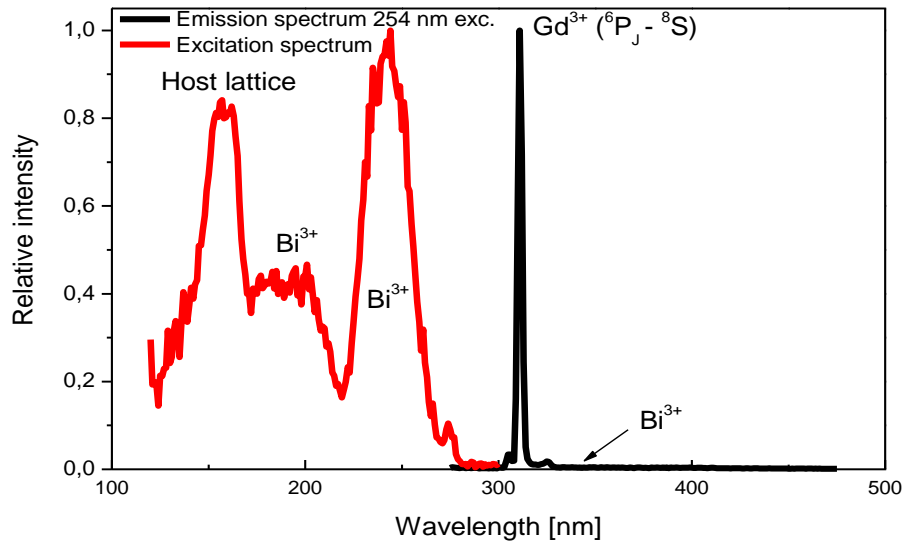
Emissionsspektrum von $\text{LaB}_3\text{O}_6:\text{Bi},\text{Gd}$
(254 nm Anregung)



12.9 Psoriasislampen

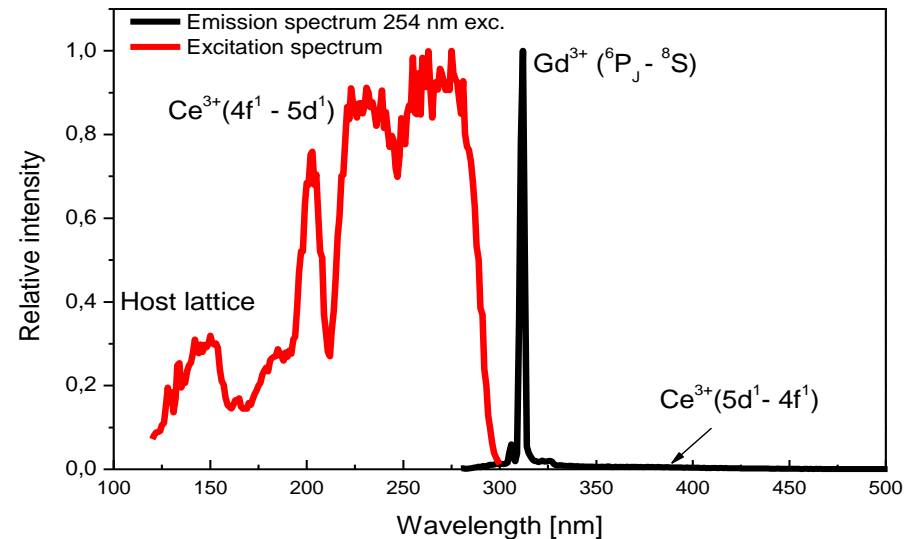
Leuchtstoffe für UV-B Fluoreszenzlampen

Standard $\text{LaB}_3\text{O}_6:\text{Bi}^{3+},\text{Gd}^{3+}$



Wirtsgitter mit Gd^{3+} als Emitter

Sensibilisierung erforderlich $\Rightarrow \text{Ce}^{3+}$ oder Pr^{3+}



Problem: Photostabilität von Bi^{3+}

Lösung: Verwendung von Ce^{3+} als Photosensibilisator

- \Rightarrow Geringe Aufspaltung der 5d-Orbitale des Ce^{3+} erforderlich (z.B. in Phosphaten)
- \Rightarrow Wirtsgitter mit hoher Koordinationszahl für Ln^{3+} (z.B. $\text{GdMgB}_5\text{O}_{10}$)

12.10 Strahlungsquellen für Desinfektionszwecke

Zur Desinfektion von Wasser, Luft und Oberflächen

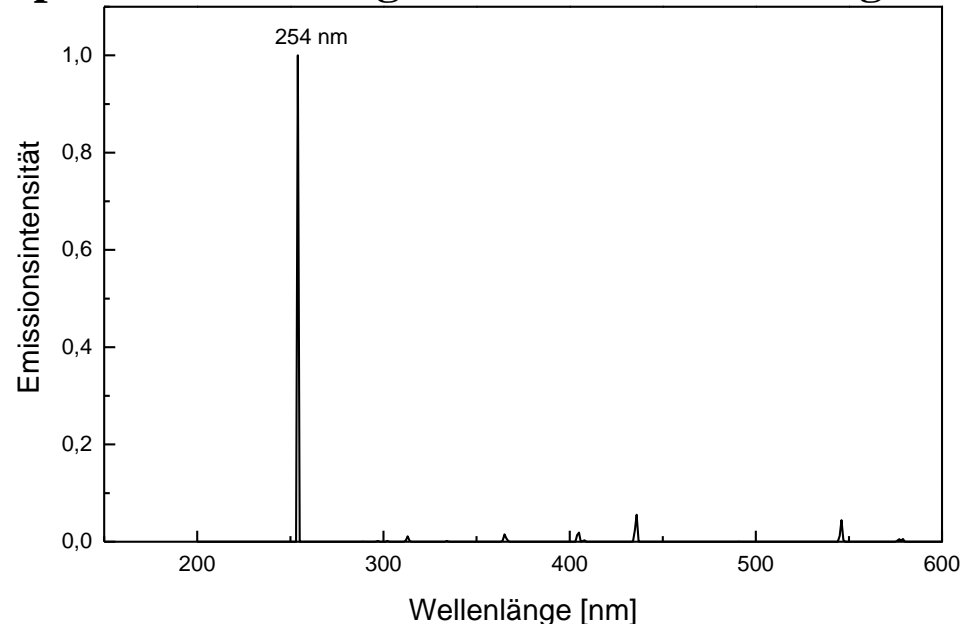
Anforderungen

- Emission zwischen 230 und 280 nm
- Keine Strahlung < 230 nm, da sonst Photoreduktion von NO_3^- zu NO_2^- (in Wasser)
- Keine Strahlung < 200 nm, da sonst Spaltung von H_2O in $\text{H}\cdot + \text{OH}\cdot$

Geignete Lampentypen

- Hg-Niederdruckentladungslampen
Linienemission bei 254 nm
- Hg-Mitteldruckentladungslampen
Emission im ganzen UV-Bereich
- Hg-Hochdruckentladungslampen
Emission im ganzen UV-Bereich

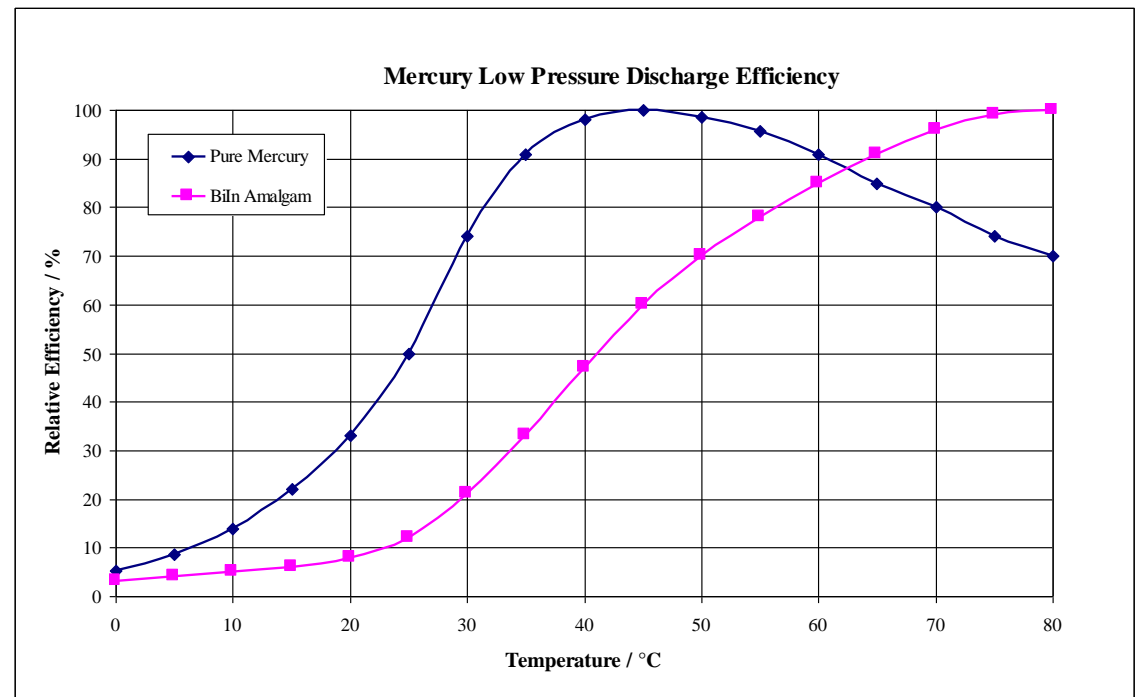
Spektrum einer Hg-Niederdruckentladungslampe



12.10 Strahlungsquellen für Desinfektionszwecke

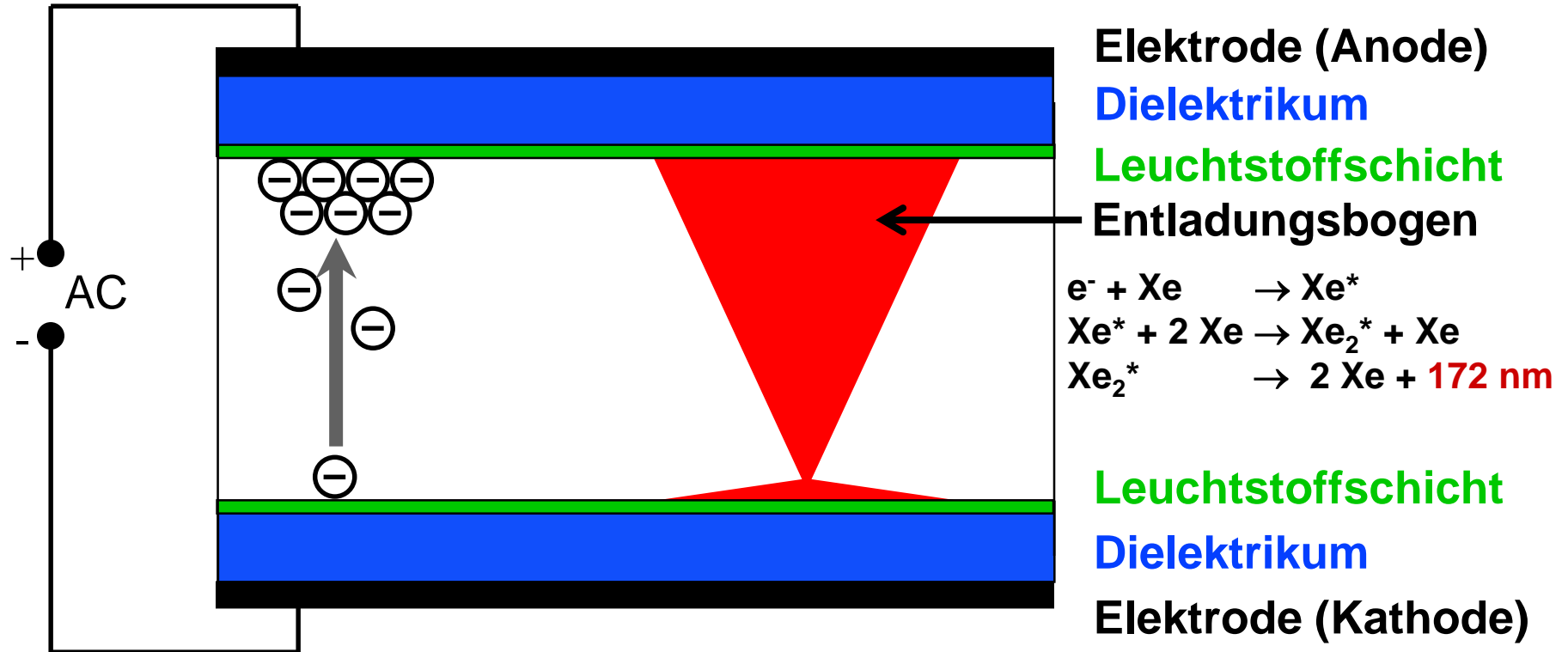
Hg-Entladungslampen: Nachteile

- Umweltverträglichkeit (Hg-Gehalt)
- Empfindlichkeit gegenüber schnellen Schaltzyklen
- Temperaturabhängigkeit der Entladungseffizienz und UV-Lichtausbeute (Wassertemperatur ~ 10 – 15 °C)
- Zylinderförmige Geometrie



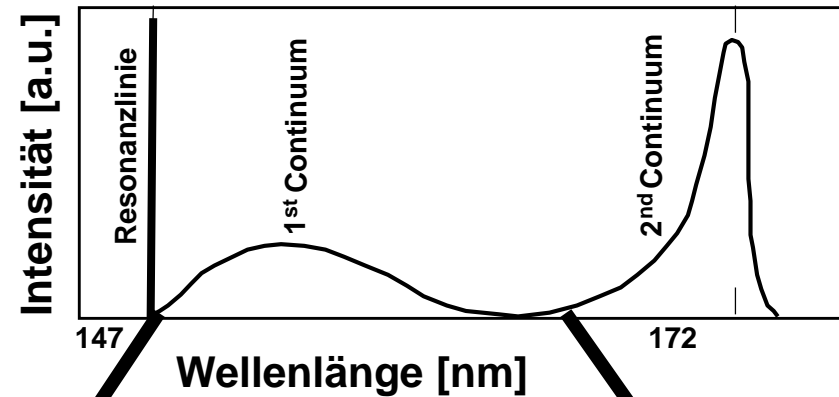
12.10 Strahlungsquellen für Desinfektionszwecke

Dielektrisch behinderte Entladungslampen (Xe-Exzimerlampen)



12.10 Strahlungsquellen für Desinfektionszwecke

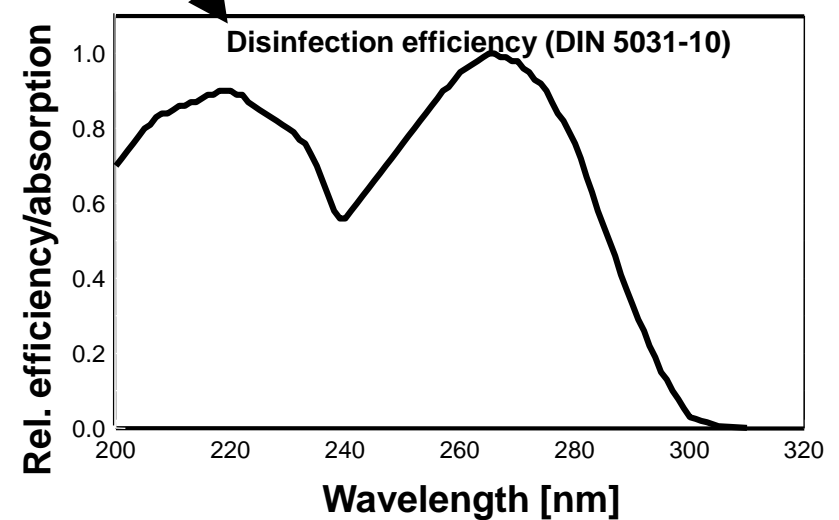
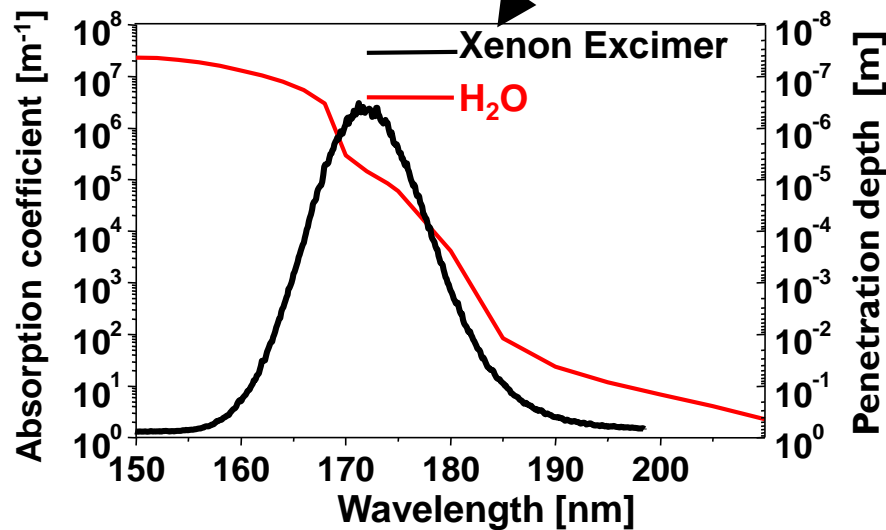
Fluoreszente Xe-Exzimerlampen



Xe₂* Excimerstrahler
Emissionsspektrum

Konversion zu 190 - 200 nm

Konversion zu 200 - 280 nm



Zur Erhöhung der Eindringtiefe

Zur Erhöhung des „GAC-Overlaps“

12.10 Strahlungsquellen für Desinfektionszwecke

UVC Leuchtstoffe für Xe-Exzimerlampen

Anforderungen

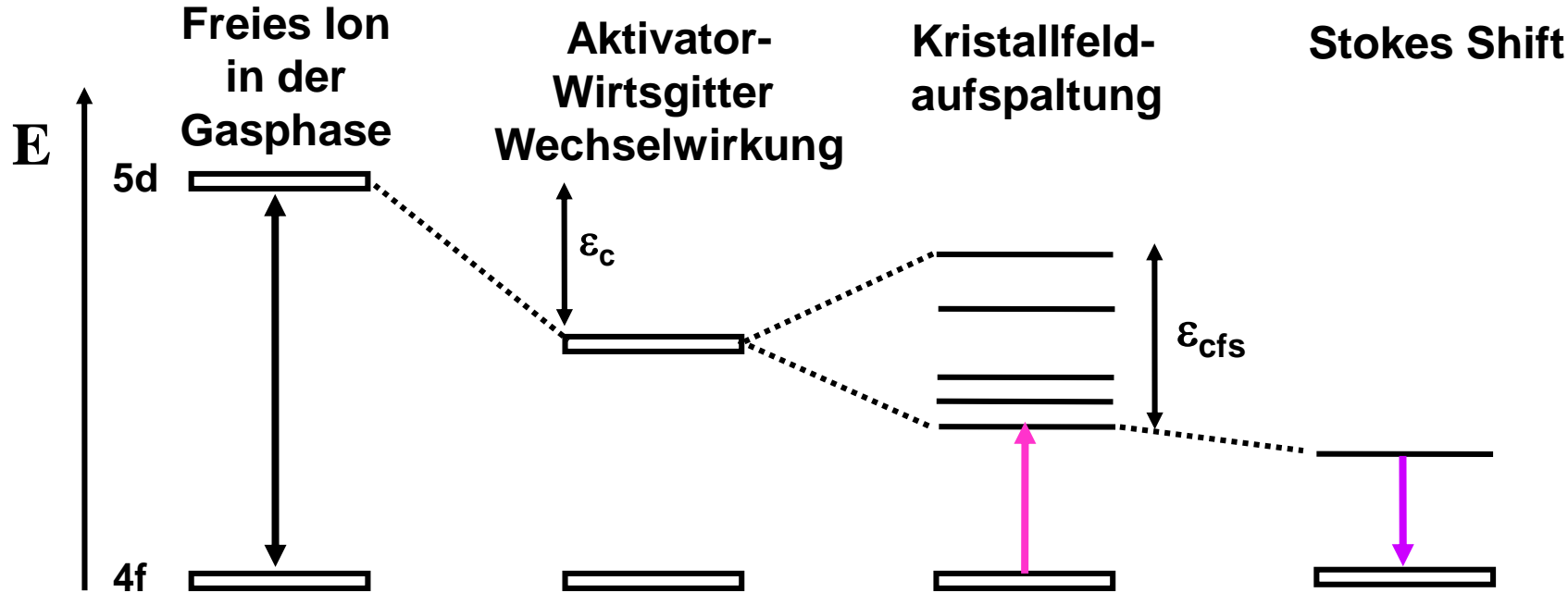
- Emissionsbande im Bereich (190) 200 - 280 nm
- Hohe Lichtausbeute unter 172 nm Anregung
- Hohe VUV Stabilität

⇒ Wirtsgitter mit Bandlücken > 6.0 eV und redoxstabile Aktivatoren

<u>Leuchtstoff</u>	=	<u>Wirtsgitter</u>	+	<u>Aktivator</u>	<u>(optischer Übergang)</u>
		Fluorid		Tl⁺	6s-6p
		Phosphat		Pb²⁺	6s-6p
		Sulfat		Bi³⁺	6s-6p
		Borat		Nd³⁺	4f-5d
		Oxid		Pr³⁺	4f-5d

12.10 Strahlungsquellen für Desinfektionszwecke

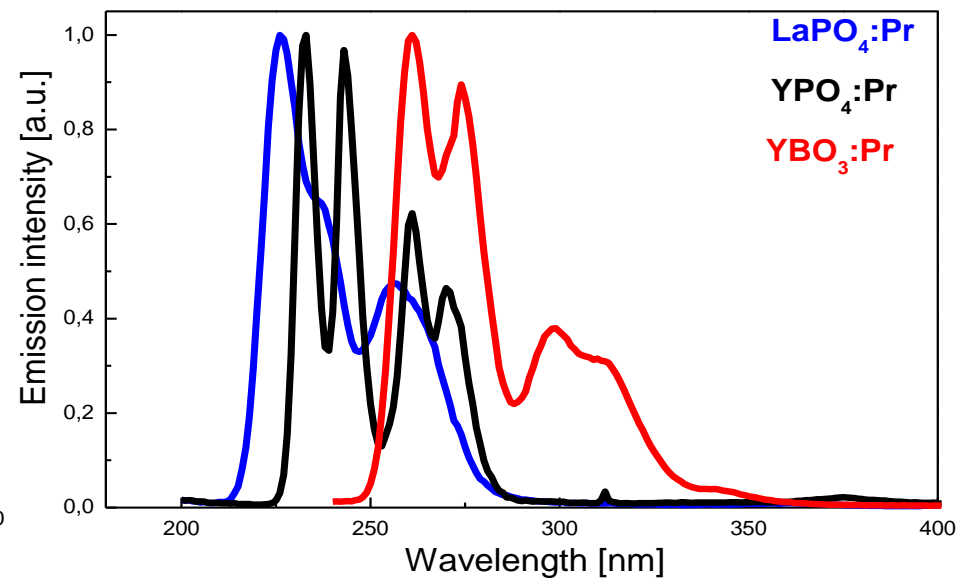
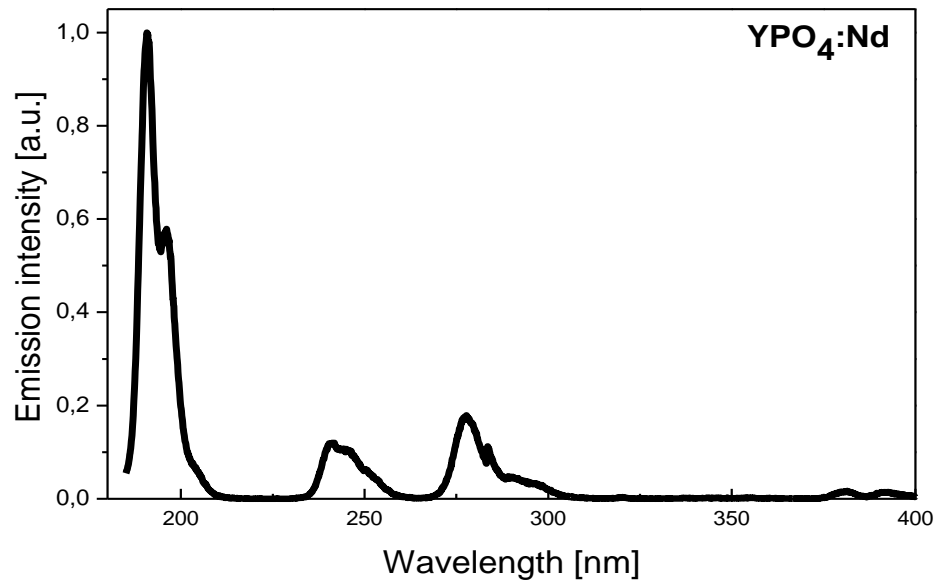
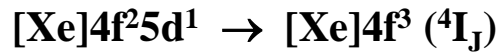
UVC Leuchtstoffe – Modulation der Aktivatorabsorption und Emissionsspektren



Ion	Eu^{2+}	Ce^{3+}	Pr^{3+}	Nd^{3+}
$4f^{n-1}5d^1$ Niveau	34000 cm^{-1}	50000 cm^{-1}	62000 cm^{-1}	74000 cm^{-1}
	295 nm	200 nm	160 nm	130 nm

12.10 Strahlungsquellen für Desinfektionszwecke

Nd³⁺- und Pr³⁺-Leuchtstoffe

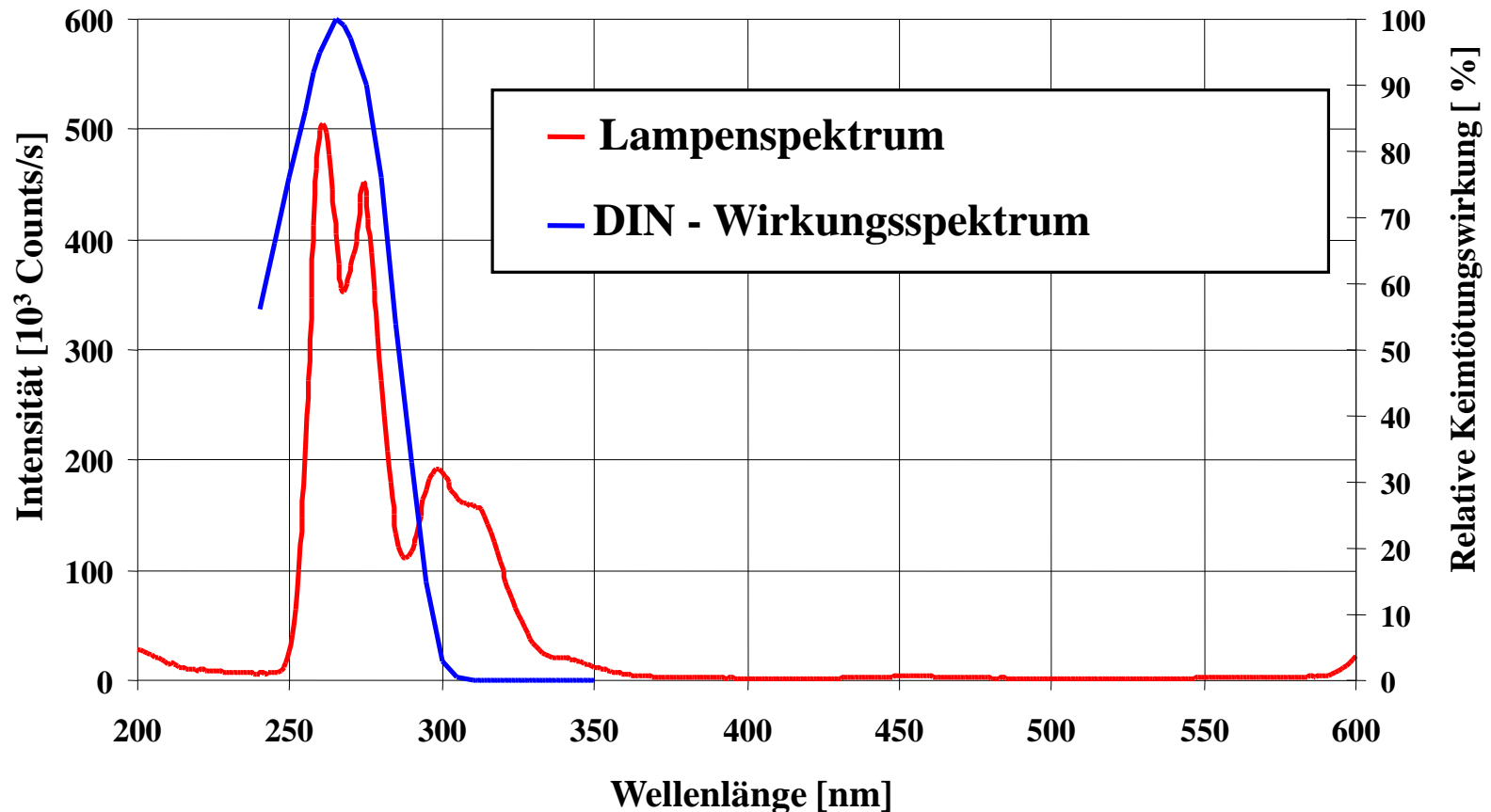


Nd³⁺ Phosphors ⇒ VUV Lichtquellen

Pr³⁺ Phosphors ⇒ UV-C Lichtquellen

12.10 Strahlungsquellen für Desinfektionszwecke

Spektrum einer Xe-Exzimerlampe mit $\text{YBO}_3\text{:Pr}$ als VUV zu UV-C Konverter



12.11 UV LEDs

Chips based on (Al,Ga)N semiconductors

Semiconductor	Band gap [eV]	[nm]
GaN	3.5	365
AlN	6.2	205

Status November 2012
265 nm 70% IQE @ 25 mW

Focus on application in

- Curing 365 nm
- Tanning 350 nm
- Disinfection 265 nm
- Skin safe disinfection 222 nm

Overview on (Al,Ga)N LED applications

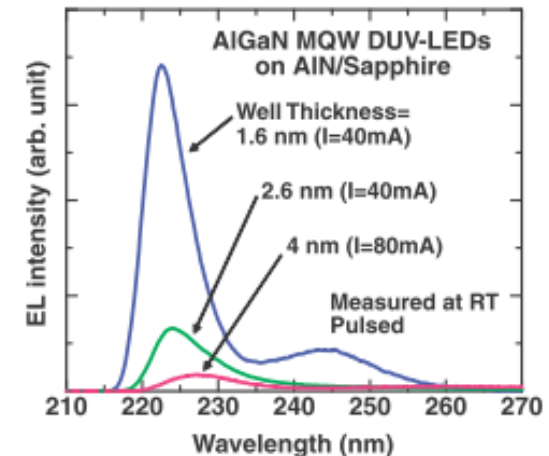
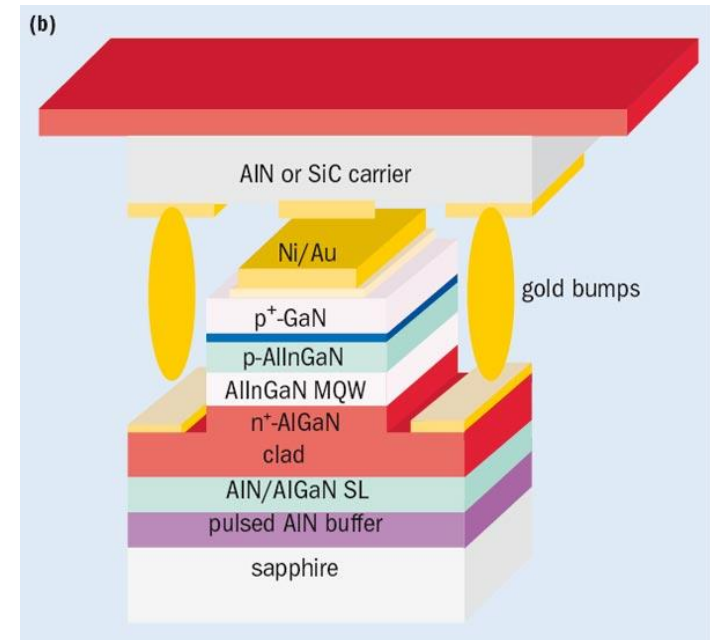


12.11 UV LEDs

UV emitting LEDs

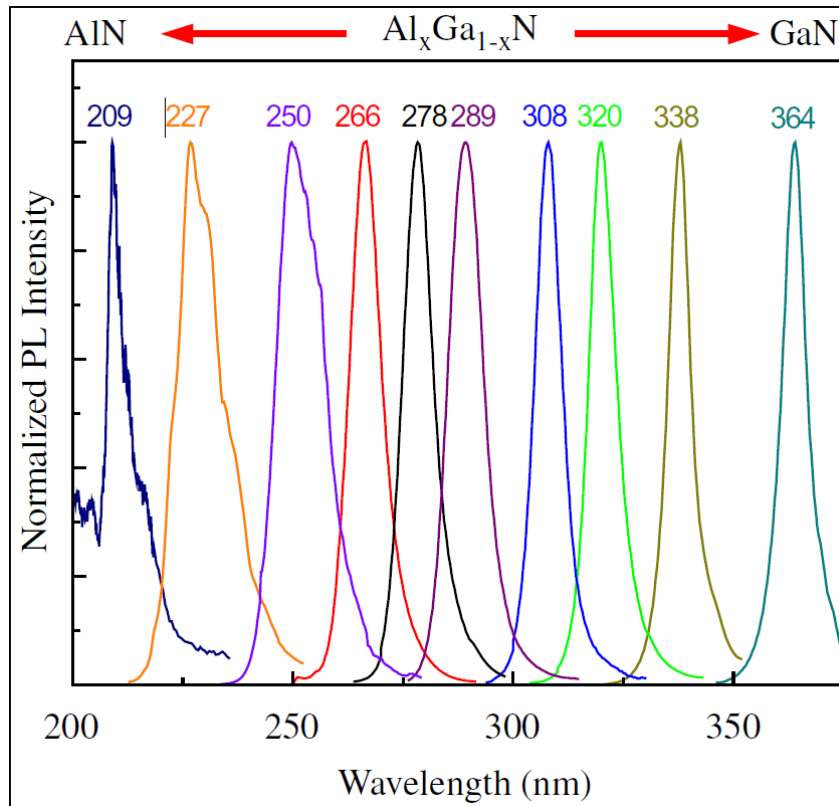
Development / Outlook

- **Heat dissipation: Output and lifetime limit**
- **DUV-LED → DUV Laser Diode: Challenging!**
- **Wavelength: Theoretical limit is 205 nm, Present experimental limit is 223 nm**
- **Fabrication issues to be solved yet: Quality + mass production**
- **Increase efficiency: Layer processing, reduce resistive losses**
- **Multiple chip packaging: 11 mW @ 280 nm**

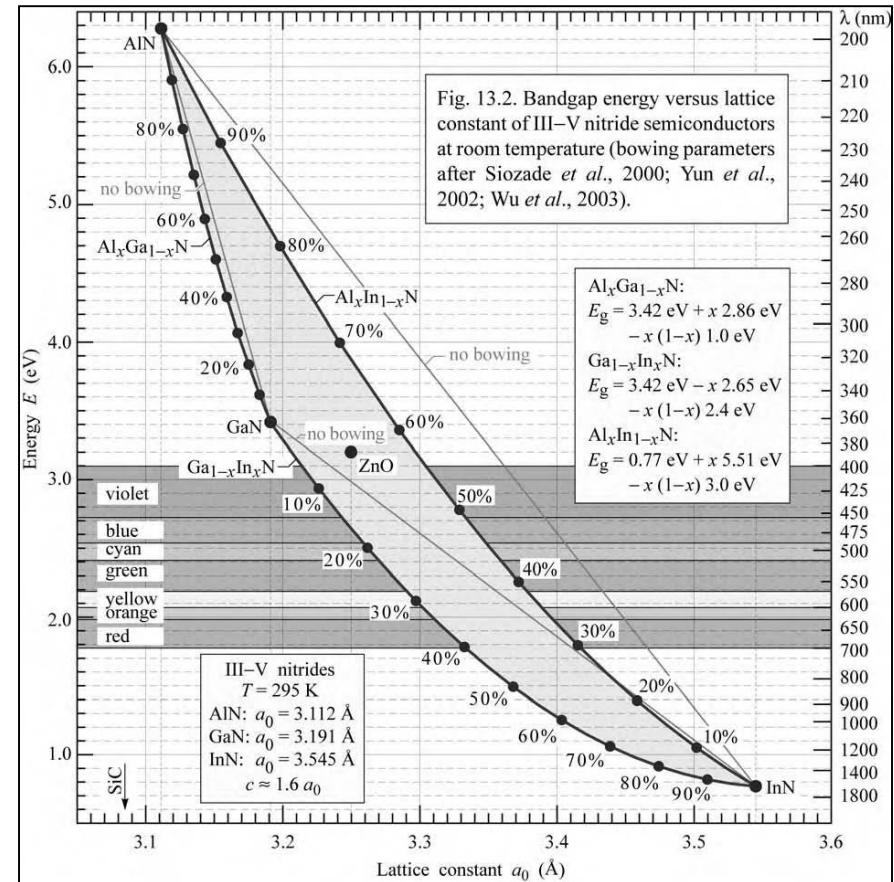


12.11 UV LEDs

(Al,Ga)N LEDs - Band gap engineering



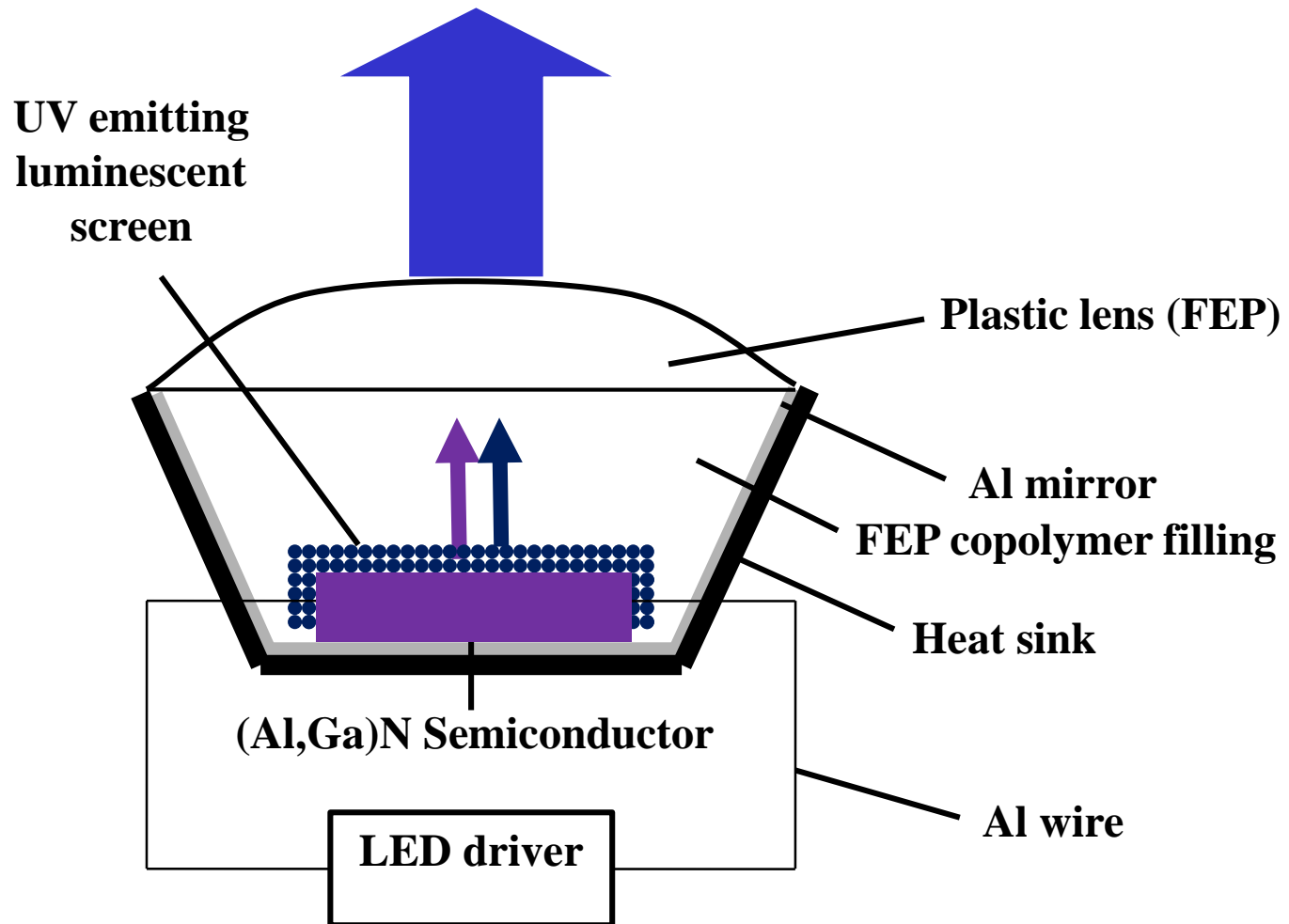
PL spectra of (Al,Ga)N samples



Band gap energy – lattice constant relation

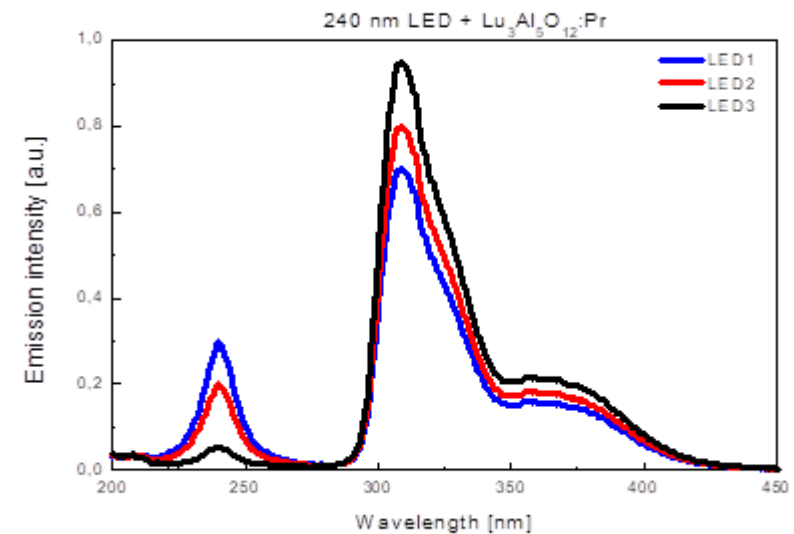
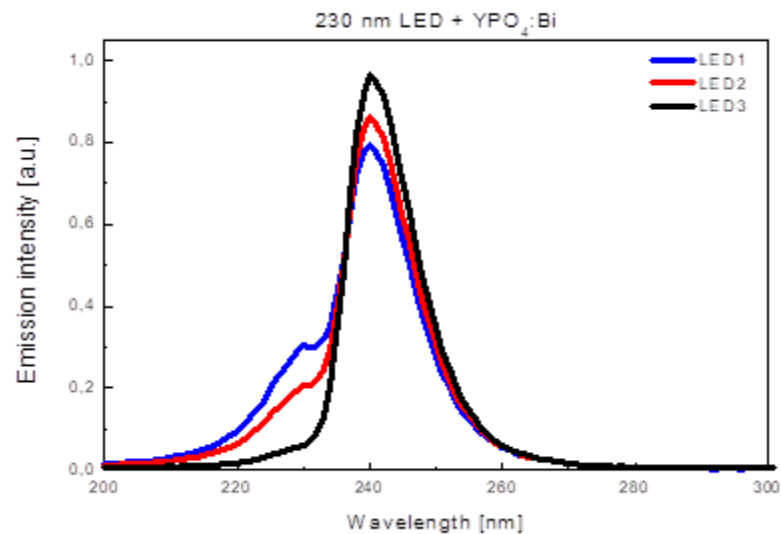
12.11 UV LEDs

(Al,Ga)N LEDs – Phosphor Conversion



12.11 UV LEDs

(Al,Ga)N LEDs – Phosphor conversion to obtain broad band UV spectra



12.12 Zusammenfassung

Standard UV radiation sources: Hg discharge lamps (LP, amalgam LP, MP, and HP)

- Very efficient
- But many disadvantages in application, e.g. Hg content, bad run-up and switching behaviour, lifetime, and temperature dependence

Excimer discharge lamps

- Many emission spectra available, but efficiency is low, e.g. KrCl* at 222 nm
- Xe₂* excimer discharge is the most efficient one (172 nm)
- phosphor converted lamps offer arbitrary UV spectra between 180 and 400 nm adjustable to application demands

UV emitting LEDs

- AlN and GaN form a solid solution, which offer band gap engineering and emission peak adjustment between about 210 and 365 nm
- Main problems: n-type and p-type doping
- UV radiation flux and efficiency is still low, package degrades quickly
- LEDs are small and flexible low-voltage devices