

# 6. Hochdruckentladungslampen

## Inhalt

- 6.1 Übersicht Nieder- und Hochdruckentladungslampen
- 6.2 Spektrum der Hg-Entladung
- 6.3 Die Hg-Hochdrucklampe (HP)
- 6.4 Leuchtstoffe für Hg-Hochdrucklampen
- 6.5 Die Elektrode
- 6.6 Die Elektroden-Einschmelzung
- 6.7 Reflektortypen
- 6.8 Anwendung der HP-Lampen
- 6.9 Die Na-Hochdrucklampe (HPS)
- 6.10 Anwendung der HPS-Lampen
- 6.11 Metall-Halogenid-Lampen (MH)
- 6.12 Lichttechnische Daten im Vergleich
- 6.13 Anwendungen der MH-Lampen
- 6.14 UHP-Lampen
- 6.15 Neue Entwicklungen



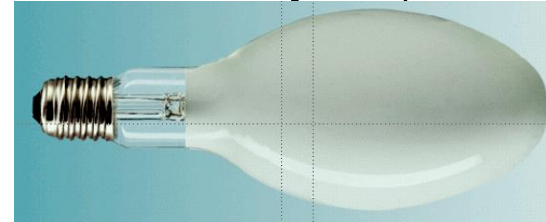
# 6.1 Übersicht Nieder- und Hochdruckentladungslampen

**HID = high intensity discharge**

**Hg-Niederdruck (TL)**



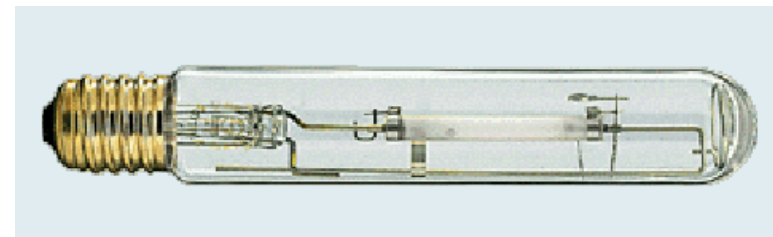
**Hg-Hochdruck (HPMV = high pressure metal vapour)**



**Hg-Niederdruck (CFL)**



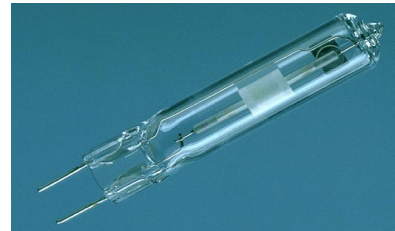
**Na-Hochdruck (HPS = high pressure sod.)**



**Na-Niederdruck (SOX)**

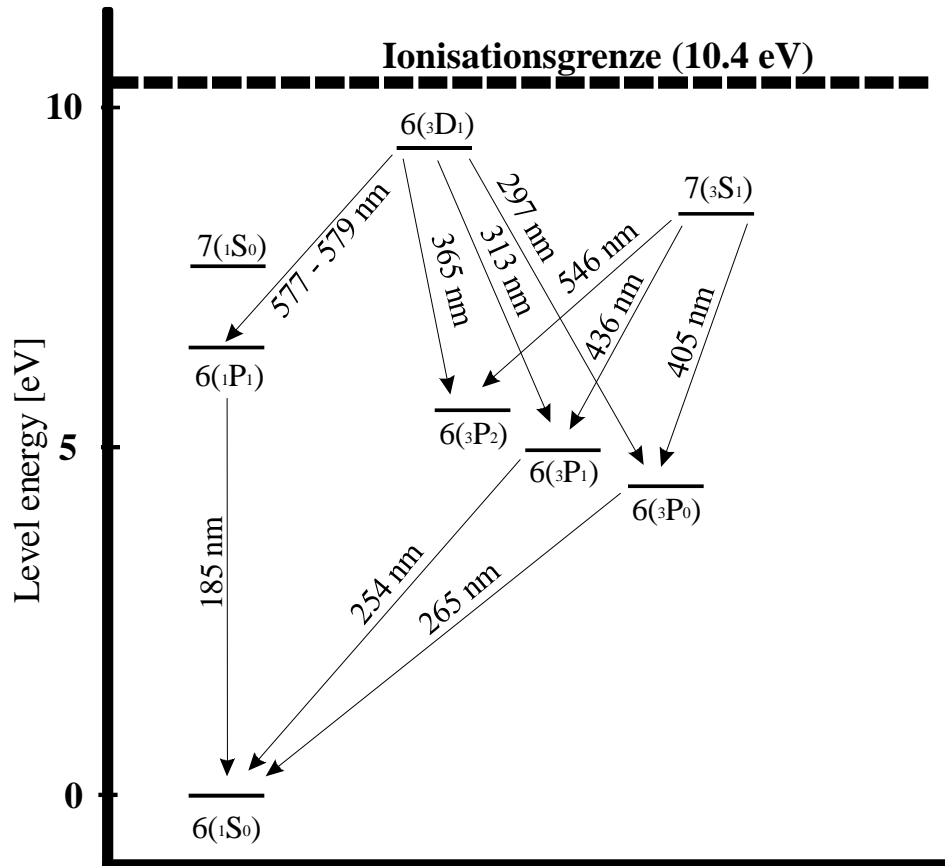


**Metall-Halogenid-Hochdruck (MH)**

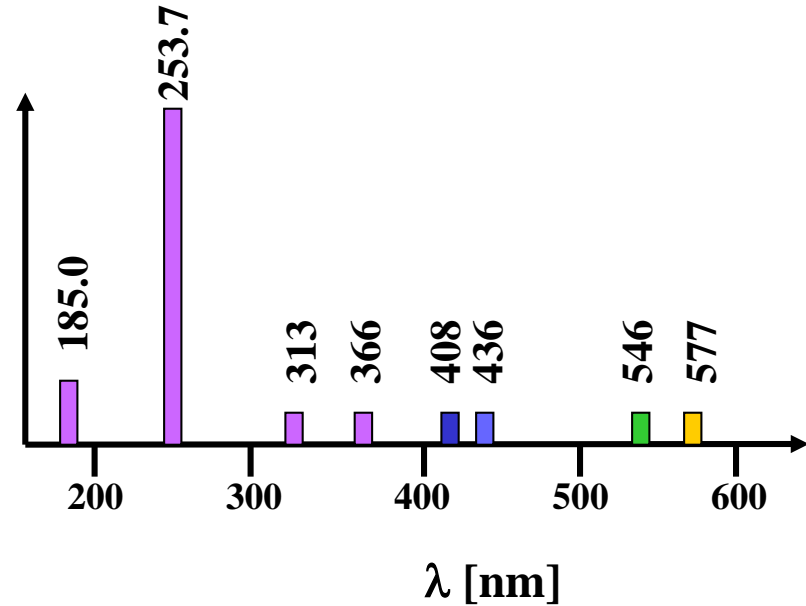


# 6.2 Spektrum der Hg-Entladung

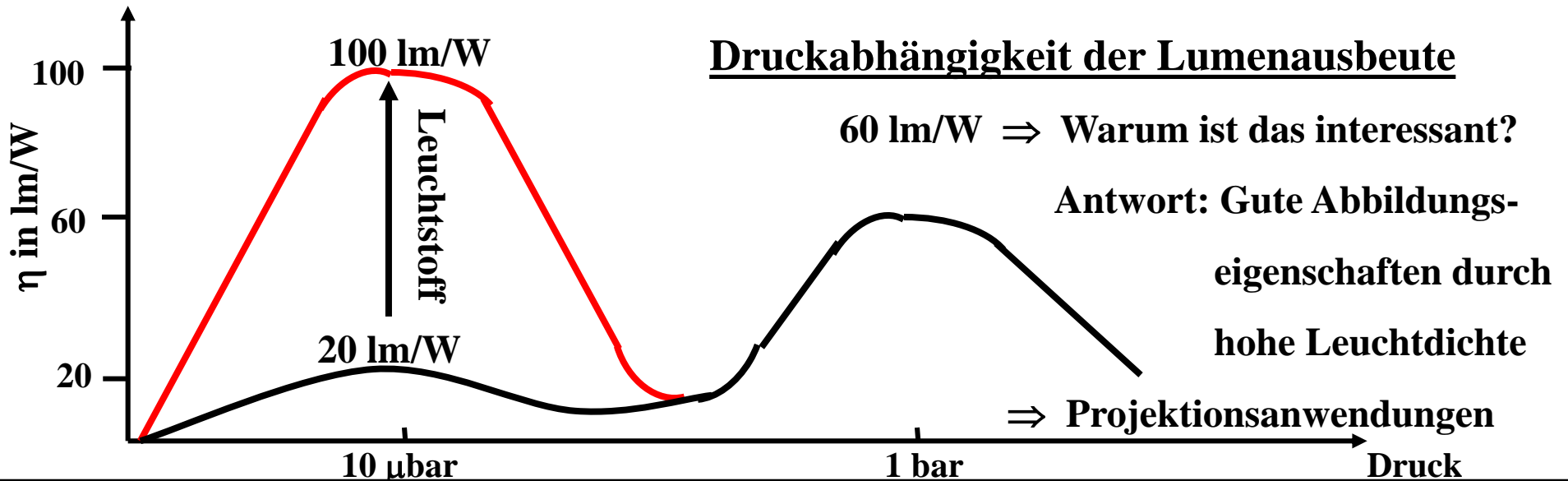
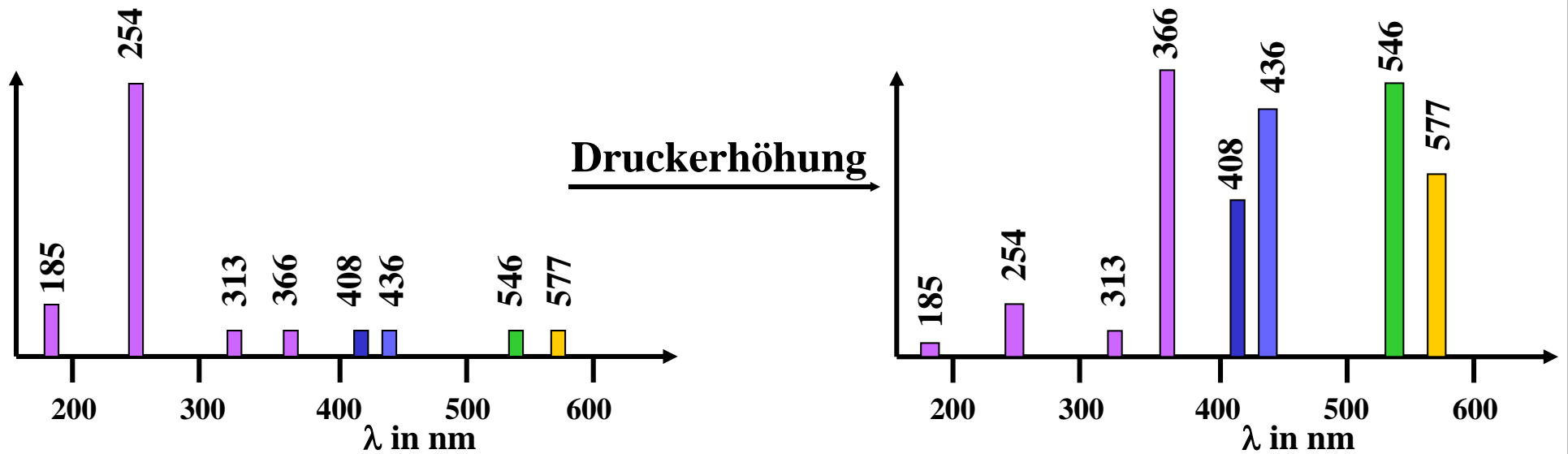
Termschema von Hg



Emissionsspektrum einer Hg-Entladung bei niedrigen Drücken (~mbar)

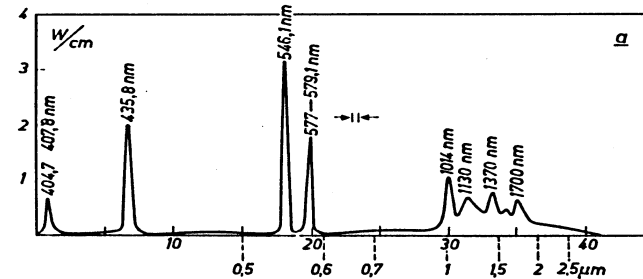


# 6.2 Spektrum der Hg-Entladung

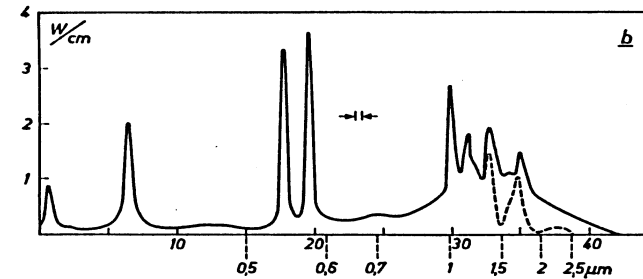


# 6.2 Spektrum der Hg-Entladung

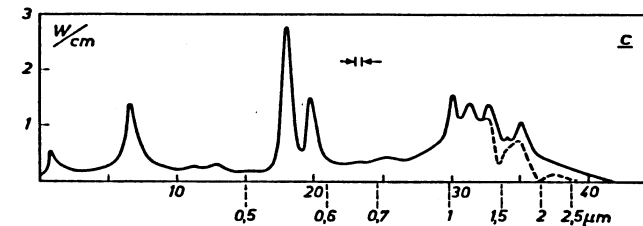
## Gemessene Spektren einer wassergekühlten Kapillar-Hg-Entladungslampe



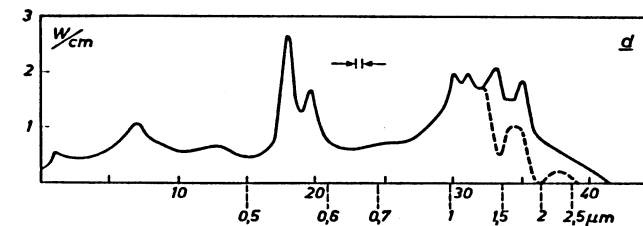
P = 25 atm.



P = 30 atm.



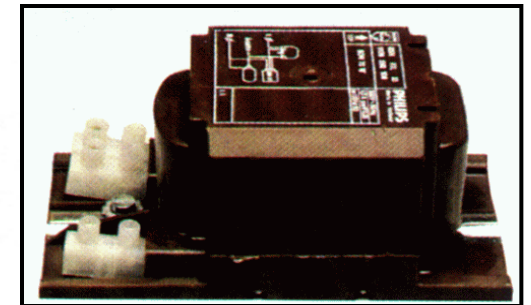
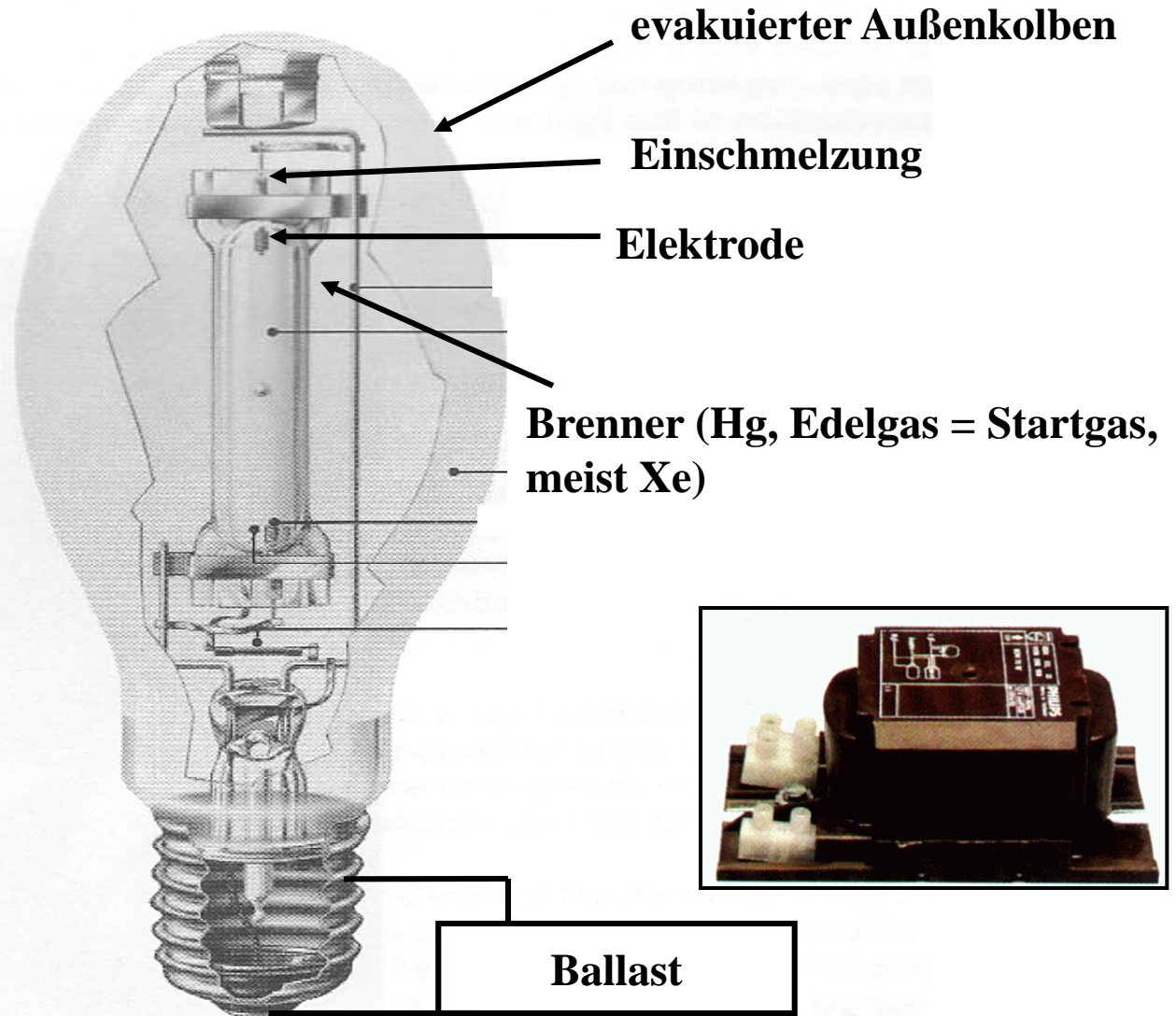
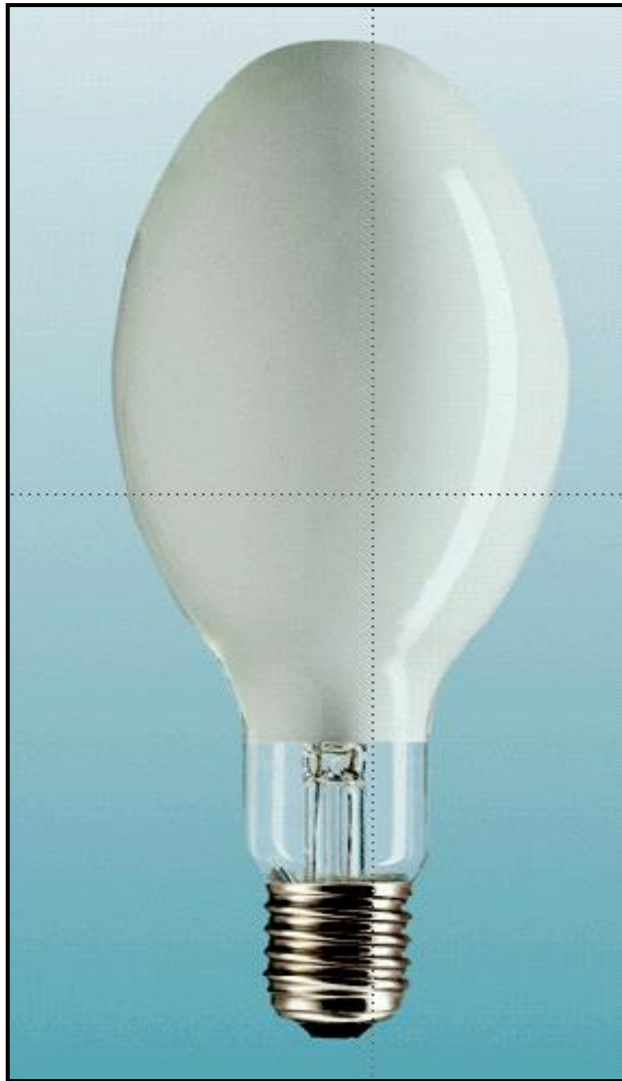
P = 100 atm.



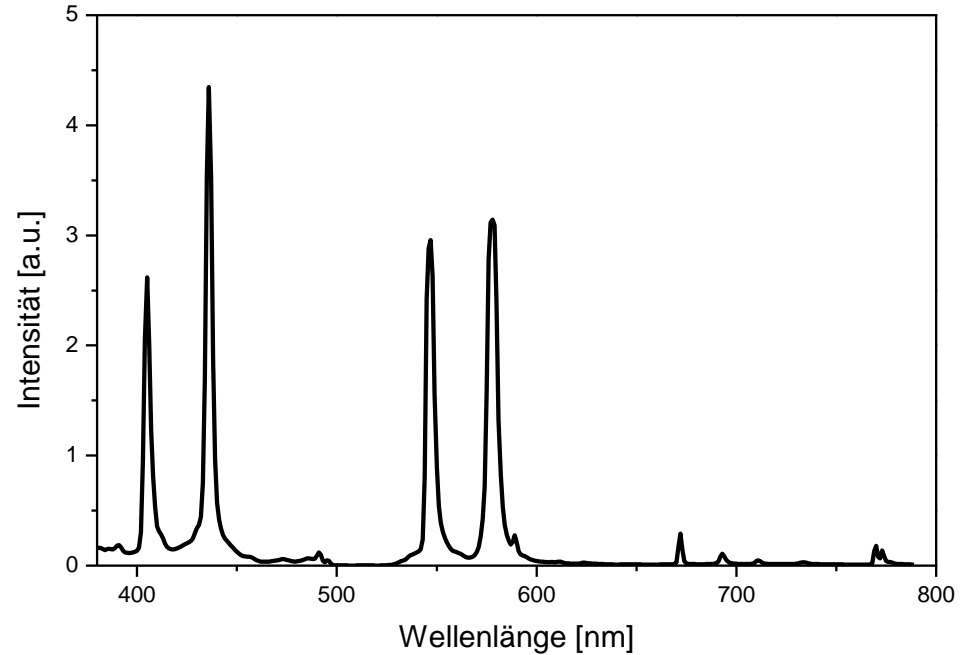
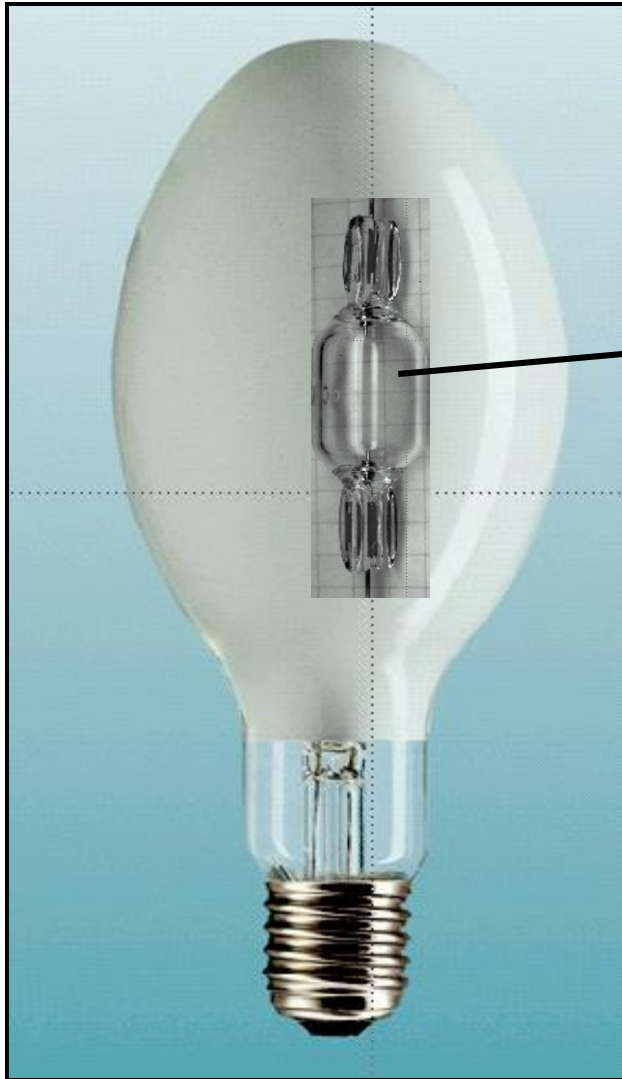
P = 150 atm.

Quelle: W. Elenbaas,  
Quecksilberdampf-  
Hochdrucklampen (1966)

## 6.3 Die Hg-Hochdrucklampe (HP)



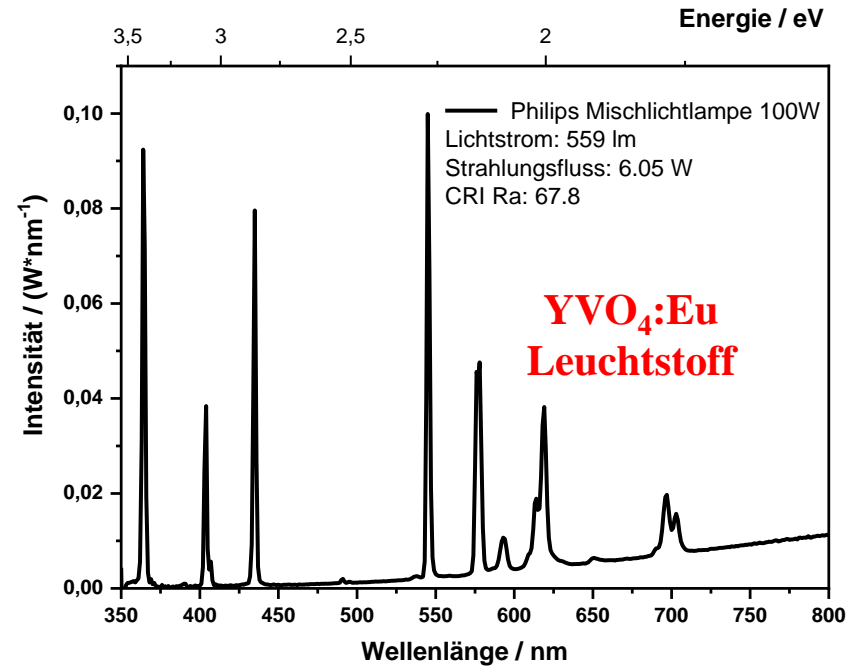
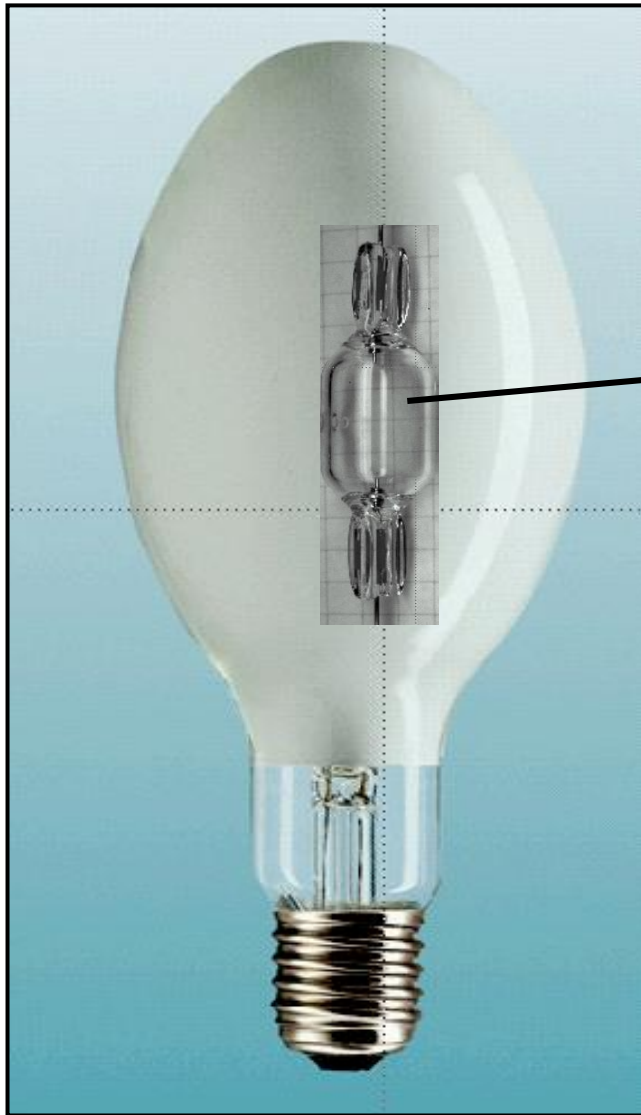
# 6.4 Leuchtstoffe für Hg-Hochdrucklampen



$\eta = 60 \text{ lm/W}$   
 $R_a = 20$   
Lebensdauer = 20.000 h

**Blau-weißes Licht, d.h. es  
fehlt rote Strahlung im  
Spektrum  
Lösung: Leuchtstoff!**

# 6.4 Leuchtstoffe für Hg-Hochdrucklampen



## Leuchtstoffe

$(\text{Sr},\text{Mg})_3(\text{PO}_4)_2:\text{Sn}$

$\text{Mg}_4\text{GeO}_{5.5}\text{F}:\text{Mn}$

$\text{YVO}_4:\text{Eu}$

$\text{Y}(\text{V},\text{P})\text{O}_4:\text{Eu}$

**620 nm Breitbandemission**

**660 nm Linienemission**

**620 nm Linienemission**

**620 nm Linienemission**

$\eta = 60 \text{ lm/W}$

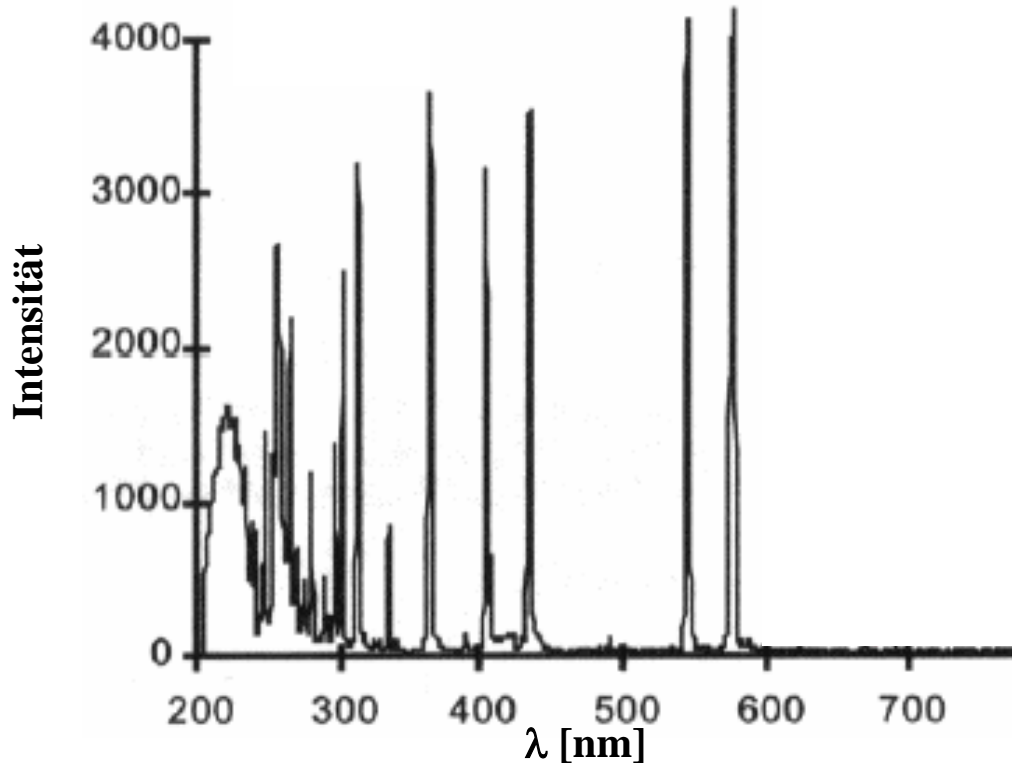
$R_a = 50-70$

**Lebensdauer = 20.000 h**



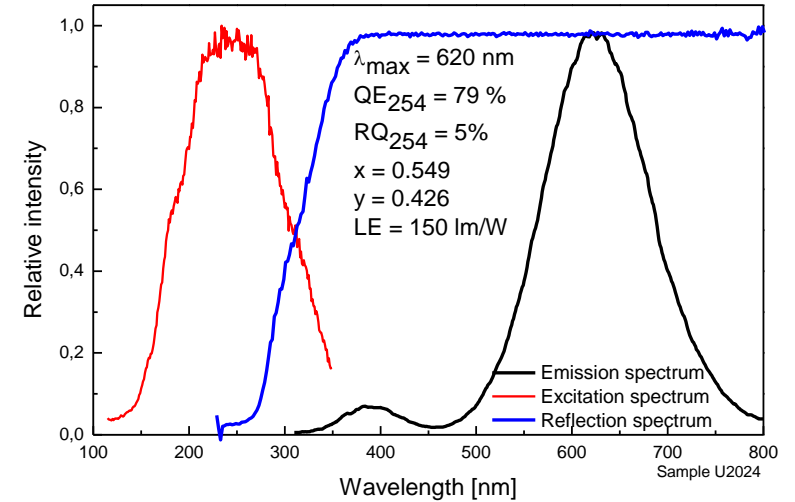
# 6.4 Leuchtstoffe für Hg-Hochdrucklampen

**Sn<sup>2+</sup>, Mn<sup>4+</sup> Leuchtstoffe  
als UV → Rot Konverter**

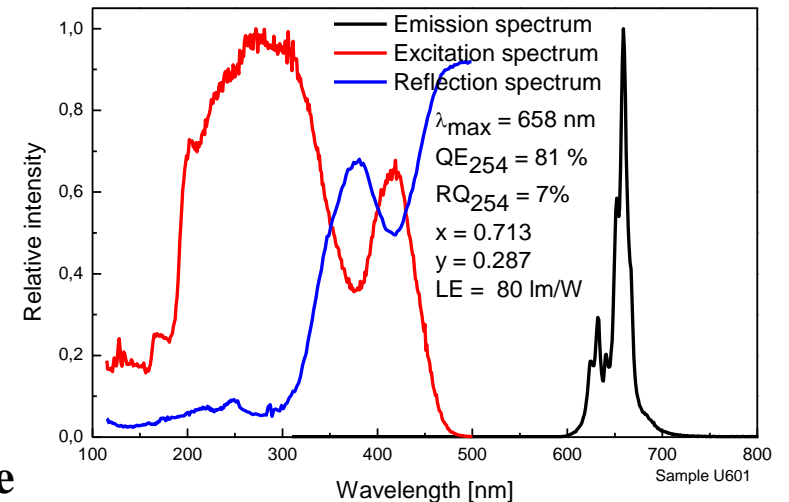


**Problem: Geringes Lumenäquivalent der Leuchtstoffe**

Lumineszenzspektren von (Sr,Mg)<sub>3</sub>(PO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>:Sn



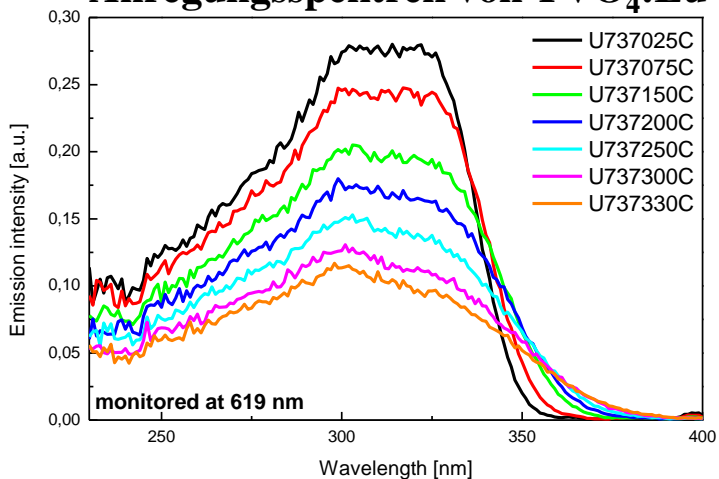
Lumineszenzspektren von Mg<sub>4</sub>GeO<sub>5.5</sub>F:Mn



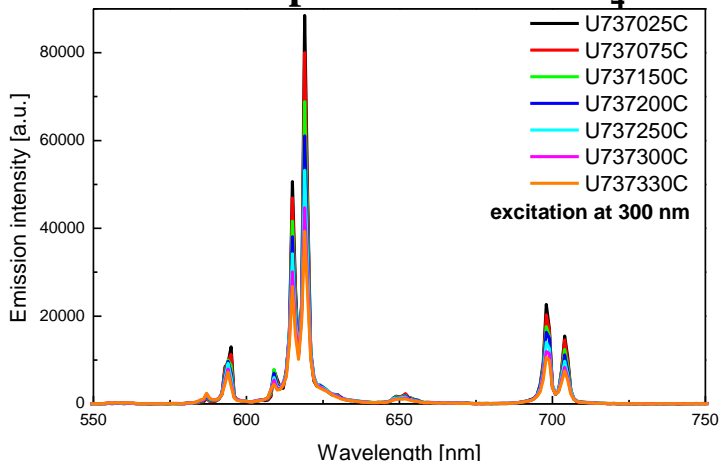
# 6.4 Leuchtstoffe für Hg-Hochdrucklampen

## YVO<sub>4</sub>:Eu<sup>3+</sup> Leuchtstoffe – Thermisches Verhalten

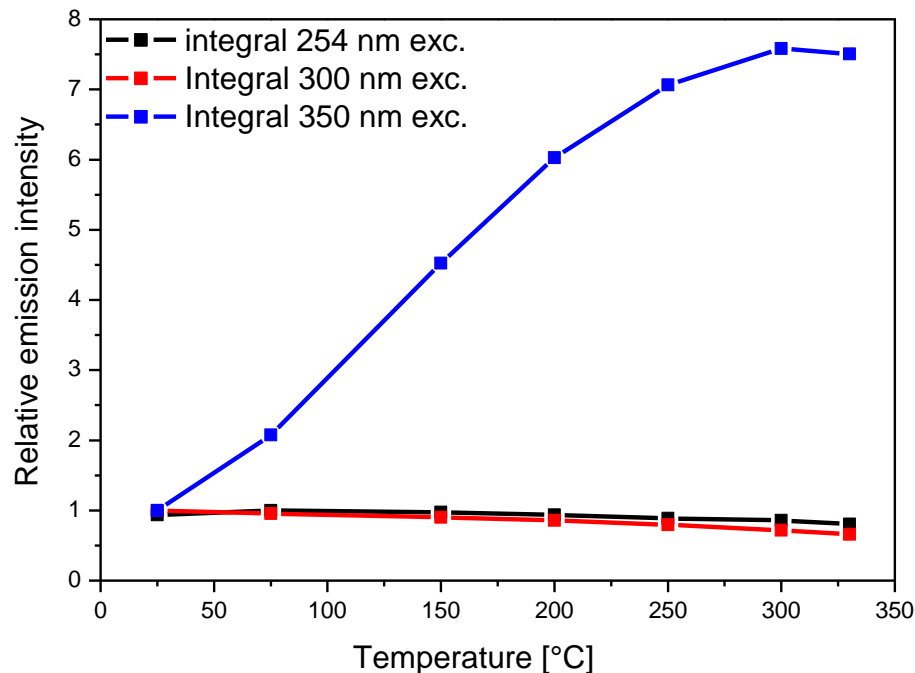
Anregungsspektren von YVO<sub>4</sub>:Eu



Emissionsspektren von YVO<sub>4</sub>:Eu



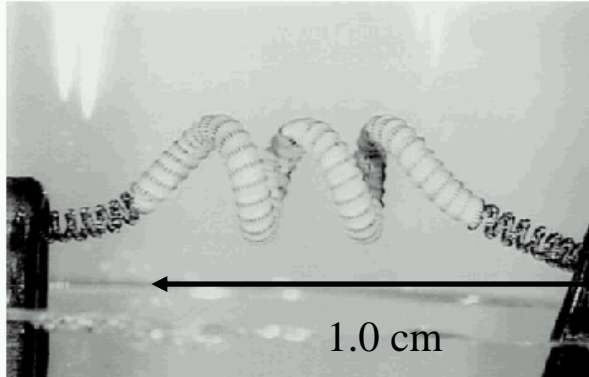
Lumineszenzintensität als Funktion der Temperatur und Anregungswellenlänge



Die Lichtausbeute unter UV-A Anregung steigt bis ca. 300°C an  
 Grund: Zunahme des spektralen Überlappung

# 6.5 Die Elektrode

## Hg-Niederdruck

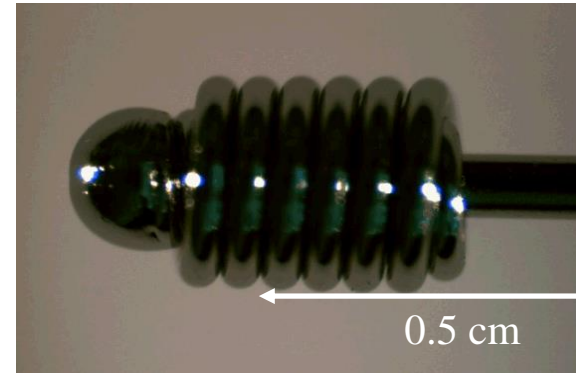


**36 W**  
**I = 0.36 A**

**Wolfram + Emitter**  
**BaO / SrO / CaO**

**T = 1350 K**

## Hg-Hochdruck



**400 W**  
**I = 4 A**

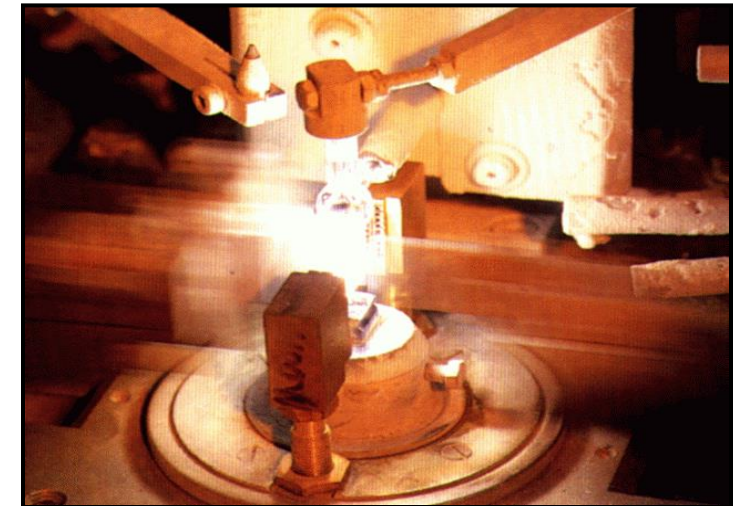
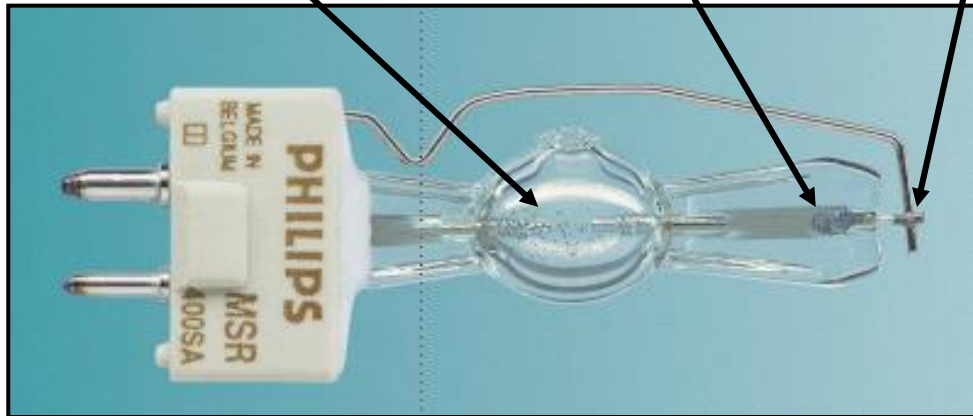
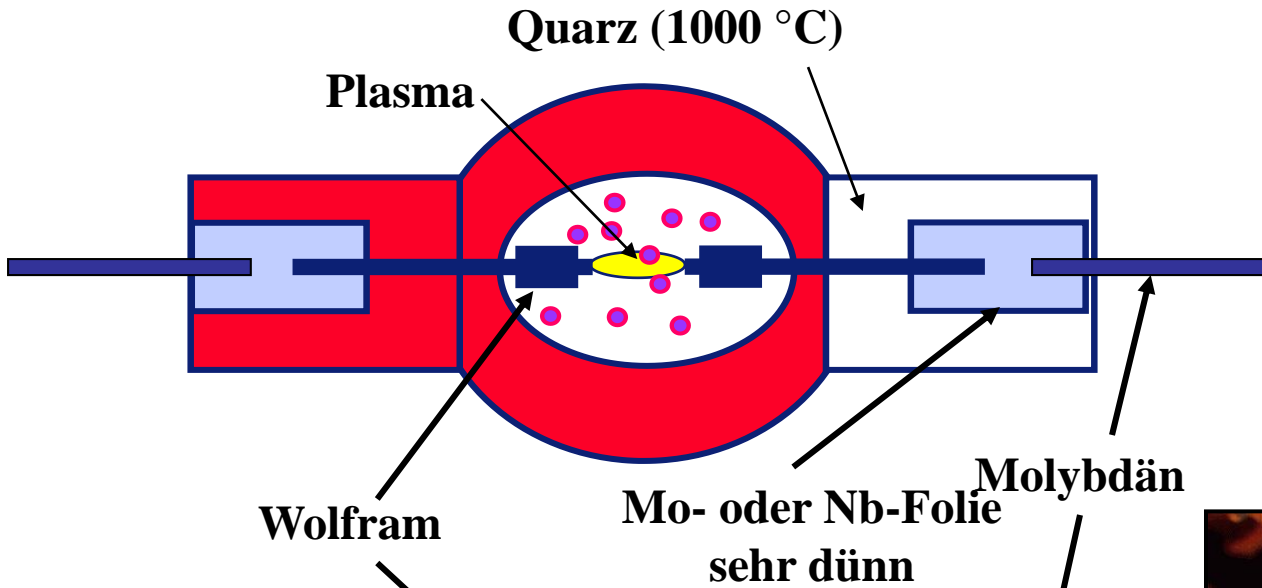
**Wolfram + Emitter**  
**BaO / SrO / Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub> / ThO<sub>2</sub>**

**T = 2000 - 3000 K**

# 6.6 Die Elektroden-Einschmelzung

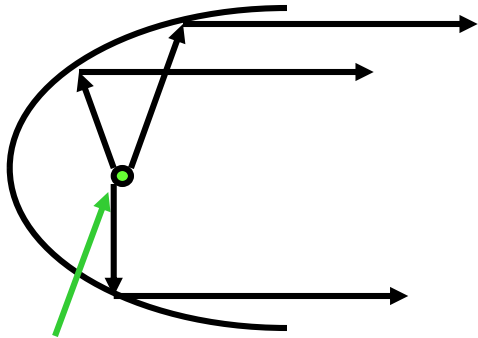
**Problem: Unterschiedl. therm. Ausdehnungskoeffizienten**

SiO <sub>2</sub>	$\alpha = 0.5 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$
W	$\alpha = 4.3 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$
Mo	$\alpha = 2.8 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$



# 6.7 Reflektortypen

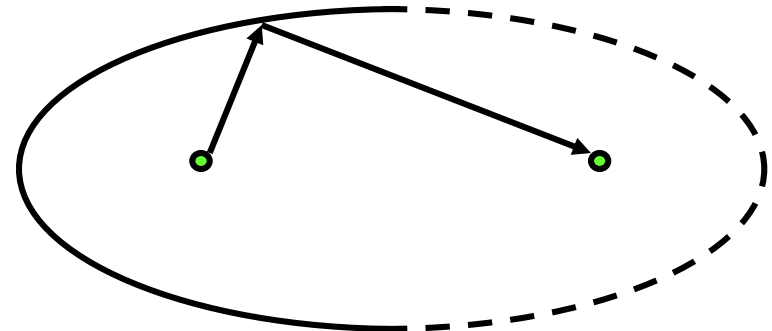
## parabolische Reflektoren



$$y = x^2$$

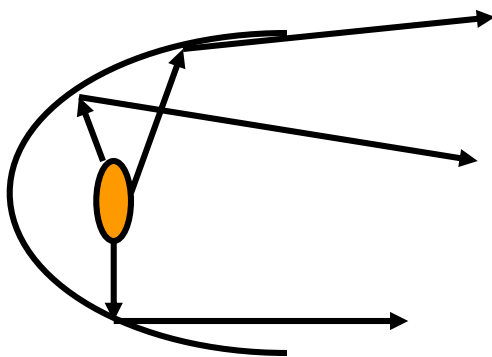
Brennpunkt (Lichtquelle)

## elliptische Reflektoren

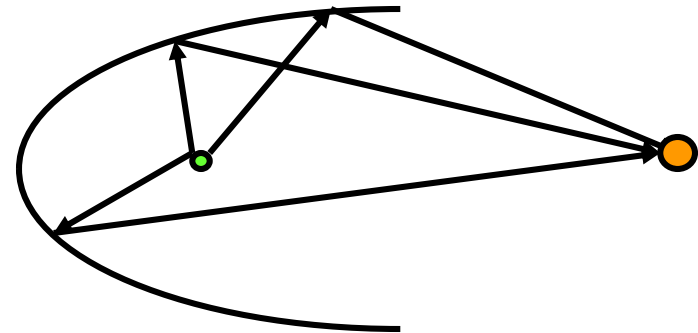


Eine Ellipse hat zwei Brennpunkte

Nur dann, wenn Lichtquelle klein ist

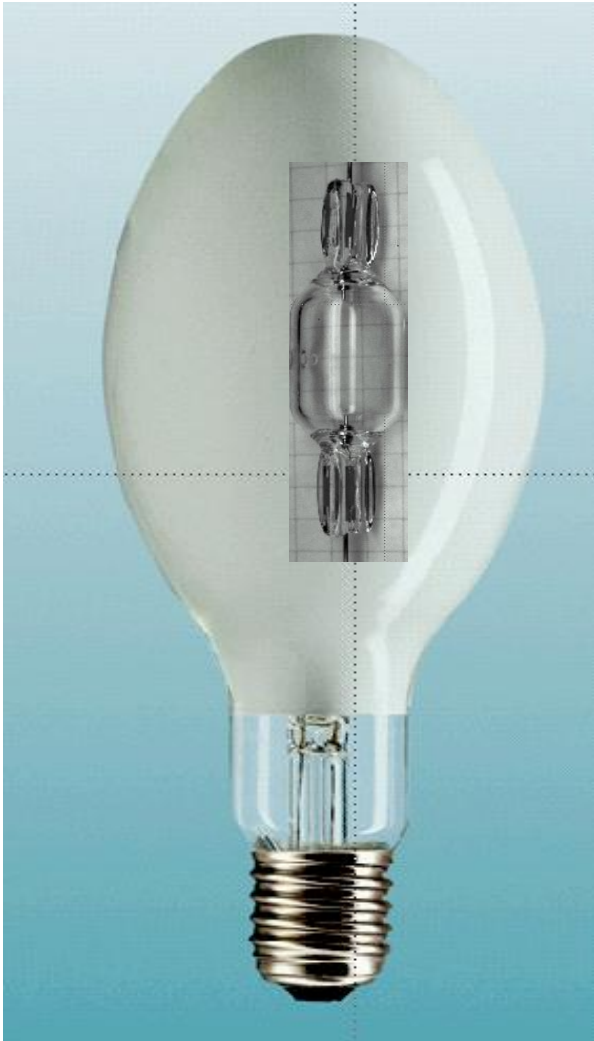


HID-Lampen

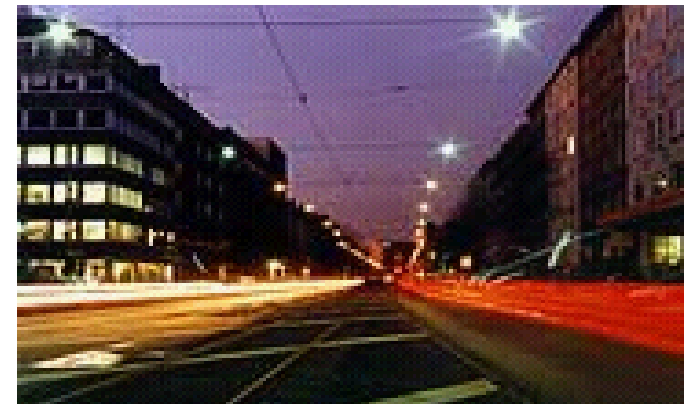


# 6.8 Anwendung der HP-Lampen

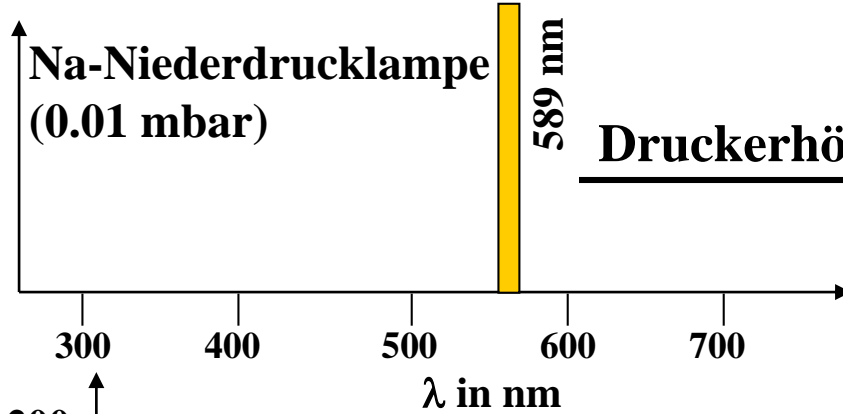
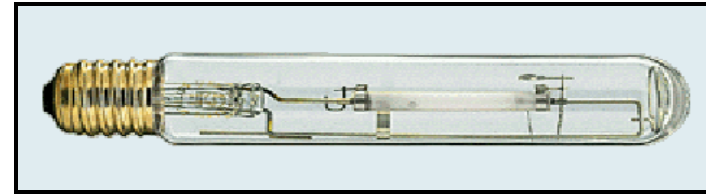
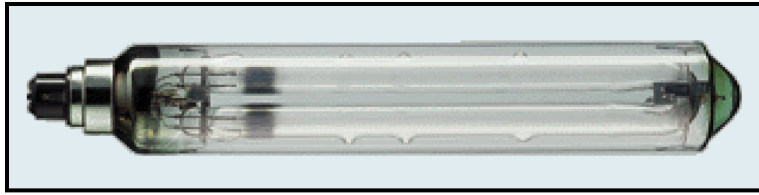
## In der Straßenbeleuchtung



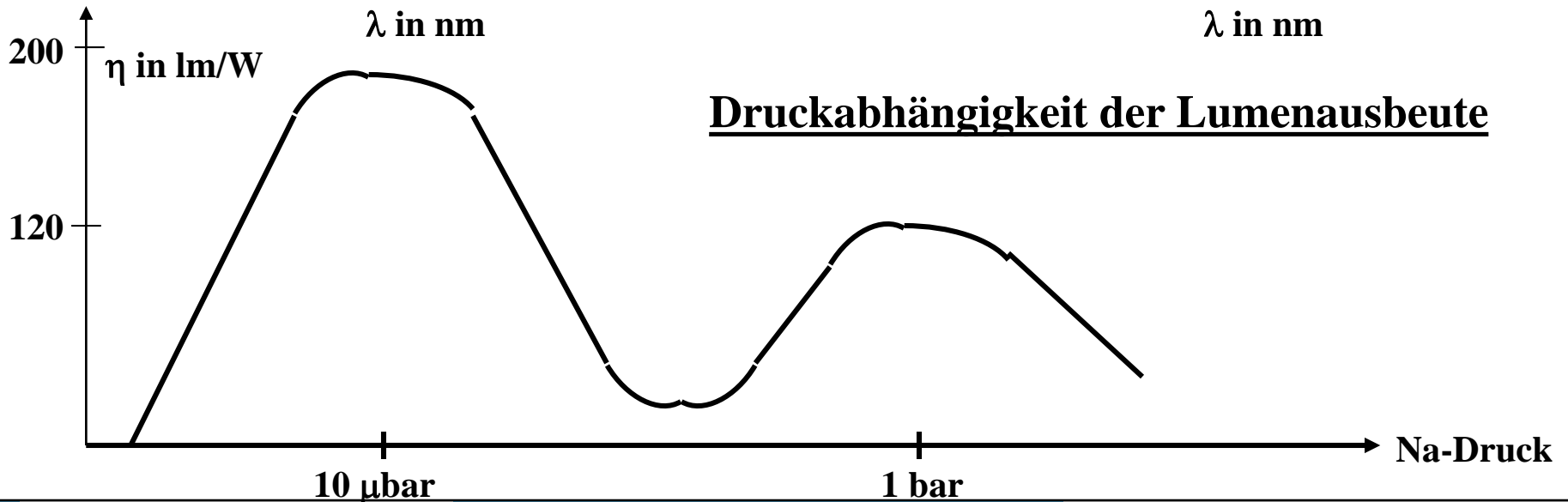
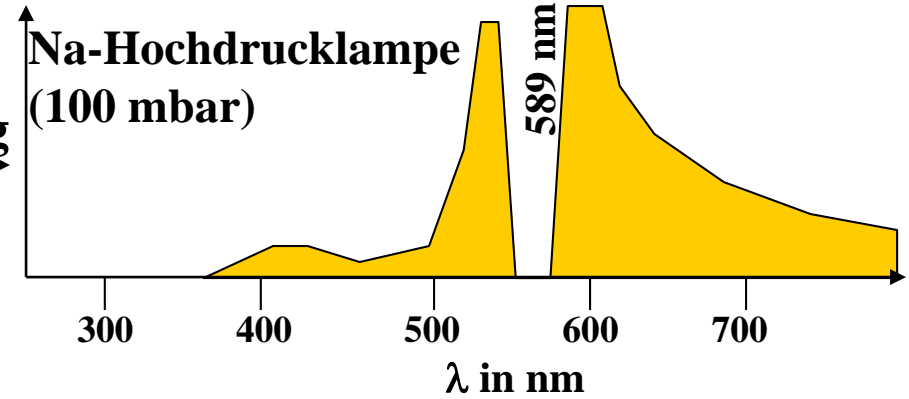
$\eta = 60 \text{ lm/W}$   
 $R_a = 50$   
Lebensdauer = 20.000 h  
 $P = 100 \text{ W} - 2000 \text{ W}$



# 6.9 Die Na-Hochdrucklampe

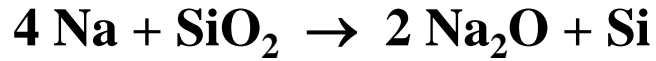


**Druckerhöhung** →



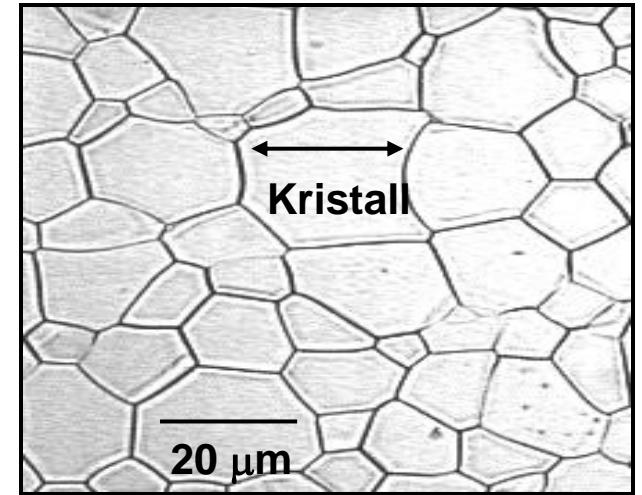
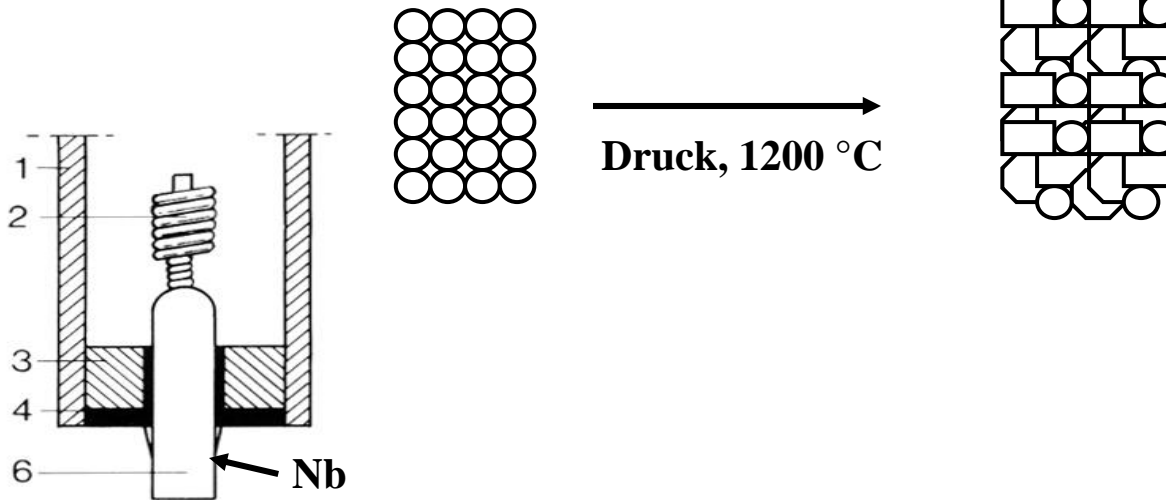
# 6.9 Die Na-Hochdrucklampe

**Problem: Na reagiert bei hohen Temperaturen mit der Quarz-Glaswand**



**Lösung: Transparentes, hochtemperaturfestes Material, welches nicht mit Na reagiert**

**Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-Keramik (Korund): MgO, CaO, B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-Additive (DGA = dicht gesintertes Aluminiumoxid)**

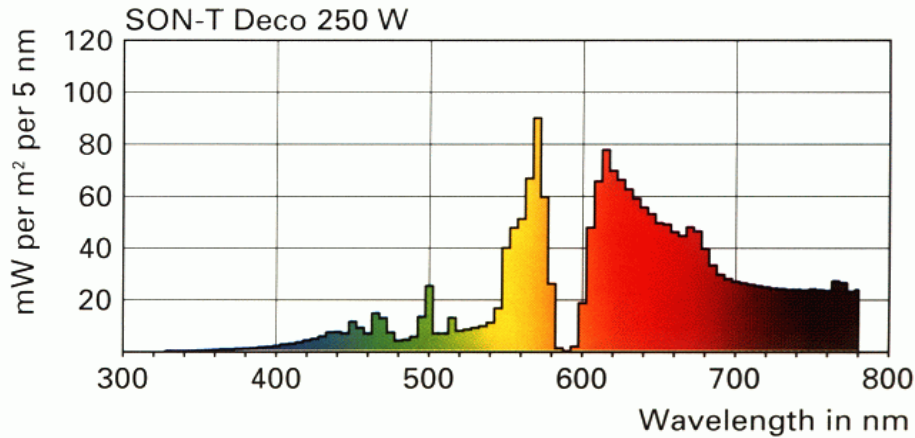


**Polykristalline Struktur**





# 6.9 Die Na-Hochdrucklampe



**Verbreiterung der Na-Linie und Selbstabsorption führt zu einer Emissionslücke bei 589 nm**

**$p_{\text{Na}} = 150$  mbar (gesättigt)**

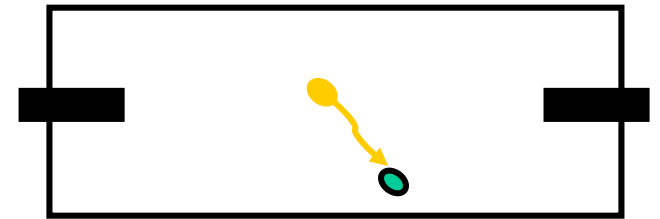
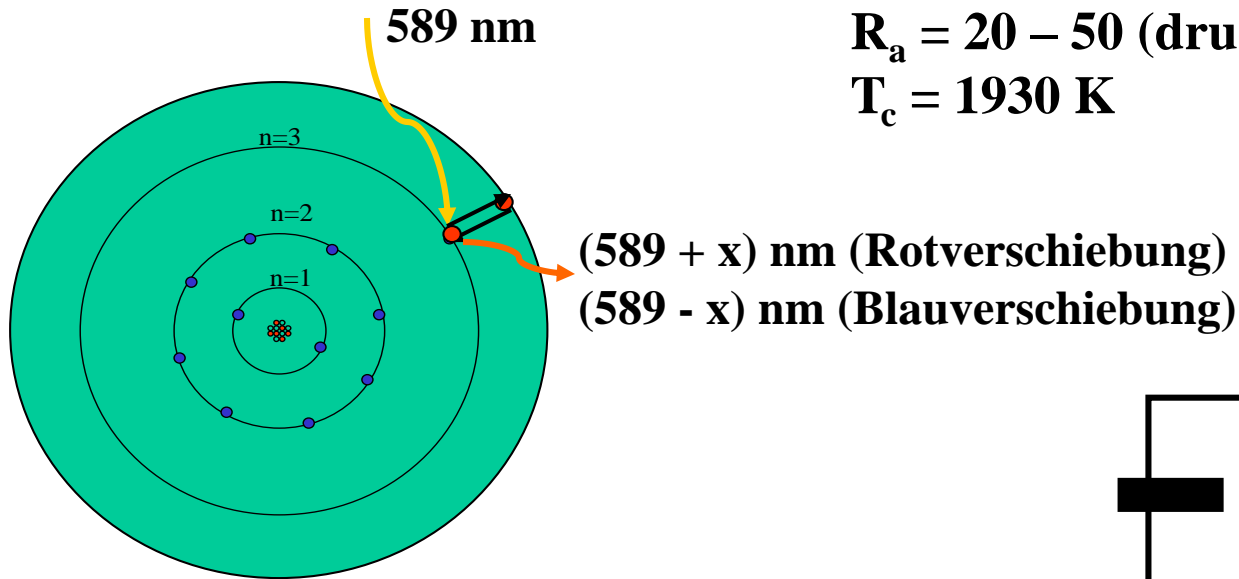
**$p_{\text{Hg}} = 1000$  mbar (Puffergas)**

**$p_{\text{Xe}} = 100$  mbar (Startgas)**

**$\eta = 90 - 120$  lm/W**

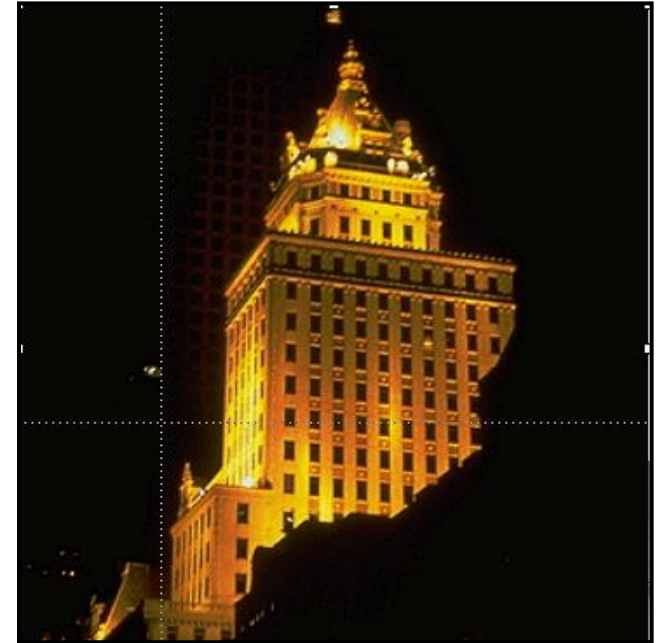
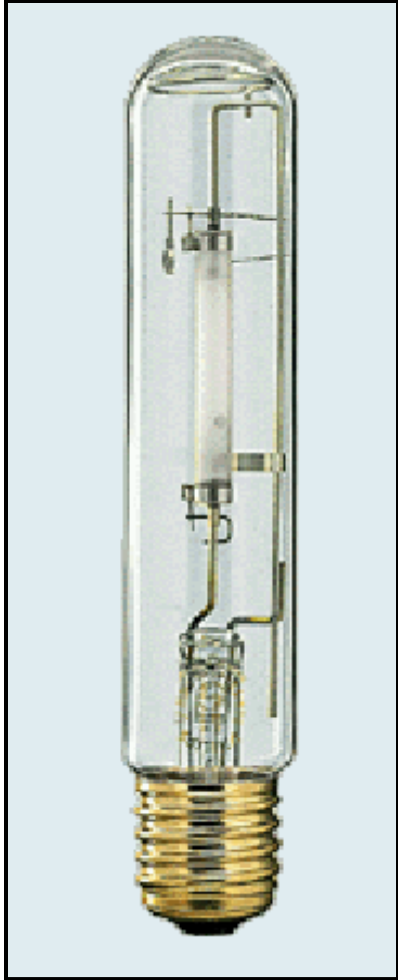
**$R_a = 20 - 50$  (druckabhängig)**

**$T_c = 1930$  K**

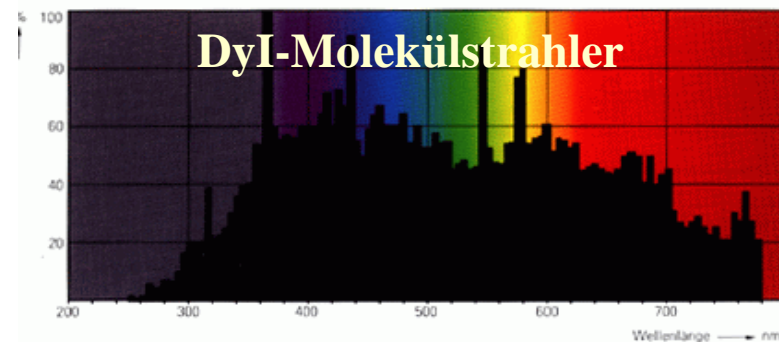
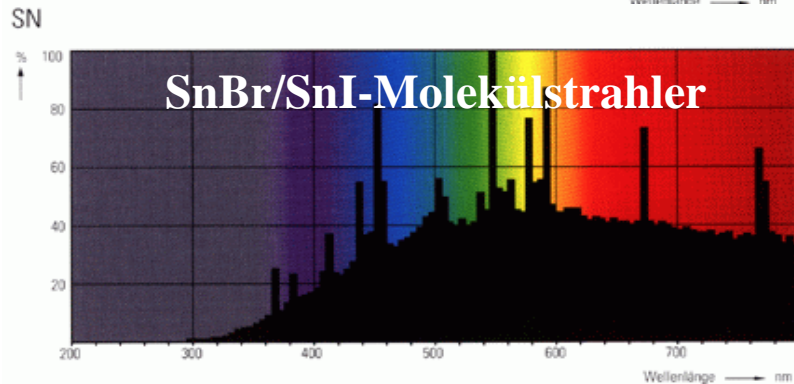
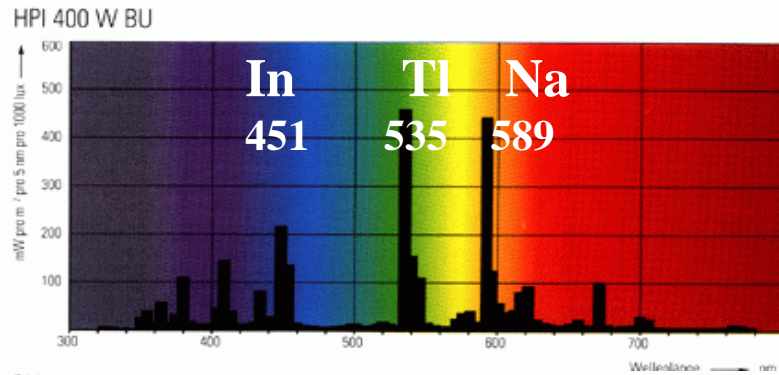


# 6.10 Anwendung von HPS Lampen

## In der Gebäude- und Straßenbeleuchtung



# 6.11 Metall-Halogenid-Hochdruck-Lampen



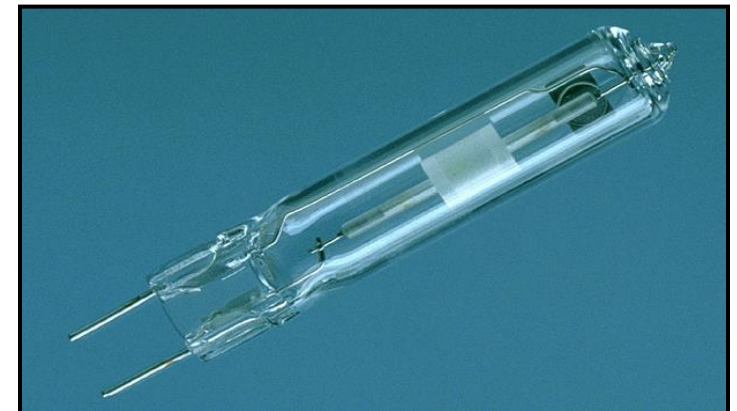
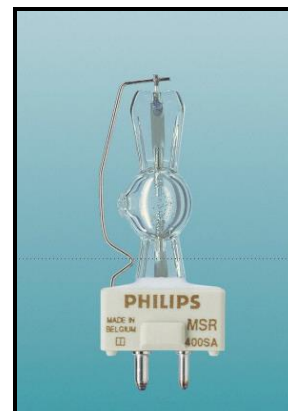
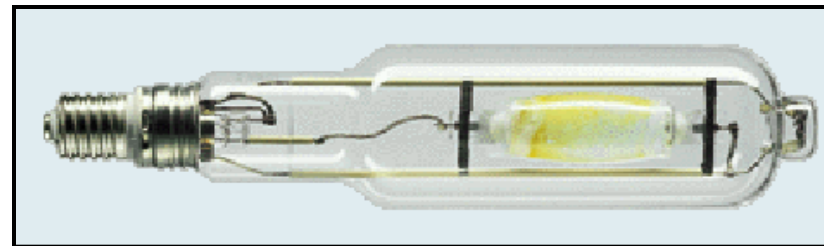
**Füllung:** NaI - TlI - InI

SnBr<sub>2</sub> - SnI<sub>2</sub>

NaI - DyI<sub>3</sub> (SSTV)

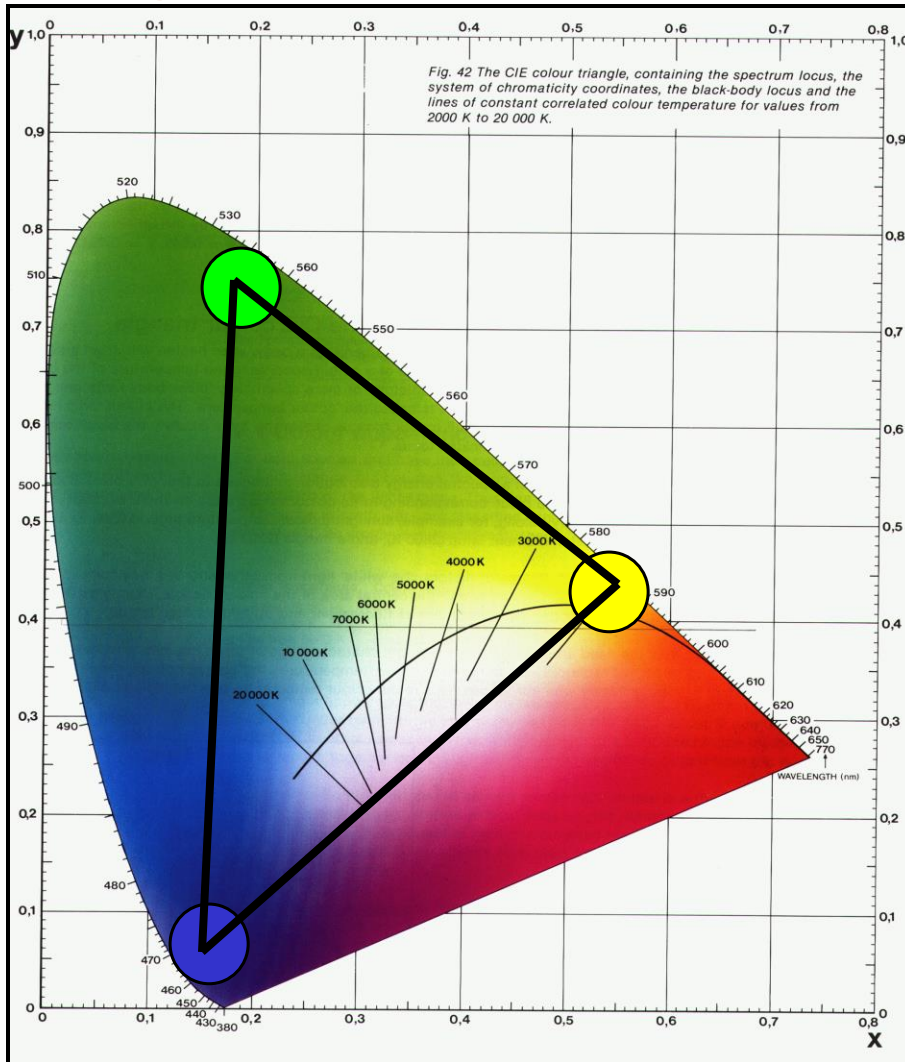
NaI - ScI<sub>3</sub> (Autoscheinwerfer)

**Ziel:** hohe  $\eta$  & hohe Farbwiedergabe



# 6.11 Metall-Halogenid-Hochdruck-Lampen

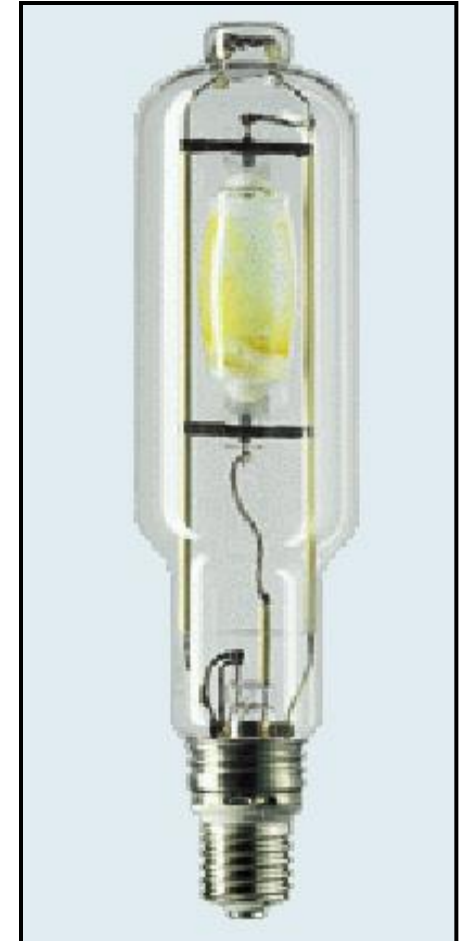
## HPI (High Pressure Iodide)-Hochdruck-Lampen



451 nm  
(In)

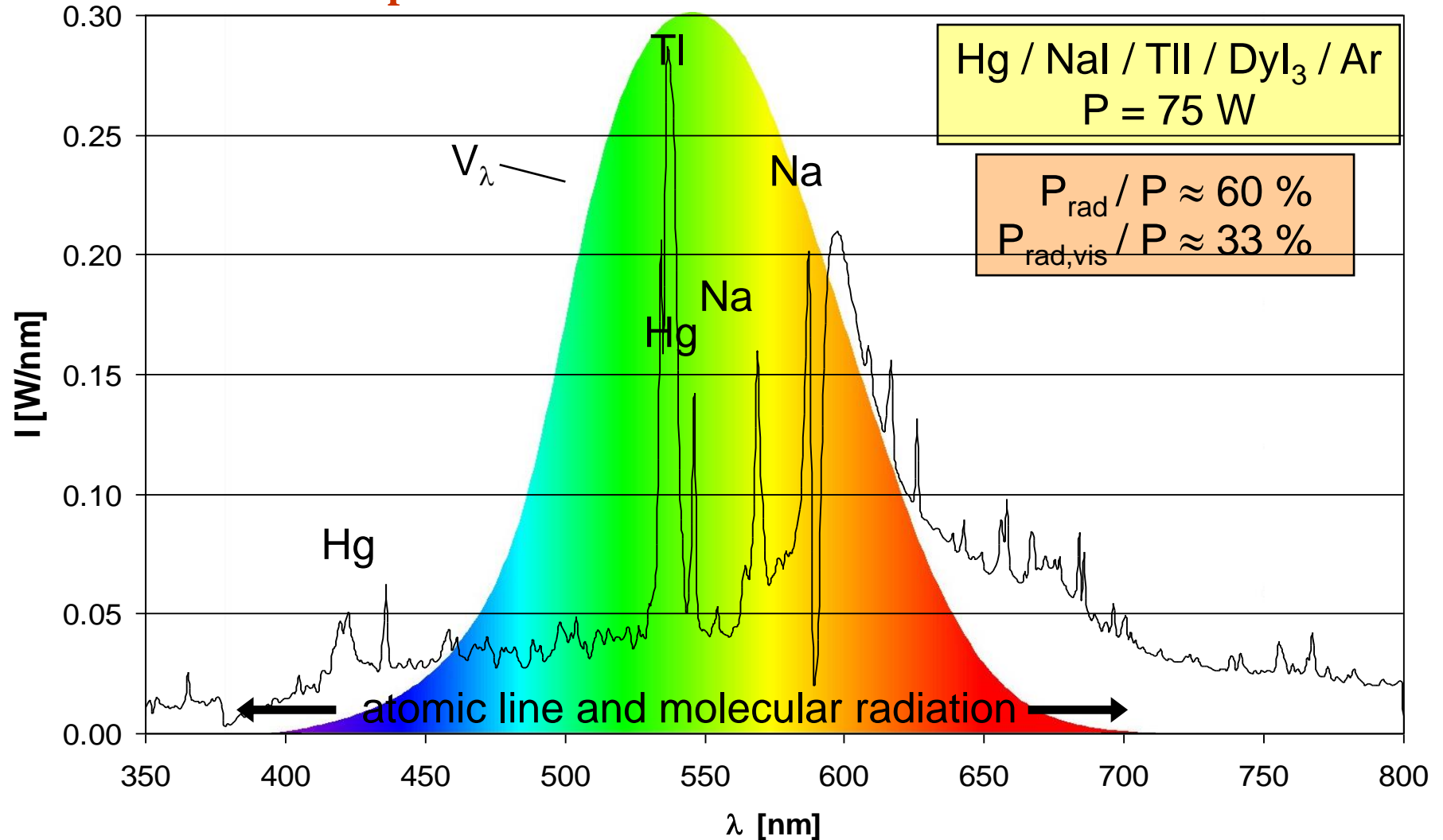
535 nm  
(Tl)

589 nm  
(Na)



# 6.11 Metall-Halogenid-Hochdruck-Lampen

## Spektrum einer MH-Lampe



# 6.11 Metall-Halogenid-Hochdruck-Lampen

## Füllung von Metall-Halogenid-Lampen

### Lampenstart (Startgas)

Edelgase: Ar oder Xe (Xenonlampen) → Penning-Effekt

Radioaktive Substanzen:  $^{85}\text{Kr}$ ,  $^{147}\text{Pm}$

### Betriebsspannung

- Hg
- Trend zur Substitution von Hg (Umweltaspekt) → Zn

### Lichtemission

- Hg
- Me-Halogenide (Me = Na, In, Tl, Sc, Sn, Dy, ...)

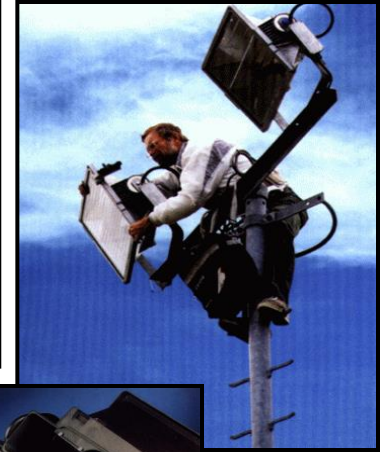
# 6.12 Lichttechnische Daten im Vergleich

	Verbesserung	$\eta$ (lm/W)	$R_a$	Farbtemperatur $T_c$ [K]
<b>HP (Hg)</b>	-	60	20	6000
	+ Leuchtstoff	60	50	3800
<b>HPS (Na)</b>	-	60 - 130	20	2000
	Xe-Druck $\uparrow$	80 - 150	20	2000
	Na-Druck $\uparrow$	60 - 90	60	2200
<b>MH</b>	<b>HPI (NaI-TII-InI)</b>	70 - 80	70	3800 - 4200
	<b>SnBr<sub>2</sub>-SnI<sub>2</sub></b>	70	90	
	<b>NaI-DyI<sub>3</sub></b>	75 - 80	90	3800 - 5600
	<b>NaI-ScI<sub>3</sub></b>	80 - 90	75	3600 - 4200

# 6.13 Anwendungen der MH-Lampen

**HPI  
(NaI-TII-InI)**

**Straßenbeleuchtung  
Gebäudebeleuchtung  
Sportplatzbeleuchtung**



**Zinn**

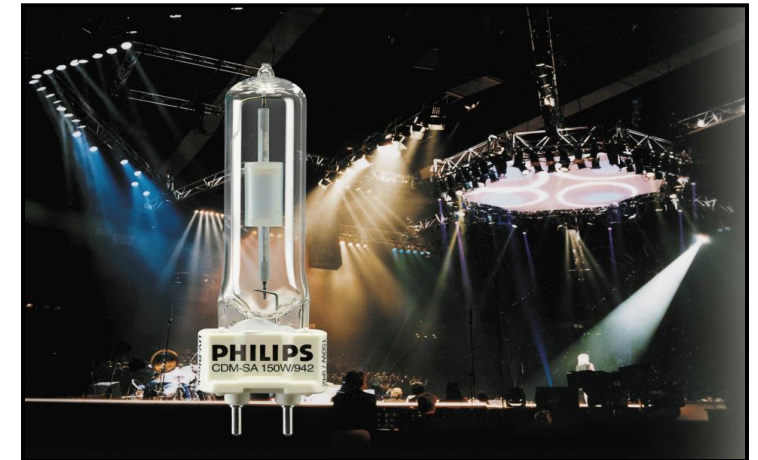
**älterer Lampentyp  
wird von MH abgelöst**



**NaI-DyI<sub>3</sub>  
NaI-ScI<sub>3</sub>**

**Sportplatzbeleuchtung  
Shopbeleuchtung  
Studio-Stage-TV (SSTV)  
Frontscheinwerfer im Auto**

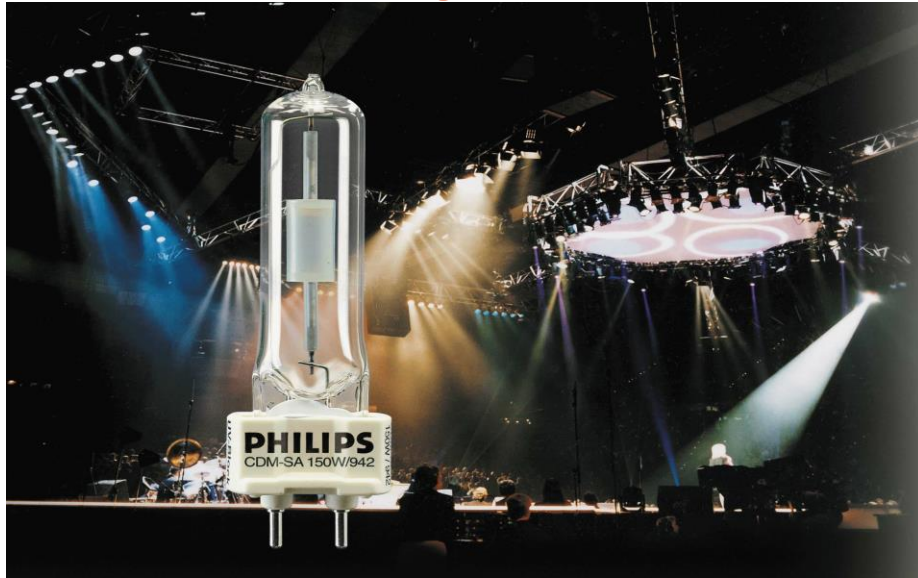
**NaI-ScI<sub>3</sub> + Hg + Xe (blau)**



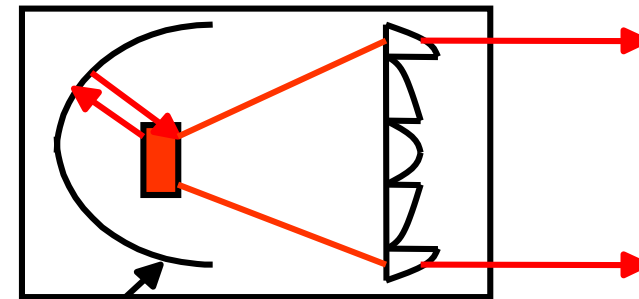


# 6.13 Anwendungen der MH-Lampen

SSTV Markt = Stage-Studio-TV = Bühne-Fotostudio-Fernsehstudio

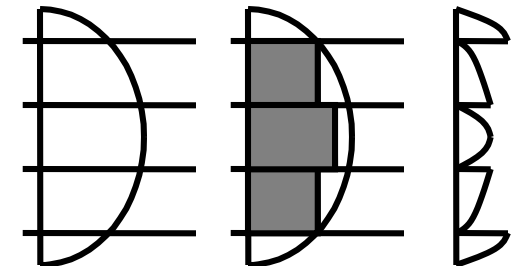


Scheinwerfer

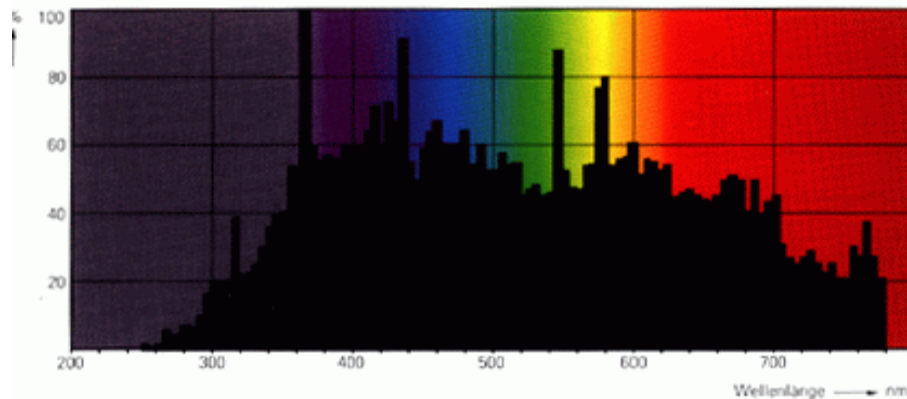


Sphärischer Spiegel

Fresnel-Linse



MSR 400



# 6.13 Anwendungen der MH-Lampen

## Im „Beamer“

### Warum Projektion ?

- Vorteile:
  - sehr große Bilder
  - kleines Volumen und Gewicht



**Rückwärts-  
Projektion**



**Professionelle  
Präsentationen**

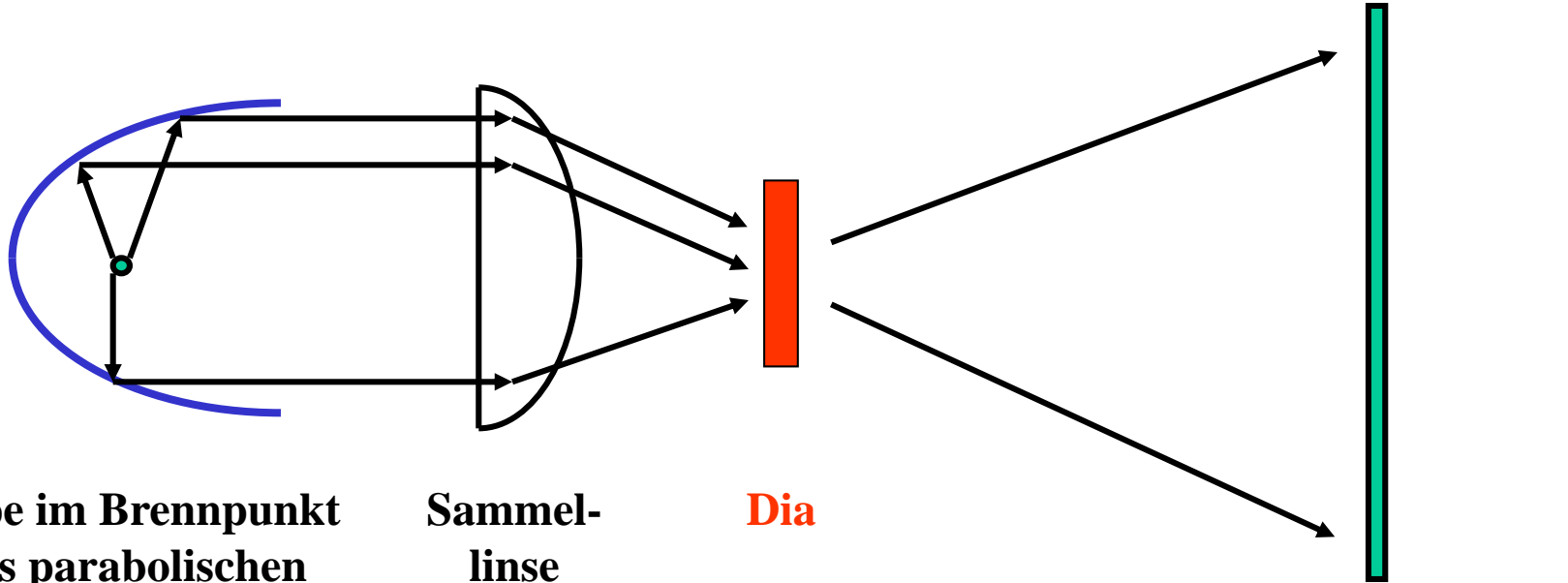


**Heimkino**

# 6.13 Anwendungen der MH-Lampen

## Aufbau eines Beamers

Ein Beamer ist eigentlich ein Dia-Projektor!



Lampe im Brennpunkt  
eines parabolischen  
Reflektors

Sammel-  
linse

**Dia**

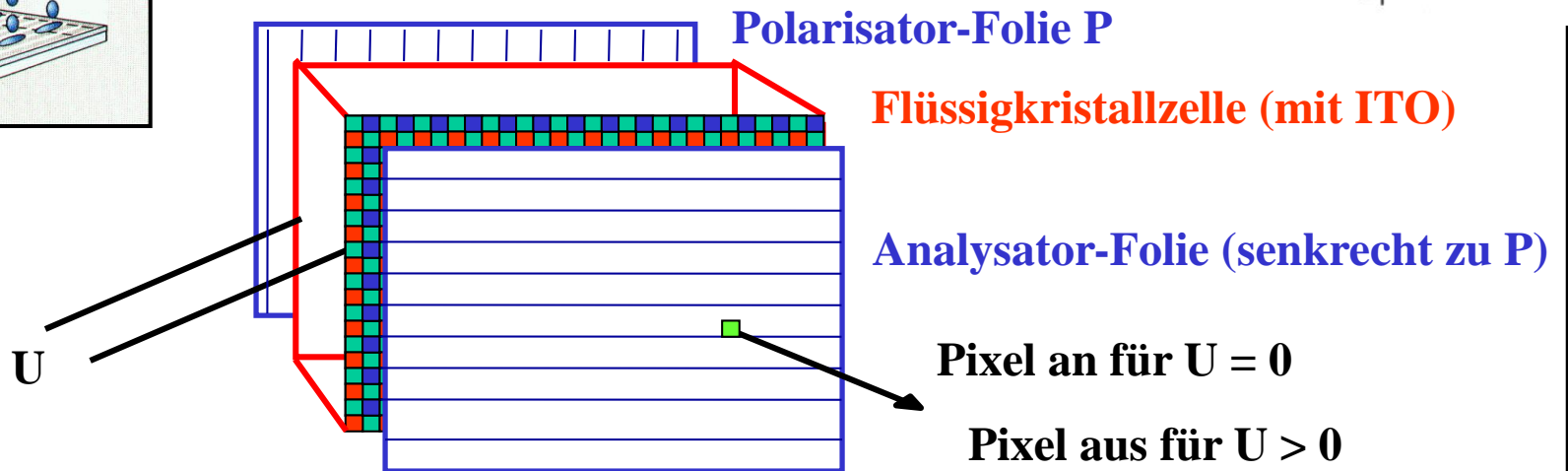
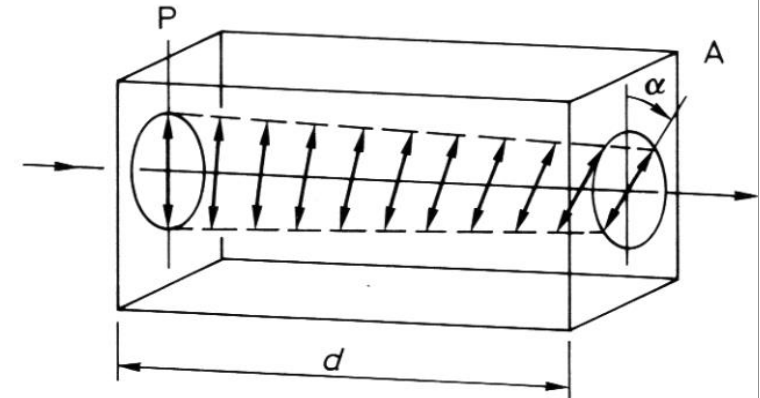
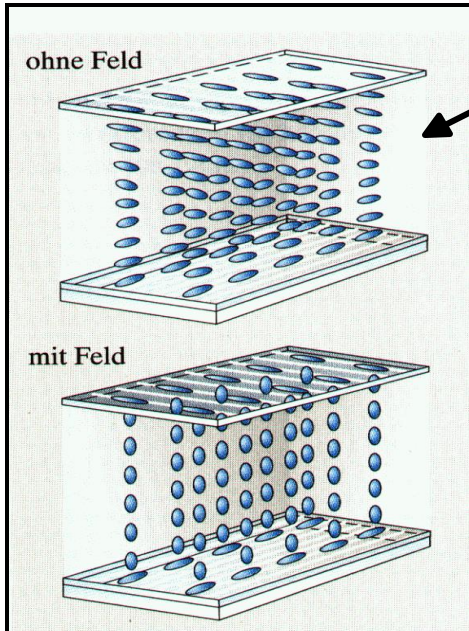
**Beim Beamer  
wird das Dia durch  
einen LCD-Schirm ersetzt**

Projektions-  
schirm

# 6.13 Anwendungen der MH-Lampen

## Funktionsprinzip eines LCDs (Liquid Crystal Display)

LCDs beruhen auf Flüssigkristallen, welche die Polarisations-ebene des Lichts um einen Drehwinkel  $\alpha$  drehen



# 6.14 UHP-Lampen

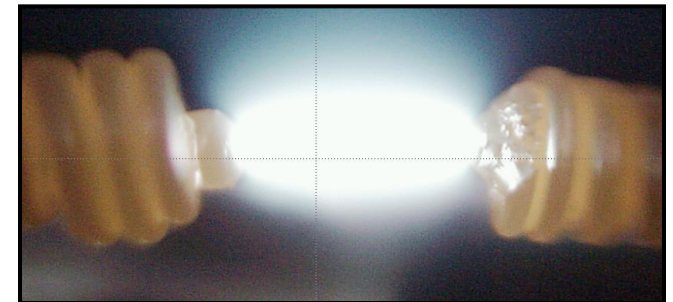
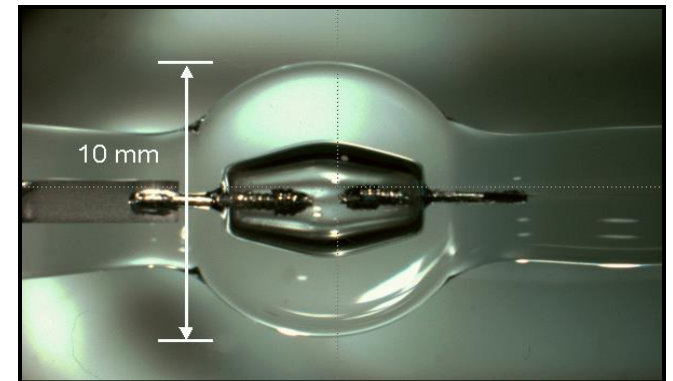
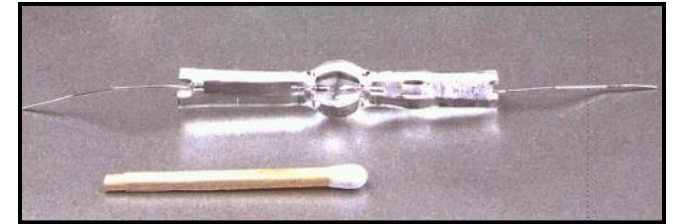
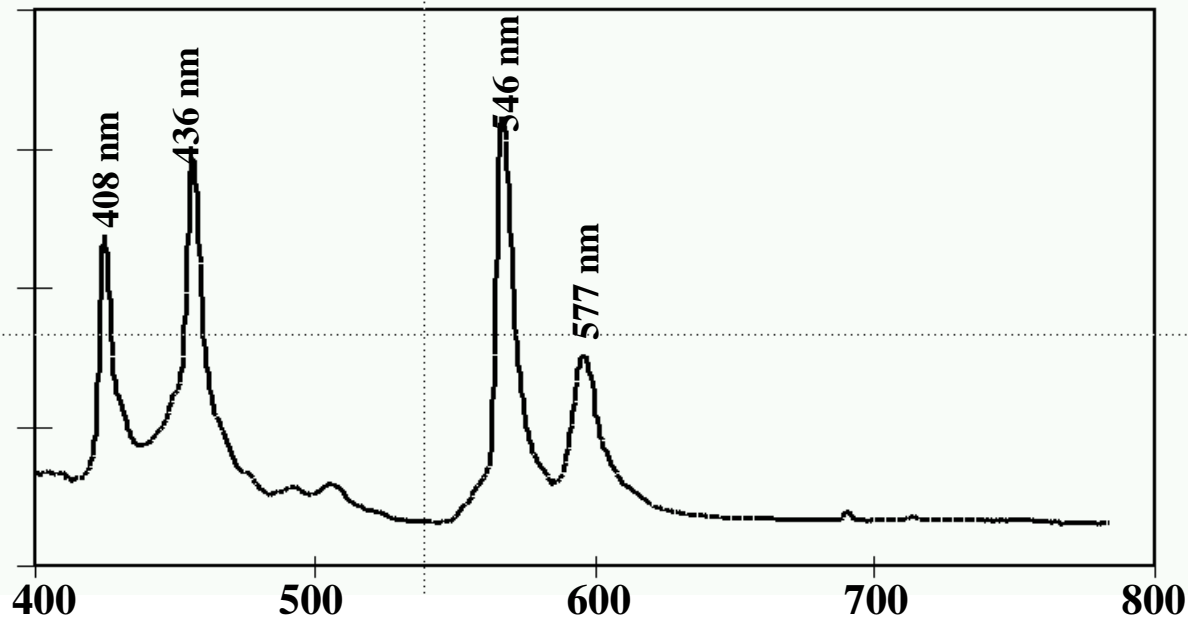
## Anforderungen an Lichtquellen für Projektoren

- Möglichst punktförmig  $\Rightarrow$  viel Licht aus kleinem Volumen
- Hohe Leuchtdichte  $\Rightarrow$  hoher Hg-Druck

UHP = **Ultra High Pressure (Performance)**

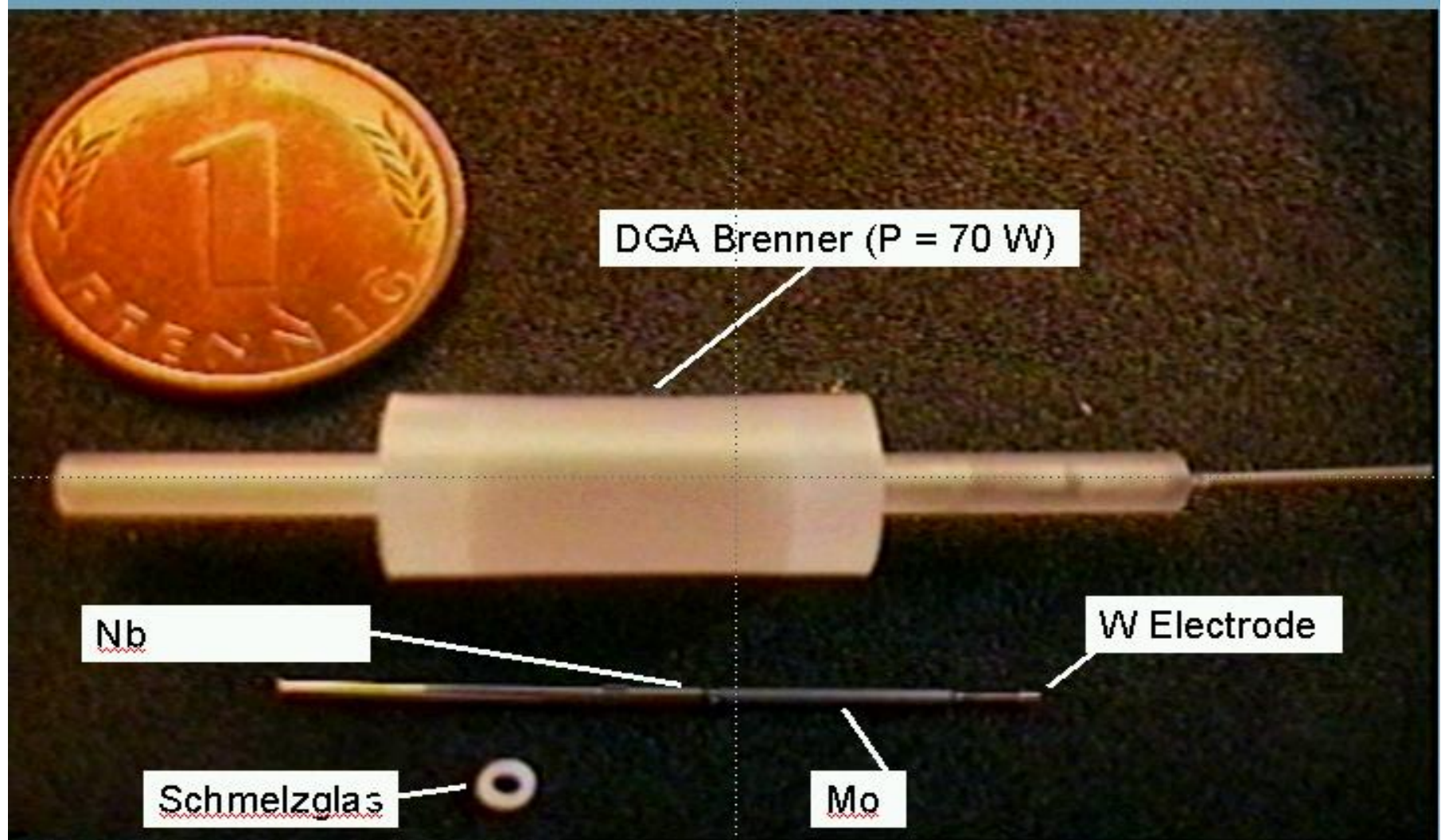
$\Rightarrow$  ca. 200 bar Hg, Elektrodenabstand  $\sim$  1 mm

$\Rightarrow$  Stark druckverbreiterte Hg-Linien



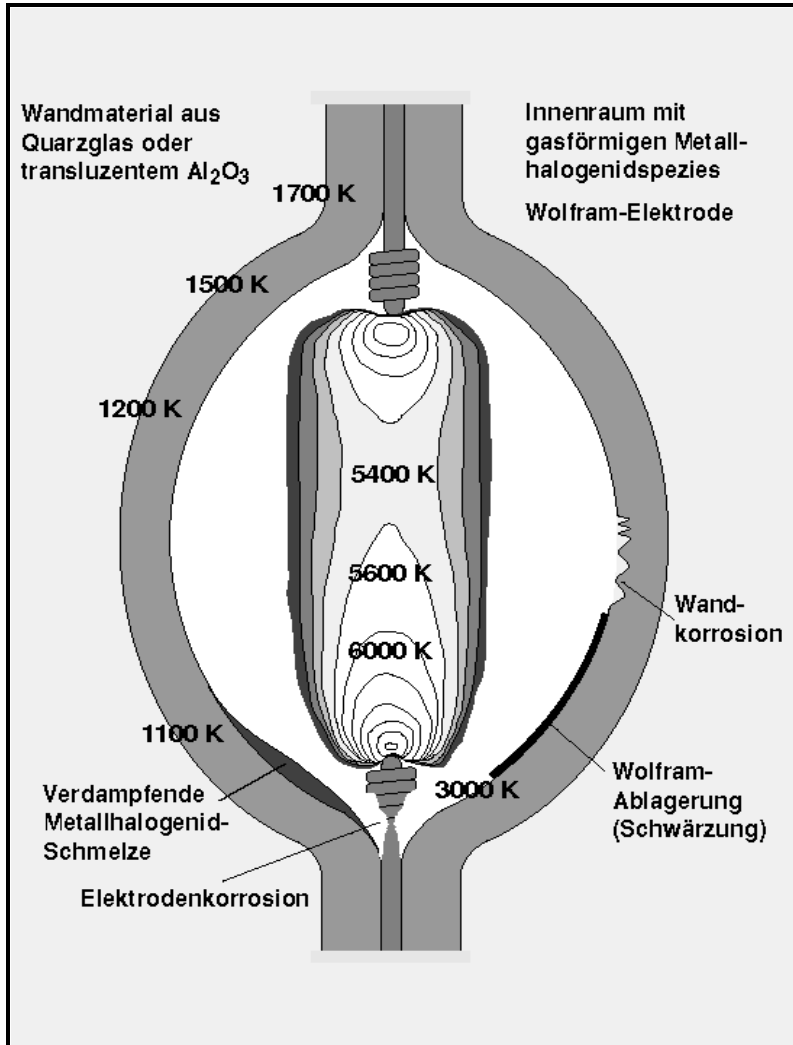
# 6.14 UHP-Lampen

## Komponenten für UHP-Lampen



# 6.14 UHP-Lampen

## Design von UHP-Lampen



### Beschreibung einer UHP-Lampe durch

- Chemische Gleichungen

Dampfdruck von Metallhalogeniden

Zerfall der Metallhalogenide im Plasma

- Temperaturverteilung im Plasma

Energiebilanz

Verlust durch Strahlung

Verlust durch chemische Energie

Verlust durch Wärme

↓  
Konvektion (Strömung)

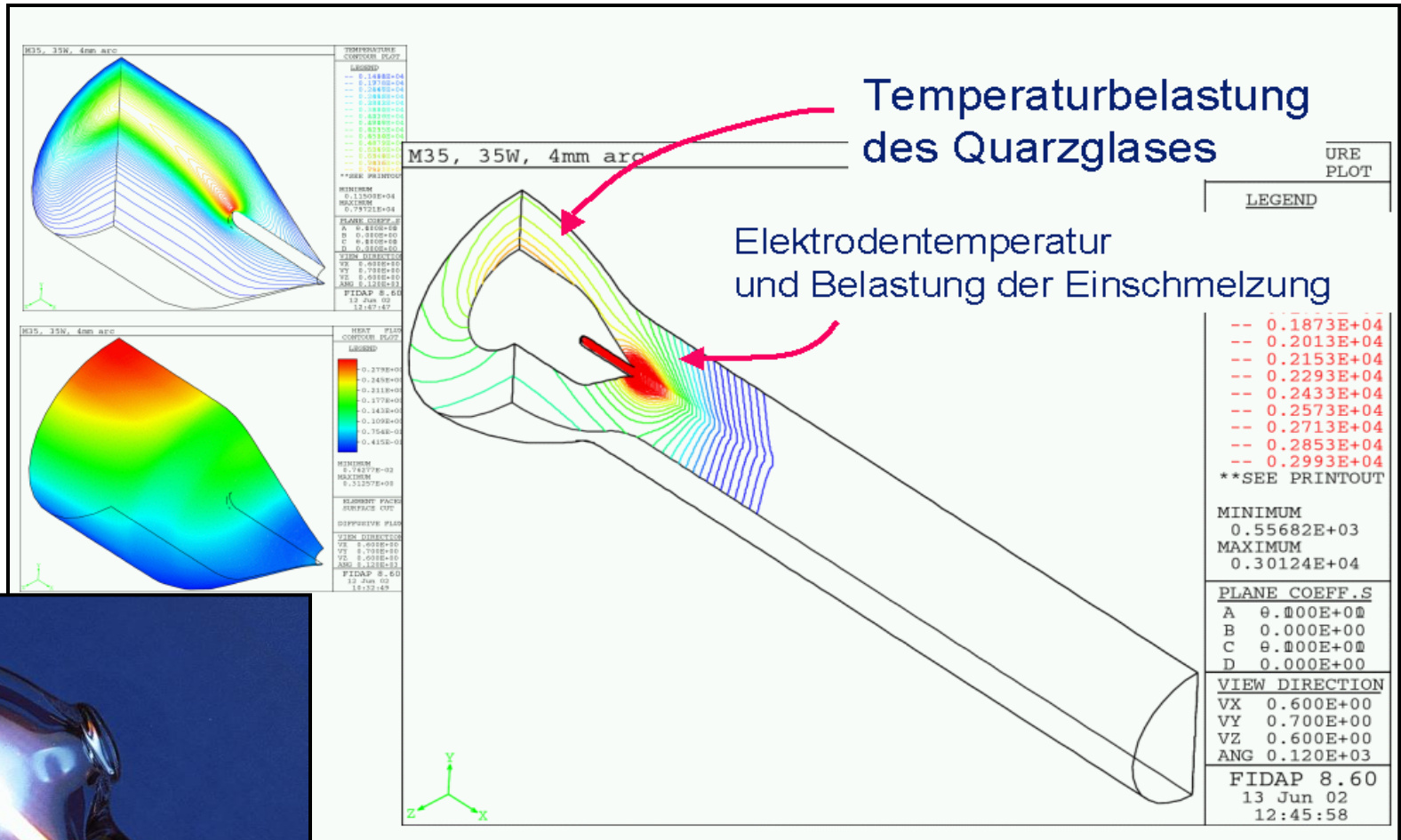
↓  
Wärmeleitung

- Konvektionsgleichungen = Navier-Stokes-Gleichung

$$\Rightarrow \frac{\partial^2 h}{\partial x'^2} + \frac{\partial^2 h}{\partial y'^2} = 0 \quad \text{Potential: } h = z + \frac{u}{\gamma w}$$

- Energiebilanz der Elektrode und der Wand

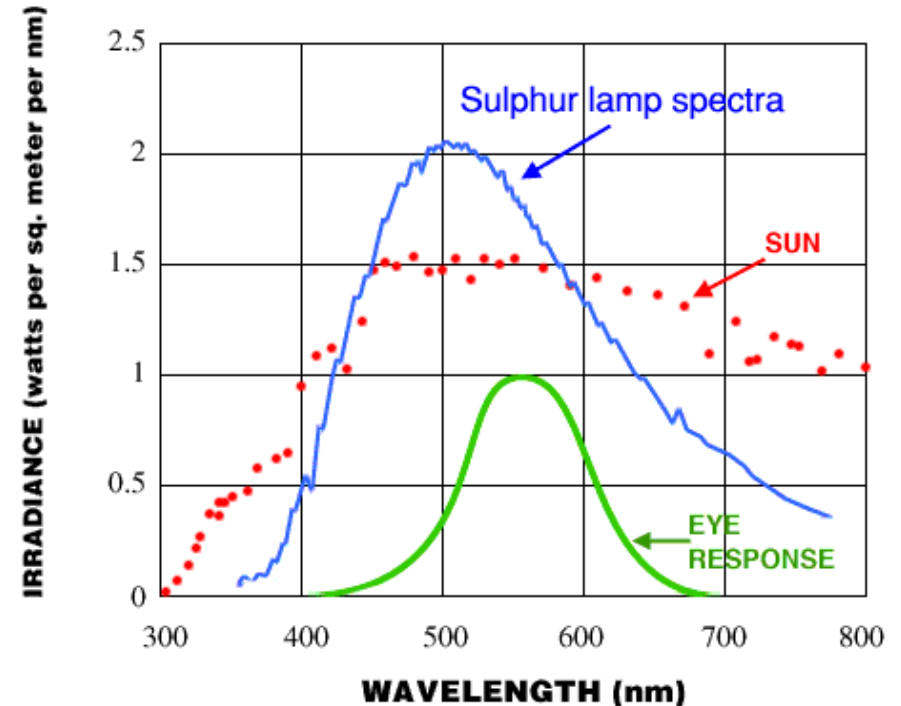
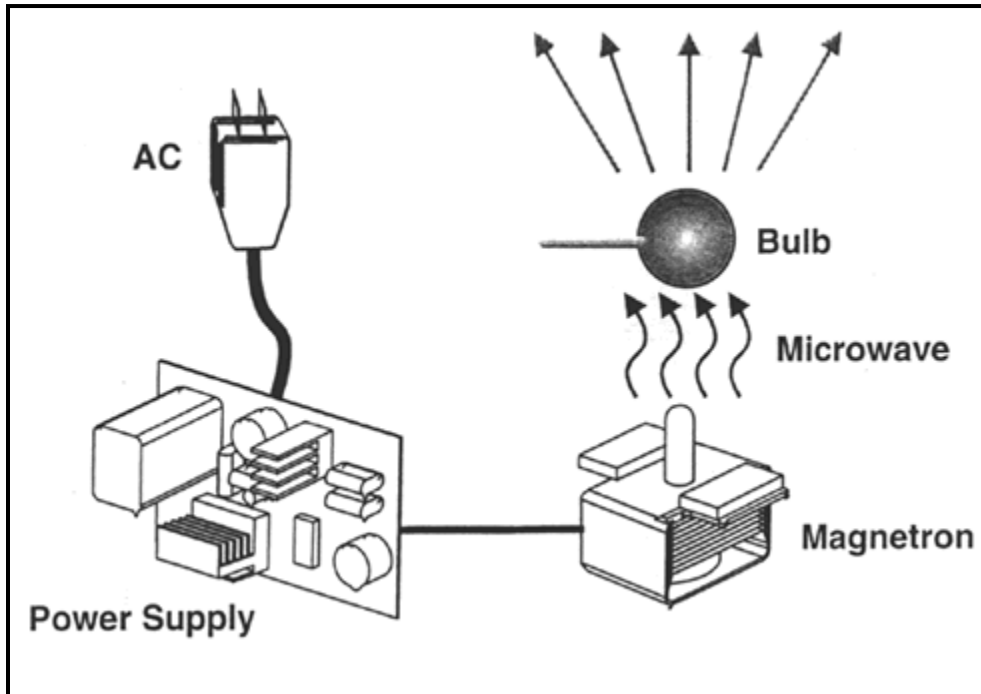
# 6.14 UHP-Lampen





# 6.15 Neue Entwicklungen

**Schwefellampe: 1990** gelang es erstmals eine Entladungslampe auf der Basis einer molekularen ( $S_4 - S_8$ ) Schwefelentladung zu entwickeln



**Die Energieeinkopplung in die Entladung erfolgt mittels eines Mikrowellen-generators (Magnetron), da Elektroden nicht verwendet können**

# 6.15 Neue Entwicklungen

## Schwefellampe: Zur Erzeugung sehr großer Lichtströme



### Typische Betriebsparameter

**Leistungsaufnahme: 1.400 W**

**Kugeldurchmesser: ca. 30 mm**

**Lichtstrom: 135000 lm**

**Farbtemperatur: 5700 K**

**Startzeit: 25 s**

**Lebensdauer (Leuchtmittel): 60.000 h**

**Lebensdauer (Magnetron): 20.000 h**

**Lichtausbeute: 95 lm/W**

**Lichtquelle mit extrem großen Lichtstrom, ca. 140000 lm (~ 40 Leuchtstoffröhren) und (fast) rein-weißem Licht (Bandenemission von  $S_8$ ,  $S_7$ ,  $S_6$ ,  $S_5$ , ...  $S_2$ -Molekülen)**

**Effizienz: Vergleichbar mit Leuchtstoffröhren (also 90 - 100 lm/W)**

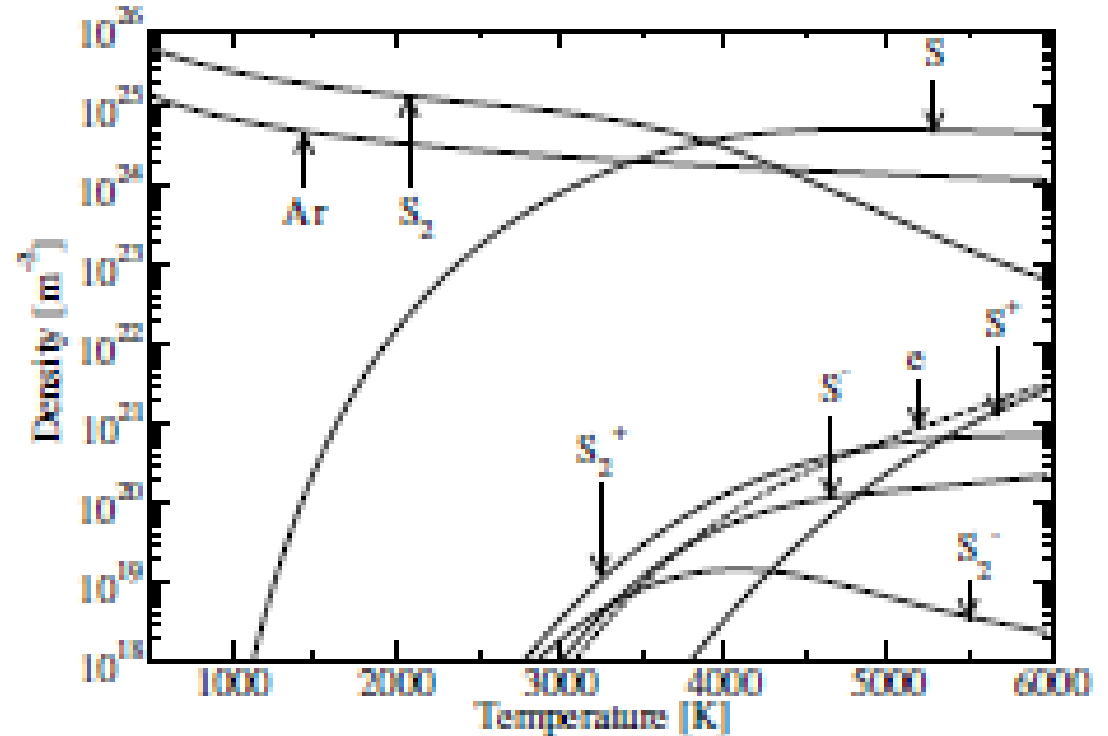
**Probleme: EMV und Lebensdauer des Mikrowellengenerators**

# 6.15 Neue Entwicklungen

Schwefellampe: Mechanismus der Lichterzeugung  $\Rightarrow$  Molekularstrahler, z.B.  $S_2$

Reaction	Energy [eV]
$S_3 \rightleftharpoons S_3^+ + e$	10.6
$S_3^- \rightleftharpoons S_3 + e$	2.1
$S_3 \rightleftharpoons S_2 + S$	0.8
$S_2 \rightleftharpoons S_2^+ + e$	9.36
$S_2^- \rightleftharpoons S_2 + e$	1.67
$S_2 \rightleftharpoons S + S$	4.46
$S \rightleftharpoons S^+ + e$	10.36
$S^- \rightleftharpoons S + e$	2.1

Reactants	Products	$\Delta E$ [eV]
$S_2 + X$	$2S + X$	4.46
$S_2 + e$	$S_2^+ + e + e$	9.36
$S_2^-$	$S_2 + e$	1.8
$S + e$	$S^+ + e + e$	10.4
$S^-$	$S + e$	2.0
$Ar + e$	$Ar^+ + e + e$	15.76

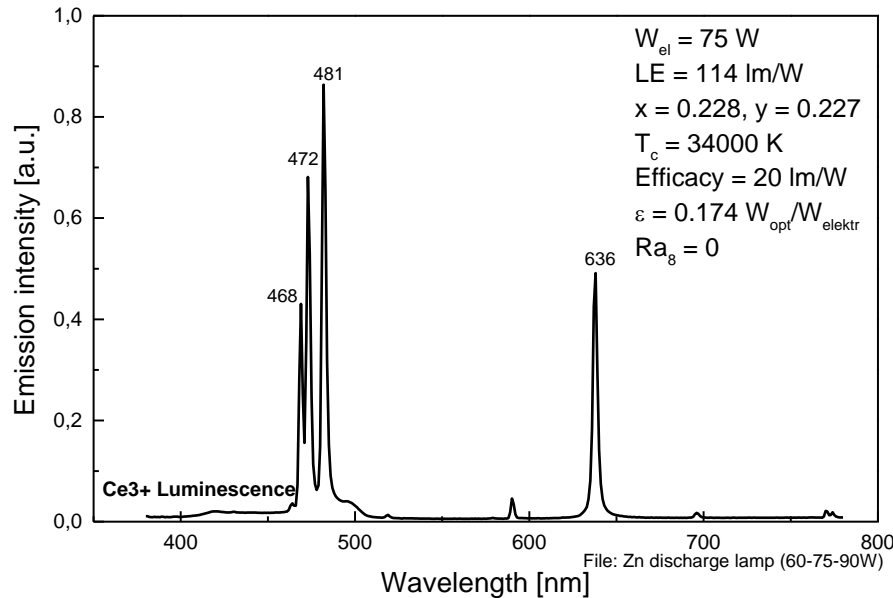


C. W. Johnston, Transport and equilibrium in molecular plasmas: The sulfur lamp, Technische Universiteit Eindhoven, 2003

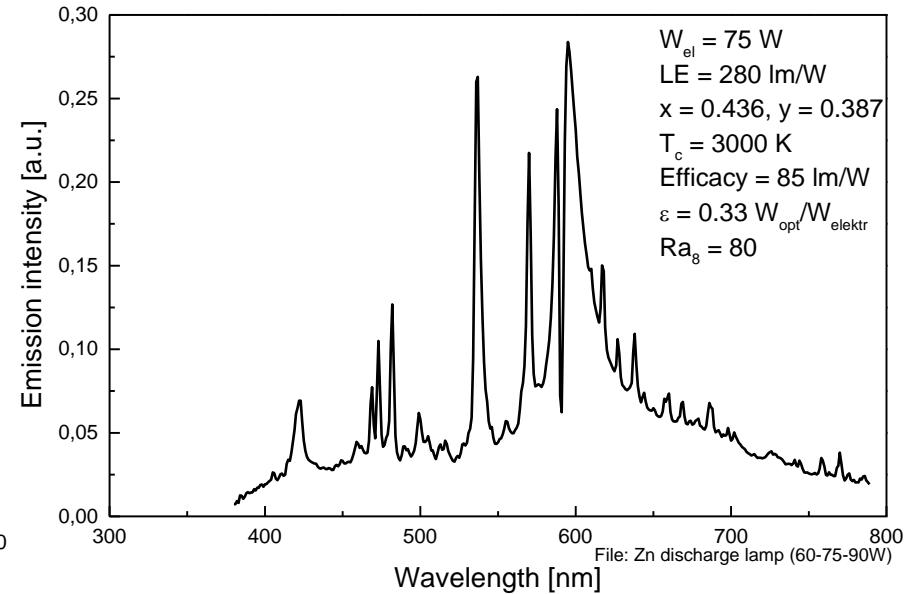
# 6.15 Neue Entwicklungen

## Substitution von Hg durch Zn

### Zn/Ar Discharge



### Zn/Ar/metal halide Discharge



	Zn-Ar	Zn-Ar-Metallhalogenid
$\eta$	20 lm/W	85 lm/W
Energieeffizienz	17%	33%
$R_a$	0	80