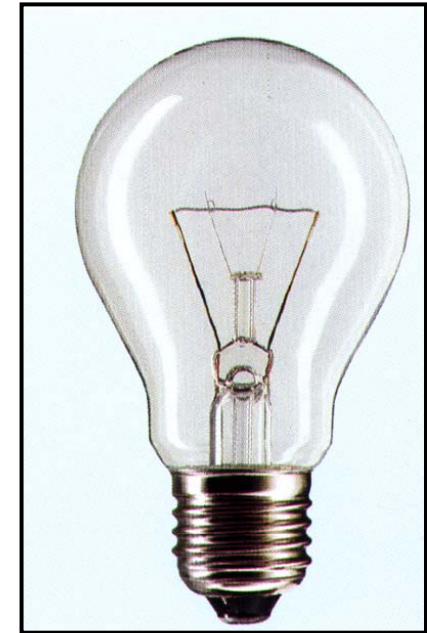


# 4. Glüh- und Halogenlampen

## Inhalt

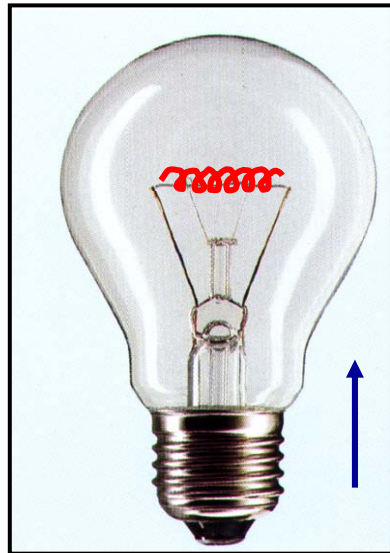
- 4.1 Historisches
- 4.2 Physikalische Grundlagen
- 4.3 Konstruktion
- 4.4 Lebensdauer
- 4.5 Halogenglühlampen
- 4.6 Interferenzfilter
- 4.7 Halogenlampentypen
- 4.8 Neue Entwicklungen



# 4.1 Historisches

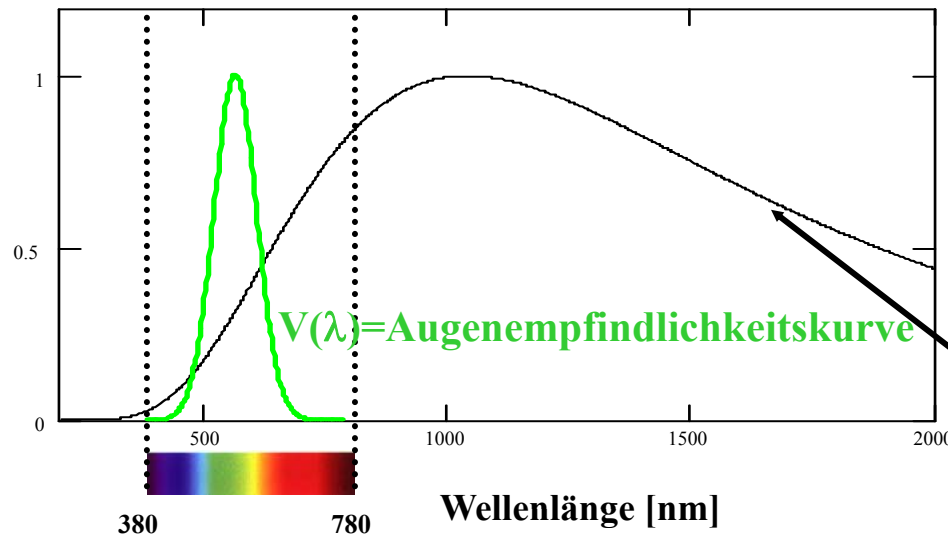
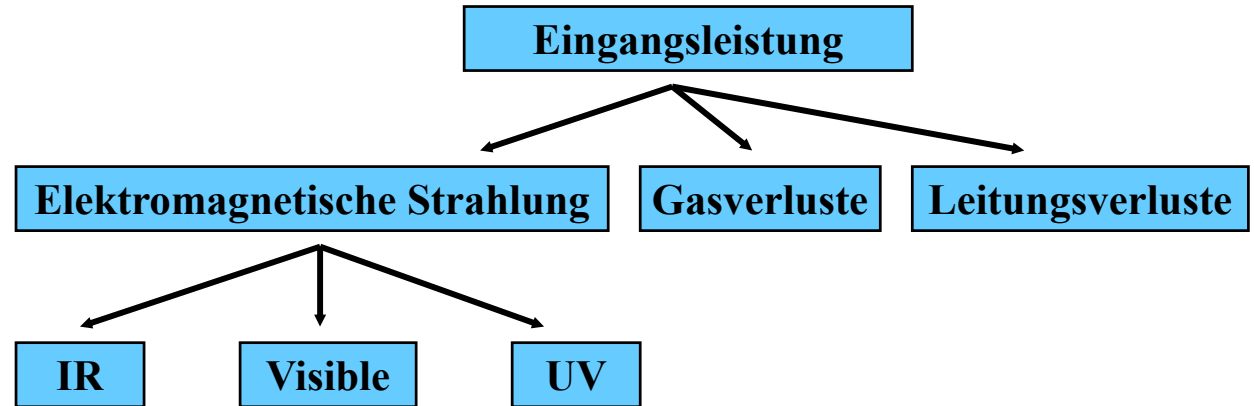
- 1820** Arthur de la Rive beobachtet einen glühenden Pt-Draht im Vakuum
- 1840** Joseph Wilson Swan experimentiert mit verkohlten Papierfäden
- 1854** Heinrich Goebel konstruiert die erste Glühlampe mit einer Bambusfaser, die zu einer Kohlefadenlampe führt  
Problem: Noch nicht gut genug evakuiert  $\Rightarrow C + O_2 \rightarrow CO_2$
- 1868** erste Fabrikation von Glühlampen durch Swan (geringe Lebensdauer)
- 1879** Patent von Thomas Alva Edison  
Edison verhilft Glühlampe zum Durchbruch durch bessere Evakuierung des Lampenkolbens  $\Rightarrow$  höhere Lebensdauer
- 1881** Vorführung der Edison-Lampe auf der Weltausstellung in Paris  
Wendel noch aus C  
Suche nach hochschmelzenden Materialien  $\Rightarrow Ta, W, Re, Os, W$   
Gewinner: Wolfram wegen des kleinsten Dampfdrucks  $\Rightarrow$  geringste Abschwärzung
- 1900** Max Planck: Theoretischen Grundlagen (Planck'sches Strahlungsgesetz)
- 1902** Osmiumwendel (Auer und Welsbach)
- 1911** Ar/N<sub>2</sub> Füllung
- 1912** Wolframwendel
- 1936** Erste Doppelwendellampe
- 1958** Erster Einsatz von Xenon als Füllgas
- 1960** Halogenkreisprozess (Zubler und Mosby, GE)
- 1971** erste H4 Autolampe (heute auch H7)
- 1973** erste Halogenlampe mit Interferenzfilter
- 2010** Glühlampe wird als Heatball angeboten

# 4.2 Physikalische Grundlagen



elektrischer  
Strom I

## Energiebilanz einer Glühlampe



**Wolframwendel mit dem elektrischen Widerstand R**  
**Für den Strom I ist die elektrische Verlustleistung  $P = U \cdot I = R \cdot I^2$**   
**Spektrum einer Glühwendel bei ca.  $T = 2700 \text{ K}$  (Temperaturstrahler)**

# 4.2 Physikalische Grundlagen

**Unter Schwarzkörperstrahlung versteht man die Lichtemission im thermischen Gleichgewicht (thermische Strahlung)**

**Planck'sches Strahlungsgesetz (1900)**

$$L_e = \frac{c_1}{\lambda^5} \cdot \frac{1}{e^{c_2/\lambda T} - 1}$$

$$c_1 = 2\pi hc^2 = 3.741832 \cdot 10^{-16} \text{ Wm}^2$$

$$c_2 = hc/k = 1.438786 \cdot 10^{-2} \text{ Km}$$

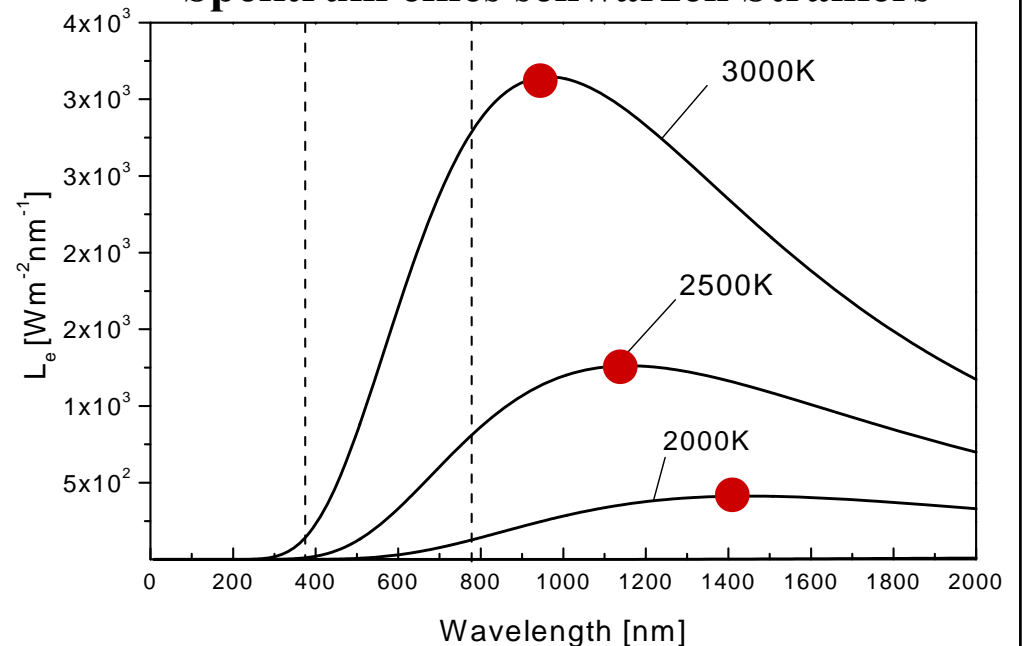
$\lambda$  = Wellenlänge [m]

$L_e$  = Spektraler Strahlungsfluss

T = Temperatur [K]

<u>Lichtquelle</u>	<u>Farbtemperatur</u>
Sonne	5800 K
Studiohalogenlampe	3400 K
Halogenlampe	3000 K
Glühlampe	2700 K

**Spektrum eines schwarzen Strahlers**



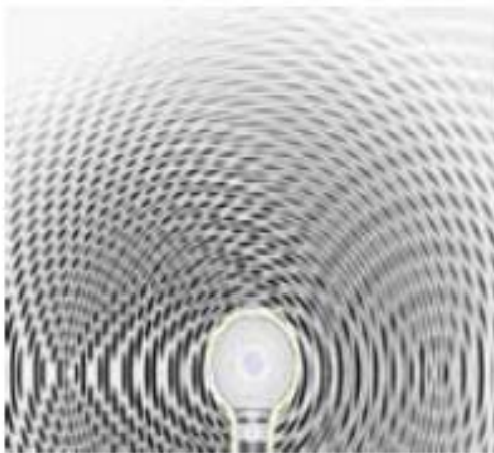
**Wien'sches Verschiebungsgesetz**

$$\lambda_{\max} \cdot T = 2880 [\mu\text{m} \cdot \text{K}]$$

## 4.2 Physikalische Grundlagen

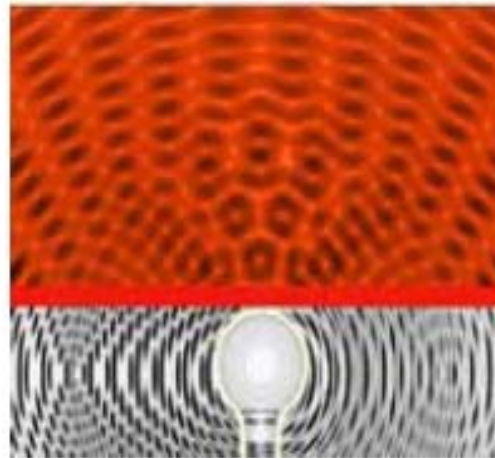
**Glüh-/Halogenlampen sind räumlich und zeitlich inkohärente Strahlungsquellen**

**Inkohärenz**



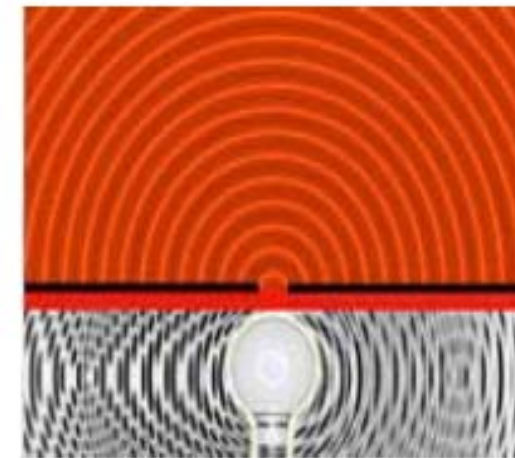
**Eine Glühlampe strahlt inkohärent: Die Wellenlängen der einzelnen Wellenzüge sind verschieden bzw. zwischen den einzelnen Punkten der strahlenden Fläche gibt es keine feste Phasenbeziehung**

**zeitliche Kohärenz**



**Ein Farbfilter lässt nur Licht einer Wellenlänge passieren: Die Strahlung ist zeitlich kohärent (monochromatisch)**

**zeitliche und räumliche Kohärenz**



**Durch Farbfilter und Lochblende wird eine kleinflächige, zeitlich und räumlich kohärente Lichtquelle sehr geringer Intensität geschaffen**



# 4.3 Konstruktion

**Füllgas**   **Wolfram-Wendel**

Füllgas =  
 Edelgas (Ar, Kr, Xe) + N<sub>2</sub>  
 (Druck = 1 bar)  
 Typisch: 80% N<sub>2</sub> + 20% Ar

Unterstützungsdrähte (Mo)  
 Zuleitungsdrähte  
 Stem = Glashalterung  
 Sicherung

Ar	39,9 g/mol
Kr	83,8 g/mol
Xe	131,3 g/mol


Kappe

Schraubgewinde = Edison-Typ  
 Bajonett-Typ

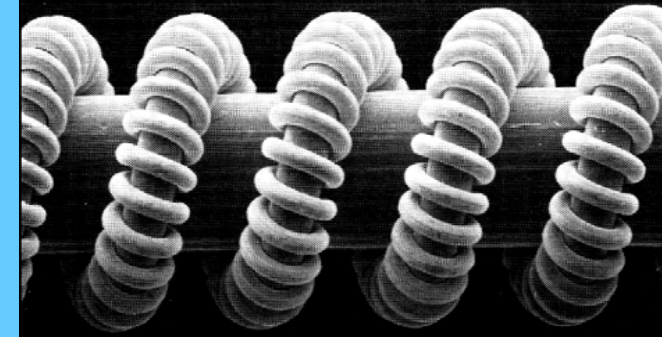
Durchmesser in mm

Europa	E10	E14	E27	E40
USA	E12	E17	E26	E39

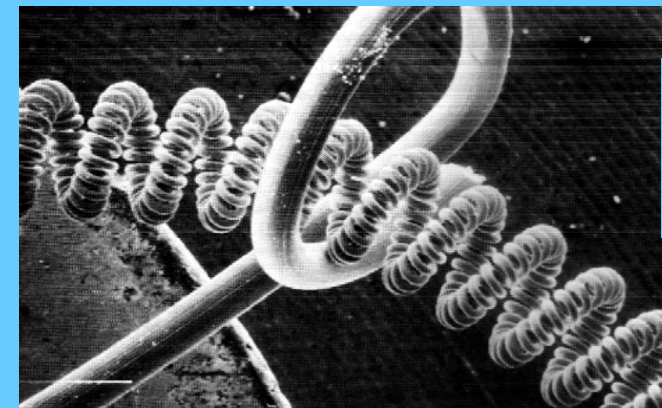
Kontakte



**Wendel wird doppelt gewickelt**

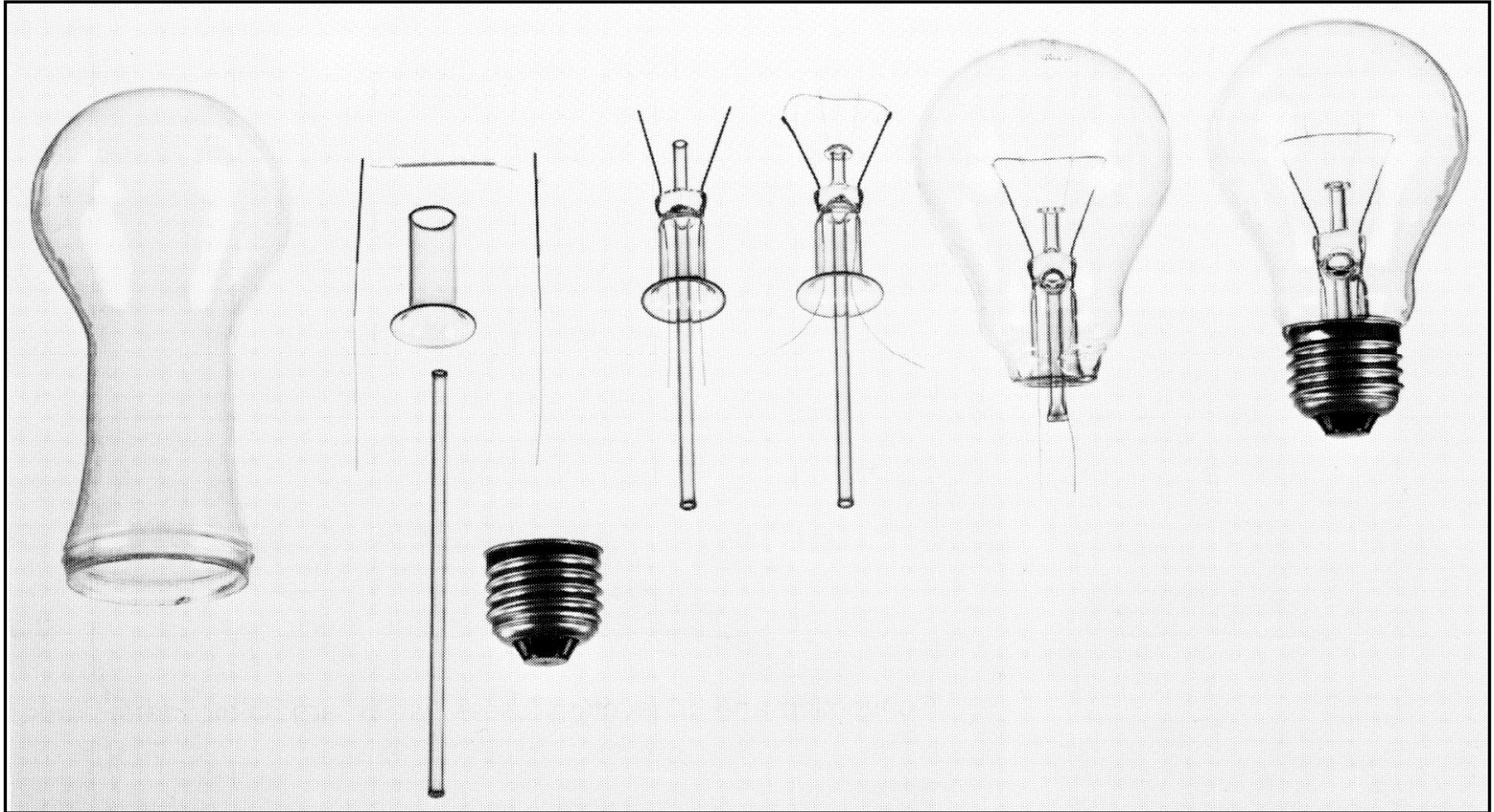


**wird erst auf Mo gewickelt, später wird Mo entfernt**



## 4.3 Konstruktion

### Vom Glaskolben zur Glühlampe





# 4.3 Konstruktion

## Produktion der Wolframwendel

### Wolframherstellung

Erze:  $\text{CaWO}_4$  oder  $(\text{Fe},\text{Mn})\text{WO}_4$

“Scheelit” “Wolframit”

↓ Aufschluss mit HCl

$\text{MeCl}_2 + \text{WO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$  “Tungst”

↓ Auslaugen mit  $\text{NH}_3$

$(\text{NH}_4)_{10}[\text{H}_2\text{W}_{12}\text{O}_{42}]$  “Parawolfram”

↓  $600\text{ }^\circ\text{C}$

$\text{WO}_3$

↓ Doping,  $\text{H}_2$ ,  $450\text{ }^\circ\text{C}$

$\alpha$ -W-Metallpulver → Pressen + Sintern zu W-Stäben

### Wendelherstellung

W-Stäbe

↓ Hämmern, Walzen

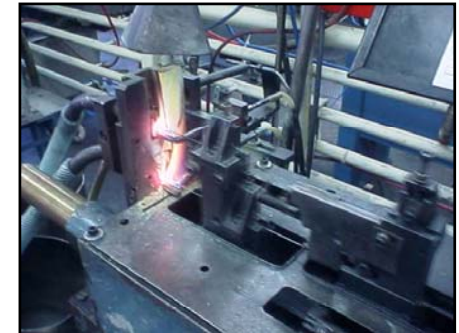
W-Bleche

↓ Ziehen

W-Drähte

↓ Wickeln

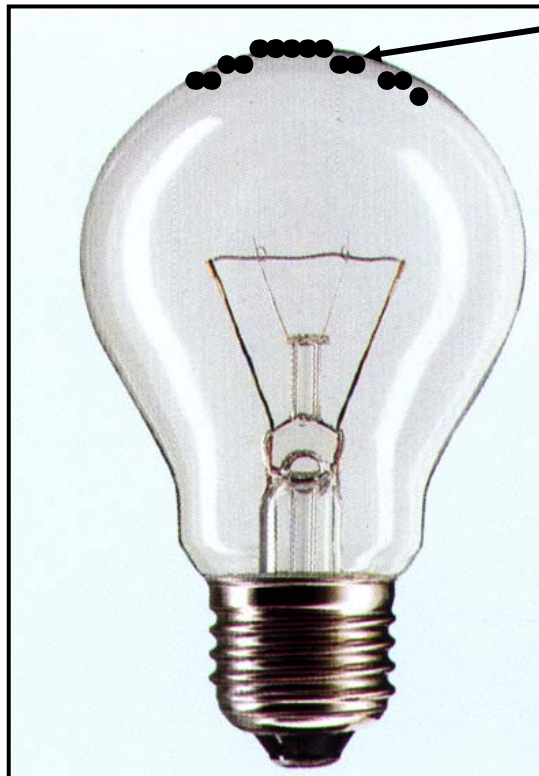
W-Wendel



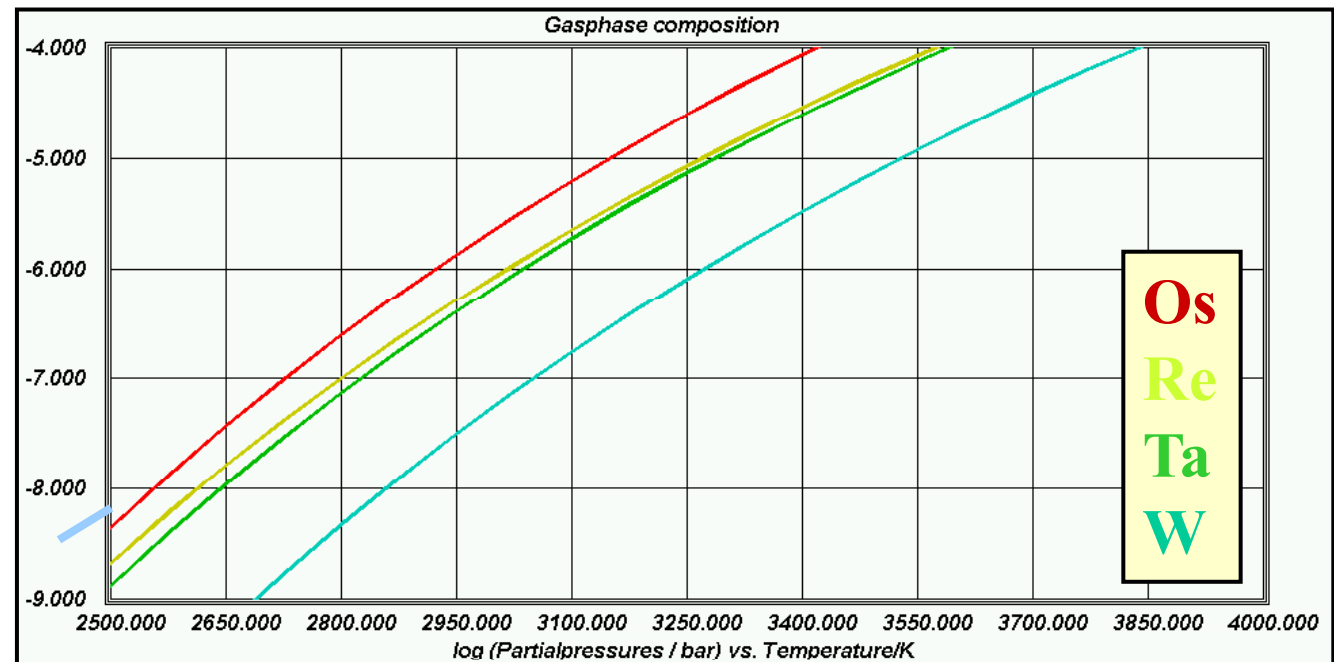


## 4.4 Lebensdauer

### Abschwärzung von Glühlampen



von der Wendel verdampftes Wolfram kondensiert auf der Innenseite des Glaskolbens



Wolfram hat von allen Metallen den niedrigsten Dampfdruck und den höchsten Schmelzpunkt aller Metalle ( $T_m = 3410\text{ °C}$ ), Graphite schmilzt bei  $3550\text{ °C}$ !

# 4.4 Lebensdauer

**Je heißer die Wendel ist, desto effizienter ist eine Glühlampe, aber um so stärker ist auch die Abschwärzung**

Die Betriebsbedingungen einer Glühlampe stellen einen Kompromiss zwischen der Energieeffizienz  $\eta$  und der Lebensdauer  $t$  dar.

Typische Werte für den Betrieb bei der Nennspannung:  $\eta = 13 \text{ lm/W}$  und  $t = 1000 \text{ h}$

## „Hot spot“-Mechanismus

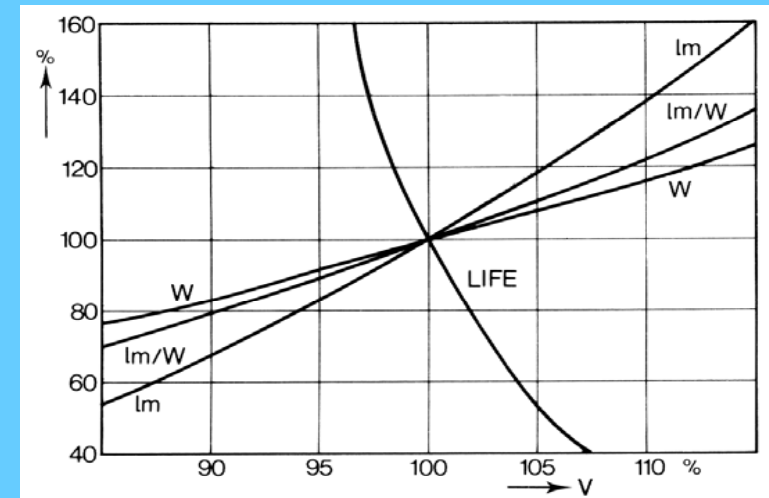
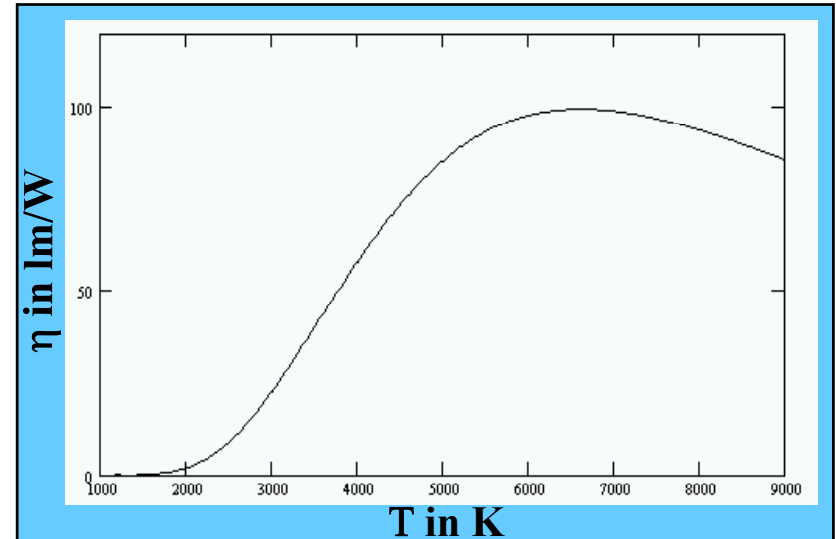
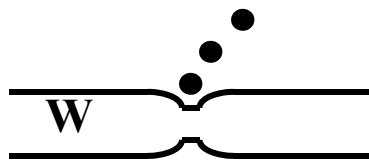
W-Draht wird dünner

⇒ Widerstand steigt

⇒ lokale Leistung und Temperatur steigt

⇒ Dampfdruck steigt

⇒ Durchbrennen am „Hot spot“

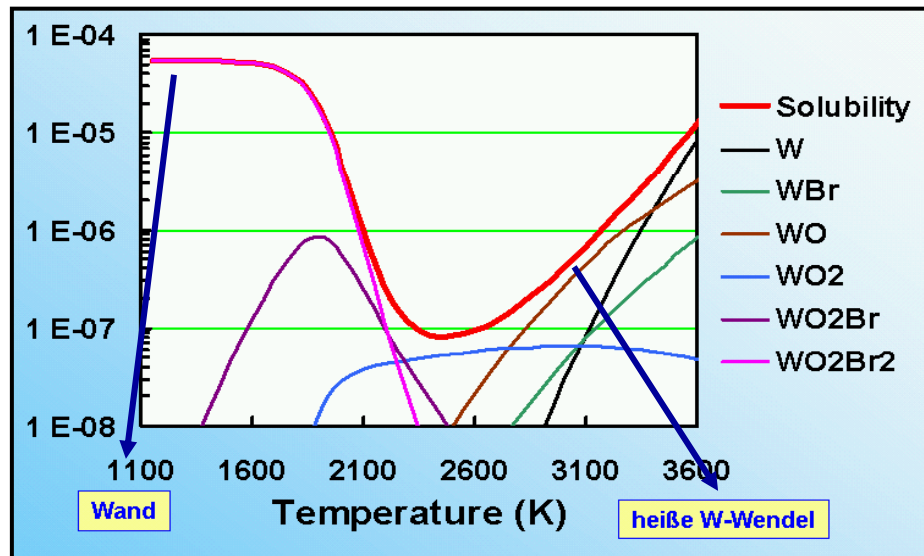
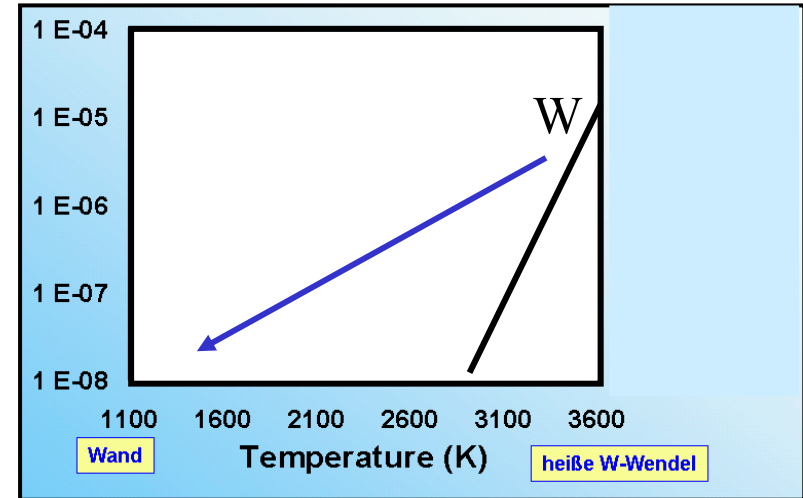


# 4.5 Halogenglühlampen

## Das Funktionsprinzip

Bei der Halogen-Glühlampe wird das Wolfram vom Glaskolben durch chemischen Transport wieder auf die Wendel zurücktransportiert  
 ⇒ Glaskolben bleibt klar

Gasfüllung = Inertgas + O<sub>2</sub> + X<sub>2</sub> (X = Br, I)



= Löslichkeitskurve  
 =  $p_W + p_{WO} + p_{WBr} + \dots$

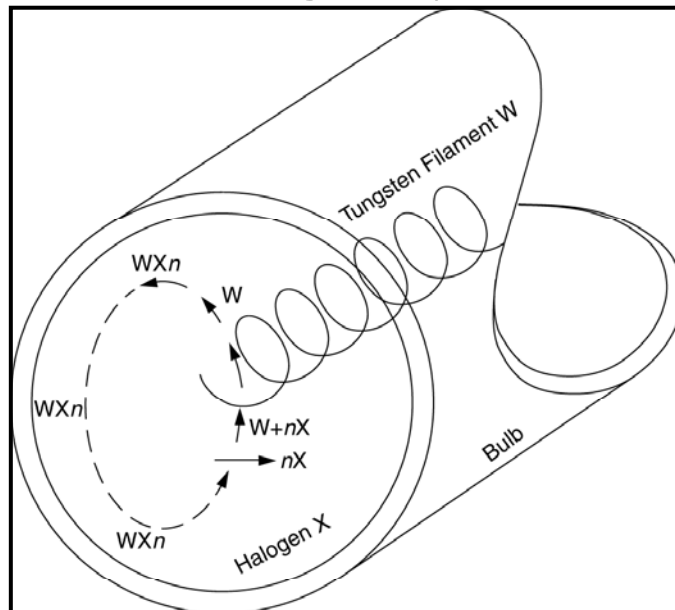
# 4.5 Halogenglühlampen

## Chemischer Transport in Halogenglühlampen

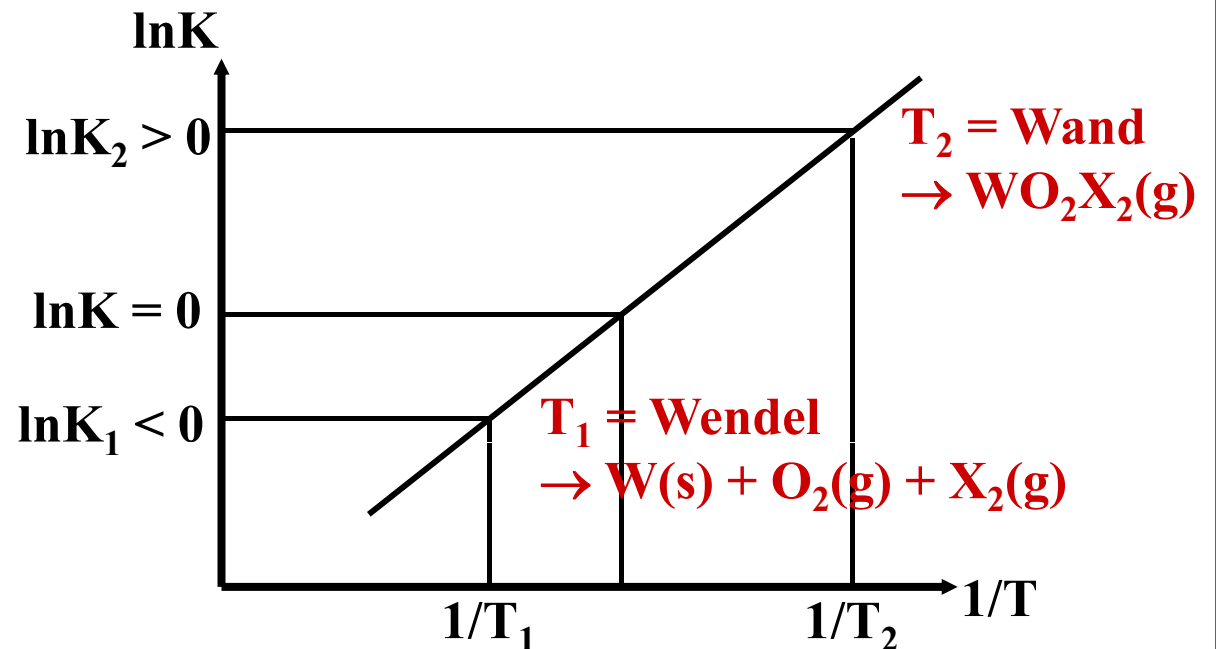
Die Lage des chemischen Gleichgewichts ist temperaturabhängig:  $W + O_2 + X_2 \rightleftharpoons WO_2X_2$

$$\ln K = -\frac{\Delta H^0}{R \cdot T} + \frac{\Delta S^0}{R} \quad \text{van't Hoff}$$

### Halogen-Zyklus



$W + O_2 + X_2 \rightleftharpoons WO_2X_2$  „Chemischer Transport“





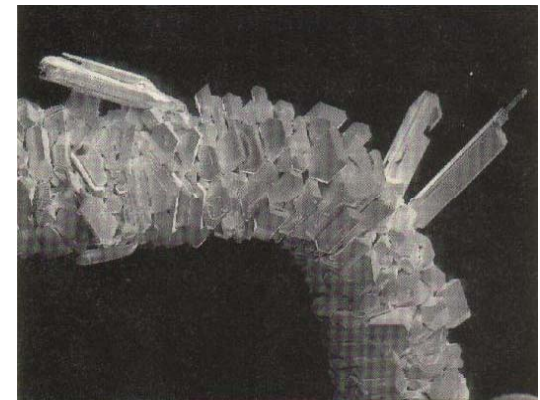
# 4.5 Halogen Incandescent Lamp

## Grenzen des W-Recyclings

- Obwohl der W-Rücktransport effizient ist, no curin
- Gasförmiges W kondensiert am “cold spot”, d.h. an der dicksten Stelle der Wolframwendel, da dort der elektrische Widerstand am geringsten ist



Wolframkristalle

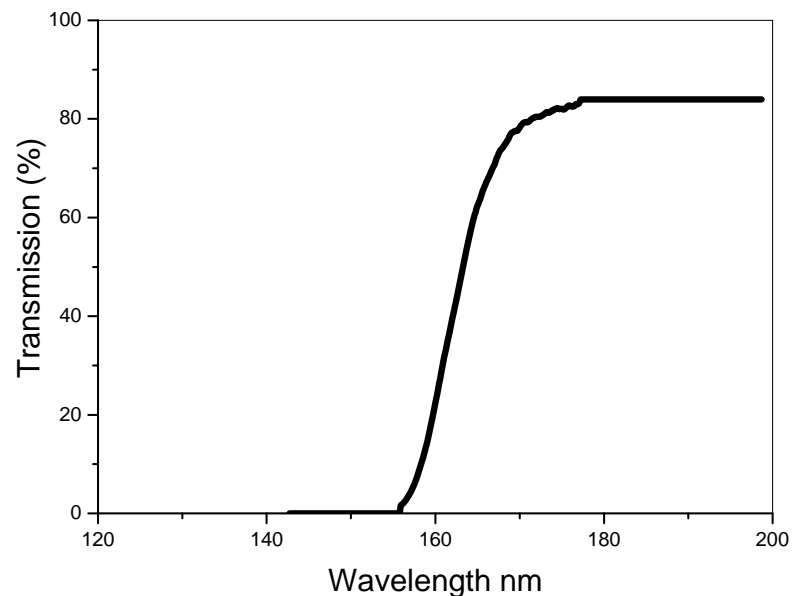


# 4.5 Halogenglühlampen

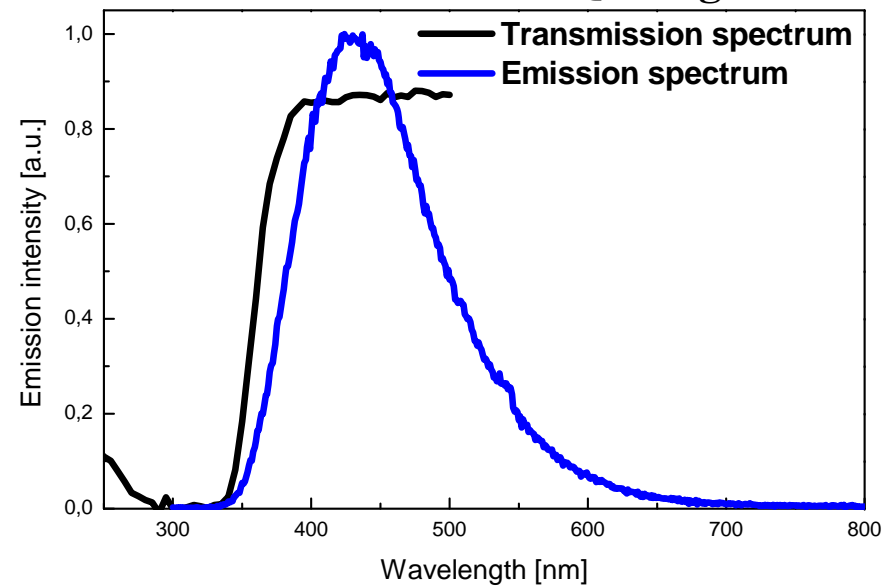
## UV-Strahlung Problematik

Durch die höhere Wendeltemperatur emittieren Halogenglühlampen auch etwas UV-A und UV-B Strahlung, da der Quarzkolben für UV-Strahlung transparent ist.

Transmissionsspektrum von Quarzglas



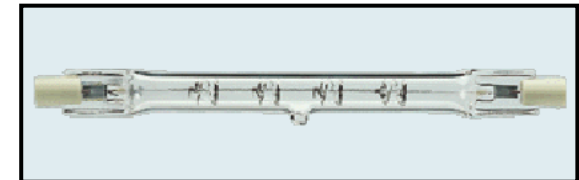
Transmissions- und Emissionsspektrum von  $\text{Ce}^{3+}$  dotierten Quarzglas



# 4.5 Halogenglühlampen

## Vorteile gegenüber Glühlampen

Bei der Halogen-Glühlampe bleibt die Wand durch den chemischen Transport klar  
⇒ Reduktion der Kolbengröße  
⇒ Erhöhung des Inertgasdruckes  
⇒ Geringere Abdampfungsrate von Wolfram gibt eine höhere Lebensdauer, welche zum Teil in höhere Effizienz umgesetzt wird (höhere Wendeltemperatur)

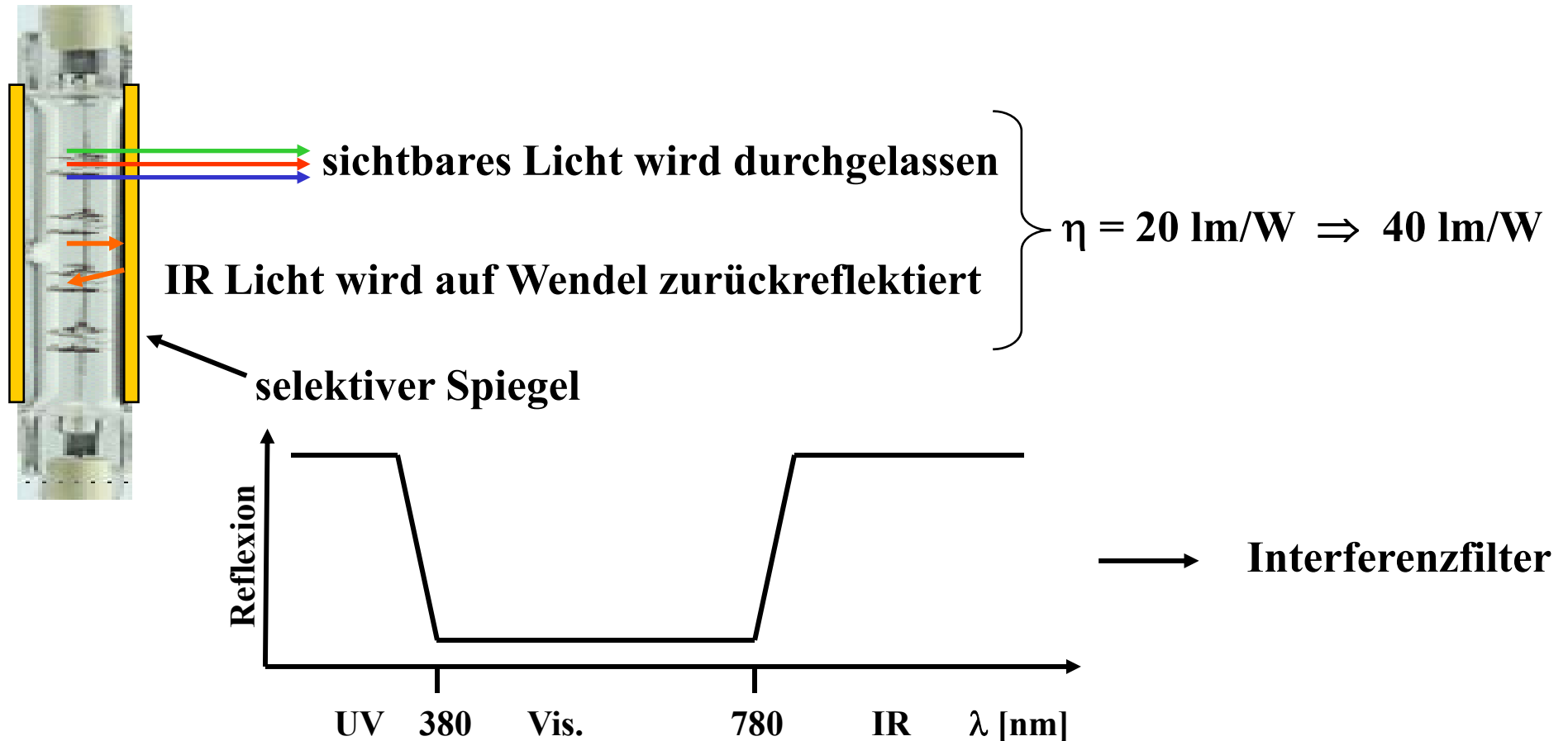


T [K]	$\eta$ [lm/W]	$\eta$ [%]	
2700	13	10	Glühlampe  typische Halogenlampe spezielle Halogenlampen (Projektoren, Fernsehstudios)
2800	16	11	
3000	22	13	
3200	29	16	
3400	36	20	

# 4.6 Interferenzfilter

Da Glühlampen und Halogenglühlampen im wesentlichen IR-Strahlung emittieren, können noch höhere Effizienzen durch IR-Filter erreicht werden.

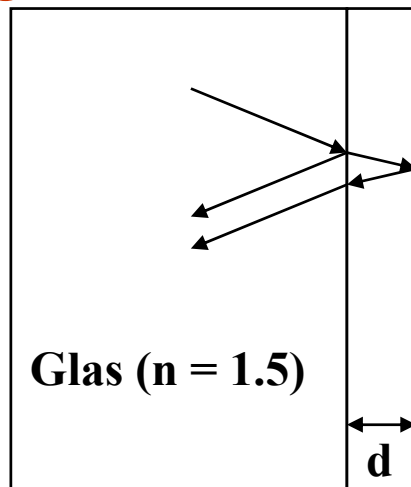
Prinzip am Beispiel der Halogenlampe





# 4.6 Interferenzfilter

Interferenzfilter bestehen aus einer Abfolge von niedrig- und hochbrechenden anorganischen Schichten



Gangunterschied =  $2nd - \lambda/2$

- $m \cdot \lambda$  konstruktive Interferenz  
hohe Reflexion
- $(k+1/2)\lambda$  Auslöschung  
geringe Reflexion

TiO<sub>2</sub>, ZnS, ... (n = 2.3 – 2.7)

**Beispiel:  $2nd = 500 \text{ nm}$**

Niedr. Refl.  $k=0 \quad \lambda = 500 \text{ nm}$

$k=1 \quad \lambda = 500/2 = 250 \text{ nm}$

$k=2 \quad \lambda = 500/3 = 167 \text{ nm}$

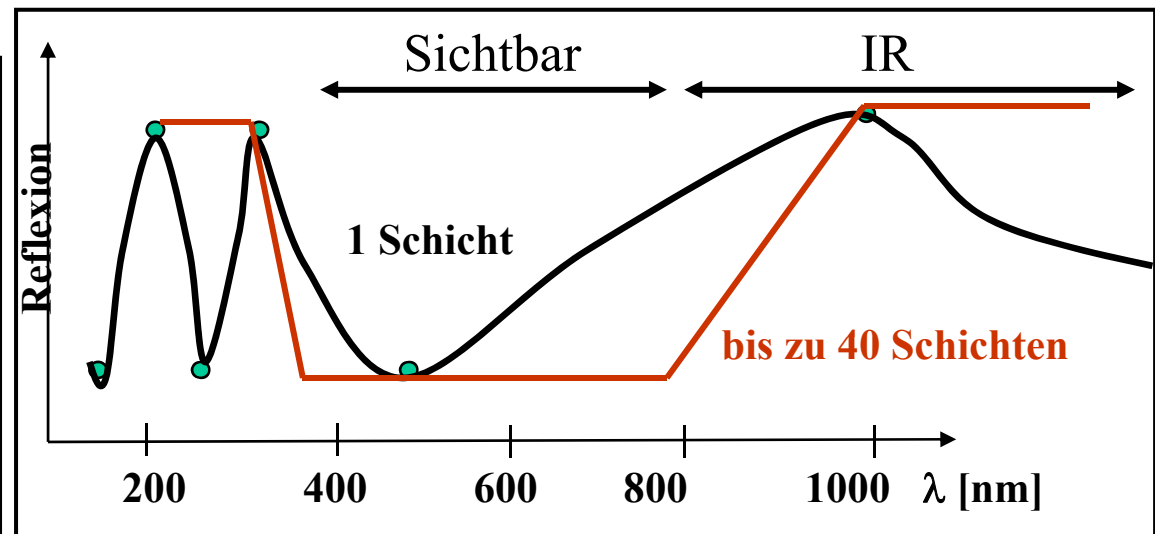
.....

Hohe Refl.  $m=0 \quad \lambda = 500/0.5 = 1000 \text{ nm}$

$m=1 \quad \lambda = 500/1.5 = 333 \text{ nm}$

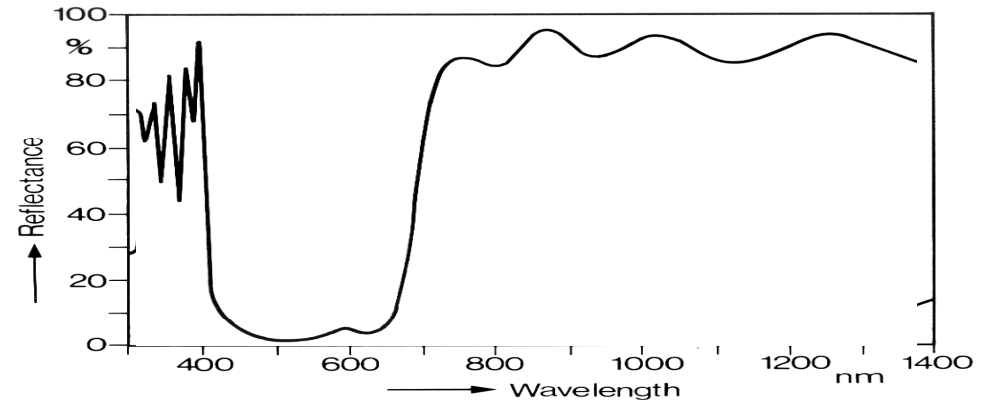
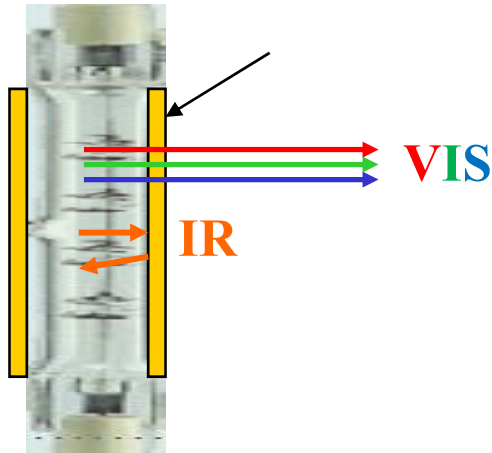
$m=2 \quad \lambda = 500/2.5 = 200 \text{ nm}$

.....



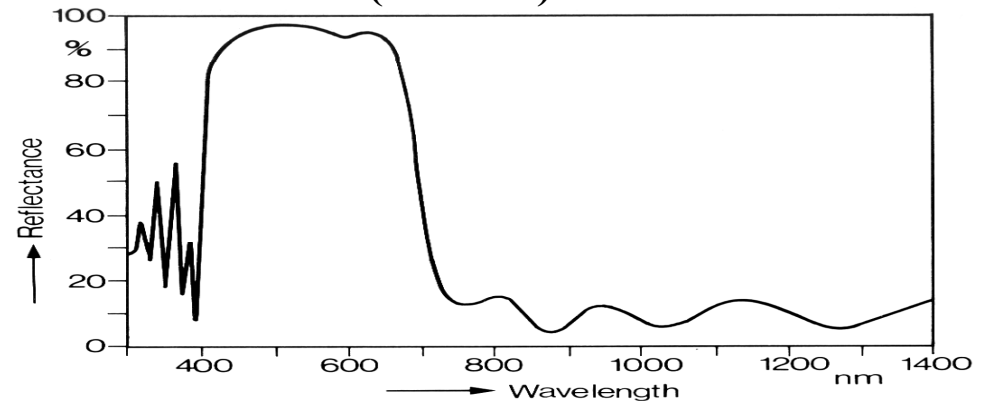
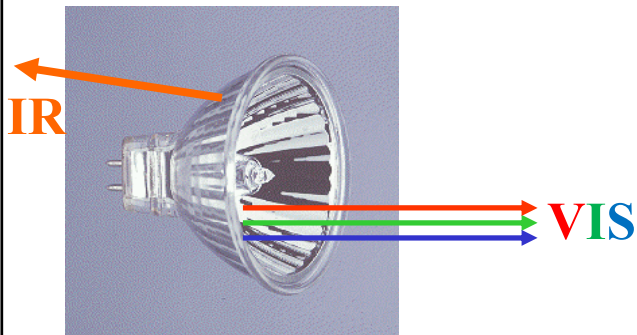
# 4.6 Interferenzfilter

## Energiesparfilter



## Kaltlichtspiegel

Ein Kaltlichtspiegel ist ein invertiertes Energiesparfilter.  
Er reflektiert sichtbares Licht und lässt IR (Wärme) nach hinten durch

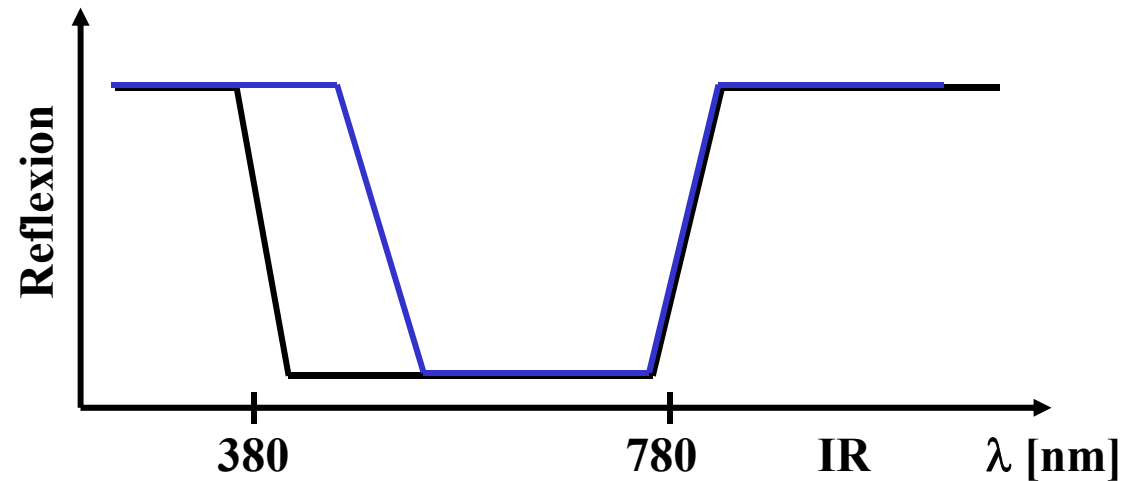


Filter ist nicht perfekt  $\Rightarrow$  Farbeffekt, d.h. tiefrot und tiefblau werden hinten Lampe sichtbar

# 4.6 Interferenzfilter

## Interferenzfilter als Farbfilter

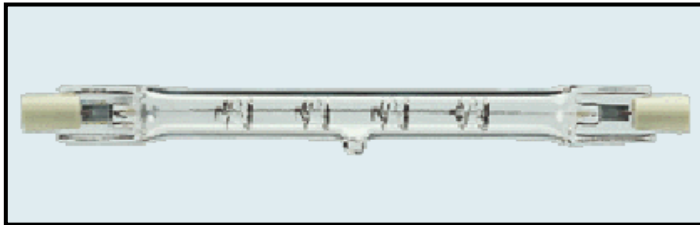
Anwendung in Lichtquellen und in Spektrometern



Blau fehlt im Emissionsspektrum  $\Rightarrow$  Gelbfilter

# 4.7 Halogenlampentypen

## Halogenlampen zur Allgemeinbeleuchtung



$$P = 200 - 500 \text{ W}$$

$$U = 230 \text{ V}$$

$$P = U^2/R, \text{ i. e. } U \uparrow \Rightarrow R \uparrow$$

$$\Rightarrow R = \rho \cdot l/A$$

$\Rightarrow$  längere und dünnere Wendel

$\Rightarrow$  Wendel wird instabiler

$\Rightarrow T_{\text{Wendel}}$  wird erniedrigt

$\Rightarrow \eta$  sinkt im vgl. zu Niedervolt

### Niedervolthalogenlampen



$U = 12, 24 \text{ V}$  (Transformator nötig)

$P = 20 - 50 \text{ W}$

### Hochvolthalogenlampen



Außenkolben (heiß & Fingerabdrücke)



PAR = Parabelförmige Reflektorlampe



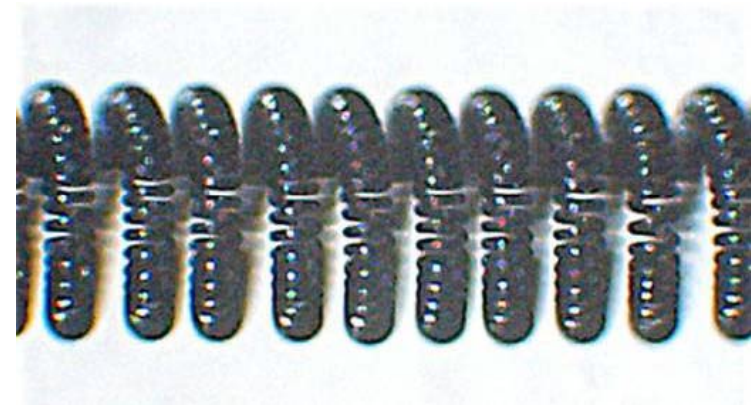
# 4.7 Halogenlampentypen

## Niedervolt- vs. Hochvolthalogenlampen

Lampentyp	Niedervolt	Hochvolt
Spannung U [V]	12	230
Leistung P [W]	20	20
Filamentlänge l [cm]	2,21	15,81
Durchmesser d [μm]	54,1	7,558

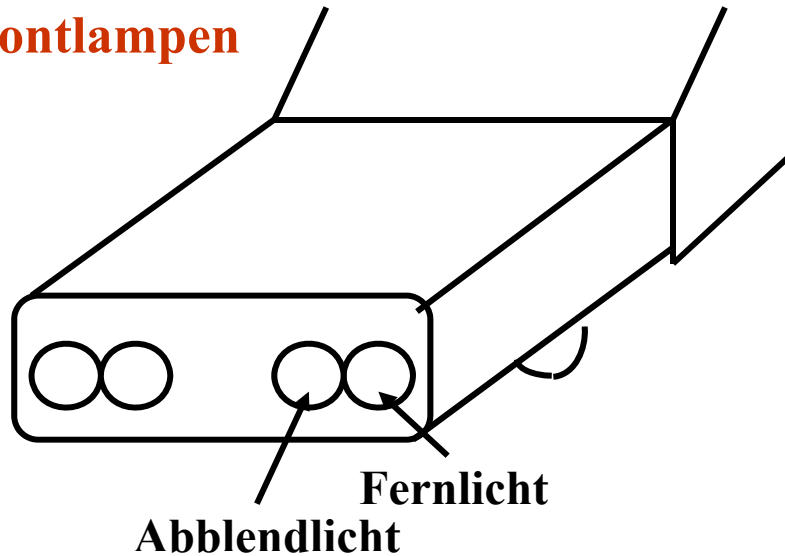
$$l = \sqrt[3]{\frac{P U^2}{4 \pi \rho \sigma^2 T^8}}$$

$$d = \sqrt[3]{\frac{P^2 \rho 4}{\sigma \pi^2 T^4 U^2}}$$

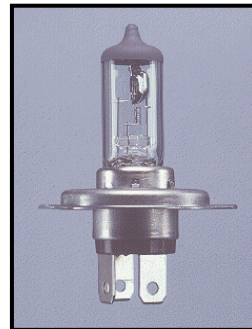


# 4.7 Halogenlampentypen

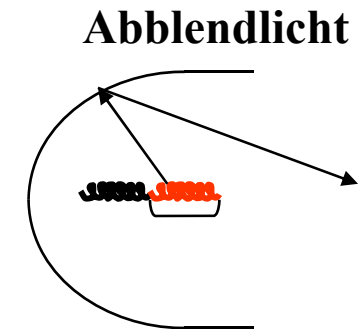
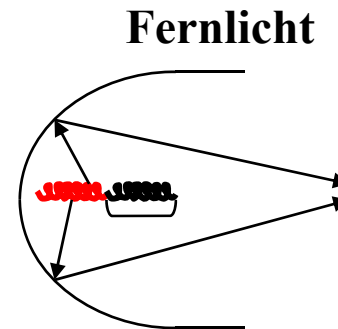
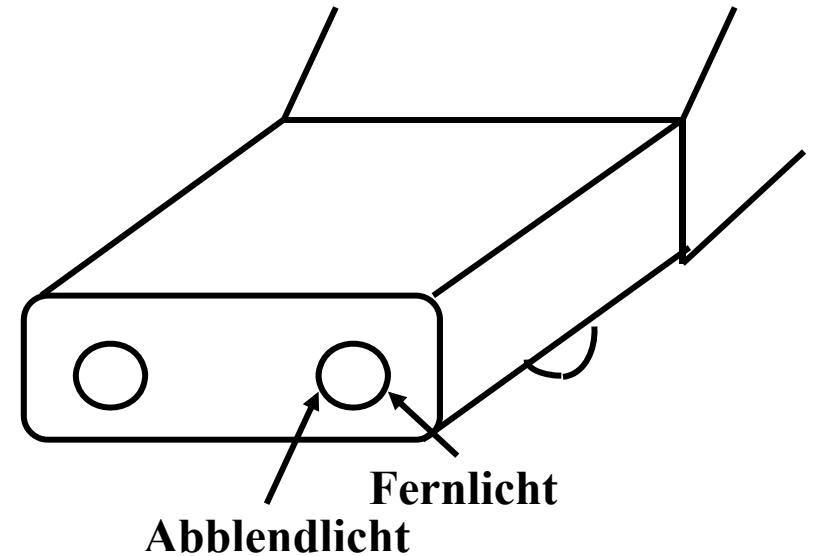
## Autofrontlampen



**H7-Lampen  
(1 Filament)**

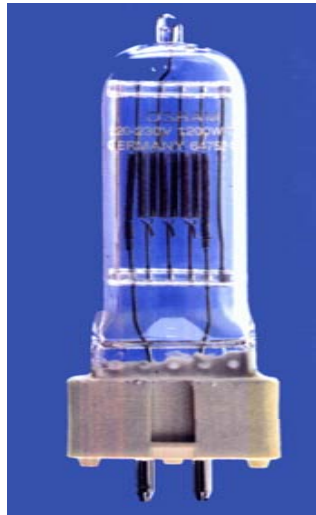


**H4-Lampen  
(2 Filamente)**

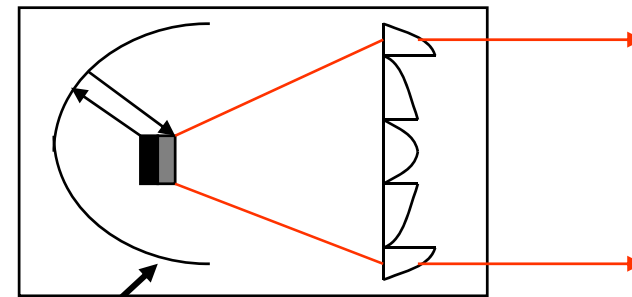


# 4.7 Halogenlampentypen

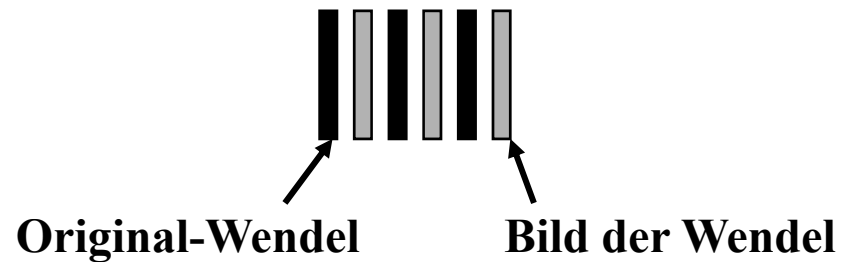
Halogenlampen SSTV Markt (Stage-Studio-TV = Bühne, Foto- und Fernsehstudio)



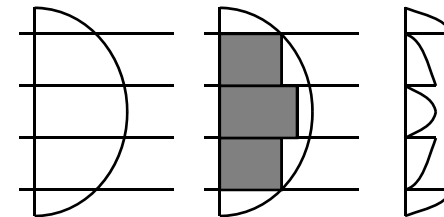
Scheinwerfer



sphärischer Spiegel  
f



Fresnel-Linse



## 4.8 Neue Entwicklungen

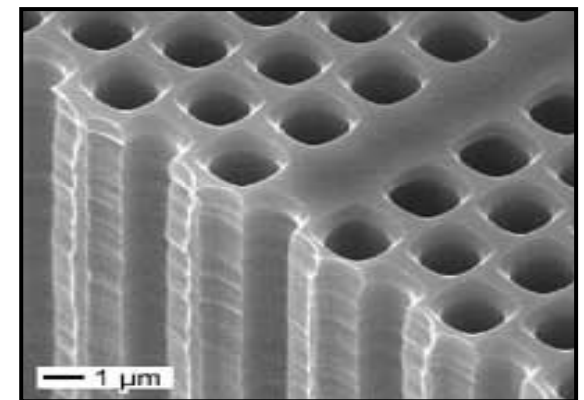
### Weißer LEDs entwickeln sich zur starken Konkurrenz für Halogenleuchtampen

Lichtquelle	Lichtstrom [lm]	Effizienz [lm/W]	Helligkeit [Mcd/m <sup>2</sup> ]	CRI	Lebensdauer [kh]	Kosten [\$/Mlm·h]
Glühlampe 60W	900	15	10	100	1	7.2
Halogenlampe 50W	1000	20	20	100	2	6.3
LED 2002	125	25	3	75	60	6.0
LED 2015	1000	300	10	90	60	< 1.0

### Weiterentwicklung von Glüh- und Halogenleuchtampen

Wolfram-Wendel mit photonischer Bandstruktur durch  
3D-Strukturierung

Ziel: Reduktion der IR-Emission und damit Erhöhung  
der Lichteffizienz



# 4.8 Neue Entwicklungen

## Spezialitäten

**Hochleistungslampen  
(bis 20 kW)**



**Farbige Glühlampen  
(mit anorganischen Metalloxiden beschichtet)**



mit  $\text{CoAl}_2\text{O}_4$



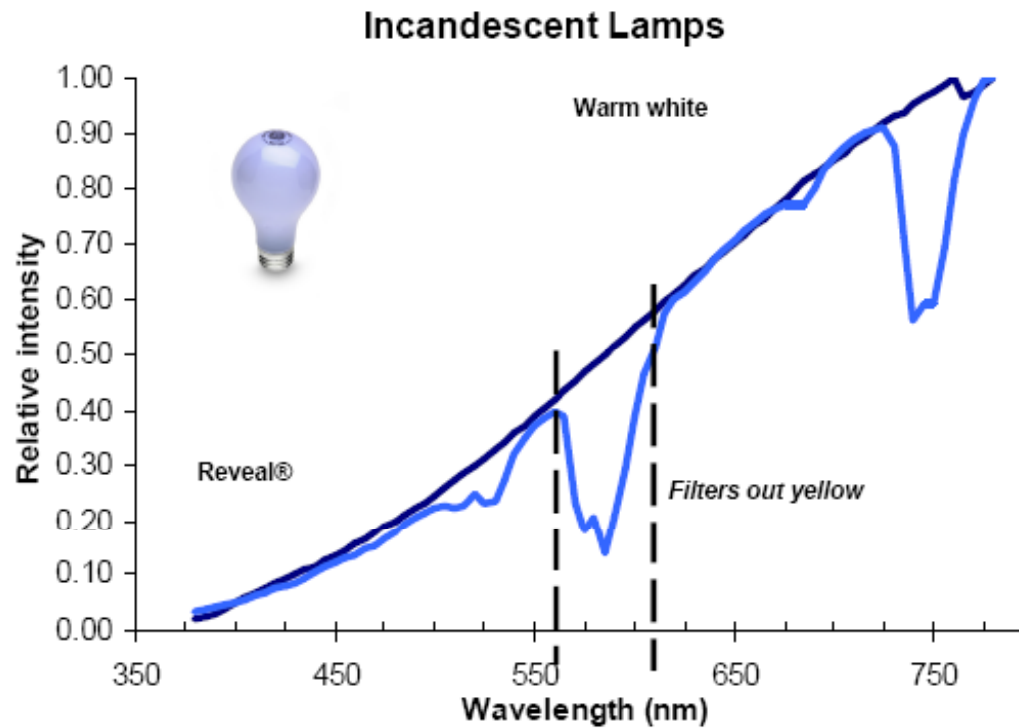
mit  $\text{Fe}_2\text{O}_3$

# 4.8 Neue Entwicklungen

## Spezialitäten

Dotierung des Lampenglases, z.B. mit  $\text{Nd}_2\text{O}_3$  (GE Lighting: **Reveal®**)

**Ziel:** Erhöhung der Farbtemperatur ohne Verlust der Farbwiedergabe  
Verbesserung des Rot/Grün-Kontrasts

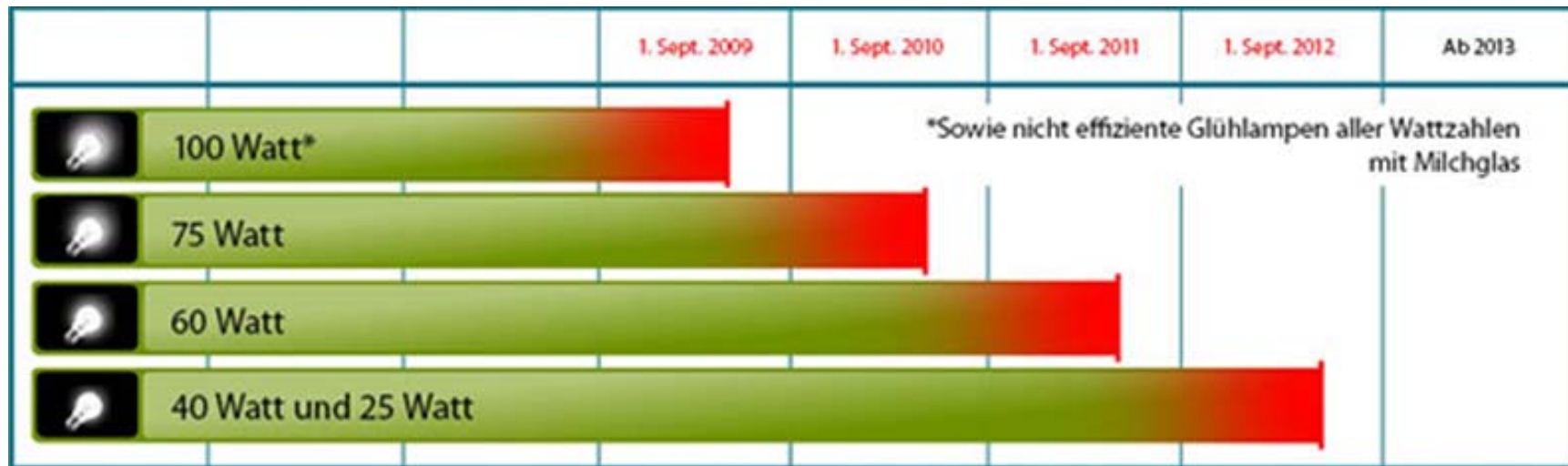




## 4.8 Neue Entwicklungen

### Wiederauferstehung der Glühlampe

**2010:** Verkauf der Glühlampe als Kleinheizkraftwerk (Heatball) als Reaktion auf das Glühlampenverbot der EU



**2016:** Verbot der Halogenlampen implementiert