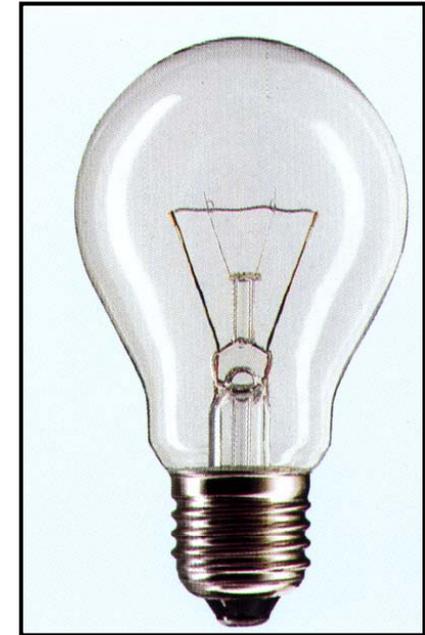


4. Glüh- und Halogenlampen

Inhalt

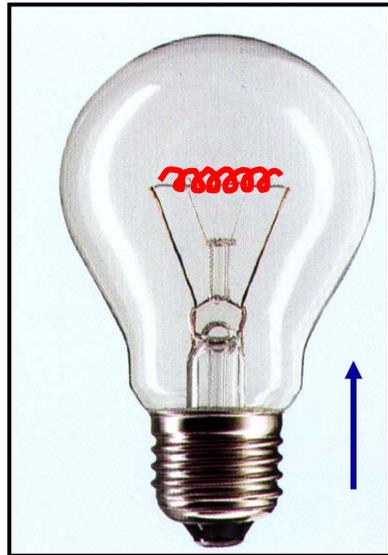
- 4.1 Historisches
- 4.2 Physikalische Grundlagen
- 4.3 Konstruktion
- 4.4 Lebensdauer
- 4.5 Halogenglühlampen
- 4.6 Interferenzfilter
- 4.7 Halogenlampentypen
- 4.8 Neue Entwicklungen



4.1 Historisches

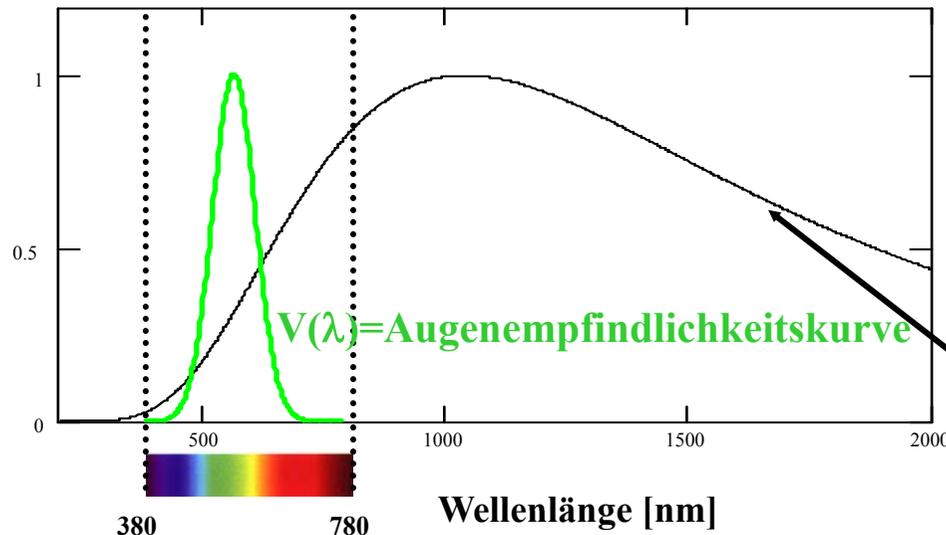
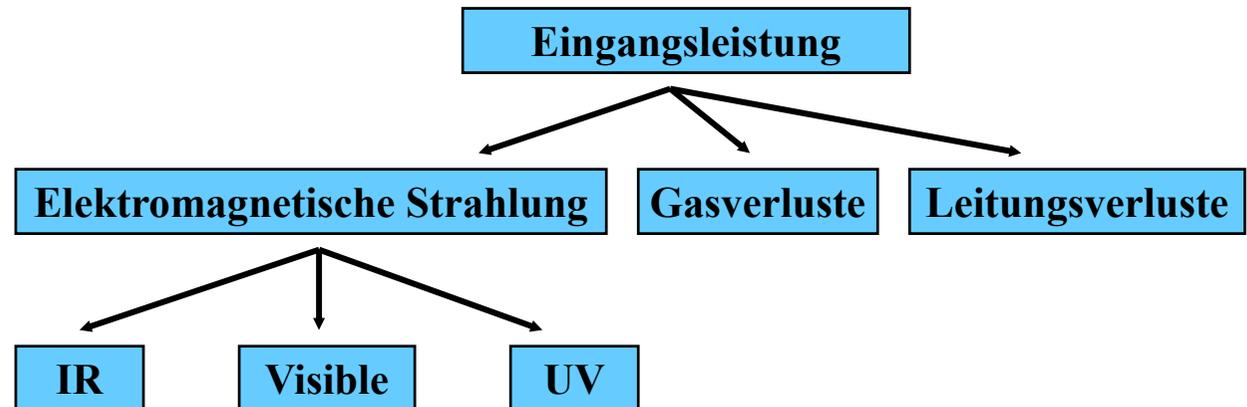
- 1820** Arthur de la Rive beobachtet einen glühenden Pt-Draht im Vakuum
- 1840** Joseph Wilson Swan experimentiert mit verkohlten Papierfäden
- 1854** Heinrich Goebel konstruiert die erste Glühlampe mit einer Bambusfaser, die zu einer Kohlefadenlampe führt
Problem: Noch nicht gut genug evakuiert $\Rightarrow C + O_2 \rightarrow CO_2$
- 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/N₂ 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)

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

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

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

$\lambda = \text{Wellenlänge [m]}$

$L_e = \text{Spektraler Strahlungsfluss}$

$T = \text{Temperatur [K]}$

<u>Lichtquelle</u>	<u>Farbtemperatur</u>
--------------------	-----------------------

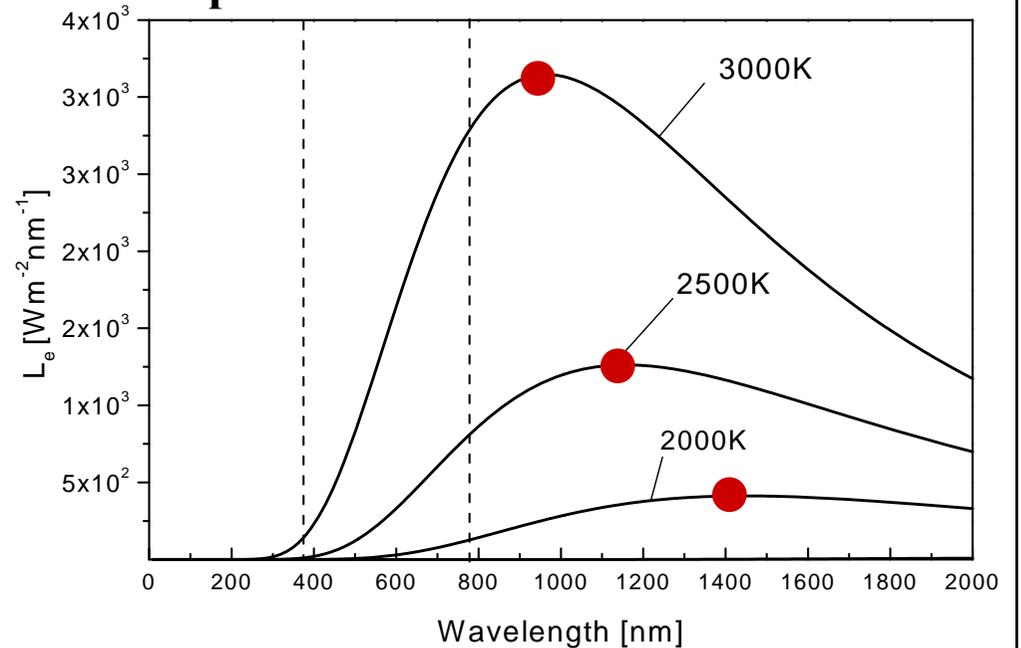
Sonne	5800 K
-------	--------

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

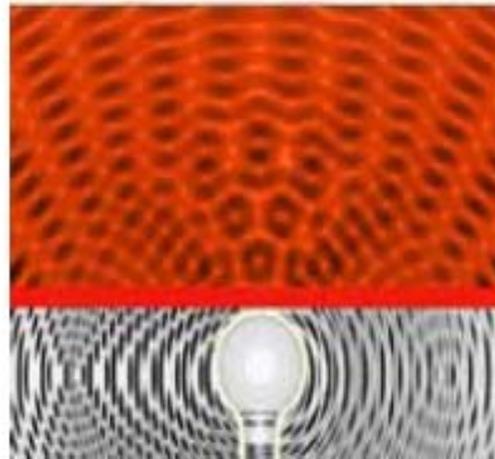
Glüh-/Halogenlampen sind räumlich und zeitlich inkohärente Strahlungsquellen

Inkohärenz



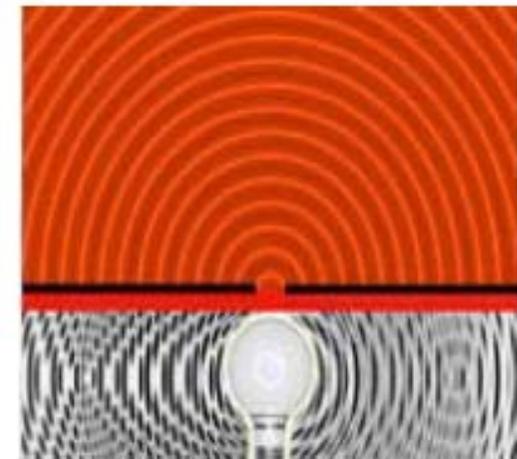
Eine Glühlampe strahlt inkohärent: Die Wellenlängen der einzelnen Wellenzüge sind verschieden bzw. zwischen den einzelnen Punkten der strahlenden Fläche gibt es keine feste Phasenbeziehung

zeitliche Kohärenz



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

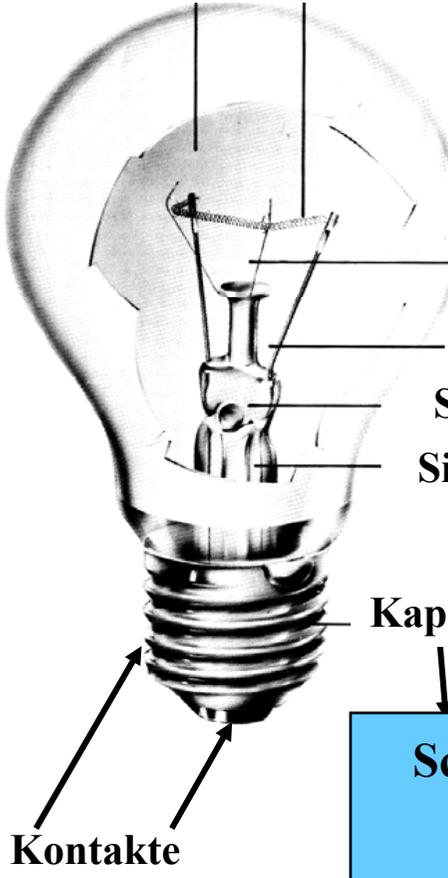
zeitliche und räumliche Kohärenz



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) + N₂
(Druck = 1 bar)
Typisch: 80% N₂ + 20% Ar

Unterstützungsdrähte (Mo)
Zuleitungsdrähte
Stem = Glashalterung
Sicherung

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

Kappe

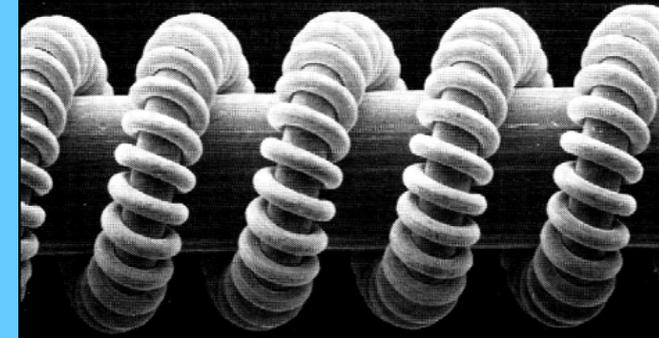
Schraubgewinde = Edison-Typ
Bajonett-Typ

Durchmesser in mm

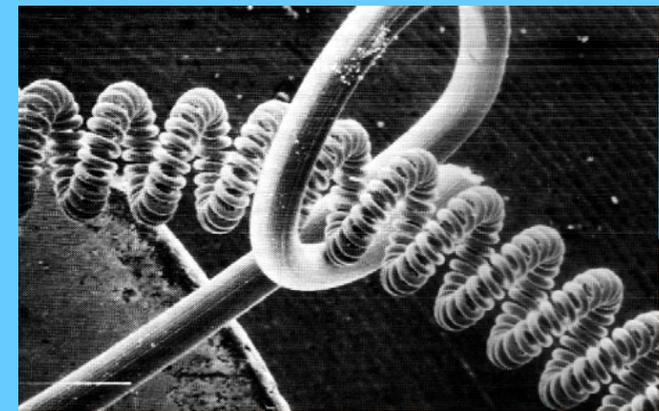
Europa	E10	E14	E27	E40
USA	E12	E17	E26	E39

Kontakte

Wendel wird doppelt gewickelt

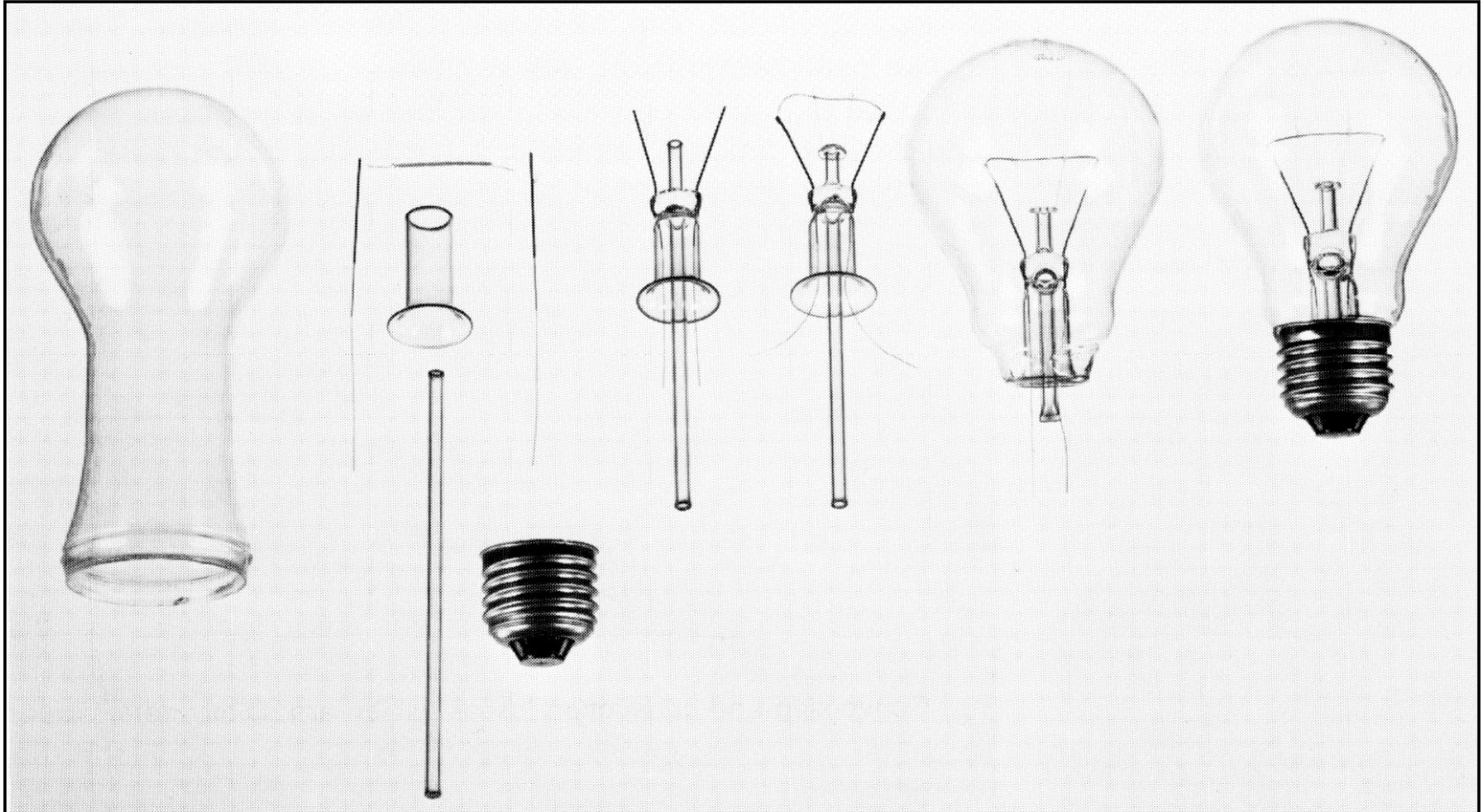


wird erst auf Mo gewickelt, später wird Mo entfernt



4.3 Konstruktion

Vom Glaskolben zur Glühlampe



4.3 Konstruktion

Produktion der Wolframwendel

Wolframherstellung

Erze: 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 NH_3

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

↓ $600\text{ }^\circ\text{C}$

WO_3

↓ Doping, H_2 , $450\text{ }^\circ\text{C}$

α -W-Metallpulver → Pressen + Sintern zu W-Stäben

Wendelherstellung

W-Stäbe

↓ Hämmern, Walzen

W-Bleche

↓ Ziehen

W-Drähte

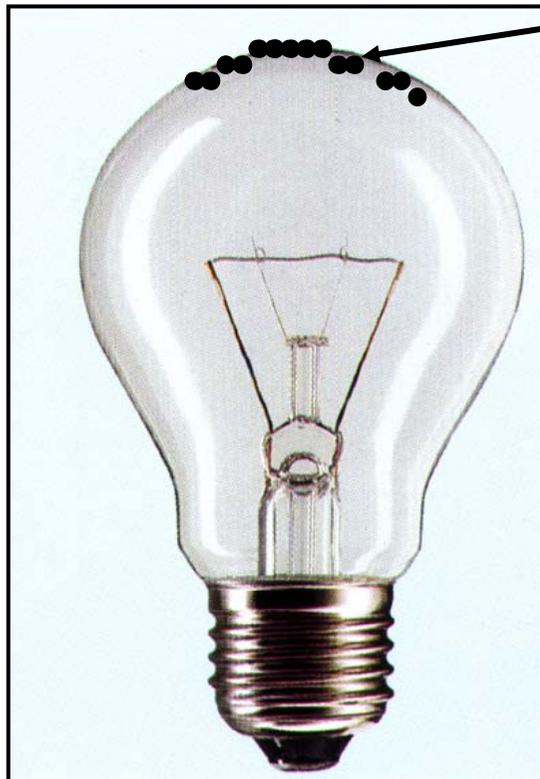
↓ Wickeln

W-Wendel

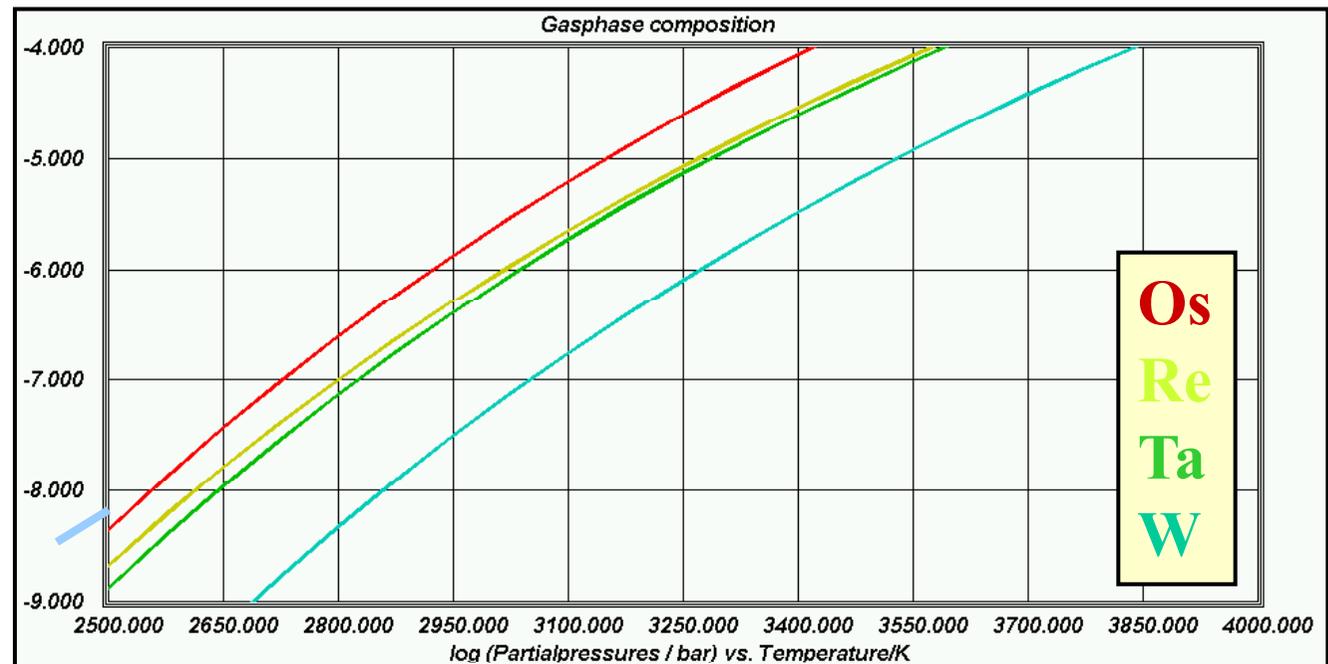


4.4 Lebensdauer

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 °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 η 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

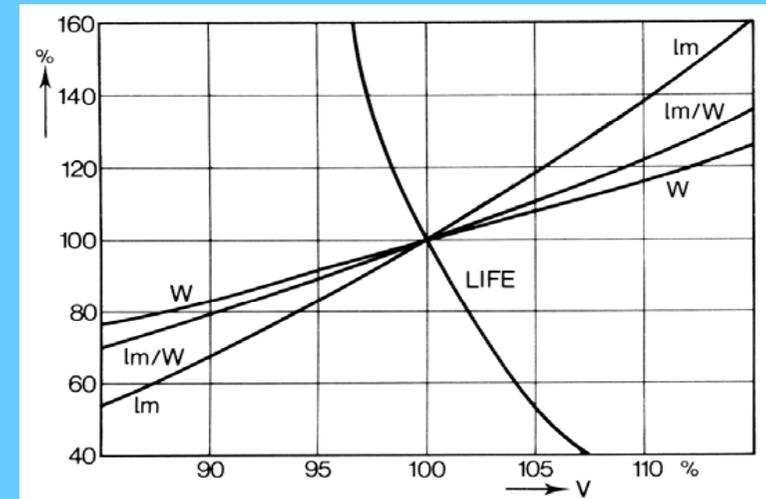
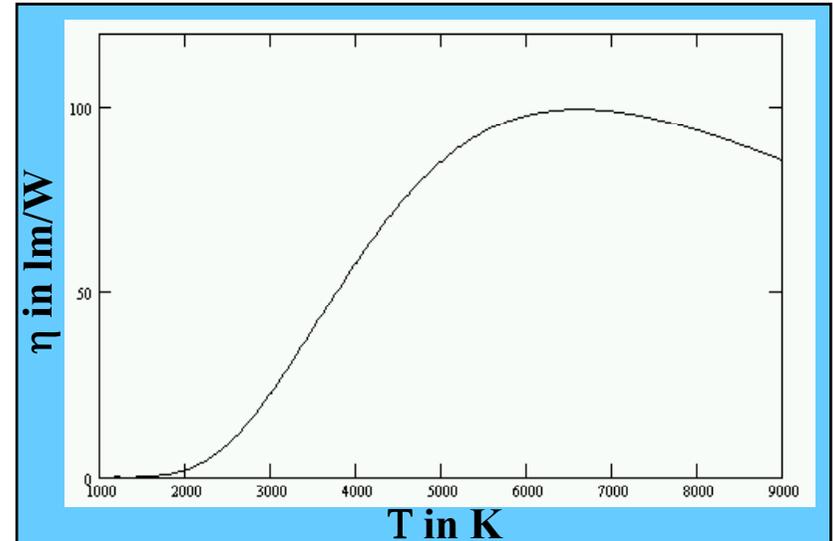
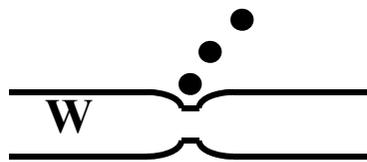
W-Draht wird dünner

⇒ Widerstand steigt

⇒ lokale Leistung und Temperatur steigt

⇒ Dampfdruck steigt

⇒ Durchbrennen am „Hot spot“

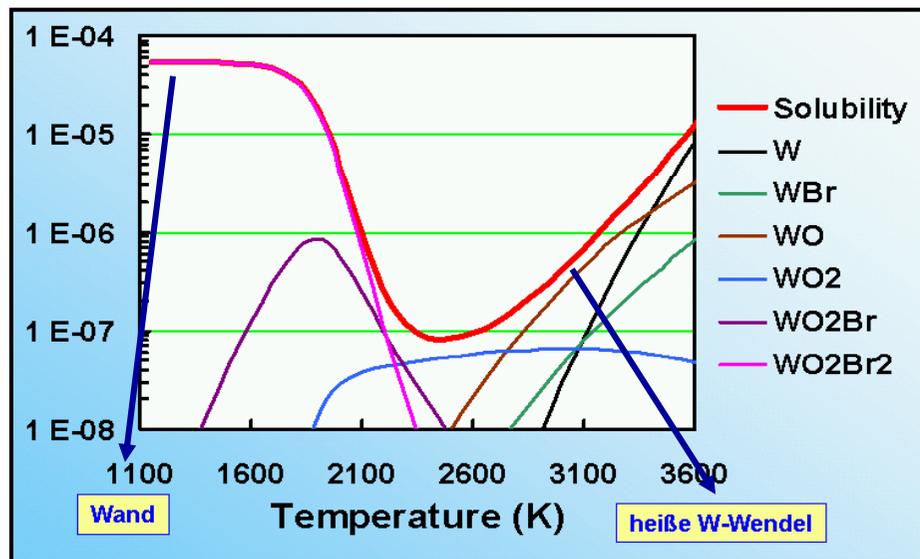
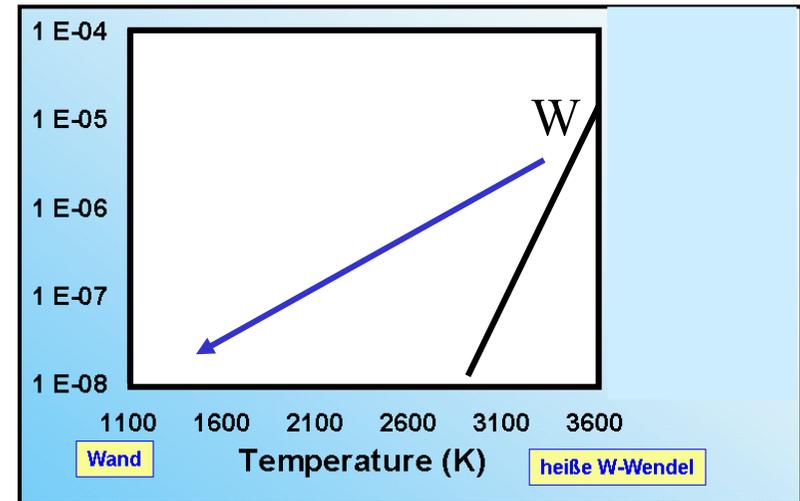


4.5 Halogenglühlampen

Das Funktionsprinzip

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

Gasfüllung = Inertgas + O₂ + X₂ (X = Br, I)



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

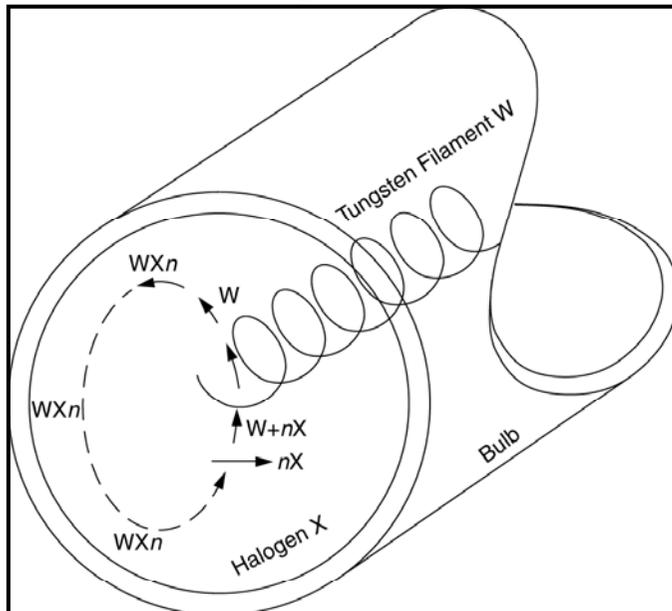
4.5 Halogenglühlampen

Chemischer Transport in Halogenglühlampen

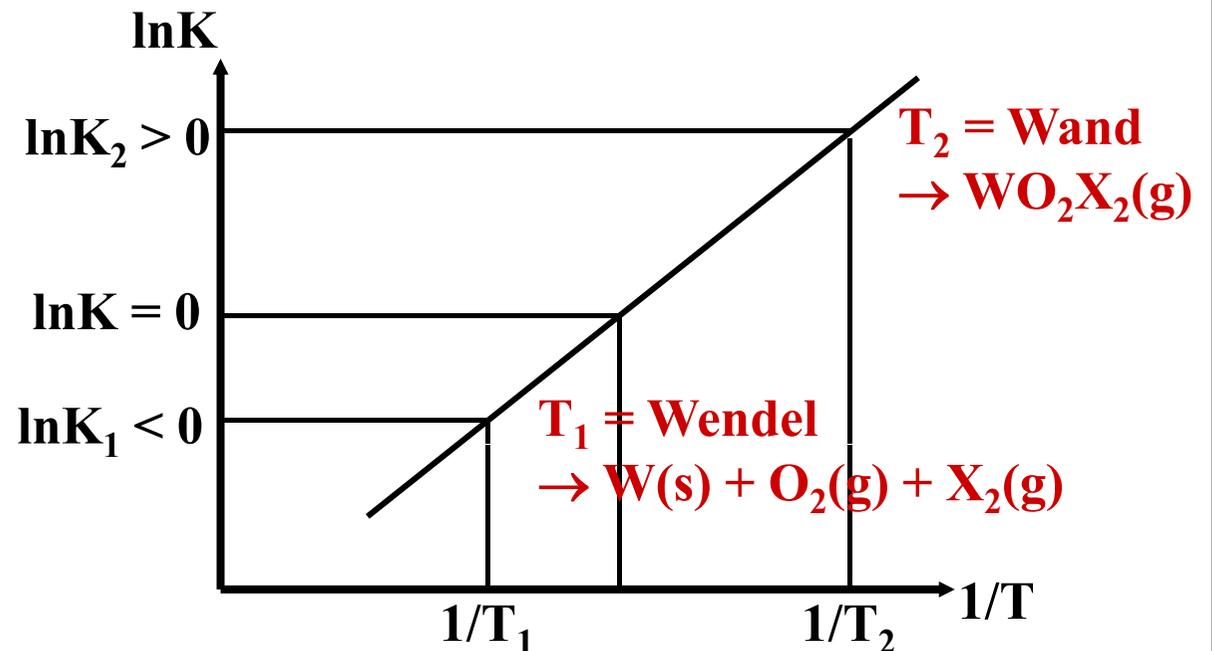
Die Lage des chemischen Gleichgewichts ist temperaturabhängig: $W + O_2 + X_2 \rightleftharpoons WO_2X_2$

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

Halogen-Zyklus



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



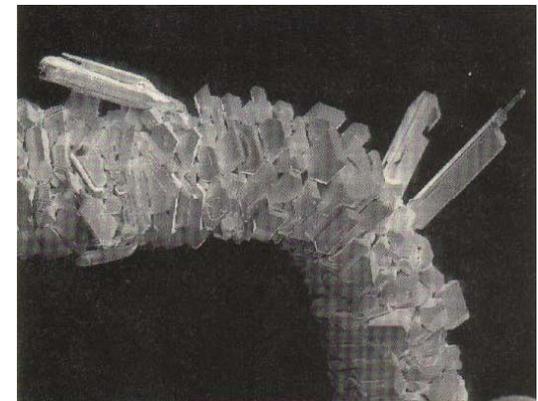
4.5 Halogen Incandescent Lamp

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

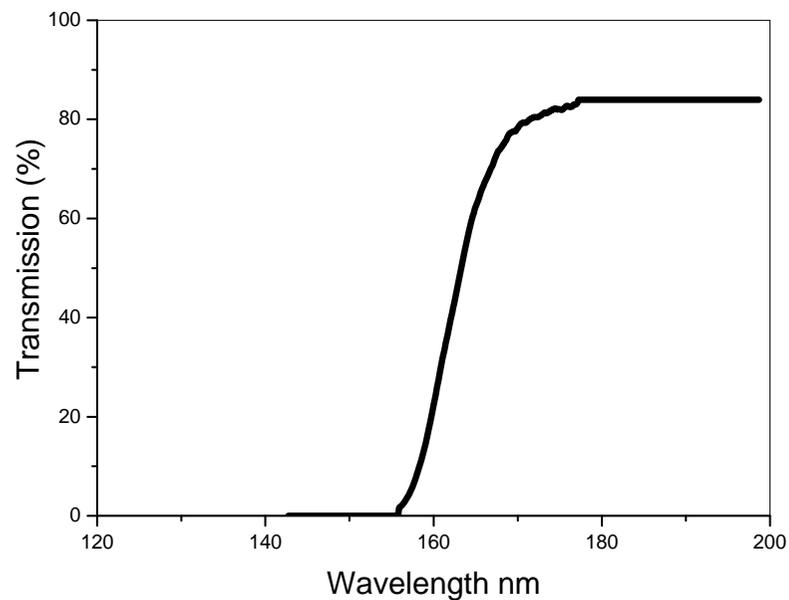


4.5 Halogenglühlampen

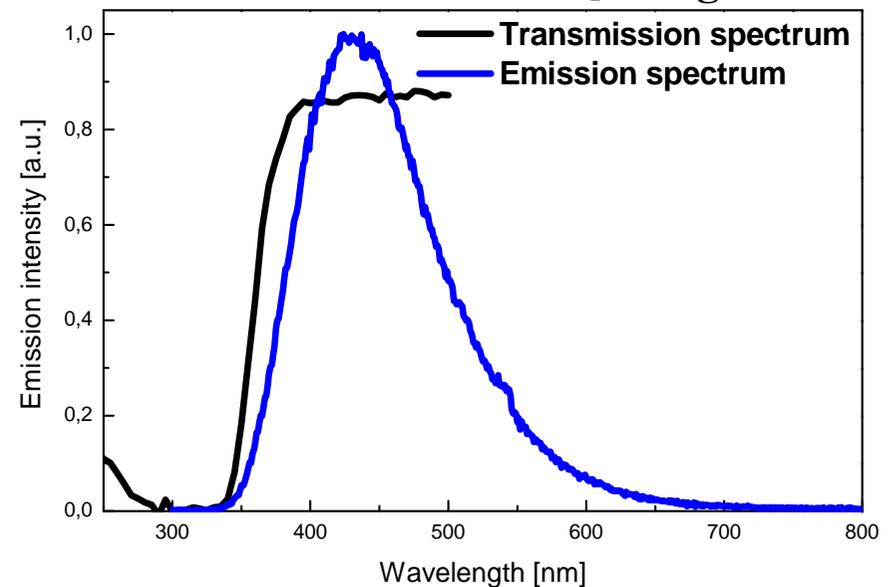
UV-Strahlung Problematik

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 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)

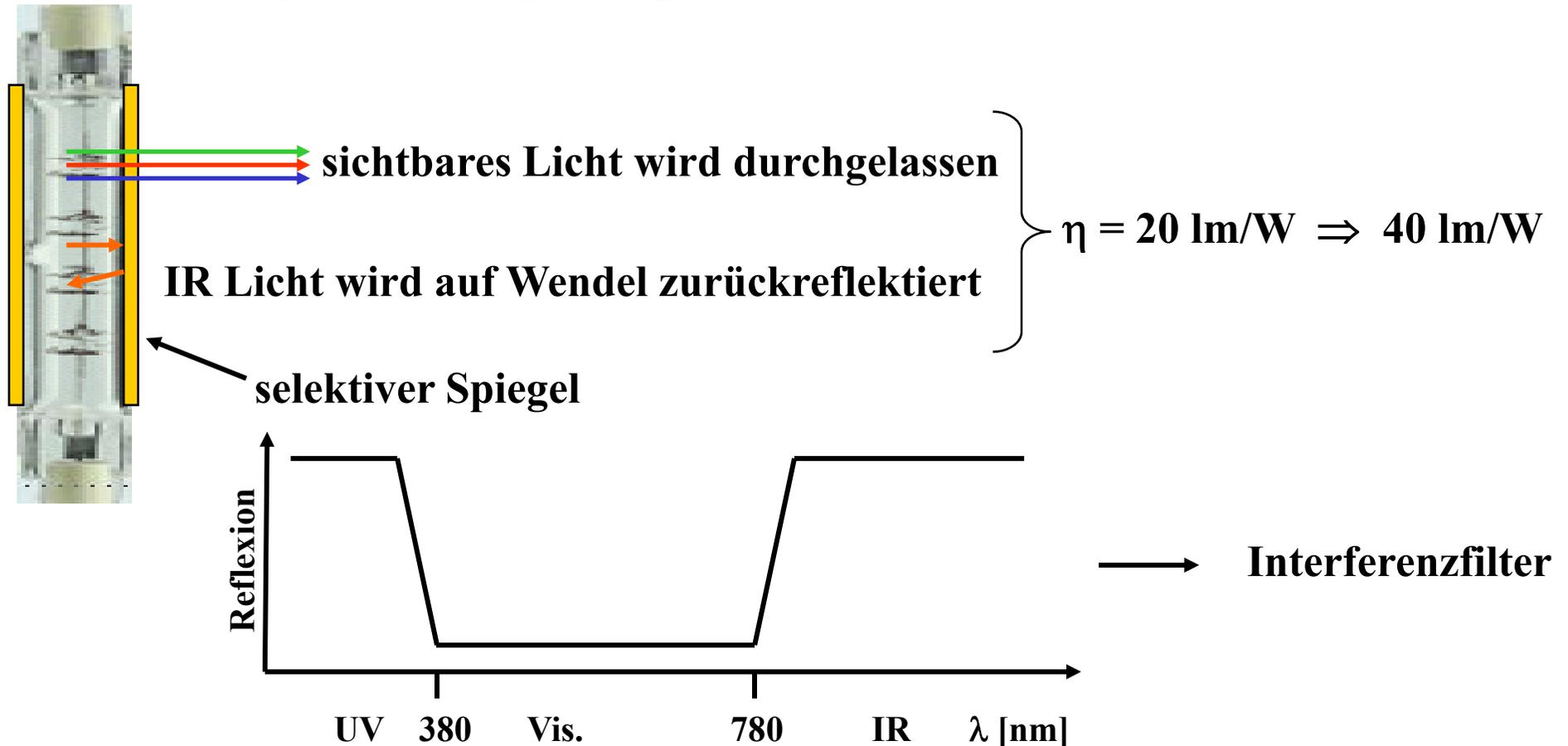


T [K]	η [lm/W]	η [%]	
2700	13	10	Glühlampe typische Halogenlampe } spezielle Halogenlampen (Projektoren, Fernsehstudios)
2800	16	11	
3000	22	13	
3200	29	16	
3400	36	20	

4.6 Interferenzfilter

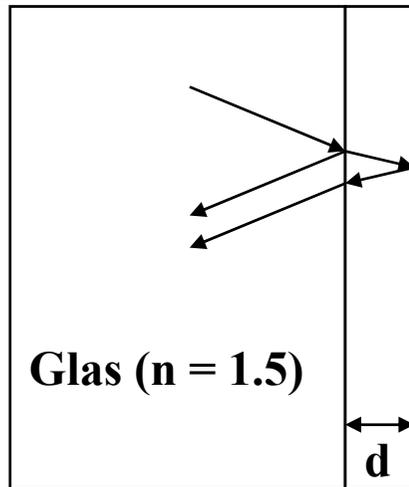
Da Glühlampen und Halogenglühlampen im wesentlichen IR-Strahlung emittieren, können noch höhere Effizienzen durch IR-Filter erreicht werden.

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

TiO₂, ZnS, ... (n = 2.3 – 2.7)

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

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

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

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

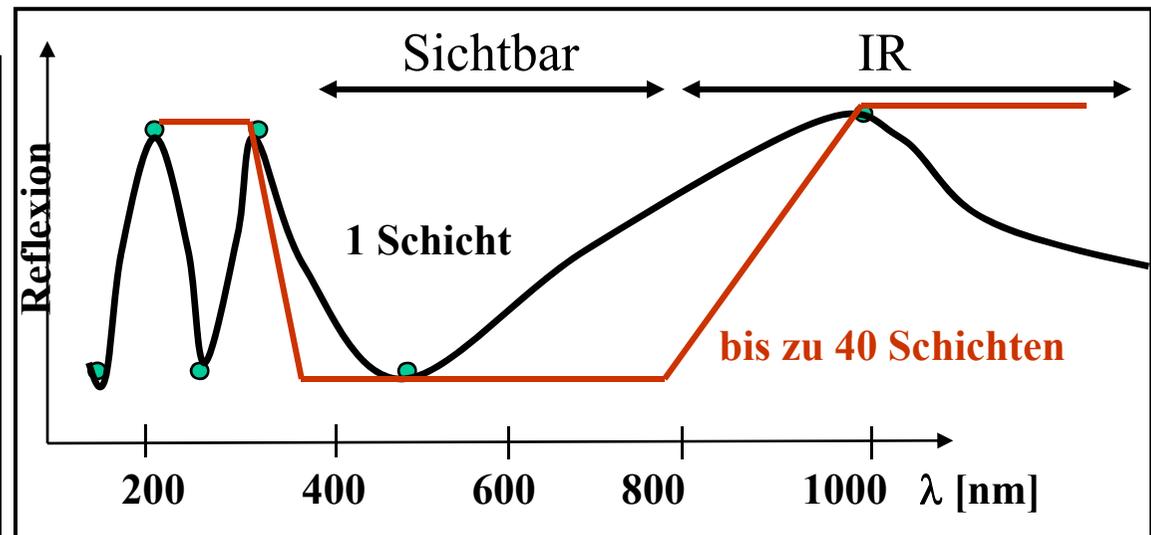
.....

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

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

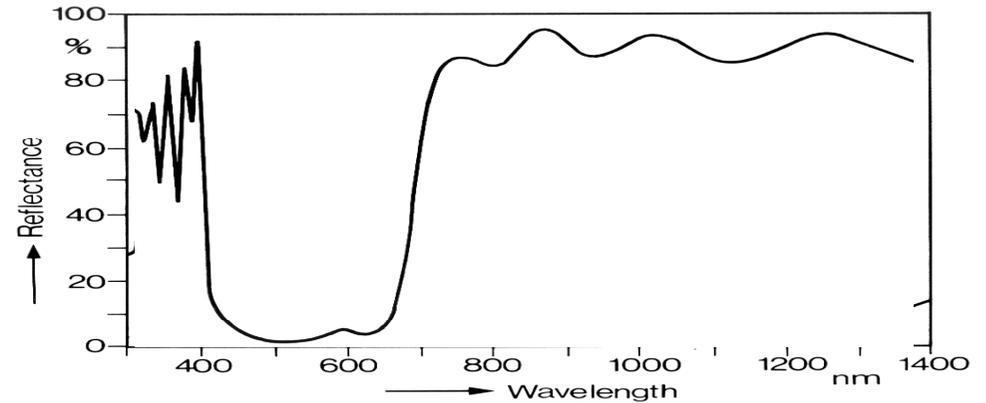
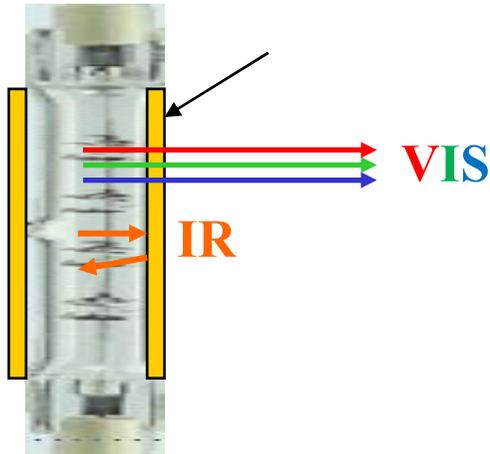
$m=2 \quad \lambda = 500/2.5 = 200 \text{ nm}$

.....



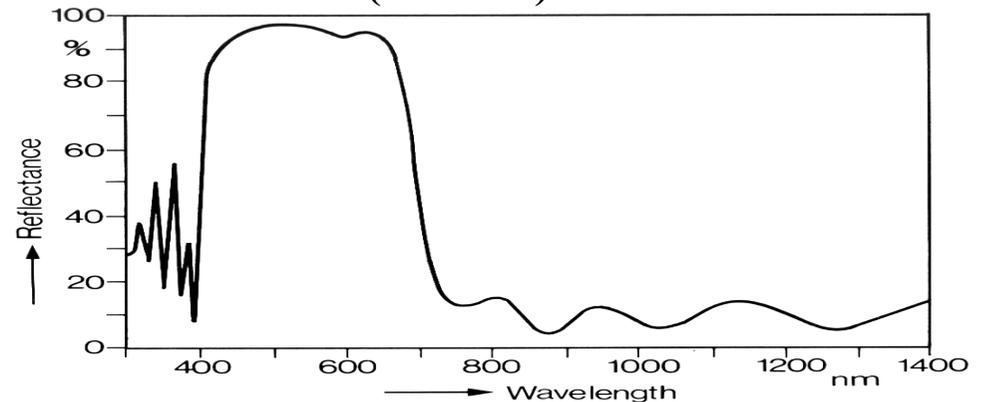
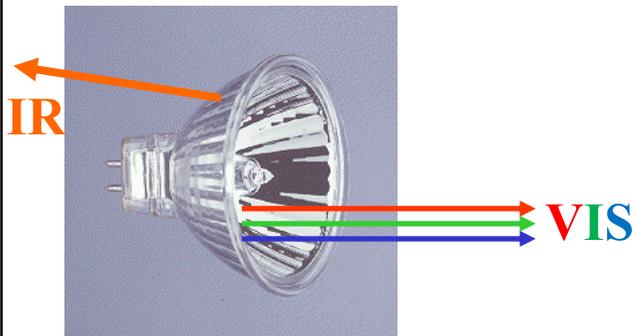
4.6 Interferenzfilter

Energiesparfilter



Kaltlichtspiegel

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

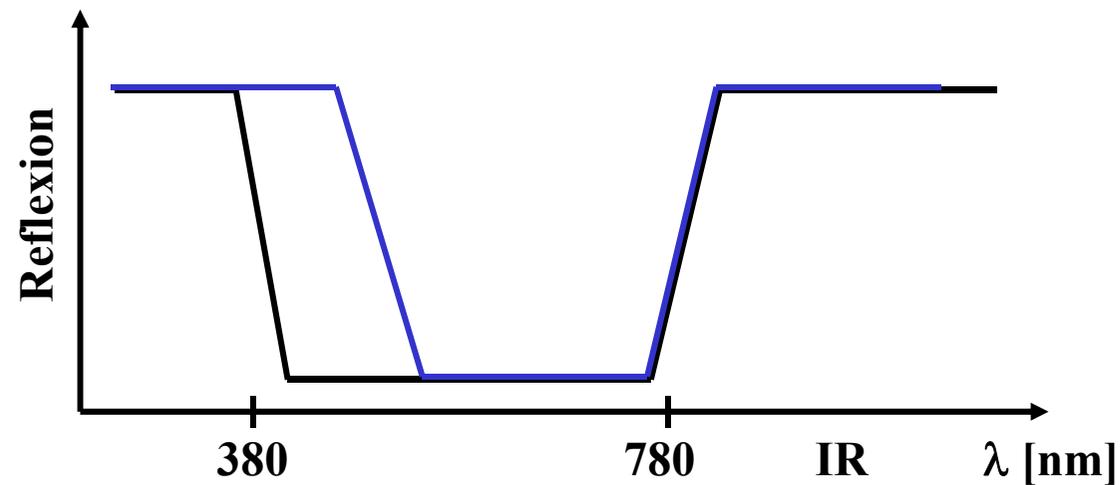


Filter ist nicht perfekt \Rightarrow Farbeffekt, d.h. tiefrot und tiefblau werden hinten Lampe sichtbar

4.6 Interferenzfilter

Interferenzfilter als Farbfilter

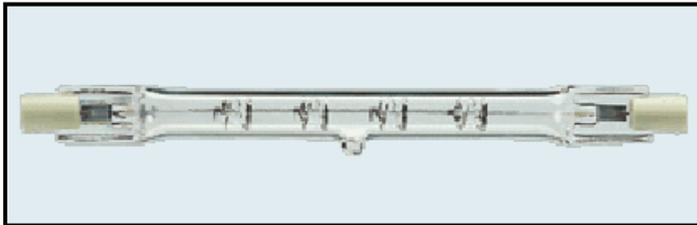
Anwendung in Lichtquellen und in Spektrometern



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)



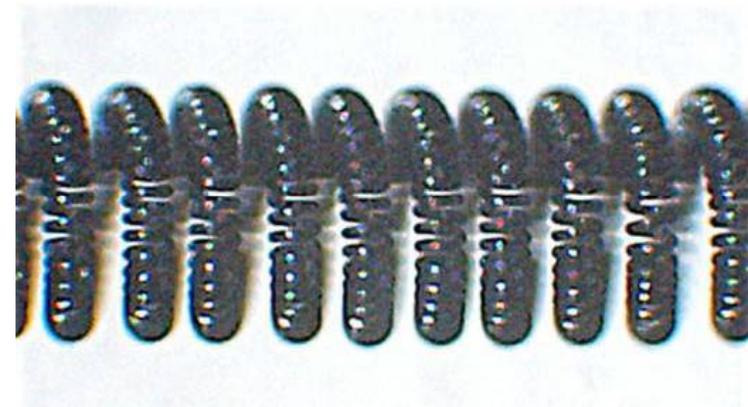
PAR = Parabelförmige Reflektorlampe

4.7 Halogenlampentypen

Niedervolt- vs. Hochvolthalogenlampen

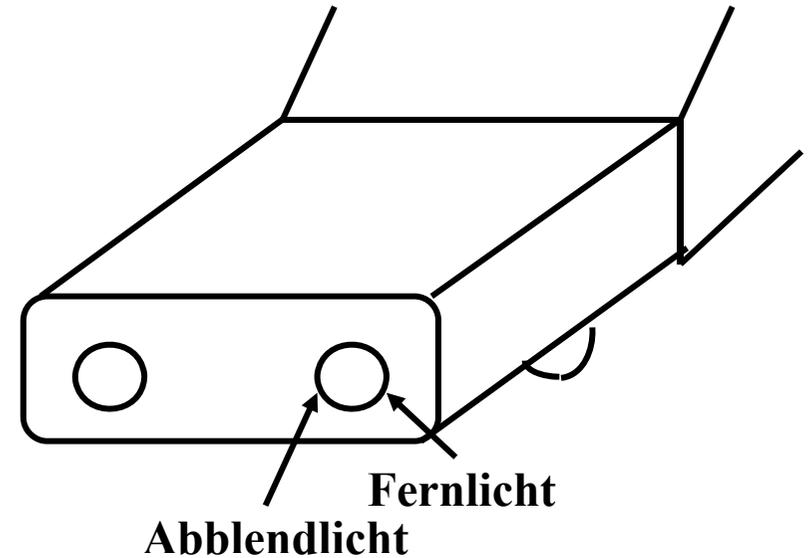
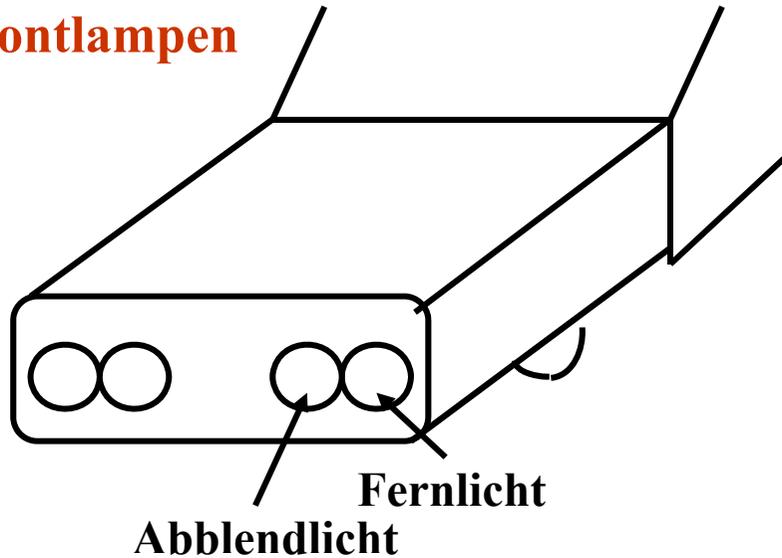
Lampentyp	Niedervolt	Hochvolt
Spannung U [V]	12	230
Leistung P [W]	20	20
Filamentlänge l [cm]	2,21	15,81
Durchmesser d [μm]	54,1	7,558

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

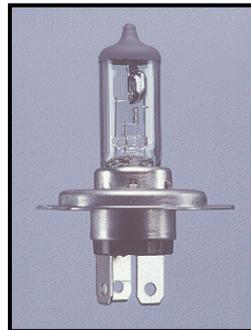


4.7 Halogenlampentypen

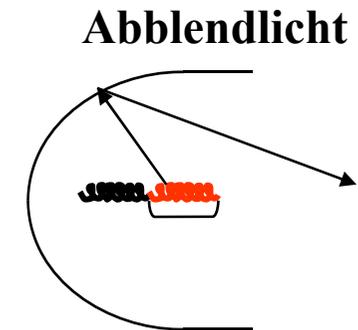
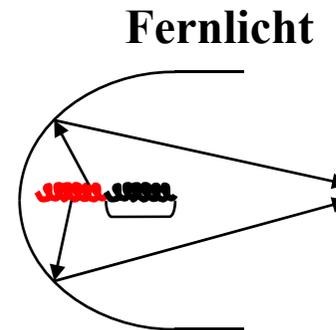
Autofrontlampen



**H7-Lampen
(1 Filament)**

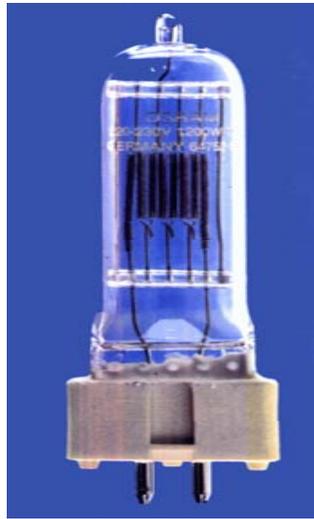


**H4-Lampen
(2 Filamente)**

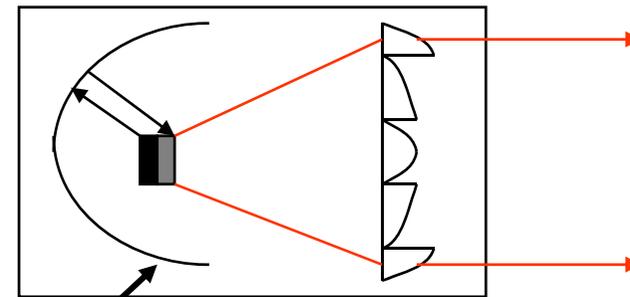


4.7 Halogenlampentypen

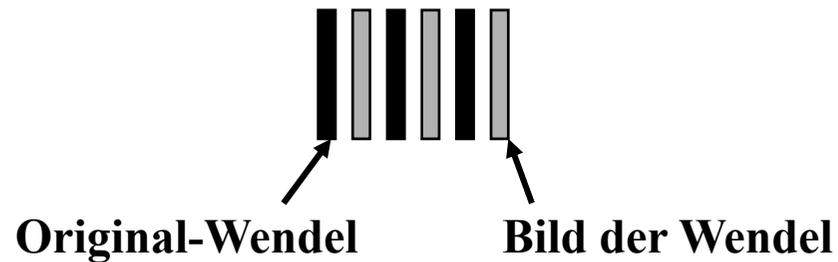
Halogenlampen SSTV Markt (Stage-Studio-TV = Bühne, Foto- und Fernsehstudio)



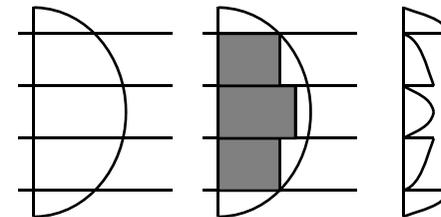
Scheinwerfer



sphärischer Spiegel
f



Fresnel-Linse



4.8 Neue Entwicklungen

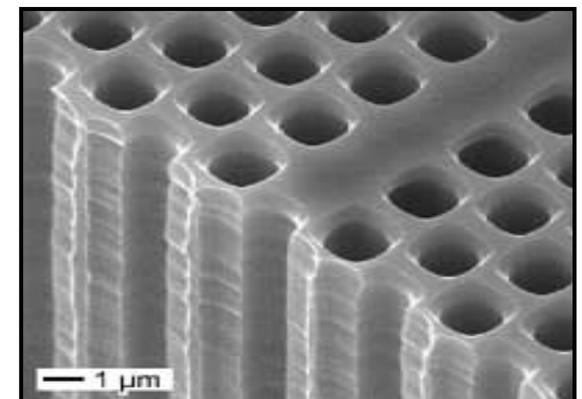
Weißer LEDs entwickeln sich zur starken Konkurrenz für Halogenleuchtampen

Lichtquelle	Lichtstrom [lm]	Effizienz [lm/W]	Helligkeit [Mcd/m ²]	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 CoAl_2O_4



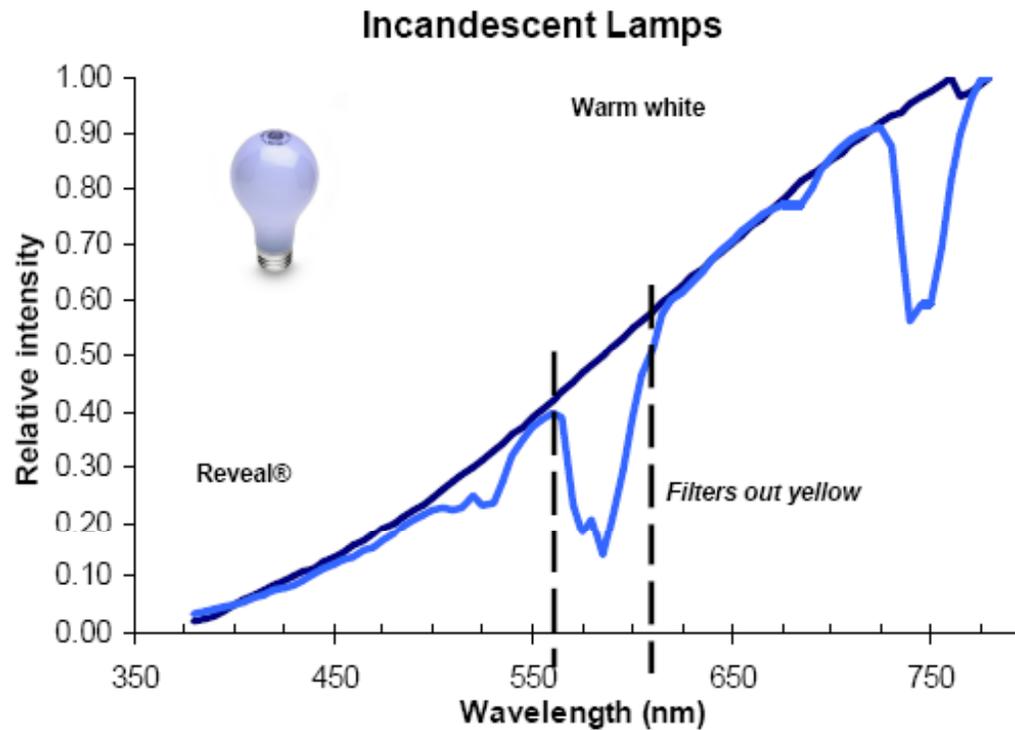
mit Fe_2O_3

4.8 Neue Entwicklungen

Spezialitäten

Dotierung des Lampenglases, z.B. mit Nd_2O_3 (GE Lighting: **Reveal®**)

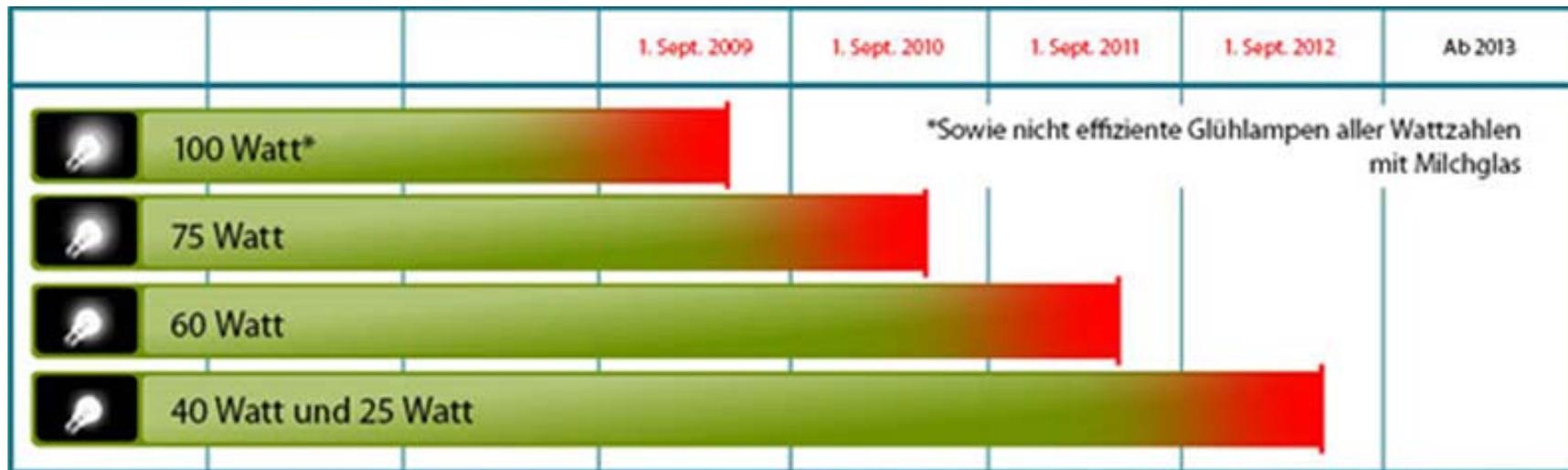
Ziel: Erhöhung der Farbtemperatur ohne Verlust der Farbwiedergabe
Verbesserung des Rot/Grün-Kontrasts



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