Wiederholung vom 24.01.2005

Erzeugung der Inversion: (Fortsetzung)

Ein Gasgemisch von He und Ne im Verhältnis $\cong 7 : 1$ wird durch Elektronenstoß angeregt. Bei diesem 4-Niveau-Laser genügt es, wenn 10^{-6} der Ne-Atome angeregt, um Inversion zu erzeugen.

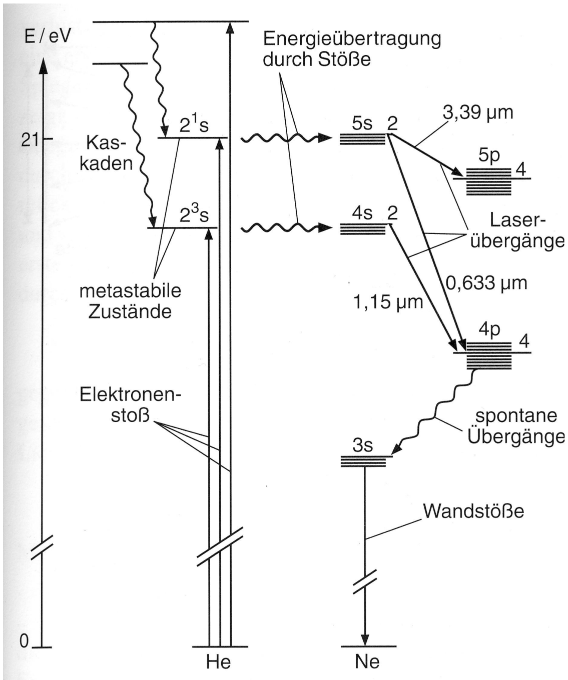

Abbildung 1: Termschema eines He-Ne-Lasers

Optische Resonatoren:

Resonatoren bestimmen wesentliche Eigenschaften eines Laser:
Stärke der Verluste
Einmodenbetrieb/Mehrmodenbetrieb
Mehrmodenbetrieb: Frequenzabstand der Moden
Divergenz des Laserstrahls

geschlossener Resonator: hat zu viele Moden in einem Frequenzinterval, um als Laserresonator zu dienen

offener Resonator: hohe Verluste für Moden mit k_x, $k_y \neq 0$
Moden keine ebenen Wellen wegen Beugungsverlusten
Berechnung der Moden: Spiegel als unendlich lange Anordnung von Blenden betrachten und diese mit Kirchhoffschen Beugungsintegral

$$A_n(x,y) = -\frac{i}{2\lambda}\int dx' \int dy' A_{n-1}(x',y')\frac{1}{\rho}e^{ik\rho}(1+\cos\vartheta) \quad (1)$$

lösen, wobei stationäre Lösung $A_n(x,y) = CA_{n-1}(x,y)$ mit $|C| < 1$ wegen Verlusten gesucht.

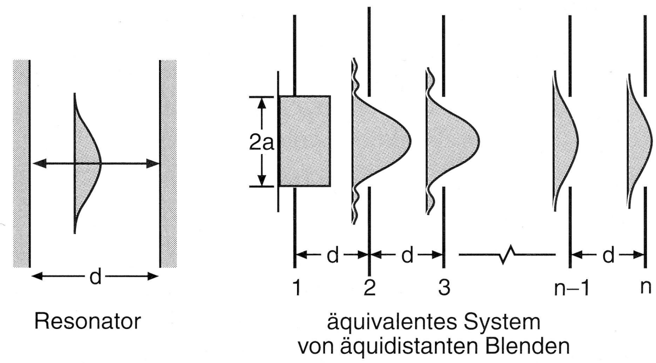

Abbildung 2: Äquivalenz von Spiegeln und Blenden

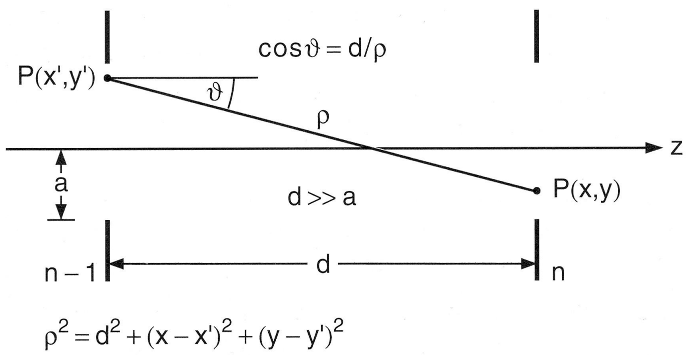

Abbildung 3: Zur Definition der Bezeichnungen im Beugungsintegral

Lösung der Integralgleichung (nur numerisch) ergeben TEM_{mn} (transversale elektromagnetische Moden). Diese sind hängen von der Form der Spiegel/Blenden ab.

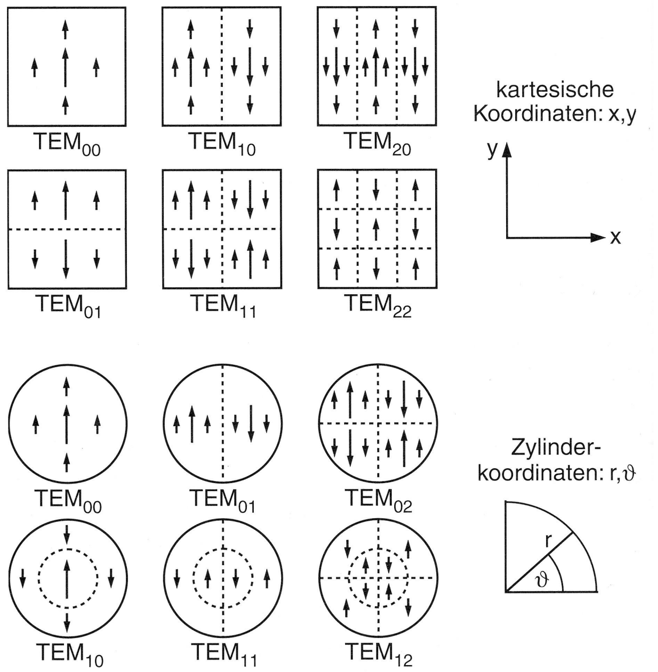

Abbildung 4: TEM_{mn} für quadratische (oben) und kreisförmige (unten) Spiegel

TEM_{00}: Fundamentalmode

Verluste:

Reflexionsverluste ergeben eine mittlere Verweildauer eines Photons im Resonator von $\tau \cong 10^{-7}\ s$.

Beugungsverluste $\gamma_B \cong \frac{\lambda d}{a^2}$ hängen von Wellenlänge λ, Resonatorlänge d und Spiegelradius a ab und ergeben für Planspiegel hohe Verluste.
Verluste werden durch fokussierende Wirkung von sphärischen Spiegeln verringert.
Höhere TEM haben größere Verluste und können durch geeignete Wahl der Resonatorparameter unterdrückt werden.

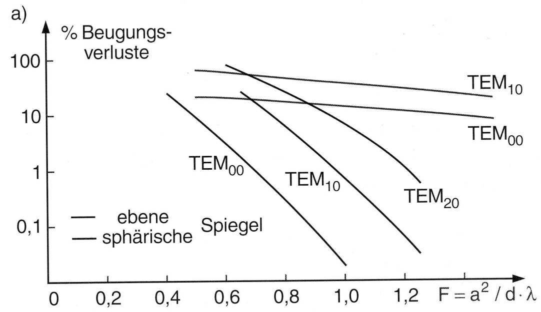

Abbildung 5: Verluste für sphärische und Planspiegel

Berücksichtigung von sphärischen Spiegeln ergibt als Lösung des Kirchhoffschen Beugungsintegrals
$A_n(x,y) = CA_{n-1}(x,y)$ mit
$C = e^{-\gamma_B/4}e^{i\varphi}$.
$\varphi = -\frac{1}{2}(m+n+1)\arccos\sqrt{g_1 g_2}$
$g_i = 1 - \frac{d}{R_i}$ (d: Resonatorlänge, R_i Spiegelradius)

φ ist Phasenverschiebung, die durch Beugung entsteht und hat Einfluss auf die Frequenzen ν_r eines Resonators:
$\nu_r = \frac{c}{2d}(q + \frac{2}{\pi}\varphi)$ und $\delta\nu_r = \frac{c}{2d}$

Planspiegelresonator: $\nu_r = \frac{c}{2d}q$
konvokaler Resonator: $\nu_r = \frac{c}{2d}(q + \frac{1}{2}(m+n+1))$

Frequenzen eines Resonantors hängen nicht nur von Länge sondern auch von Form der Spiegel ab.

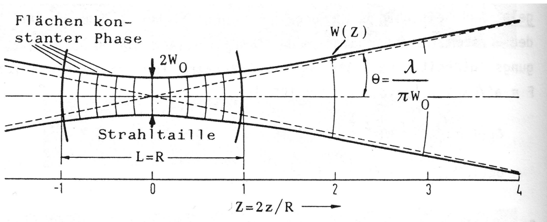

Abbildung 6: TEM_{00} Mode eines konvokalen Resonators

Einmodenbetrieb

Normalerweise ist Verstärkungsprofil breiter als Modenabstand
$\Rightarrow$ Mehrmodenbetrieb.
Einmodenbetrieb durch zusätzliches Fabry-Perot-Etalon.

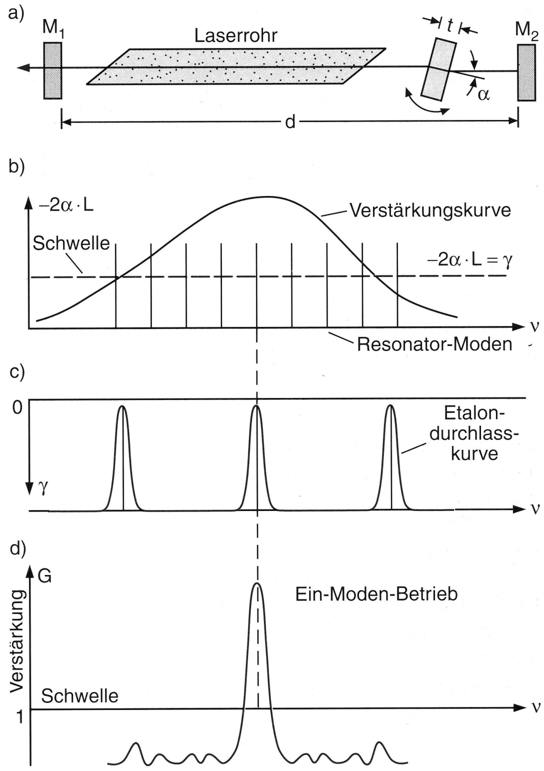

Abbildung 7: a) Experimenteller Aufbau b) Vertärkungsprofil c) Verluste durch Etalon d) Nettoverstärkung