

Photonen Statistik

Strahlungseinheit und deren Schwankungen → Photonen Statistik
unterhalb Laserschwelle

$\langle n \rangle =$ mittlere Photonanzahl in Lasermode $= \frac{1}{e^{h\nu/kT} - 1}$ Bose-Einstein Verb.

wie Planck Hohlraumstrahlung bei Temp T , wobei $T \rightarrow \infty$ bei Annäherung an Schwelle

Schwankungen: $\frac{\langle \Delta n^2 \rangle}{\langle n \rangle^2} = \frac{\langle n \rangle + 1}{\langle n \rangle}$ ($\langle \Delta n^2 \rangle = \langle n \rangle (\langle n \rangle + 1)$)

d.h. für große $\langle n \rangle$: Schwankungen \approx Mittelwert

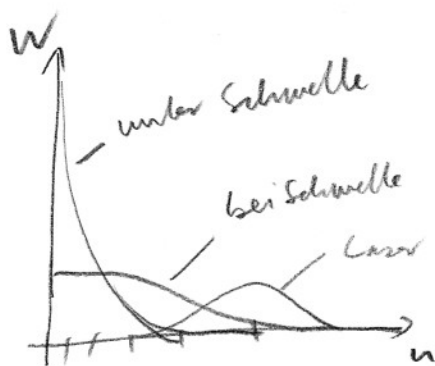
Oszillation des Lasers

Wahrscheinlichkeit W bei $\langle n \rangle$ gerade n Photonen zu finden:

$$W(n) = \frac{\langle n \rangle^n}{n!} e^{-\langle n \rangle}$$

Poisson-Verteilung

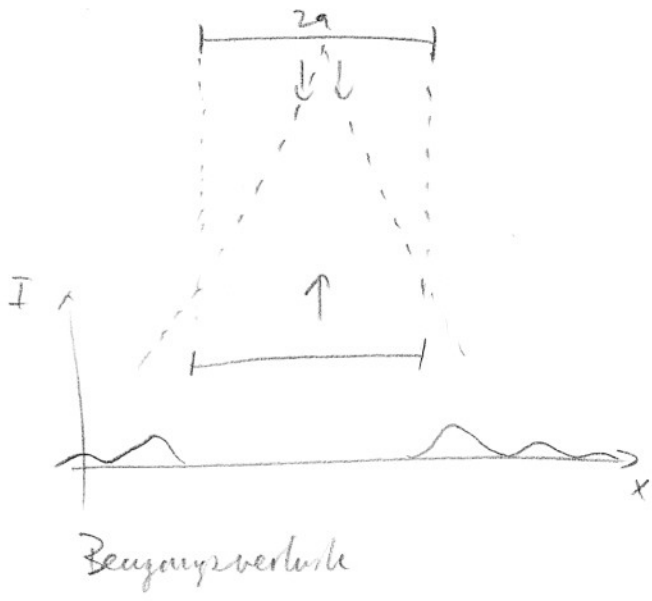
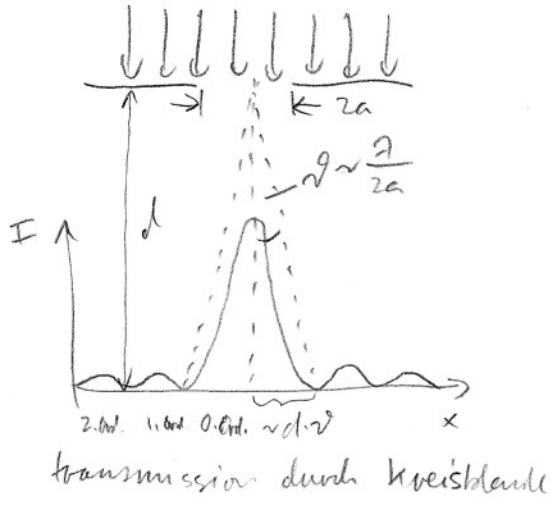
$\langle \Delta n^2 \rangle = \langle n \rangle$ or $\frac{\langle \Delta n^2 \rangle}{\langle n \rangle^2} = \frac{1}{\langle n \rangle}$



8.2.1. Offene optische Resonatoren

Beugungsverluste:

analog: Resonator



Um gesamte 0. Ordnung Beugungspore zu reflektieren: $d \cdot \vartheta \gtrsim a$

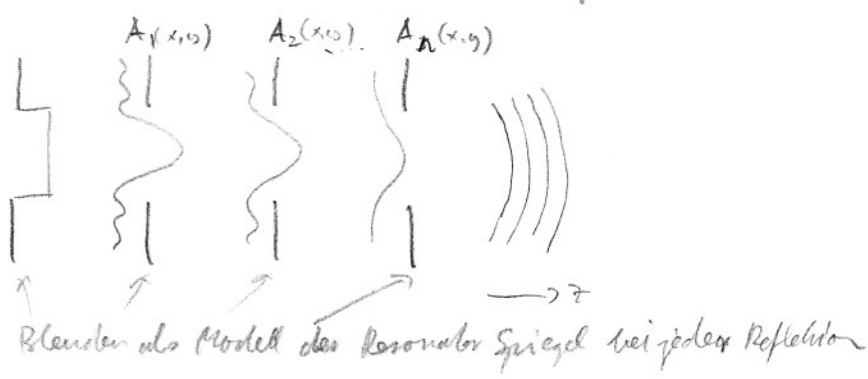
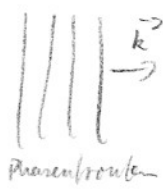
Mauborn zeigen, dass Verluste ca. $\gamma \sim 1/N$ sind $\frac{d\gamma}{2a} \rightarrow \frac{a^2}{\lambda d} \gtrsim 1$

($I = I_0 e^{-\gamma}$)

N
Fresnelzahl

Moden des offenen Resonators

Ebene Welle

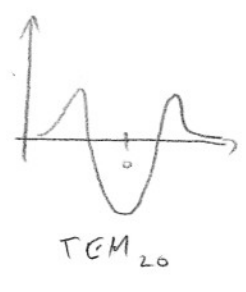
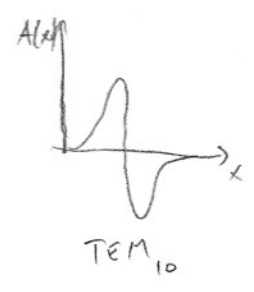
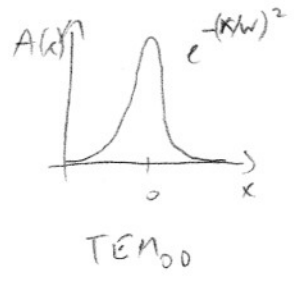


$A(x,y)$: Amplitudenverteilung in x,y Ebene $\perp z$ Ausbreitungsrichtung

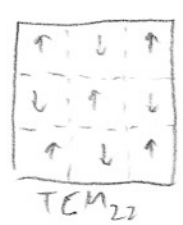
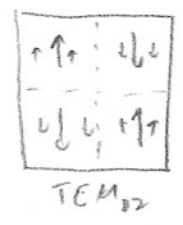
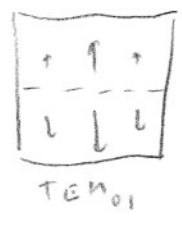
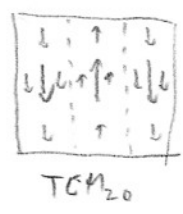
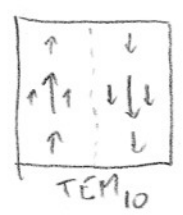
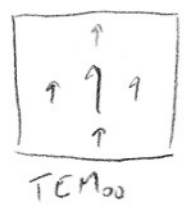
stationärer Zustand: $A_n(x,y) = C \cdot A_{n-1}(x,y)$ $|C| < 1$, unabh von x,y

Man kann $A(x,y)$ im stationären Zustand beschreiben (Kirchhoff'sche Beugungstheorie)

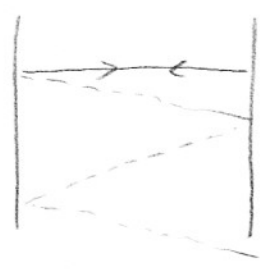
\rightarrow Lösungen für A , verschiedene Moden: transversal-elektromagnetische Moden TEM_{nmq}
 in z -Richtung durch die Anzahl Knoten n,m in x,y Richtung und q in z -Richtung



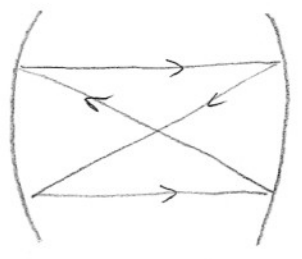
$$q = \frac{d}{\lambda/2} \gg 1$$



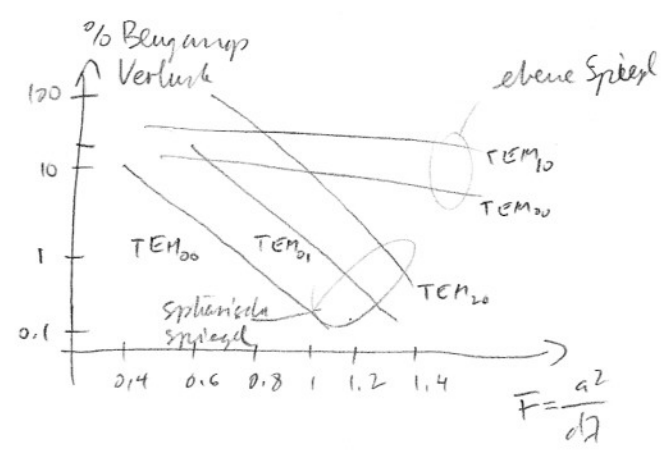
ebene vs. sphärische Spiegel



ebene Spiegel
instabil



$r_1 = r_2 = d$
konfokaler Resonator
stabil



Frequenzspektrum

$$\nu_r \sim \frac{c}{2d} \left\{ q + \frac{1}{2}(m+n+1) \right\}$$

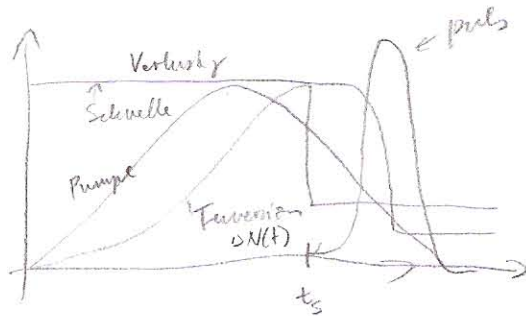
vgl. mit $\nu_r = q \frac{c}{2d}$

Qüteschaltung

Qüte eines Resonators: $Q = \omega \frac{W_k}{dW_k/dt} = \frac{\text{gesp. Energie im Resonator}}{\text{Energieverlust pro Schwingungsperiode}}$

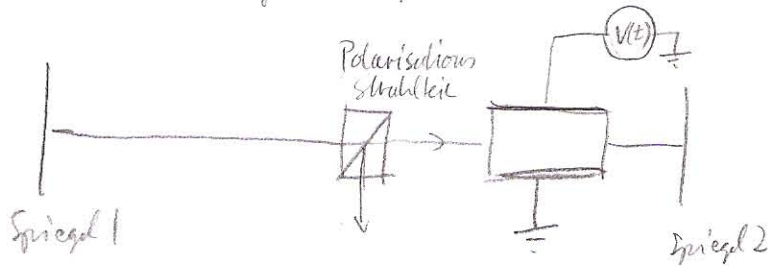
$Q = \frac{\omega}{\gamma_k} \cdot T_R = \frac{\omega}{\Delta\omega}$ $T_R = \text{Umlaufzeit} = \frac{2l}{c}$
 $\gamma_k = \text{Gesamtverluste pro Umlauf}$

Qüteschaltung: $\gamma_k = \gamma_k(t)$



Realisationen:

- a) Folienartiger Spiegel
- b) elektrooptischer Kristall \rightarrow schneller Qüteschalter
 \hookrightarrow Pockelzelle: Spannungsabhängige Polarisationsdrehung



$t < t_s$: Auskopplung \rightarrow Schwelle nicht erreicht

\rightarrow Puls bei $\approx t_s$

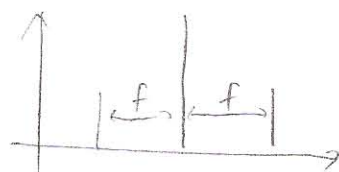
Modenkopplung: aktiv

optischer Modulator: moduliert Verluste / Transmittanz z.B. Akustisch-Optischer Modulator
 Beugung unterschiedlicher ordnung (AOM) wellen

$I = I_0 (1 + a \cos(2\pi f t)) \cos^2(2\pi \nu t)$
 \uparrow Modulationsfrequenz \uparrow Licht

\rightarrow Seitenbänder $\nu_0 \pm f$

wähle $f = \Delta\nu = \frac{c}{2d}$ = Modenabstand



$\rightarrow N = \frac{\Delta \nu}{\delta \nu}$ Moden gekoppelt \rightarrow Phasen gekoppelt
 (alle Amplituden aller Moden $\delta \nu$ maximal genau wenn Transmission Modulator maximal)

Laseremission: $A = \sum_{q=-m}^{+m} A_q \cos(2\pi(\nu_0 + qf)t)$
 mit $N = 2m + 1$

falls $A_q = A_0 \forall q \rightarrow I \propto |A|^2 = A_0^2 \frac{\sin^2(\pi N f t)}{\sin^2(\pi f t)} \cos^2(2\pi \nu_0 t)$

dir. Lichtwelle mit Freq. ν_0 moduliert mit periodischer Folge von Pulsen
 in zeitlichen Abstand $T = \frac{1}{f} = \frac{2d}{c}$ (ein Puls pro Umlauf)

mit Pulsbreite $\Delta \tau = \frac{1}{N \cdot f} = \frac{1}{\Delta \nu}$

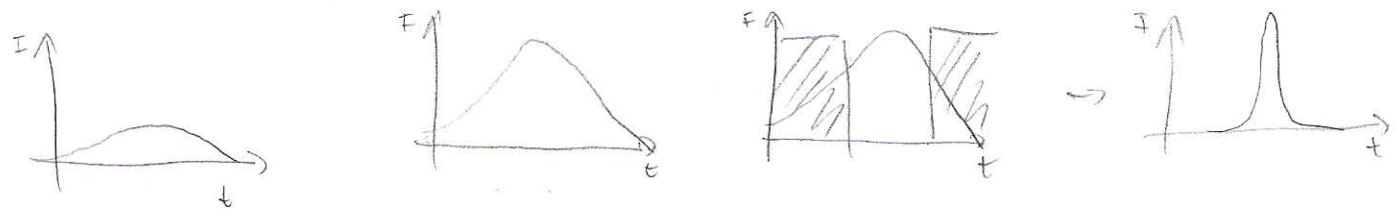
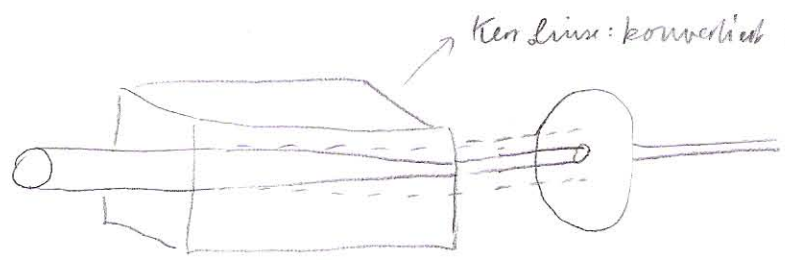
$\rightarrow \sim$ ps Pulse möglich.

Modenkopplung: passiv

Kerr-Linsen-Modenkopplung

Kerr-Effekt: $n = n_1 + n_2(I)$

Intensitätsabh. Brechungsindex
 \downarrow
 Linse



nichtlinearen Effekt, koppelt Moden im Frequenzbereich \rightarrow kurze Pulse \sim fs
 (Dispersionkompensation Spiegel / Prismen etc)