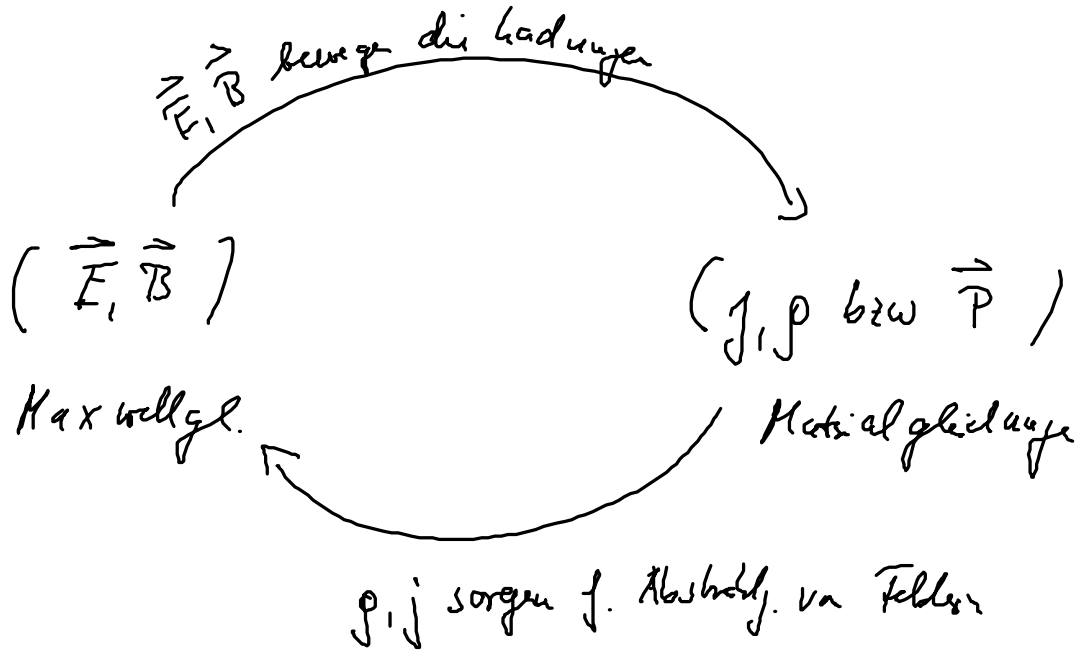


Zusammenfassung des VL



Ziel ist die Beschreibg. dieser Dynamik durch Selbstkonsistente Lösgg. von Dichteanahmgldg. und Wellengldgung f. langsame Amplitude \vec{E}

a) Welle im Vakuum

o aus ED was Dipol bekannt: $\vec{E}(\vec{r}, t) = E_0 k^2 d_0 \sin t \frac{e^{+i(kr - \omega t)}}{kr} \vec{e}_\vartheta$ t.c.c.

$k = \frac{\omega}{c}$

Kugelwelle

- Gaußscher Strahl: $\square \vec{E} = 0$ in paraxialer Approximation
 (z: Ausbreitungsrichtung,
 x, y: langsam Veränderung)
 $\ll \lambda$

$$\left(\partial_z + \frac{1}{c} \partial_t + \frac{1}{2ik_z} \Delta_{\perp} \right) \tilde{E}(z, \vec{r}_{\perp}, t) = 0$$

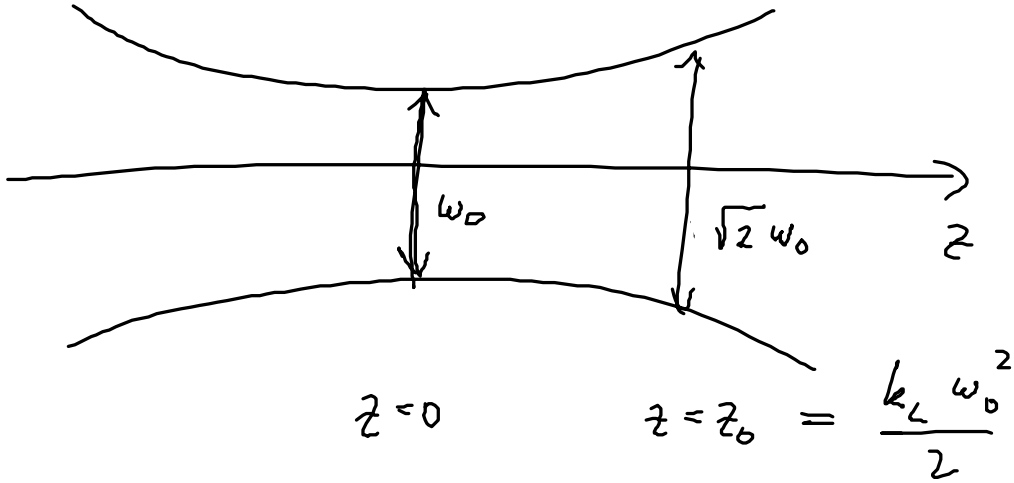
beschreibt Felder die sich entlang z ausbreiten

mit $e^{ik_z z}$ - Ansatz

lin. feldh. Log. von Gaußstrahl $\zeta = z$

$$|\tilde{E}|^2 = \frac{|\tilde{E}_0|^2}{1 + (\zeta/z_0)^2} e^{-\frac{2r_4^2}{\omega_0^2 (1 + \zeta^2/z_0^2)}}$$

bzgl. r_4 findet Aufweitung
 mit zunehmendem $z = \zeta > 0$ statt



wird also linear fortgeführt bis z_0 .
dann kann Skala bestimmt werden

b) Beschreibung des Materie

• Einteilung des Stroms j in Maxwellgl. auftritt in Raum



Quelle $\gg \vec{A}$ (atomar Abstand)
 $< \lambda$ (500nm)

$$\vec{j} = \vec{j}_m + \dot{\vec{p}}$$

\uparrow \uparrow

Maxwell'sche Strom
zwischen der Zelle

Dipolstärke

$$\vec{P} = q \vec{r}_{el}(t) \delta(\vec{r} - \vec{R}_{el})$$

$$\vec{j}_m = q \dot{\vec{R}}_{el}(t) \delta(\vec{r} - \vec{R}_{el}(t))$$

Quantisierung

Dipolstärke:

$$H = H_0 + H_{mw}$$

↑
atomarer
Hamiltonian
(H-Atom)

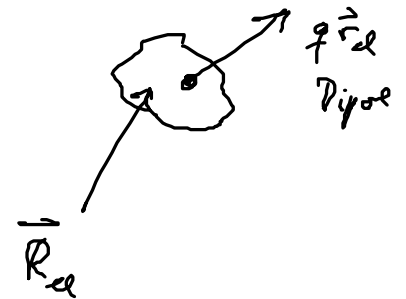
↑
WW der Elektronen
und Licht

$$H_{mw} = -q \vec{r}_{el}(t) \cdot \vec{E}(\vec{r}_{el}, t)$$

beobachtbare Größe:

$$\langle \vec{P} \rangle_{qm} = \langle \psi(\vec{r}_{el}, t) | q \vec{r}_{el} | \psi(\vec{r}_{el}, t) \rangle \delta(\vec{r} - \vec{R}_{el})$$

Erwartungswert der Dipolstärke,
weil das in die Maxwellgl. eingeht



$$\langle P \rangle = \int \underline{\underline{P}}(\vec{r}, t)$$

brauche dazu:

$$|\psi(\vec{r}, t)\rangle = ? \quad \text{it } \partial_t |\psi\rangle = H |\psi\rangle$$

$$\text{Ansatz: } \sum_n c_n(t) |u\rangle = |\psi\rangle$$

$$H_0 |u\rangle = \epsilon_u |u\rangle$$

$$\vec{P} = \sum_{l,m} \vec{d}_{lm} \underbrace{p_{em}(t)}_{\text{Dichtematrix } \underbrace{c_e^*(t) c_m(t)}_{p_{em}}}} \delta(\vec{r} - \vec{R}_{el})$$

bestimmt durch Dichtematrix

$$\dot{p}_{em} = i(\omega_e - \omega_m) p_{em} - i \sum_n (\Omega_{en}^* p_{nm} - \Omega_{mn} p_{en})$$

+ Phase relaxation $(-p_{em} p_{em})$

+ Energie relaxation $-\Gamma_n (p_{en} - p_{en}^0)$

o linear Optik: $\vec{P}(\vec{r}, \omega) = \epsilon_0 \chi(\omega, \vec{r}) \vec{E}(\vec{r}, \omega)$

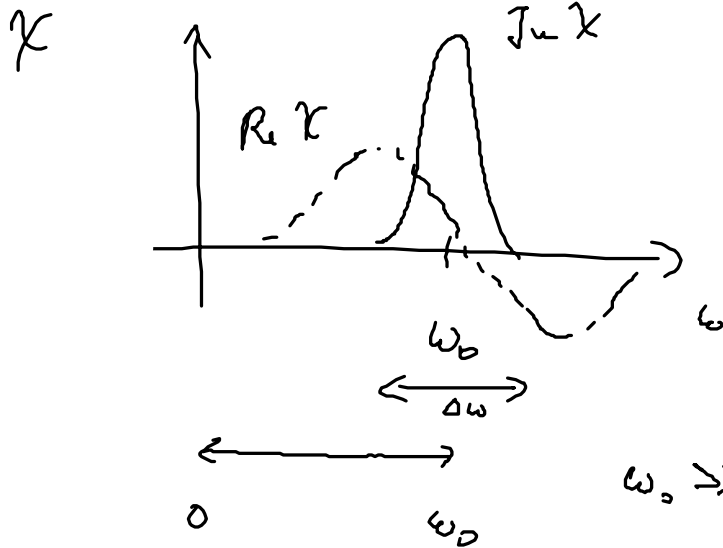
Dichte v. ZNS

Suszeptibilität

$$\chi(\omega, \tau) = \frac{(|d_{12}|^2 u_0 \hat{\tau})}{\hbar \epsilon_0} \frac{(\rho_{11} - \rho_{22})}{\rho_{11}^2 + (\omega - \omega_0)^2} \frac{i \rho_{12} - (\omega - \omega_0)}{\rho_{11}^2 + (\omega - \omega_0)^2}$$

Zwei Niveaus Dipolmoment Besetzung $\omega_0 = \omega_2 - \omega_1$

stellt Vorzeichen an
(Absorption / Gain)



$\omega_0 \gg \Delta\omega$ RWA

c) Nichtlineare Antwort

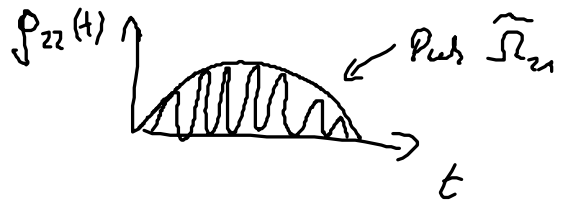
Resonanzprozesse: $\begin{array}{c} \text{---} 2 \\ \uparrow \omega_L \\ \text{---} 1 \end{array}$

Zwei Niveausystem:

$$\begin{cases} \partial_t \tilde{\rho}_{11} = i \tilde{S}_{12} \tilde{\rho}_{11} - \frac{i}{2} \tilde{S}_{21} (\rho_{22} - \rho_{11}) \tilde{\rho}_{12} \\ + \text{analog Besetzung } \rho_{ii} \end{cases}$$

für zwei Niveausystem 3 Lösungen:

(i) $\tilde{\Omega} \gg \Gamma_{ij} \Rightarrow$ Rabi-Oszillation



Umgebung

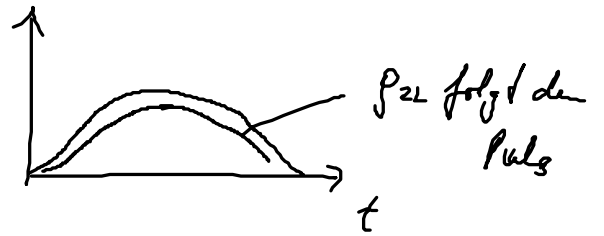
(ii) $\gamma > \tilde{\Omega} \Rightarrow \uparrow$

Phase zerstört,
kein Oszillat.



(iii) $\gamma, \uparrow \gg \tilde{\Omega}$

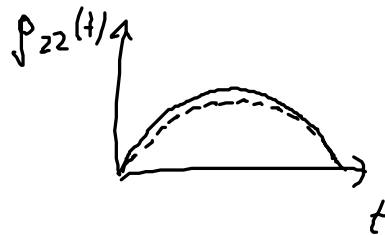
Stationär lag.,
vom Feld verstreut



• Nahe resonanz $\omega_c \approx \omega_1 \Rightarrow \delta_{11} \Rightarrow \Omega$


ergibt Kerr nichtlinearität

$$P_{12} \approx |\tilde{E}|^2 \tilde{E} \quad (|\tilde{\Omega}|^2 \tilde{\Omega})$$

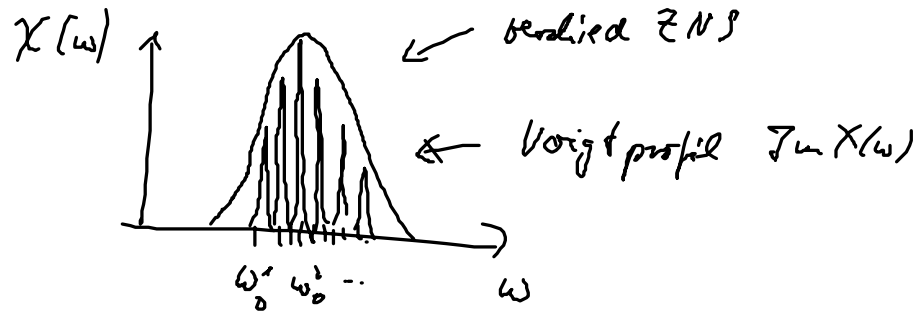


Unterschied:

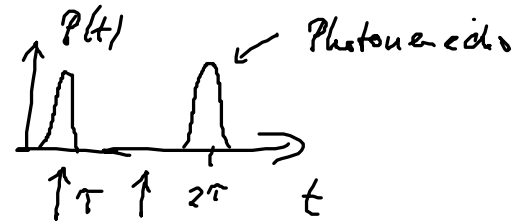
- $P_{12} \rightarrow$ Resonanz: imaginär \Rightarrow Absorption
- $P_{12} \rightarrow$ Nichtres.: reell \Rightarrow Brechzahlverf. etc.

3 Niveausystem \rightarrow Quanteninterferenz  λ^4 -System
 langsames Licht ($\frac{c}{5}$)
 verschwindende Absorption

Vielniveausystem: Ansammlung v. ZNS mit verschieden Übergangsenge



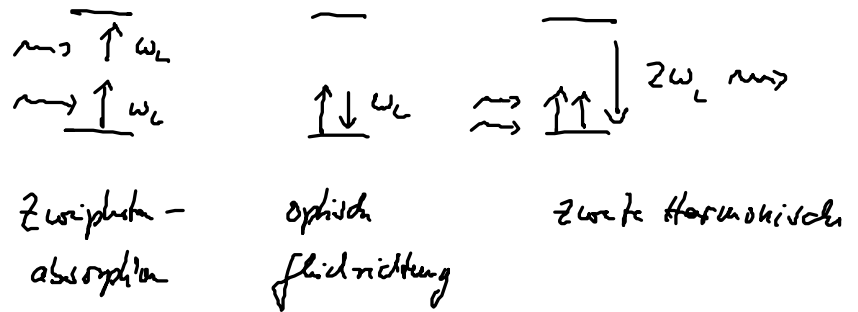
Möglichkeit Photorecho:



1. Puls 2. Puls

\downarrow \rightarrow sorgt f. Kohärenz Zerstörung
 Zerstörung $P \rightarrow 0$

Nichtresonanzprozesse:



Emission: $j_{12}(t) \sim |\tilde{\Omega}_{12}(t)|^2$ Frequenz $\rightarrow 0$

optisch fließrichtg.

$$p_{12}(t) \sim \left| \tilde{\Omega}_{12}(t) \right|^2 \cos(2\omega_L t) \quad \text{Frequenz } \underline{\underline{2\omega_L}}$$

Zweite Harmonische \uparrow

$$\text{Ferielfeld } |\vec{E}|^2 \approx \left| \partial_t^2 p_{12} \right|^2$$

Absorption: $\partial_z I = -\alpha I$ linear \Rightarrow Lambert Beer

$I \approx |\vec{E}|^2$ $\partial_z I = -\beta I^2$ Zweiphotonabsorption \Rightarrow Potenzgesetz

o ponderomotorische Kraft wirkt auf freie Elektronen nach dem Prinzip der optischen Gleichrichtung $F \sim -\nabla \underbrace{|\vec{E}|^2}_{\text{Potentie}}$



d) Lichtausbreitung in Materie

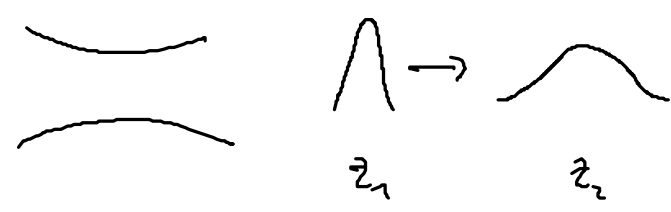
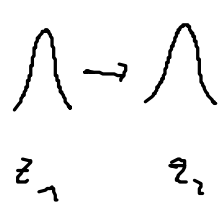
$$\left(\partial_z + \frac{\Delta n}{2ik_L} + \frac{i}{2} k_L'' \partial_y^2 \right) \overline{E}(r_{nl}, z, y) = \frac{ik_L}{2n_L^2 \epsilon_0} \widehat{P}(r_{nl}, z, y)$$

↑
Ausbreitung
mit Lichtgeschw.
im Medium

↑
Beugung

↑
Gruppen-
geschw.
dispersion

↑
starke Kontraktion durch
resonante Materiale



Dispersionseffekt

↔
kann kompensiert
werden

Kerr NL
 $|\overline{E}|^2 \overline{E} \sim \widehat{P}$

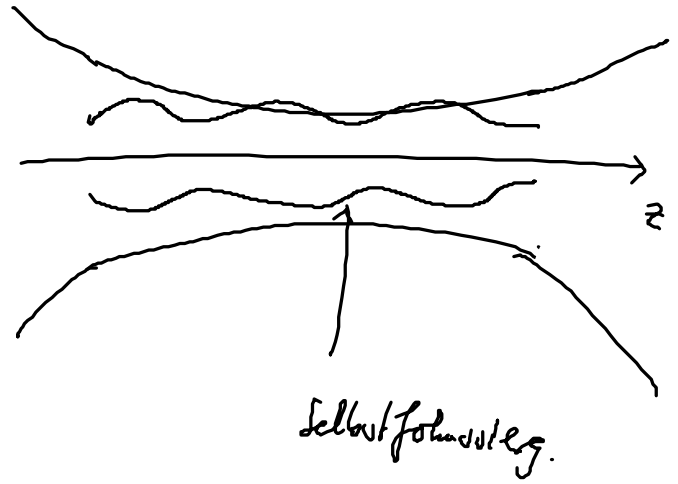
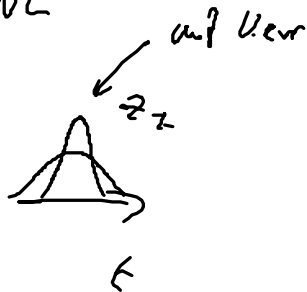
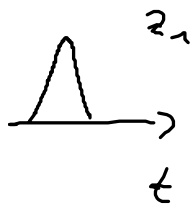
Faser

Solitonen entstehen durch
Kompensation von Gruppe-
geschwindigkeit k_L'' dispersion

Selbstfokussierung

entsteht durch Kompensation
von Beugung und Kerr NL

und Kern NL



$$\tilde{n} \approx \text{sech} \left(\gamma \frac{z - z_0}{\tau} \right)$$

V : feldverdrängung

τ : Dauer d. Soliton

o 2π Soliton entsteht bei resonanter Ausbreitung in ZNS
 hat auch die sech - Form

e) gekoppeltes strahlendes System

die gemeinsame (kooperative) Emission von N ZNS

die innerhalb λ lokalisiert sind strahlt phasen gleich :

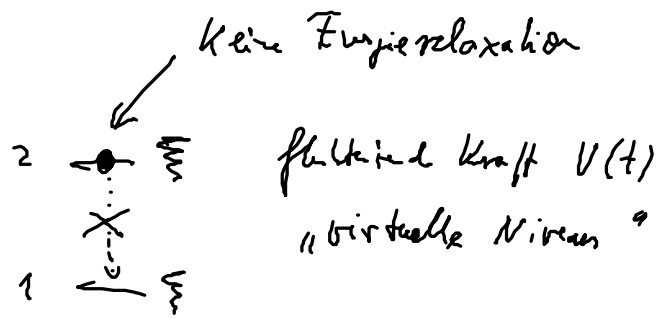
$$\boxed{I \approx N^2 e^{-2N\gamma_{12} t}}$$

N mal so schnell
 und N^2 mal so stark

abgeschaltete Intensität

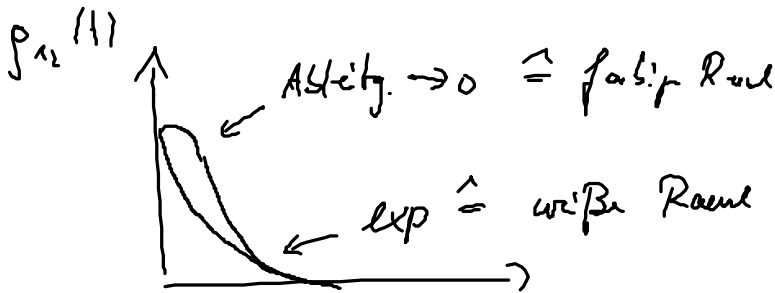
f) Relaxationprozesse

(i) reine Phase relaxation
(pure Dephasing)



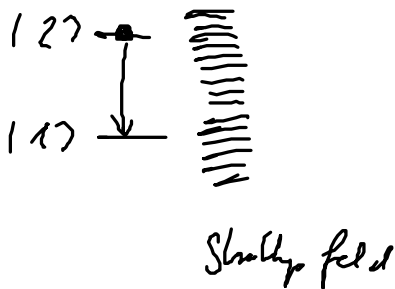
Überlegung führt zu P-Zepter

$$\rho_{12}(t) = \rho_{12}(0) e^{-\frac{1}{2} \int_0^t dt_1 \int_0^t dt_2 \underbrace{\langle V(t_1) V(t_2) \rangle}_{\text{Zeitkorrelation}}}$$



Mittl. \downarrow
Zeitkorrelation
 $\swarrow \searrow$
weißer Raum farbig Raum

o Bsp. f. simultanen Phasen- und Energie relaxation



über quantisiertes Strahlungsfeld

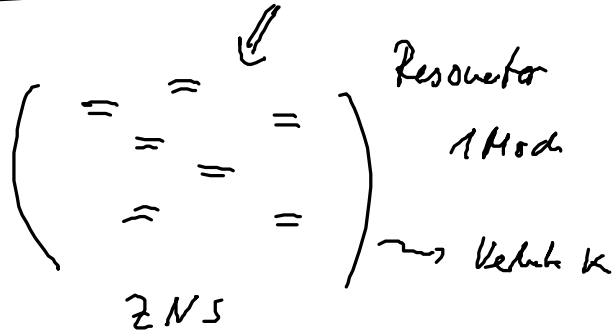
$$2\gamma_{12} = \Gamma = \frac{\omega_0^3 |d_{12}|^2}{3\pi c^3 \epsilon_0 \hbar}$$

Photonenzustandsdichte, bestimmt die
Zeit mit denen der Elektron
von $|2\rangle$ und $|1\rangle$ geht

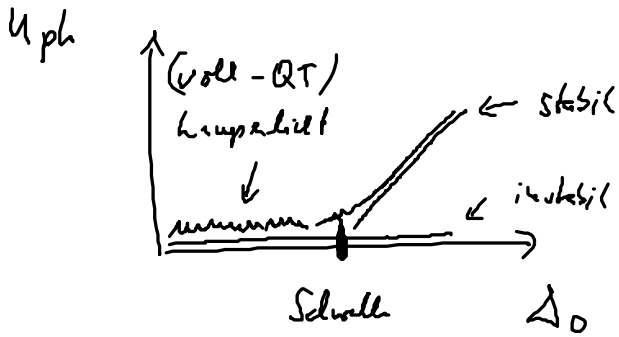
Veränderung v. Γ durch dielektrische Umgebung "Purcell-Effekt"

g / Laseremission

Δ_0 Pumpe (extern) sorgt für $\Delta_0 < 0$



κ_{copy}
 $\omega = \frac{2g^2}{\mu}$



aus Rategleichungen

$$n_{\text{ph}} \left(2\kappa + \frac{\Gamma\omega}{\Gamma + 2n_{\text{ph}}\omega} \right) = 0$$

Verlust

Photon Statistik

HBT - Exp.

$$g^{(2)} = \frac{\langle I_1(t) I_2(t+\tau) \rangle}{\langle I_1(t) \rangle \langle I_2(t+\tau) \rangle}$$

- $g^{(2)}_{T=0} = \begin{cases} 1 & \text{Laser} \\ 2 & \text{Lampe Licht} \\ < 1 & \text{unkorrel. Licht} \end{cases}$
- Vollständig korreliert zu Licht