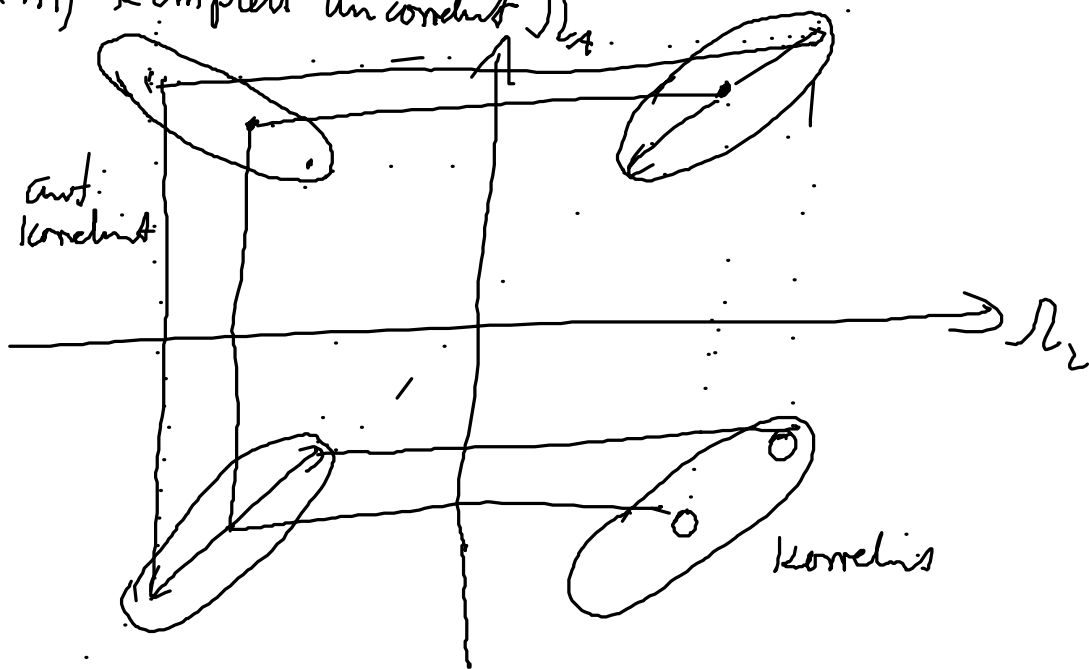


# Photon echo (2D) + inhomogene Verbreiterung

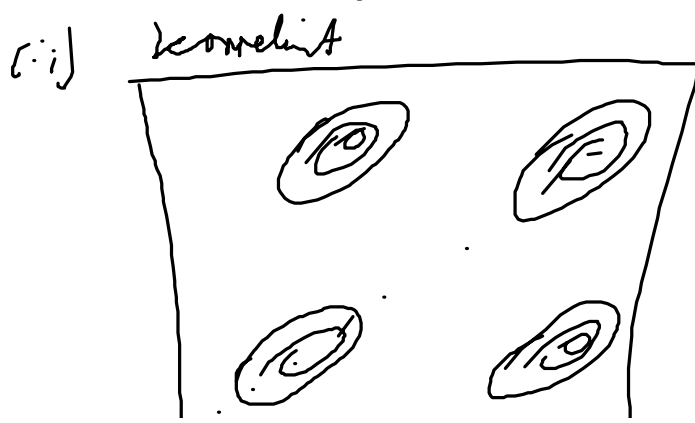
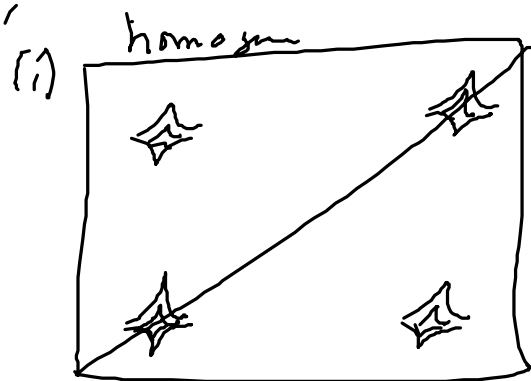
Aus Form der Peaks über inhomogene Verbreiterung + Korrelation.

Fluktuation der Übergangsfrequenz:

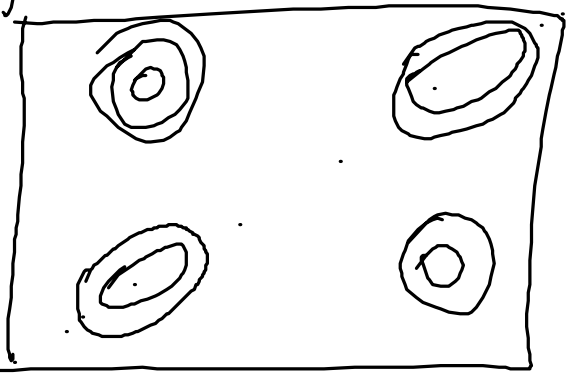
- (i)  $\delta\omega_1 = \delta\omega_2$  positiv korreliert
- (ii)  $\delta\omega_1 = -\delta\omega_2$  negativ korreliert
- (iii) komplett unkorreliert  $\Omega_{cl}$



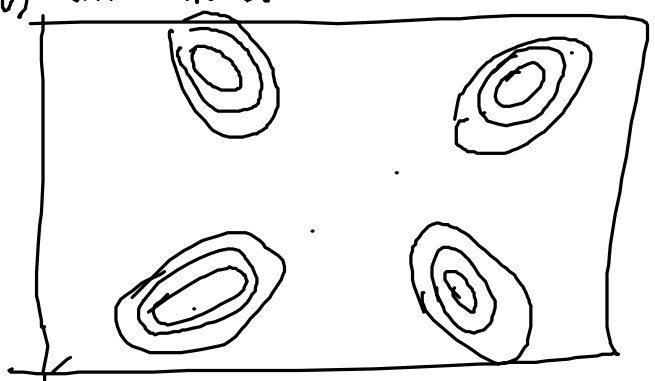
Unterschiede nur bei nicht diagonalen Peaks



(iii) unkorreliert



(iv) antikorreliert

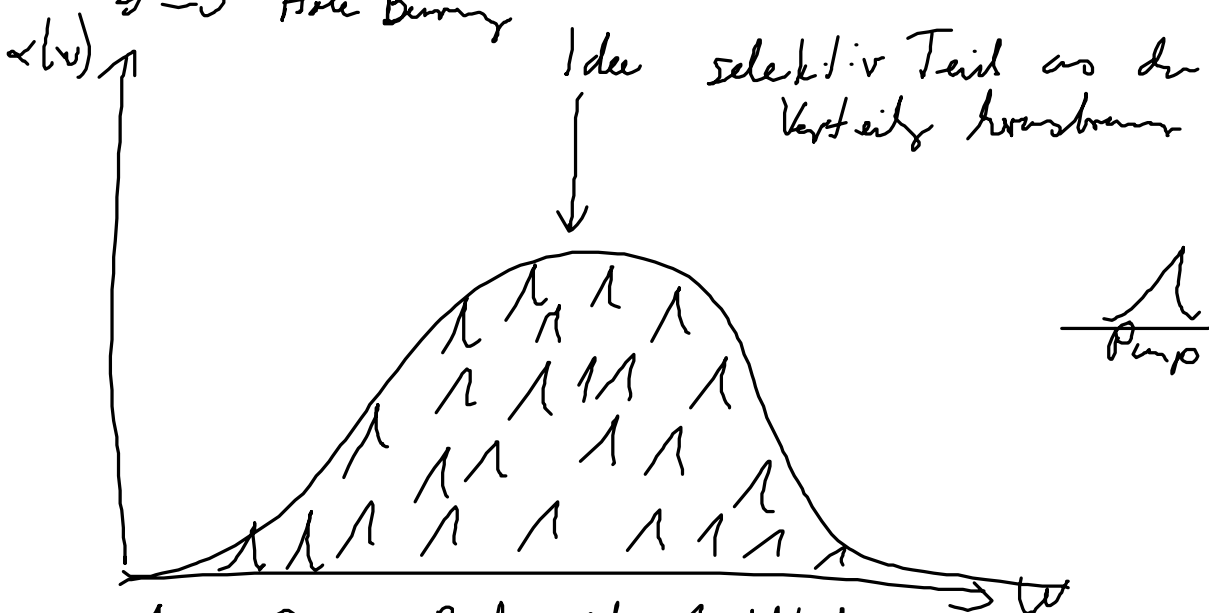


### IV.4 Hole-Burning Spektroskopie

Problem inhomogener Verteilung.

1) 2-f. Photonen

2) => Hole Burning



Also Pump-Probe mit Modifikation

Pump Probe Response (wie IV.2 Vierwellenmisch)

$$tr(\dots) = -4 \frac{1}{\hbar^3} \int_0^\infty dt_3 \int_0^\infty dt_2 \int_0^\infty dt_1 E_{pr}^x(t-t_3) \cdot d_{z1} E_{pu}(t-t_3-t_2) \cdot d_{z2} \\ d_{z1} E_{pu}(t-t_3-t_2-t_1) e^{i\omega_3 t_3 - n t_2} e^{-i\omega_3 t_1 - n t_1}$$

$$+ \frac{4}{\hbar^3} \int_0^\infty dt_3 \int_0^\infty dt_2 \int_0^\infty dt_1 E_{pr}^*(t-t_3) \cdot d_{z2} E_{pu}(t-t_3-t_2) \cdot d_{z1} \\ E_{pu}(t-t_3-t_2-t_1) \cdot d_{z2} e^{i\omega_3 t_3 - 2n t_2} e^{i\omega_3 t_1 - n t_1}$$

$$E_{pu}(r, t) = \hat{E}_{pu}(t+\tau) e^{i k_3 \cdot r - i \omega_3 t}$$

$$E_{pr}(r, t) = \hat{E}_{pr}(t) e^{i k_2 \cdot r - i \omega_2 t}$$

$$tr(\dots)(k_3) = -4 \frac{1}{\hbar^3} \int_0^\infty dt_3 \int_0^\infty dt_2 \int_0^\infty dt_1 \hat{E}_{pr}^x(t-t_3) \cdot d_{z2} \hat{E}_{pu}(t-t_3-t_2+\tau) \cdot d_{z1} \\ d_{z1} \cdot \hat{E}_{pu}(t-t_3-t_2-t_1+\tau) e^{i\omega_3 t_3 - 2n t_2} e^{-i\omega_3 t_1 - n t_1} e^{i\omega_2 t_3} e^{i\omega_1 t_1}$$

$$+ \frac{4}{\hbar^3} \int_0^\infty dt_3 \int_0^\infty dt_2 \int_0^\infty dt_1 \hat{E}_{pr}^x(t-t_3) \cdot d_{z1} \hat{E}_{pu}(t-t_3-t_2+\tau) \cdot d_{z2} \\ d_{z1} \hat{E}_{pu}(t-t_3-t_2-t_1+\tau) e^{i\omega_3 t_3 - 2n t_2}$$

$$e^{i\omega_1 t_1 - \gamma t_1} \quad e^{i\omega_2 t_3} \quad e^{-i\omega_1 t_1}$$

1) Pulse sollen lang im Vergleich zu inhomogen und homogener Linienbreite sein, so dass die Komplexe selektiert werden können

2) Pulse sollen kurz im Vergleich zu den Relaxation sein (insbesondere muß inhomogene Verbreiterung stark sein)

Einwirkung daher  $\delta$ -artig

$$\begin{aligned}
 t - t_3 = 0 & \longrightarrow T = t_2 \\
 t - t_3 - t_2 + T = 0 & \longrightarrow T = t_2 \\
 t - t_3 - \cancel{t_2} + t_1 + T = 0 & \longrightarrow T = t_3
 \end{aligned}$$

Heterodyne Detektion, wobei Probedfeld als Oszillator genutzt wird.

$$\begin{aligned}
 \int_{AB} (\omega_1, \omega_2, T) = 2\omega_2 \operatorname{Re} & \left( \int_0^\infty dt_1 \int_0^\infty dt_3 e^{(i\omega_2 - \gamma)t_3} e^{-\lambda \gamma T} e^{-i\omega_2 t_1 - \gamma t_1} e^{i\omega_1 t_1} \right. \\
 & \left. + \int_0^\infty dt_3 \int_0^\infty dt_1 e^{-i\omega_2 - \gamma t_3} e^{-\lambda \gamma T} e^{i\omega_1 t_1 - \gamma t_1} e^{i\omega_2 t_3} e^{-i\omega_1 t_1} \right)
 \end{aligned}$$

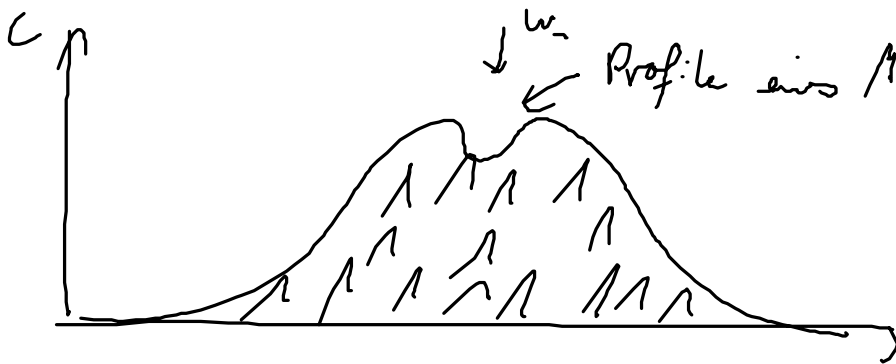
Ein System  $\implies$  Viele Systeme

$$\begin{aligned}
 \int_{AB} (\omega_1, \omega_2, T) = 2\omega_2 \operatorname{Re} & \left( \int_0^\infty dt_1 \int_0^\infty dt_3 e^{(i\omega_2 - \gamma)t_3} e^{-\lambda \gamma T} e^{-i\omega_2 t_1 - \gamma t_1} \right. \\
 & \left. e^{i\omega_2 t_3 + i\omega_2 t_1} \mathcal{K}(t_1 + t_3) \right. \\
 & \left. + \int_0^\infty dt_3 \int_0^\infty dt_1 e^{(i\omega_2 - \gamma)t_3} e^{-\lambda \gamma T} e^{i\omega_1 t_1 - \gamma t_1} \right)
 \end{aligned}$$

Starke inhomogene Verbreiterung  $\Rightarrow$   $\chi(t_1 - t_3) = \delta(t_1 - t_3)$   
 $\chi(t_1 + t_3) = \delta(t_1 + t_3)$

$$S_{HB}(\omega_1, \omega_2, \tau) = 2\omega_2 \operatorname{Re} \left( \int_0^\infty e^{-2n\tau} e^{i(\omega_2 - \omega_1)t_1} dt_1 \right)$$

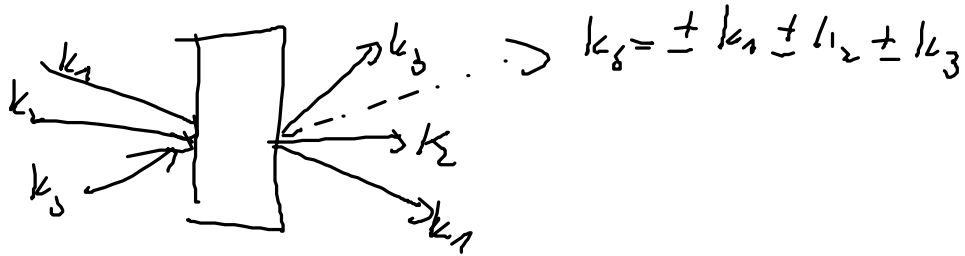
$\begin{matrix} e & e & e \\ \uparrow & \uparrow & \uparrow \\ \text{Relaxation} & \text{Dephasing} & \end{matrix}$



$$\frac{2n}{(\omega_1 - \omega_2)^2 + 4n^2}$$

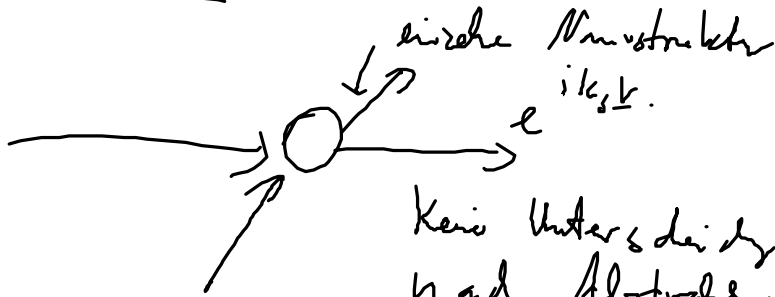
IV.5 Vierwellmischen ohne räumliche Separation

Normales Vierwellmischen



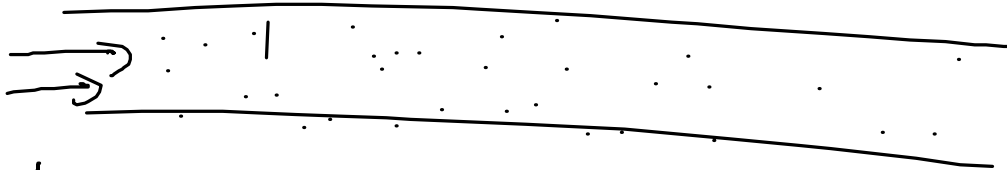
- System homogen in Probe verteilt
- Felder hängen räumlich abh. von Phasenfaktor  $e^{i\mathbf{k}_s \cdot \mathbf{r}}$   
macht die Selektion möglich - Probe größer als Vielfaches der Wellenlänge

IV 5. a) Anwendungsfall



Keine Unterscheidung der Signale  
nach Abstrahlerrichtung mehr möglich.

kein Integral über  $\mathbf{r}$   
 $\Rightarrow$  Richtungsselektion geht nicht!  
 Wellenlänge  $\Rightarrow$  nur eine Richtung



Also wir brauchen was Neues!