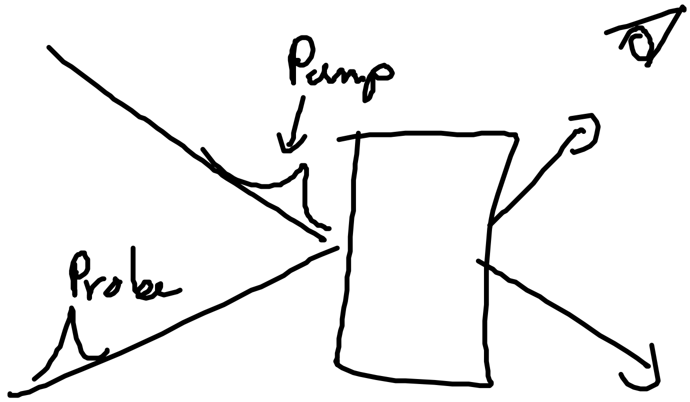
III Informationsgewinnung aus optischen Experimenten am Bsp. Pump-Test-Spektrum



3. Ordnung Störungstheorie:

Ordnung im Feld

$$\partial_t \mathrm{tr}(|1\rangle\langle 2|\rho^{(1)}) = \frac{i}{\hbar}(\varepsilon_1-\varepsilon_2)\,\mathrm{tr}(|1\rangle\langle 2|\rho^{(1)}) - \gamma\,\mathrm{tr}(|1\rangle\langle 2|\rho^{(1)})$$

$$- \frac{i}{\hbar}E_{Pump}(t)\,d_{21}\left(1-2\cancel{\mathrm{tr}(|2\rangle\langle 2|\rho^{(0)})}\right)$$

Lösen der inhomogen. Dgl.:

$$\mathrm{tr}(|1\rangle\langle 2|\rho^{(1)}) = -\frac{i}{\hbar}\int_{t_0}^{t} d_{21}\cdot E_{Pump}(t')\, e^{\left(\frac{i}{\hbar}(\varepsilon_1-\varepsilon_2)+\gamma\right)(t-t')}\,dt'$$

$$\partial_t \mathrm{tr}(|2\rangle\langle 2|\rho^{(2)}) = -2\,\mathrm{Im}\left(\frac{E(t)}{\hbar}\cdot d_{12}\,\underbrace{\mathrm{tr}(|1\rangle\langle 2|\rho^{(1)})}_{\uparrow\ \text{einsetzen!}}\right) - 2\gamma\,\mathrm{tr}(|2\rangle\langle 2|\rho^{(1)})$$

$$\partial_t \mathrm{tr}(|2\rangle\langle 2|\rho^{(2)}) = +2\,\mathrm{Im}\left(\frac{E_{Pump}(t)}{\hbar}\,d_{12}\,\frac{i}{\hbar}\int_{t_0}^{t} d_{21}\cdot E_{Pump}(t')\, e^{\left(\frac{i}{\hbar}(\varepsilon_1-\varepsilon_2)-\gamma\right)(t-t')}\,dt'\right)$$

$$- 2\gamma\,\mathrm{tr}(|2\rangle\langle 2|\rho^{(2)})$$

Lösen der Dgl.:

$$\mathrm{tr}(|2\rangle\langle 2|\rho^{(2)}) = 2\,\mathrm{Im}\Big(i\int_{t_0}^{t} dt'\, e^{-2\gamma(t-t')}\,\frac{E_{Pump}(t')\cdot d_{12}}{\hbar}\ \cdot$$

$$\int_{t_0}^{t'} \frac{d_{21} \cdot E_{Pump}(t'')}{\hbar} e^{\left(\frac{i}{\hbar}(\varepsilon_1-\varepsilon_2)-\gamma\right)(t'-t'')} dt''$$

$\Rightarrow$ Dichte im Minimum mit $|E|^2$

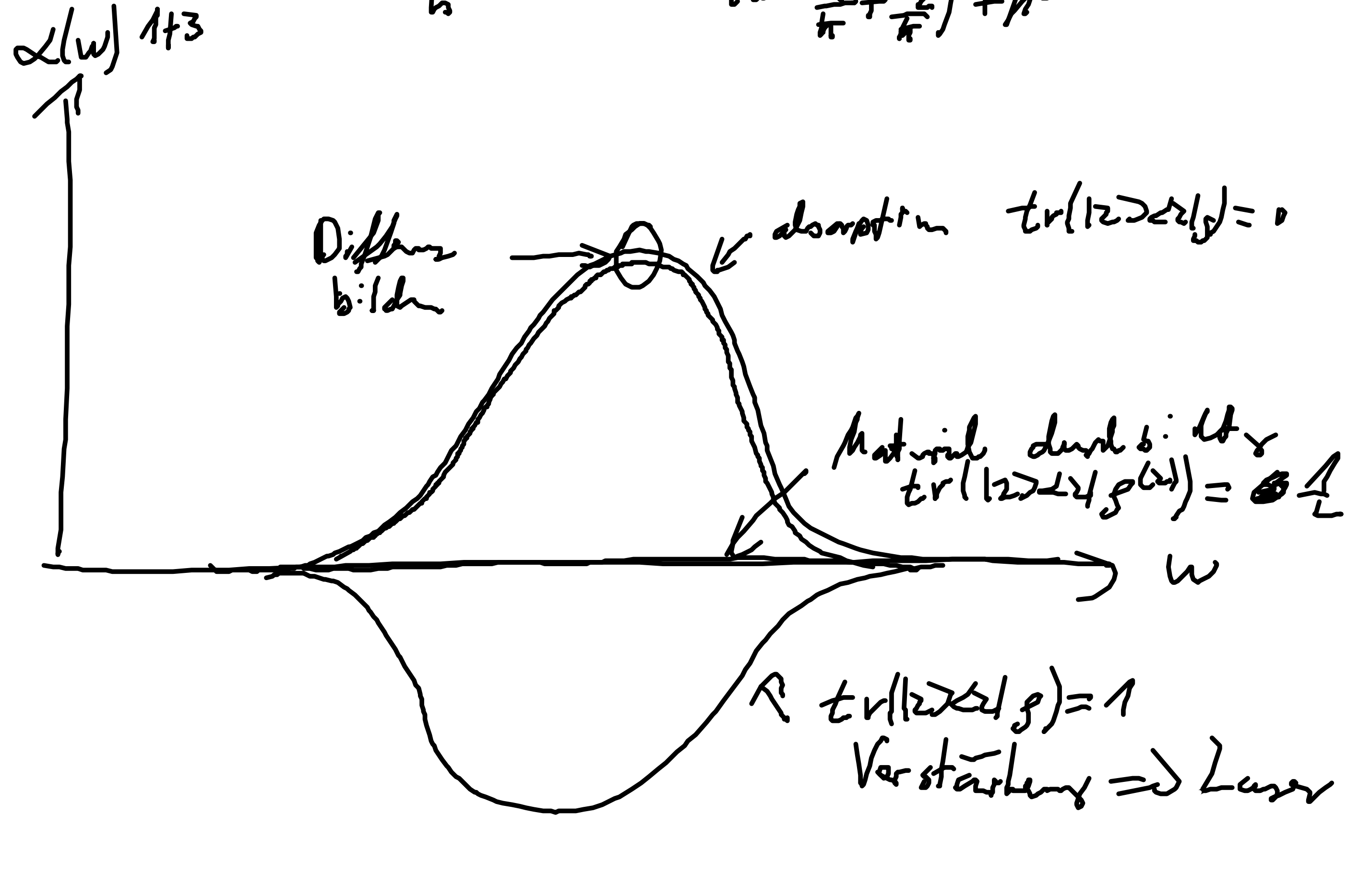
Also Pump Puls baut eine Dichte für den Probe-Puls auf.

Letzter Schritt: System mit Probe-Puls abfragen!

Erinnern an das 2NS

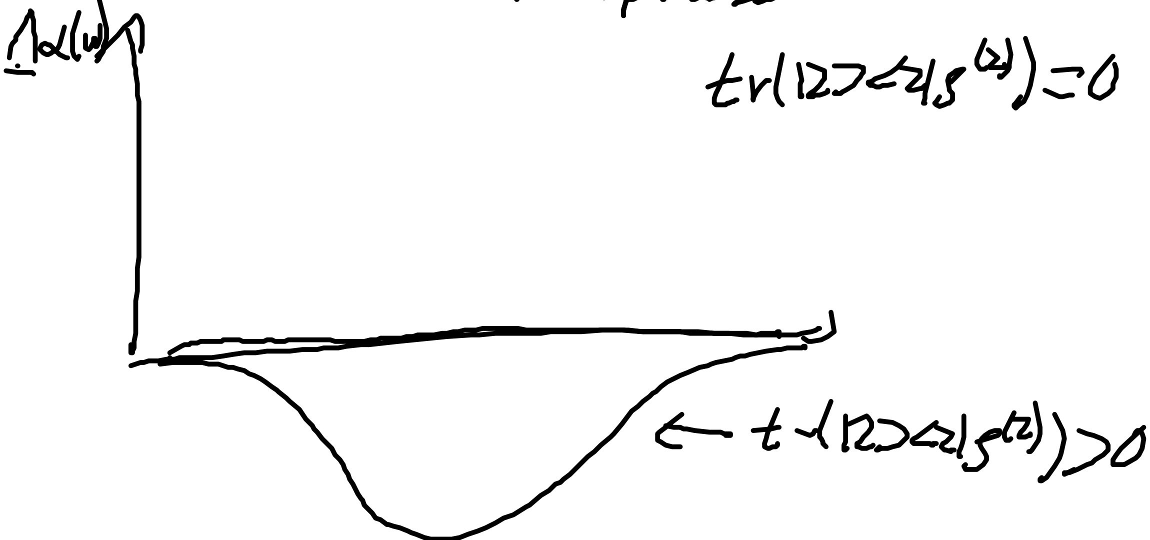
$$\partial_t \, tr(|1\rangle\langle 2|\rho^{(3)}) = \frac{i}{\hbar}(\varepsilon_1-\varepsilon_2) tr(|1\rangle\langle 2|\rho^{(3)}) - \gamma \, tr(|1\rangle\langle 2|\rho^{(3)})$$
$$- \frac{i}{\hbar} E(t) \, d_{21} \left(1 - 2 \, tr(|2\rangle\langle 2|\rho^{(2)})\right)$$

$$\Rightarrow \omega \, Im\left(d_{12} \, tr(|1\rangle\langle 2|\rho^{(3)})\right)(\omega)$$
$$= -\omega \frac{|d_{12}|^2}{\hbar} \cdot E(\omega) \frac{\gamma}{\left(\omega - \frac{\varepsilon_1}{\hbar} + \frac{\varepsilon_2}{\hbar}\right)^2 + \gamma^2} \left(1 - 2 \, tr(|2\rangle\langle 2|\rho^{(2)})\right)$$

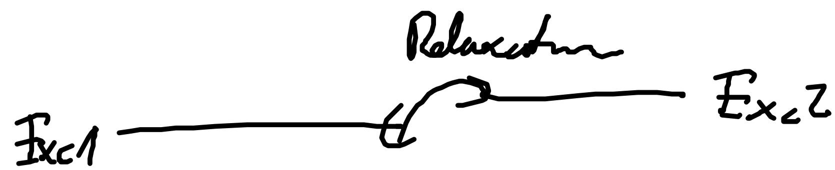


$$\Delta\alpha(\omega) = \alpha(\omega) - \alpha_0(\omega)$$

0. Pump Pulse



Zwei gekoppelte Zwei Niveausystem



g

$$\partial_t tr(|g\rangle\langle Exc1|\rho^{(1)}) = \frac{i}{\hbar}(E_1 - \gamma)\, tr(|g\rangle\langle Exc1|\rho^{(1)})$$
$$+ \frac{i}{\hbar} E(t)\cdot \vec{d}_1 \left(- \cancel{tr(|Exc1\rangle\langle Exc1|\rho^{(0)})} + tr(|g\rangle\langle g|\rho^{(0)})\right)$$

Analog lösen:

$$tr(|g\rangle\langle Exc1|\rho^{(1)}) = -\frac{i}{\hbar}\int_{t_0}^{t} \vec{d}_1 \cdot E_{Pump}(t')\, tr(|g\rangle\langle g|\rho^{(0)})\, e^{\frac{i}{\hbar}(-E_1)(t-t') - \gamma(t-t')}$$

Annahme $tr(|Exc1\rangle\langle Exc2|\rho^{(2)})$ zerfällt schnell

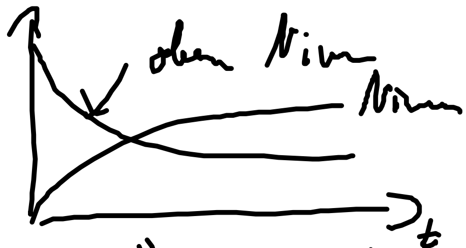
$$\partial_t tr(|Exc1\rangle\langle Exc1|\rho^{(2)}) = 2\,\mathrm{Im}\left(\frac{E(t)\cdot \vec{d}_1^{\,*}}{\hbar}\int_{t_0}^{t} \frac{\vec{d}_1 \cdot E(t')}{\hbar}\, e^{\frac{i}{\hbar}(-E_1)(t-t') - \gamma(t-t')}\right)$$
$$+ \Gamma_{2\to1}\, tr(|Exc2\rangle\langle Exc2|\rho^{(2)})$$
$$- \Gamma_{1\to2}\, tr(|Exc1\rangle\langle Exc1|\rho^{(2)})$$

Wie lösen? $\Rightarrow$ Greenfkt.

$$\partial_t g_{1\beta}(t,t_0) = \Gamma_{2\to 1}\, g_{2\beta}(t,t_0) - \Gamma_{1\to 2}\, g_{1\beta}(t,t_0) + \delta_{\beta 1}\,\delta(t-t_0)$$

$$\partial_t g_{2\beta}(t,t_0) = \Gamma_{1\to 2}\, g_{1\beta}(t,t_0) - \Gamma_{2\to 1}\, g_{2\beta}(t,t_0) + \delta_{\beta 2}\,\delta(t-t_0)$$

$\Rightarrow$ Gl. können wir theoretisch lösen



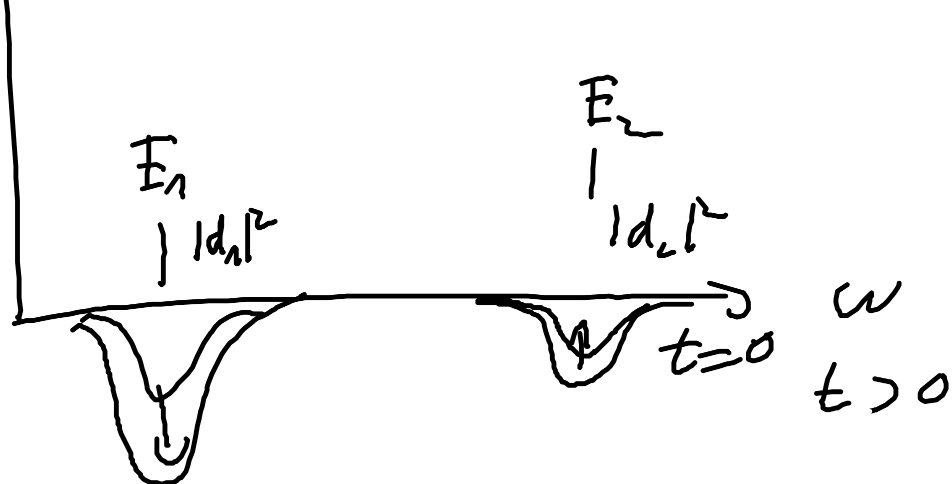
$$tr(|Ex_\alpha\rangle\langle Ex_\alpha|\rho^{(2)}) = \sum_\beta 2\,\mathrm{Im}\int_{t_0}^{t} dt'\, g_{\alpha\beta}(t,t')\, E_{pump}\, \tilde{d}_\beta \int_{t_0}^{t'} dt''\, E_{pump}(t'')\, \tilde{d}_\beta\, e^{\frac{i}{\hbar}(-E_\beta)(t'-t'')-\gamma(t'-t'')}$$

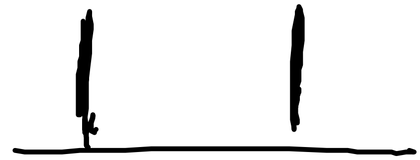
$$\partial_t\, tr(|g\rangle\langle Ex_\alpha|\rho^{(3)}) = \frac{i}{\hbar}(-E_\alpha)\, tr(|g\rangle\langle Ex_\alpha|\rho^{(3)}) - \gamma_\alpha\, tr(|g\rangle\langle Ex_\alpha|\rho^{(3)}) - \frac{i}{\hbar}E(t)\cdot d^\alpha\big(tr(|g\rangle\langle g|\rho^{(2)}) - tr(|Ex_\alpha\rangle\langle Ex_\alpha|\rho^{(2)})\big)$$

$+$ Wegen Single zu Biexzitonen übergänge

$\Delta\alpha(\omega)$

$\uparrow$





t ist Zeit zwischen Pump und Probe Puls

Es kann die Relaxation verfolgt, also kann man Rückschlüsse auf die Kopplung ziehen.

III. 1. Homogene Linienbreite

Die homogene Linienbreite

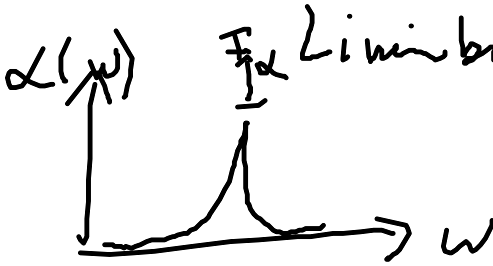
$$\gamma_\alpha = \sum_n \frac{\Gamma_{\alpha\to n}}{2} + \Gamma'_\alpha$$

setzt sich zusammen aus Lebensdauer ~~des~~ Zustands (Zerfall in andere Zustände) und Dephasingrate Γ'_α zusammen.

Information über ein einzelnes System bekommen wir nur aus der homogenen Linienbreite.

Haben wir immer die gleiche Nanostruktur im gleichen Zustand enthält sie alle notwendigen Information

Ziel: Verbreiterung nur durch homogene Linienbreite



$$P \propto e^{-\gamma_\alpha t}$$

Gibt es noch andere?