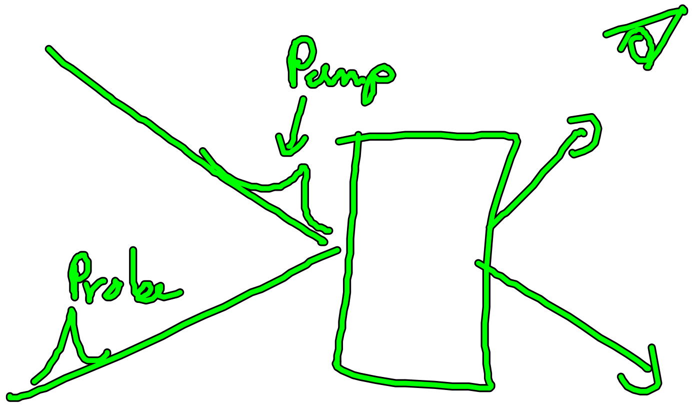
III Informationsgewinnung aus optischen Experimenten am Bsp. Pump-Test-Spektrum



3. Ordnung Störungstheorie: Ordnung im Feld

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

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

$\Downarrow$ Lösen der inhomogen Dgl.

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

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

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

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

Lösen der Dgl.

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

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

$\Rightarrow$ Dichte nimmt zu mit $|E|^2$

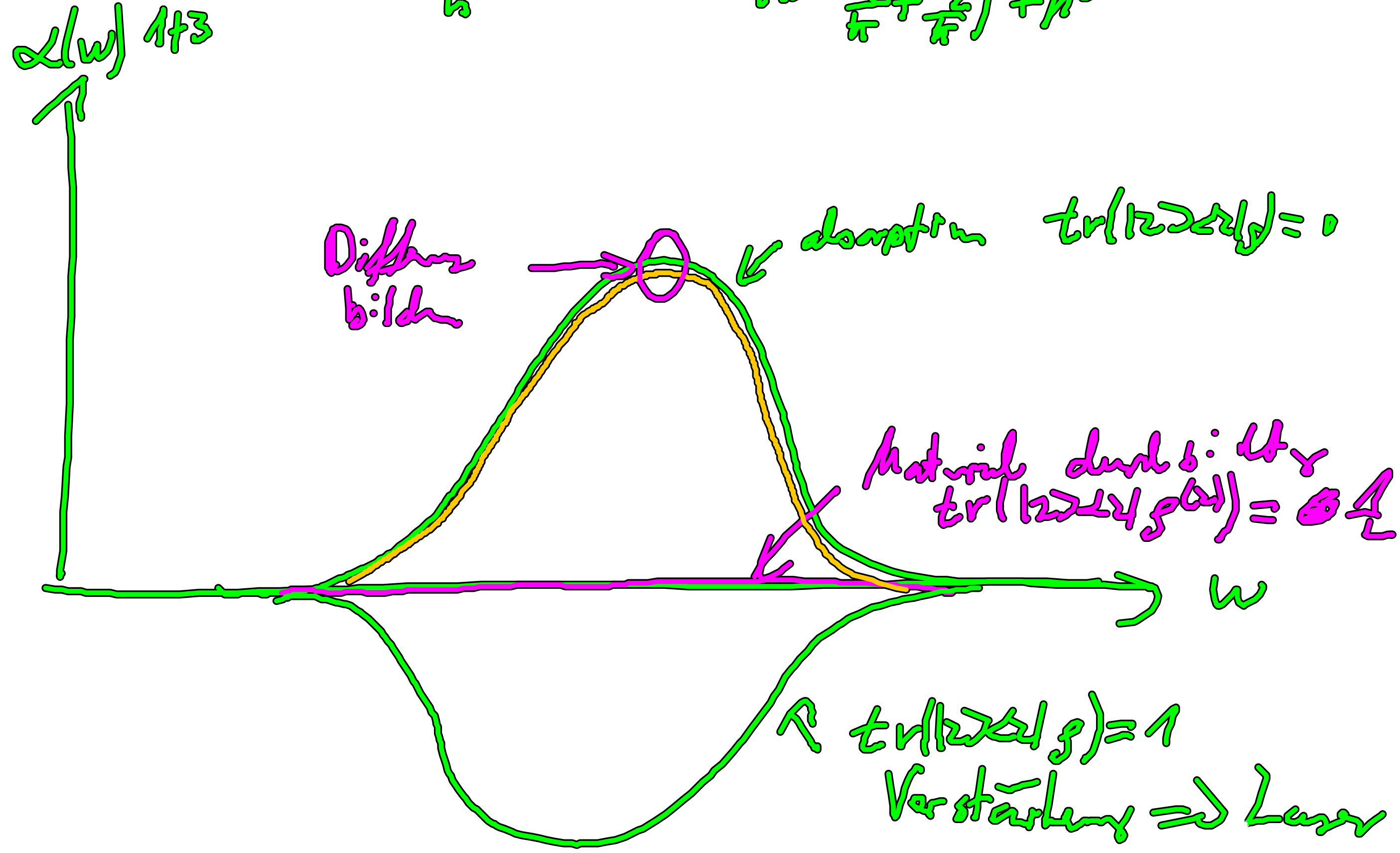
Also Pump Puls baut Dichte für den Probe-Puls auf.

Letzter Schritt: System mit Probe-Puls abfragen!

Erinnern an das ZNS

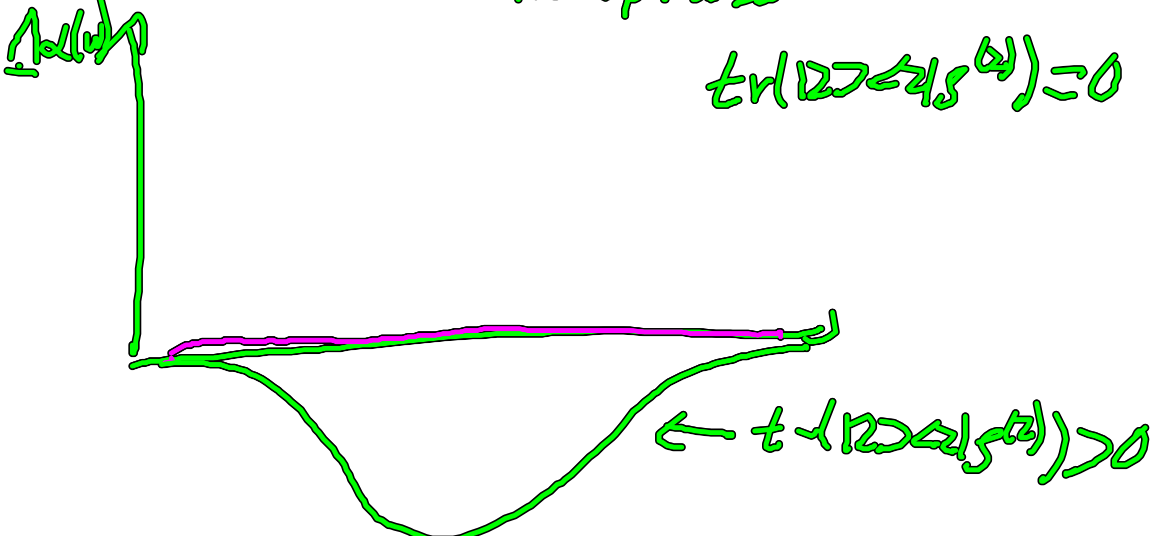
$$\partial_t \, tr(|1\rangle\langle 2|\rho^{(3)}) = \frac{i}{\hbar}(\varepsilon_1-\varepsilon_2) tr(|1\rangle\langle 2|\rho^{(3)}) - \gamma \, tr(|1\rangle\langle 2|\rho^{(3)})$$
$$- \frac{i}{\hbar} E(t) d_{21} \left(\cancel{1} - 2 \, tr(|2\rangle\langle 2|\rho^{(2)})\right)$$

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

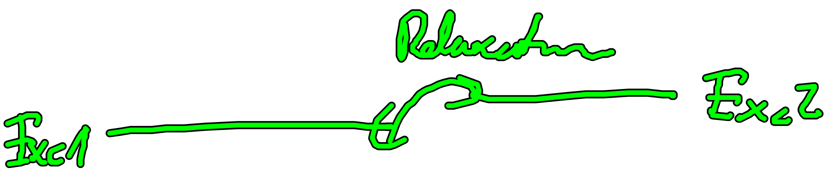


$$\Delta\alpha(\omega) = \alpha(\omega) - \alpha_0(\omega)$$

0. Pump Pulse



Zwei gekoppelte Zwei Niveau system



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

Analog lösen:

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

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

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

Wie lösen? $\Rightarrow$ Ratengleichungen.

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

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

$\Rightarrow$ Gl. können nur theoretisch lösen

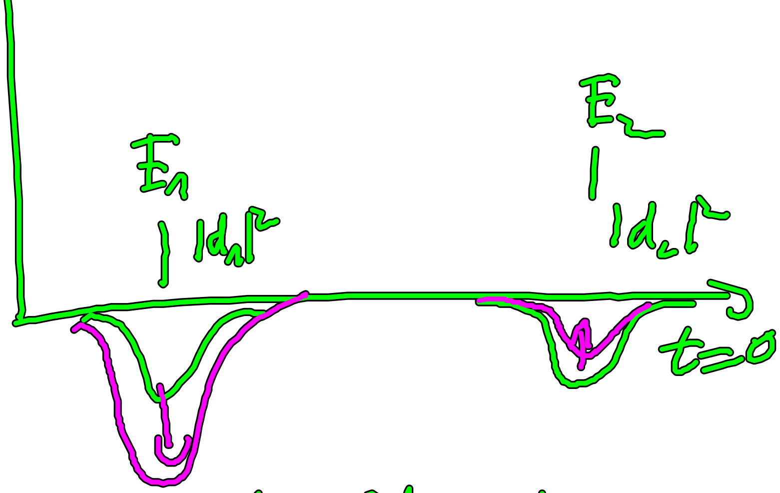
$$\mathrm{tr}(|Ex\,\alpha\rangle\langle Ex\,\alpha|\rho^{(4)}) = \sum_\beta 2\,\mathrm{Im}\int_{t_0} dt'\, g_{\alpha\beta}(t,t')\, E_{\text{pump}} \cdot \tilde{d}_\beta \int_{t_0}^{t'} dt''\, E_{\text{pump}}(t'')\, \tilde{d}_\beta\, e^{\frac{i}{\hbar}(-E_\beta)(t'-t'') - \gamma(t'-t'')}$$

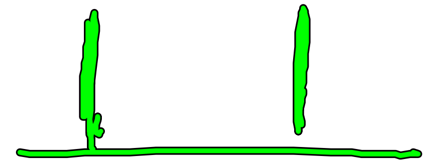
$$\partial_t\, \mathrm{tr}(|g\rangle\langle Ex\,\alpha|\rho^{(3)}) = \frac{i}{\hbar}(-E_\alpha)\, \mathrm{tr}(|g\rangle\langle Ex\,\alpha|\rho^{(3)}) - \gamma_\alpha\, \mathrm{tr}(|g\rangle\langle Ex\,\alpha|\rho^{(3)}) - \frac{i}{\hbar} E(t)\cdot d^\alpha \left(\mathrm{tr}(|g\rangle\langle g|\rho^{(4)}) - \mathrm{tr}(|Ex\,\alpha\rangle\langle Ex\,\alpha|\rho^{(4)})\right)$$

$+$ Wegen Single zu Biexziton 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

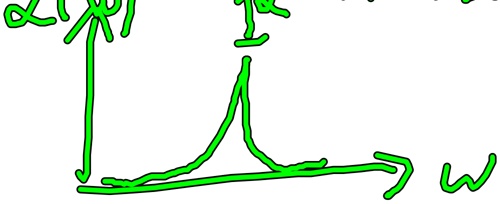
$$\gamma_\alpha = \sum_n \frac{\Gamma_{\alpha\to n}}{2} + \Gamma_\alpha$$

setzt sich zusammen aus Lebensdauer des Zustands (Zerfall in andere Zustände) und Dephasierungsrate 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 Informationen

Ziel: Verbreiterung ~~nur~~ durch die homogene Linienbreite



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

Gibt es noch andere?