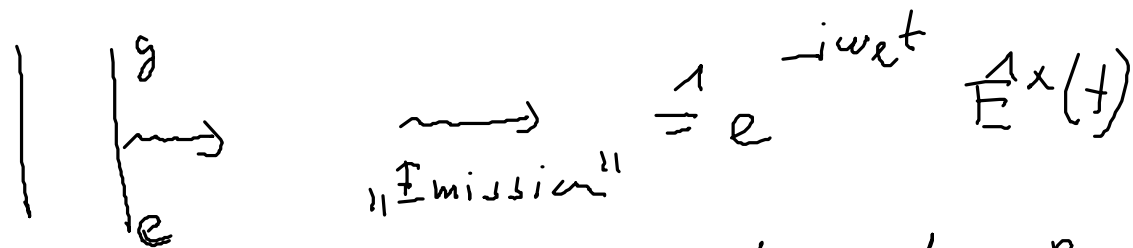
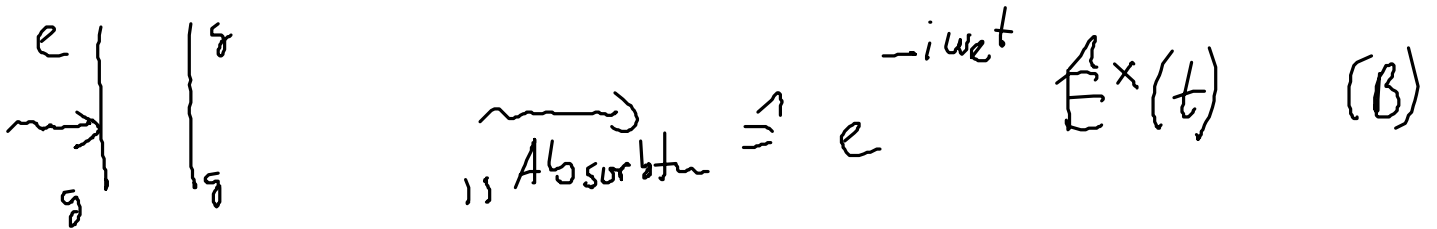
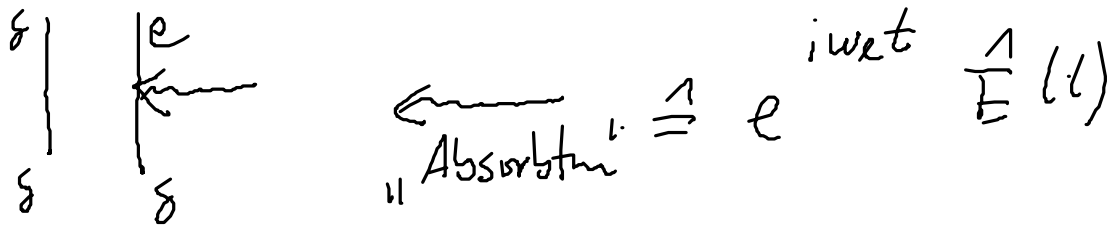
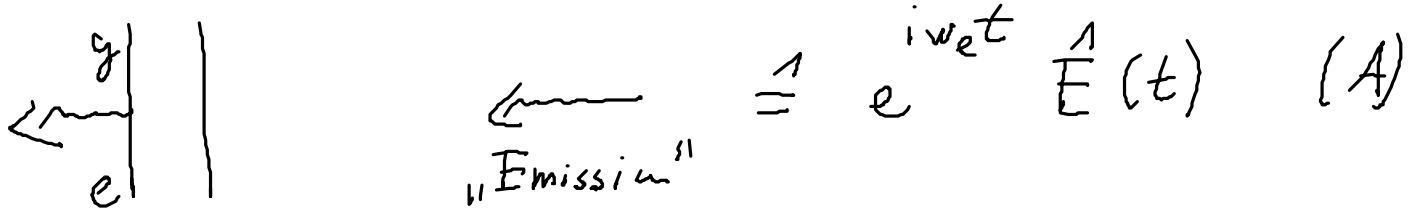


# Rotating Wave Approximation

In RWA:

$$H_1(t) = \sum_e \hat{E}(t) \cdot N_{ge} e^{i(\omega_e - \omega_g)t} |g\rangle\langle e| \quad (A)$$

$$+ \sum_e \hat{E}^x(t) \cdot N_{eg} e^{i(\omega_g - \omega_e)t} |e\rangle\langle g| \quad (B)$$



Wichtig: RWA nicht bei nichtresonanten Prozessen wie Raman oder TPA, aber Konvention von  $\omega_e, \omega_g$  gilt dort auch, nur mit Zustandselektionsregeln.

Beispiel: Absorption  $e \equiv \equiv \equiv$

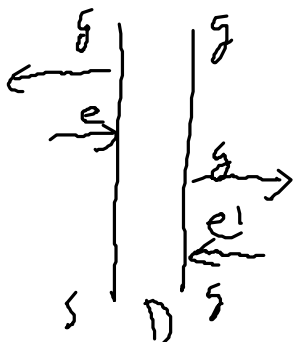
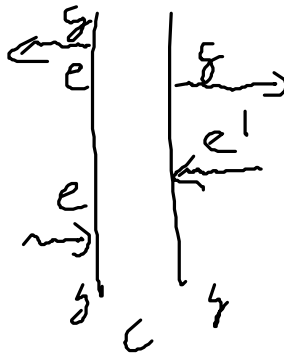
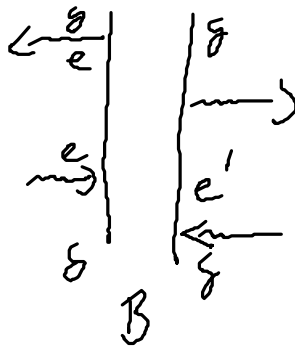
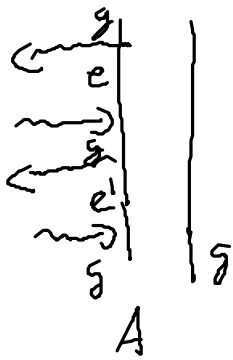


+C.C.

Observable  $|g\rangle\langle e|$   
 wird als Emission auf der  
 linken Seite interpretiert  
 oder Absorption auf der  
 rechten Seite.

Alternativ könnte man auch  $|e\rangle\langle g|$  betrachten  
 (links  $\leftarrow$  rechts)

Pump-Prozess (Dritte Ordnung)

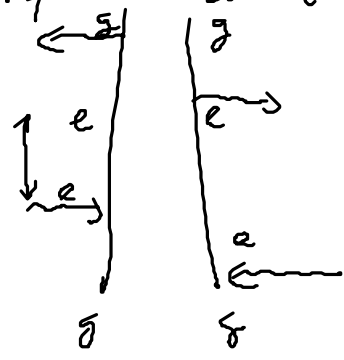


Vier Diagramme bei 2 NS die betragen.

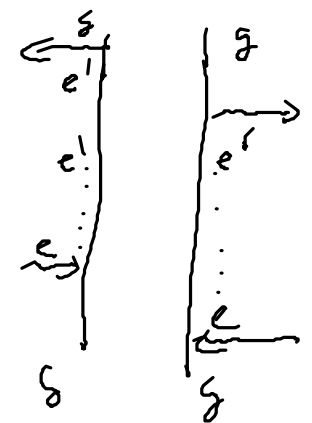
Bsp für B im Zeitbild  
 z.B. gut für Pump-Prozess!

$$P^{(3)}(t) \Big|_B \Rightarrow \left(-\frac{i}{\hbar}\right)^3 \sum_{e, e'} \int_{t_0}^t dt_3 \int_{t_0}^{t_3} dt_2 \int_{t_0}^{t_2} dt_1 \mu_{ge} \mu_{ge'} E(t_1) \mu_{eg} E^*(t_2) \mu_{e'g} E^*(t_3) e^{i\omega_e t_1 - i\omega_{e'} t_2 - i\omega_g t_3} e^{-i\omega_{eg}(t_2-t_1) - \gamma_{eg} e^{i}(t_2-t_1)} e^{-i\omega_{e'g}(t-t_3) - \gamma_{e'g} e^{i}(t-t_3)} e^{i\omega_{e'e}(t_3-t_2) - \gamma_{e'e}(t_3-t_2)}$$

Bsp für Relaxation ( $e=e'$ )



+ Relaxation

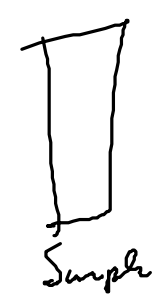
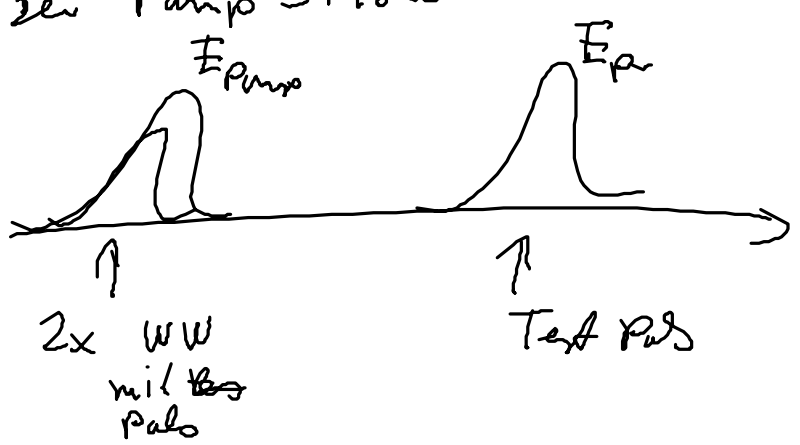


$$P^{(3)}(t) \Big|_B \Rightarrow \sum_{\text{mit } e, e'} \left(-\frac{i}{\hbar}\right)^3 \int_{t_0}^t dt_3 \int_{t_0}^{t_3} dt_2 \int_{t_0}^{t_2} dt_1 \mu_{ge} E(t_1) \mu_{eg} E^*(t_2) \mu_{e'g} E^*(t_3) \mu_{ge} e^{i\omega_e t_1 - i\omega_{e'} t_2 - i\omega_g t_3} \gamma_{ge}(t_2-t_1) \gamma_{e'e}(t_3-t_2) \gamma_{e'g}(t-t_3)$$

Summe kann sehr aufwendig werden. (Skaliert schneller als DMT)

beschreibt Relaxation  
Im Prinzip auch Kohärenztransport m zshd

Bei Pump-Probe



Im Prinzip muß man  $E_{pump}$  und  $E_{pr}$  im Diagramm verteilen.

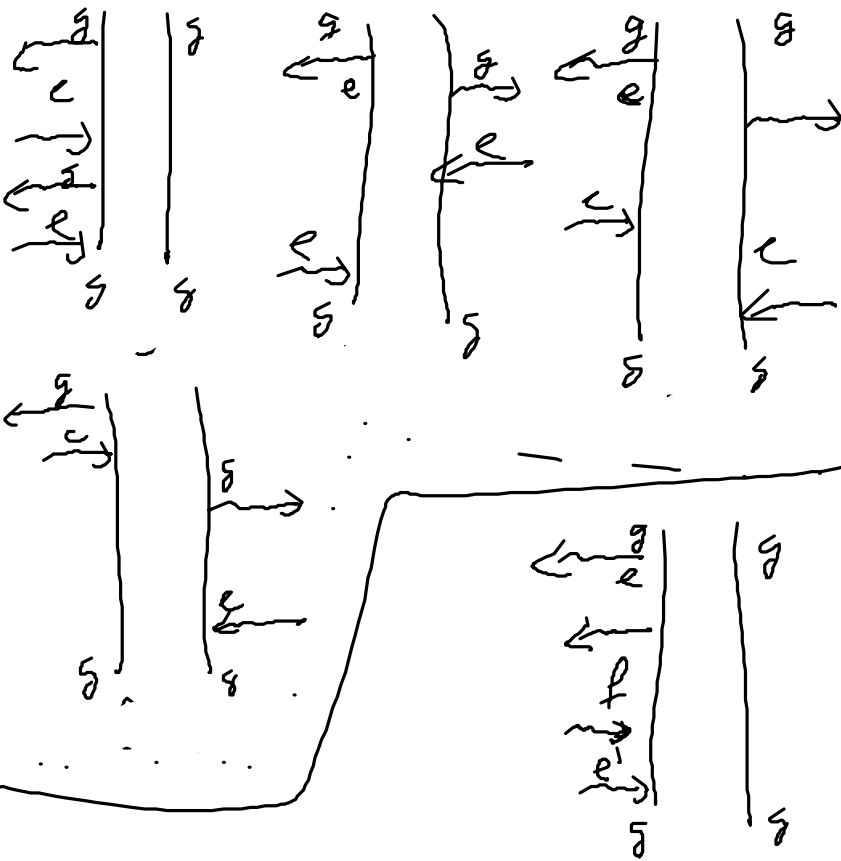
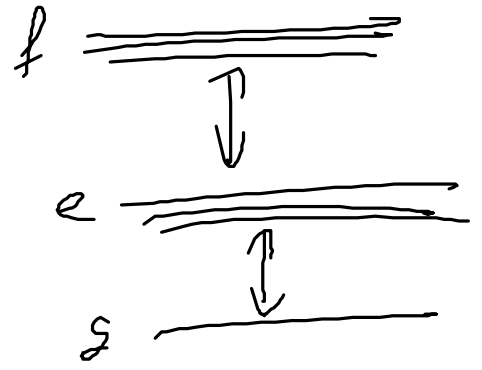
$$\rho^{(3)}(t) \Big|_B = \left(-\frac{i}{\hbar}\right)^3 \sum_{ee} \int_{t_0}^t dt_3 \int_{t_0}^{t_3} dt_2 \int_{t_0}^{t_2} dt_1$$

$$N_{ge} \cdot E_{pu}(t_1) N_{eb} \cdot E_{pu}^*(t_2) N_{e'g} \cdot E_{pr}^*(t_3) N_{ge}$$

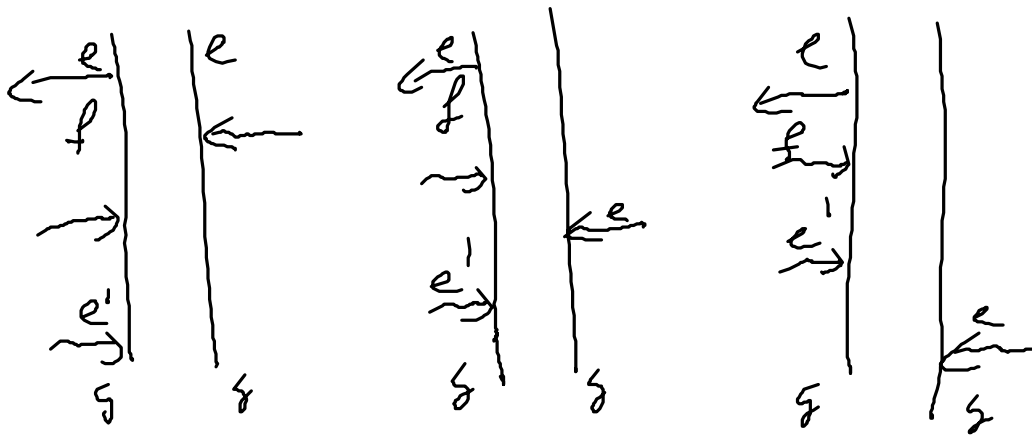
... siehe den Grenzfkt

Es gibt viele System mit höherem angeregten Zustände

Diagramme



$$\rho(t) = \sum_e N_{ge} \text{tr}(|g\rangle\langle e|g) + \sum_{ef} N_{ef} \text{tr}(|e\rangle\langle f|g) + \dots$$



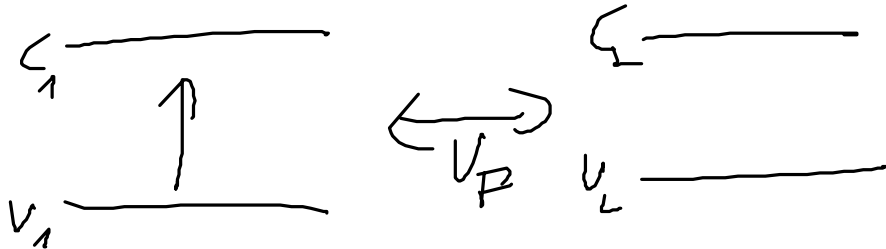
8 Diagramme! Man muß über alle  $f$  und  $e$  summieren!

Es wäre schön wenn man die Diagramme trennen könnte! (Nächste Abschnitte!)

### Mehrteilchenzustände

- Bei Vielteilchenfällen können  $g, e, f$  sehr viele Zustände sein! Diagramm skalieren mit  $N^3$  oder schlechter bei Relaxation!
- Das Verfahren nur mit Summation in über Zustände heißt Sum over States (SOS)
- Für Vielteilchensystem verwendet man meist Bewegungsgleichungen damit führt Quanteninterferenz zur Reduktion der Pfade erheblich besser.  
z.B. Quasientwickelung/ Lokalisation Fentwieder, NEE
- Aber SOS ist sehr gut für Analyse des Systems, dann muß in Vielteilchenzustände  $g, e, f$  denken!

Beispiel Zwei gekoppelte ZNS



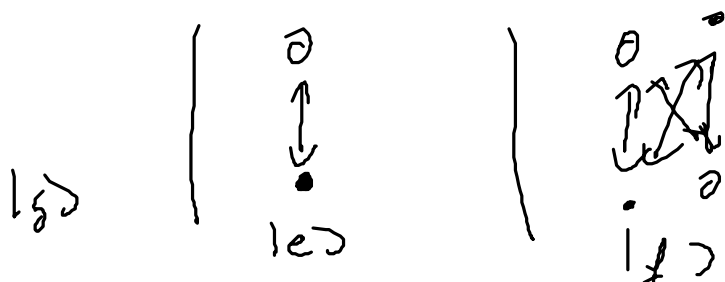
Mehrteilchenzustände

$$|g\rangle = |v_1, v_2\rangle$$

$$|e\rangle = c_1^e |c_1, v_2\rangle + c_2^e |v_1, c_2\rangle$$

$$|f\rangle = |c_1, c_2\rangle$$

z. B. bei Halbleitern Elektron und Loch

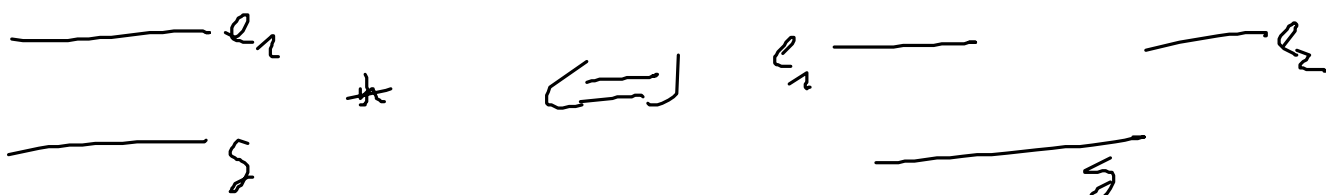


Dankspat aufgabe!

Ich habe viele gleichartige Atome (ungekoppelt)  
Jedes TLS!

Nomalerweise berechne Signal für jedes TLS,  
und dann Summiere über die Signale!

Mehrteilchenblidpunkt treten neue Diagramme mit  
Bicorrelation f an



Skaliert mit  $N$  in  $\chi_i$

Skaliert mit  $N^3$

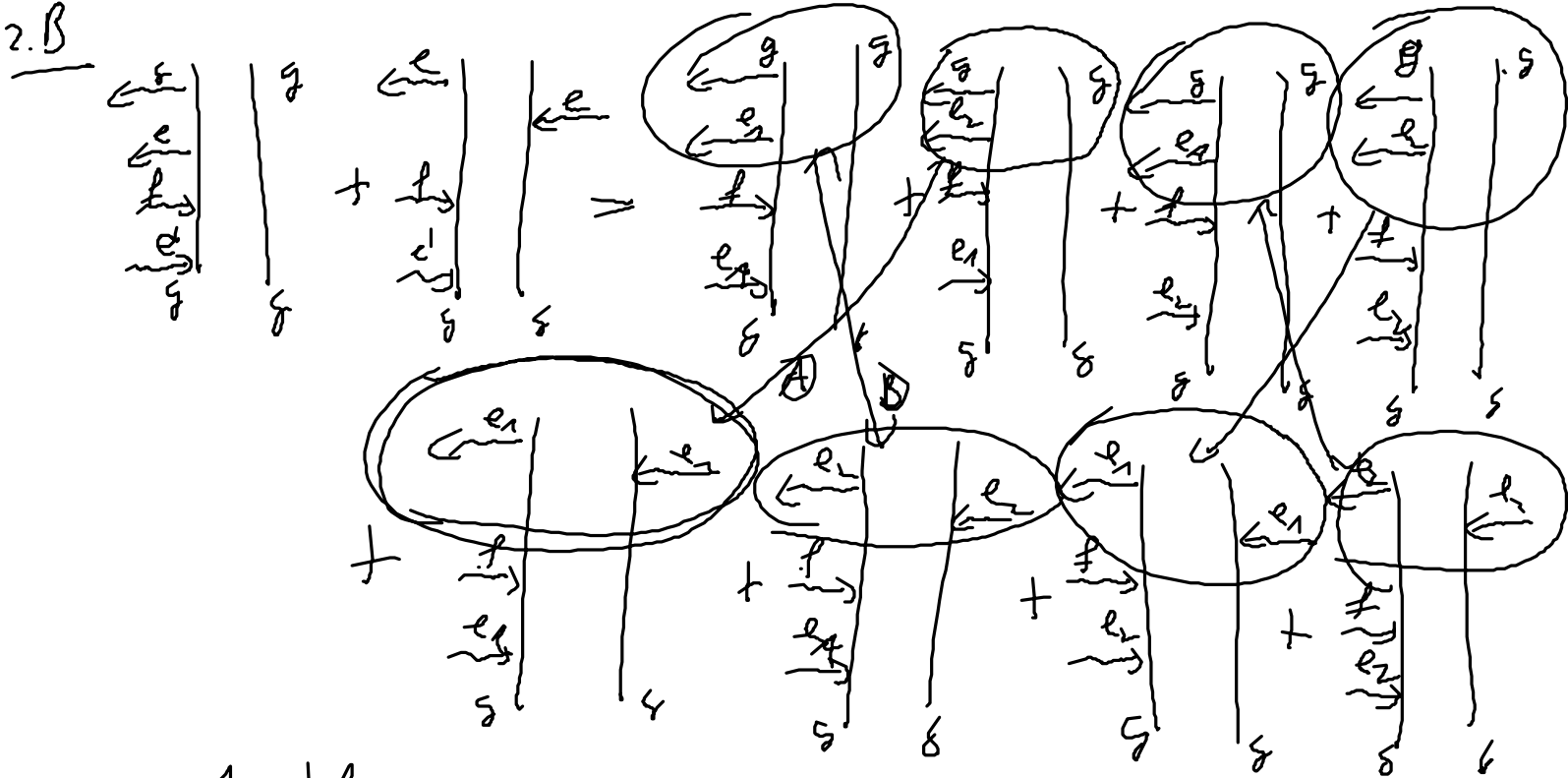
# Lösung: Massive Auslöschung von Unterpfaden Diagramm

## Beispiel

Erst mit brücke:

$$w_{e_1 g} = w_{f e_2}, w_{e_2 g} = w_{f e_1}$$

Weiterhin  $N_{e_1 g} = N_{f e_2}, N_{e_2 g} = N_{f e_1}$



Ausklammern

$$\left( \begin{array}{c|c} \begin{array}{c} g \\ e_1 \\ f \end{array} & \begin{array}{c} g \\ s \end{array} \\ \hline \begin{array}{c} e_2 \\ f \end{array} & \begin{array}{c} e_2 \\ s \end{array} \end{array} \right) + \left( \begin{array}{c|c} \begin{array}{c} e_2 \\ e_1 \\ f \end{array} & \begin{array}{c} g \\ s \end{array} \\ \hline \begin{array}{c} e_1 \\ s \end{array} & \begin{array}{c} e_1 \\ s \end{array} \end{array} \right)$$

(A) (B)

$$\begin{aligned}
 (A) \quad & \underbrace{N_{ge2} \cdot E(t_3)}_{\substack{\uparrow \\ N_{ge2} \\ = 0}} \quad N_{ge1} \underbrace{G_{ge2}(t-t_3)}_{e^{-i(\omega_{ge2})(t-t_3)}} - \underbrace{N_{ge2} + N_{ge2} \cdot E(t_2)}_{\substack{\uparrow \\ N_{ge1}}} \underbrace{G_{ge2}(t-t_3)}_{\substack{e^{-i(\omega_{ge2})(t-t_3)} \\ \uparrow \\ \omega_{ge2}}}
 \end{aligned}$$

Bandop! Die Diagonale die  
 zusätzlich auftreten in der  
 Matrix der Basis lösen sich in!