

Ideale Pulse:

instantan \rightarrow



"unendliche"
Pulsleistung

\rightarrow • infinitesimal kurz

• keine Evolution und Relaxation während Puls

• alle Spin-Pakete werden gleichermaßen angeregt

Reale Pulse

endliche Dauer \rightarrow

• Spin-Pakete evolvieren und relaxieren während Puls

ohne Relaxation (bzw. $t_p \ll T_1, T_2$) t_p : Pulslänge

$$\frac{d\Theta}{dt} = \vec{M} \times \vec{B}_{\text{eff}} \quad \xrightarrow{\text{für } \Omega_0 = 0} \quad \Theta = \gamma B_1 \cdot t_p$$

eff. Magnetfeld-
vektor in RKS: $\vec{B}_{\text{eff}} = \begin{pmatrix} B_1 \\ B_0 - \frac{\omega_{\text{nu}}}{\gamma} \end{pmatrix}$

\downarrow für $\Omega_0 \neq 0$

$$t_p^{90^\circ} = \frac{\pi}{2\gamma B_1}, \quad t_p^{180^\circ} = \frac{\pi}{\gamma B_1}$$

\vec{M} präzediert um z-Achse während Puls

\rightarrow effektive Rotationsrate nimmt ab wenn \vec{M} nicht

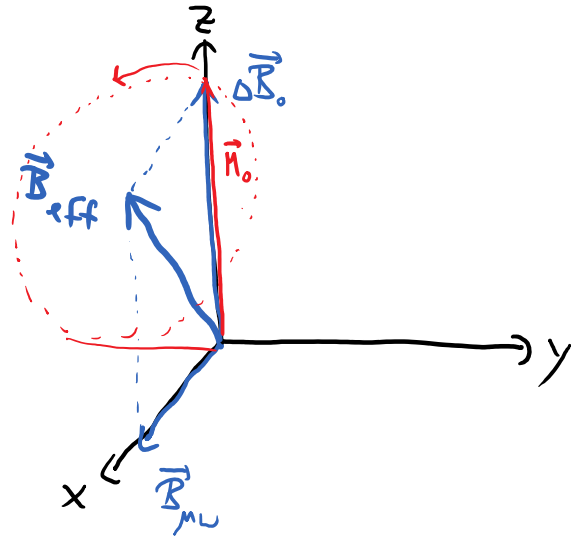
$\perp \vec{B}_{\text{eff}}$ / keine Rotation wenn $\vec{M} \parallel \vec{B}_{\text{eff}}$

Für $\Omega_0 \neq 0 \rightarrow \vec{M}$ präzediert um effektives Feld

$$\vec{B}_{\text{eff}} = \vec{B}_{\text{mw}} + \Delta\vec{B}_0$$

mit Nutationsfrequenz

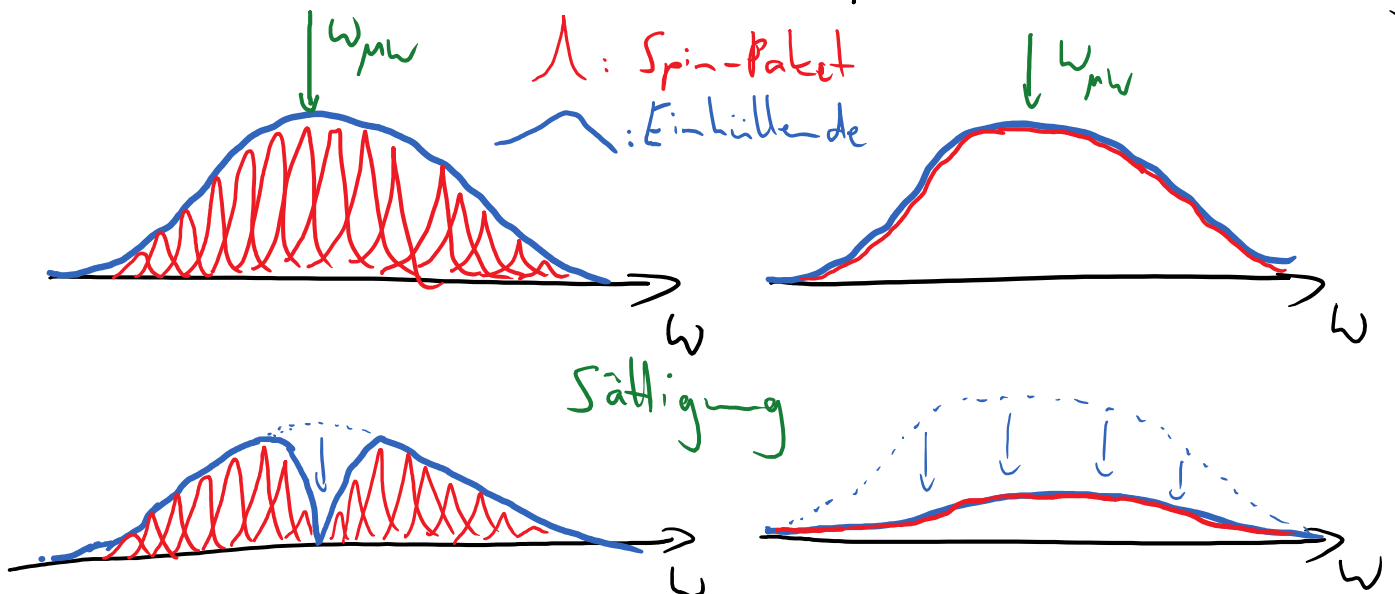
$$\omega_{\text{eff}} = \sqrt{\omega_1^2 + \Omega_0^2}$$



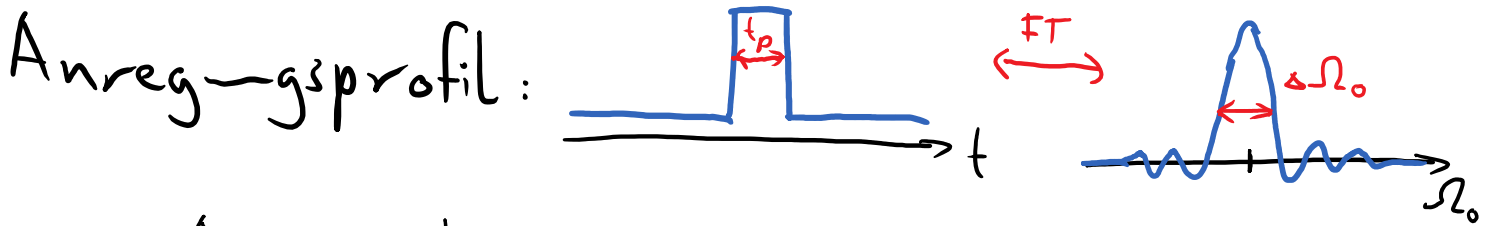
Inhomogenität (spektral)

EPR-Spektrum resultiert aus sehr vielen "Spin-Paketen" mit jeweils leicht unterschiedlicher Larmorfrequenz.

Nachweis: Lochbrenn-Experiment (hole burning)

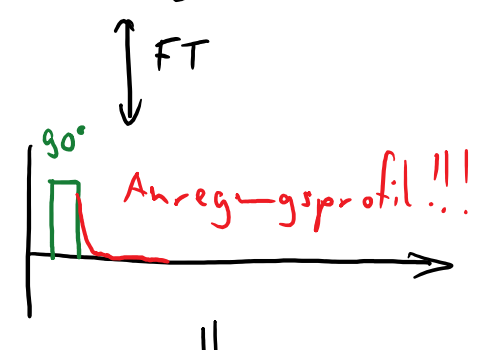
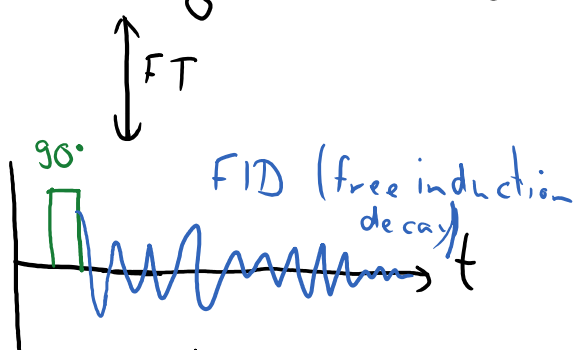
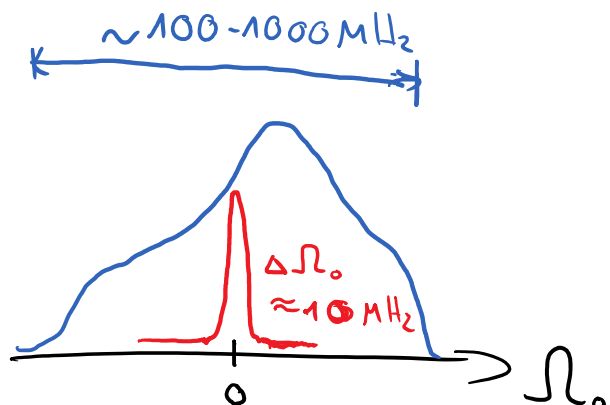


Spin-Pakete mit $\Omega_0 > \frac{1}{t_p}$ evolvieren signifikant während Puls \rightarrow enden nicht in "gewünschter" Richtung (z.B. in xy-Ebene für 90° / in -z für 180°)



Anregungsbandbreite: $\Delta\Omega_0 \approx \frac{2\pi}{t_p}$

Unterschied NMR/EPR:



mit 1 Puls gesamtes Spektrum

FID Intensität = $f(B_0)$

\rightarrow Feld-Sweep zur Aufnahme des Spektrums nötig!

Effektiver FID-Zerfall

Monday, December 11, 2017 2:12 PM

3 Prozesse führen zu Verlust der Phasenbeziehung:

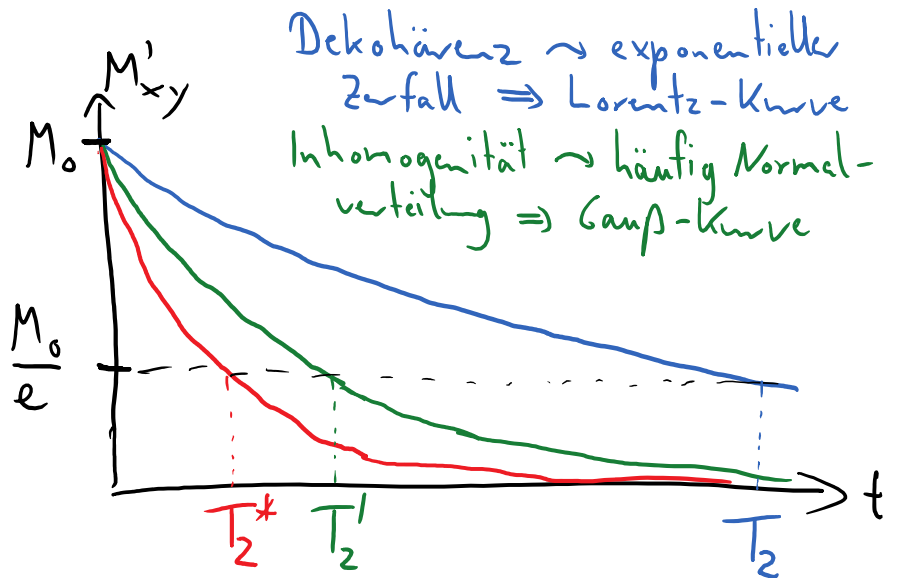
- Inhomogenität in Larmor-Frequenz \Rightarrow reversibel durch Echo
- Spin-Flip-Flops $\uparrow\downarrow \rightarrow \downarrow\uparrow$ Zeitkonstante τ_{flipflop}
 \Rightarrow Spin-Spin-Relaxation \rightarrow 2 Spins betroffen!
- Spin-Flip $\uparrow \rightarrow \downarrow$ Zeitkonstante τ_{flip}
 \Rightarrow Spin-Gitter-Relaxation
 \Rightarrow irreversibel
 \hookrightarrow Dekohärenz

$$\Rightarrow \frac{1}{T_2} = \frac{1}{\tau_{\text{flip}}} + \frac{2}{\tau_{\text{flipflop}}}$$

Effektiver Zerfall der transversalen Magnetisierung während FID/Echo

$$\frac{1}{T_2^*} = \frac{1}{T_2} + \frac{1}{T_2'}$$

effektiver Zerfall
 Zerfall durch Inhomogenität
 Zerfall durch Spin-Spin Relaxation



Dekohärenz (1 Spin-Paket)
 Dephasierung (Interferenz vieler Spin-Pakete mit variablem Ω_0)

mathematisches Modell: $T_2' \approx \frac{1}{\Delta\omega_0}$ $\Delta\omega_0$: inhomogene Linienbreite
 \Rightarrow genau genommen nur gültig für exponentiellen Zerfall aller Beiträge!

Totzeit-Problem

Monday, December 3, 2018 6:16 PM

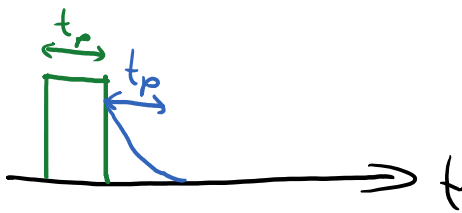
Im Festkörper gilt meist:

$$T_2' < t_p < T_2$$

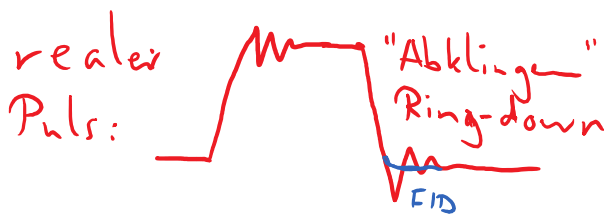
- in anderen Worten:
- inhomogene Linienbreite
... ist größer als ...
 - Anregungsbandbreite
... ist größer als ...
 - homogene Linienbreite

⇓

Zerfall des FIDs
mit t_p^{-1}



aber: Pulsleistung \sim kW
FID \sim nW

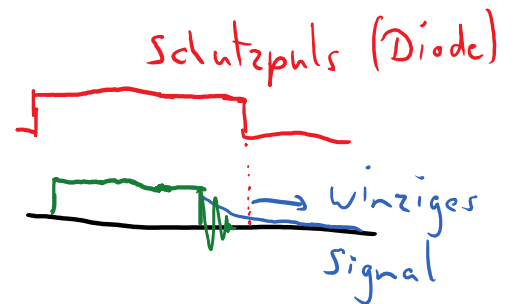


\rightarrow mehrere Größenordnungen
stärker als FID

Detektor muss während Puls und Ring-down
geschützt werden \rightarrow blind für FID.

\rightarrow Totzeit ca. 100 ns

2 Lösungen: ① $t_p \gg 100$ ns



② Puls-Echo

