



# Spins Do -Experimenteller Magnetismus

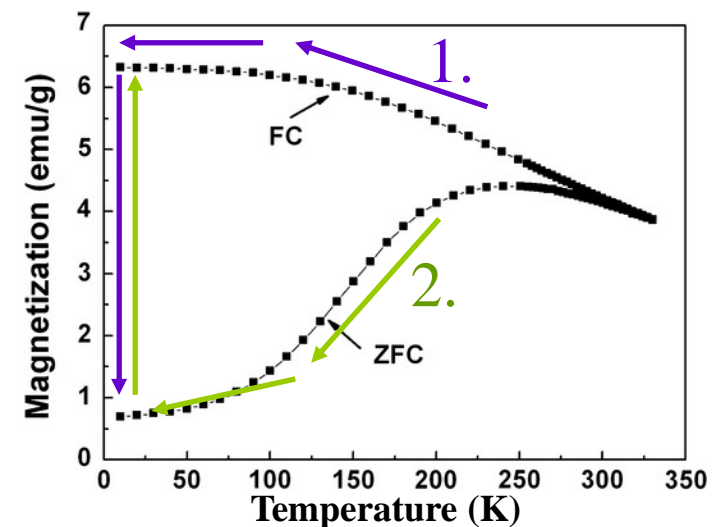
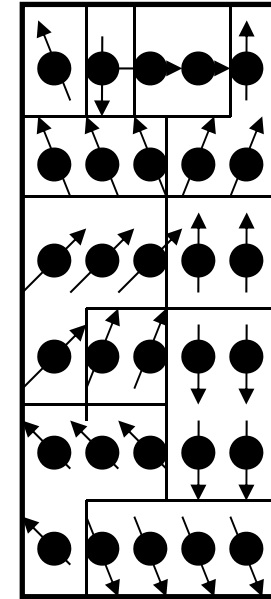
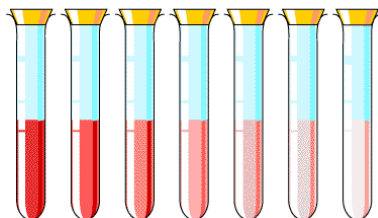
Martin Valldor

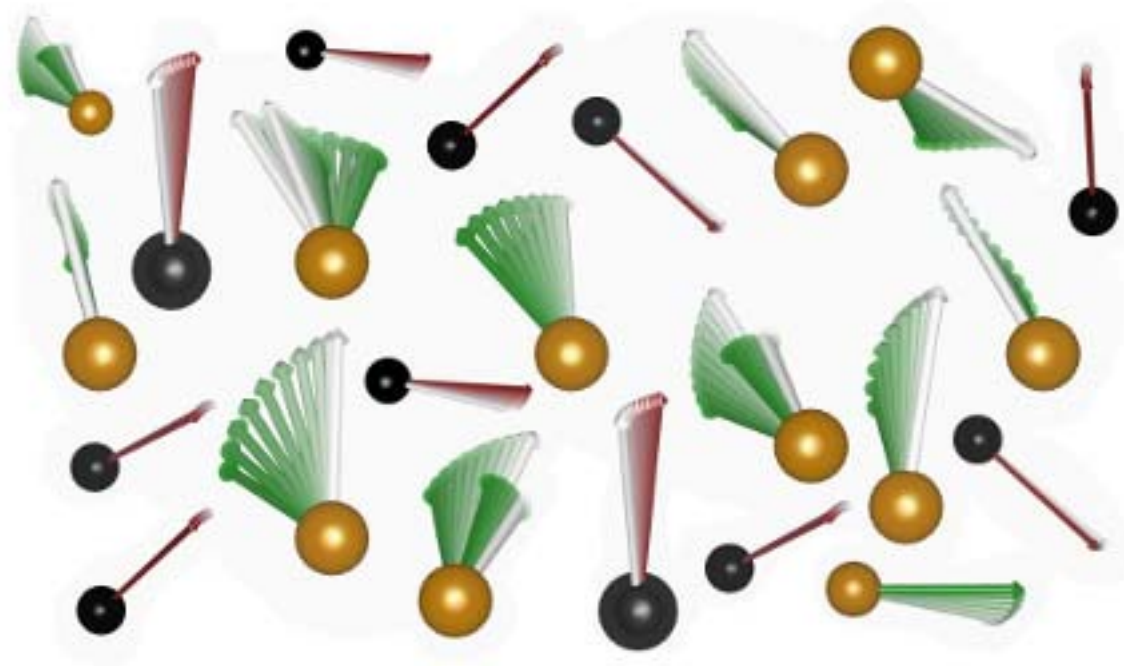
IBM-Ahmed

# Rückblick

## auf magnetisches Chaos

- Das magnetische Chaos kann aus Domänen oder Verdünnung bestehen.
- Domäne findet man in Ferromagneten, Mikromagneten, Spin-Eis, Superparamagneten, Spin-Gläser, Spin-Flüssigkeiten
- Magnetfeld, Wärme, und Zeit können starken einfluss auf diesen Zuständen haben.
- Die unterschiedlichen Zuständen reagieren unterschiedlich darauf.
- Technisch untersucht man  $FC \neq ZFC$ , magnetische Relaxation, Alterungsprozesse, magnetische Hystereskurven





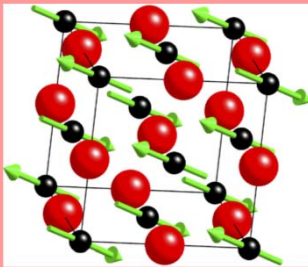
# Spin-Dynamik

mittels **AC/DC**-Suszeptometrie

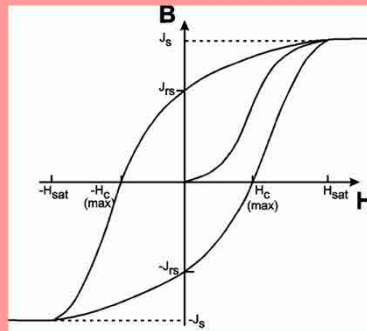
# Wo/Wann ist die Spin-Dynamik Intressant?

Nicht wirklich bei...

Starken 3D  
Antiferromagneten



Harten 3D Ferromagneten



Schon bei...

Spin-Flüssigkeiten



Spin-Gläsern

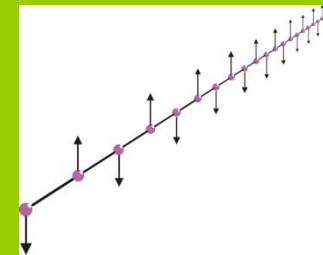


Super-Paramagneten

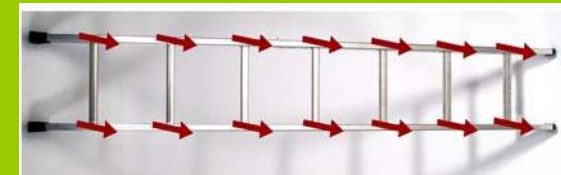


Auf jeden Fall bei...

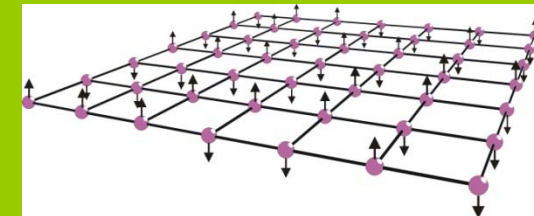
Spin Ketten



Spin Leitern



Spin Schichten



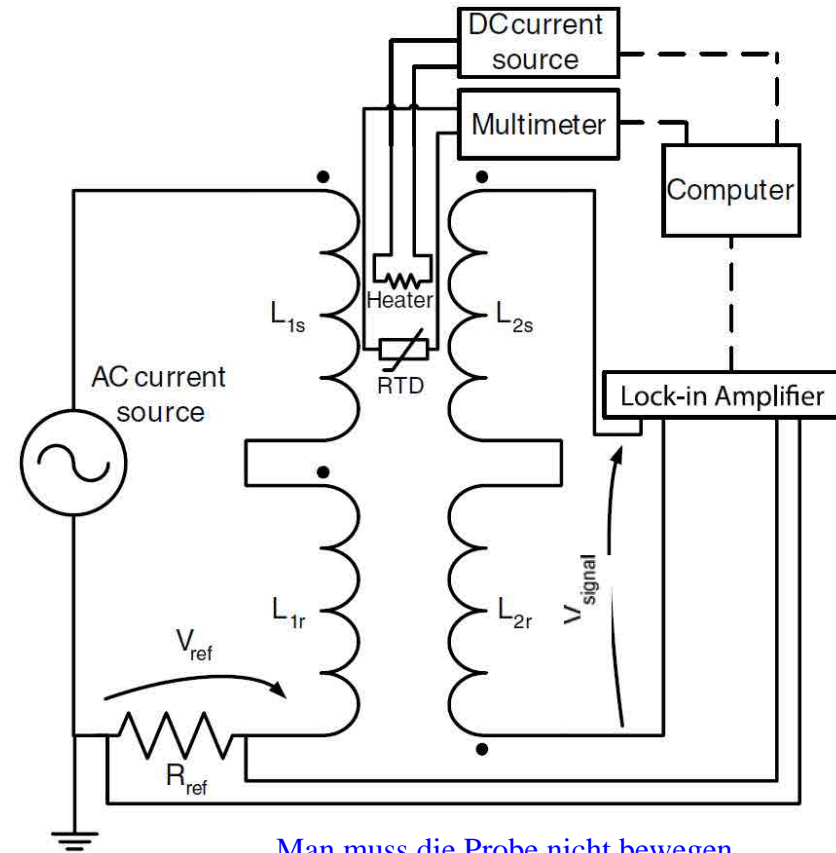
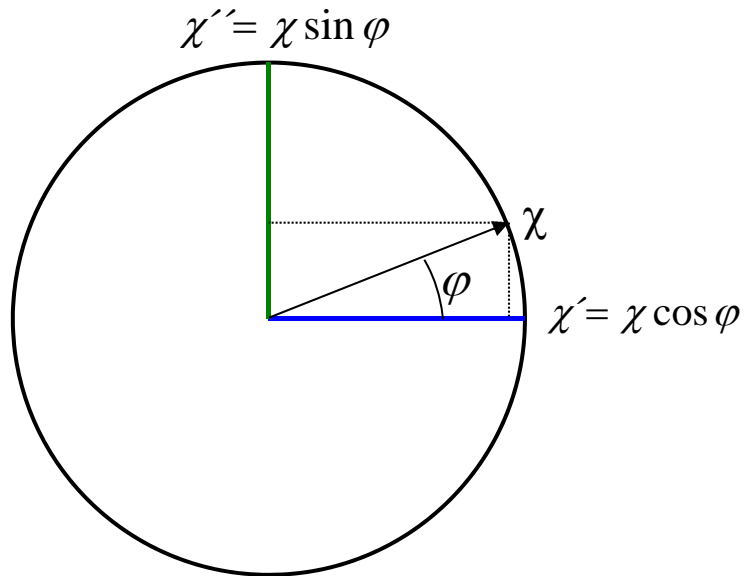
AC

# AC-Suszeptometer

Real-Teil

Imaginär-Teil

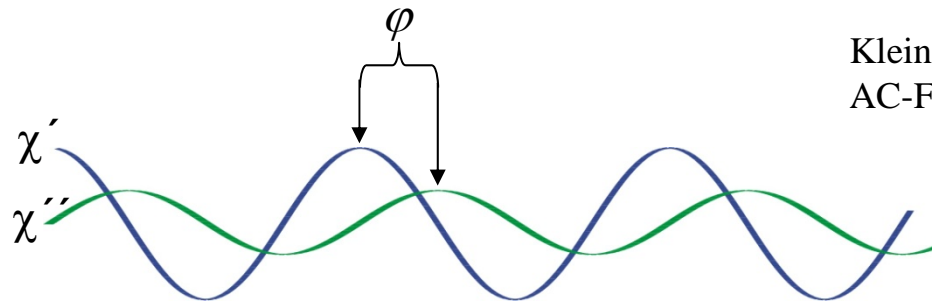
$$\chi = \chi' + i\chi''$$



trigonometrisch ergibt sich:

$$\chi = \sqrt{\chi'^2 + \chi''^2}$$

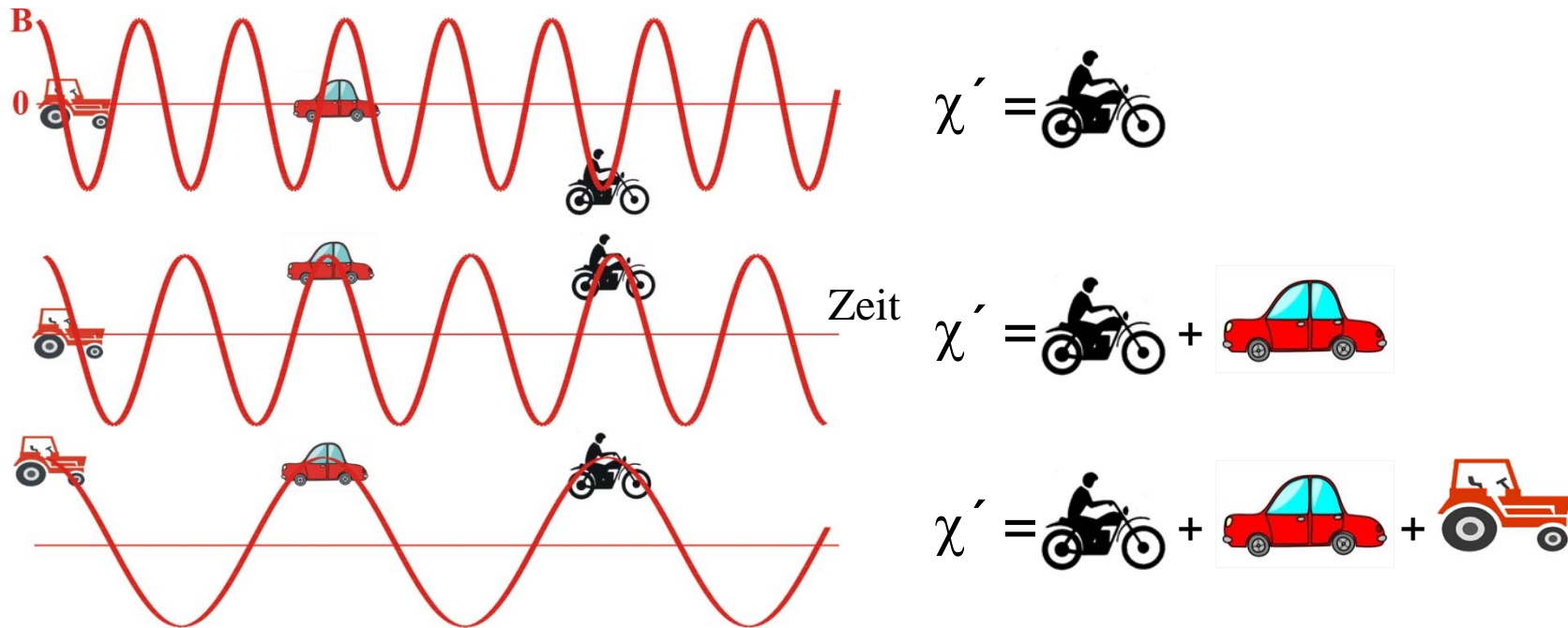
$$\varphi = \arctan(\chi''/\chi')$$



Kleine Felder: etwa 0.1 bis 10 Oe  
AC-Frequenz: 0.01 bis 10000 Hz

$$7 \times 10^{-10} \text{ Am}^2$$

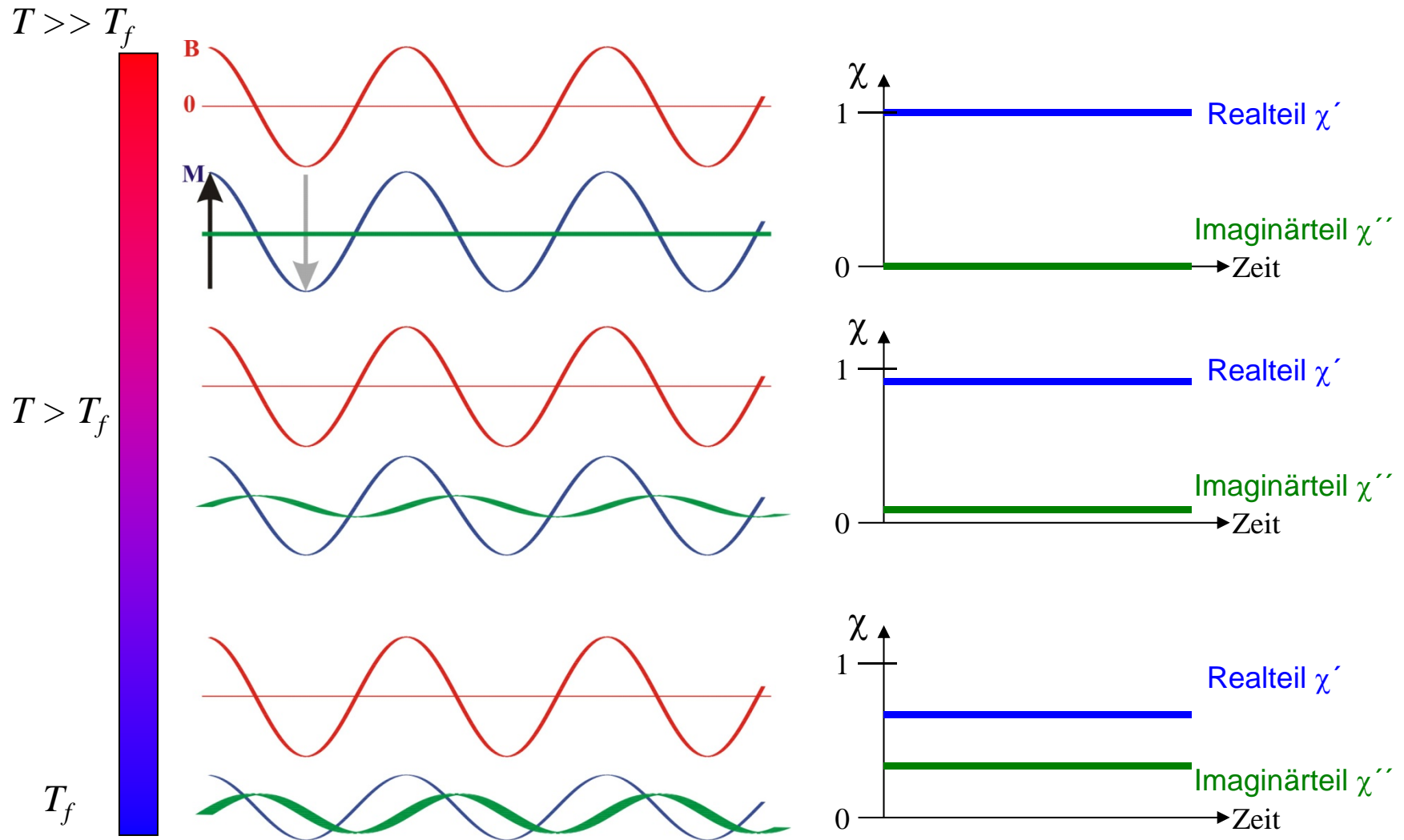
In ungeordneten Magneten sind die Spins unterschiedlich "Schnell"



Je höher die Frequenz desto kleiner ist  $\chi'$  (real)  
 (angenommen die eingefrorene Spin bleiben ungeordnet)



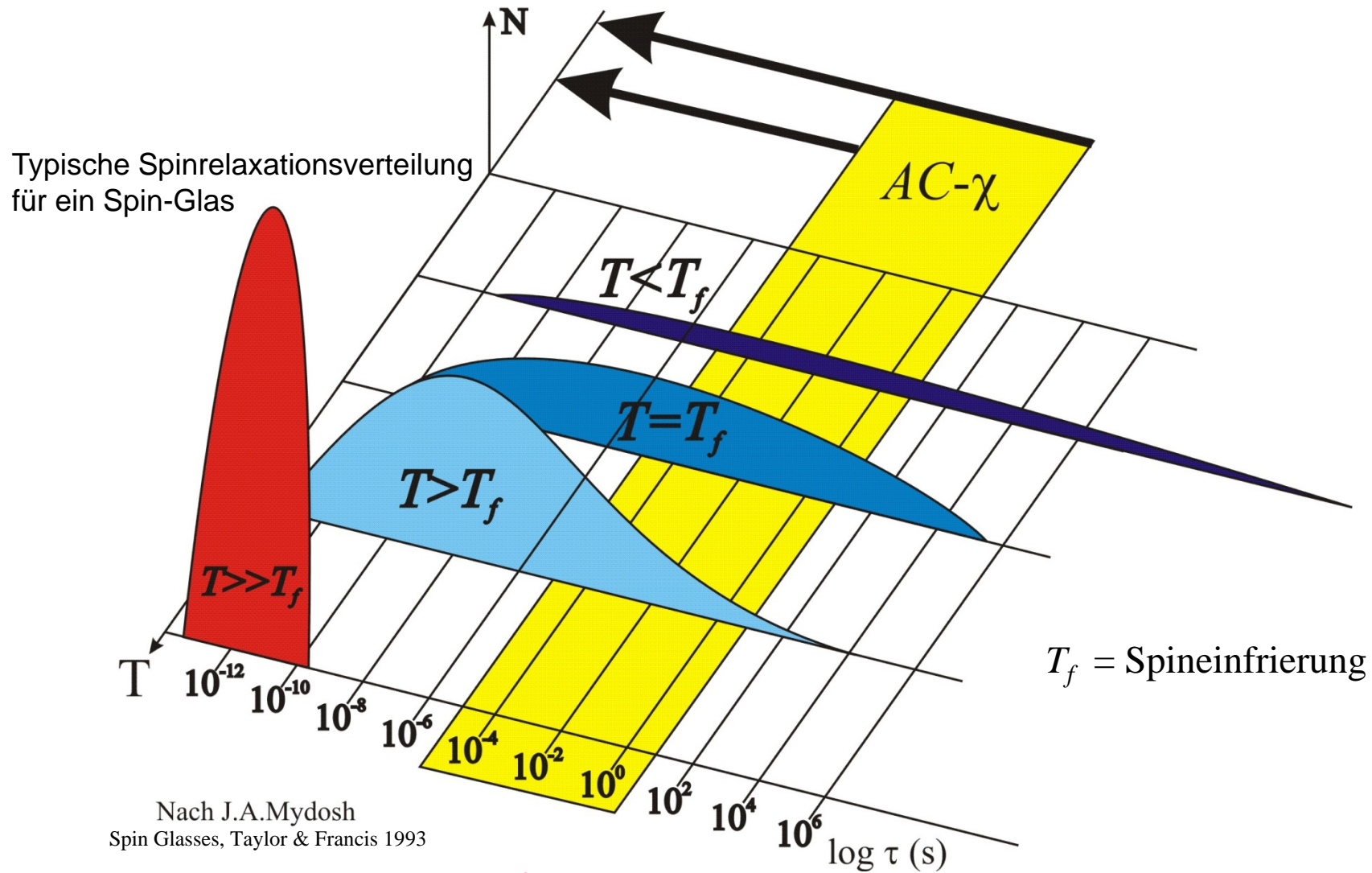
# Real gegen Imaginär



hängt von der Grösse der Cluster und die Verteilung davon ab z.B. in Superparamagneten



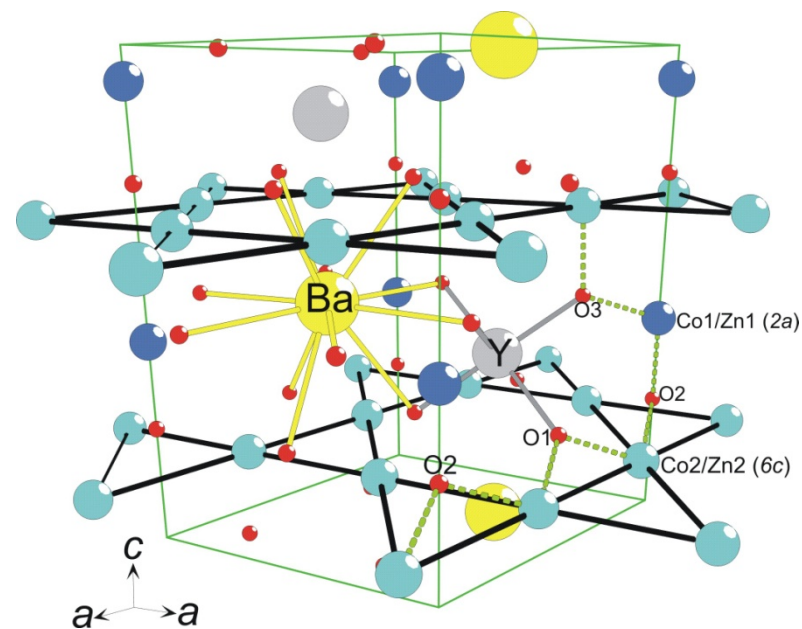
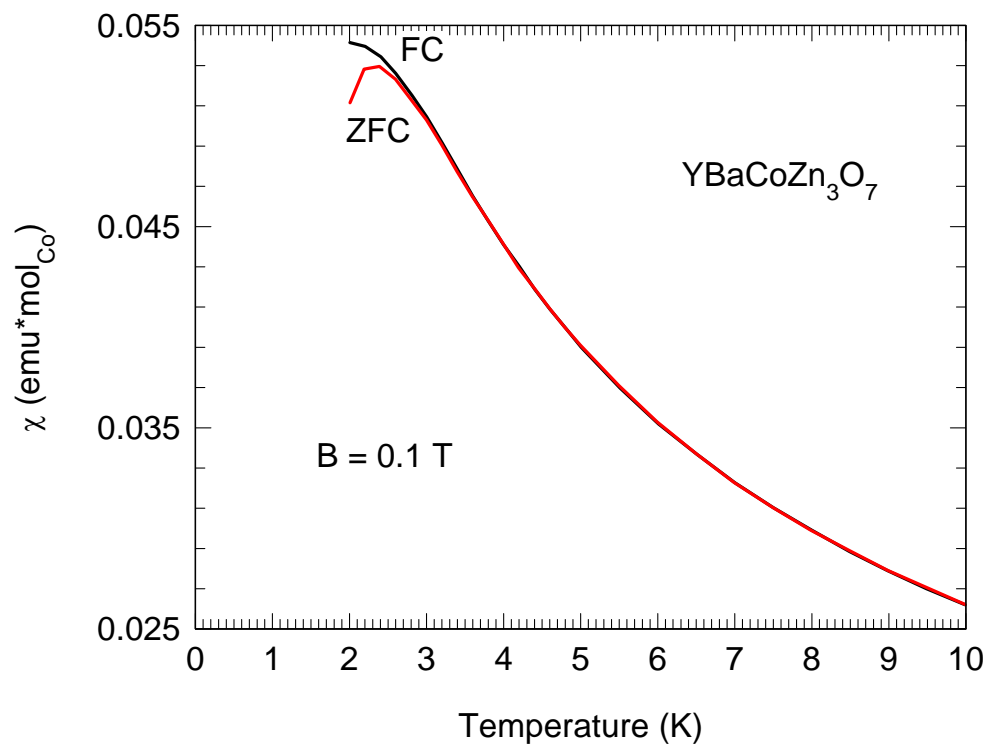
# Das Zeitfenster ist entscheidend



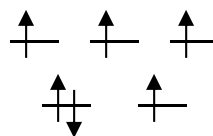
Nach J.A. Mydosh  
Spin Glasses, Taylor & Francis 1993

Was würde Neutronen "sehen"?

# Ein echtes Beispiel, $\text{YBaCoZn}_3\text{O}_7$



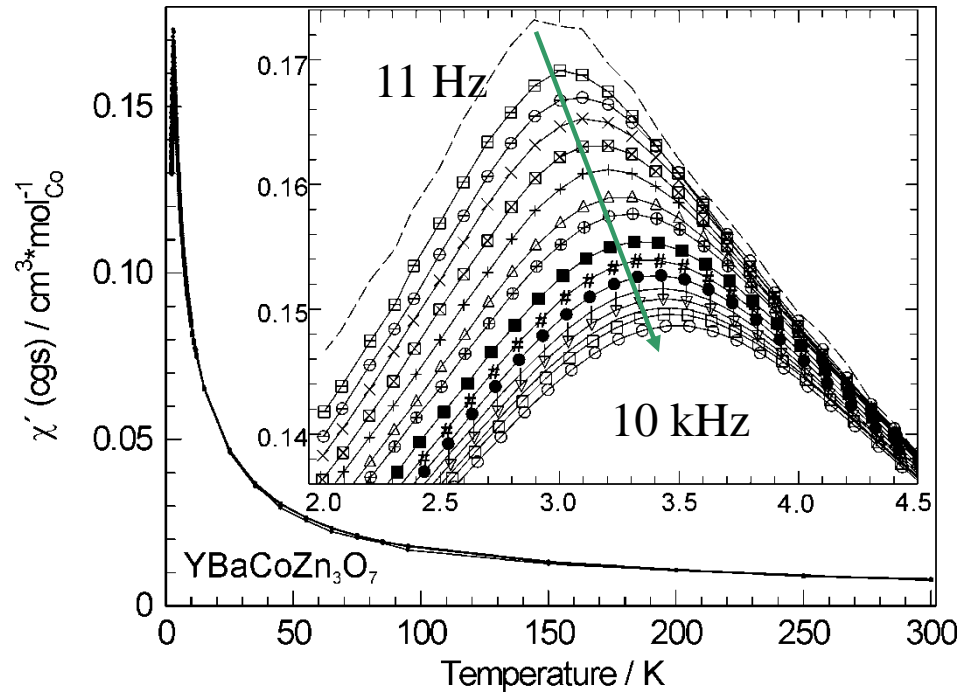
Co<sup>3+</sup> tetraedrisch Koordiniert



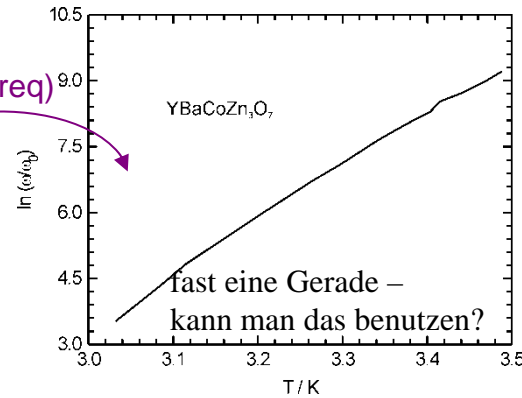
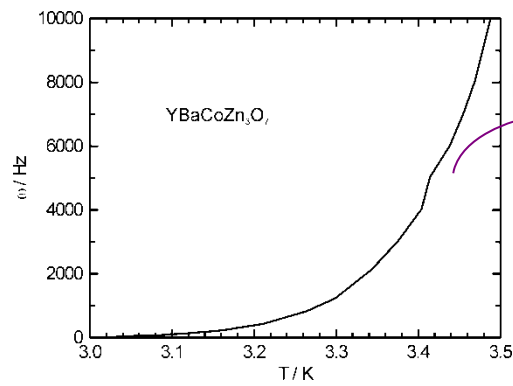
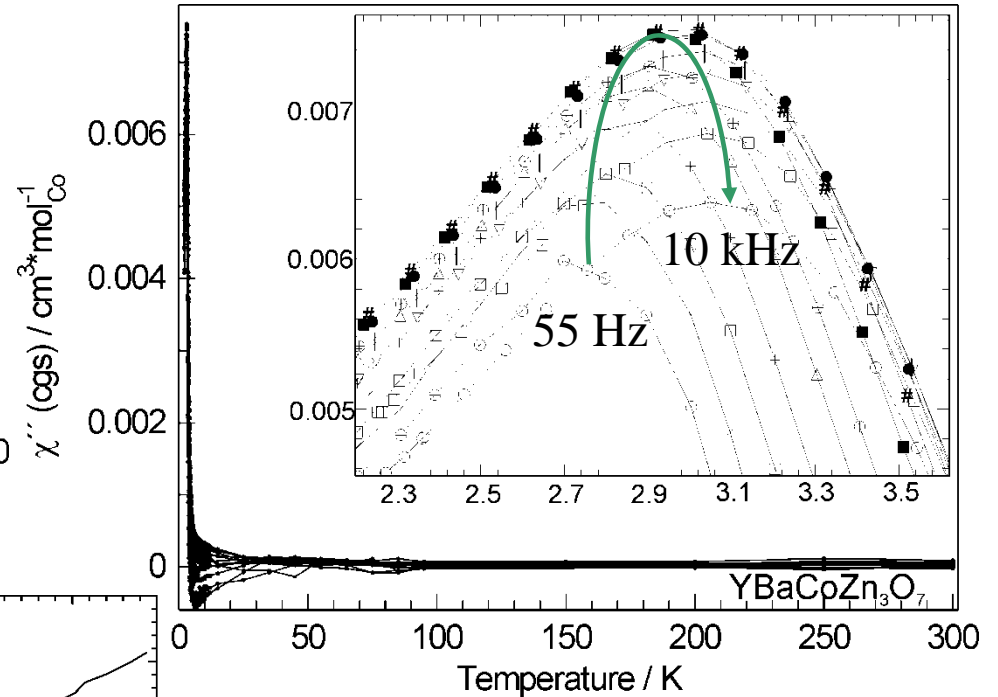
Zn/Co – Unordnung/Verdünnung

Geometrische Frustration

# Ein echtes Beispiel



$H_{AC} = 10 \text{ Oe}$

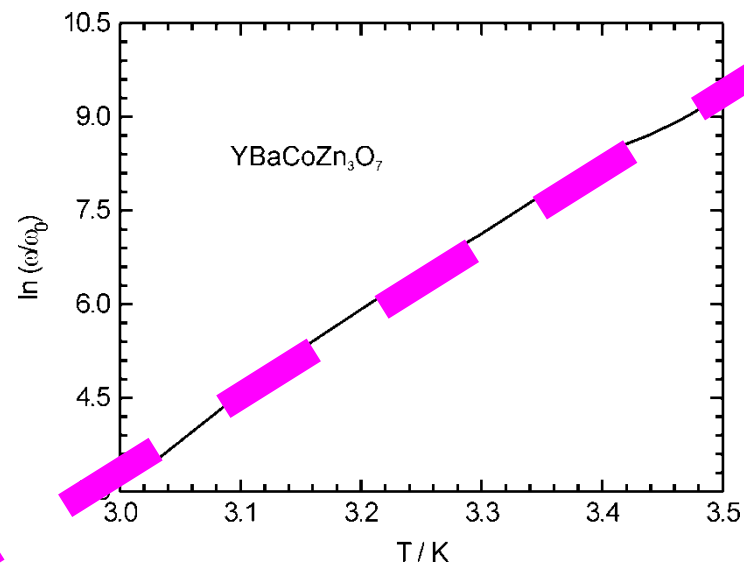


$\varphi = \arctan(\chi''/\chi') = 2.44^\circ \text{ (bei 10 kHz)}$

$T(\chi' \text{ max}) > T(\chi'' \text{ max})$

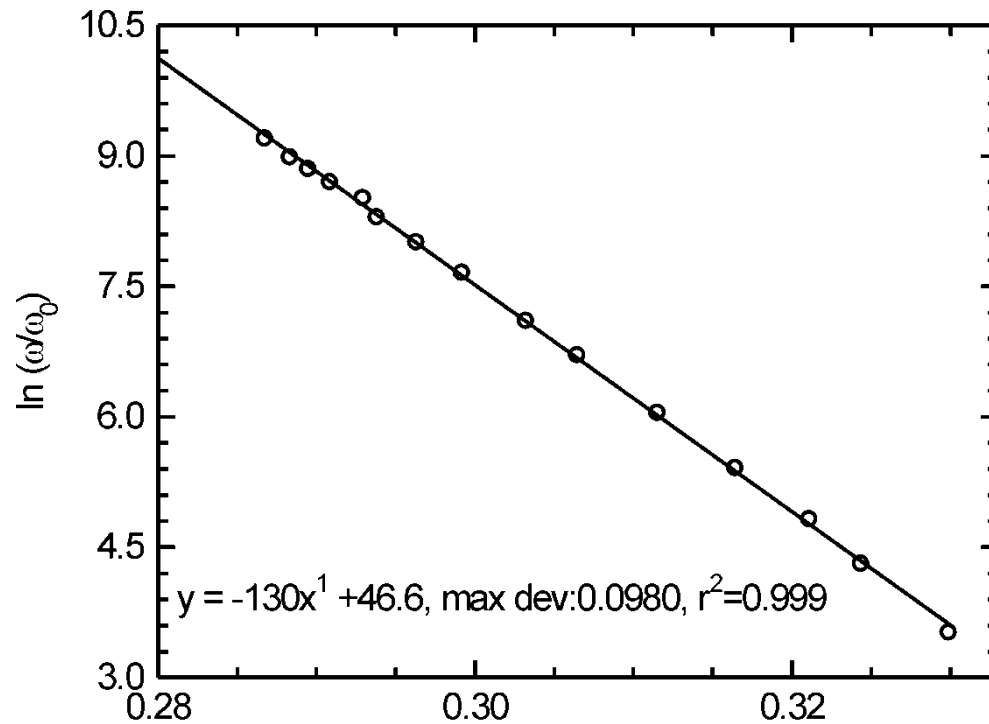
Wie kann man das verstehen?

# Mit den Daten spielen



$$y = kx + m$$

# Arrhenius



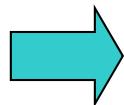
$$\omega = \omega_0 \cdot \exp\left[-\frac{E_a}{k_B T_f}\right]$$

$T_f^{-1} / K^{-1}$

Maximum in  $\chi'$  (abgelesen)

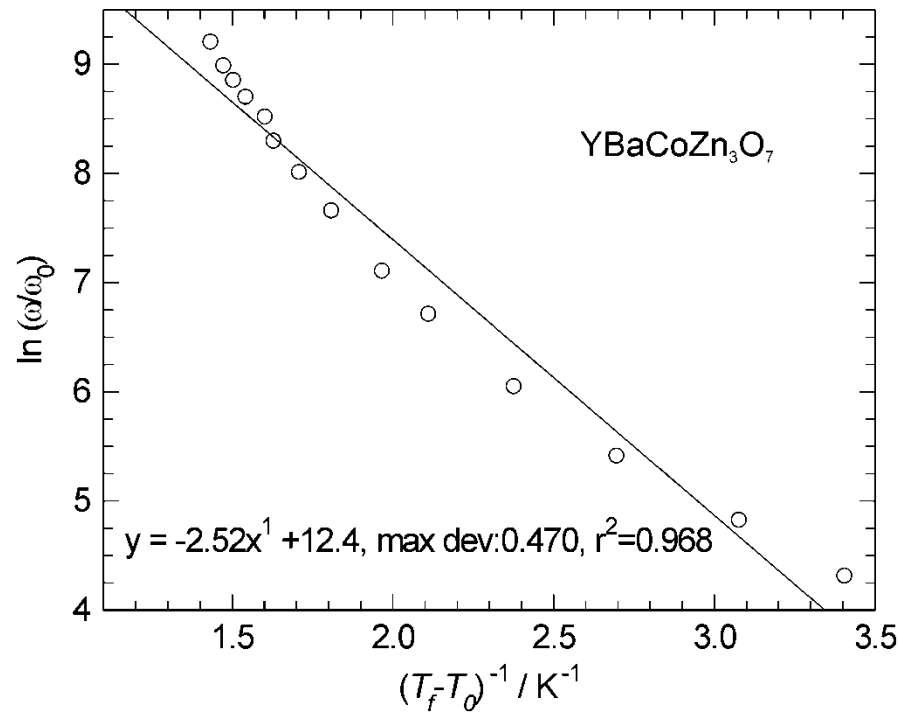
$E_a = 130 \text{ K}$  - macht das wirklich Sinn?

$\omega_0 = e^{46.6} \approx 10^{20} \text{ Hz}$  - nicht wirklich möglich



Wenn dieses Verfahren Sinn macht kann man, höchst wahrscheinlich, das Spinsystem als Superparamagnetisch bezeichnen

# Vogel-Fulcher



Von der Theorie bezüglich der Viskosität unterkühlter Flüssigkeiten kommt die VF-Annahme

$$\omega = \omega_0 \cdot \exp\left[-\frac{E_a}{k_B(T_f - T_0)}\right]$$

$T_0$  = "echte" Glas-Temperatur

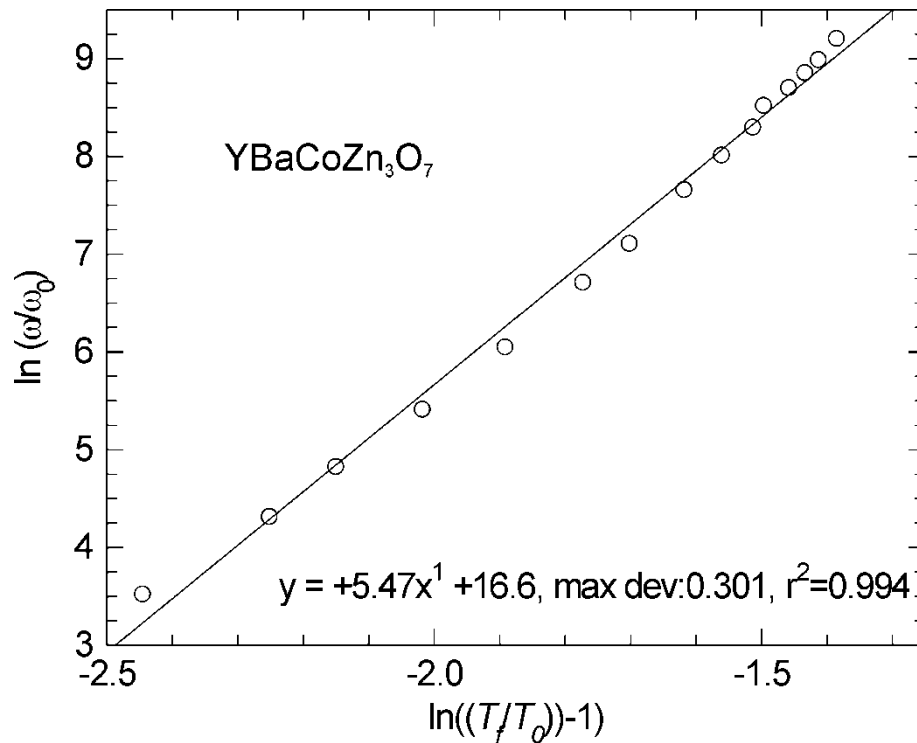
$$T_0 = 2.79 \text{ K}$$

$$E_a = 2.52 \text{ K} \text{ - besser?}$$

$$\omega_0 = e^{12.4} \approx 10^{5.5} \text{ Hz - ok}$$

Die Anpassung zur Kurve ist aber nicht so doll...

# Power-law



$$\tau_{av} = \tau_0 \cdot \left( \frac{T_0 - T_f}{T_f} \right)^{-zv}$$

$\tau = 1/\omega$  ↓

$$\ln \frac{\omega}{\omega_0} = zv \cdot \ln \left( \frac{T_0}{T_f} - 1 \right)$$

dynamischer Exponent  $zv = 5.47$

$\omega_0 = e^{16.6} \approx 10^7$  Hz - wirklich ok

Empirisches Verfahren:

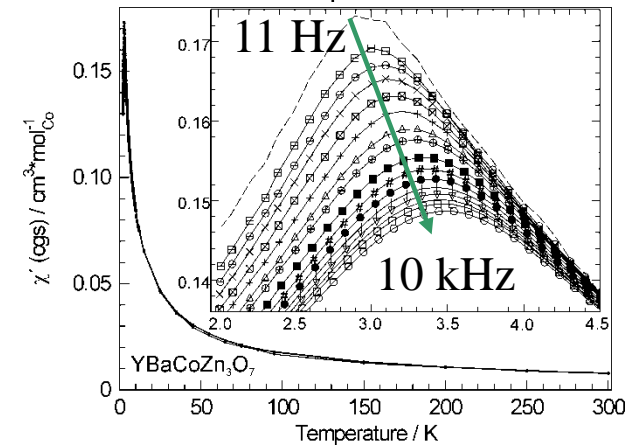
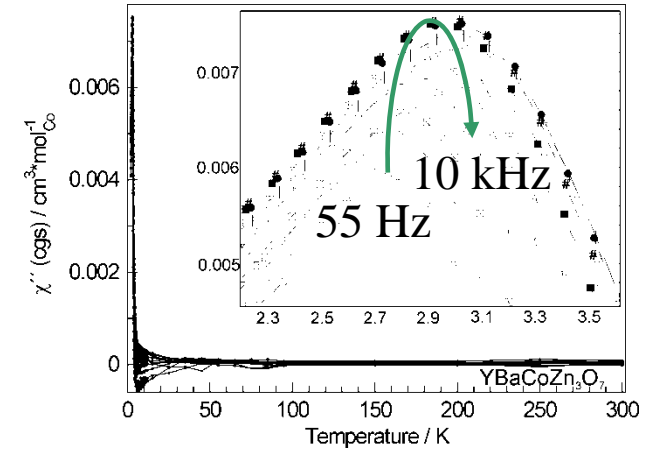
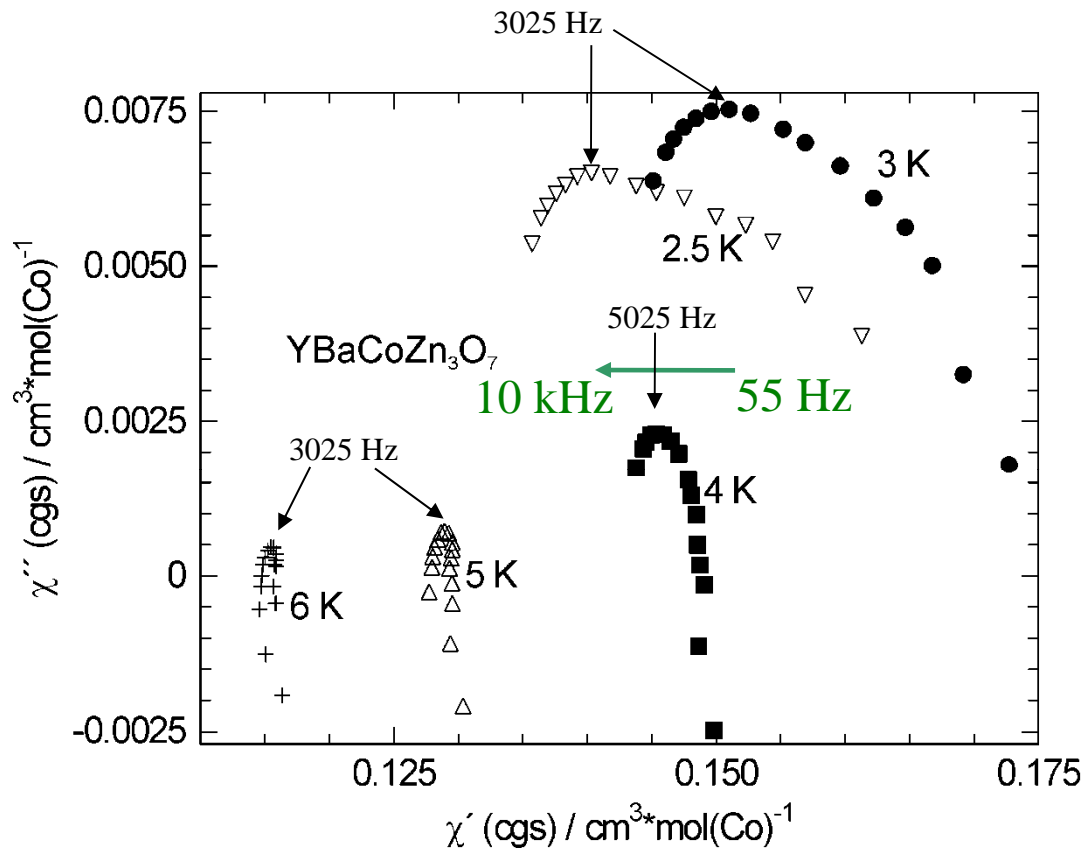
System	$\Delta T_f / [T_f \Delta(\log \omega)]$	
CuMn	0.005	Metallische SG
PdMn	0.013	
(LaGd)Al <sub>2</sub>	0.03	Isolierende SG
YBaCoZn <sub>3</sub> O <sub>7</sub>	0.059	
(EuSr)S	0.06	
a-(Ho <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )(B <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	0.28	Superparamagnet

Empirische Daten:

$zv$	Magnettyp
0-2	normale Phasenübergänge
4-12	Spin-Gläser



# Argand (Cole-Cole) Diagram



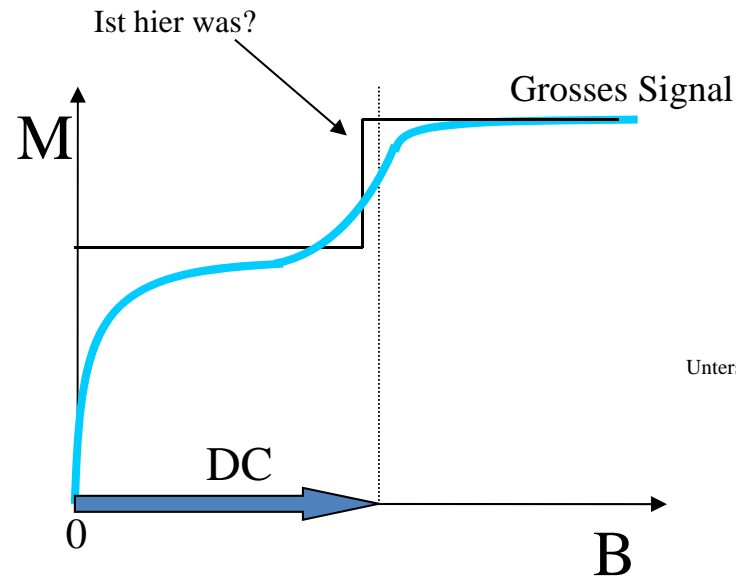
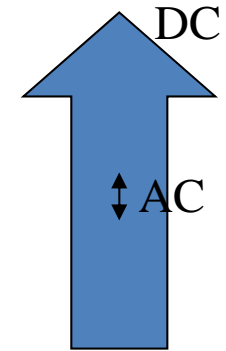
Am Maximum gilt  $\omega\tau = 1$

d.h.

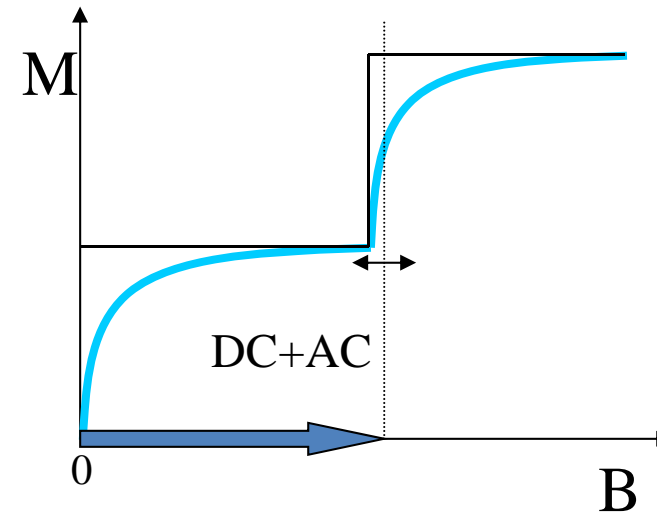
die durchschnittliche Relaxationszeit der Spins am Übergang ist 1/3025 s (oder 1/5025 s)

**AC/DC**

# AC-Messung im DC-Feld



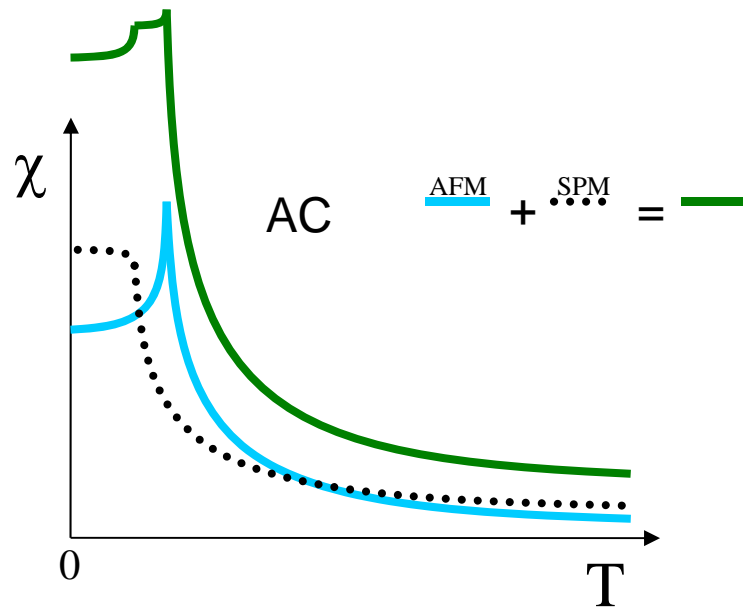
Unterschied ist hier übertrieben



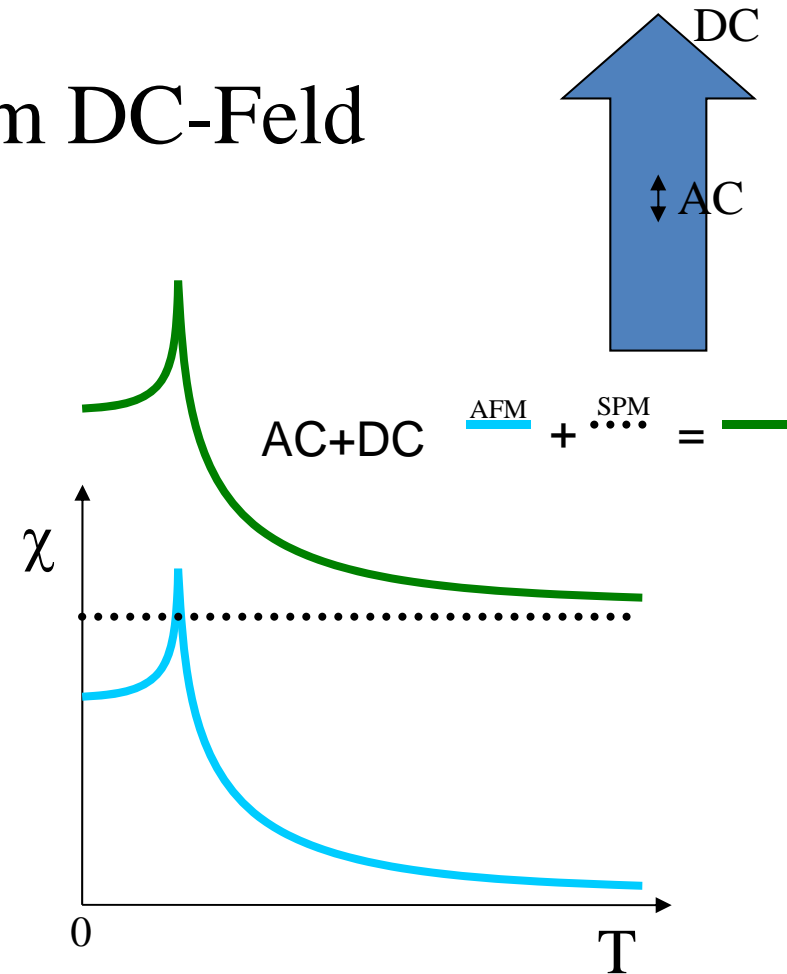
$$M_{AC} = \left( \frac{dM}{dH} \right) \cdot H_{AC} \sin(\omega t)$$

Das signal im AC-Modus ist von der **Steigung** der Kurve ( $dM/dH$ ) abhängig und **nicht vom Gesamtsignal** ( $M$ ).

# AC-Messung im DC-Feld



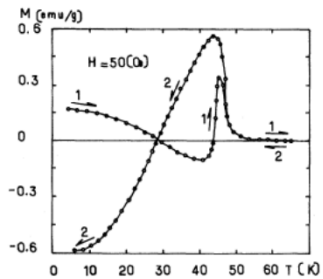
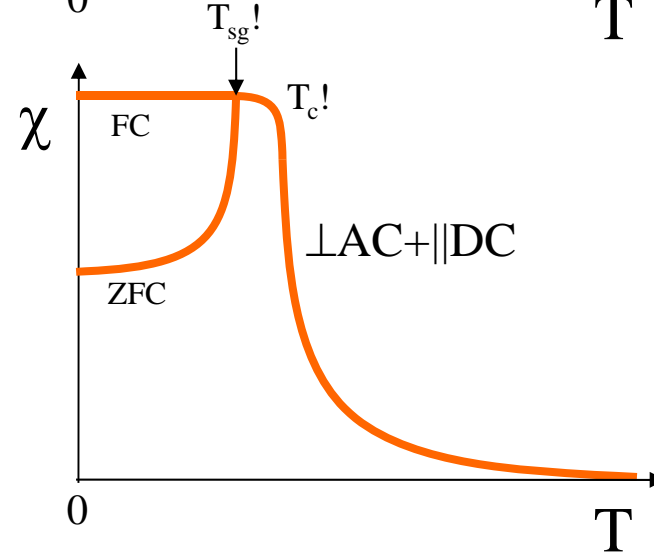
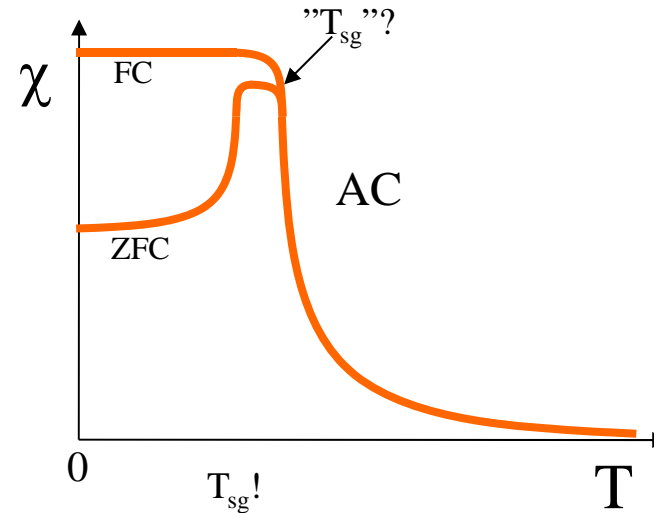
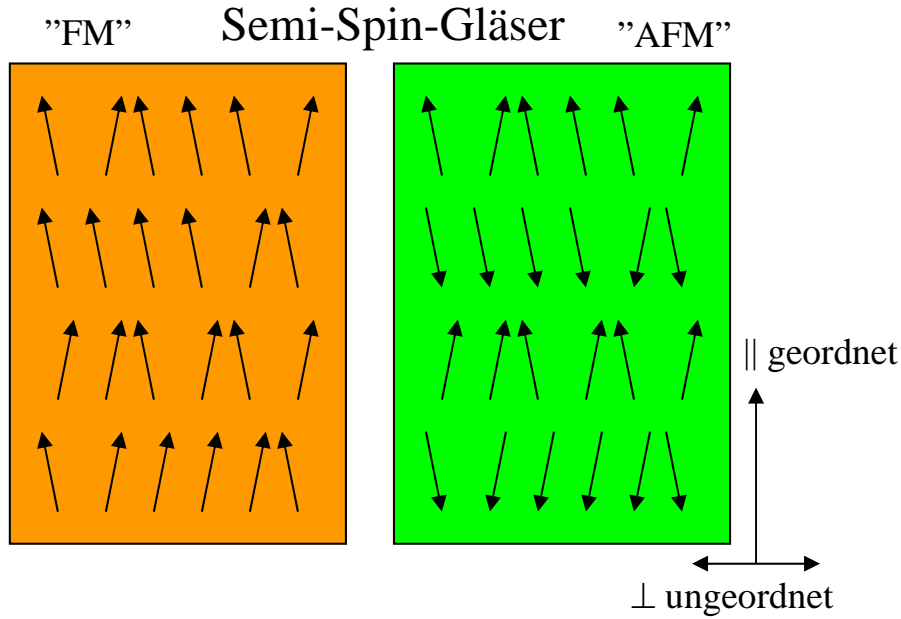
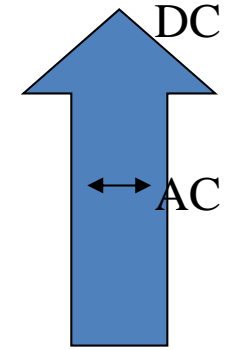
Ferromagnetische Verunreinigungen  
(Superparamagnetismus)  
können gesättigt werden, damit die  
Daten "sauberer" werden.



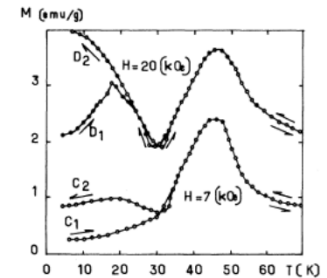
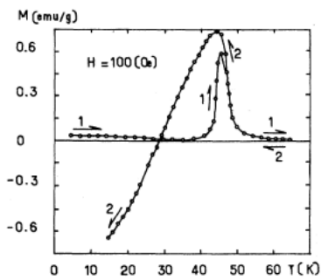
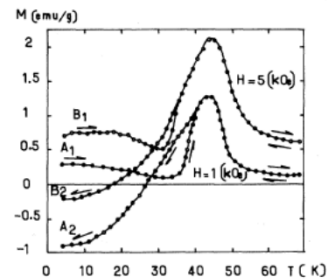
Die Absolutwerte können aber  
nicht mehr benutzt werden

Bedingung: Dies funktioniert nur unterhalb  $T_c$  von den ferromagnetischen Domänen.

# AC-Messung im DC-Feld



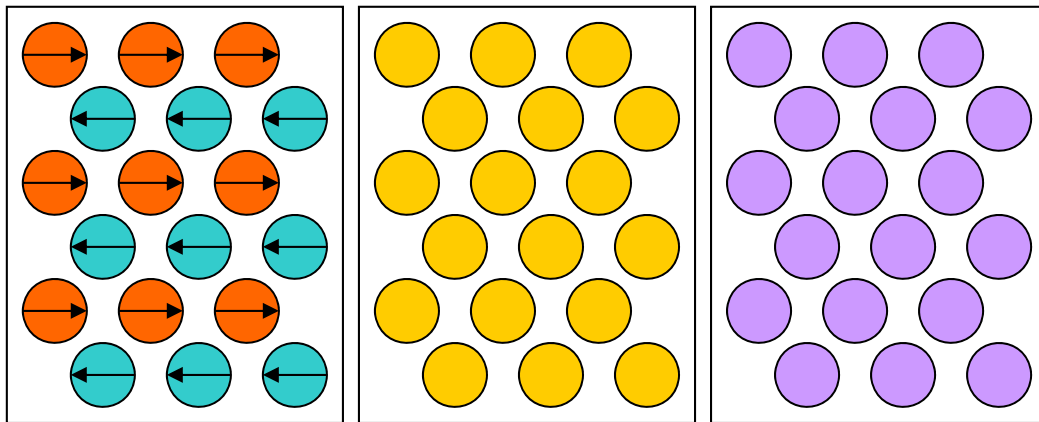
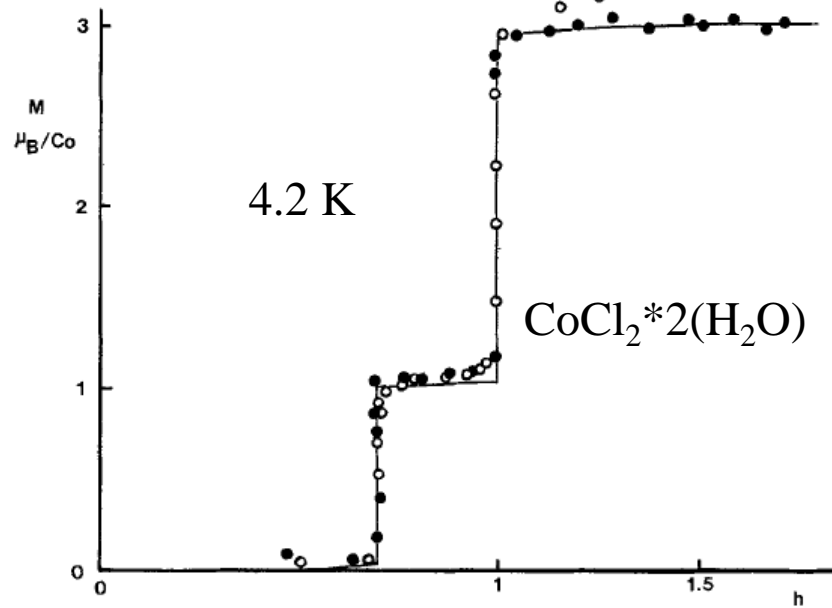
Co<sub>2</sub>TiO<sub>4</sub>  
Pulver



Bei Ferro oder Ferri-magneten spielt es eine Rolle aber bei Antiferromagneten kaum eine. Warum?

DC

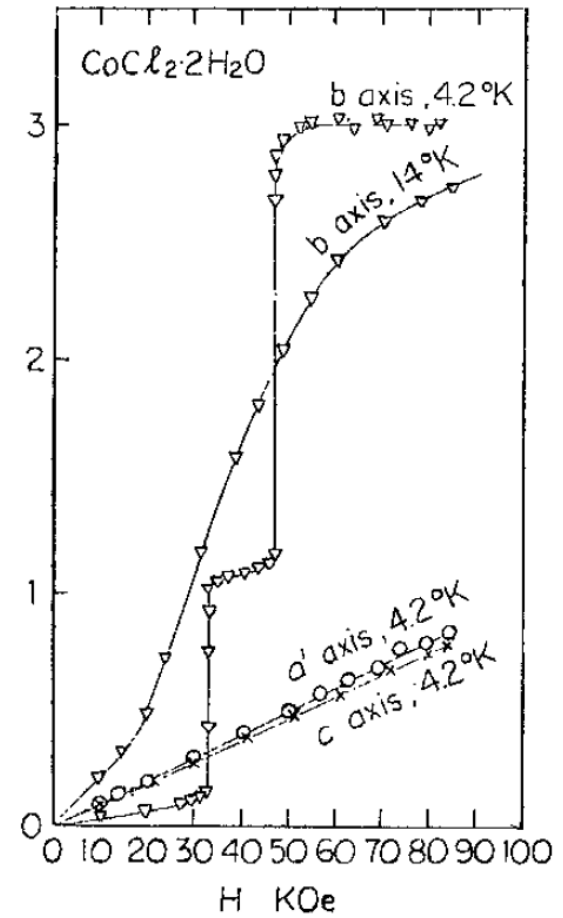
# Spin Flip



Antiferromagnet

Wie sehen diese Zustände aus?

$\rightarrow b$

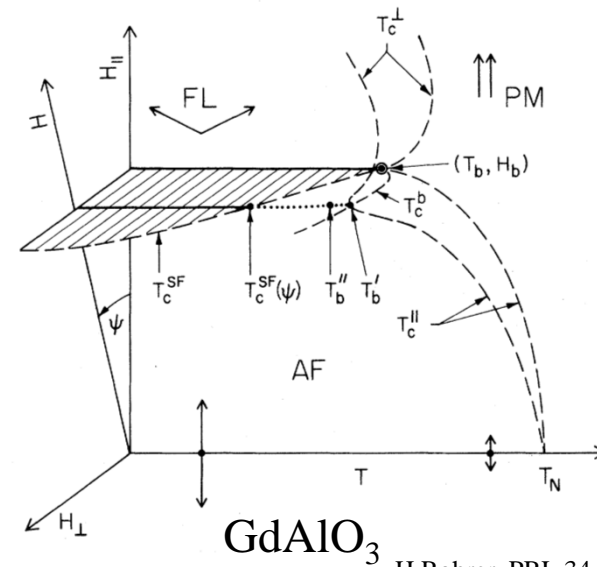
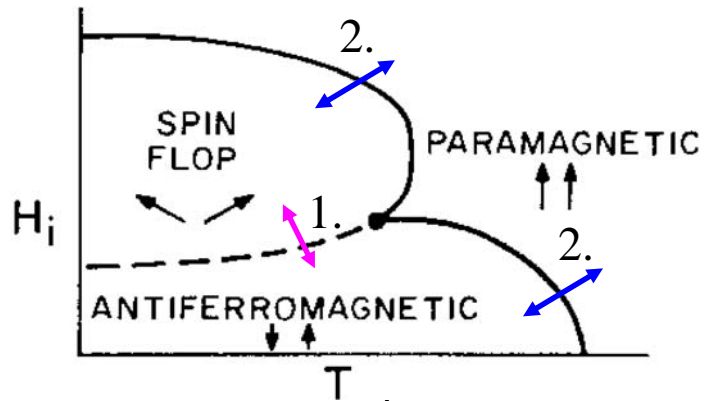


Mit einem äusseren Feld kann einen neuen magnetischen Zustand erreicht werden

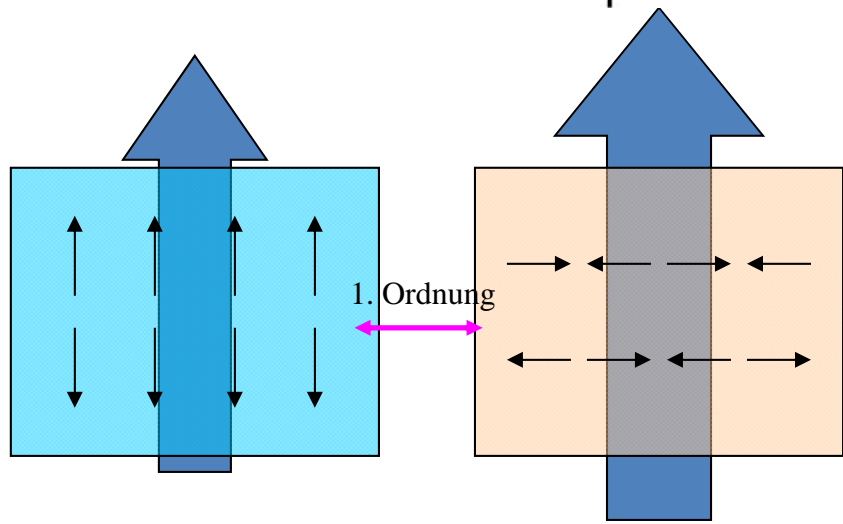
Sprunghafte Erhöhung des Magnetismus bei einem "kritischen Feld"



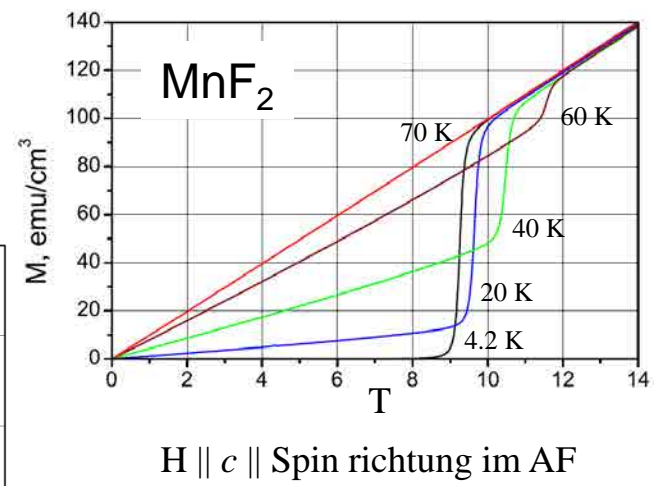
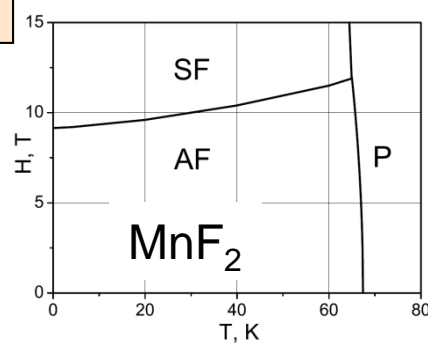
# Spin Flop



$GdAlO_3$  H.Rohrer, PRL 34 (1975) 1638



Was ist so besonders an den Systemen wo dieses Phänomen vorkommt?



$H \parallel c \parallel$  Spin richtung im AF

# Zusammenfassung

- Spindynamik ist Zeit- und Feldabhängig.
- AC-Suszeptometrie enthüllt wie schnell ein Spin auf ein äusseres Feld "antworten" kann.
- Die Spins, die zu langsam sind, tragen nicht zu  $\chi'$  (Realteil – "in Phase") bei sondern zu  $\chi''$  (Imaginärteil) bei.
- Mathematische Analyse von  $\chi'$  und  $\chi''$  geben auskunft über was für einen Spin-Zustand vorliegt.
- Mit B-Feld erzwungene Spin-Flip und -Flop-Prozesse berichten über Spin-Spin-Kopplungen und zeigen wie kompliziert Spin-Anregungen sind.
- Die Kombination aus AC und DC Suszeptibilität helfen dabei exotische Spinzustände zu identifizieren oder gewisse Verunreinigungen auszuschliessen.

Nächster Termin 8.6.2016 magnetische Mono- bis Polymere