

Spins Do -Experimenteller Magnetismus



Martin Valldor

IBM-Ahmed

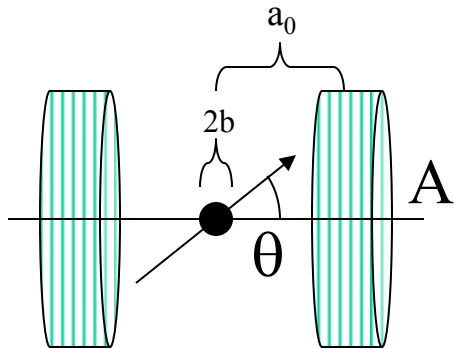
Die Messung von Magnetismus

Induktion



VSM

(vibrating sample magnetometer)



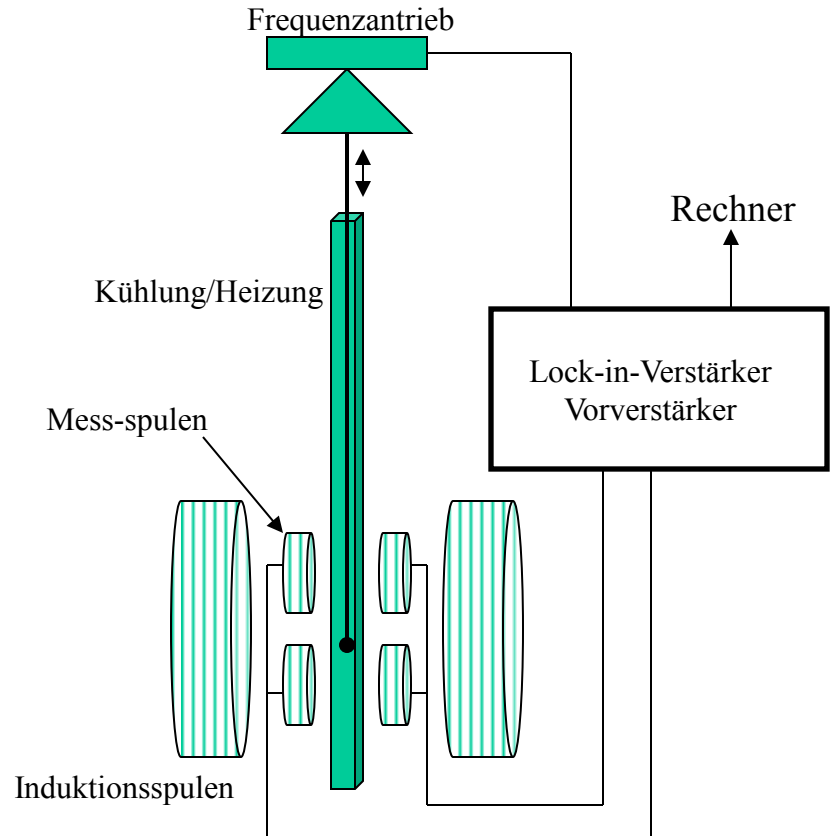
$$H_z = \frac{m}{4\pi r^3} (3 \cos \theta - 1) \approx \frac{m}{2\pi a^3}$$

$$a = a_0 + b \sin \omega t$$

$$\dot{H}_z = \frac{\delta H_z}{\delta a} \dot{a} \approx -\frac{3m}{2\pi a_0^4} b \omega \cos \omega t$$

Amplitude

$$U_{\max} = 2NA \dot{B}_z = \frac{3NA b \omega \mu_0 m}{\pi a_0^4}$$



Test:

$$a_0 = 2 \text{ cm}$$

$$A = 2 \text{ cm}^2$$

$$N = 1000$$

$$b = 1.5 \text{ mm}$$

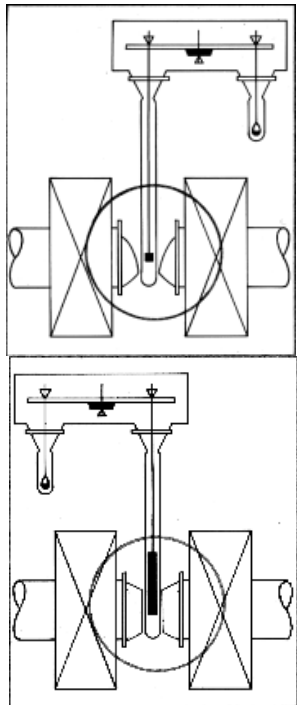
$$\omega/2\pi = 67 \text{ Hz}$$



$$\mu_0 m = 1.3 \cdot 10^{-14} \text{ Vsm}$$

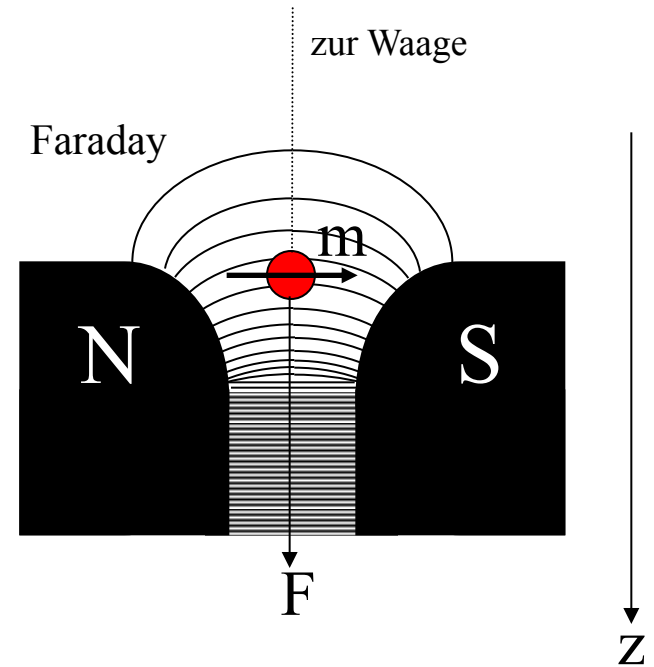
$$m = 10^{-8} \text{ Am}^2 \text{ oder } 10^{16} \mu\text{B}$$

Faraday/Fereday/Gouy-Waage



Faraday

Gouy



Die Energie vom Dipol im Feld:

$$E = -m \cdot B$$

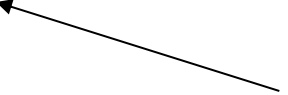
$$F = -\nabla E$$



$$F = \nabla(m \cdot B)$$

Im Feldgradient wirkt auf die Probe die Kraft:

$$F_z = m \frac{dB}{dz}$$



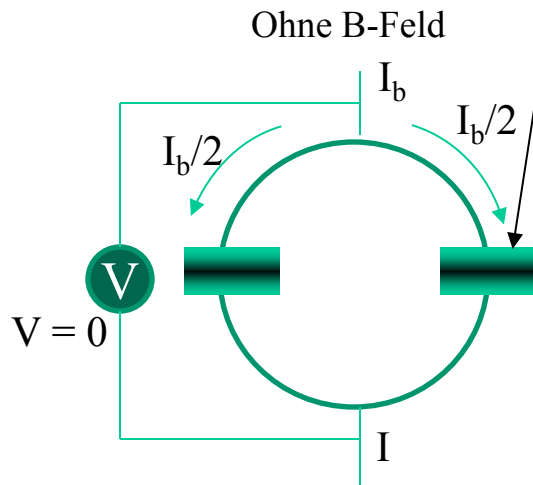
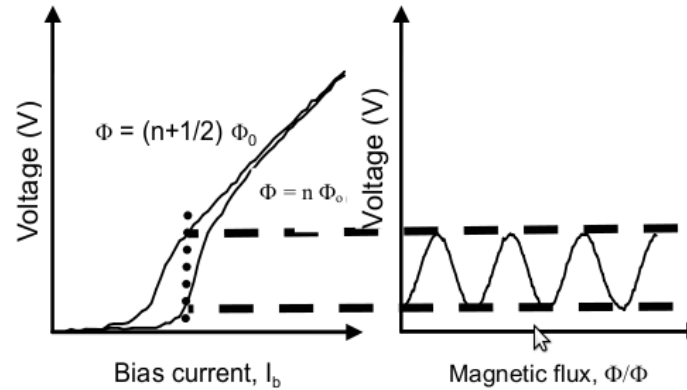
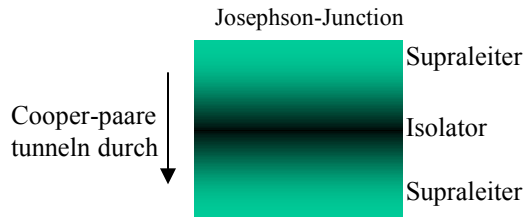
Wenn die Waage empfindlich ist kann sie etwa **1 nN** messen und das Feldgradient liegt so um **10 T/m**:

$$\mu_0 m = 1.3 \cdot 10^{-16} \text{ Vsm}$$

$$m = 10^{-10} \text{ Am}^2 \text{ oder } 10^{14} \mu\text{B}$$

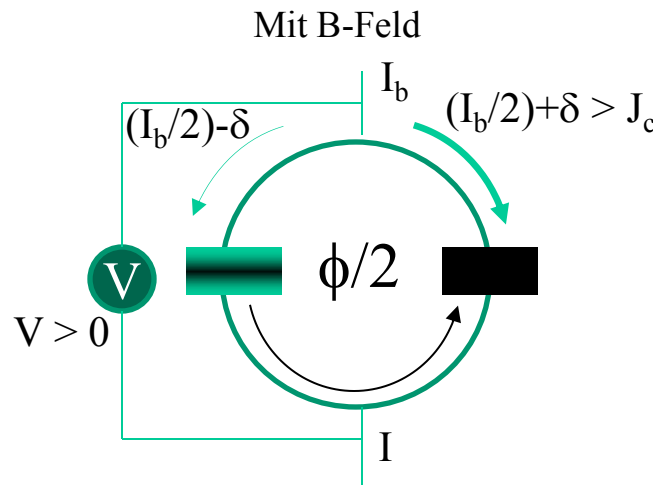
SQUID

(superconducting interference device)



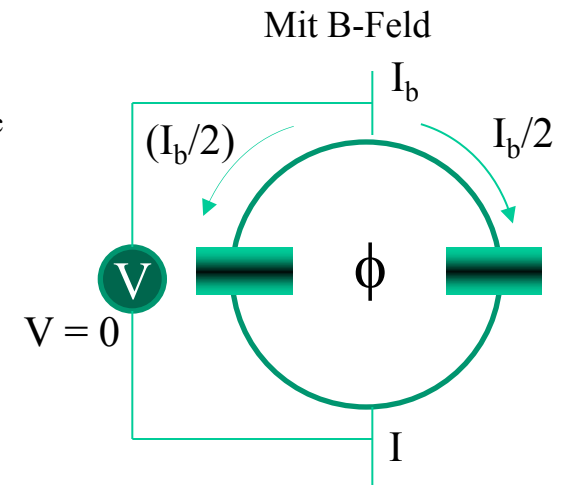
$I_b/2 \approx J_c$ Immer noch SL
- diamagnetisch

Was bedeutet das?



teils normalleitend
- metallisch

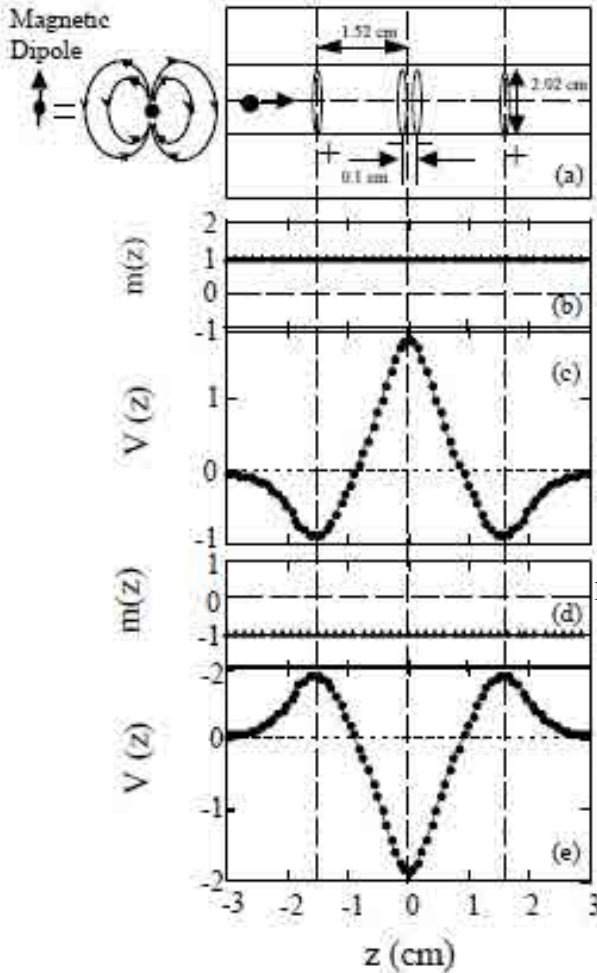
Das Flussquantum muss "ganz" gemacht werden
- ein Strom fließt in die andere Richtung



Ausgangsposition (fast)

$\mu_0 m = 6 \cdot 10^{-20} \text{ Vsm}$
 $m = 5 \cdot 10^{-14} \text{ Am}^2$ oder $5 \cdot 10^9 \mu\text{B}$

Das Signal vom SQUID



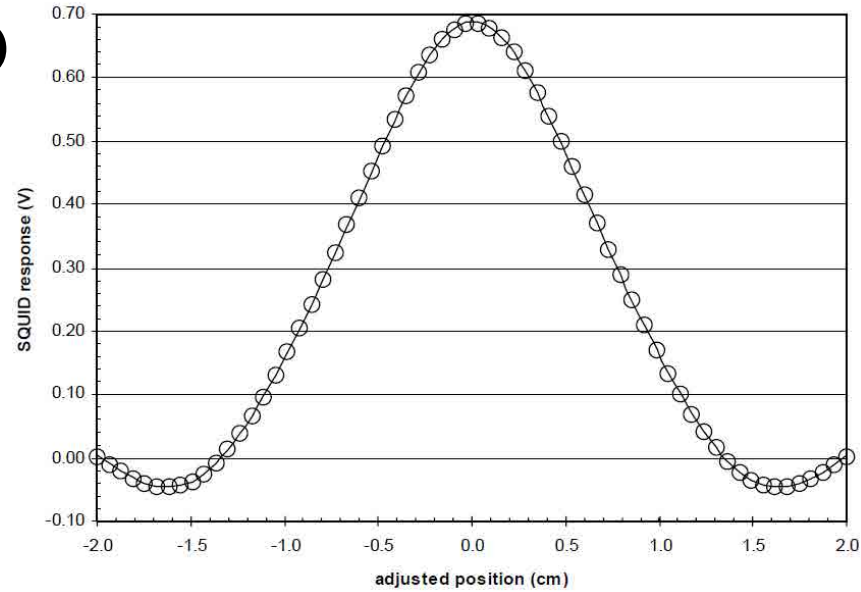
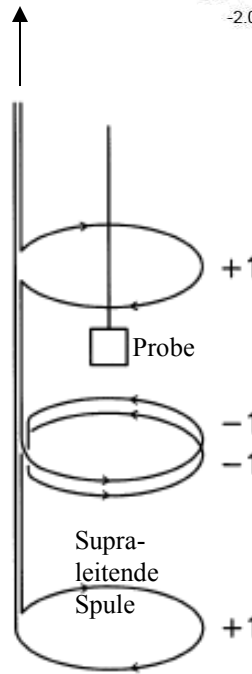
Magnetisches Moment

SQUID Signal

Magnetisches Moment

SQUID Signal

Zum SQUID



- Z = Probeposition
- R=0.97 cm
- $\Lambda = 1.519$ cm
- X(1) = konst. V offset
- X(2) = elektronische Abdrift
- X(4) = Probenverschiebung

Longitudinaler Regressionsfaktor

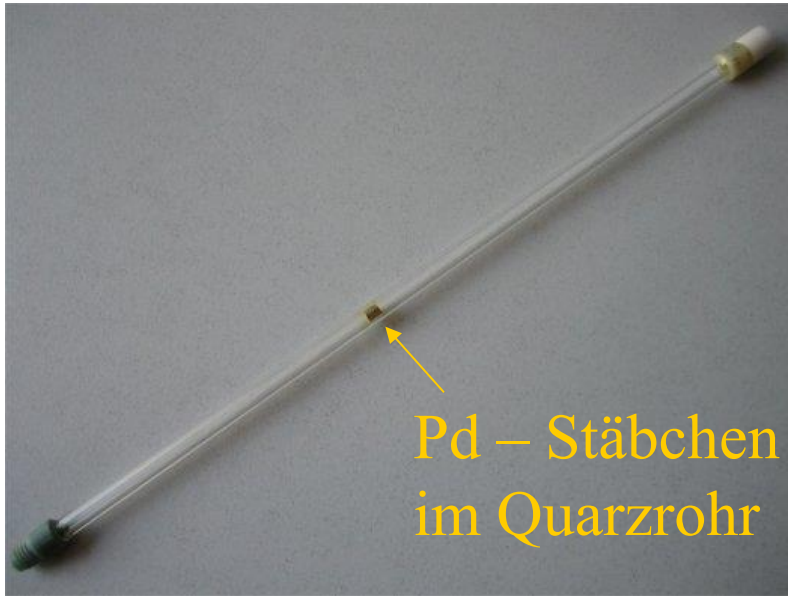
$$Moment(emu) = \frac{X(3) \cdot LRF}{SQUIDcal. \cdot Empf \cdot FB}$$

Empfindlichkeitsfaktor Fehlererhebungsfaktor

Anpassungsfunktion:

$$f(Z) = X(1) + X(2) \cdot Z + X(3) \cdot \{2[R^2 + (Z + X(4))^2]^{-3/2} - [R^2 + (\Lambda + (Z + X(4)))^2]^{-3/2} - [R^2 + (-\Lambda + (Z + X(4)))^2]^{-3/2}\}$$

Kalibrieren

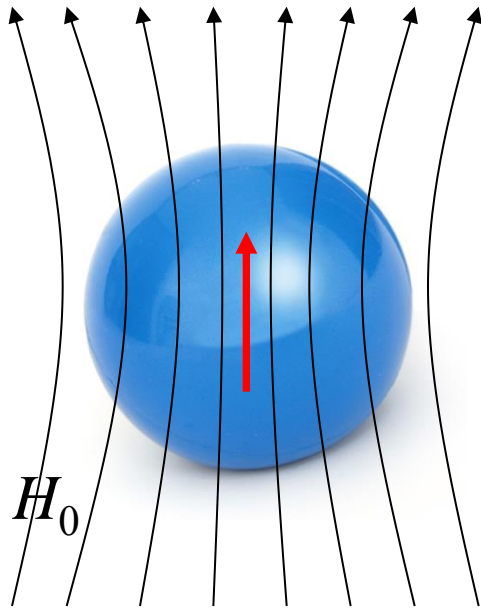


Pd (<30 ppm Verunreinigungen)

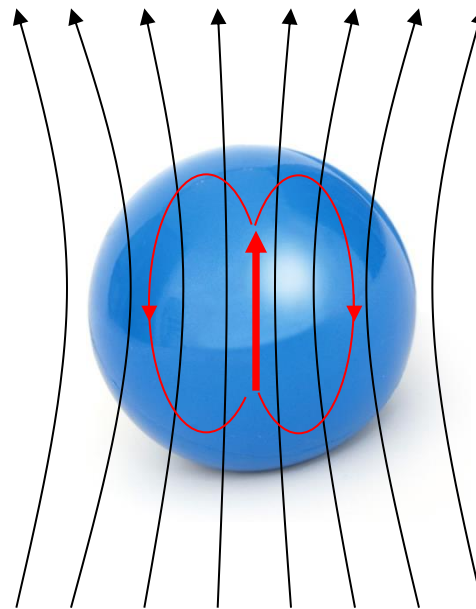
Temperature (K)	Susceptibility ($\chi_g \times 10^{-6} \text{ cm}^3/\text{g}$)
295	5.28
296	5.27
298	5.25
299	5.24

Probe mit bekannten Eigenschaften wird benutzt um das Signal zu Skalieren ⁷

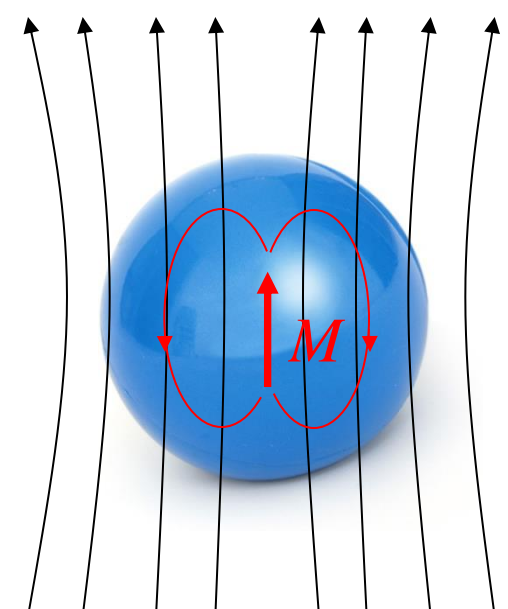
Entmagnetisierungsfaktor



Feld H wird angelegt
Die Probe wird ein Dipol



Das Dipol in der Probe
erzeugt auch ein Feld



Feld H wird in der Nähe
der Probe geschwächt

$$M = \chi \left(H_0 - \frac{M}{3} \right) \Rightarrow M = \frac{\chi}{1 + (\chi/3)} H_0 < \chi H_0$$

Form	c/a	N_c	$N_a=N_b$
Schicht	0	1	0
Kugel	1	1/3	1/3
Nadel	∞	0	1/2

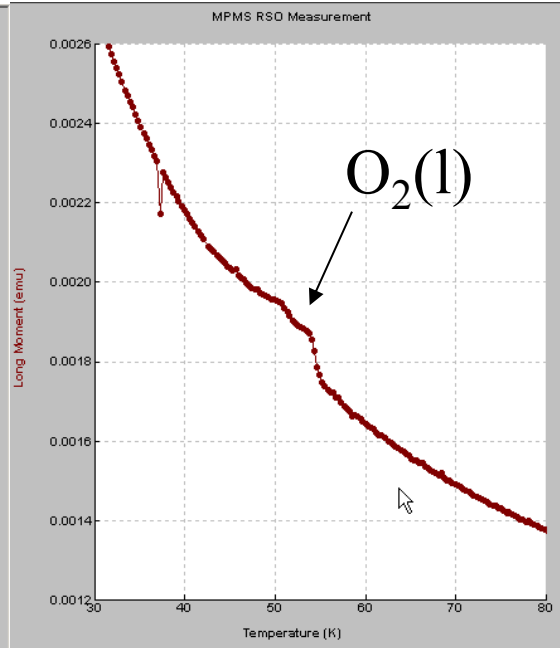
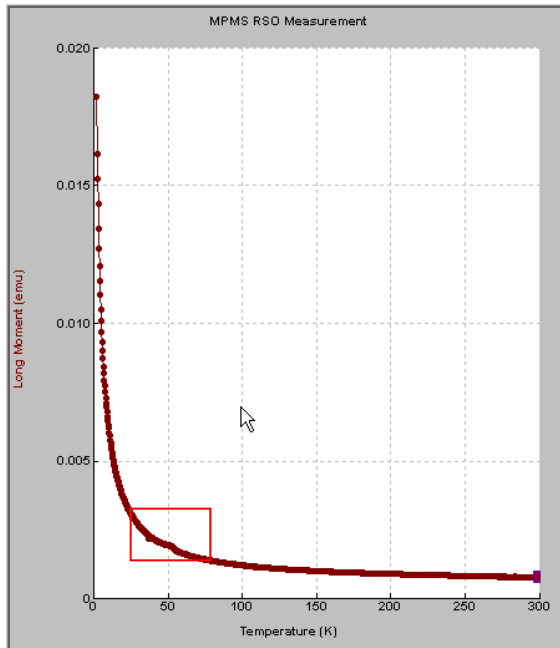
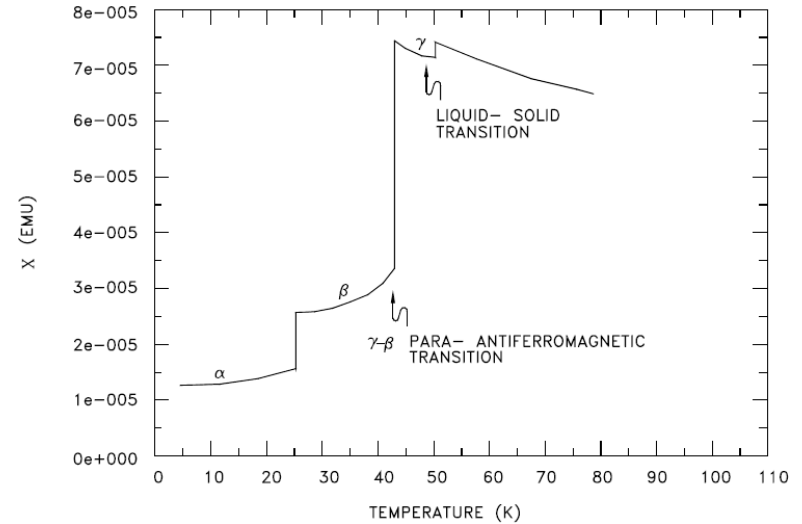
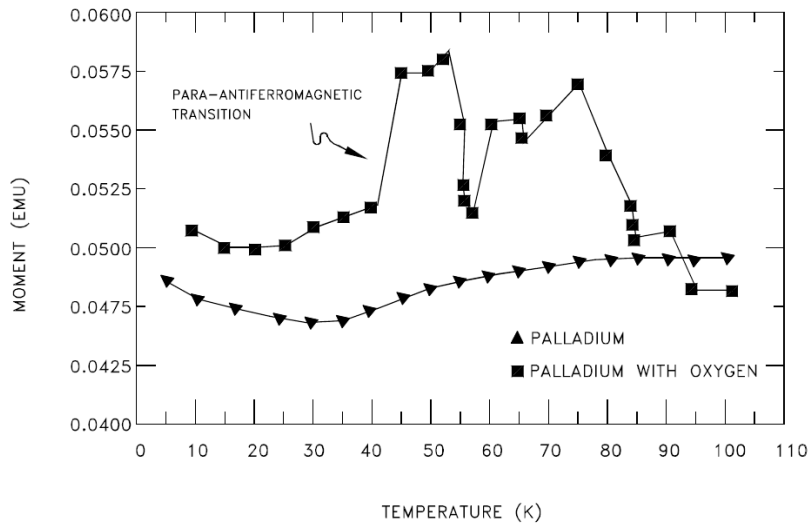
Wann spielt dies wirklich eine Rolle?
Wie beeinflusst dieser Faktor deine Messung?

Fehler

davon gibt es eine Menge...

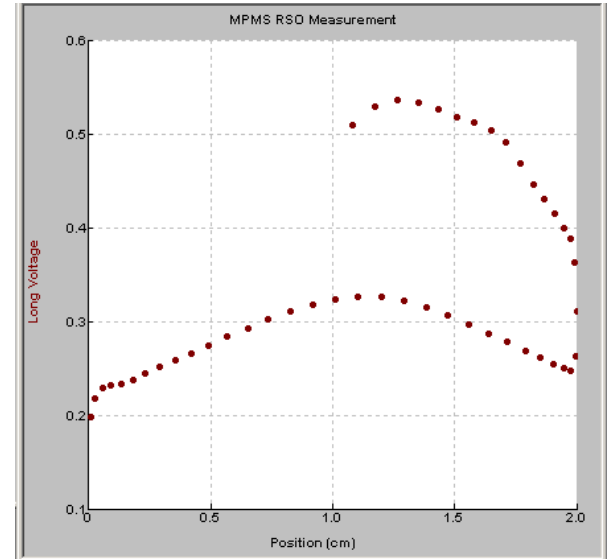
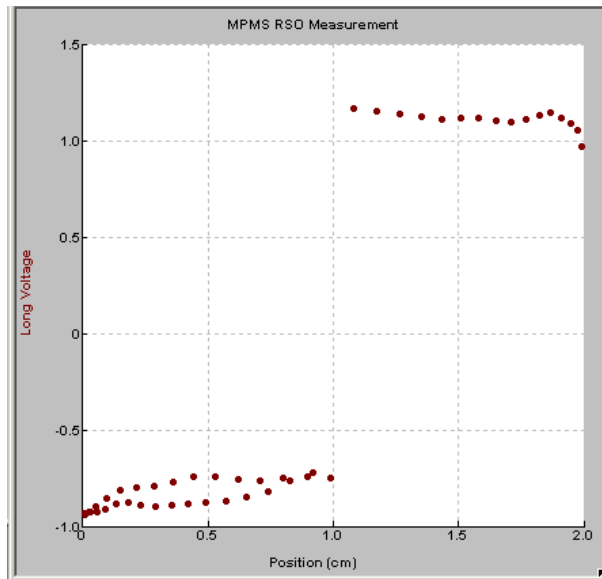
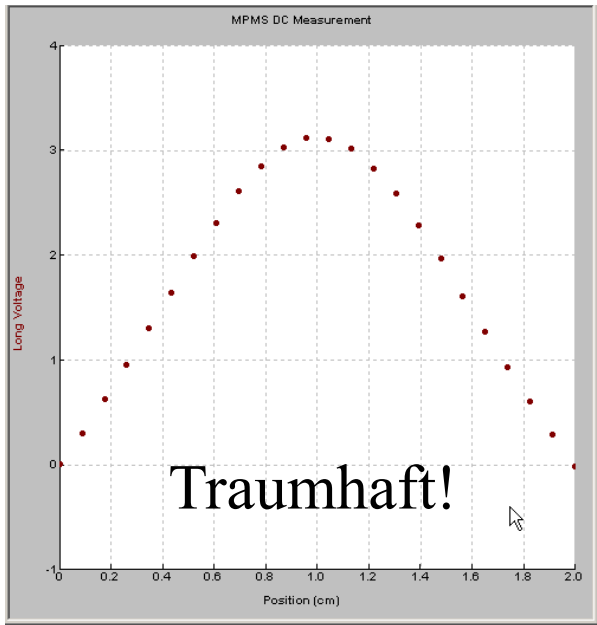
Undichtes Gerät?

S. Gregory Physical Review Letters 40, 723 (1978)



Sauerstoff ist magnetisch und kondensiert oder friert, wenn möglich, im B-feld ein – wird hineingezogen.

Immer die "Roh"-Daten anschauen

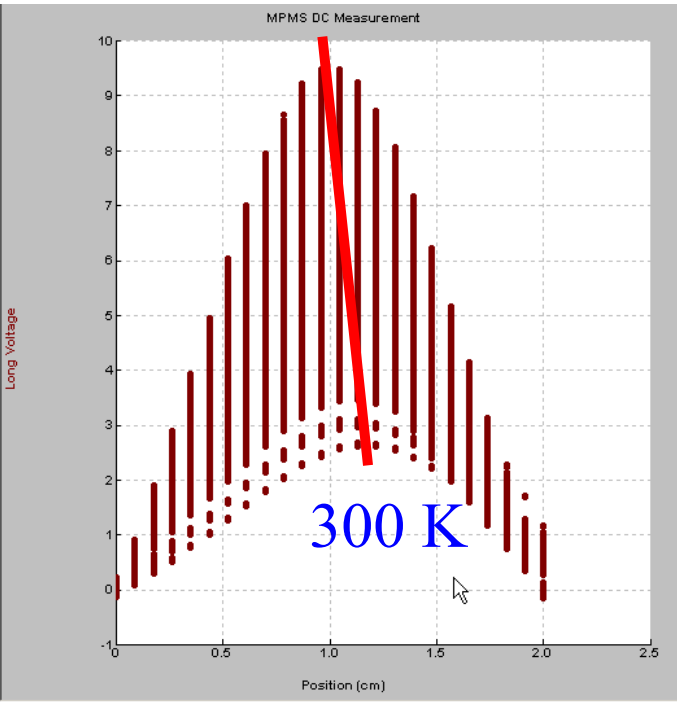


Was ist hier denn passiert?
Vorschläge?

Probe position

Autotrack löst das Problem – oder?

2 K

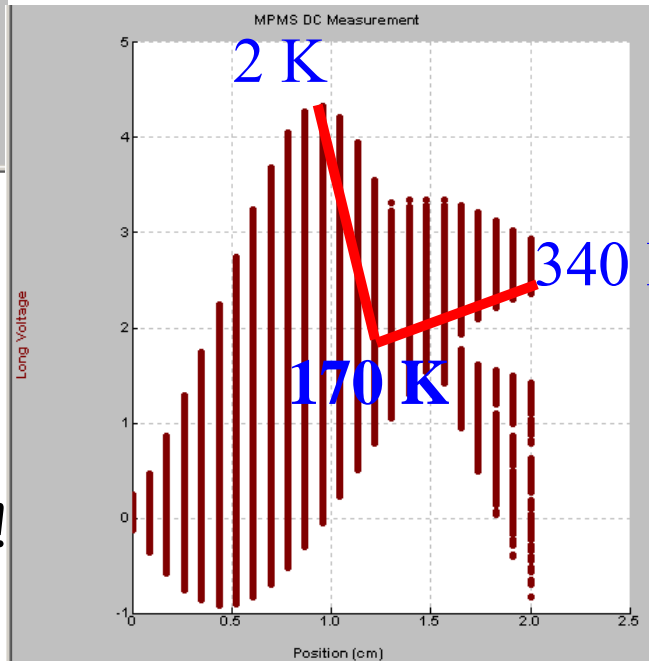


300 K

Probenhalten hat eine thermische Ausdehnung
– hier etwa 2mm per 300K

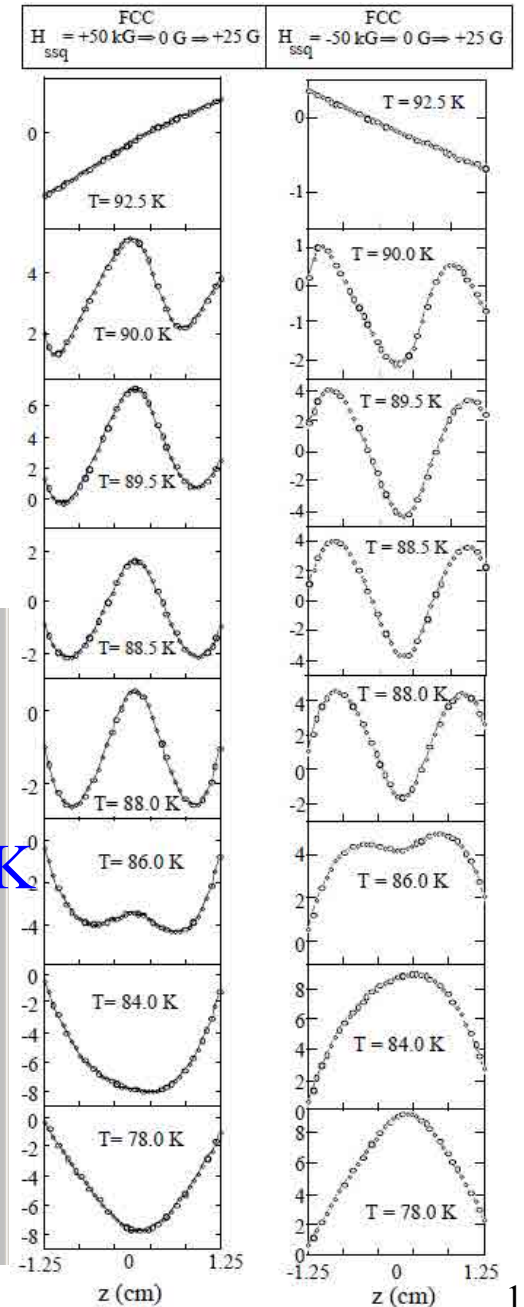
Probe verrutscht!

2 K



170 K

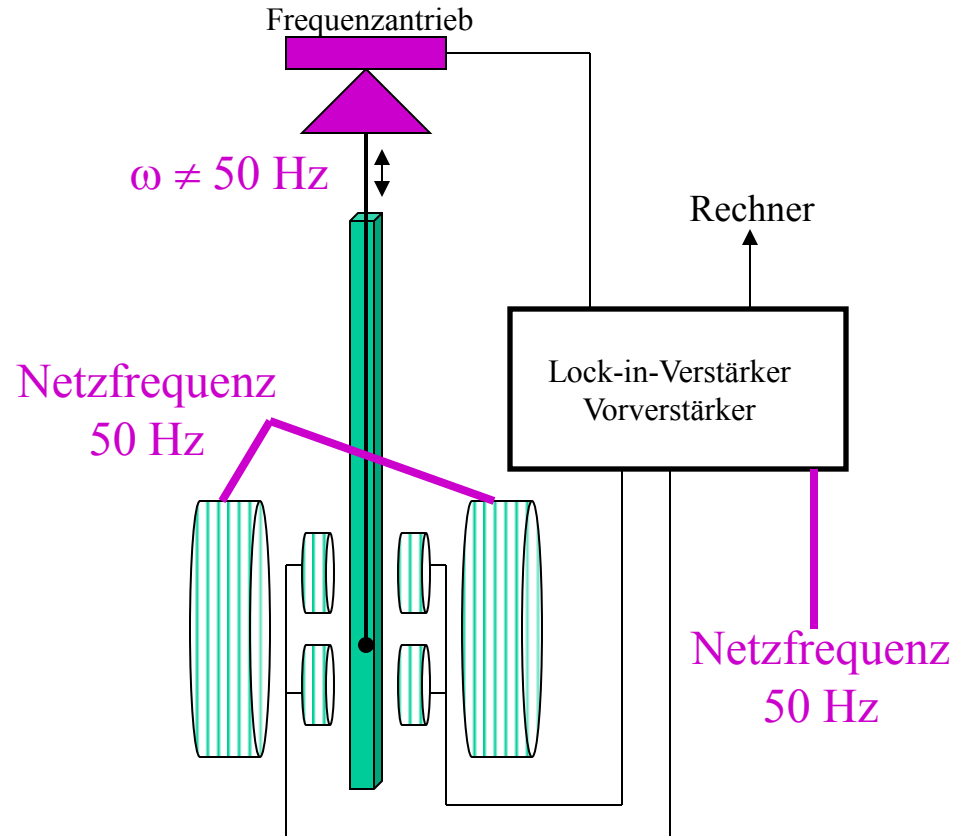
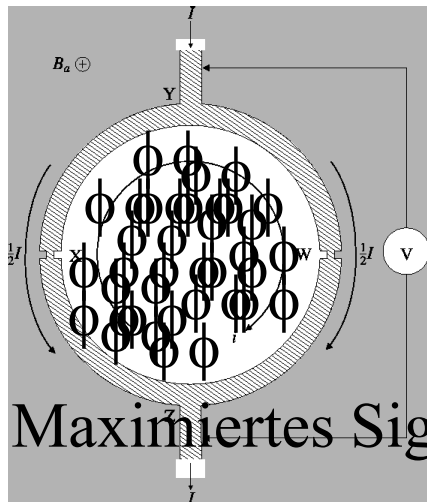
340 K



Drei weitere Fallen...

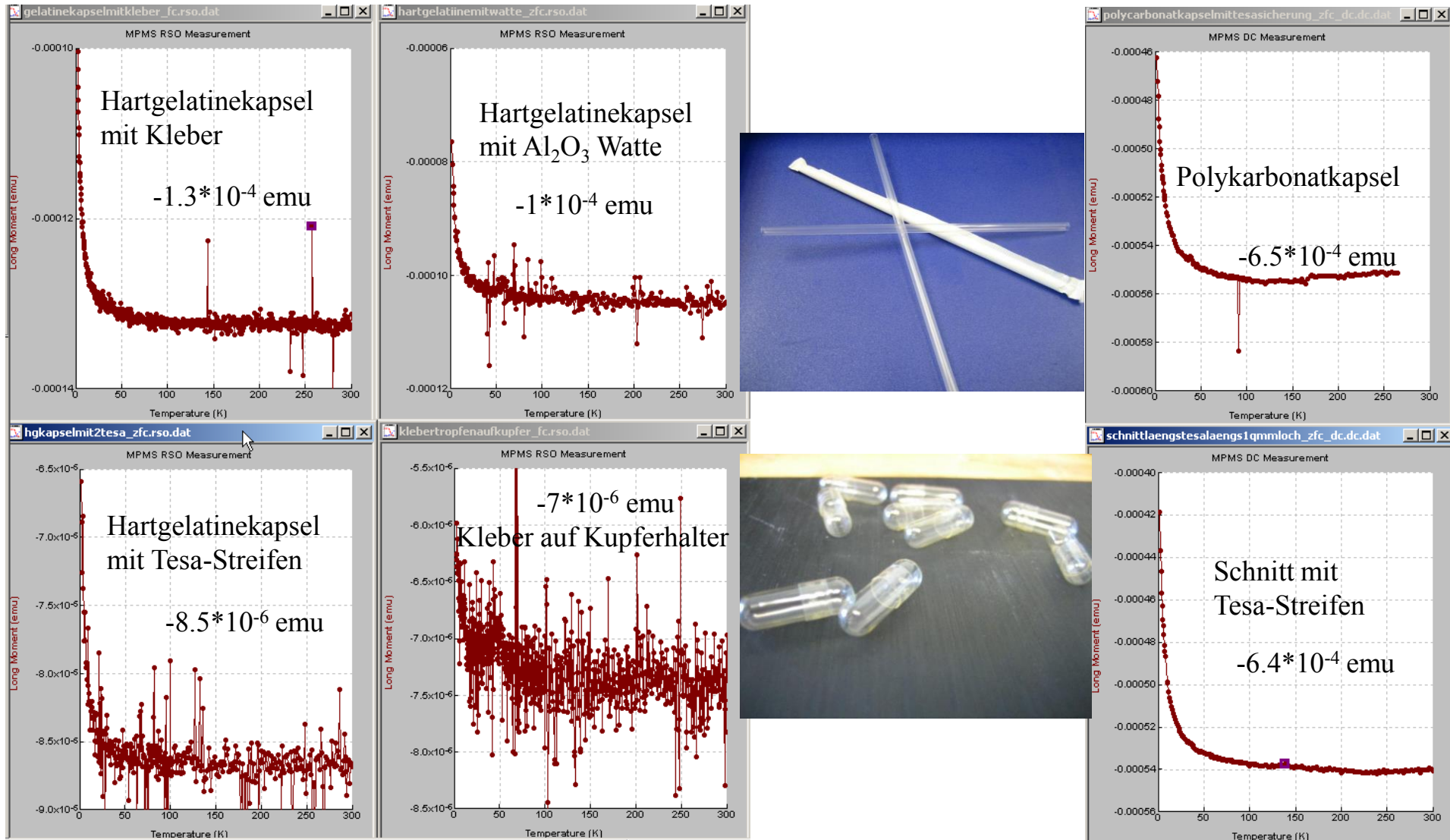


Fehler beim Einwiegen pflanzen sich fort

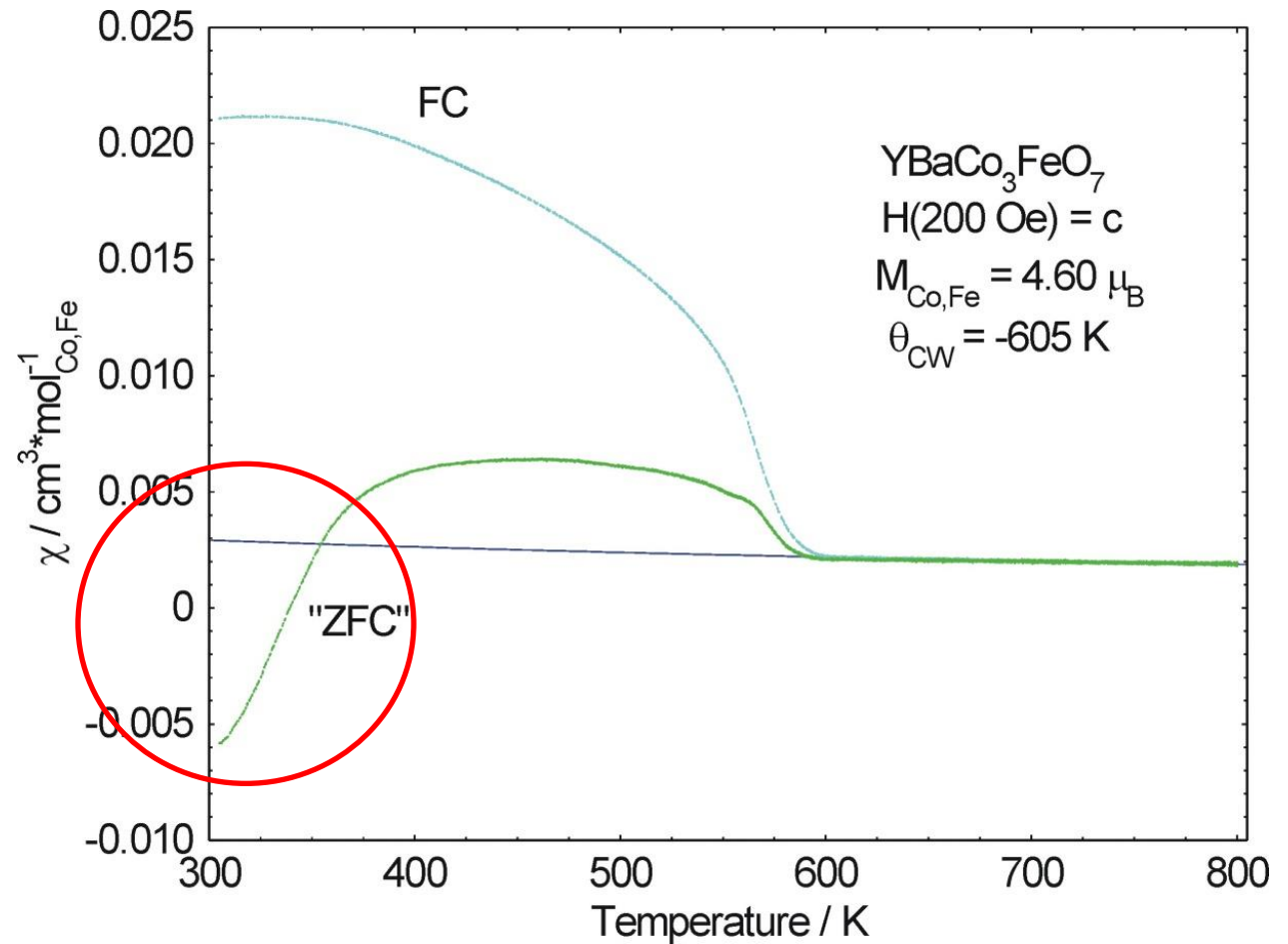


Überlagerung von Signal- und Netz-Frequenzen

Was macht der Probenhalter?



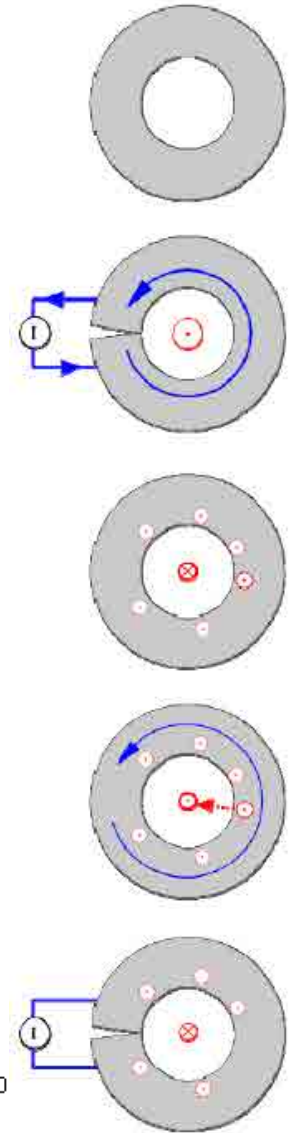
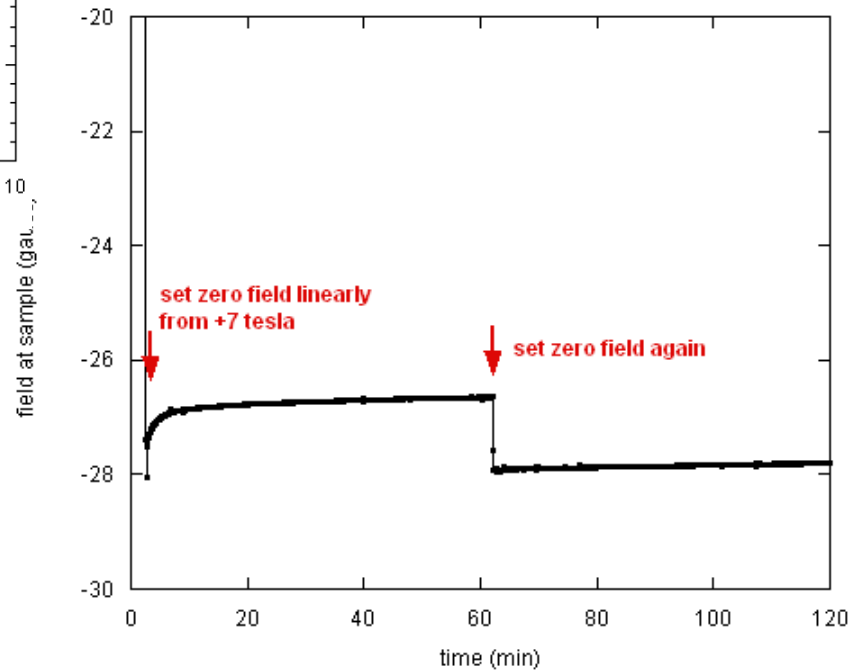
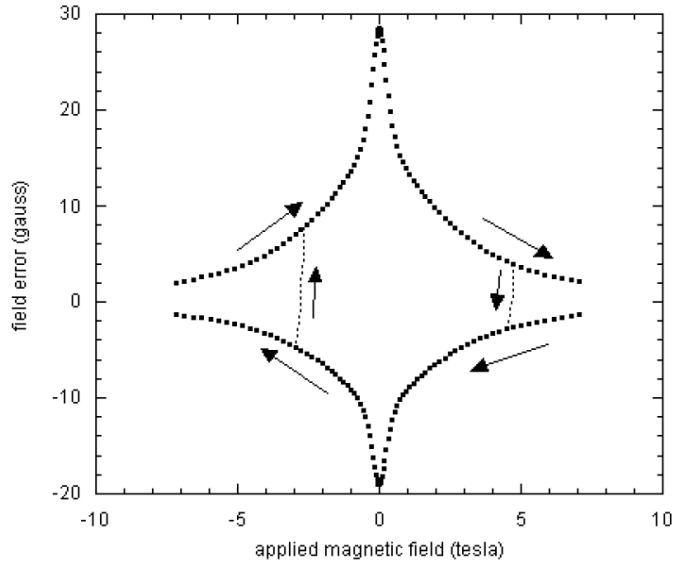
Supraleiter?



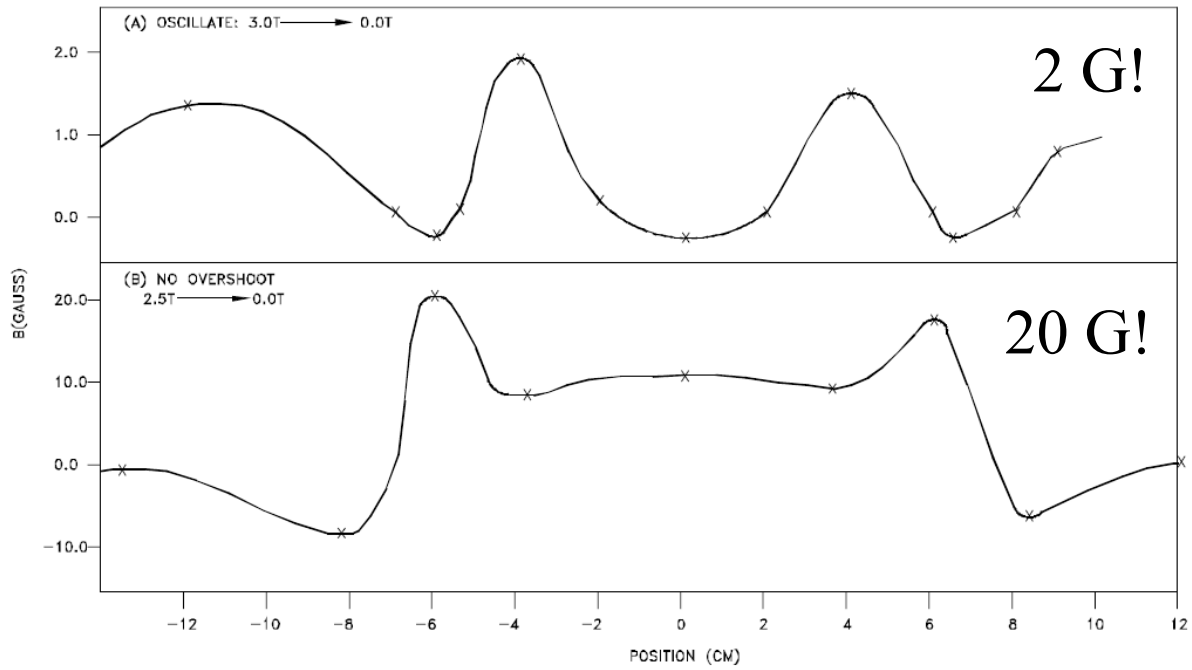
Manchmal fängt eine Messung unter Null an – Warum?

Das genaue Feld

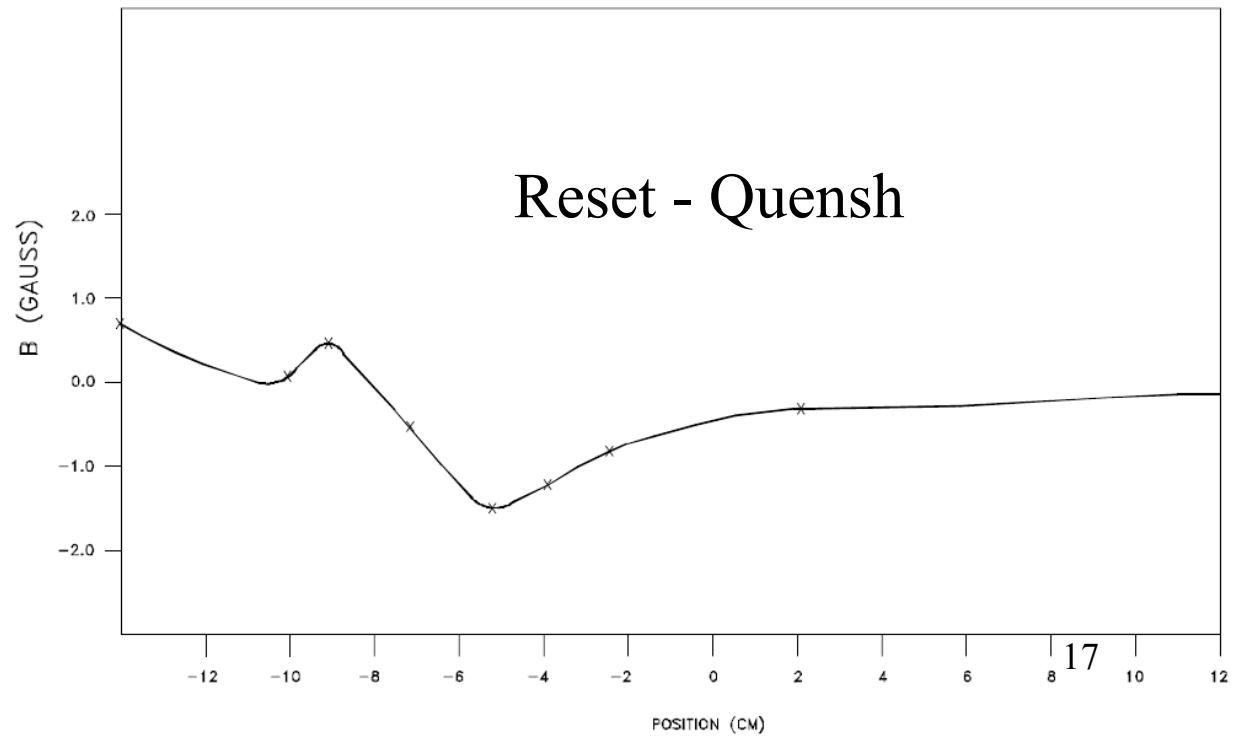
– ein Problem bei supraleitenden Spulen



”Nullfeld” gibt es nicht – immer restfelder. Wie hat man es dann gelöst – um (1) fast Null und (2) wirklich Null zu erreichen.

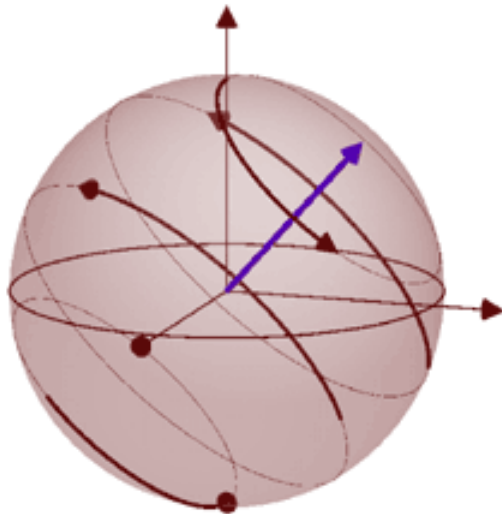


Das genaue Feld

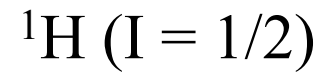


Die Spektroskopie von Magnetismus

Kernspin

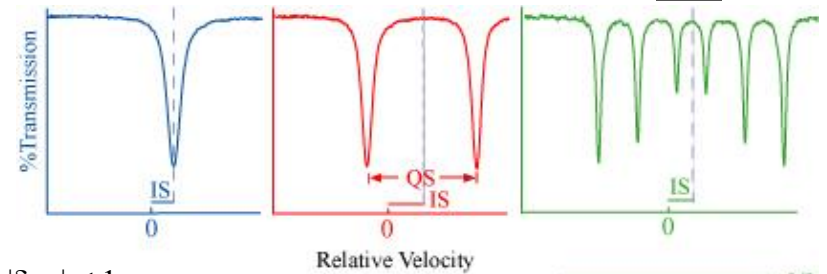
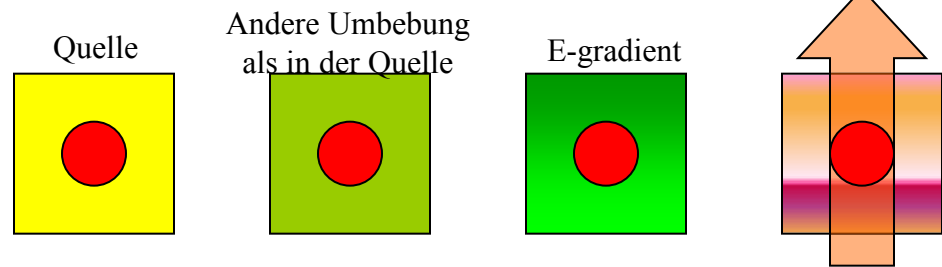
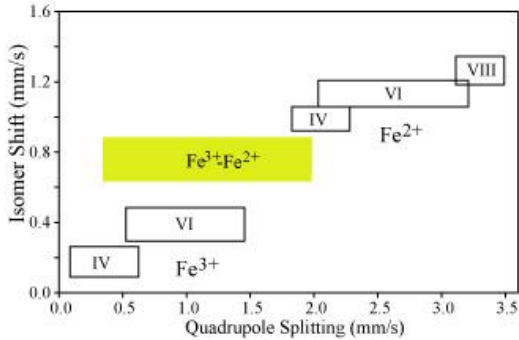
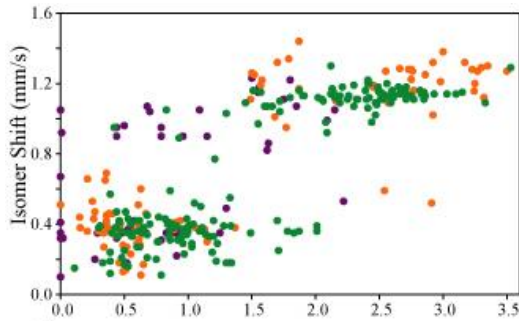
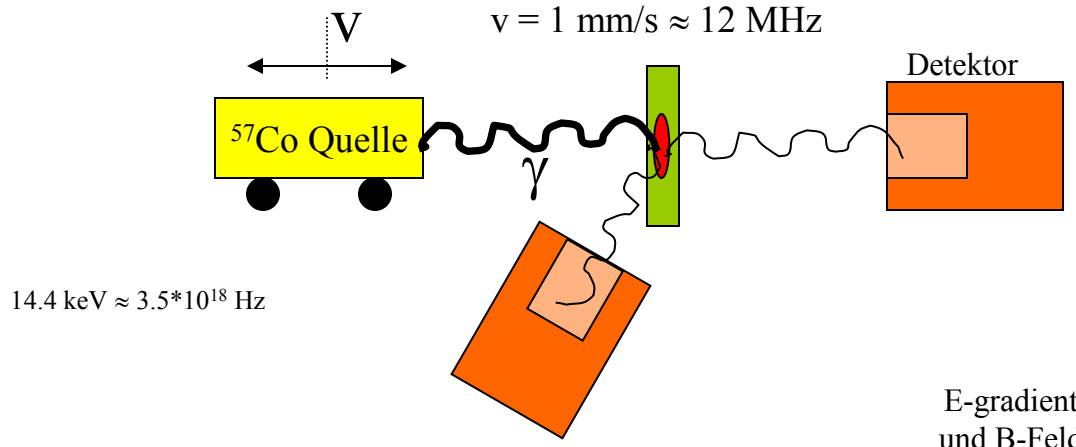
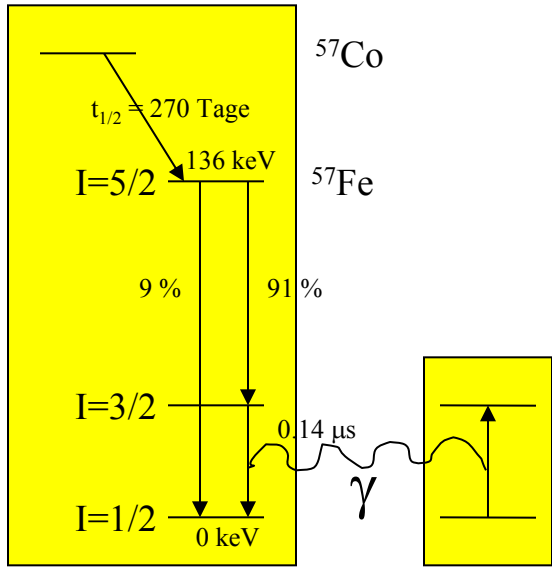


$$I = \frac{1}{2}, 1, \dots$$
$$m_I = -I, \dots, I$$



Hyperfine Wechselwirkungen!

Mössbauer



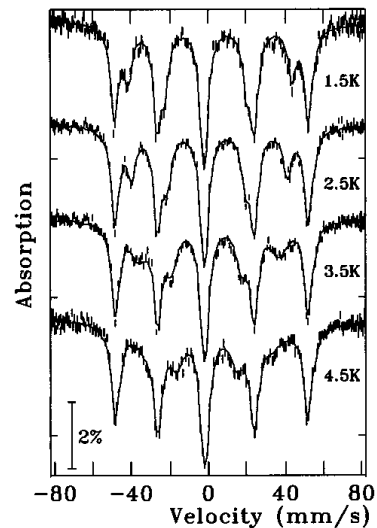
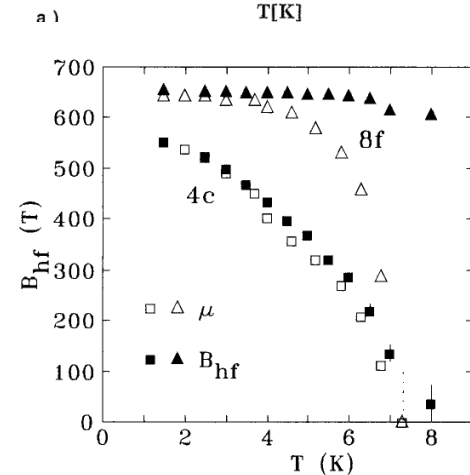
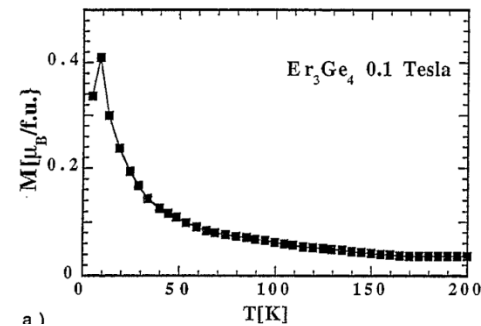
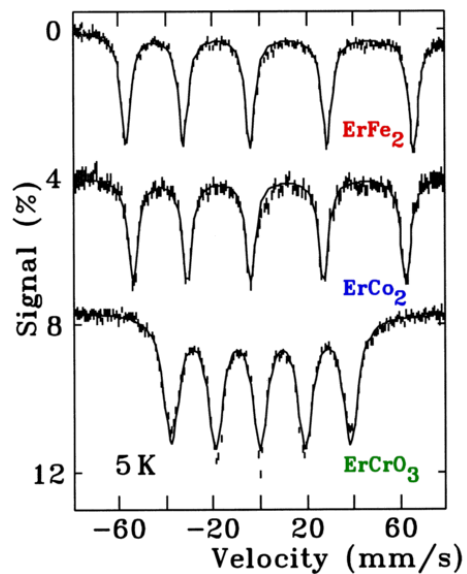
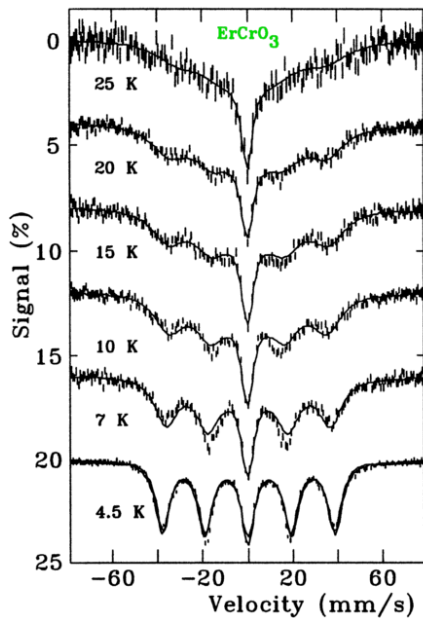
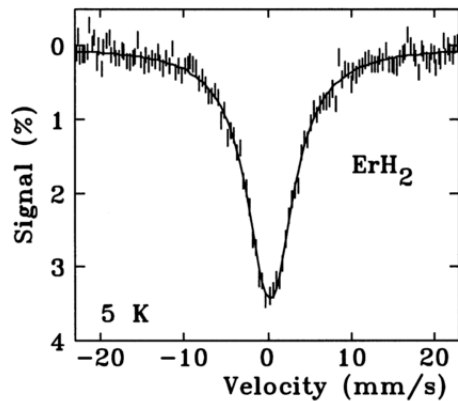
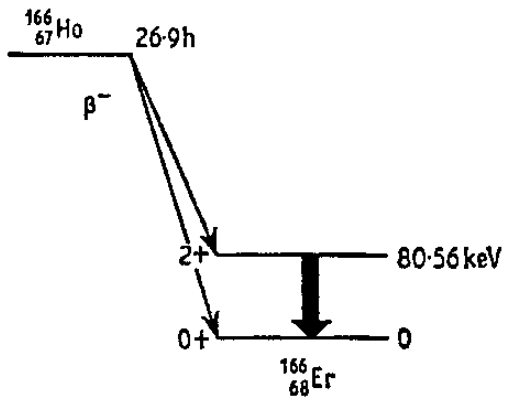
Auswahlregel: $|\delta m_l| \leq 1$



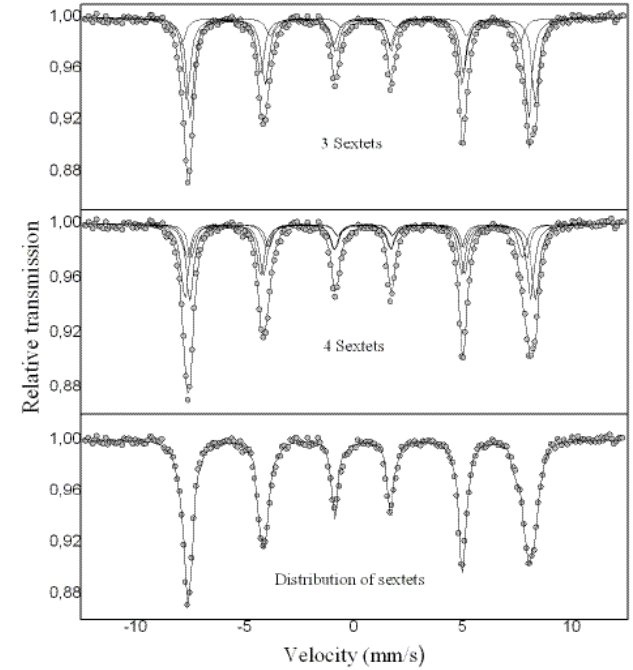
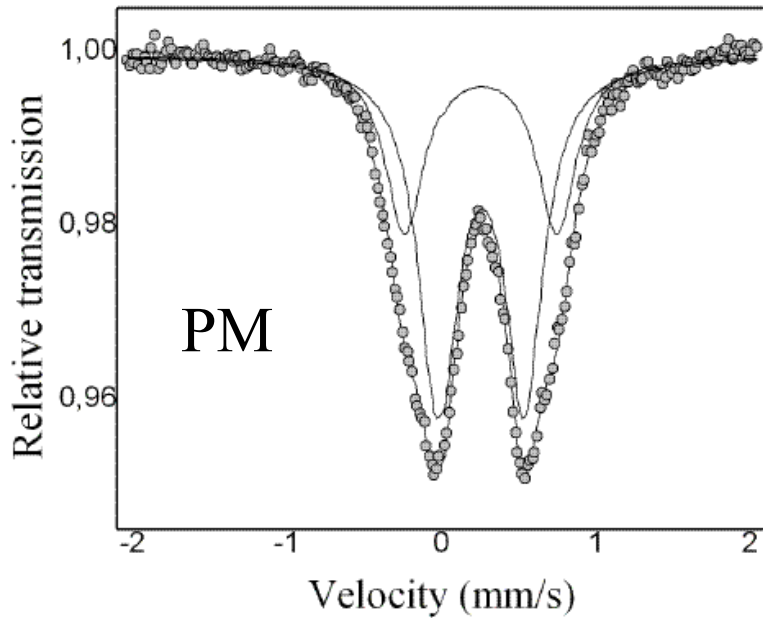
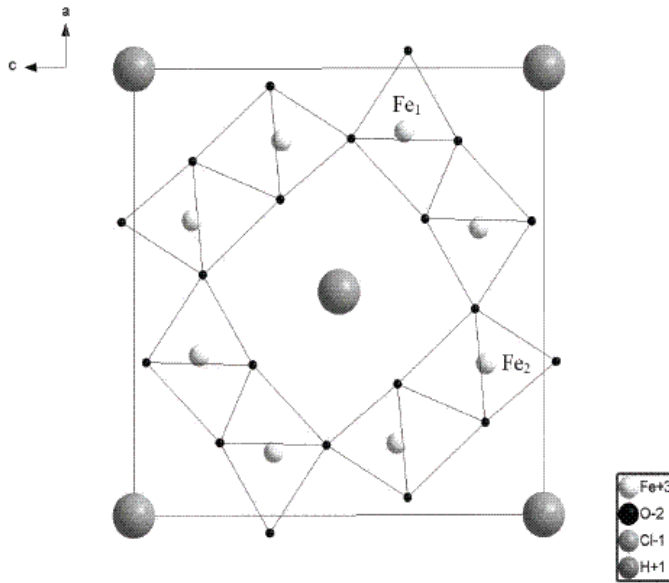
Angenommen rückstossfreie Absorption/Emission

^{99}Ru , ^{151}Eu , ^{155}Gd , ^{193}Ir , ^{195}Pt , ^{197}Au , and ^{57}Fe oder Synchrotron

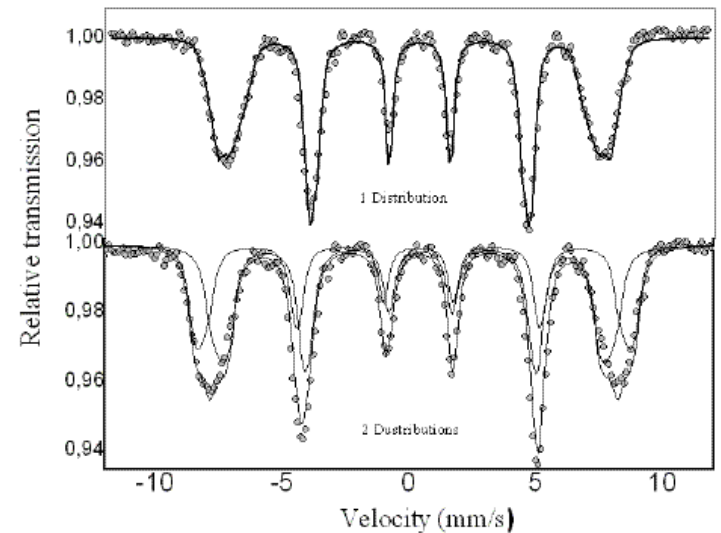
Er-Mössbauer



Beispiel: Mössbauer

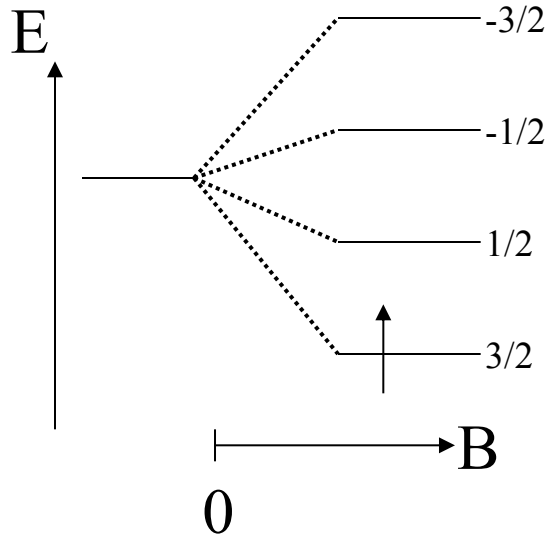


Geordneter Zustand



NMR

(nuclear magnetic resonance)



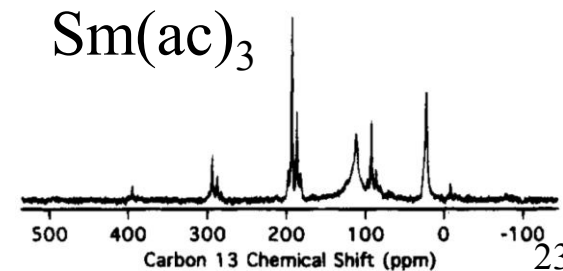
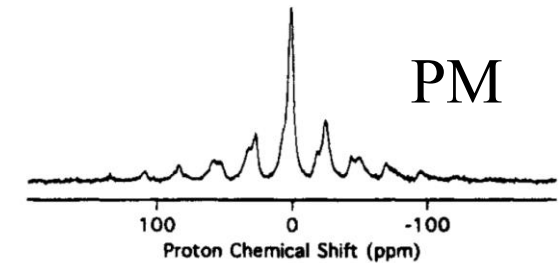
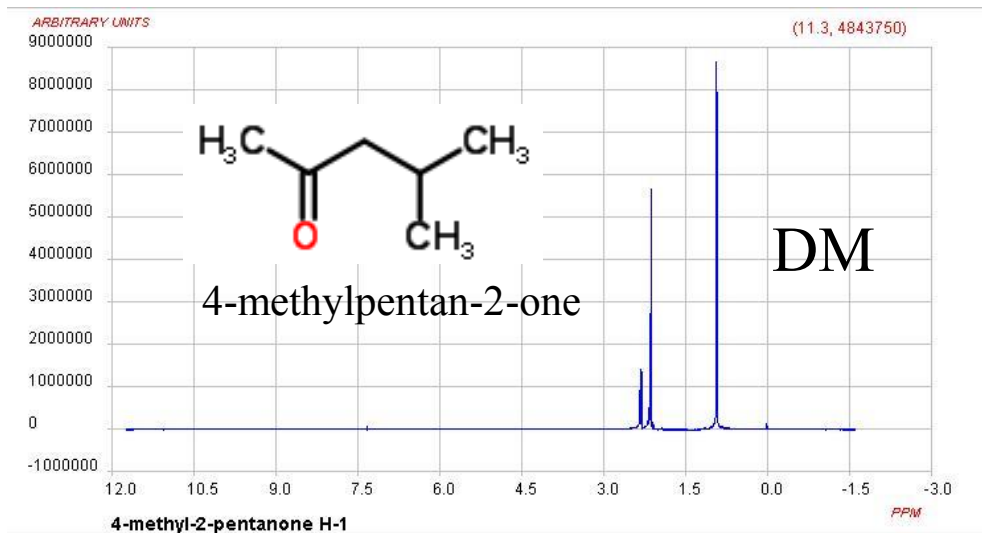
$$\Delta m_I = |1|$$

$$\nu = \frac{\omega}{2\pi} = \frac{g_N m_N B_0}{2\pi \hbar} = 42.58 \text{ MHz}$$

Also Radiowellen ($\sim 1 \text{ mK}$)

$$E = -m_I g_N \mu_N B_0$$

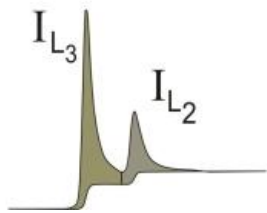
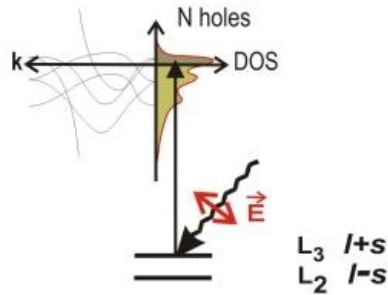
der Abstand vom Null (erwarteter Wert)
ist der Chemische Verschiebung (in ppm)



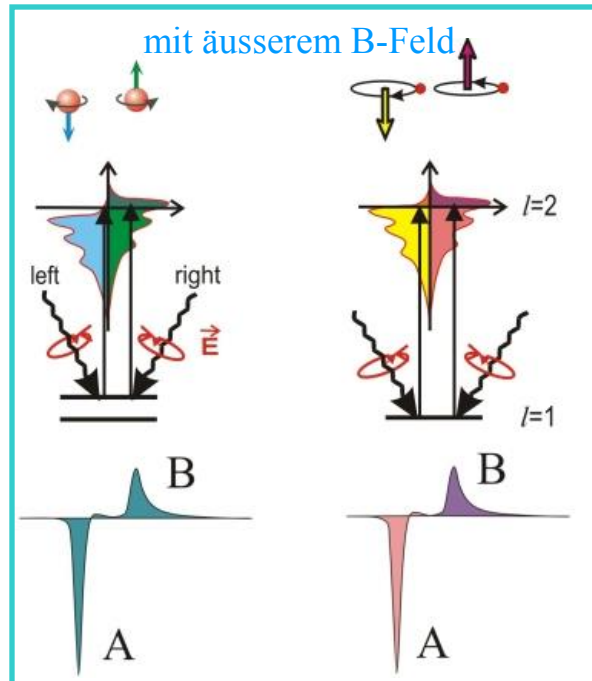
eigentlich nicht um magnetische eigenschaften zu untersuchen

XMC(L)D

(X-Ray Magnetic Circular(Linear) Dichroism)

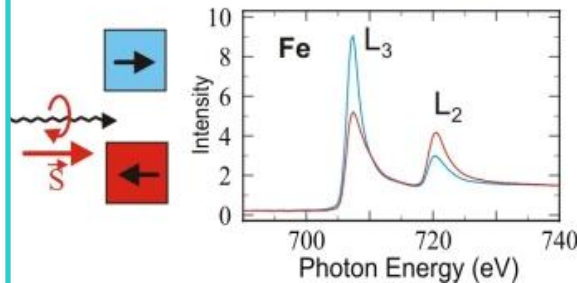


linear-Polarisiert

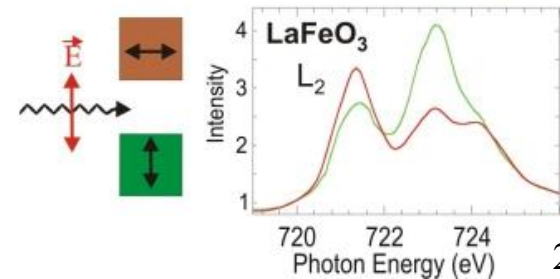


zirkular-Polarisiert

Circular Dichroism - Ferromagnets

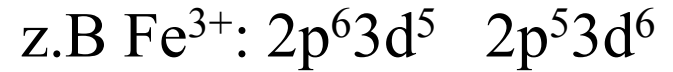


Linear Dichroism - Antiferromagnets



Elementspezifisch!

S und L können individuell vom Einkristall gemessen werden.

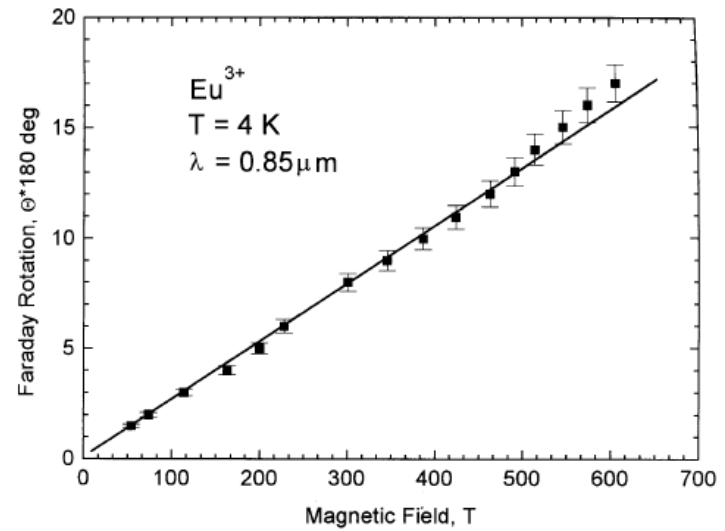
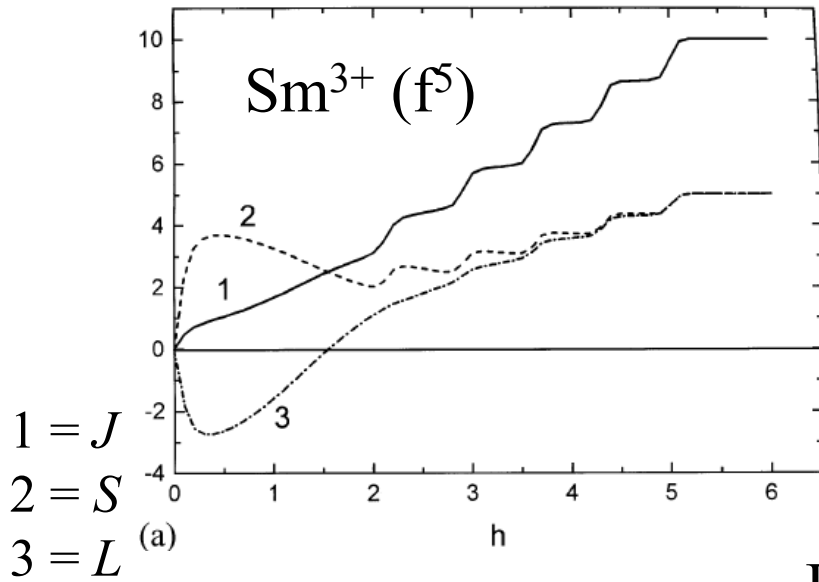


$$\left. \begin{aligned} \int A + \int B &\Rightarrow S_z \\ \int A - \int B &\Rightarrow L_z \end{aligned} \right\} \text{Skaliert mit } \chi(Fe)$$

$z = B\text{-Feld Richtung}$

Wie kann man sich vorstellen dass die Händigkeit vom Licht an eine Spinrichtung koppelt.

Faraday Drehung



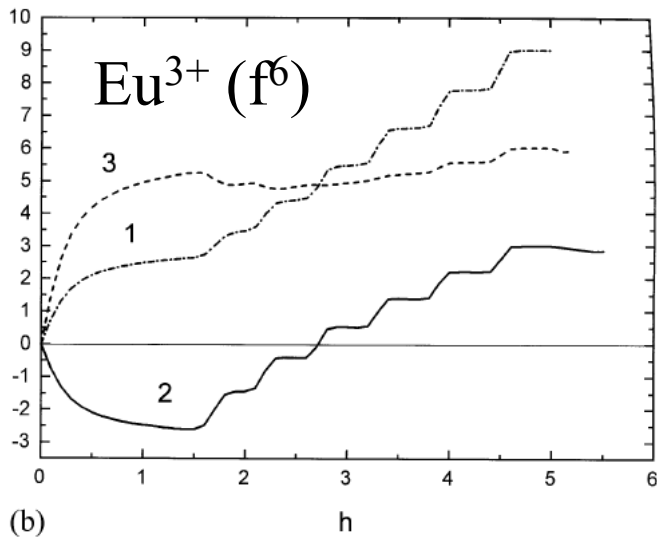
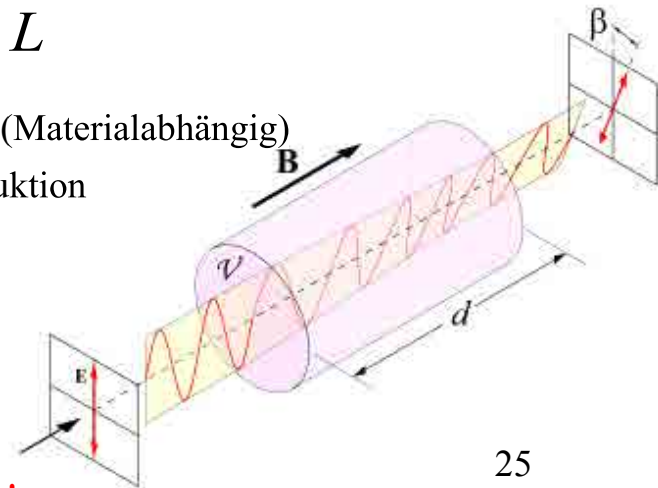
Faraday Drehung

$$\beta = V \times B \times L$$

V = Verdet Konstante (Materialabhängig)

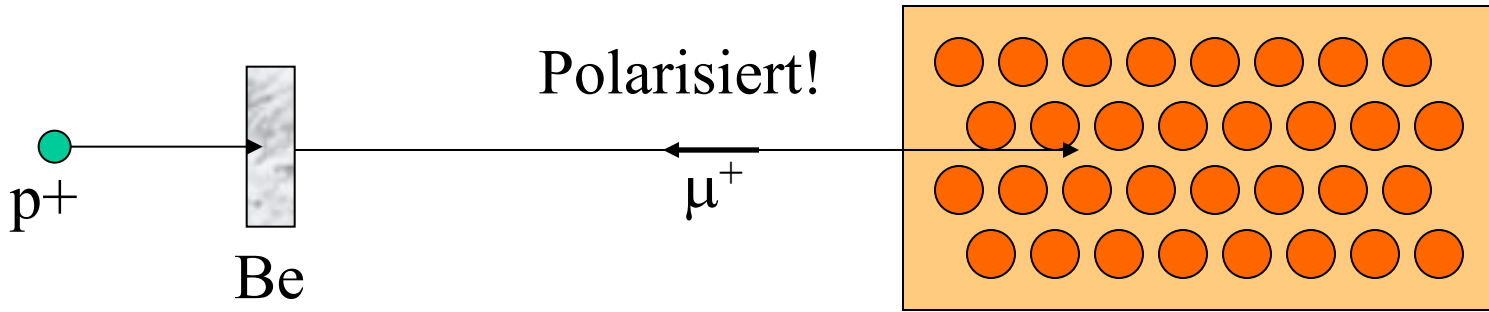
B = Magnetische Induktion

L = Probenlänge

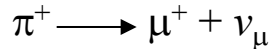
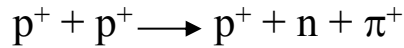


Sehr schnelle Messung!

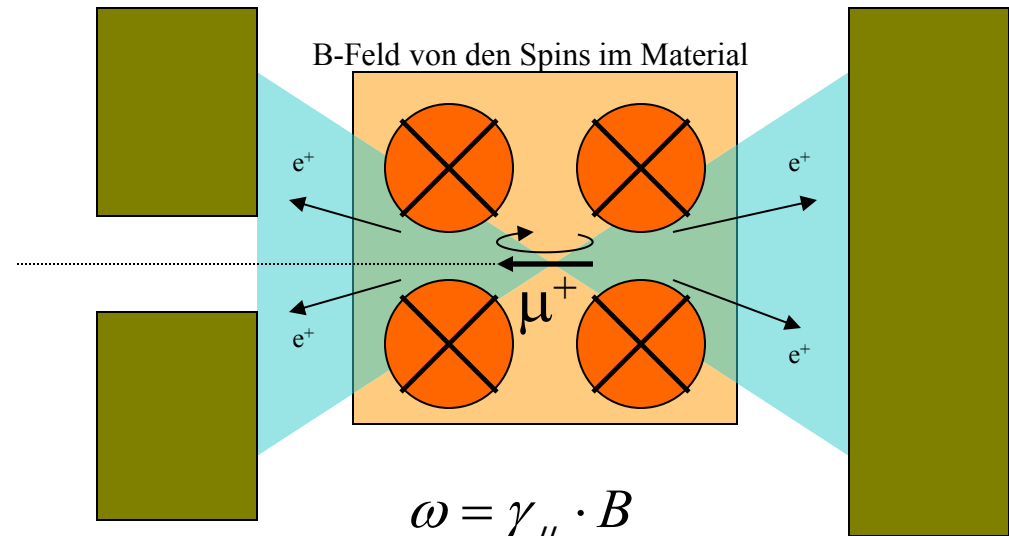
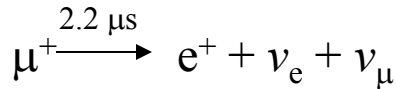
Myon Spin Resonanz (μ SR)



das Myon(+) setzt sich wo negative Ladung überwiegt
z.B. im Metalldefekt im Metalloxid



pion myon neutrino
 ↙ ↘
 polarisiert!

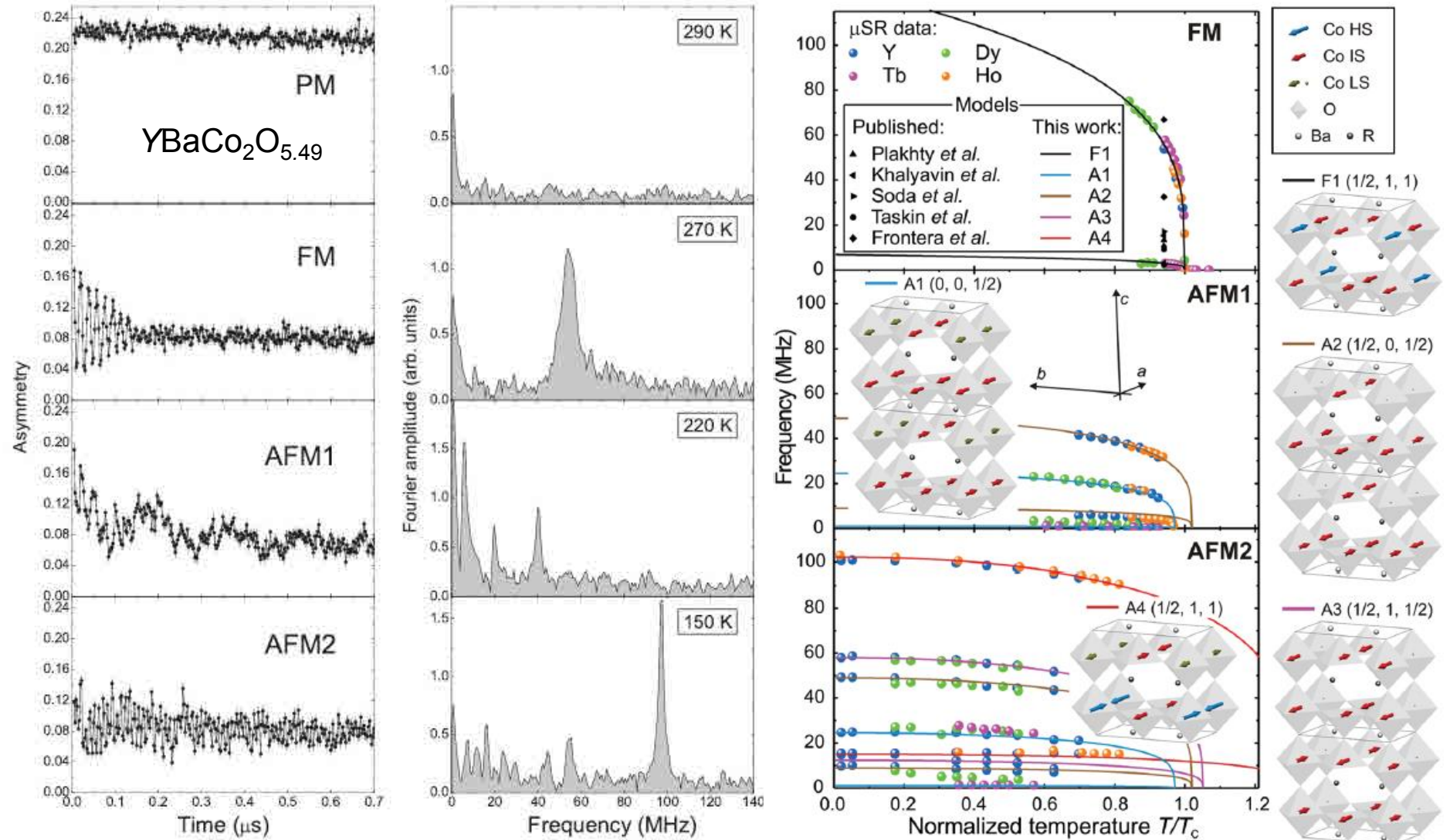


Die Myonen präzissieren im Feld (ω)
und zerfallen.

$$\gamma_\mu = \frac{g \cdot e}{2m_\mu} = 2\pi \cdot 135.5 (\text{MHz} \cdot T^{-1}) \quad 26$$

myon
S = 1/2
Ladung +/-
Masse 250 m_e
Lebt 2.2 μs

Beispiel: μ SR



Zusammenfassung

- Das makroskopische magnetische Moment wird mittels VSM, Gouy oder Faraday Waagen, und SQUID-Magnetometer gemessen.
- Dabei gibt es unzählige Quellen von Fehlern, die man aber mit den richtigen Maßnahmen verringern oder kompensieren kann.
- Es hilft (fast) immer die Rohdaten anzuschauen um festzustellen ob die Messung Sinnvoll war.
- Messungen wiederholen ist auch eine Möglichkeit – denn Reproduzierbarkeit ist wichtig in Forschung.
- Spektroskopisch kann man indirekt oder direkt auf magnetische Quantenzahlen rückschliessen