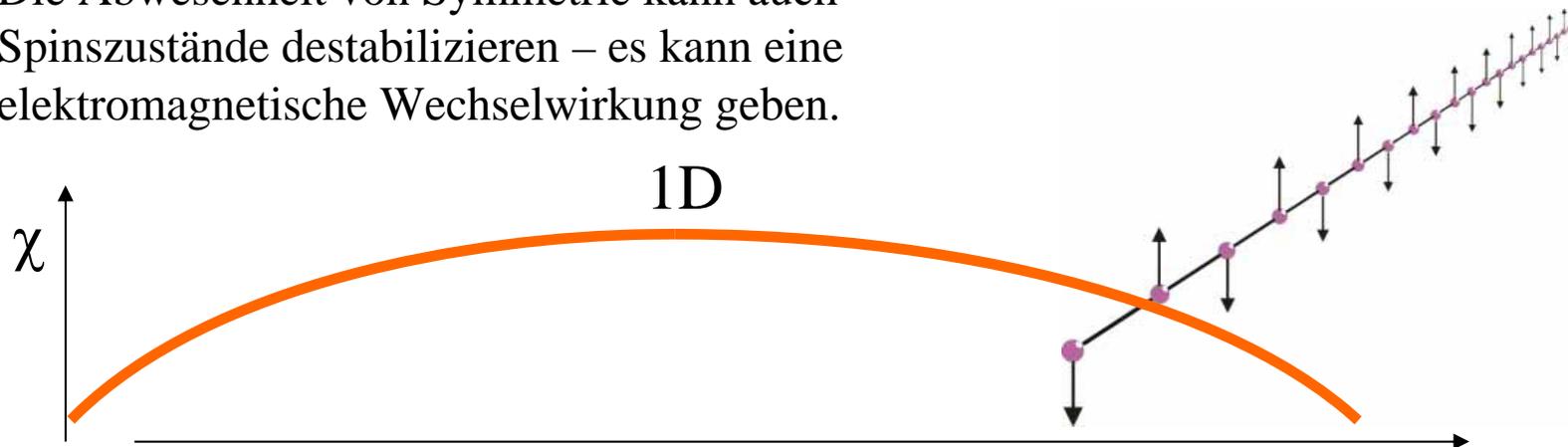
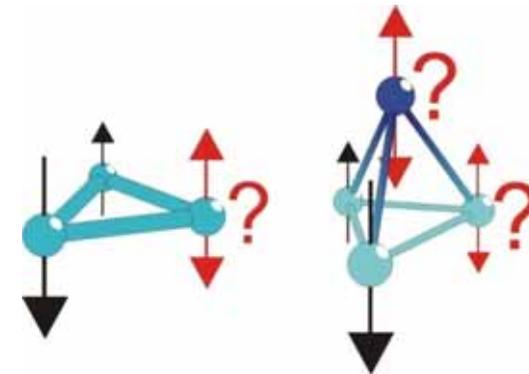
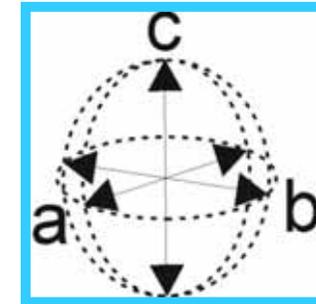




Rückblick

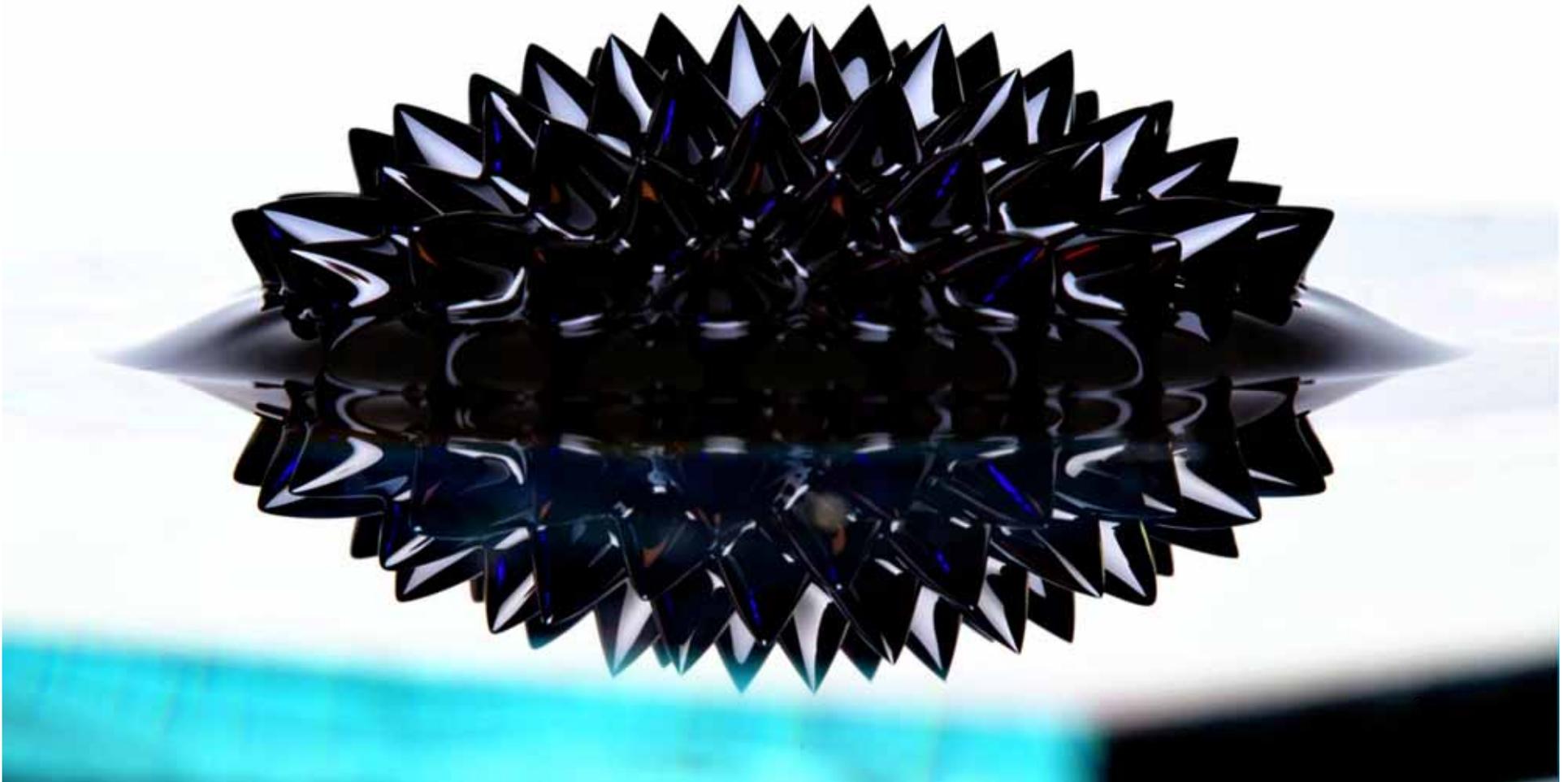
auf Geometrie als magnetischer Faktor

- Spins haben Dimensionsfreiheit und werden Ising (1D), XY (2D) oder Heisenberg (3D) spins genannt.
- Die magnetische Unterstruktur zusammen mit der Spinfreiheit ergeben die resultierende Eigenschaften.
- Kristallographische Symmetrien können geometrische Frustration hervorrufen.
- Man kann die magnetische Frustration beobachten und einigermaßen einschätzen.
- Die Abwesenheit von Symmetrie kann auch Spinzustände destabilisieren – es kann eine elektromagnetische Wechselwirkung geben.

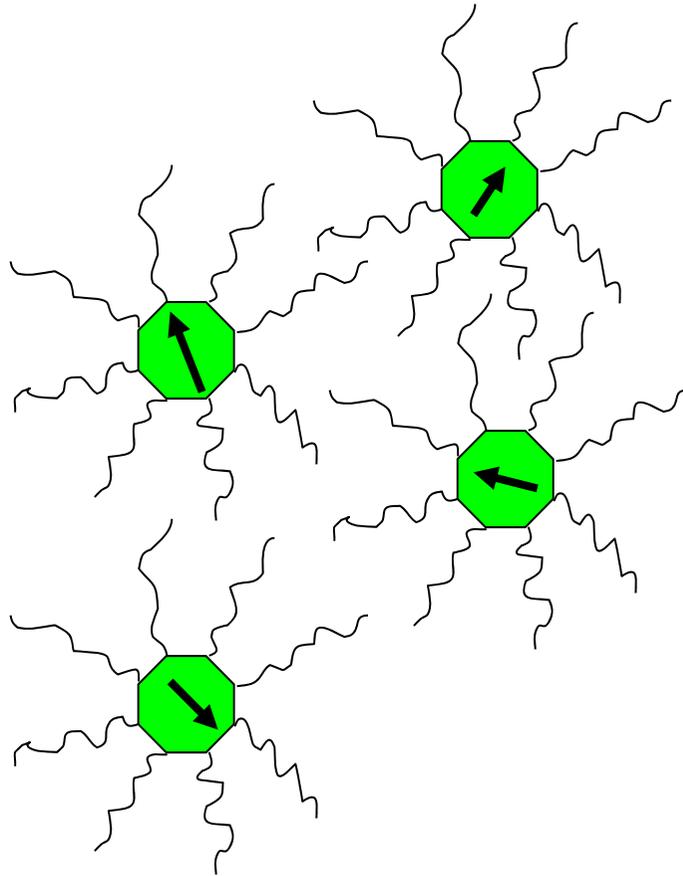


Flüssige und molekulare Magnete

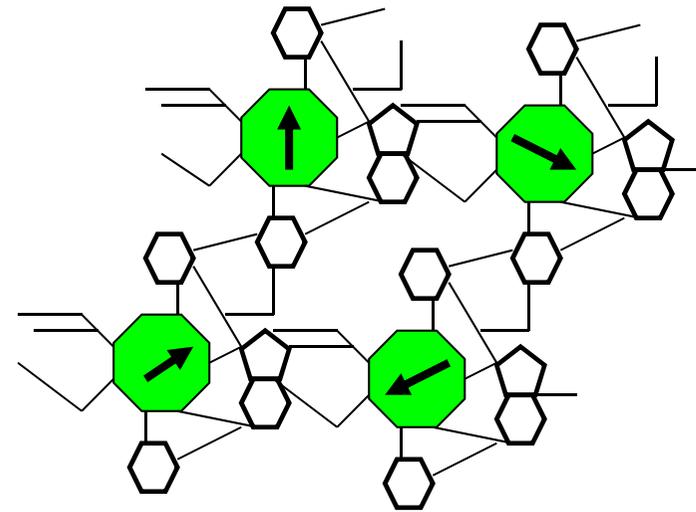
-isolierte magnetische Clusters im nicht-leitenden unmagnetischen Matrix



Ferroflüssigkeiten (FF) und Molekülmagnete (MM)



Flüssigkeit mit gelösten
ferromagnetischen (Nano)Partikeln



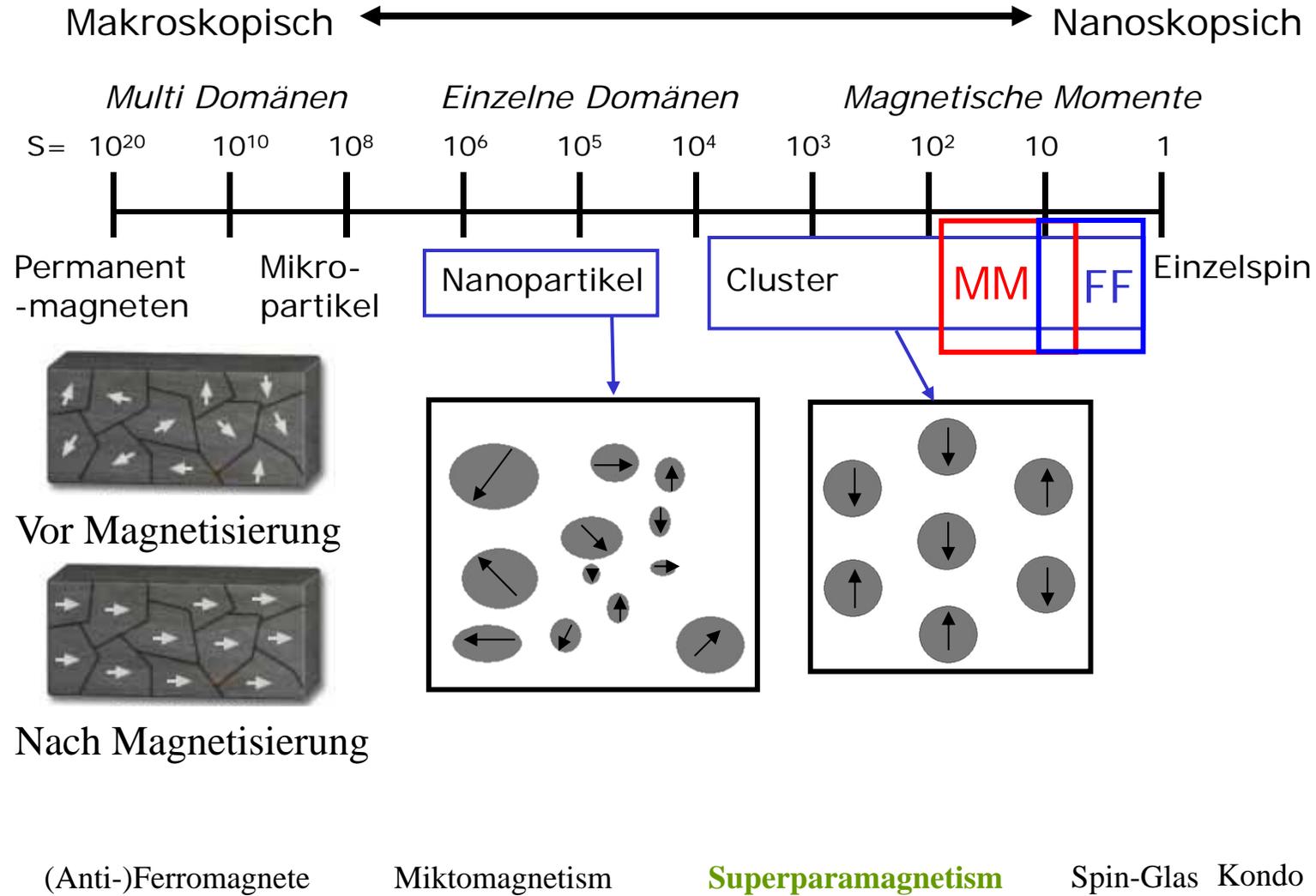
Kristallgitter mit
magnetischen Clusters

Motivation: Als therapie für biologisches Gewebe

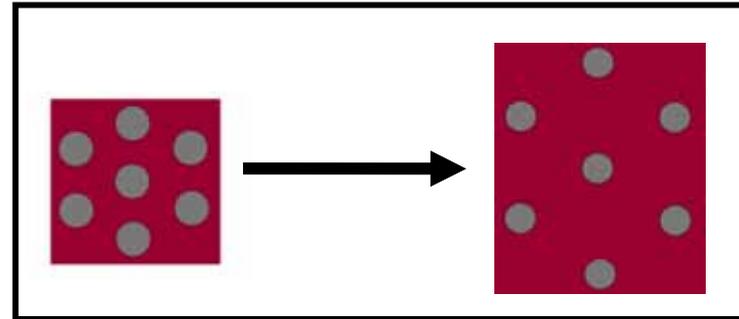
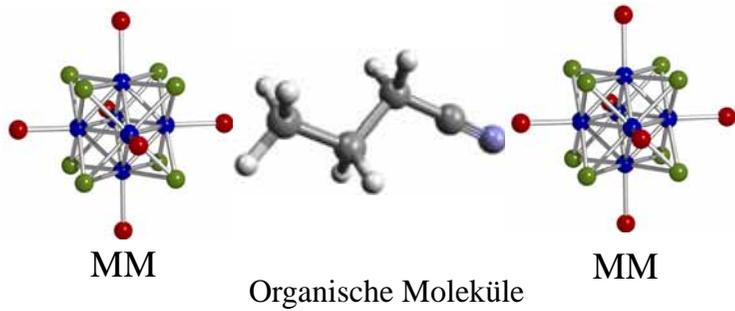
Mögliche Bits im magnetischen Speicher.

Inhomogene Verteilung von magnetischen Ionen

Von Gross bis Klein



MM: der Aufbau



nur Dipol-Dipol WW

um das System zu vereinfachen werden die MM soweit auseinander "gebracht", dass keine WW entsteht.



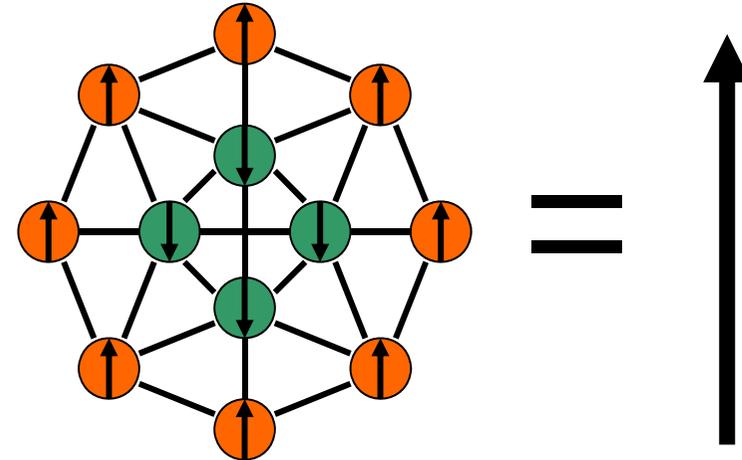
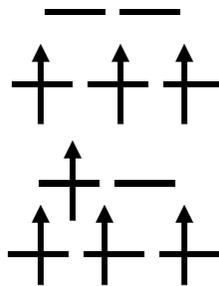
Gross-Spin Modell

oft für MM einsetzbar

Mn₁₂AC:

4 Mn⁴⁺ [Ar]3d³ S=3/2

8 Mn³⁺ [Ar]3d⁴ S=2



Spins gleicher Atome koppeln ferromagnetisch

Spins verschiedener Atome koppeln antiferromagnetisch

$$S = 8 \cdot 2 - 4 \cdot \frac{3}{2} = 10$$

Es ist deutlich einfacher den Molekülmagnet
als ein Gesamtmoment zu betrachten

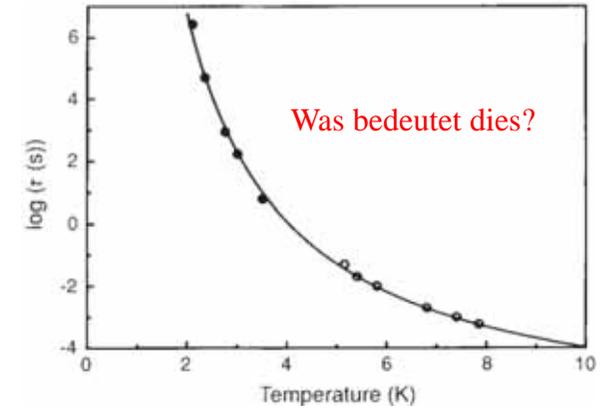
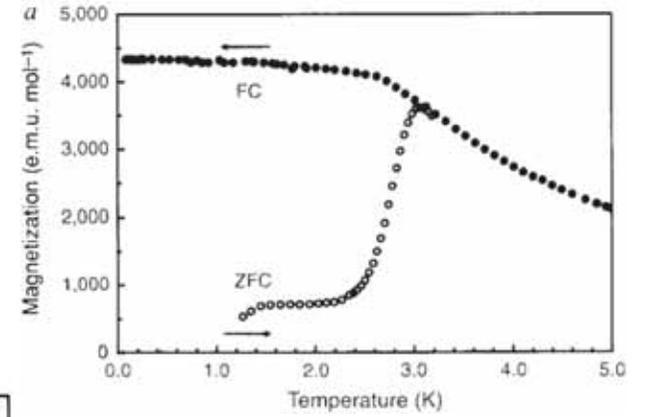
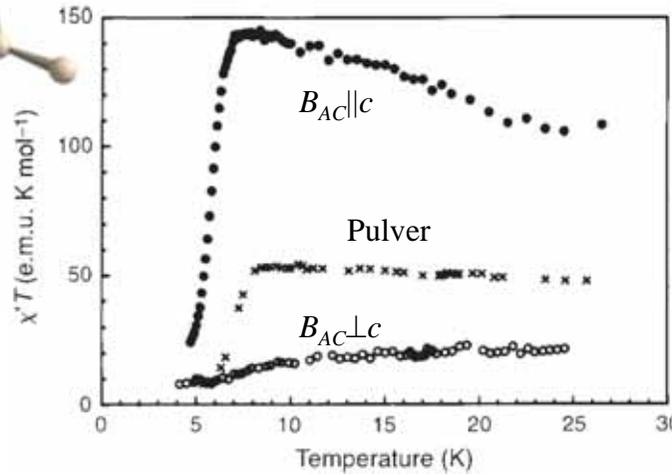
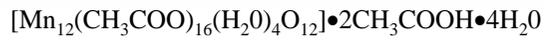
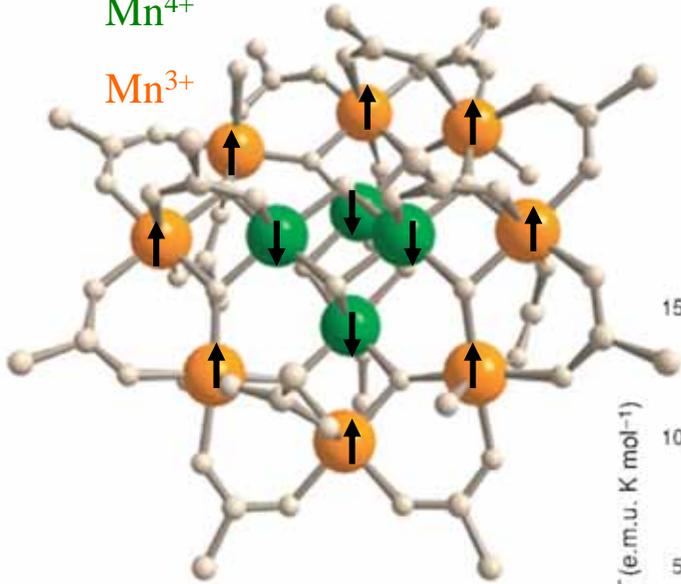
mögliche Spinzustände:
 $m = -10, -9, \dots, 9, 10$

$Mn_{12}AC$:

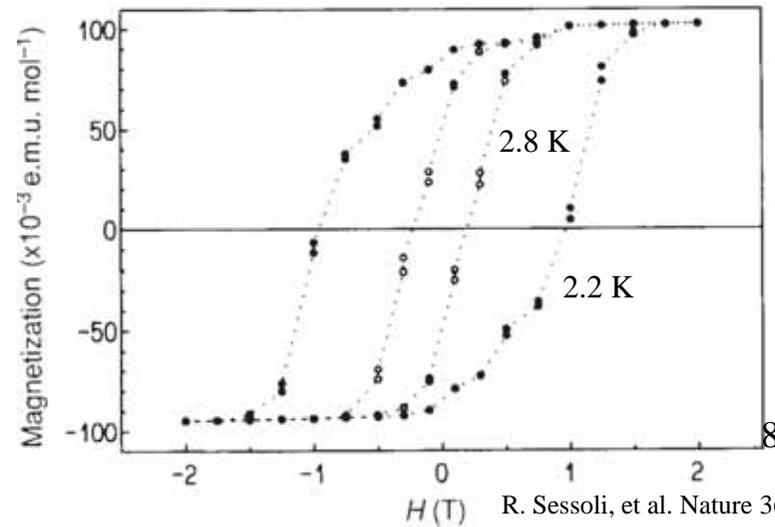
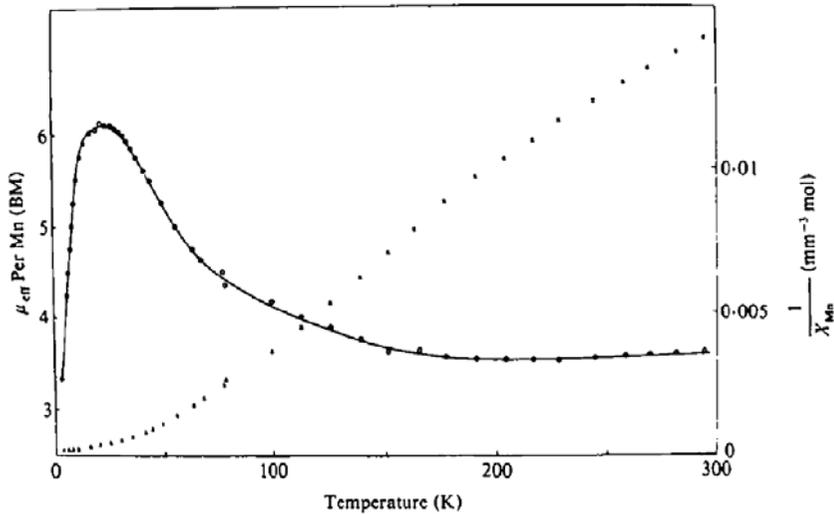
Ein Ising-Cluster

Mn^{4+}

Mn^{3+}

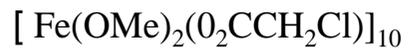
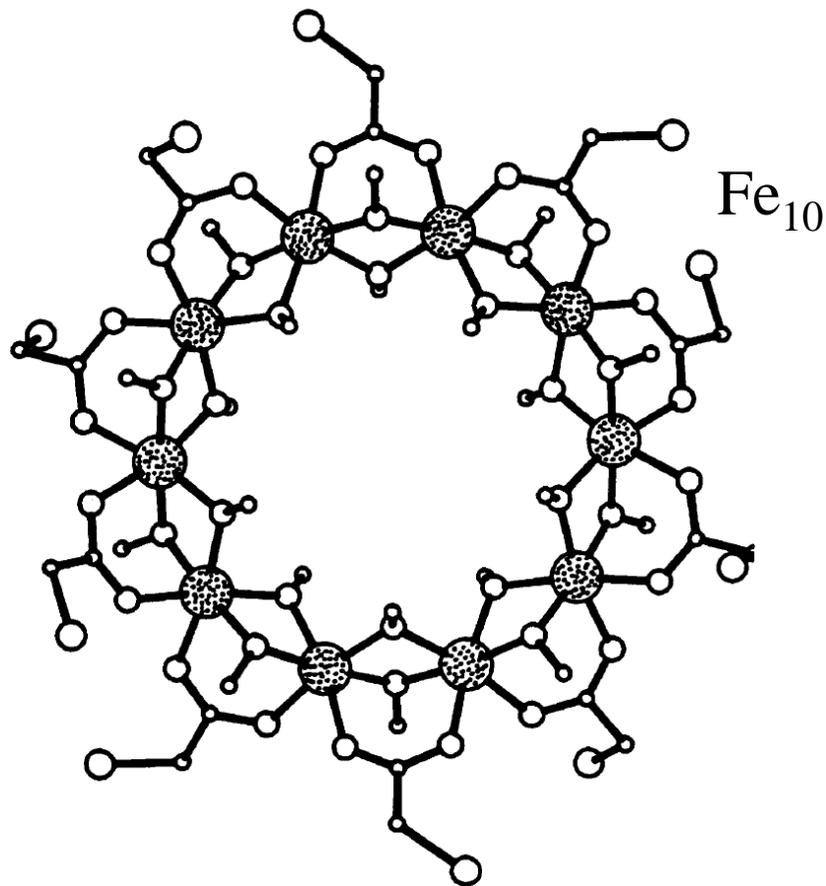


T. Lis Acta Cryst. B 36 (1980) 2042

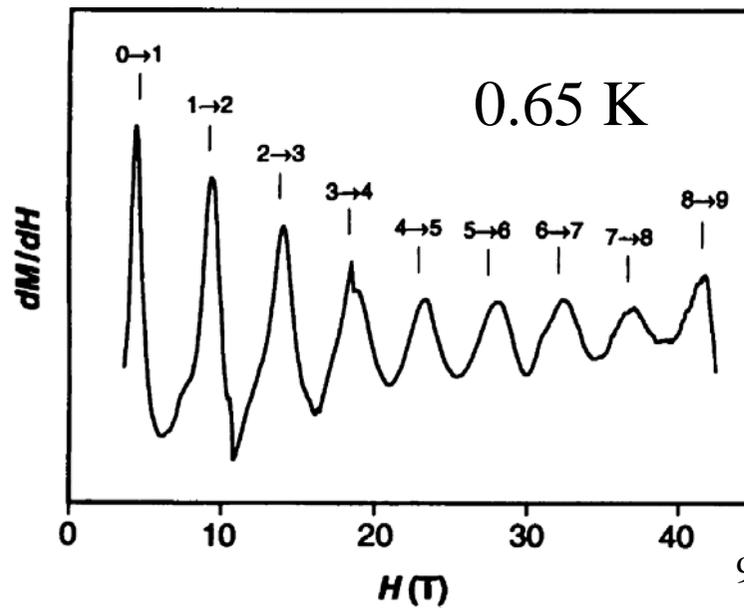
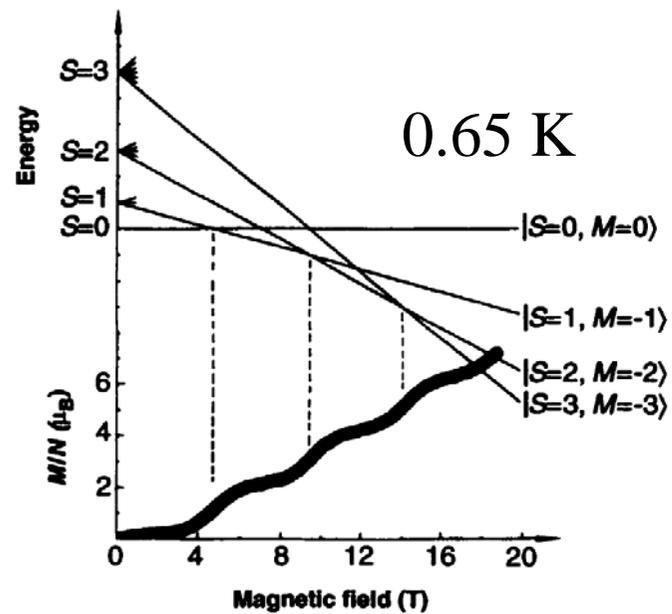


R. Sessoli, et al. Nature 365 (1993) 141

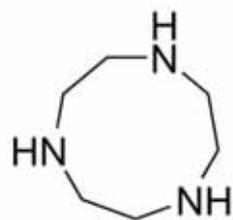
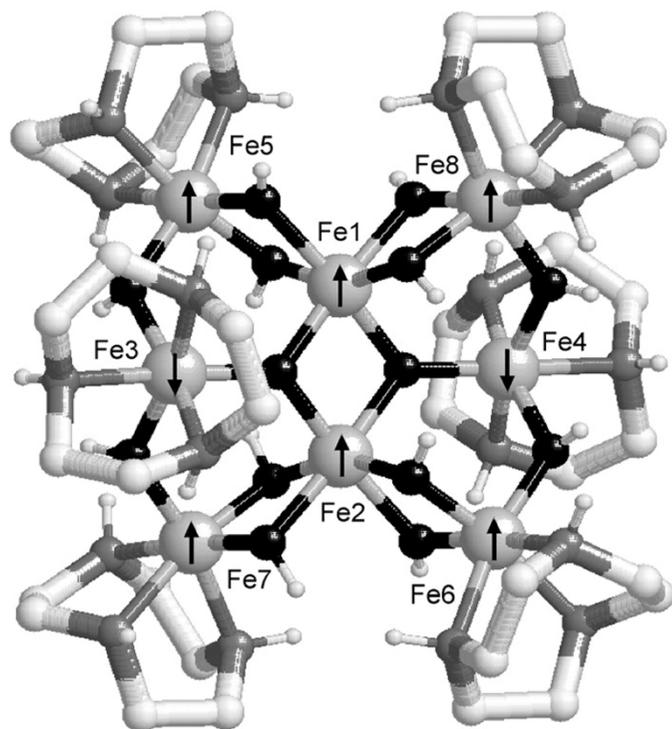
”Ferrisches Rad”



Was sind das für Stufen in der Magnetisierung?

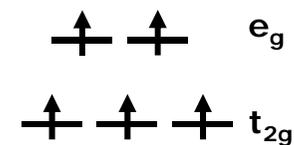
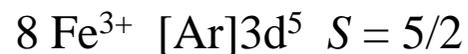
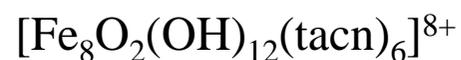


Noch ein Ising-Cluster

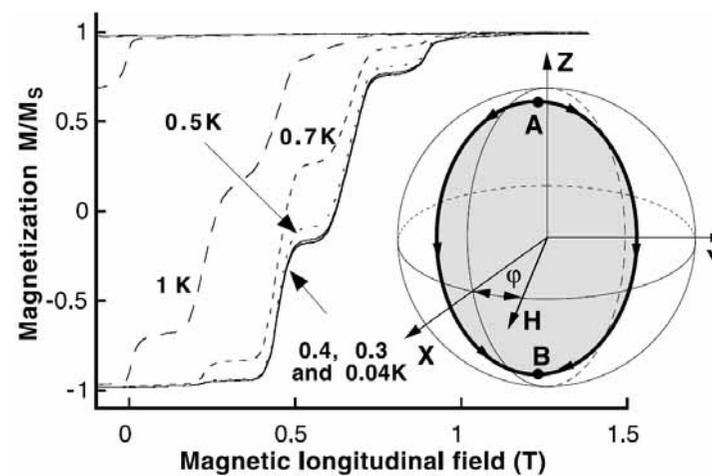
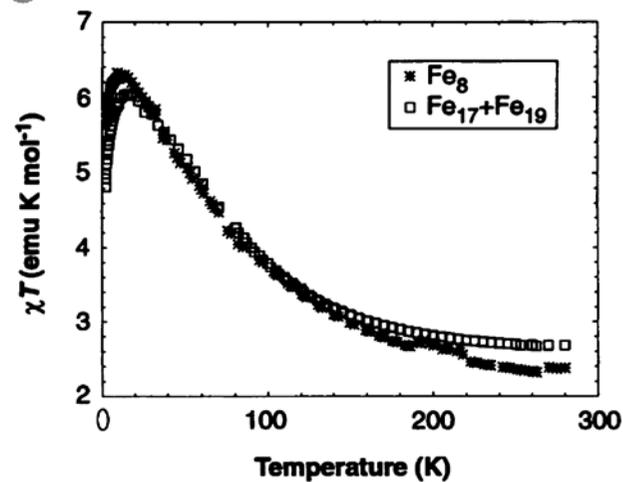


tacn = 1,4,7-Triazacyclononan
 $C_6H_{12}(NH)_3$

Fe₈-Cluster

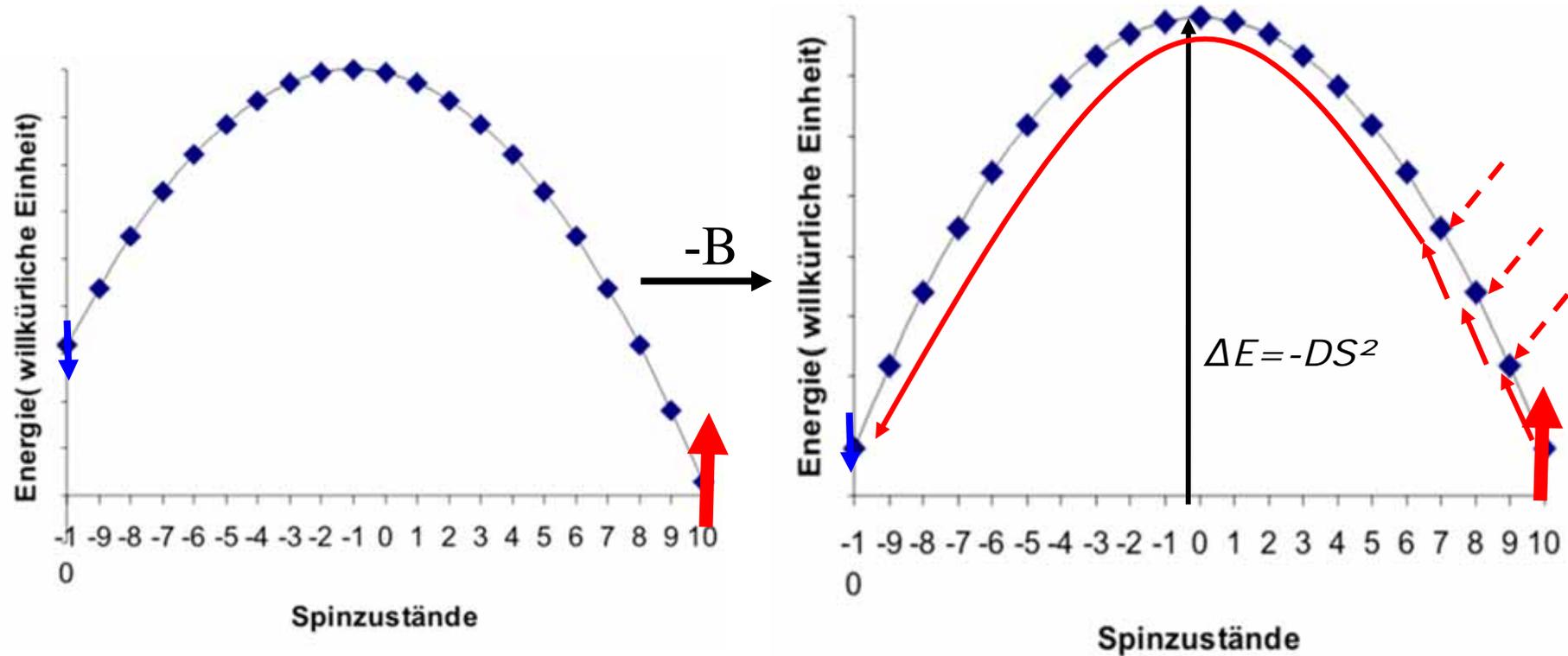


$$S_{tot} = (6-2) * 5/2 = 10$$



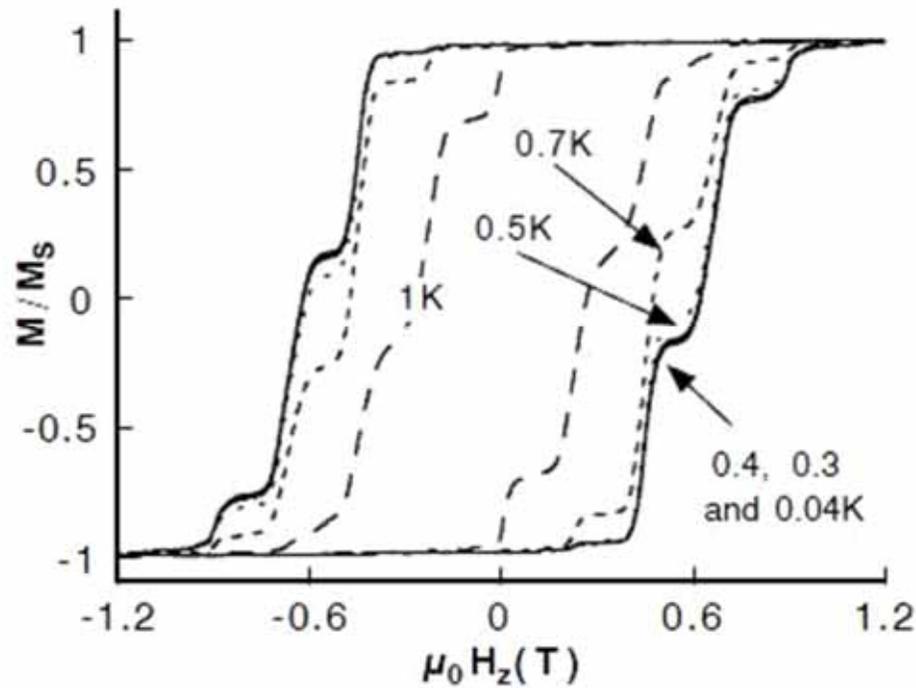
10

Thermische Relaxation

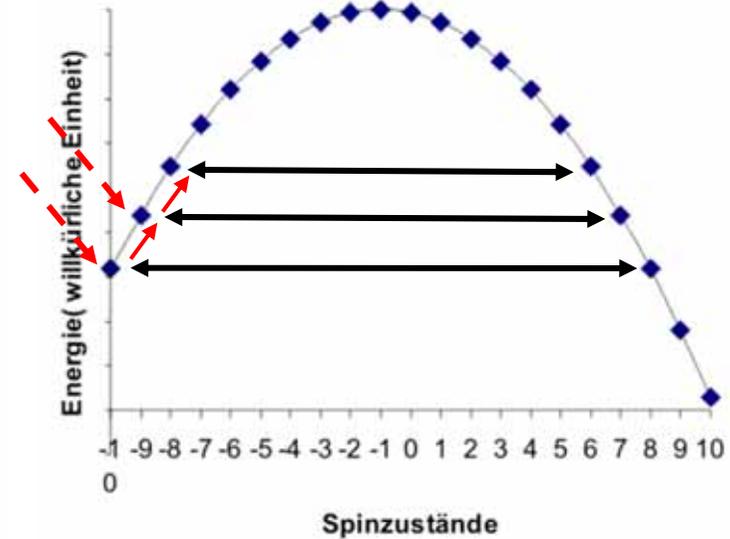


Energieniveaus vom MM mit
 $S=10$ bei angelegtem B-Feld

Magnetische Hysterese (MM)



Hysterese Kurve eines Fe_8 -Cluster bei verschiedenen Temperaturen



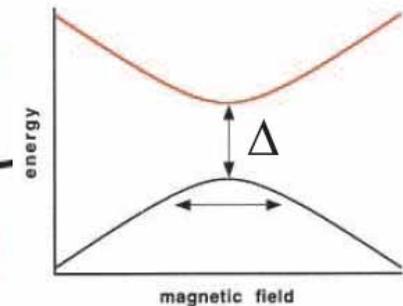
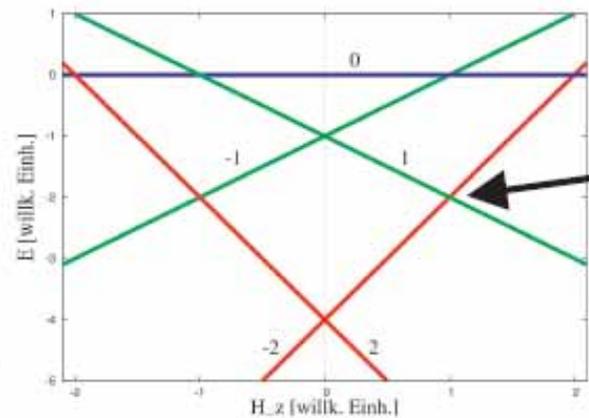
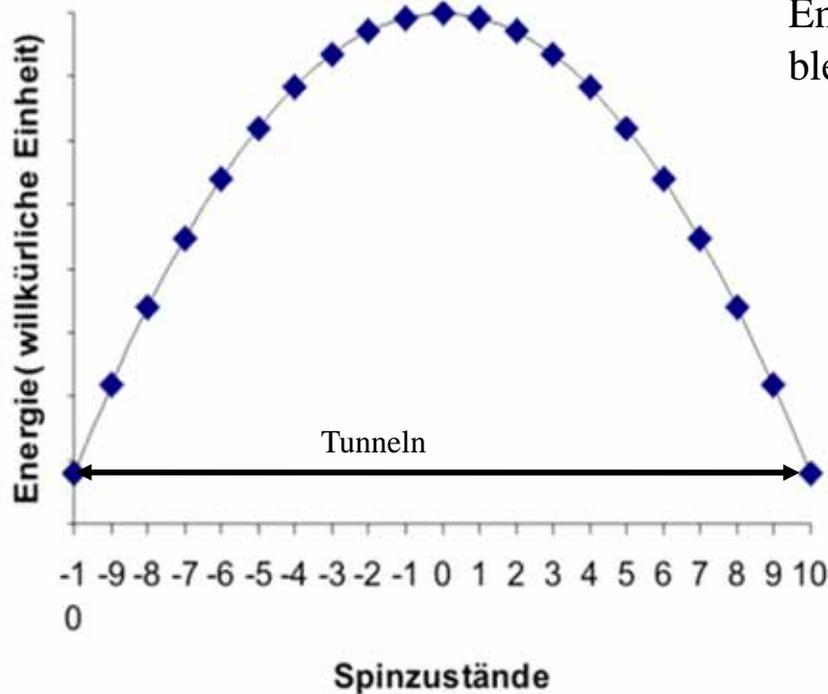
Energieniveaus eines MM mit $S = 10$ bei angelegtem H -Feld

Unterhalb einer gewissen Temperatur bleibt die Hysterese gleich
– temperaturUNabhängig –

Tunneln zwischen Zuständen MM

nach Landau-Zener

Wenn nicht genügend thermische Energie vorhanden ist – bleibt nur noch Tunneln.



$$P_{m,m'} = 1 - \exp\left[-\frac{\pi\Delta_{m,m'}^2}{2\hbar g\mu_B |m-m'| \mu_0 \frac{dH_z}{dt}}\right]$$

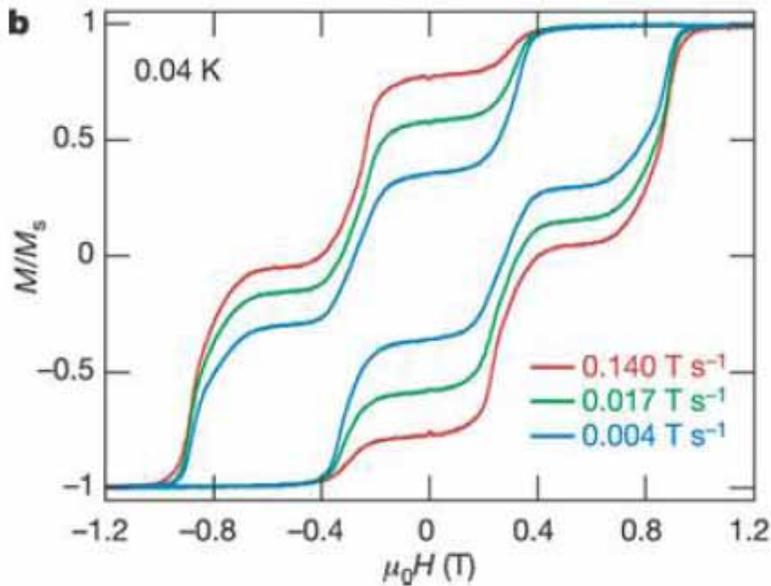
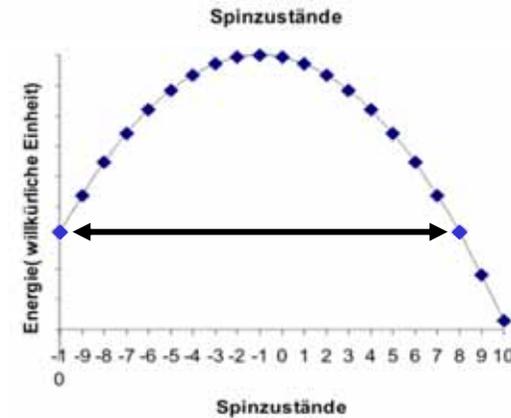
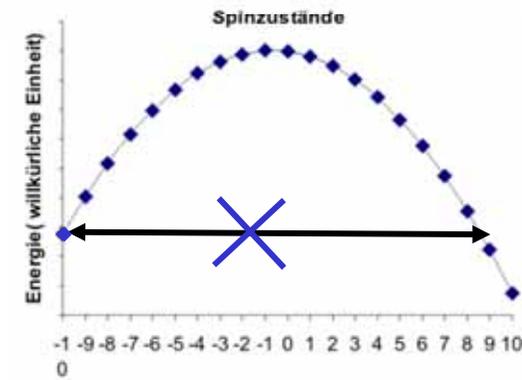
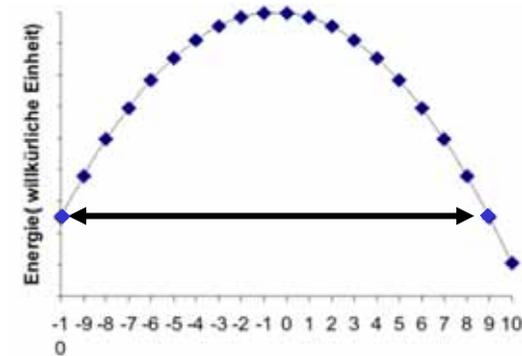
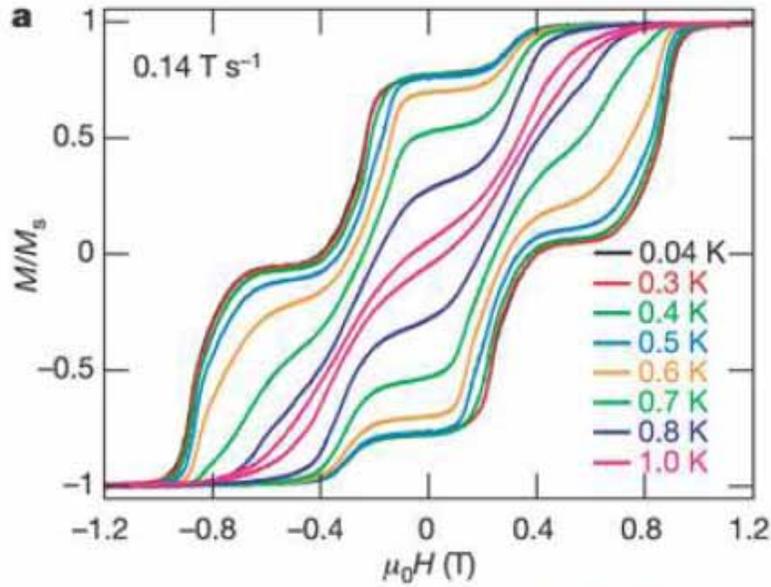
Tunnelwahrscheinlichkeit

Also...

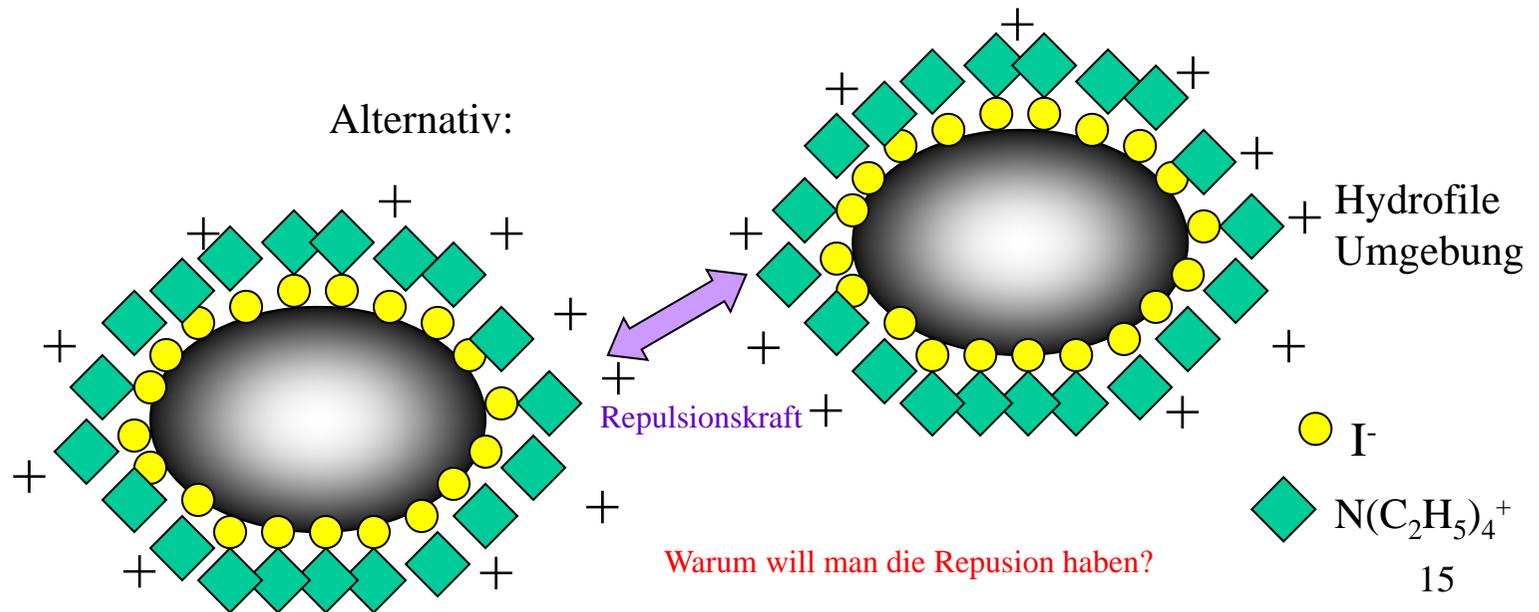
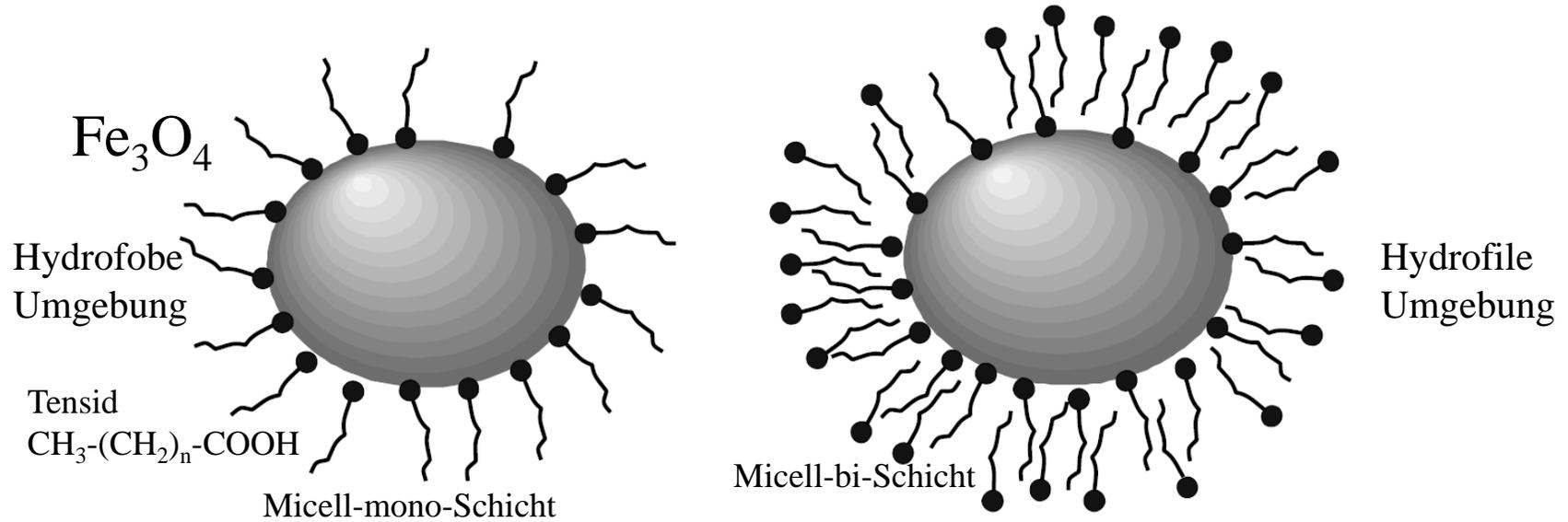
Je grösser Δ desto grösser ist P
Je grösser dH/dt desto kleiner ist P

ist Zeitabhängig – d.h. von dH/dt abhängig

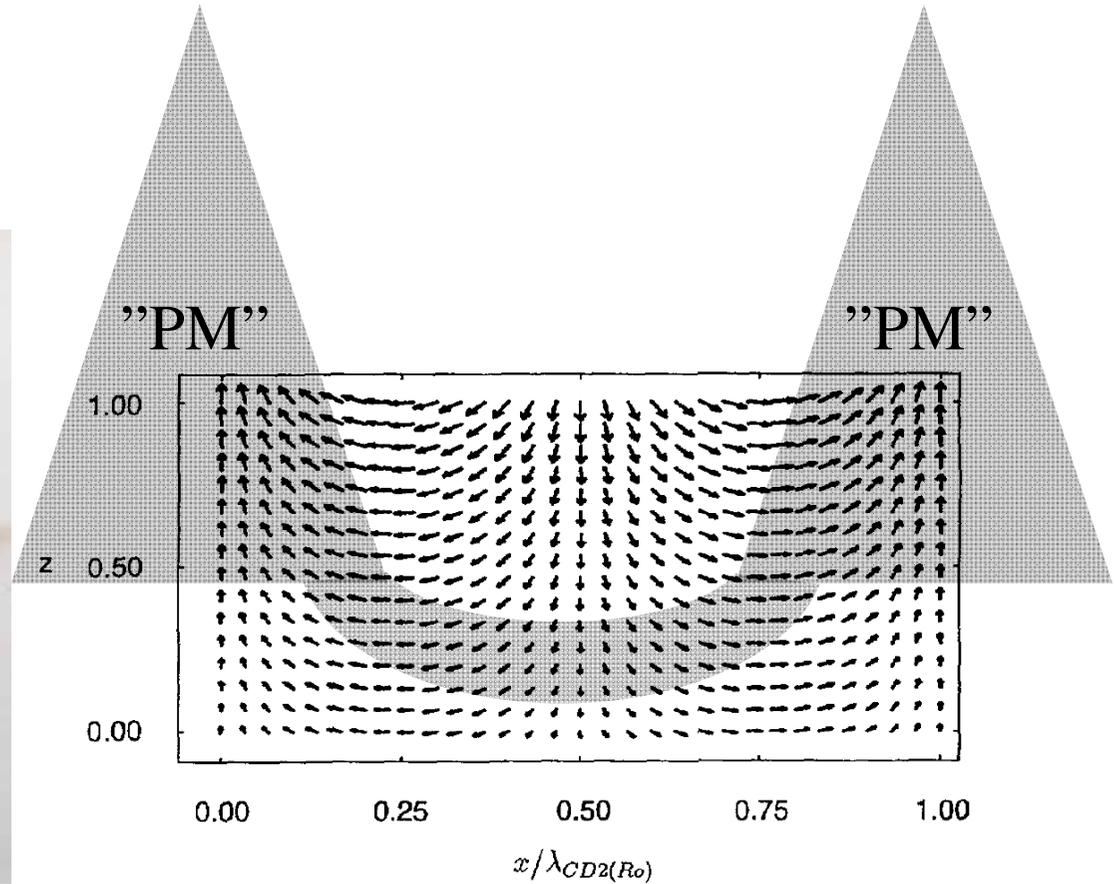
Feld-Geschwindigkeit (dH/dt) MM



FF: der Aufbau



Warum sieht eine FF so aus im Feld

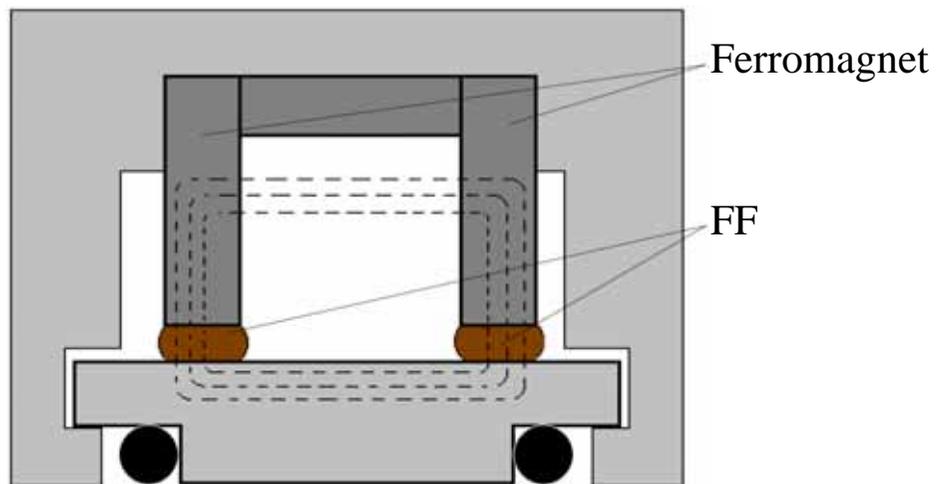


Rosensweig-Instabilität

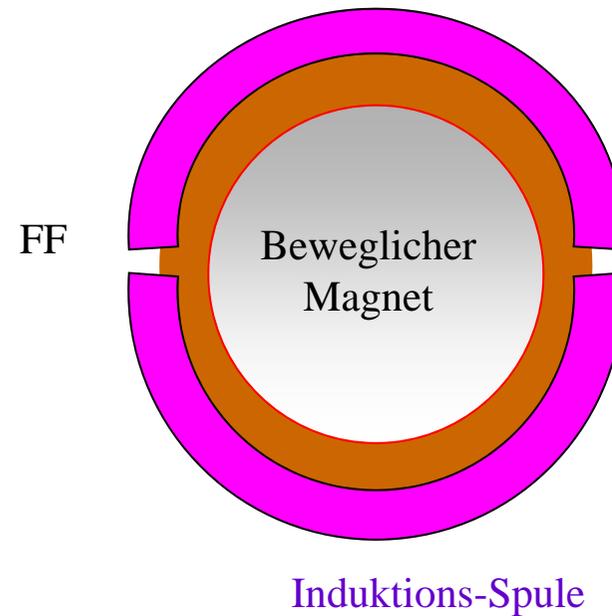
Die Temperatur und das Feld erzeugen zusammen eine "Oscillation" of der Oberfläche

Die Benutzung von FF

ein flüssiges dichtes Schloss

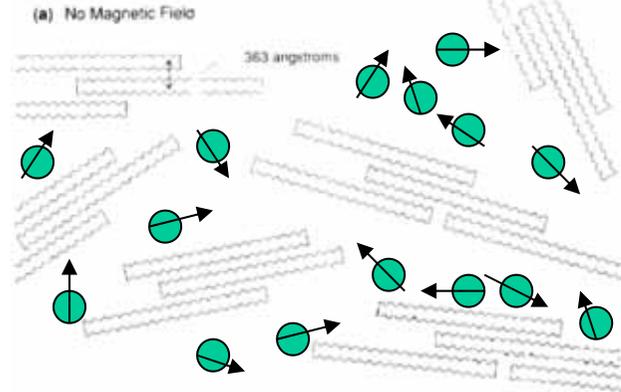
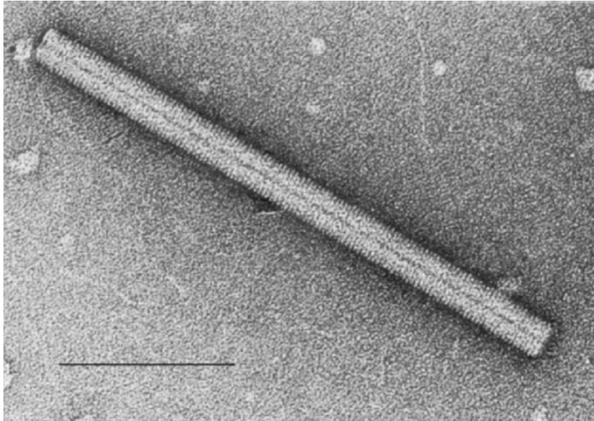


Stabilisieren vom Lautsprechermagnet

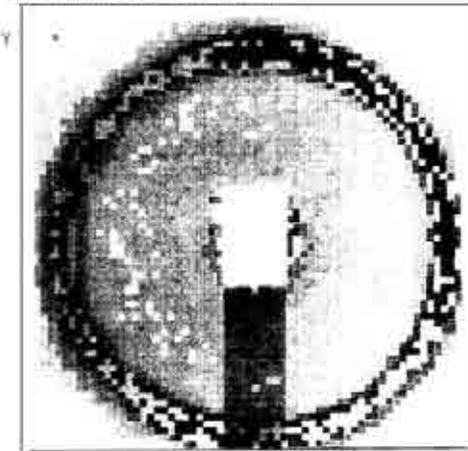


Die Ausrichtung von Moleküle

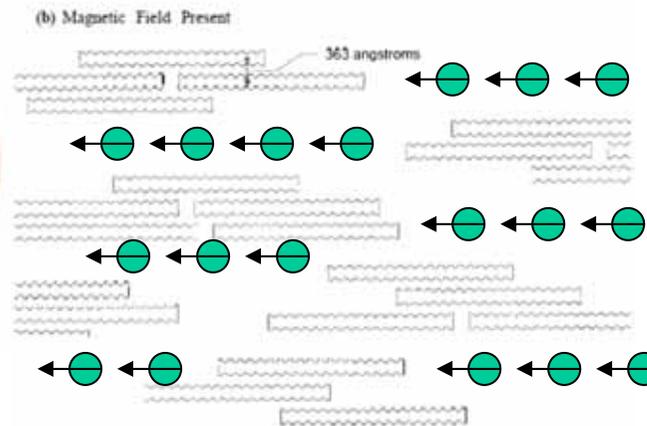
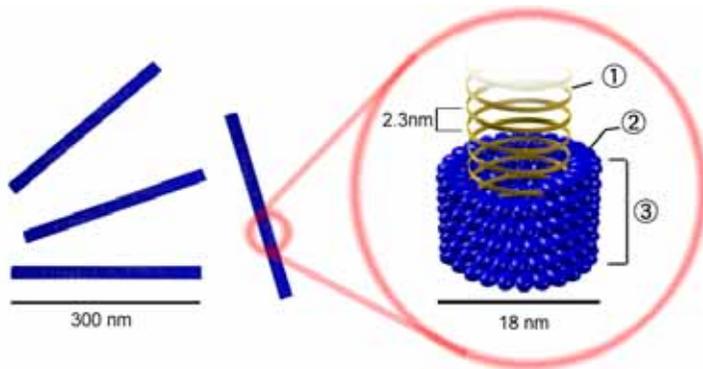
”Tobacco mosaic virus” (TMV) vermischt mit einer FF



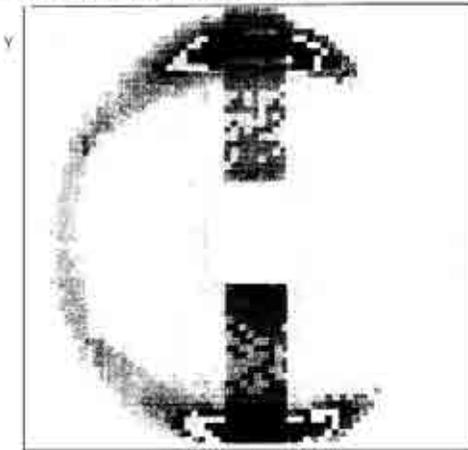
(a) Isotropic Diffraction Peak at 363 angstroms



No Magnetic Field



(b) Anisotropic Diffraction Peak at 363 angstroms

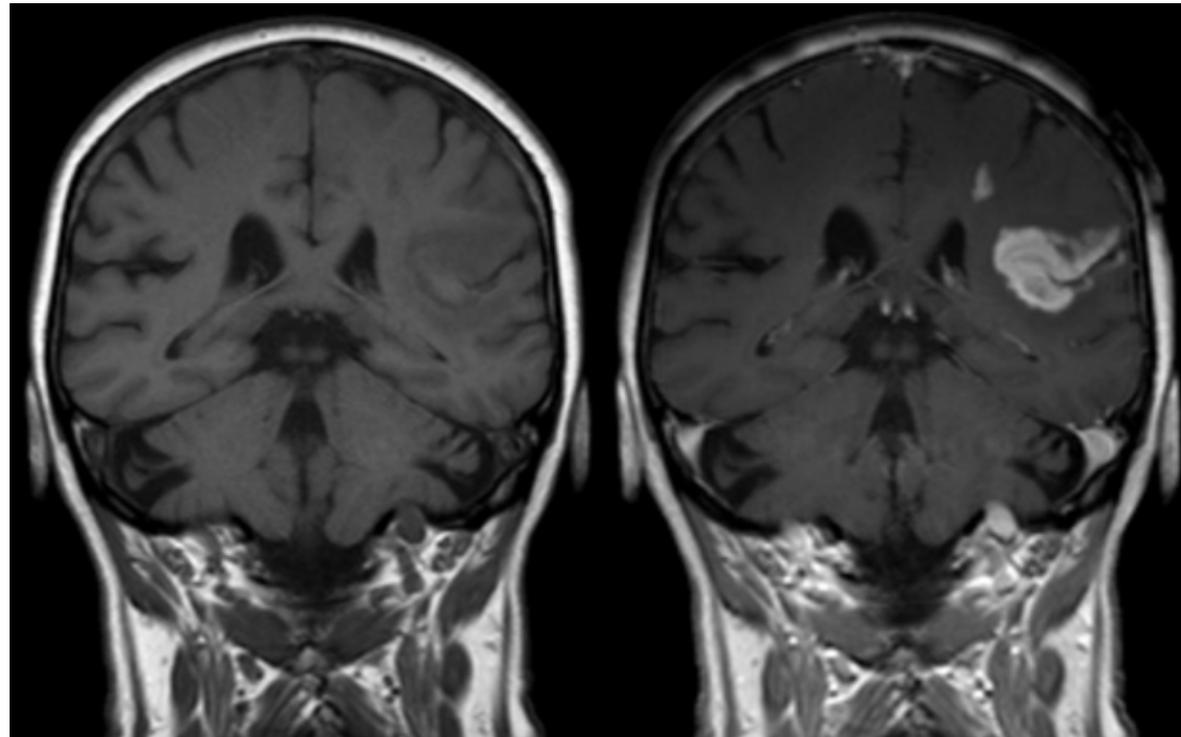


Richtung vom angelegten Feld ←

Kleinwinkelstreuung
18
von Neutronen

Die Benutzung von FF

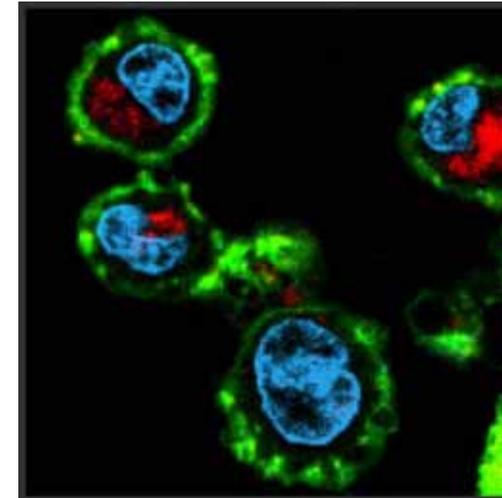
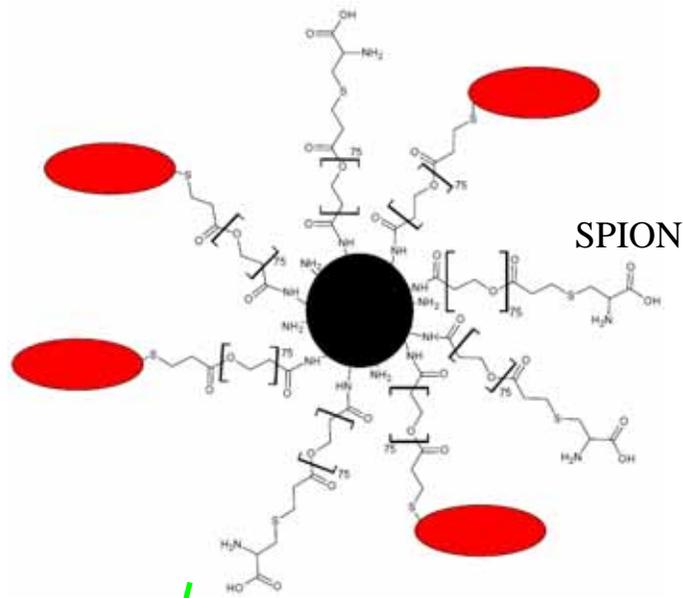
- Kontrastmittel bei *Magnetic Resonance Imaging* (MRI)



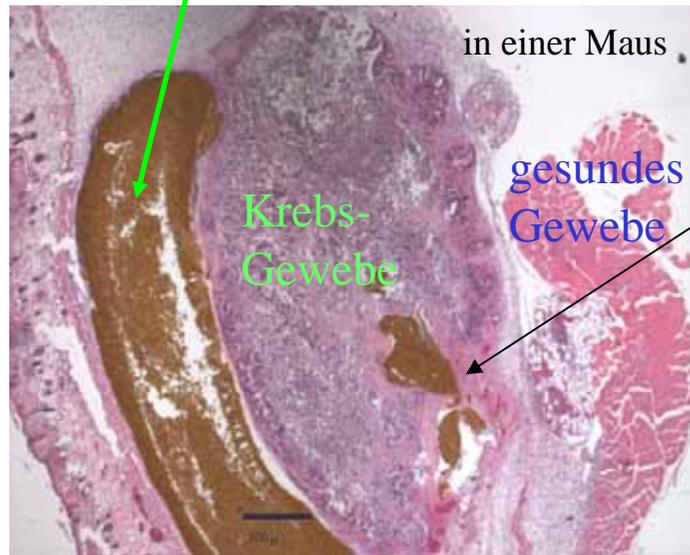
Defekte Blut-Gehirn-Barriere nach einer Apoplexie (Gehirnschlag) mit MRI.
Links ohne und rechts mit Kontrastmittel.

Die Benutzung von FF

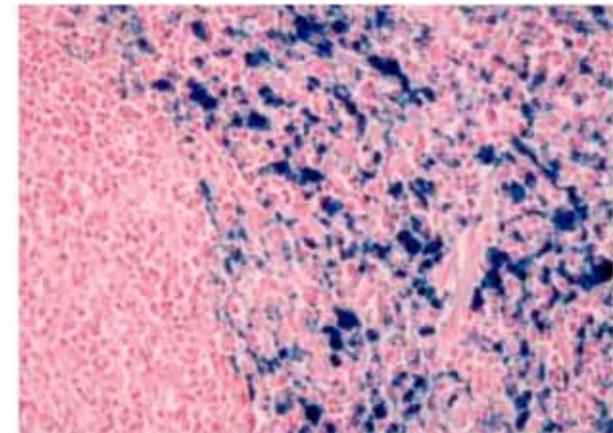
- für Krebsterapie



Die Zellen haben FF(blau) aufgenommen



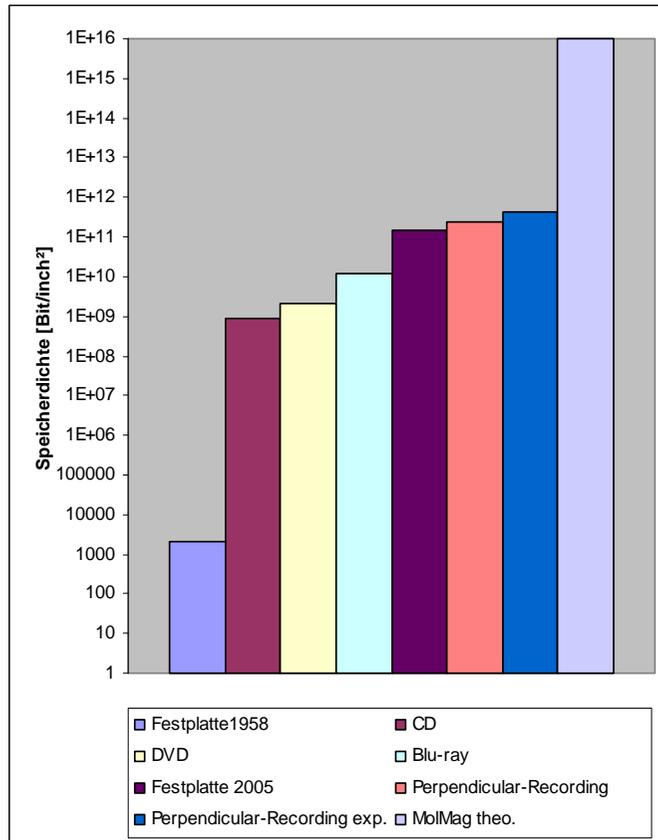
Thermisch induzierte Necrosis
(mittel AC B-Feld)



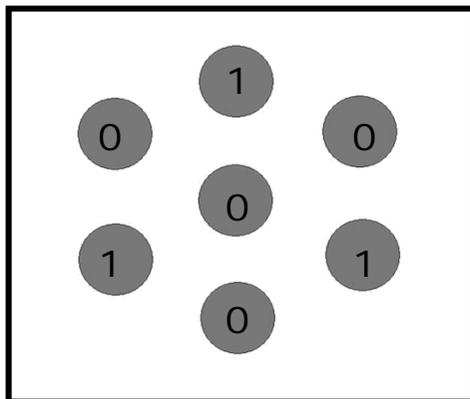
in vivo:
40.4, 43.0 und 44.5°C bei 9, 10 und 10.5 mT (141 kHz)

Die Benutzung von MM

- ein Bit pro Molekül



Festplatte 1958	2 Kbit/inch ²
CD	0,9 Gbit/inch ²
DVD	2,2 Gbit/inch ²
Blu-ray	12,5 Gbit/inch ²
Festplatte 2005	100-150 Gbit/inch ²
Perpendicular-Recording	150-250 Gbit/inch ²
Perpendicular-Recording exp.	421 Gbit/inch ²
MolMag theo.	0,1-10 Pbit/inch ²



Weitere Anwendungen:

- Quantencomputer
- Günstiger Ersatz für traditionelle Weichmagnete (Mikrowellenbauteile, Elektromotoren)

Zusammenfassung

- FF und MM sind magnetische Clusters in flüssiger beziehungsweise fester Matrix.
- MM lassen sich mit einem Gesamt-Spin pro Cluster gut beschreiben.
- In MM können die Zustände der Clusters thermisch oder durch Tunneln ineinander überführt werden. Tunneln überwiegt bei tiefen Temperaturen.
- FF sind theoretisch schwer zu beschreiben aber die typische Igelformation im Feld entsteht durch magnetische Instabilität.
- MM könnten in der Zukunft als Speichermedium benutzt werden – ein Bit pro Cluster.
- FF können öfter eingesetzt werden und wird bereits für Krebsterapie, Schlösser, Lautsprechen und als Kontrastmittel bei MRI benutzt.

Nächste Woche 29.6.: Spinleitfähigkeit und Magnetowiderstand

Wer gelöste Aufgaben einreichen will, darf es dann auch tun.