

# Spins Do -Experimenteller Magnetismus



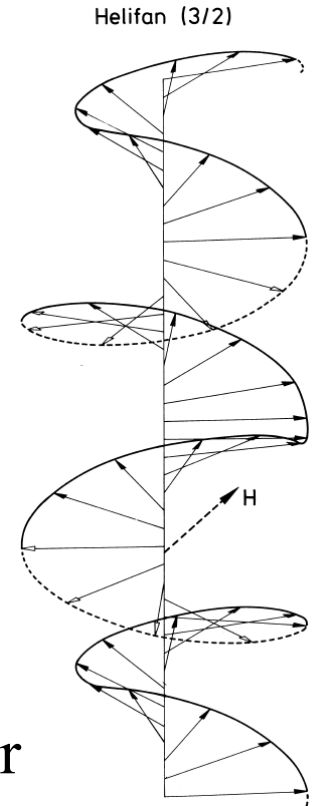
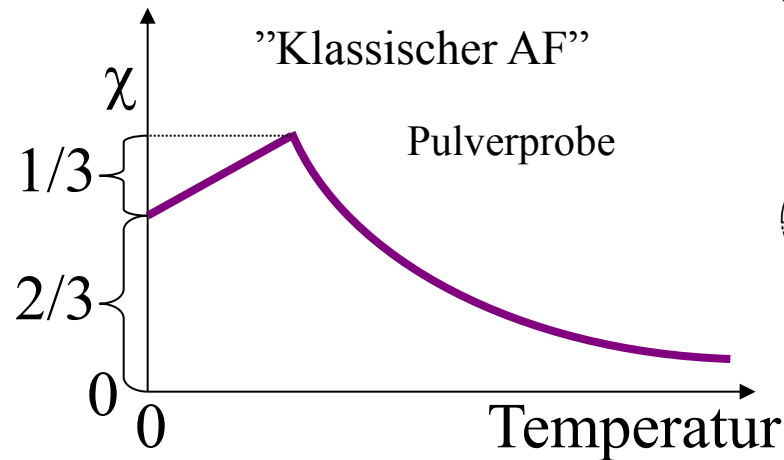
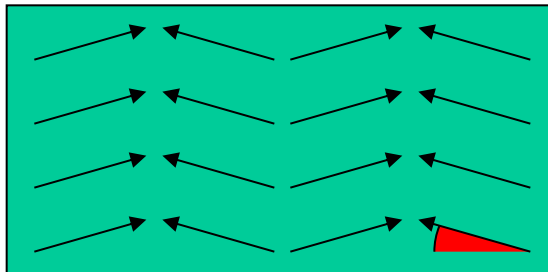
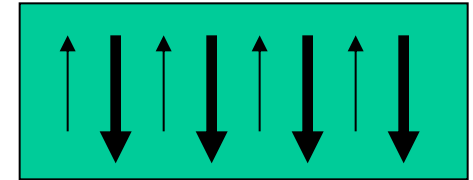
Martin Valldor

IBM-Ahmed

# Rückblick

## auf LRO

- Temp. – Feld – J => Kampf um (Spin-) Ordnung oder Chaos.
- J – Spin-spin-Wechselwirkungen sind: Dipol-Dipol, Super-Austausch, Doppel-Austausch, RKKY.
- Grundzustände: **AFM**, **FM**, **FiM**, *canted AFM*, *Helimagnet*, *konischer Helimagnet*, *Helifanmagnet*.
- $\chi^{-1} = \frac{1}{C}(T - \theta)$  (+ $\theta$  FM, - $\theta$  AFM)

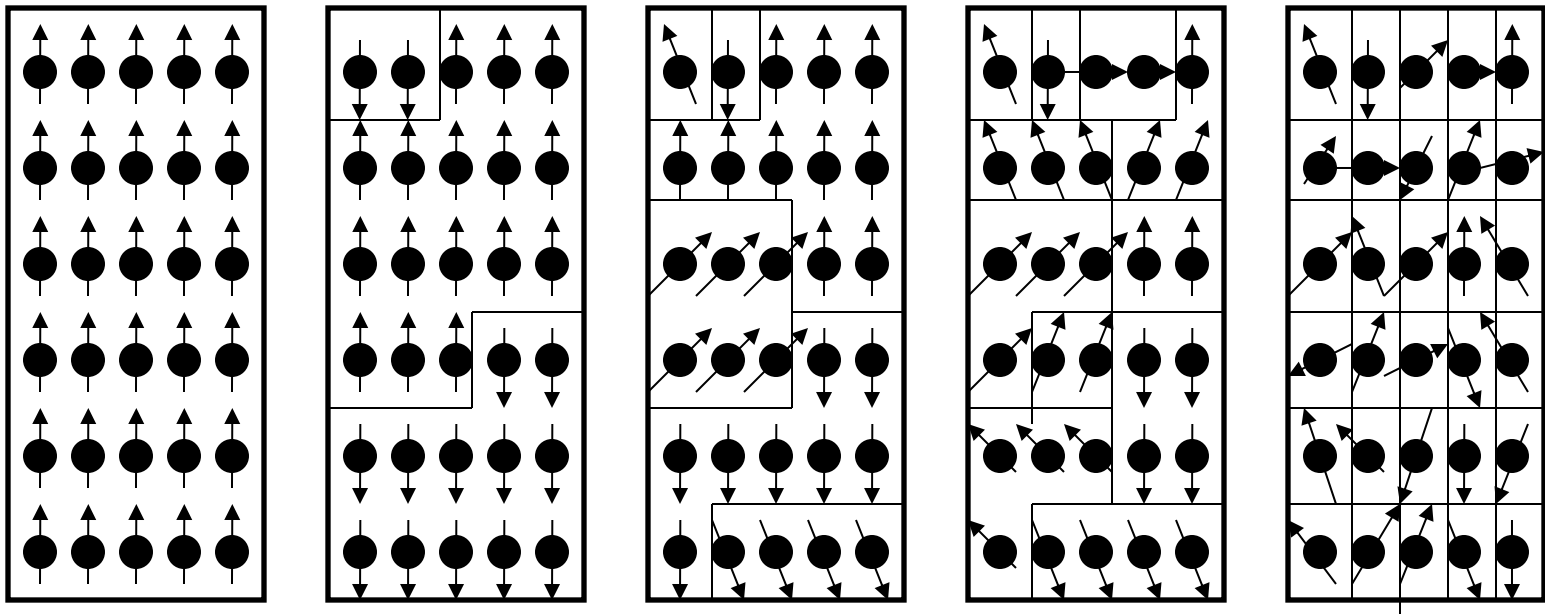






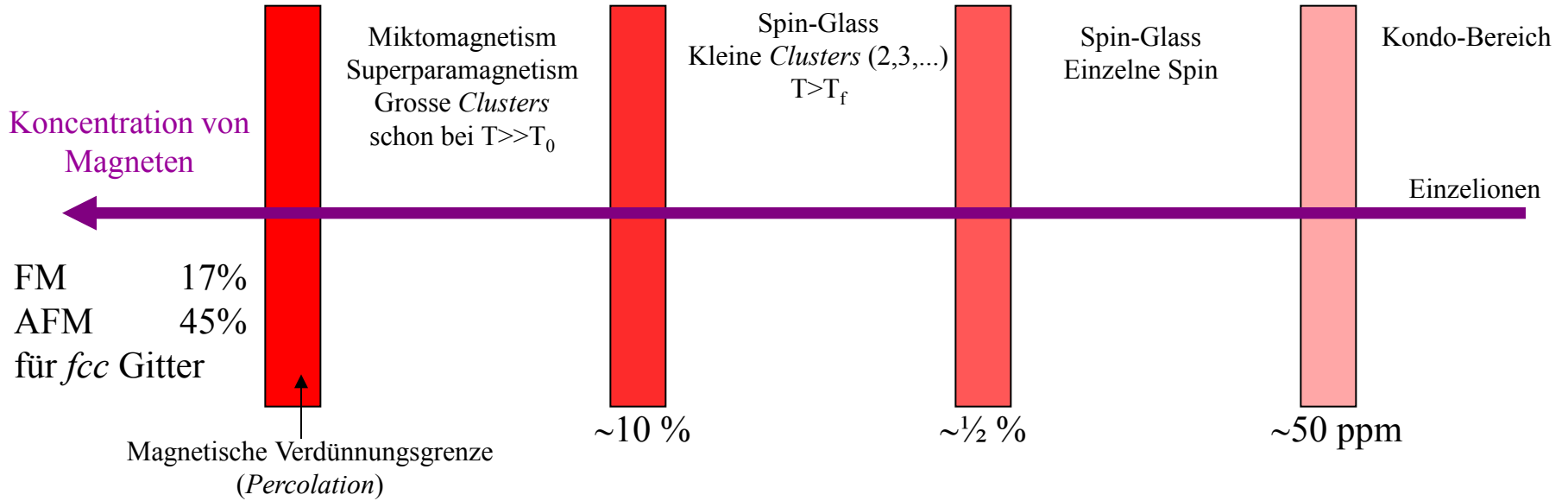
# Ordnung bis ins Chaos

# ORDNUNG bis ins **Chaos**



Wie kann man diese eingefrorene Unordnung verursachen?

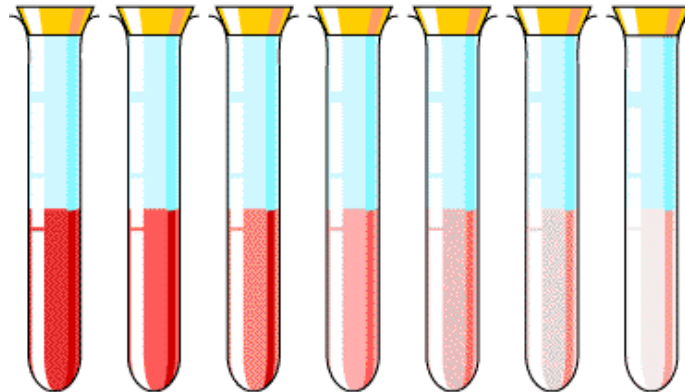
# Verdünnung



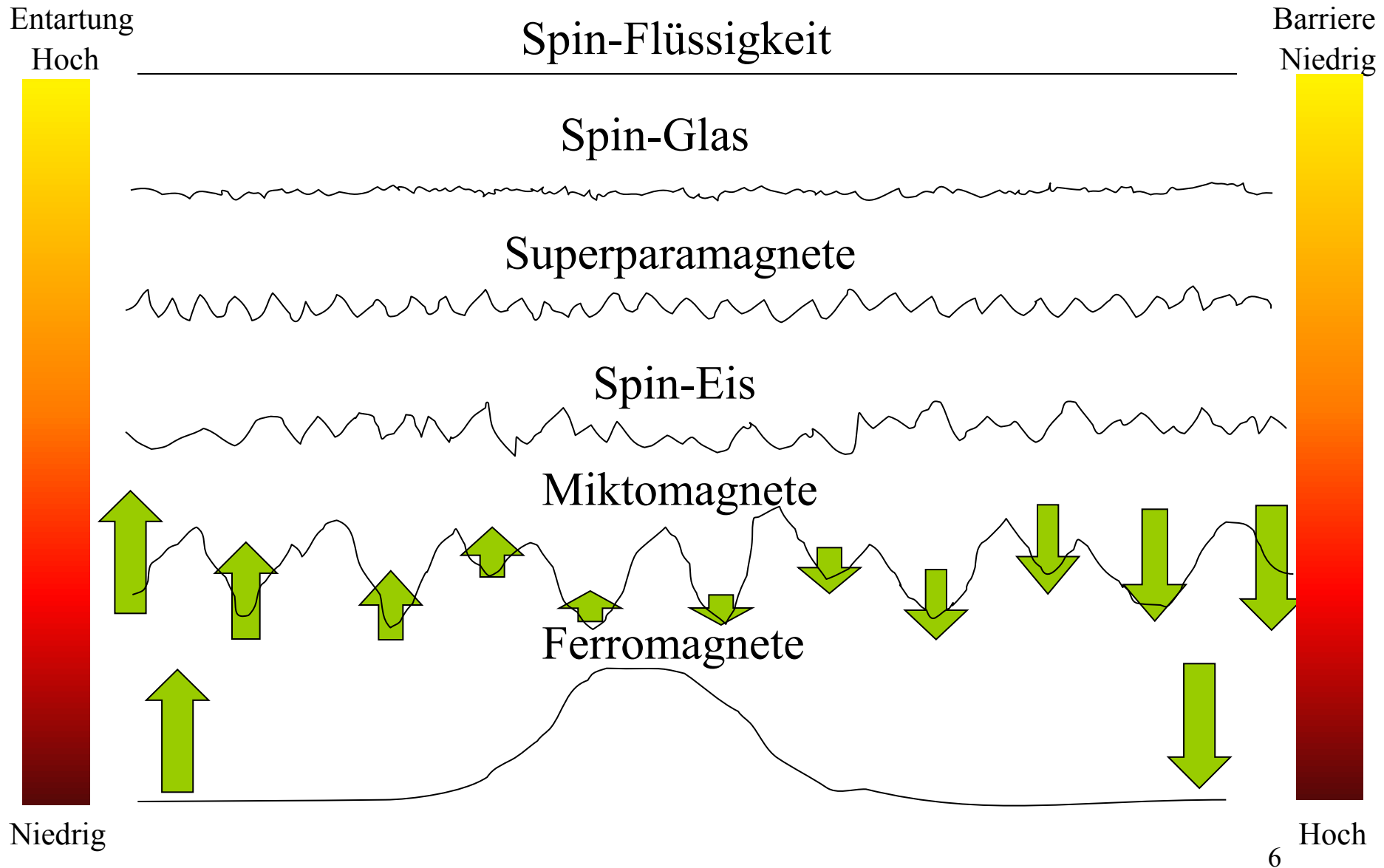
WW: Direkter Austausch

Dipol-Dipol WW  
 Kurzreichweitiger direkter Austausch (+RKKY)

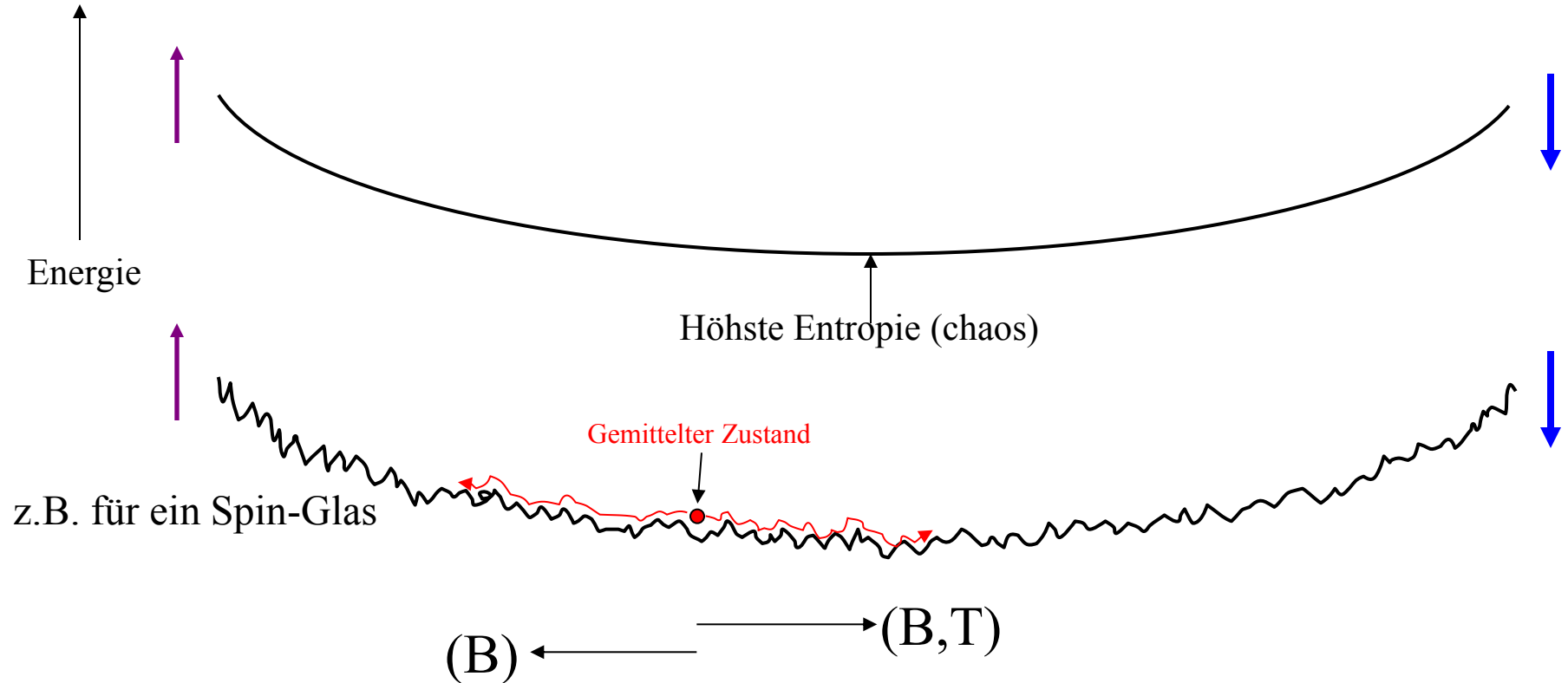
RKKY



# Zustands-”Landschaften”



# Allgemein für jede Landschaft



Die Energie von Feld ( $g \cdot \mu_B \cdot B \cdot m_J$ ) und/oder Hitze ( $k_B \cdot T$ )  
können den Zustand durch die Landschaft verschieben

# Magnetisches Chaos messen

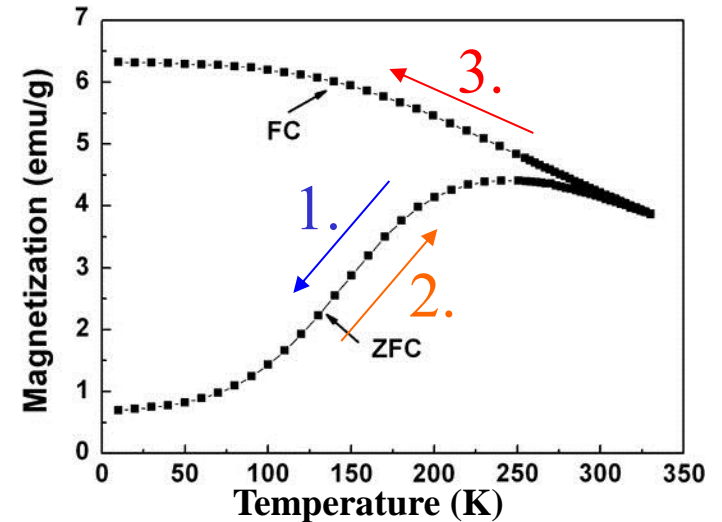


# ”Field cooling” (FC)- ”zero-field cooling” (ZFC)



FC: Mit B-Feld abkühlen (und messen)

ZFC: Ohne B-Feld abkühlen (nicht messen)



1.  $B = 0$  T, Temp bis tiefst möglich
2.  $B =$  Messfeld, Temp hoch bis maximum
3.  $B =$  Messfeld, Temp bis tiefst möglich

Ergebnisse:

FC = ZFC: langreichweitige Spinordnung.

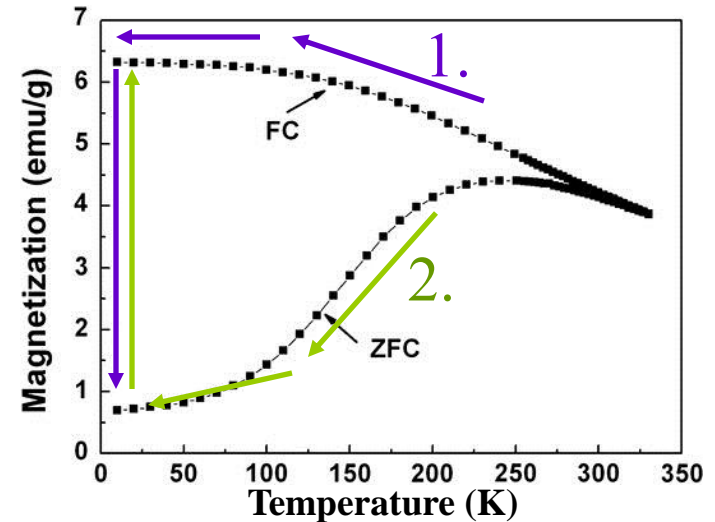
FC  $\neq$  ZFC: Domäneneffekte (davon gibt es viele)

# Magnetische Relaxation

FC  $\neq$  ZFC

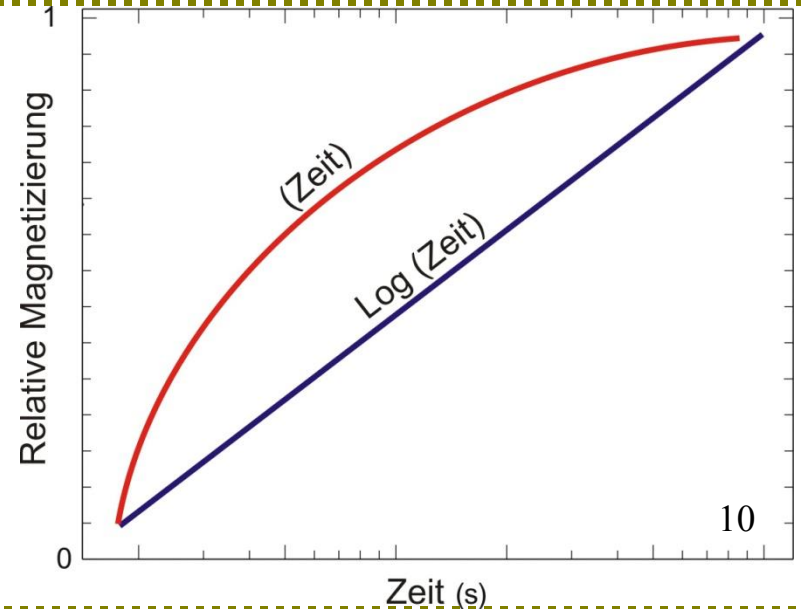
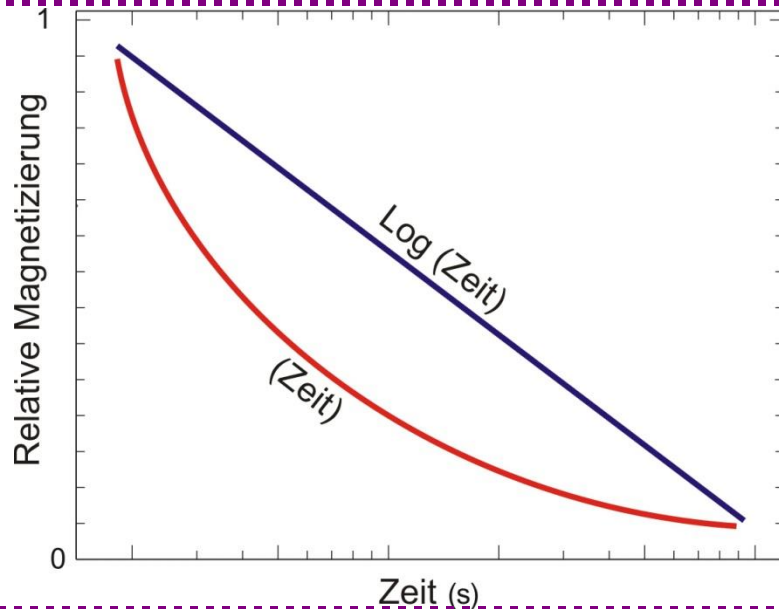
Entspannung tritt auf wenn:

1. die thermische Energie ist
2. die Energie des B-Feldes (+ der Hitze) ist in der Grösse der Aktivierung zwischen zwei benachbarte magnetische Zustände.



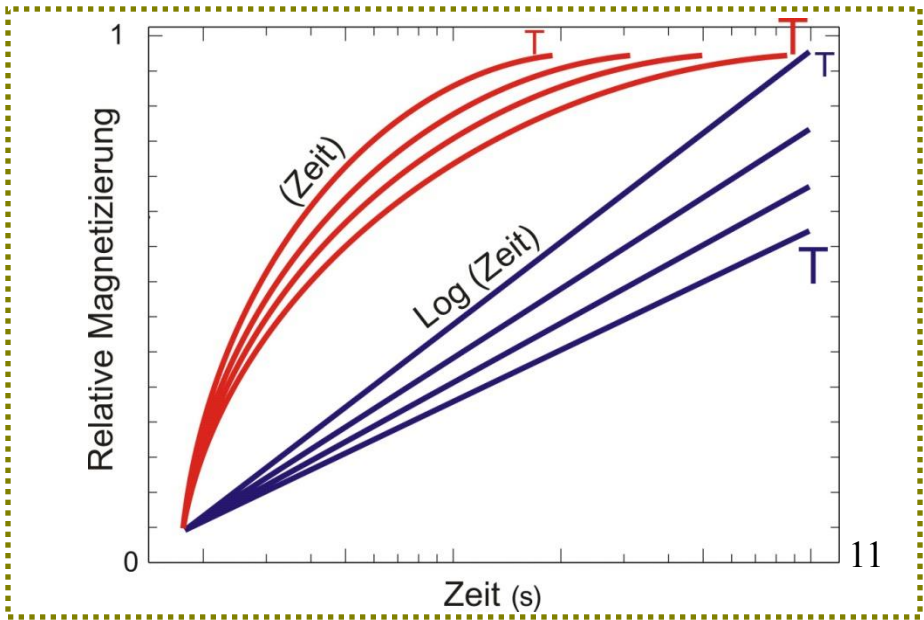
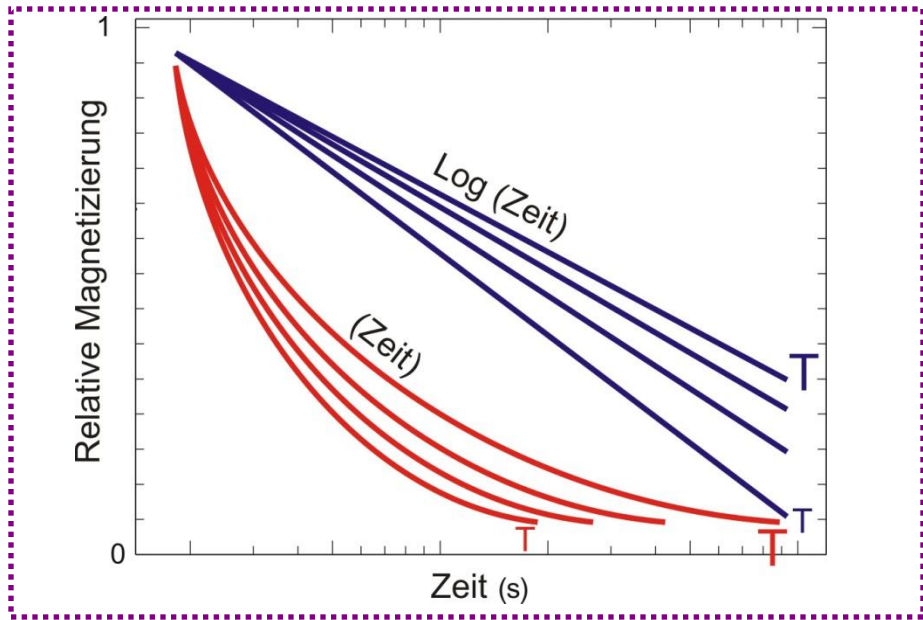
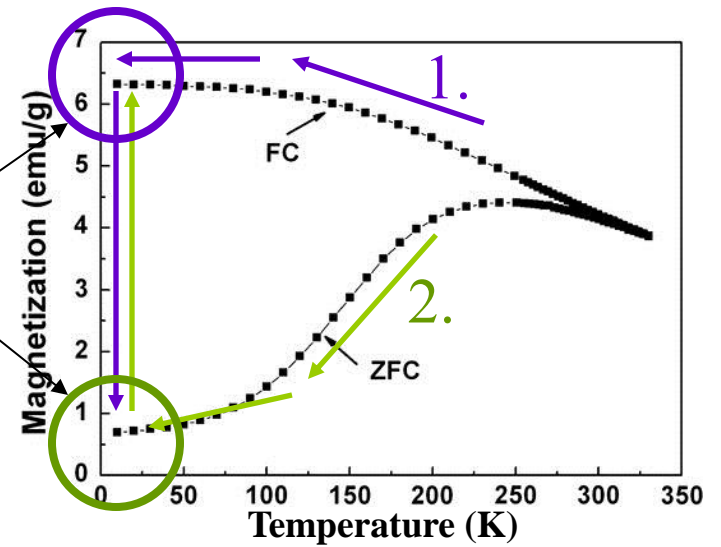
Zwei Methoden:

1. FC bis ZFC, mit B-Feld abkühlen, bei tiefst Temp Feld ausschalten, gegen Zeit messen
2. ZFC bis FC, ohne B-Feld abkühlen, bei tiefst Temp Feld einschalten, gegen Zeit messen



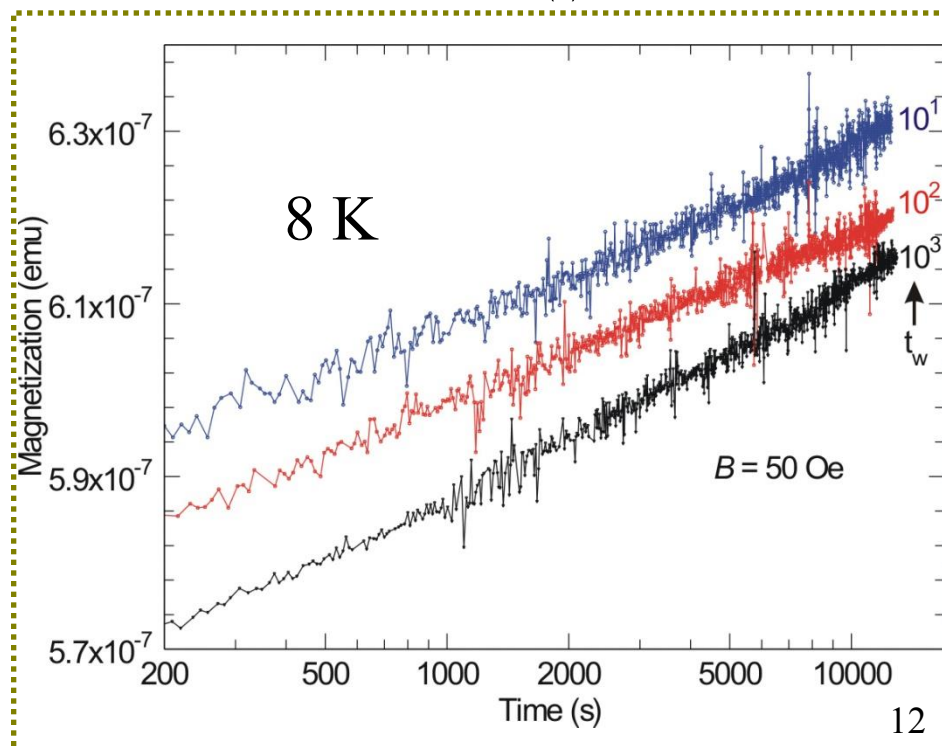
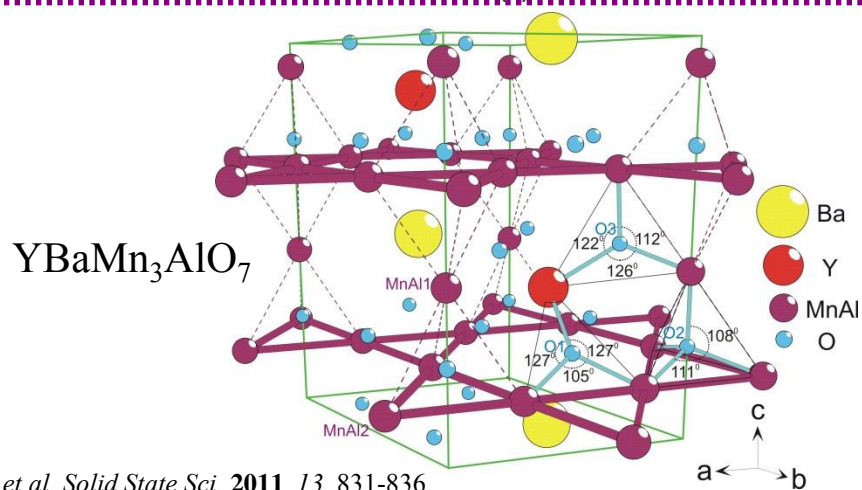
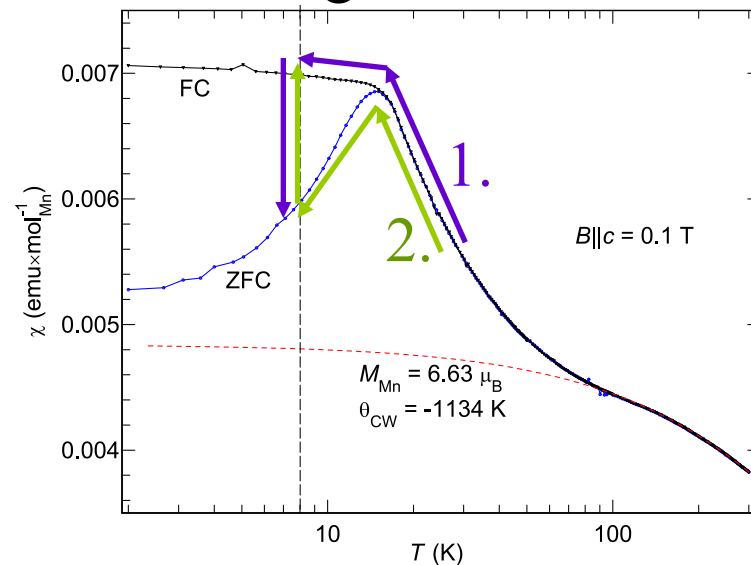
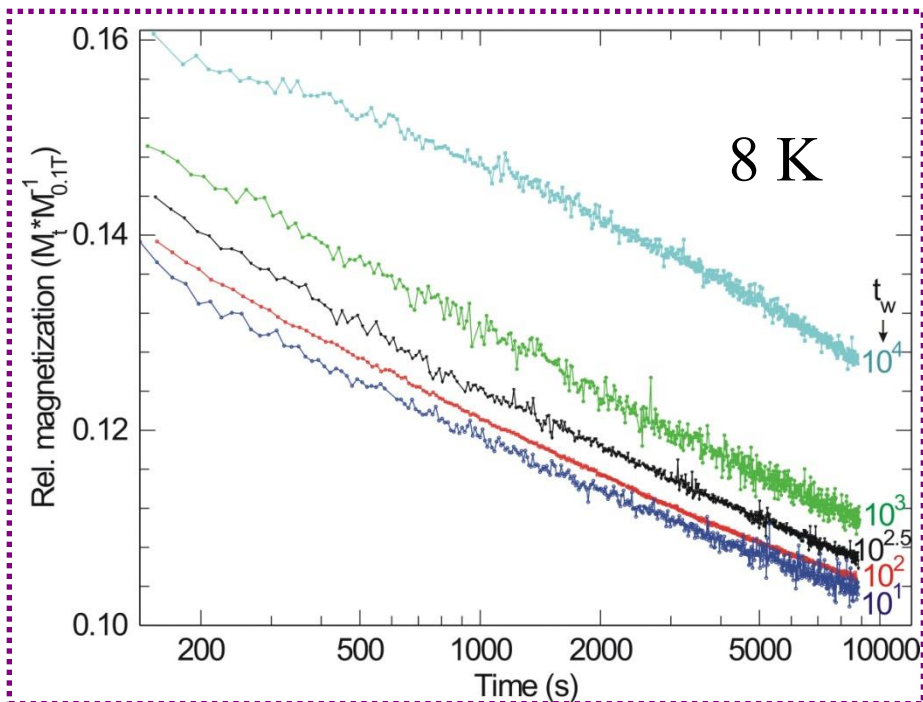
# Magnetische Alterung ("ageing")

Die thermische Energie reicht aus um energetisch günstigere Zustände zu finden – das dauert aber eine gewisse Zeit

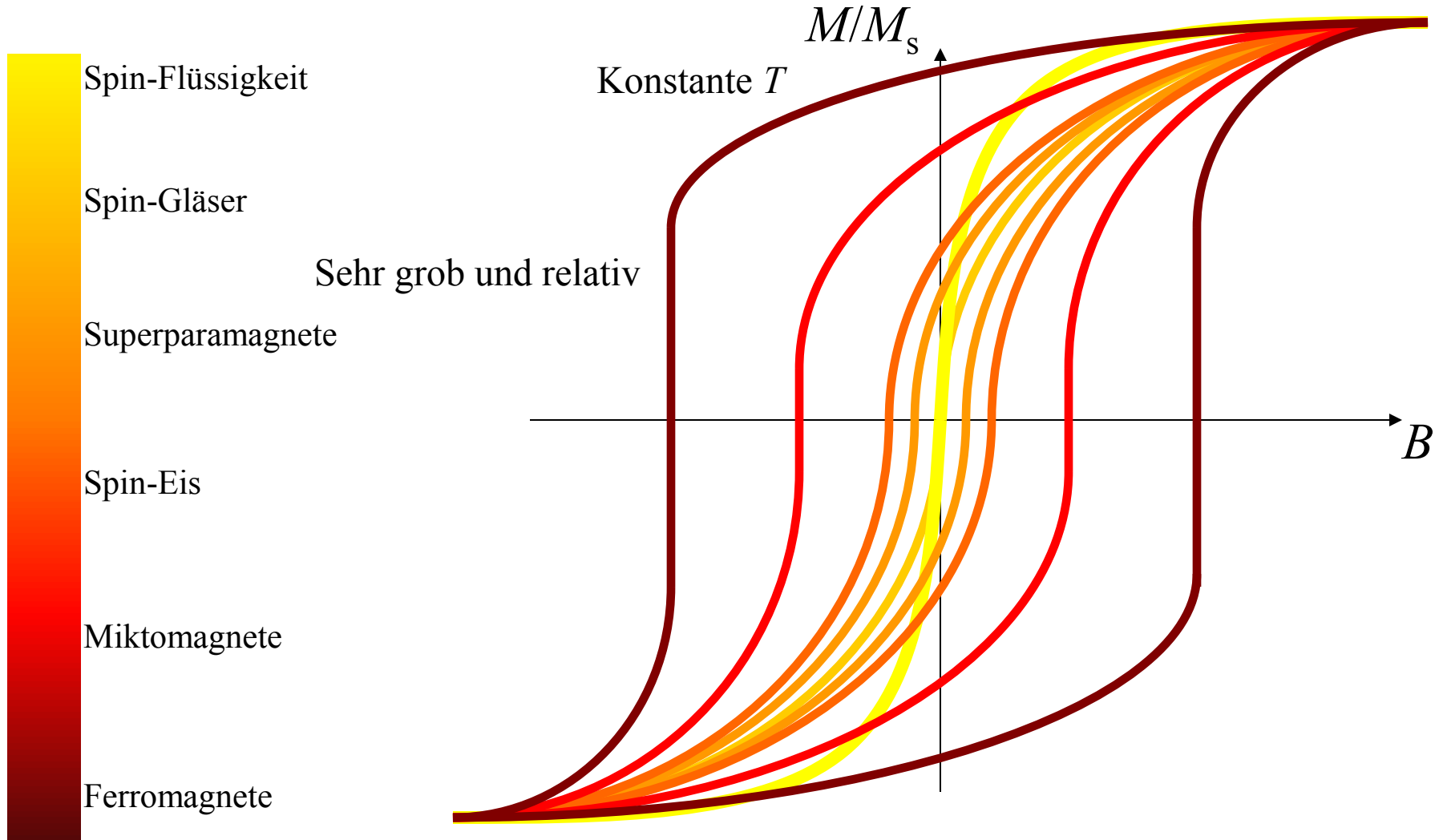


# Magnetische Relaxation + Alterung

ein Beispiel



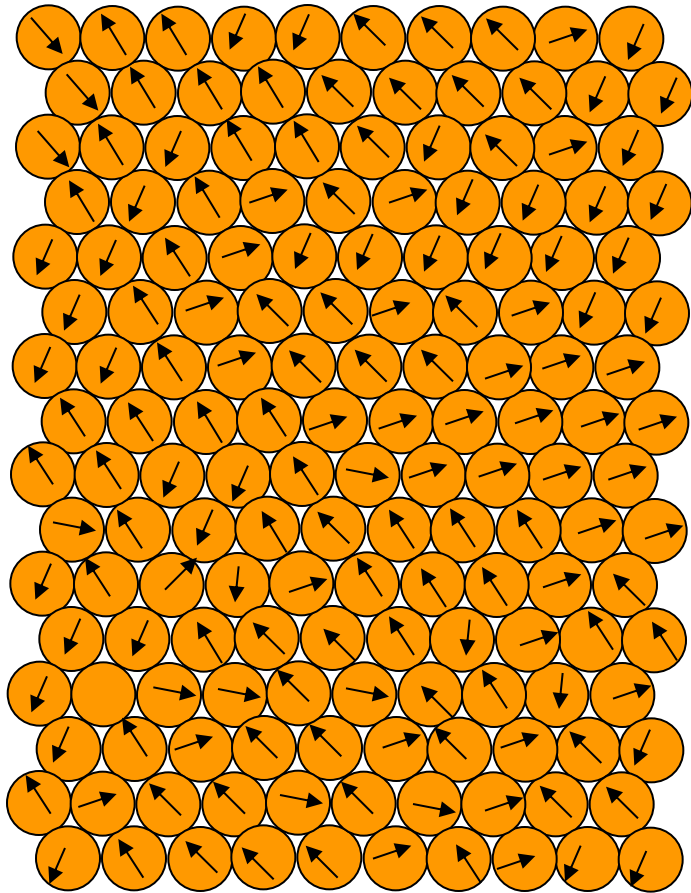
# Magnetisierung



Relative Temperatur und die Geschwindigkeit der Feldänderung spielen hier aber eine Rolle – Warum? Wie?



# Ferromagnetismus



nicht magnetiziert



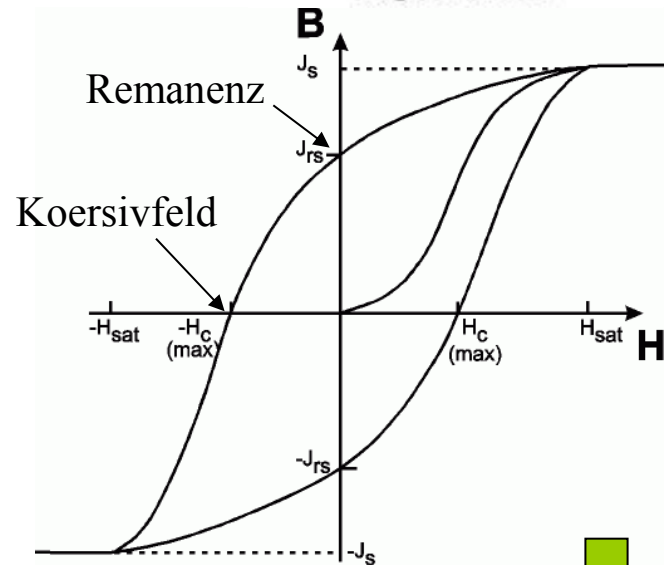
Domains Before Magnetization



Domains After Magnetization

”FC = ZFC”

Keine messbare Relaxation!



Kaum Entartung

Hohe Aktivierung





# Mikromagnetismus – ”Cluster glass”

Atomare Unordnung

Viele magnetische Atome

In den *Clusters* Direkte Kupplung

”Mikto” - RKKY zwischen den *Clusters*

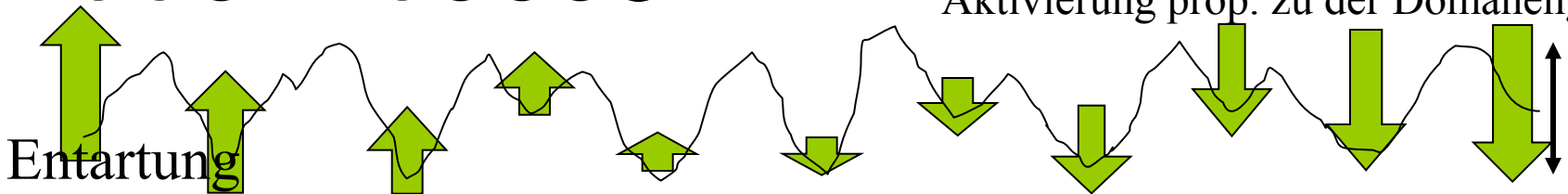
”-Glass” – Dipol-WW zwischen den *Clusters*

AFM

FM

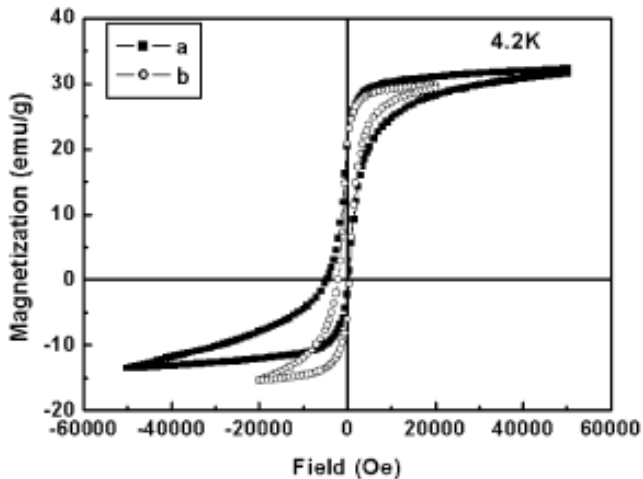
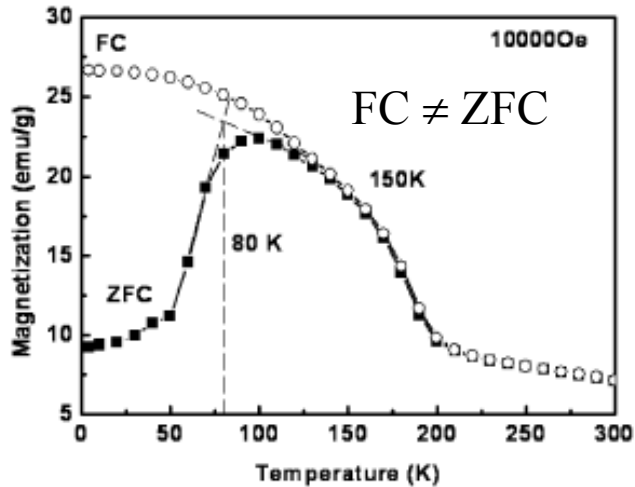
Magnetismus in den *Clusters* ist viel stärker als dazwischen  
Die Größe des *Clusters* korreliert mit der Ordnungstemperatur

Aktivierung prop. zu der Domänengröße

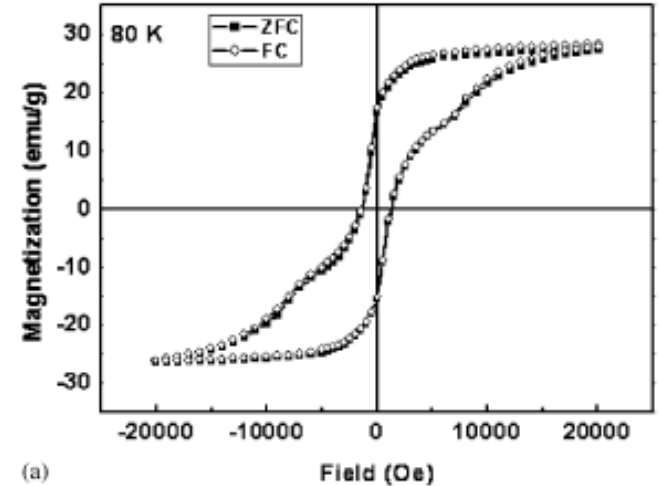


# Mikromagnetismus – ”Cluster glass”

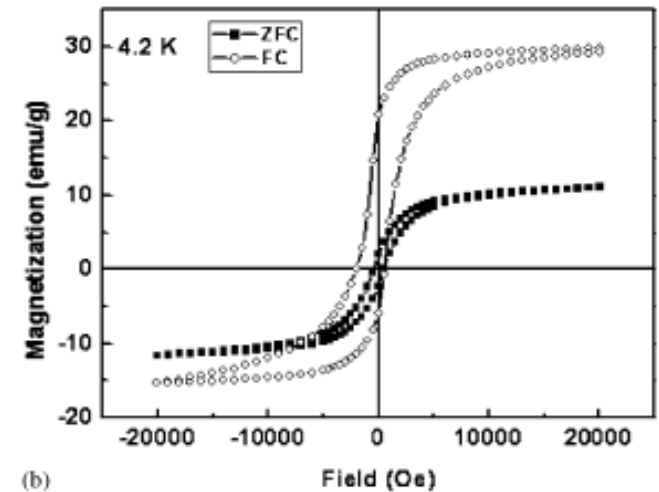
SmFeAl



Keine messbare Relaxation!



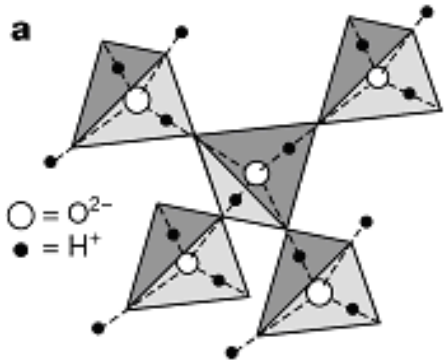
(a)



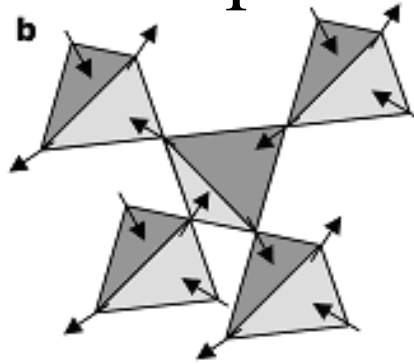
(b)

Asymmetrische Hysterese

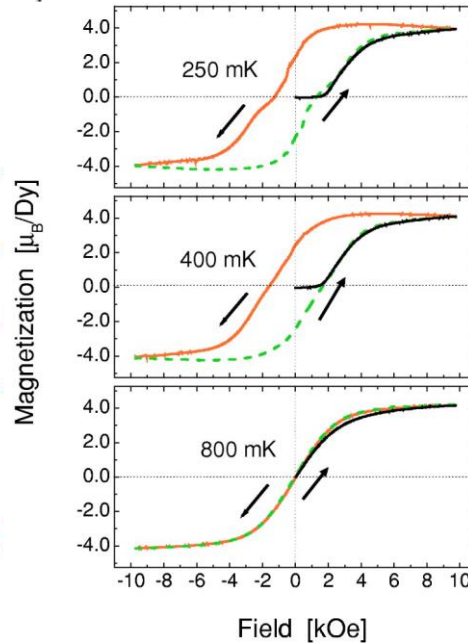
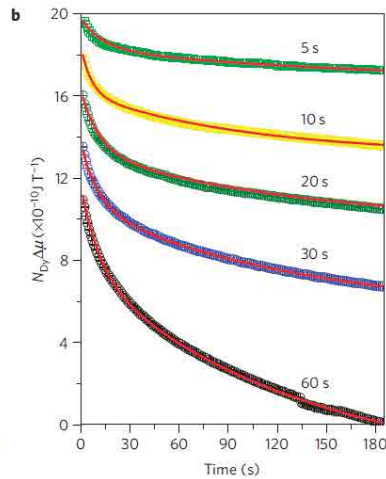
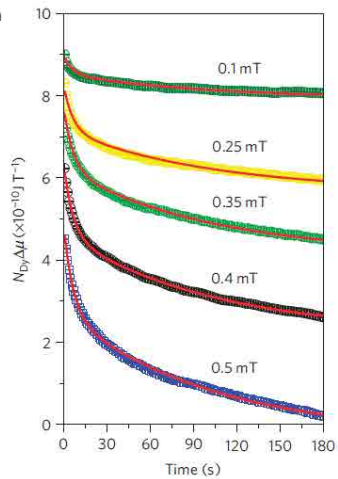
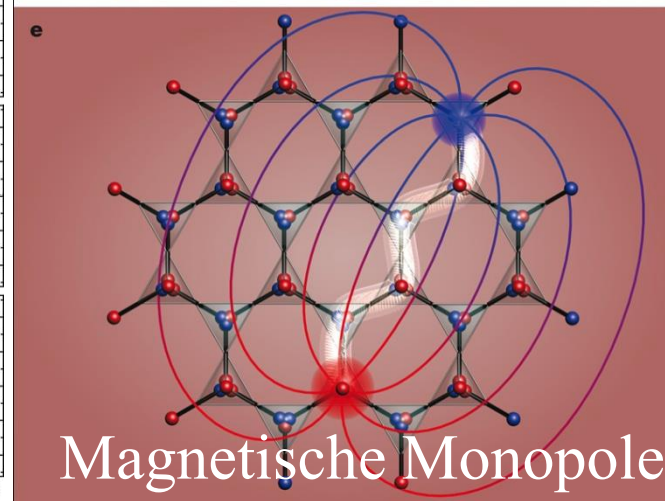
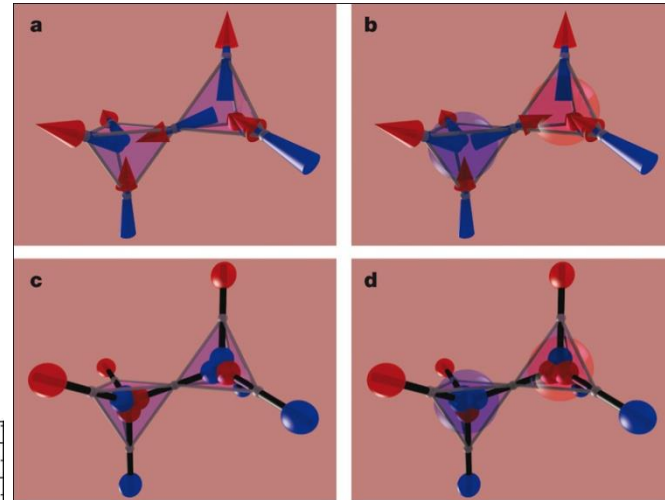
# Spin-''Ice''



Water ice



Spin ice Dy<sub>2</sub>Ti<sub>2</sub>O<sub>7</sub>



Signifikante Entartung

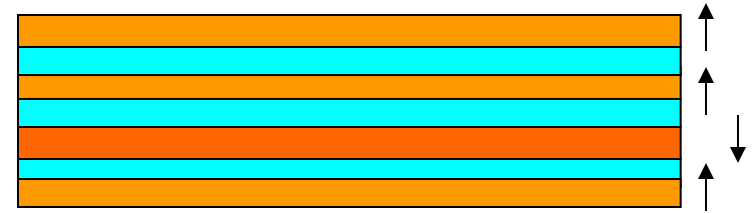
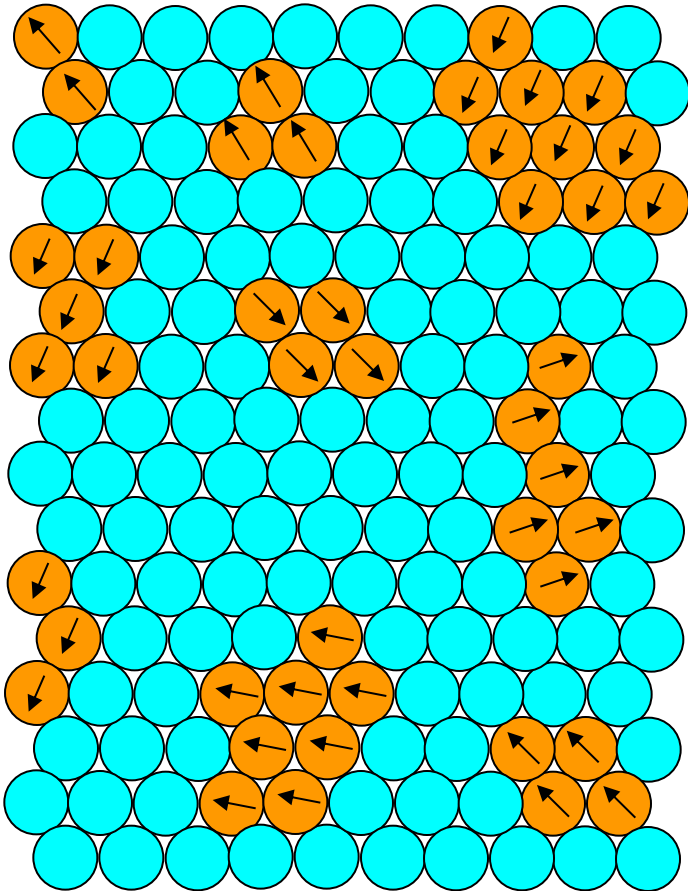
FC ≠ ZFC  
Messbare Relaxation!

Signifikante Aktivierung



# Superparamagnetismus

FM Isolierte Domäne ("Clusters")



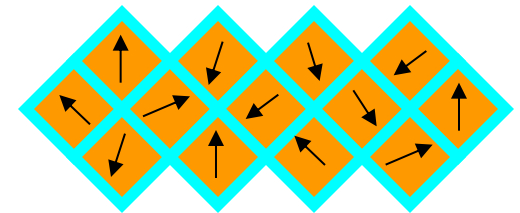
Lokaler  
Bandmagnetismus oder super(doppel)austausch

Viele magnetische Atome

~~RKKY~~

Isolierende oder  
schlecht leitende Matrix

Dipol-Dipol WW?



Woraus könnte ein SPM bestehen?

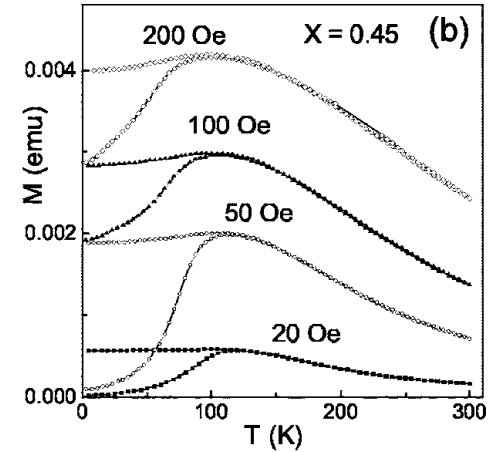
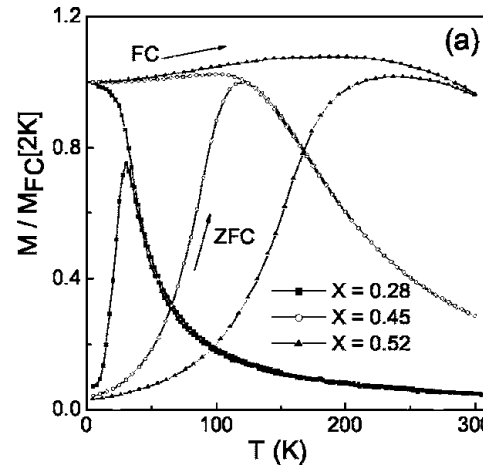
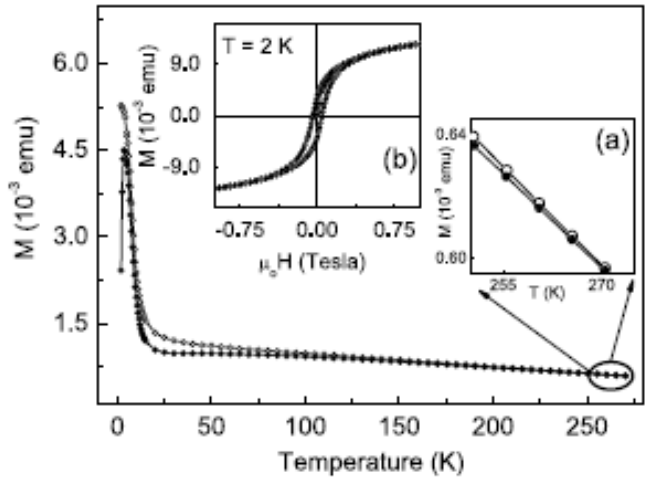
Warum clusters?

Grosse Entartung

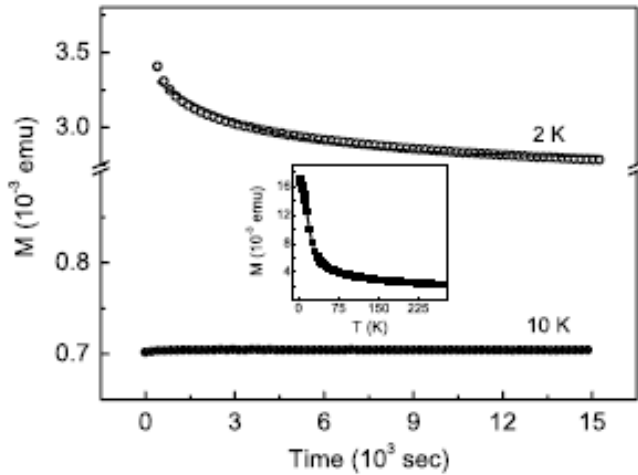
Niedrige Aktivierung



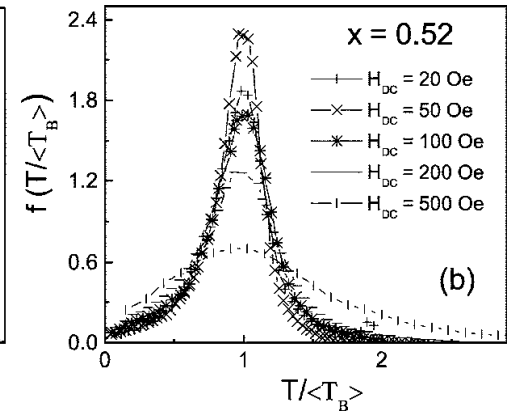
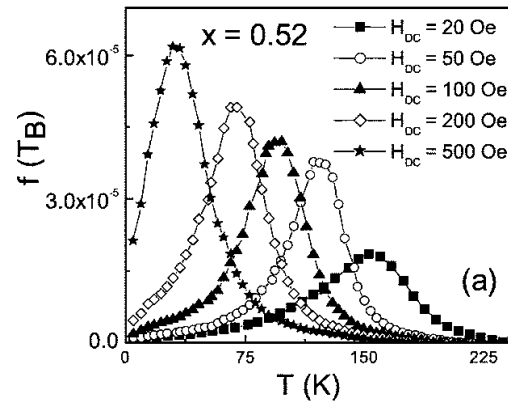
# Superparamagnetismus



CoPt – nanopartikel in Polymermatrix



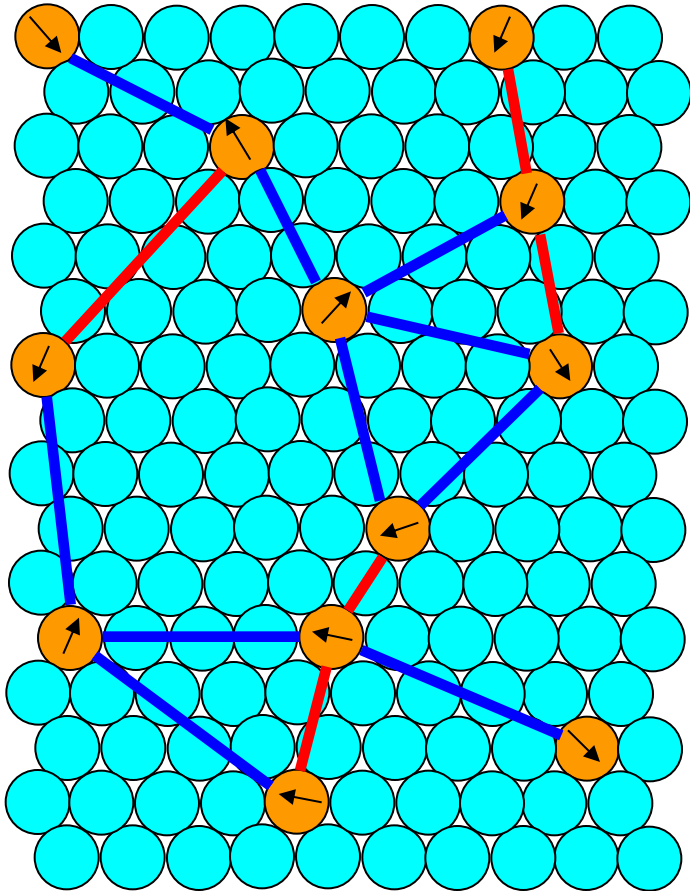
$\text{Co}_x(\text{SiO}_2)_{1-x}$



FC  $\neq$  ZFC      Messbare Relaxation!

*Blocking temperature – was könnte das wohl sein?*

# Spin-Glas



”Glas” – amorphe magnetische Eigenschaft

AFM

FM

Frustration führt zu unterschiedlichen Spin-Spin Kupplungsstärken ( $J$ )  
und magnetischer ”Entartung”  
d.h. Dreht man einen Spin ist der Unterschied in Energie sehr klein.

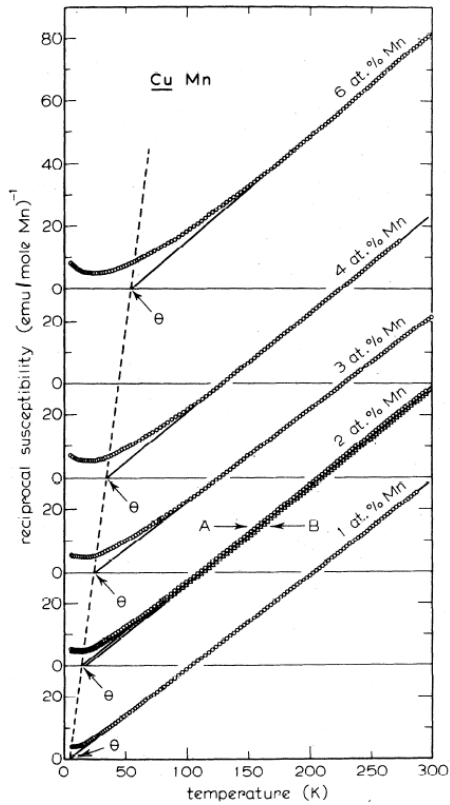
Riesige Entartung

Kaum Aktivierung

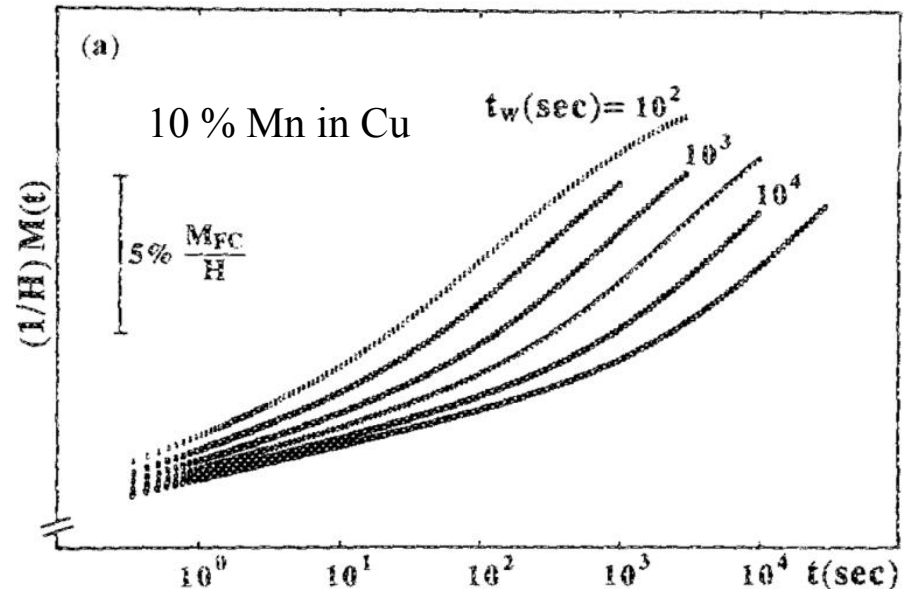
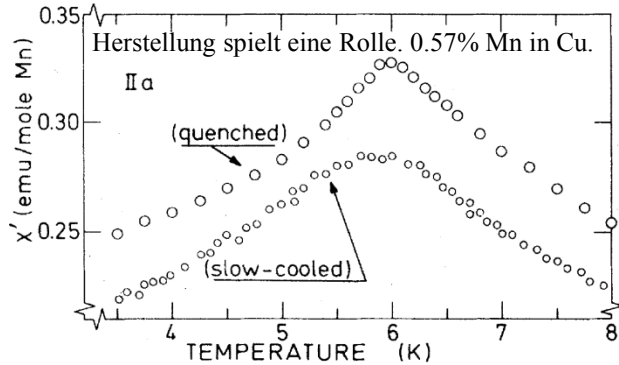
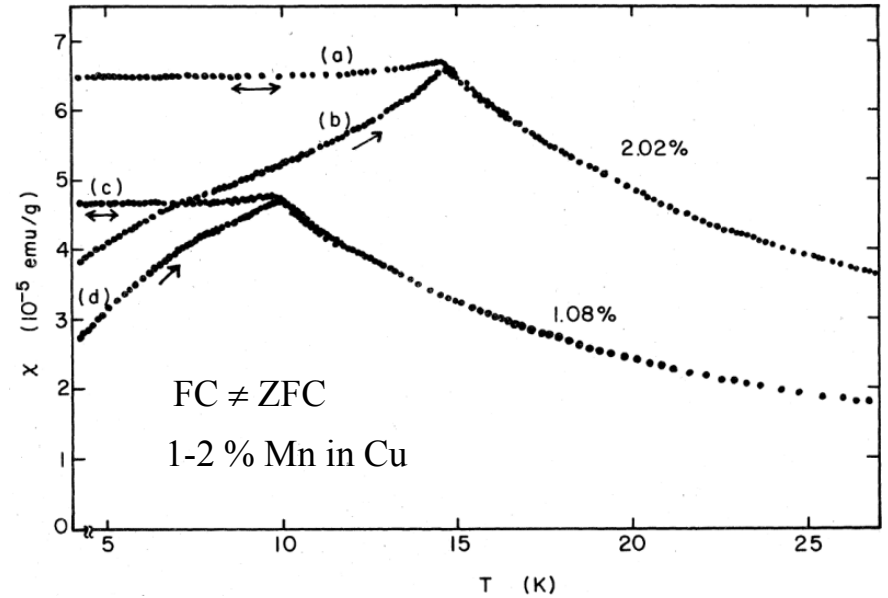


$\text{Cu}_{1-x}\text{Mn}_x$  (1-6%)

# Spin-Glas

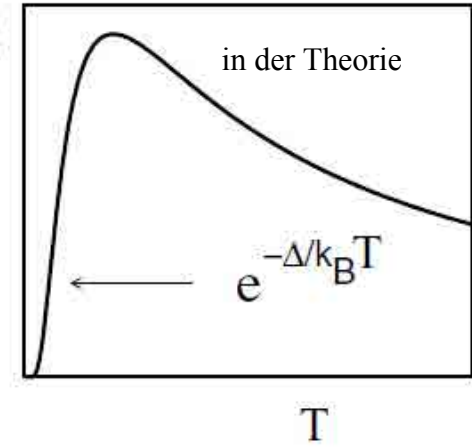
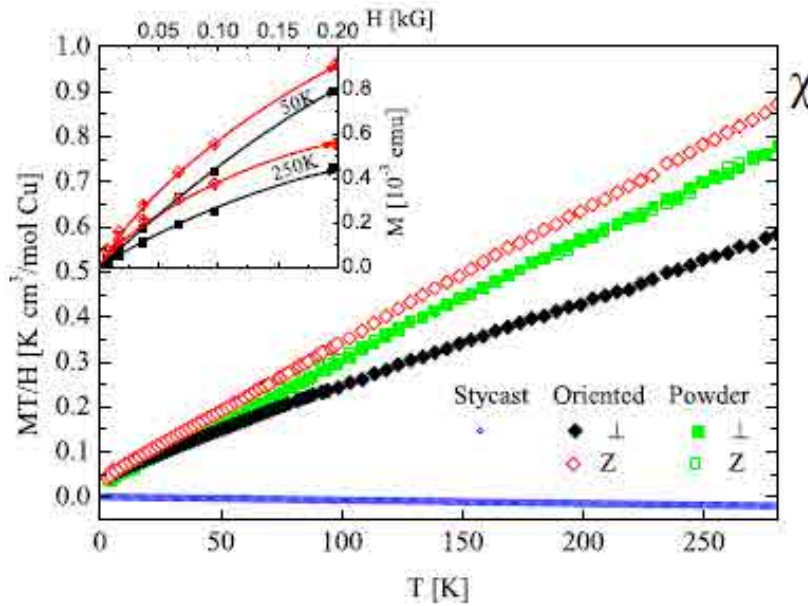
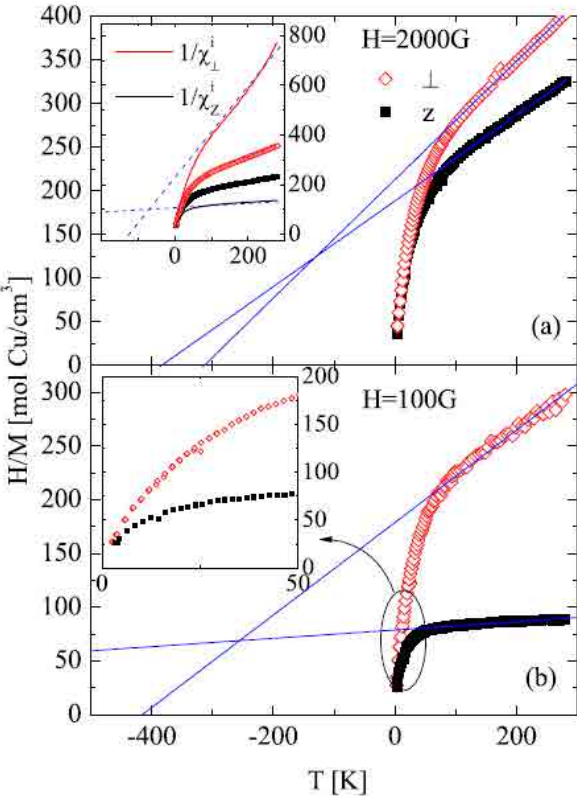
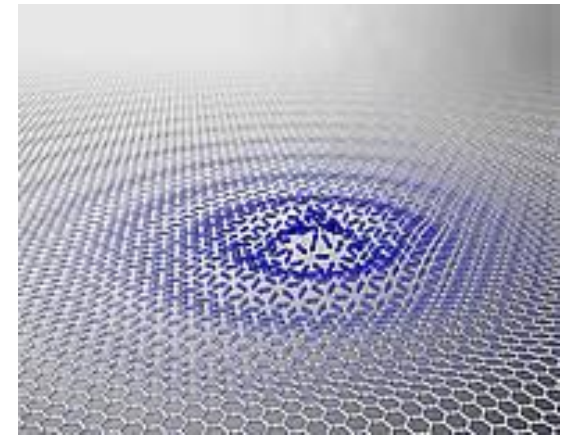


FC ≠ ZFC  
 Messbare Relaxation  
 Messbare Alterung



Morgownik A.F.J., Mydosh J.A., Phys. Rev. B 24 (1981) 5277-5283  
 Mulder C.A.M., van Duynveldt A.J., Mydosh J.A., Phys. Rev. B 23 (1981) 1384-1396  
 Nagata S., Keesom P.H., Harrison H.R., Phys. Rev. B 19 (1979) 1633 - 1638  
 Sandlund L., Svedlindh P., Granberg P., Nordblad P., Tovar M., J. Appl. Phys. 64 (1988) 5616-5618

# Spin-Flüssigkeit



herbertsmithite,  $\text{ZnCu}_3(\text{OH})_6\text{Cl}_2$   
 O. Ofer, A. Keren PRB 79 (2009) 134424

FC = ZFC – keine Einfrieren der Spins  
 (keine Relaxation, keine Alterung)

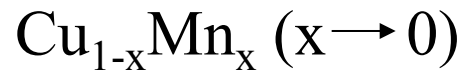
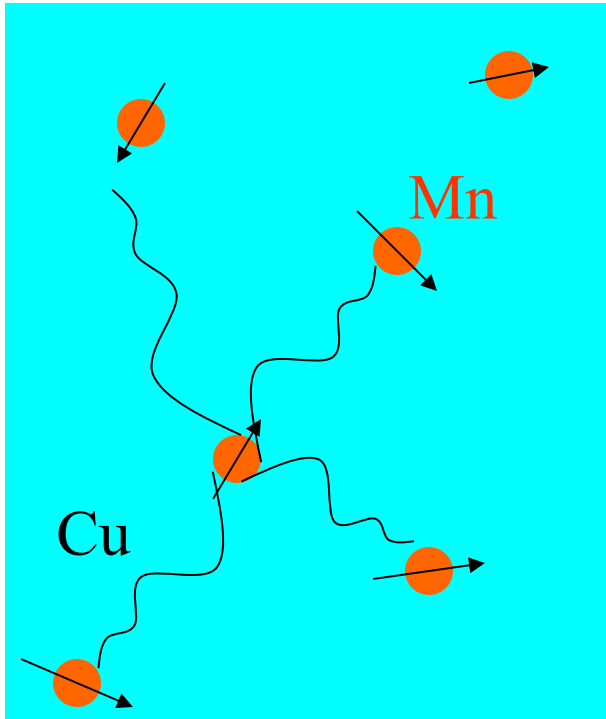
Unendliche Entartung

(fast) ohne Aktivierung

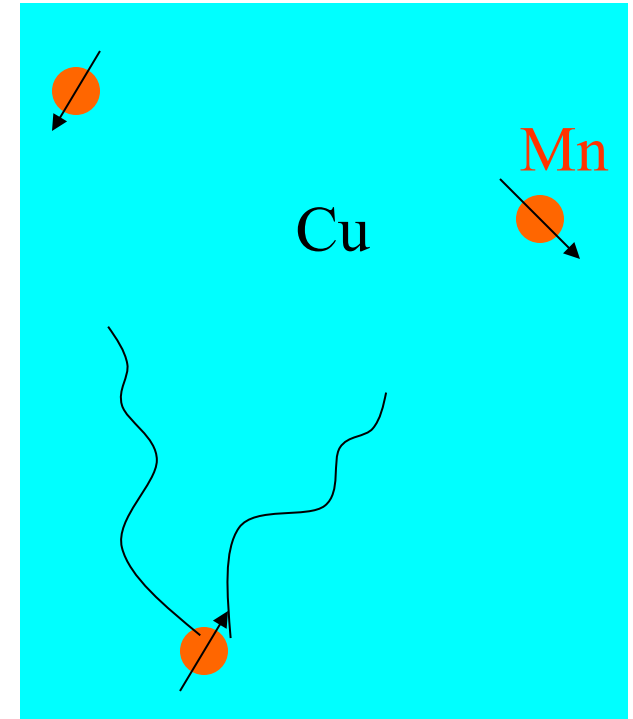
Mn – "hcp"  
Cu – ccp

# Verdünnung (*percolation*)

Feste Lösungen



Grenze (einzelmomente)



ppm - ppb

"Kondo"-Bereich

Am ende hat mein einfach einen Paramagnet

# Zusammenfassung

Einfrieren (SRO)	Remanenz	FC $\neq$ ZFC	Relaxation	Alterung	J
✗	✗	✗	✗	✗	✗
✗	✗	✗	✗	✗	✓
✓	✗	✓	✓	✓	✓
✓	✓	✓	✓	✗	✓
✓	✓	✓	✓	✗	✓
✓	✓	✓	✗	✗	✓
✓	✓	(✗)	✗	✗	✓



Paramagnet

Spin-Flüssigkeit

Spin-Glas

Superparamagnet

Spin-Eis

Mikromagnet

Ferromagnet

- Verschiedene Konzentrationen von magnetischen Ionen führen zu unterschiedlichen definierte Zustände.
- Die Zustände unterscheiden sich in ihren makroskopischen Eigenschaften.
- Zeit, B-Feld und Temperatur sind die wichtigen Parametern um die Zustände auseinander zu halten.
- Die Grösse der magnetischen Domänen ist auch entscheidend.
- Verdünnung führt zur Auflösung jeder Ordnung (zu Chaos).

Nächster Termin 25.5.2016 – dann geht es um Spindynamik

wenn genügend Zeit da ist...

# Kleines Spielchen

Eine Person zeichnet eine Kurve und wir versuchen es zusammen zu deuten (wenn möglich)