

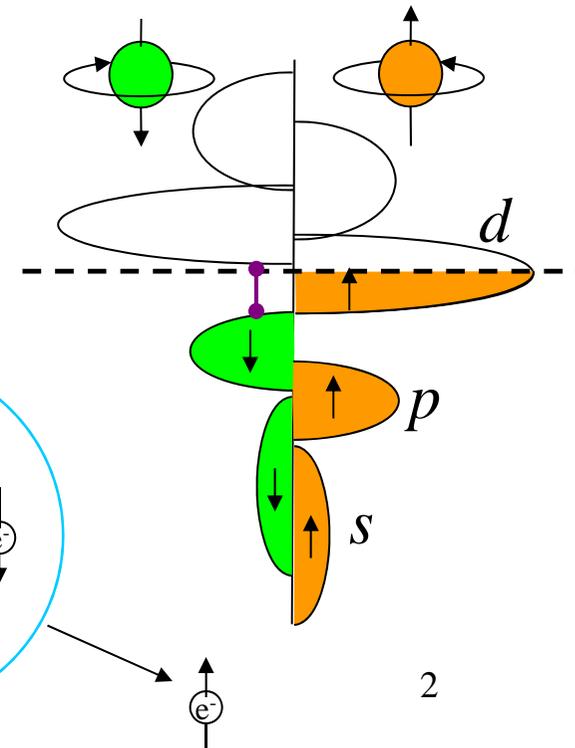
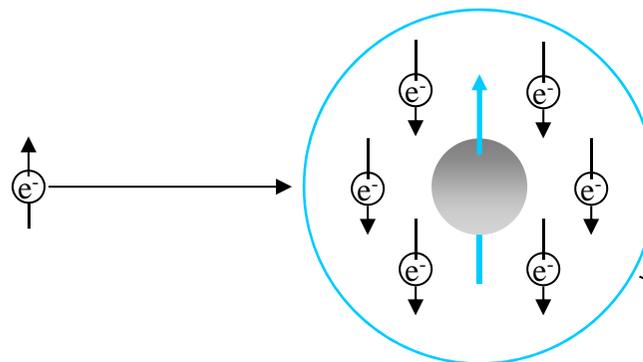
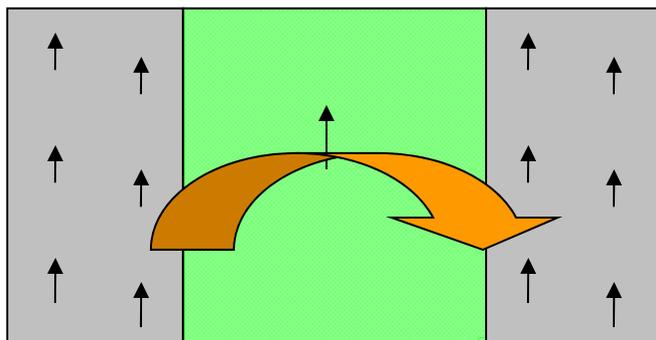
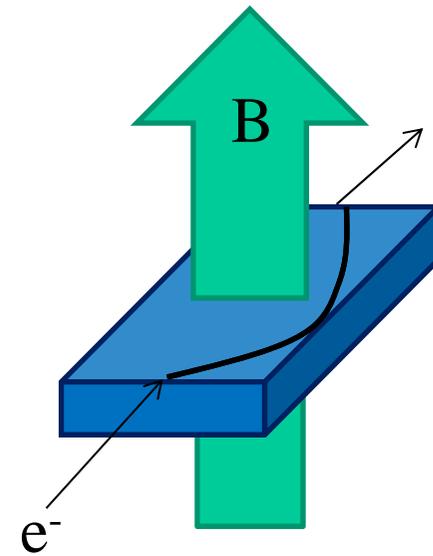
6.7.2016

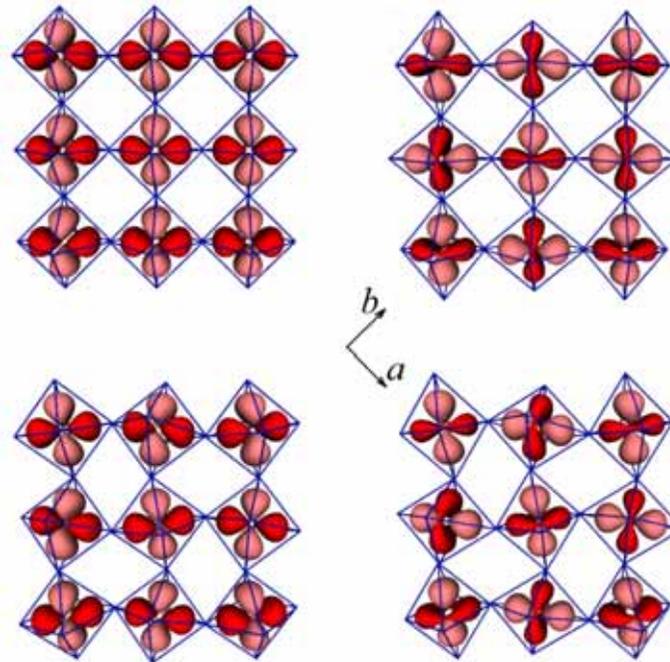


Rückblick

auf Spin-Leitfähigkeit

- Positiver Magnetowiderstand bei nicht-magnetischen Metallen – die Lorenzkraft ist schult.
- Negativer Magnetowiderstand bei paramagnetischen Metallen wird durch Spinpolarisation verbunden.
- Magnetowiderstand kann auch anisotrop sein, z.B. in einem FM, und hängt dann von der Ausrichtung des äußeren Feldes ab.
- GMR-Effekt wird durch Elektrontunneln zwischen FM Schichten durch ein Isolator hervorgerufen und ist von der relativen Spinausrichtung der FM Schichten abhängig.
- In Spin-tronics findet man bewegliche Elektronen mit ausgerichtetem Spin.
- Kondo beschrieb den Widerstand vom magnetischen Verunreinigungen in Edelmetallen mit einer Polarisation der Elektronen um den magnetischen Spin.



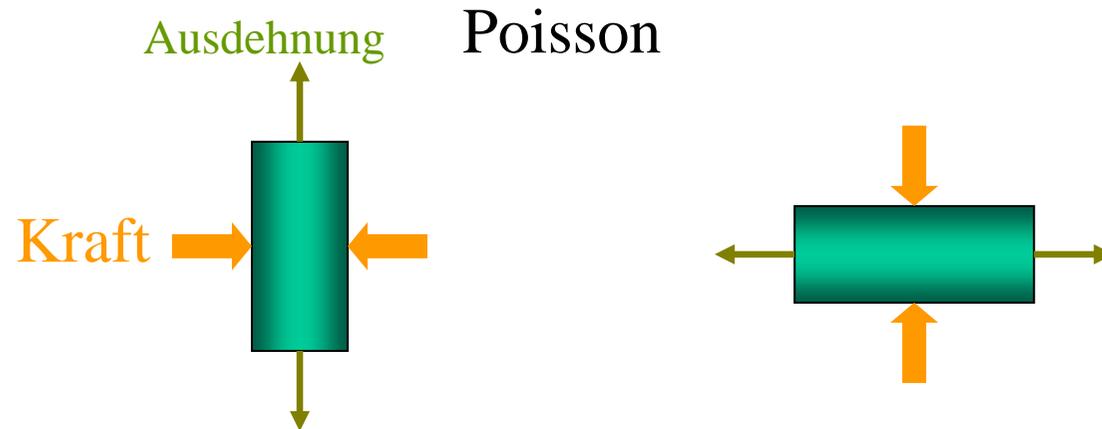
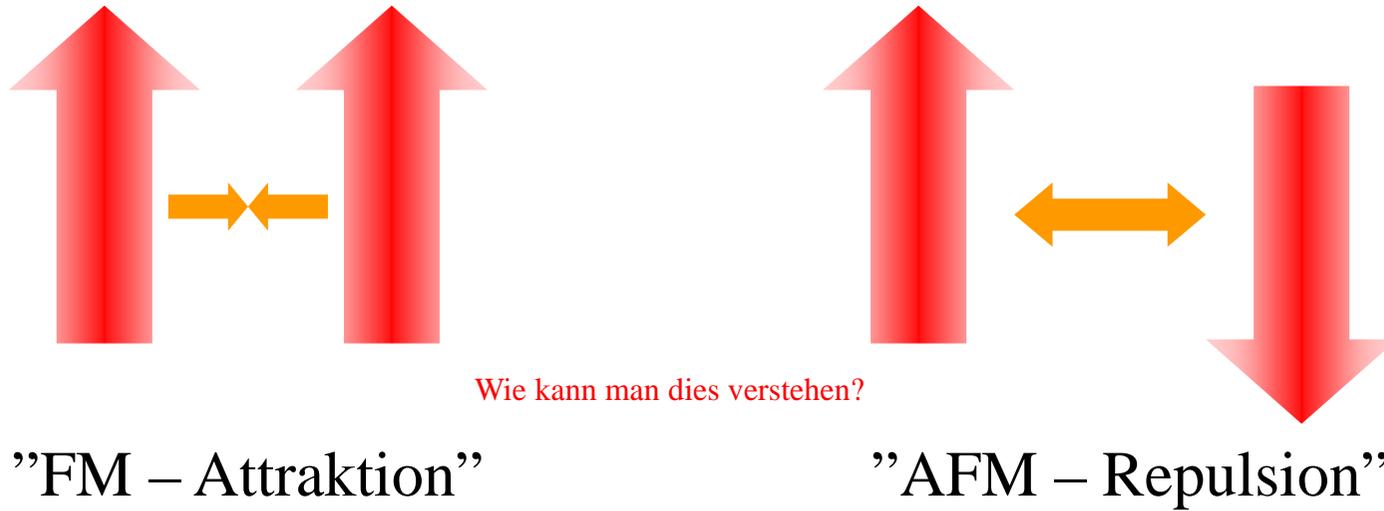


Magnetostraktion

Freiheitsgrade, die Ausdehnung bewirken:

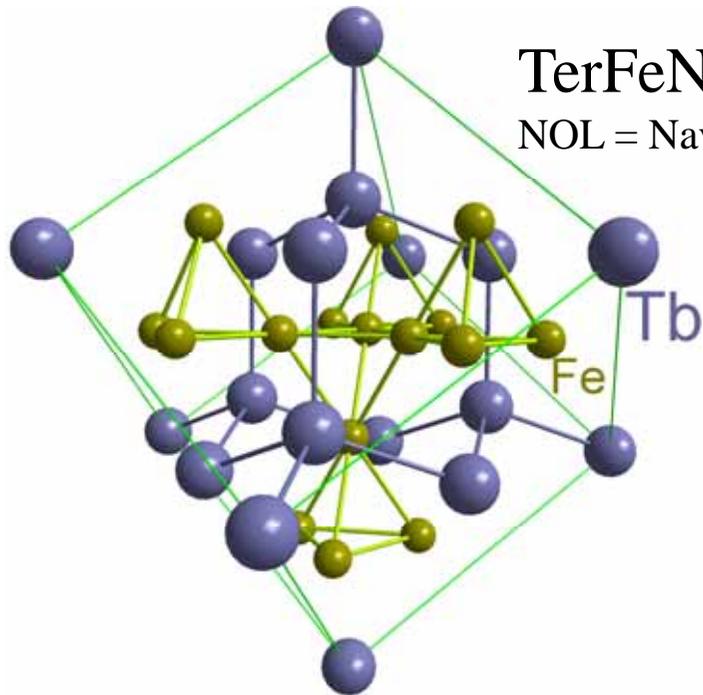
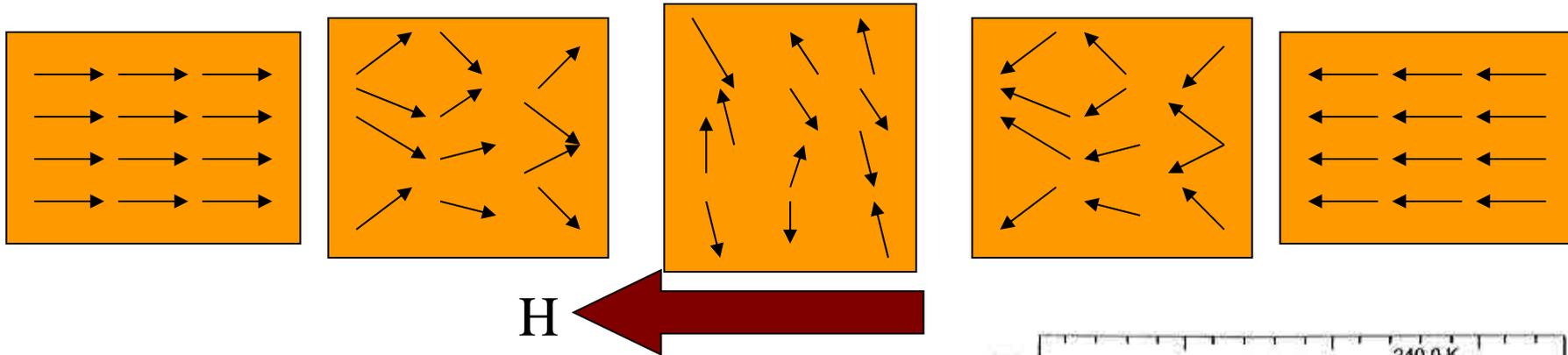
1. Temperatur
2. Struktur-Phasen-Übergänge
3. Magnetische Übergänge
4. Ladungsordnungen
5. Orbitale Ordnungen

Magnetostriktion

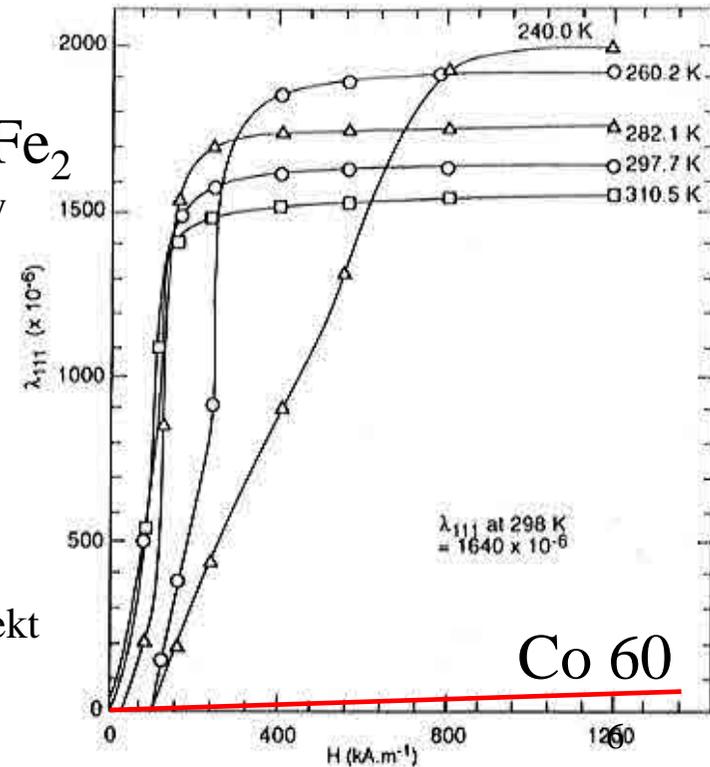


Magnetoelastizität

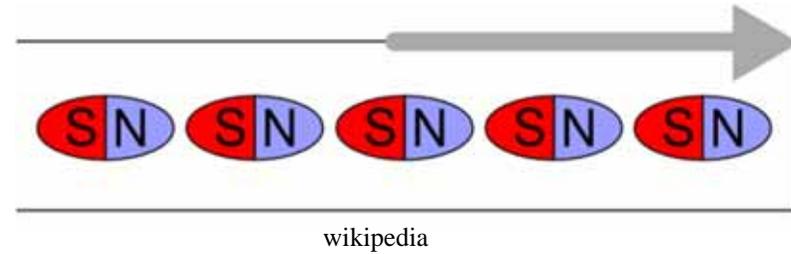
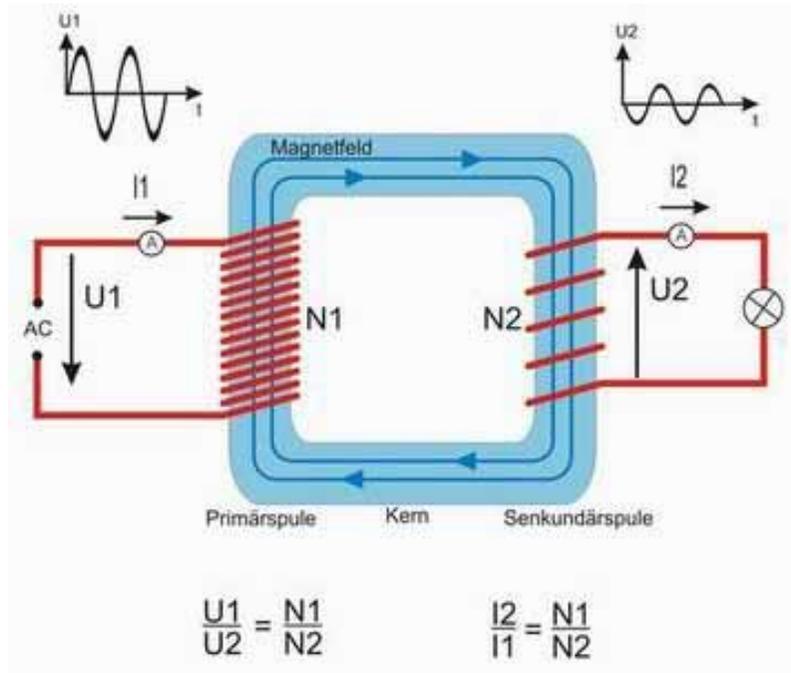
Magnetoelastizität in Ferromagneten



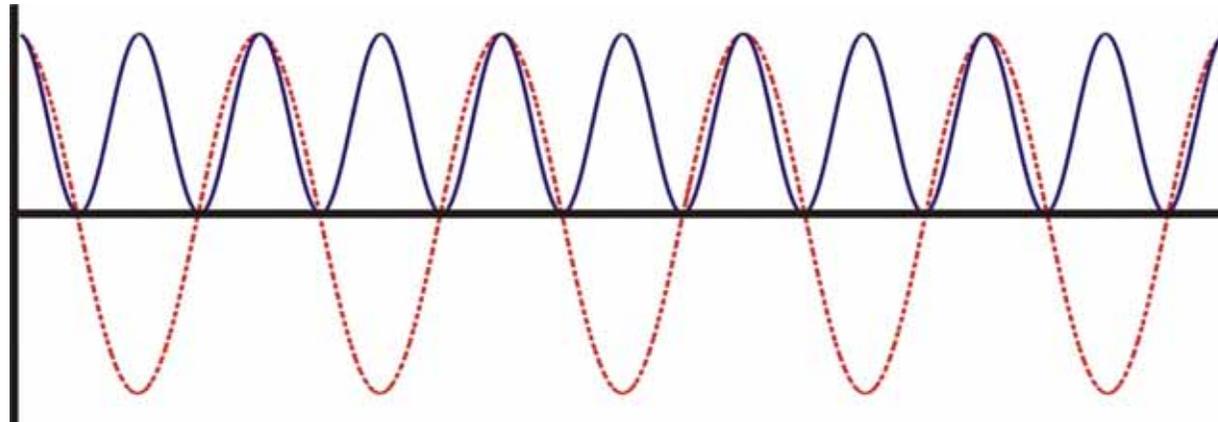
umgekehrt – Villari-Effekt



Transformator - Brummen

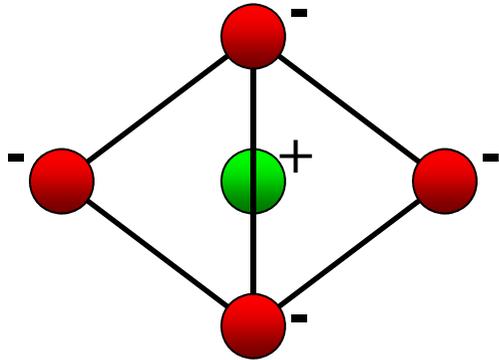


U (50 Hz)
 α (100 Hz)

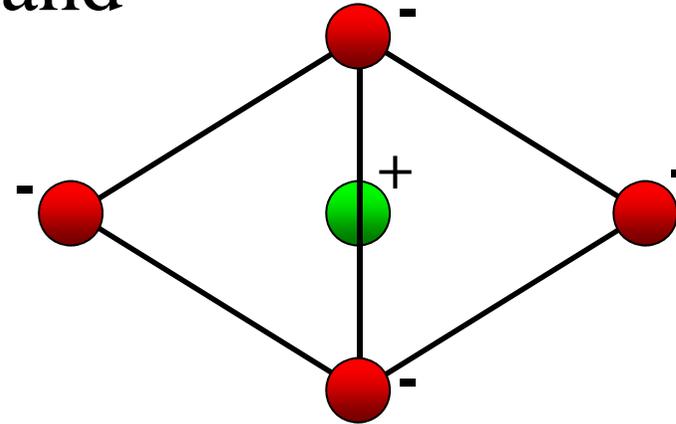


Wie brummt es im Ami-land?

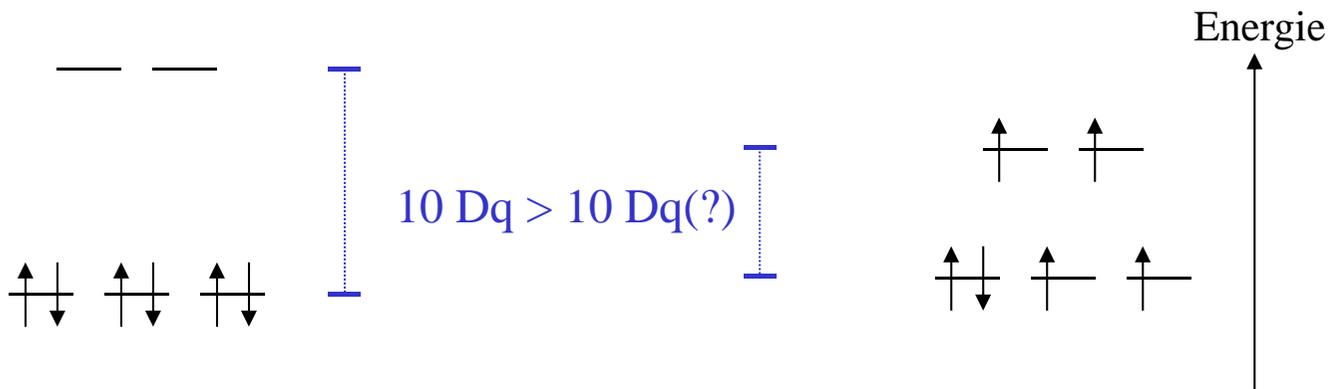
Spinzustand



grosses Kristallfeld



kleines Kristallfeld

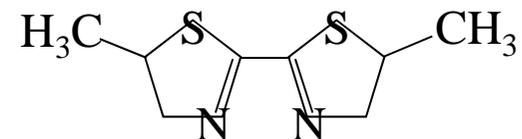
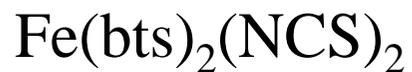


Shannon-Prewitt Radii (CN=6):
 Co^{3+} HS = 0.75 Å, LS = 0.685 Å
 Fe^{2+} HS = 0.92 Å, LS = 0.75 Å

Typisch für Co^{3+} , Fe^{2+} , ... ?

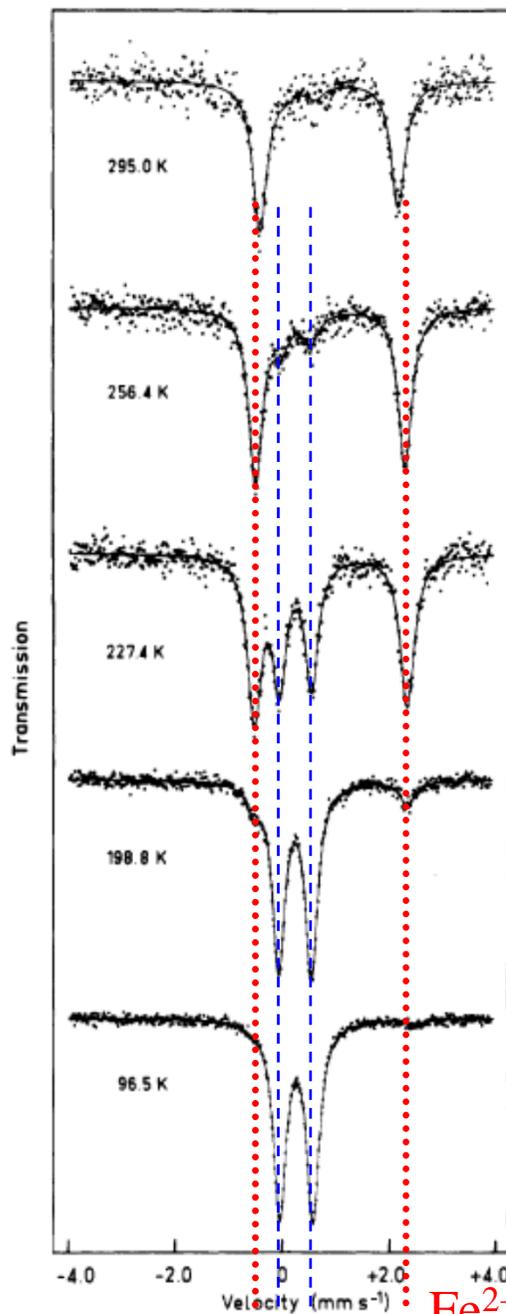
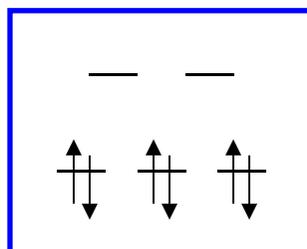
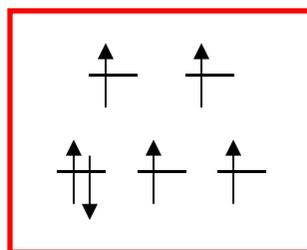
Was könnte das für die Eigenschaften bedeuten?

Spinzustand-Ausdehnung

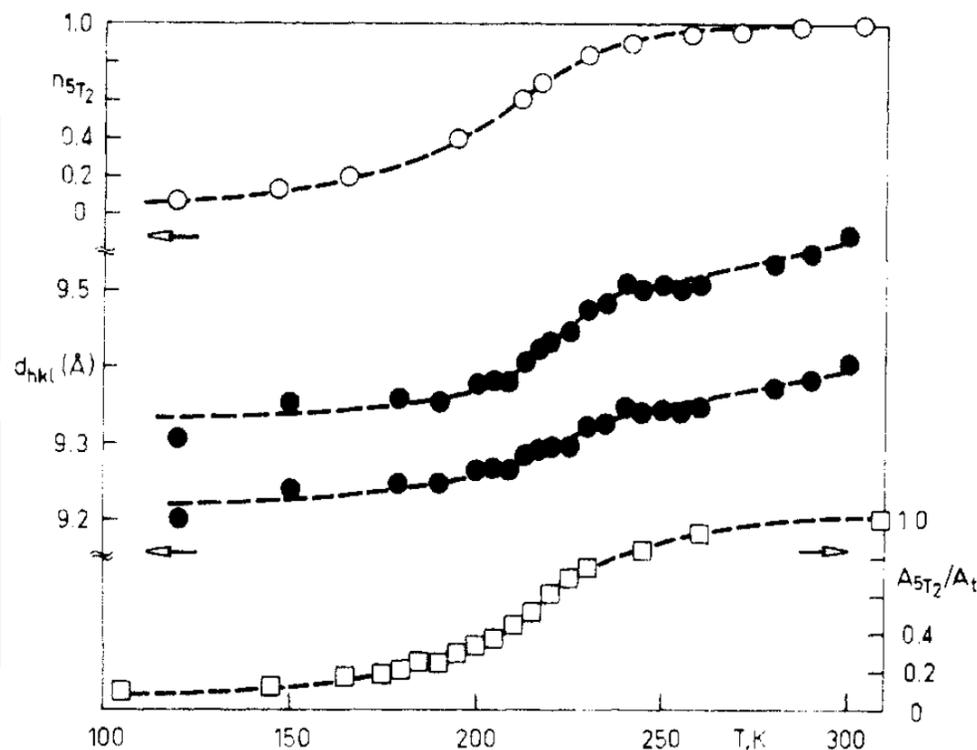


bts = bi(5-methyl-2-tiazolin)

$\text{Fe}^{2+} (d^6)$



$\text{Fe}^{2+} (\text{HS}, d^6)$
 $\text{Fe}^{2+} (\text{LS}, d^6)$



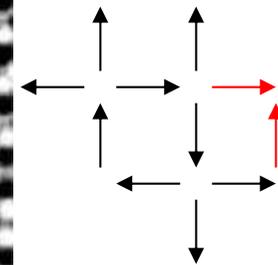
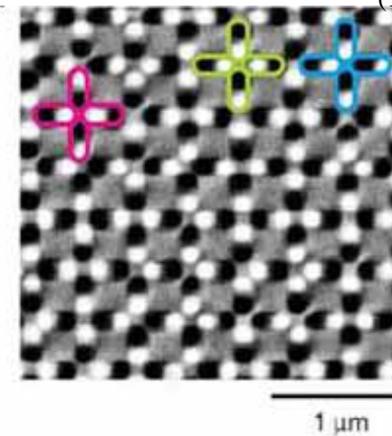
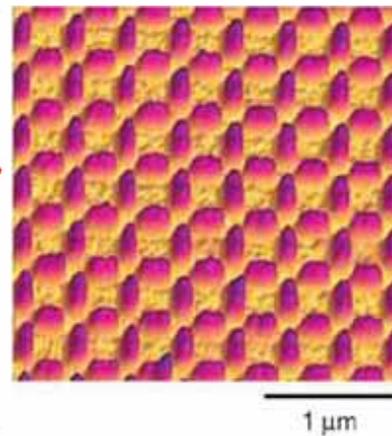
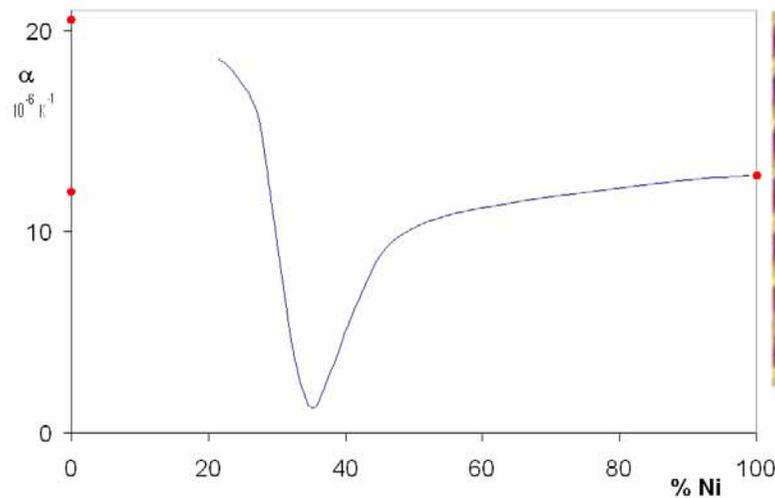
Wie kann man den Spinzustand zuordnen?

Magnetische Repulsion - Thermische Ausdehnung



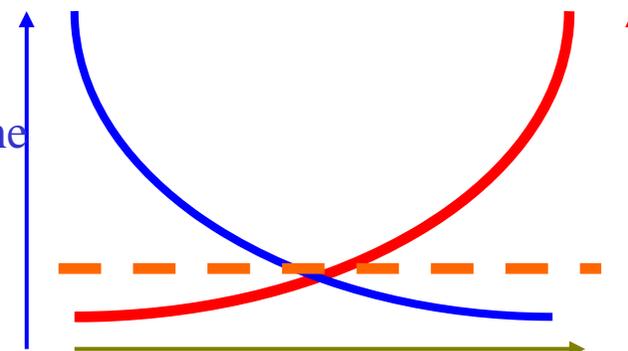
Charles Édouard Guillaume
(1861-1938, Nobelpreis 1920)

Invariant thermal expansion INVAR – $\text{Fe}_{0.65}\text{Ni}_{0.35}$ (-50°C – 150°C) – *bcc* Struktur



Magnetische
Repulsion

Thermische
Bewegung



Temperatur

resultierende thermische Ausdehnung

INVAR

ccp: FeNi, FePt, FePd, FeMn, CoMn, FeNiPt, FeNiMn, CoMnFe

bcc: CrFe, CrMn

hcp: CoCr

amorph FeB, FeP

Laves-Phasen: TiFe_2 , ZrFe_2 , RECo_2 (*RE* = seltene Erden außer Eu)

Andere Verbindungen: FeC, $\text{Dy}_2(\text{FeCo})_{17}$

Magnetoelktrizität

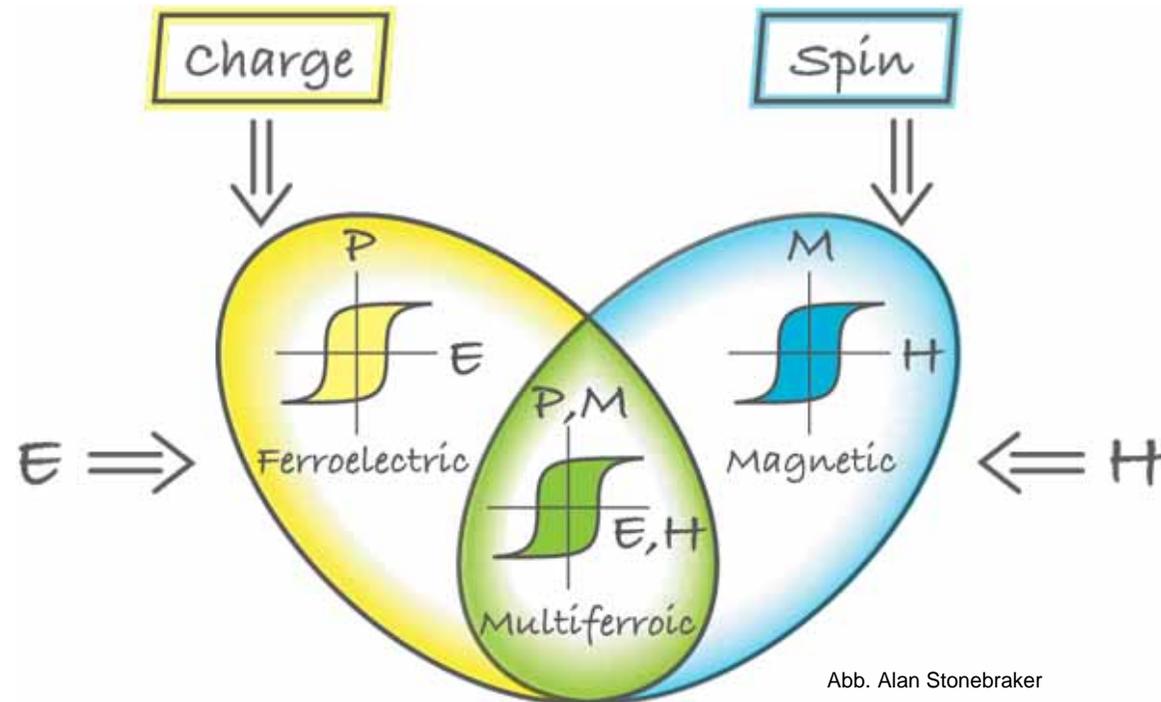


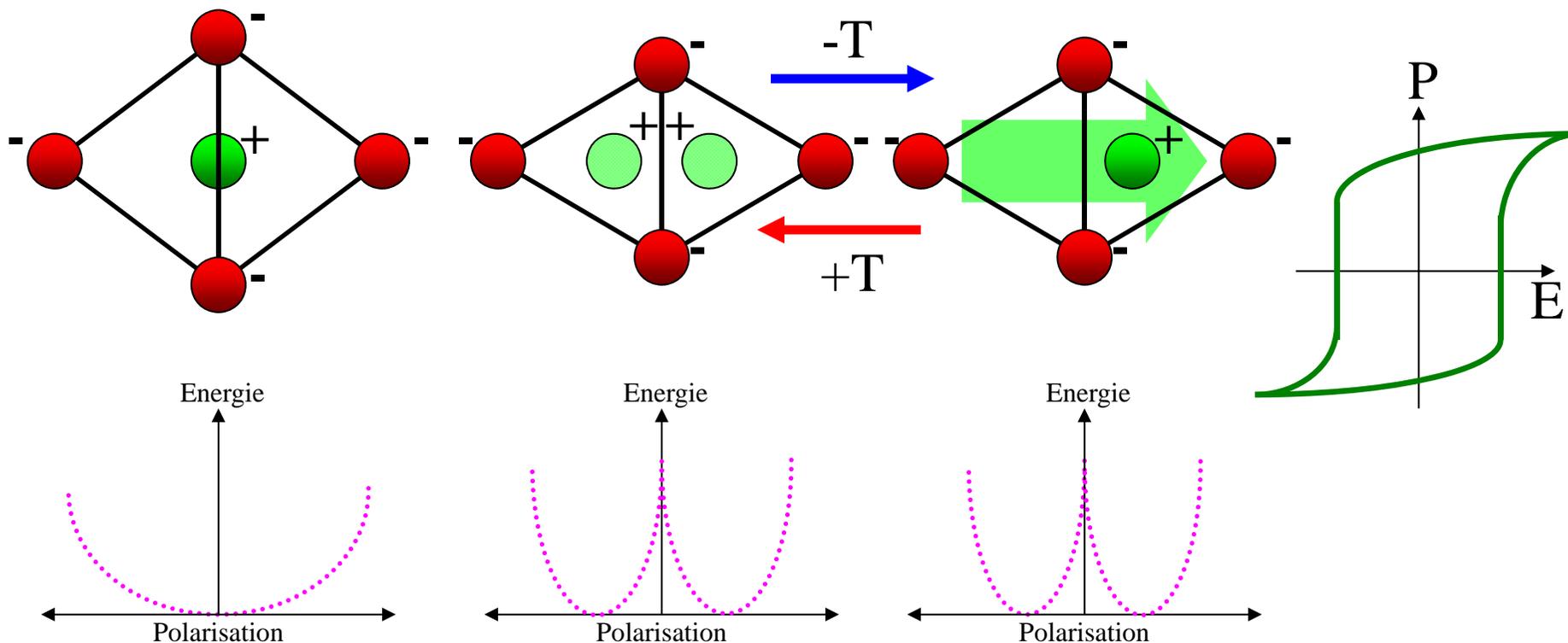
Abb. Alan Stonebraker

Kurzfassung: Elektrische Polarisation

Dielektrikum

Paraelektrikum

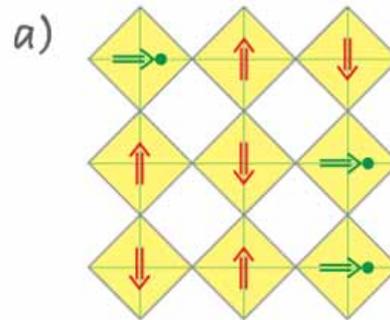
Ferroelektrikum



vergleich mit Magnetismus – gibt es Unterschiede?

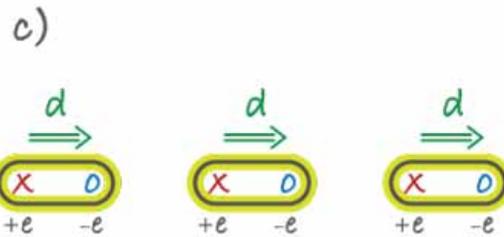
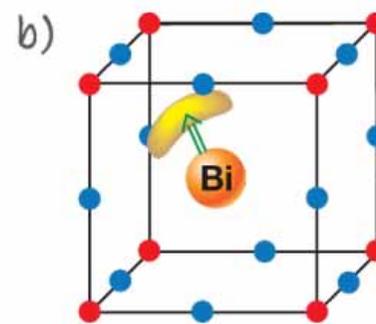
Typ I

zufällig zusammen



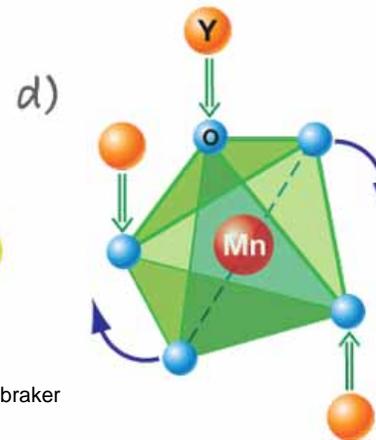
T_C (FE) = 1100 K

T_N (AFM) = 643 K



Ladungsordnung (+2/+4)

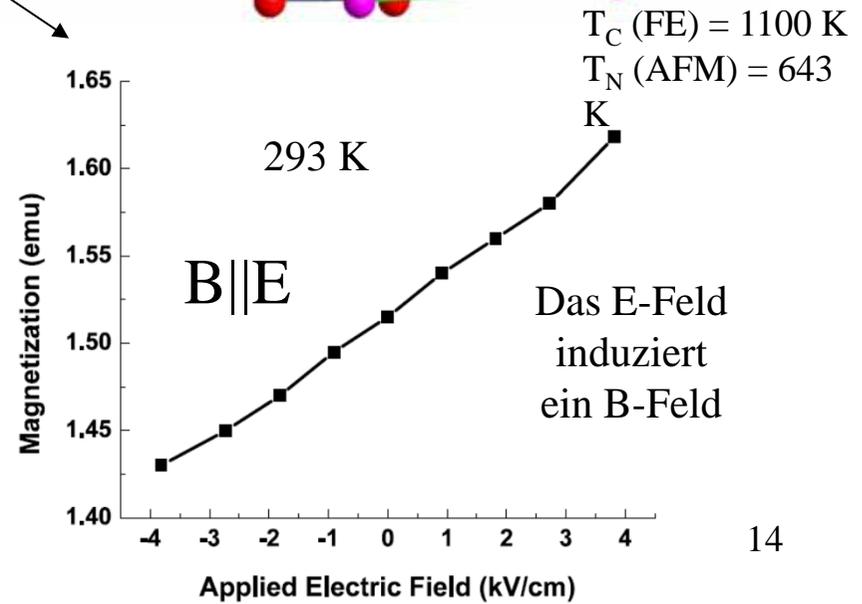
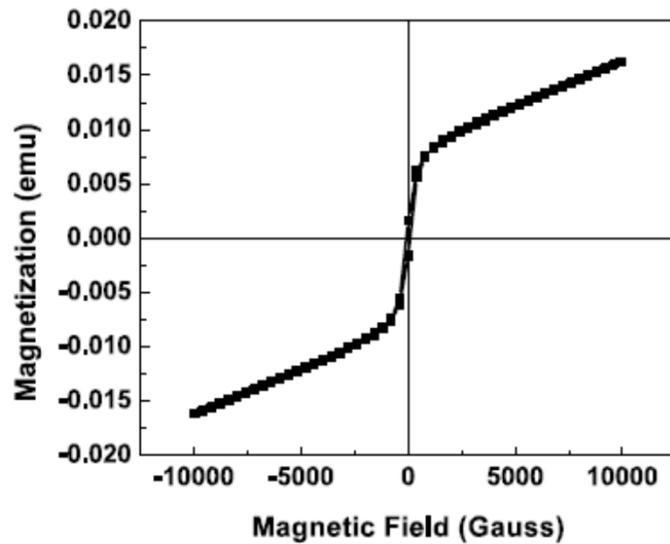
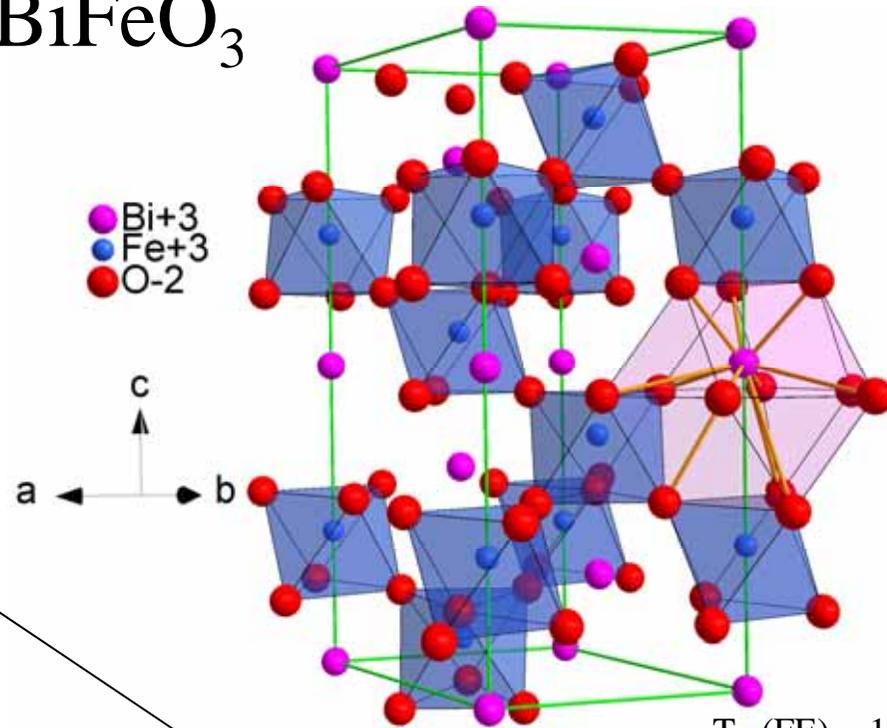
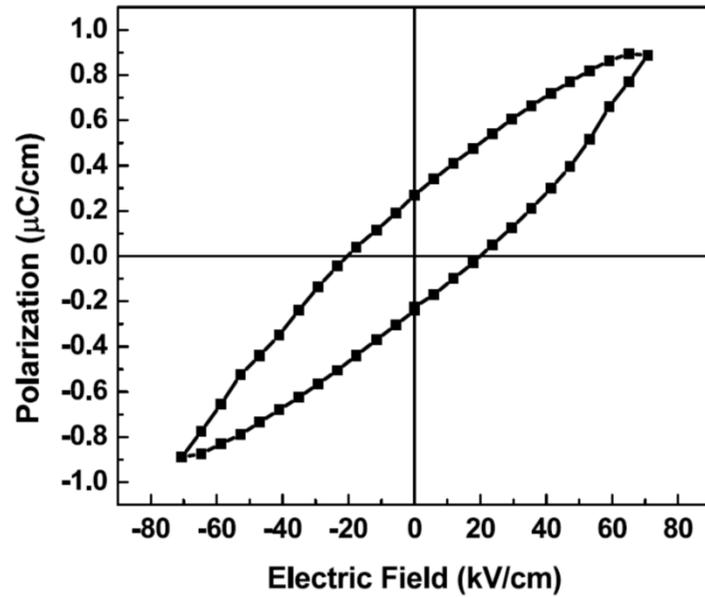
Abb. Alan Stonebraker



T_C (FE) = 914 K

T_N (AFM) = 76 K

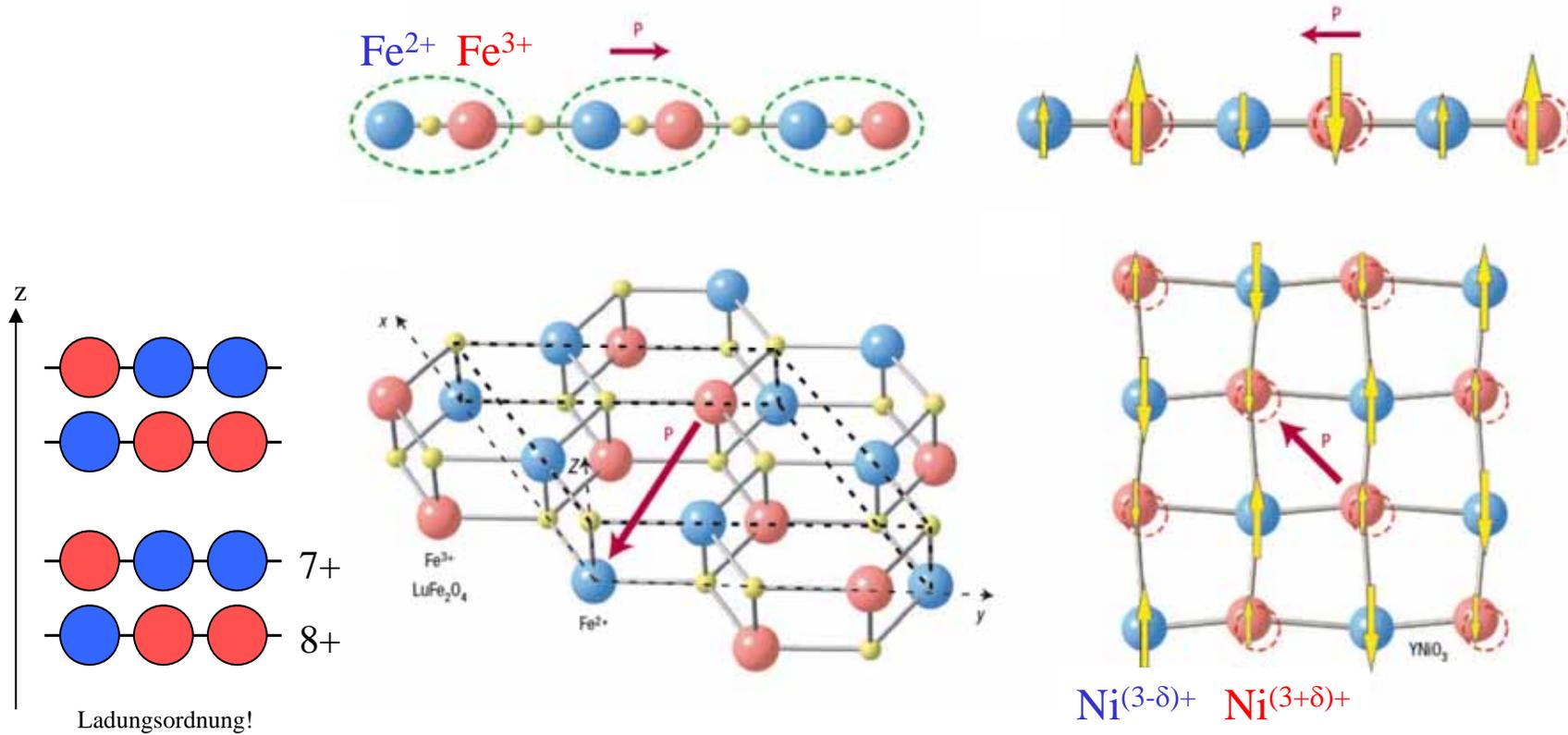
BiFeO₃



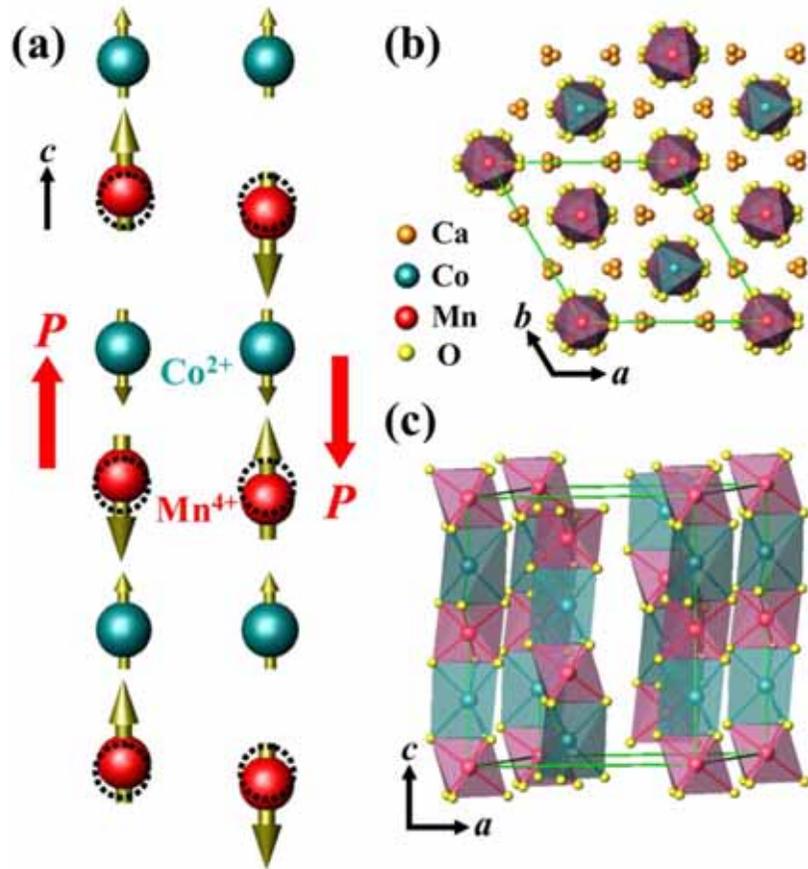
Typ II

Magnetische Gründe für elektrische Polarisation

jetzt aber sind die Effekte kombiniert

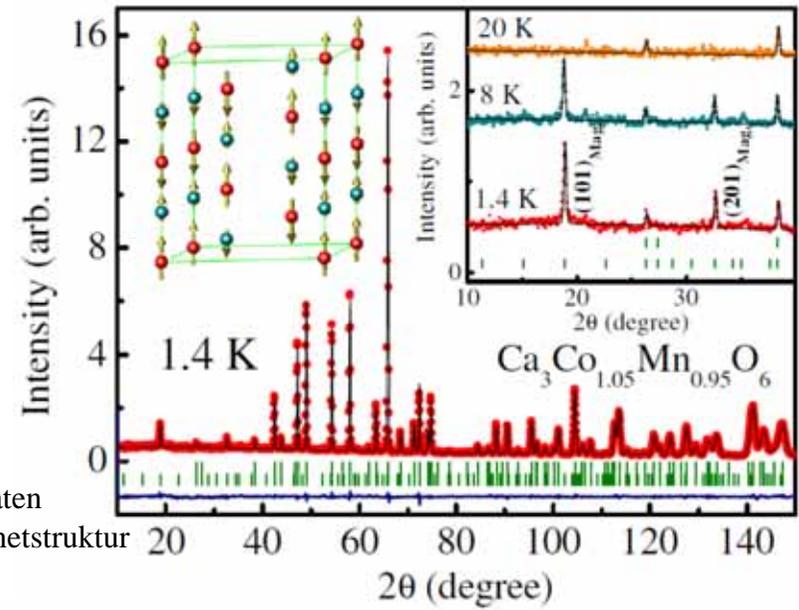


Ca₃CoMnO₆, eine gemischte Kette

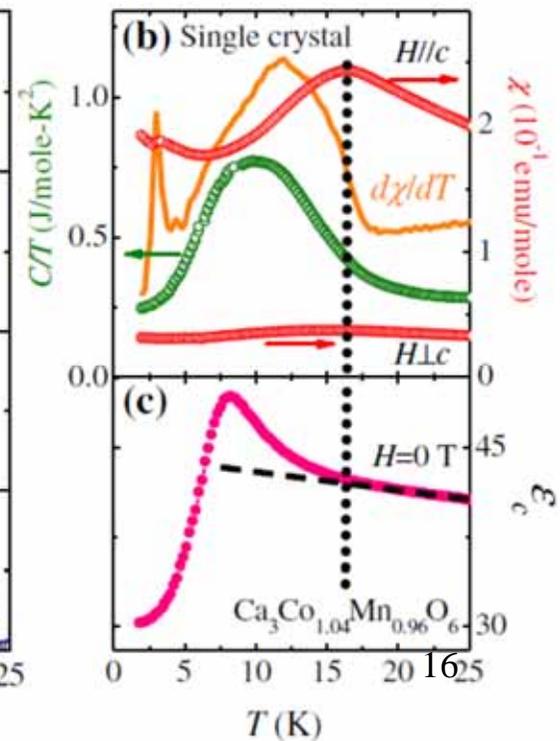
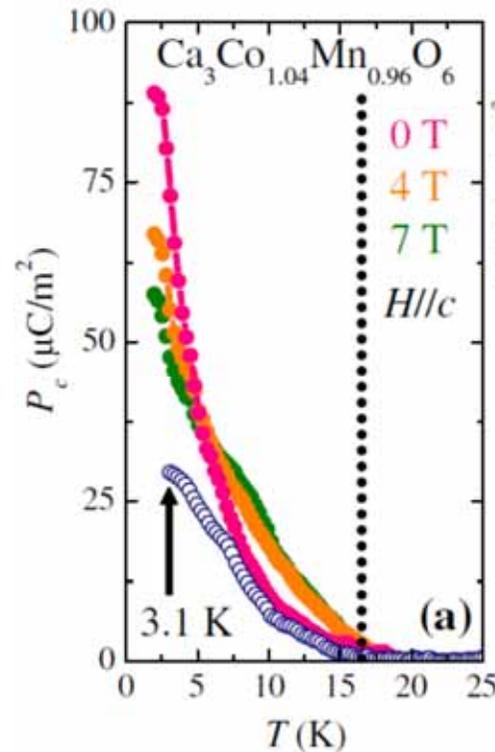


Der magnetische Übergang wird von elektrischer Polarisation begleitet

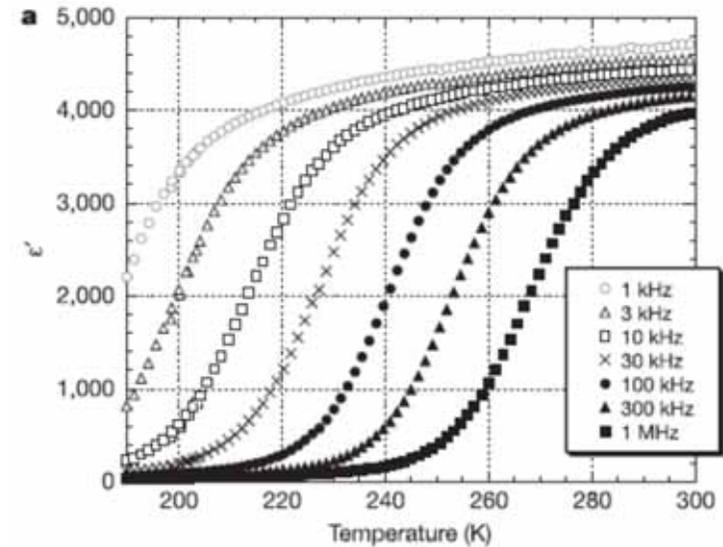
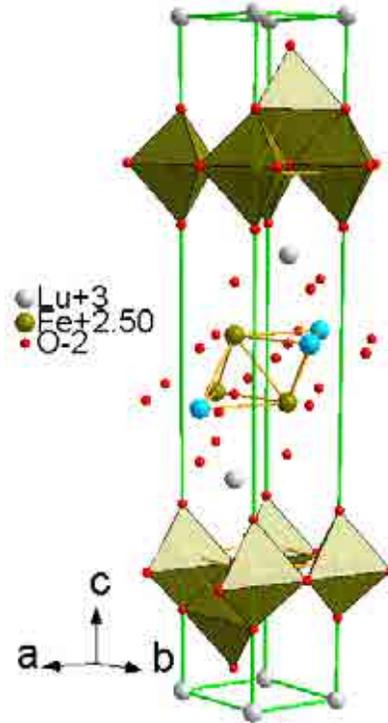
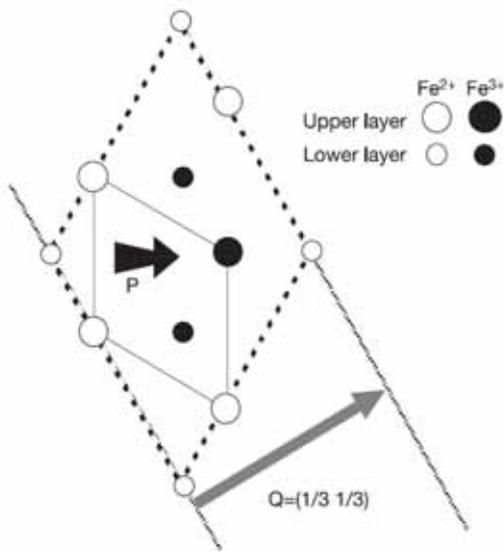
Die elektrische Polarisation wird vom B-Feld unterdrückt



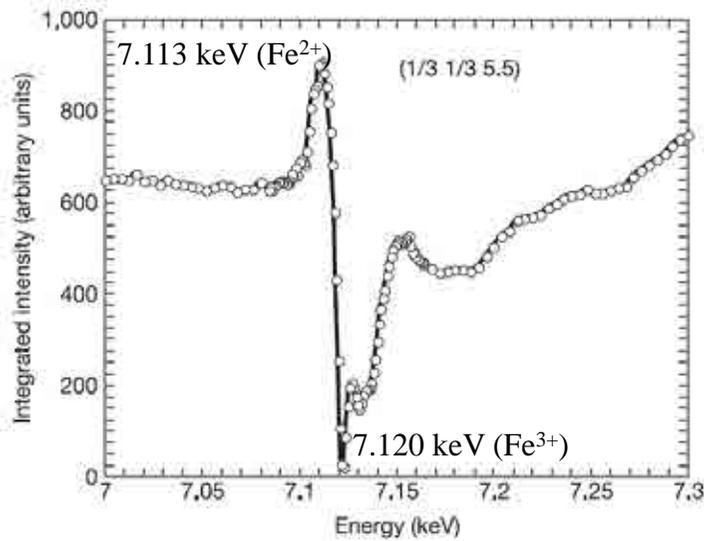
Neutronen verraten Kern- und Magnetstruktur



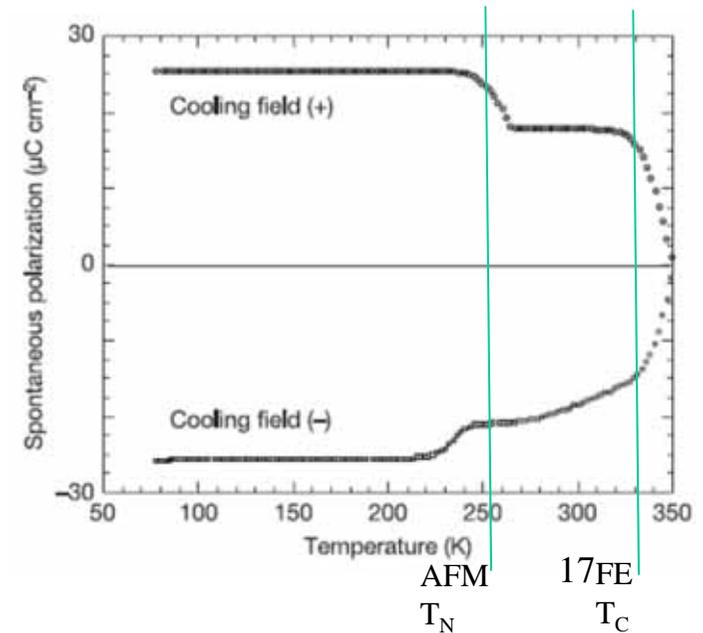
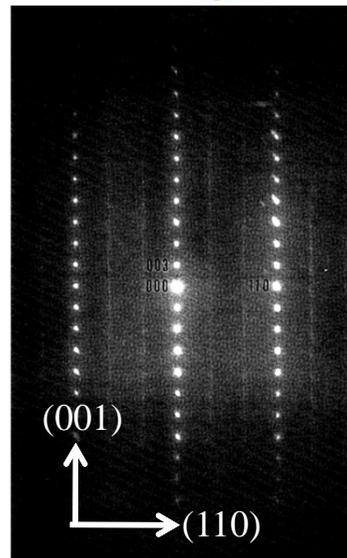
LuFe₂O₄ – wo Ladungsordnung E-Polarisation verursacht



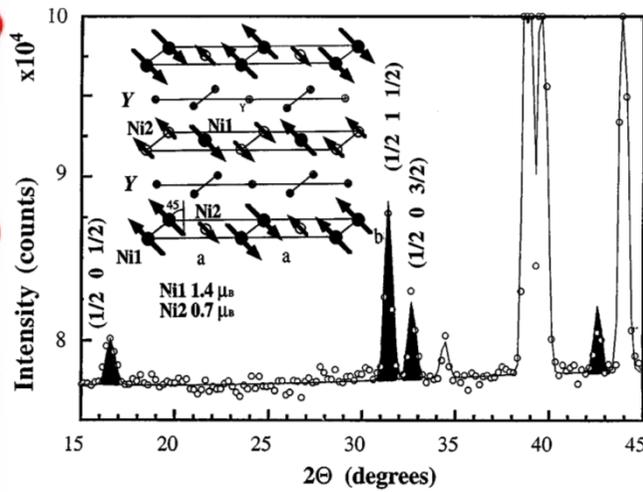
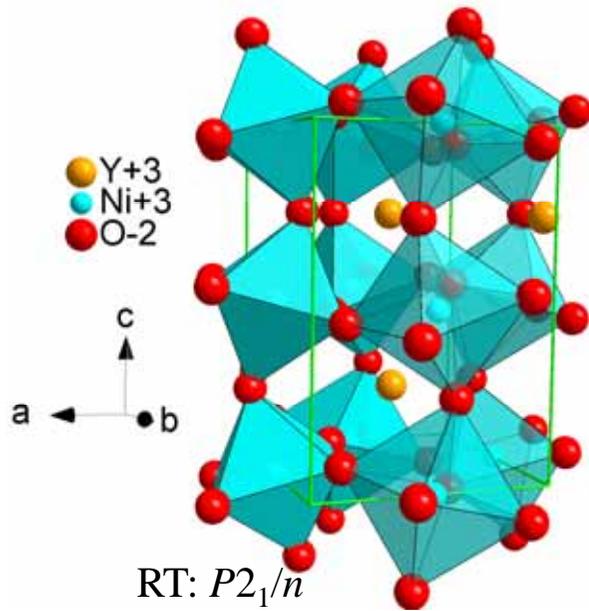
Typisch für FE Domänenwand-Bewegungen



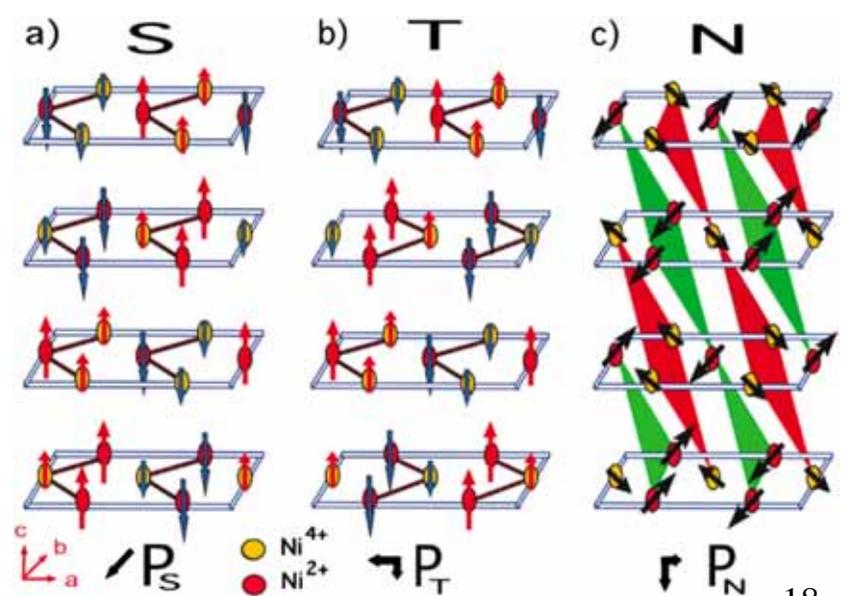
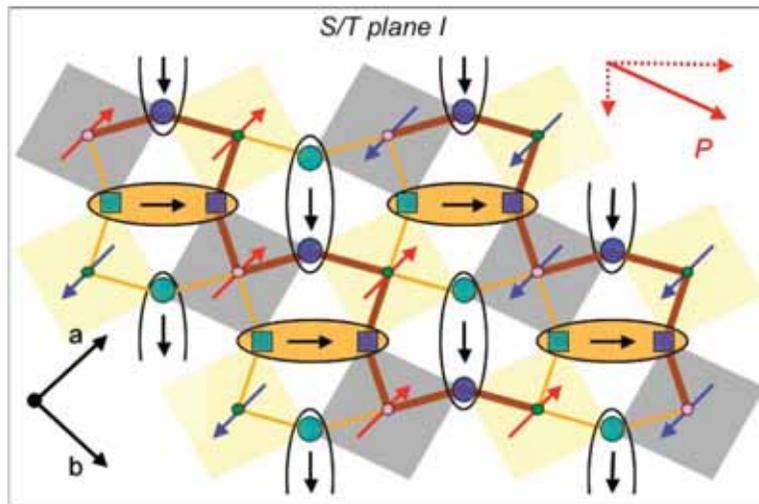
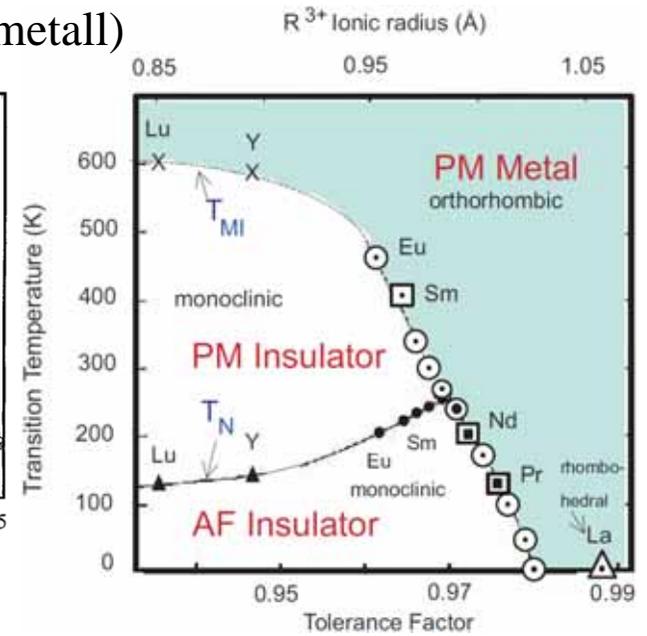
Röntgen Überstrukturreflex unterhalb 330 K



SENiO₃ (SE = Seltenerdmetall)

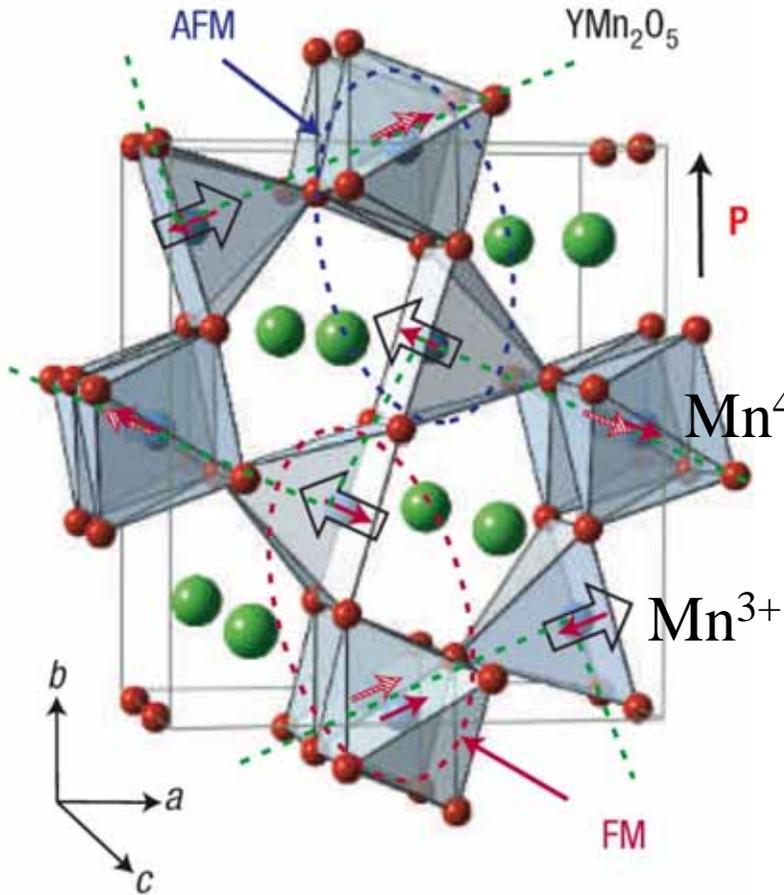


J. A. Alonso, et al. PRL 82 (1999) 3871



Gianluca Giovannetti, et al. PRL 103 (2009) 156401

YMn₂O₅



→ = magnetische Spins

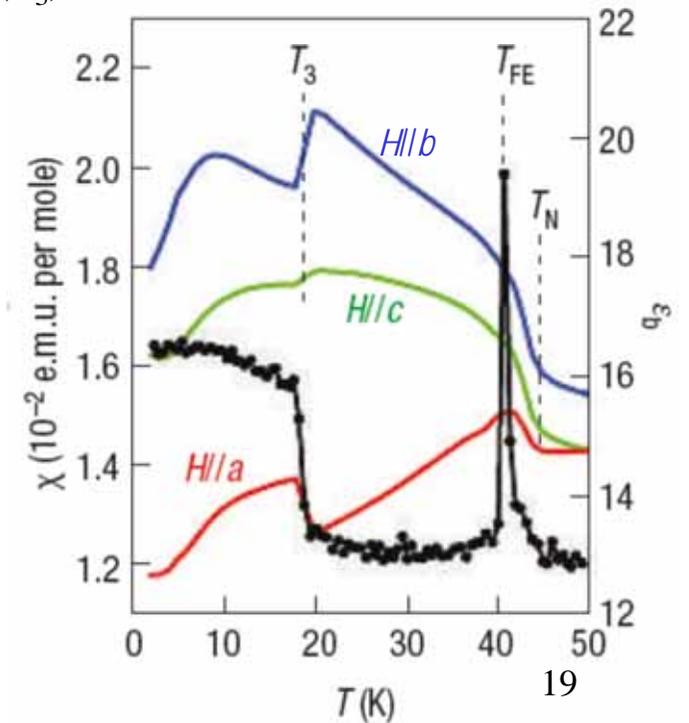
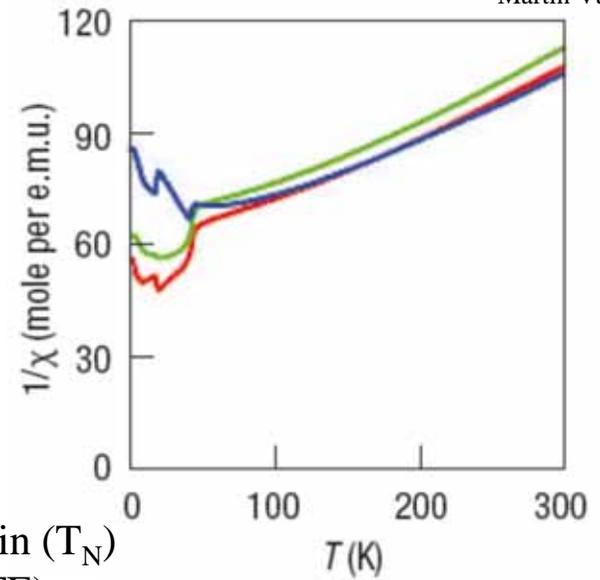
⇨ = elektrische Polarisation

Inkom. sinus. Mn-Spin (T_N)

Kom. AF Mn-Spin (FE)

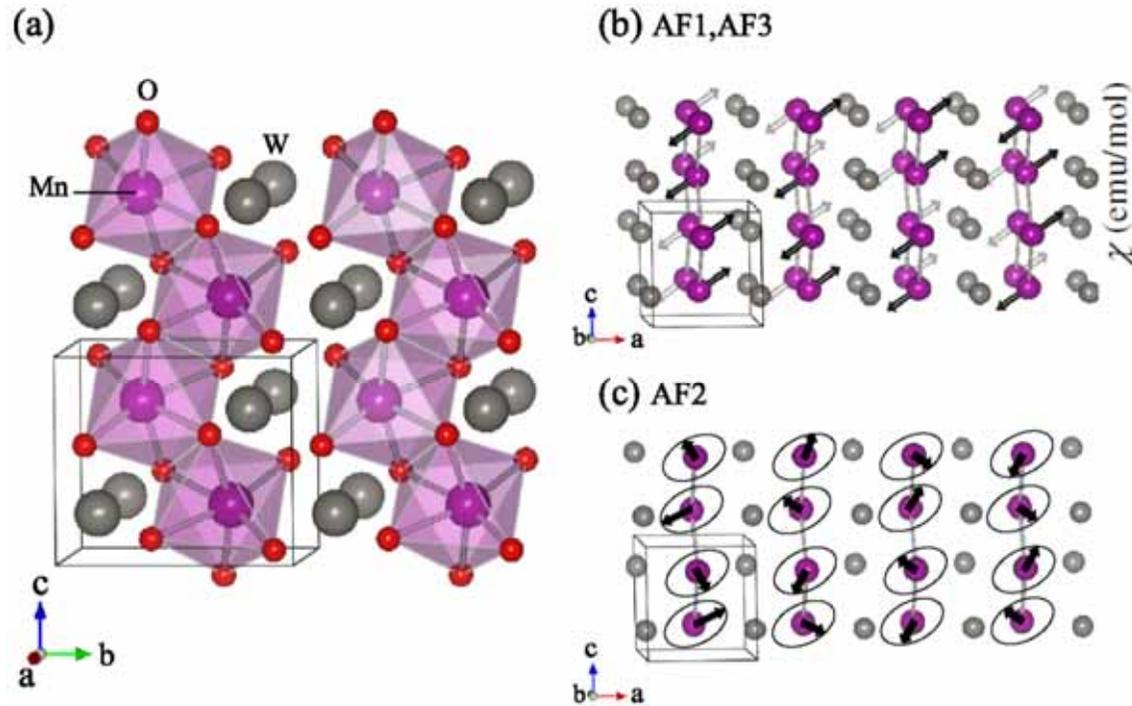
Inkom. AF Mn-Spin (T_3)

FE hat Einfluss auf die magnetische Ordnung

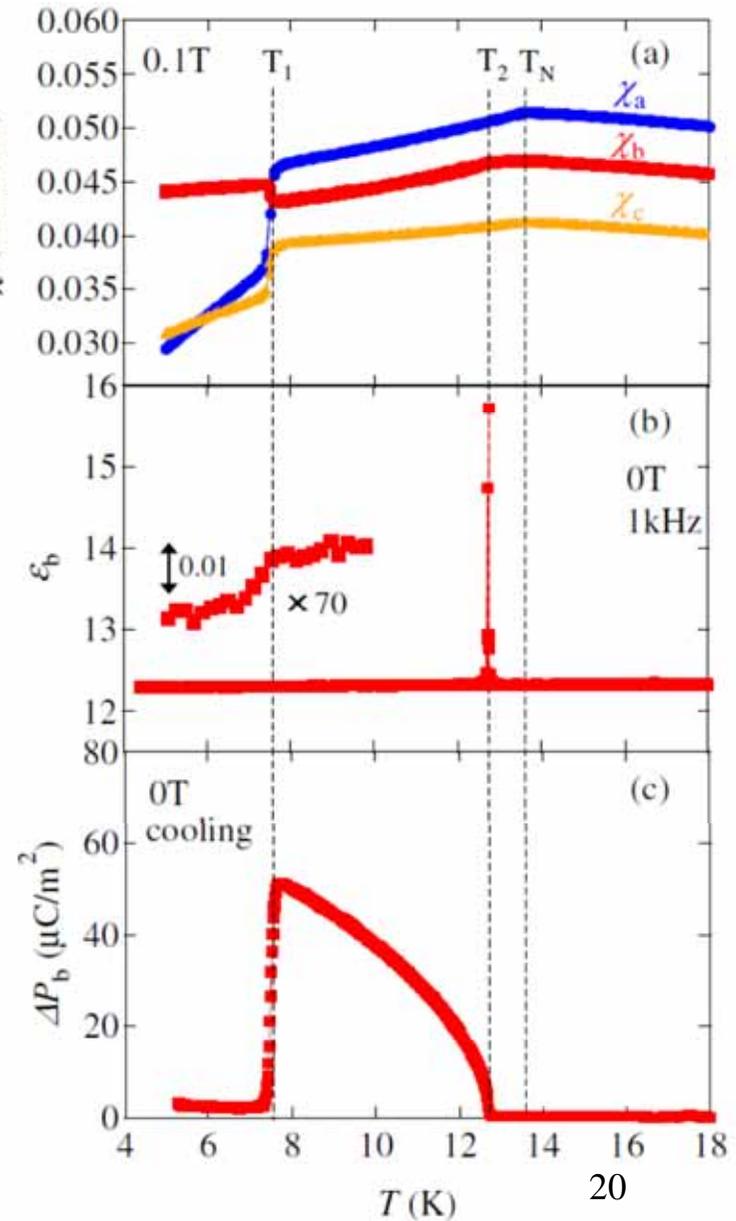


MnWO₄

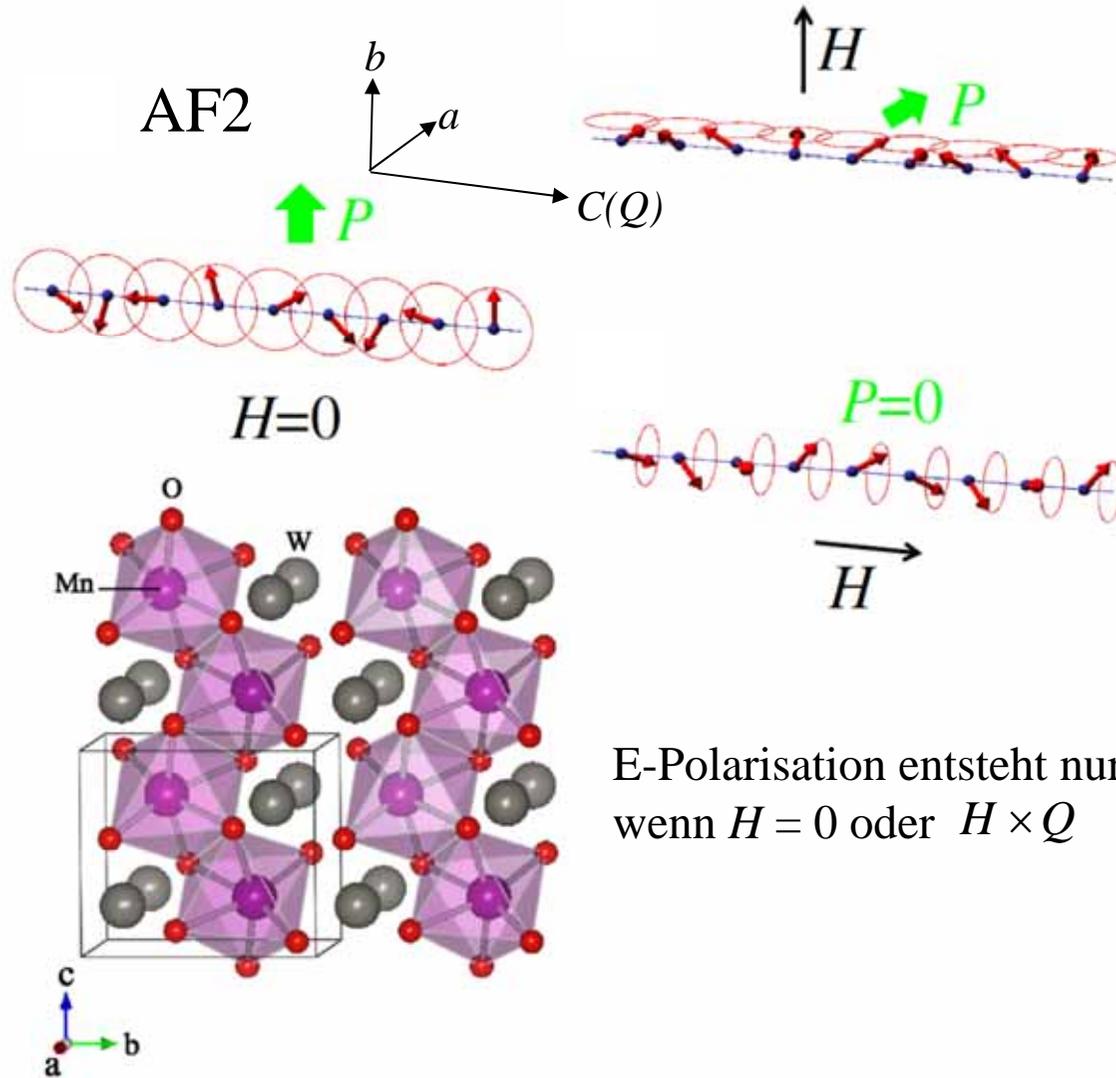
AF3 AF2 AF1 PM



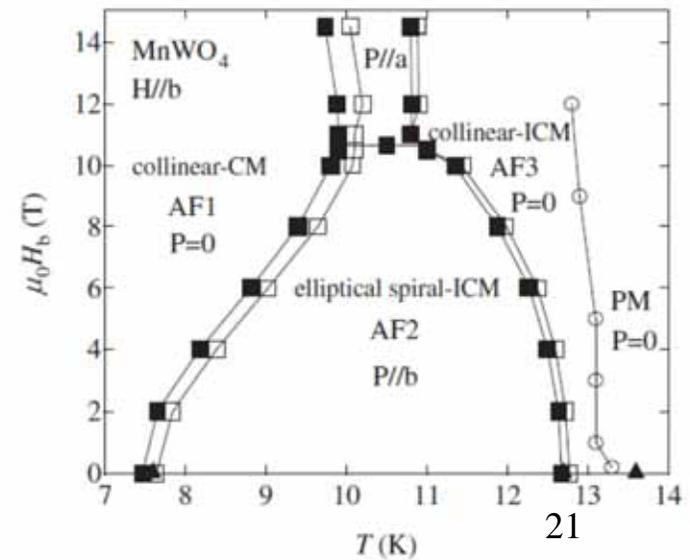
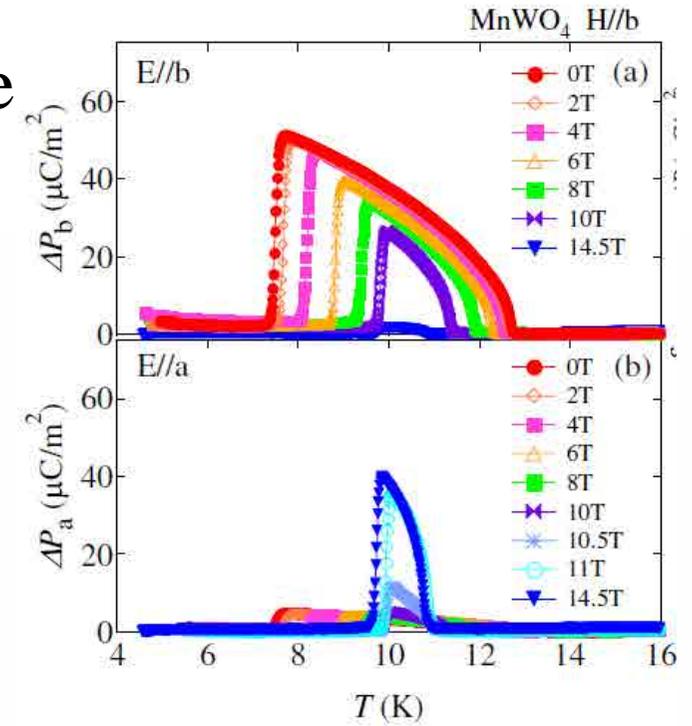
AF2 ist ein eliptisch spirale magnetische Ordnung und zeigt elektrische Polarisation



Die magnetoelektrische Anisotropie in MnWO_4



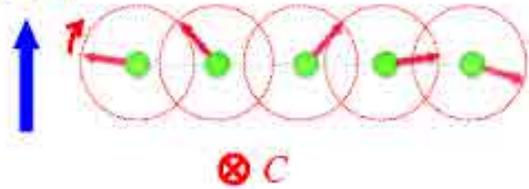
E-Polarisation entsteht nur wenn $H = 0$ oder $H \times Q$



Spin-Spirale haben eine E-Polarisation

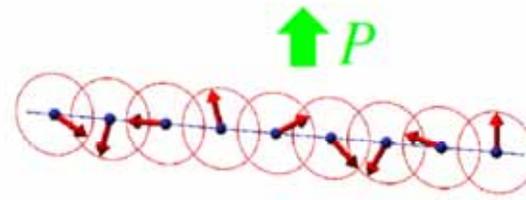
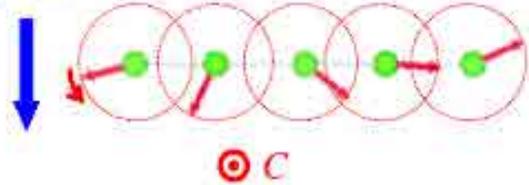
Clockwise Spiral Magnets

$P_c > 0$

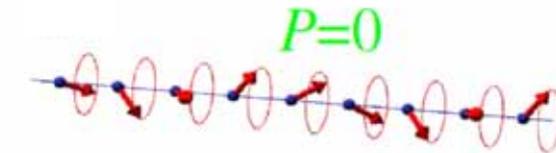
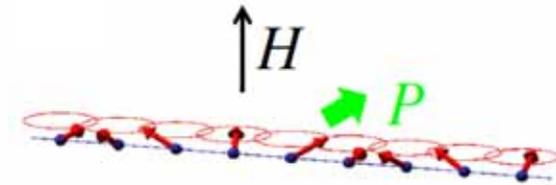


Counter-clockwise Spiral Magnets

$P_c < 0$

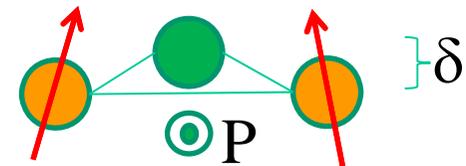


$H=0$



Vergleich mit DM-WW

$$H_{DM} = D \cdot (S_i \times S_j)$$



DM ist anders!

Zusammenfassung

- Magnetische **Spinordnung** hat grossen Einfluss auf die makroskopischen Längen eines magnetischen Stoffes – Magnetostriktion.
- Der **Spinzustand** eines magnetischen Ions ist entscheidend für die Grösse des Ions und hat deshalb eine Auswirkung auf die Ausdehnung.
- Magnetische und elektrische Polarisationen können unabhängig von einander in Stoffen vorkommen.
- Durch Kopplung über die **Kristallstruktur** und ihre Symmetrie können magnetische und elektrische Polaritäten wechselwirken.
- Wenn Wechselwirkung besteht, kann ein **E-Feld Magnetismus** hervorrufen und ein **B-Feld elektrische Polarisation**.
- Die genaue Mechanismen, die verantwortlich sind für die WW, sind immer noch nicht völlig verstanden aber es gibt schon eindeutige Hinweise, wo die WW gefunden werden kann, z.B. bei **spiralen magnetischen Ordnungen**.