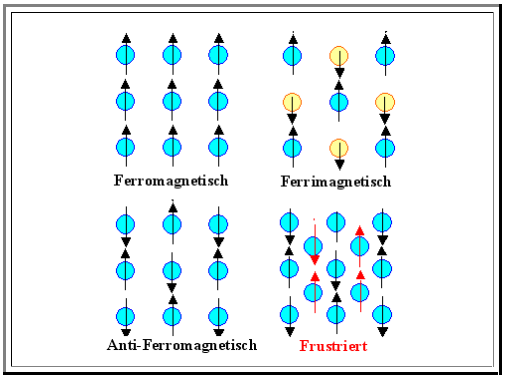
7.4.2 Was man wissen muss

- Wir kennen den Ursprung magnetischer Felder und verstehen die Asymmetrie zwischen magnetischen und (die)elektrischen Eigenschaften.
  - Die Rolle des *Bohrschen Magnetons* als elementarer magnetischer Dipol, auch die Herkunft aus Spin und Bahnmoment der Elektronen einzelner Atome, ist uns geläufig.
- Bei Festkörpern wissen wir:
  - Entweder haben die den Festkörper konstituierenden Atome *keine* magnet. Momente, dann haben wir für die **ET&IT** uninteressante *diamagnetische* Materialien vor uns.
  - Oder es gibt magnet. Momente. Dann unterscheiden wir:
    - *Paramagnete* = keine Ordnung (bei **RT**) und für die **ET&IT** uninteressant, da auch "Orientierungspolarisation" nur geringe Effekte erzeugt.
    - *Ferro*-, *Ferri*- und *Antiferro*magnete mit magnetischer Ordnung unterhalb einer kritischen Temperatur (*Curie-T* für "Ferro"; *Neél-T* für "Antiferro").
  - Obwohl Anti-Ferromagnetismus für **ET&IT**-Anwendungen *noch* bedeutungslos ist, wird sich das in der Zukunft ändern ("Spintronic"), deshalb kennen wir den Begriff.

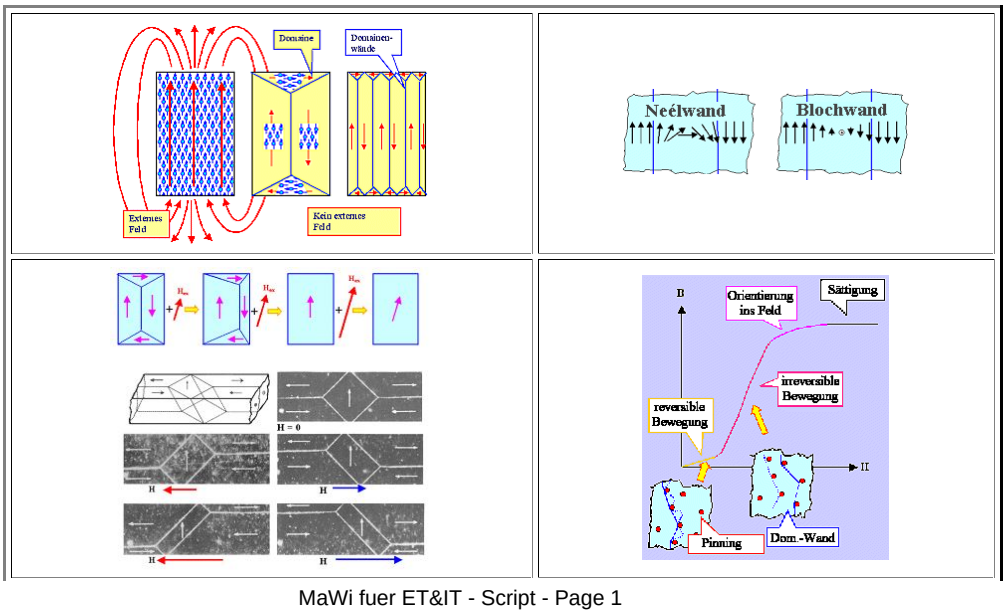


- Die formale Beschreibung magnetischer Phämomene ist uns halbwegs geläufig, auch die Analogie zur Beschreibung von Dielektrika. Die Tabelle im Link verstehen wir im Prinzip. Insbesondere sind die folgenden Gleichungen klar:

$$B = \mu_0 \cdot H + J = \mu_0 \cdot (H + M)$$

$$M = J / \mu_0 = (\mu_r - 1) \cdot H = \chi_{mag} \cdot H$$

  - Wir kennen auch die Benennungen: Primäre Parameter sind die *magnetische Feldstärke* ***H***, *magnetische Induktion* ***B***, *magnetische Polarisation* ***J*** oder die *Magnetisierung* ***M*** sowie die *magnetische Suszeptibilität* χ_{mag} oder die (relative) *Permeabilität* μ_r.
- Wir wissen, warum der simple Zusammenhang $M = \chi_{mag} \cdot H$ für Ferromagnete nur sehr bedingt gilt (kleine ***H*** bei Ausgangsmagnetisierung ***M* = 0**) und daß wir ansonsten sehr komplexes Verhalten mit *Hysteresekurven* bekommen.
  - Wir verstehen auch warum. Die Stichworte sind: *Domänen, Domänenwände, Verschiebung von Domänenwänden*! Wir können die nachfolgenden Bilder sowohl interpretieren als auch – der Spur nach – selbst zeichnen



- Die energetischen Gründe für die Entstehung von Domänen sind klar, auch die Balance zwischen Domänenwandenergie und reduzierter Feldenergie und elastischer Energie; der Begriff "*Magnetostriktion* " sagt uns was.
  - Die Bezeichnung "*leichte Richtungen* " sagt uns in diesem Zusammenhang auch was.
- Wir verstehen, dass *magnetische Verluste* aus zwei Komponenten bestehen – *Wirbelstromverluste* und *Hystereseversluste* –, die beide mit der Frequenz ansteigen (quadratisch für Wirbelstrom, linear für Hysterese).
  - Wirbelstromverluste lassen sich bekämpfen (wir kennen zwei Methoden: isolierte Bleche und ferromagn. Isolatoren), Hystereseverluste nicht, sofern man einen *hartmagnetischen* Werkstoff braucht, denn sie sind, wie wir wissen, gegeben durch die *Fläche der Hysteresekurve*.
- Es ist klar, dass *nur* das Frequenzverhalten der Ferro-(und Ferri-)Materialien wichtig ist, und dass wir dabei die *Zeitabhängigkeit der Verschiebung von Domänenwänden* betrachten.
  - Damit ist auch klar, dass bei hohen Frequenzen nicht mehr viel passiert. Insbesondere können wir in der eigentlich korrekten Gleichung für den optischen Brechungsindex $\boldsymbol{n = (\epsilon_r \cdot \mu_r)^{1/2}}$ derzeit *noch* $\boldsymbol{\mu_r = 1}$ setzen.
- Wir können zumindest die paradigmatischen Anwendungen für Magnetwerkstoffe angeben, nach hart- und weichmagnetisch sortieren und ein paar Möglichkeiten zur Optimierung einer Hysteresekurve angeben und begründen.