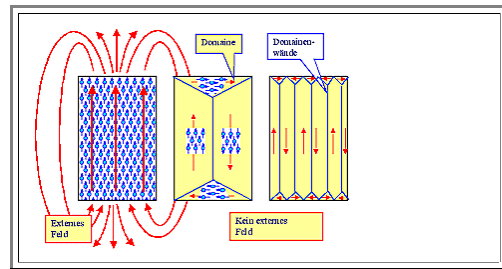


7.2.3 Merkpunkte zu Kapitel 7.2 Ferromagnetismus und magnetische Domänen

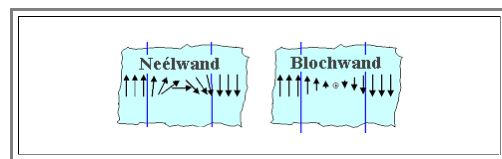
Viele ferromagnetische Materialien haben trotz paralleler Ausrichtung der atomaren magnetischen Momente eine verschwindende Magnetisierung, d. h. sie sind keine starken Permanentmagnete.

- Der Grund dafür liegt in der Ausbildung von **magnetischen Domänen** = Bereichen mit perfekter magnetischer Ordnung, aber mit verschiedener, sich insgesamt weitgehend aufhebender Ausrichtungen der Magnetisierung.
- Die **Domänenwände** sind flächige Defekte im Ordnungsmuster der atomaren Magnetisierungen und haben somit eine Energie pro cm^2 .
- Die Magnetisierung über eine Domänenwand ändert sich stetig; damit haben Domänenwände eine "Dicke", die viele Gitterkonstanten betragen kann.



Es gibt zwei Hauptarten von Domänenwänden: die **Blochwand** und die **Néelwand**.

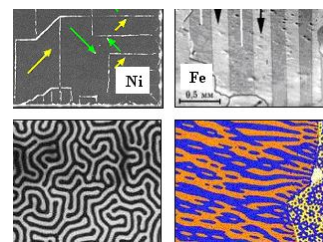
- In Volumenmaterial liegen meist Blochwände vor; Néelwände sind in dünnen Schichten prominent.



Domänen entstehen, weil durch Domänenbildung trotz des Energieinvestments für die Domänenwände, die (freie) Energie des Materials insgesamt gesenkt werden kann. Dabei sind drei Energiebeiträge besonders wichtig:

- Im sich bis ins "Unendliche" erstreckenden Magnetfeld eines starken Magneten steckt eine Menge **Feldenergie**. Mit geeignet angeordneten Domänen kann diese Energie praktisch auf Null reduziert werden.
- Kristalle mit geordneten magnetischen Momenten zeigen ausnahmslos den Effekt der **Magnetostriktion** – d. h. sie "ziehen" sich i.d.R. senkrecht zur Magnetisierungsrichtung etwas zusammen. Damit kommt elastische Energie ins Spiel (Es werden Bindungsfedern gedehnt oder gedrückt).
- Die gemeinsame Richtung der geordneten magnetischen Momente ist nicht beliebig sondern energetisch am günstigsten für "**leichte Richtungen**" = niederindizierte kristallographische Richtung, (z. B. $\langle 100 \rangle$ in Fe, $\langle 111 \rangle$ in Ni).
- Die resultierenden Strukturen können sehr komplex sein, minimieren aber schlicht die Energie.

- Energie des externen Magnetfelds.**
- Verformungsenergie wg. Magnetostriktion**
- Anisotropie über "leichte Richtungen"**

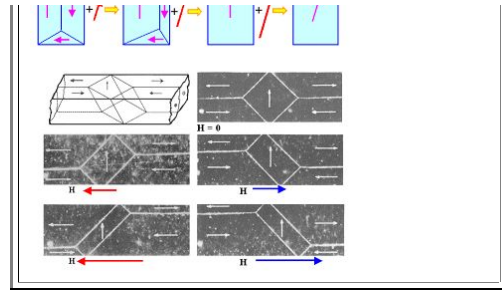


Mit einem äußeren Magnetfeld vergrößern sich günstig orientierte Domänen auf Kosten der anderen. ⇒

Dazu müssen sich **Domänenwände bewegen**.

Domänenwände werden aber in ihrer Beweglichkeit stark von lokalen inneren mechanischen Spannungen / Dehnungen = **Defekten** beeinflusst. Das hat eine Reihe von Konsequenzen:

- Domänenwände zu verschieben geht nicht so schnell. ⇒ Die **Frequenzabhängigkeit** der Magnetisierung von ferromagnetischen Materialien folgt aus der "Mechanik" der Domänenbewegung, die schon bei relativ niedrigen Frequenzen (**kHz . . . MHz**) schlappmacht – außer bei speziellen "Nano"-Werkstoffen.
- Domänenwände hin-und-her zu schieben kostet Energie. Ein Teil der magnetischen Verluste **P** (die **Hystereseverluste P_{Hyst}**) erklärt sich durch diesen Effekt.
- Kristalldefekte beeinflussen (typischerweise erschweren) die Bewegung von Domänenwänden. Damit lassen sich Eigenschaften der Hysteresekurve durch "defect engineering" einstellen.



➤ Weitere **Verluste P_{Wirb}** resultieren von induzierten Wirbelströmen in leitenden magnetische Materialien (spez. Widerstand ρ).

- Beide Verlustarten sind proportional zur Frequenz **f**. **d** ist die Dicke des Materials senkrecht zur Feldrichtung; ρ der spez. Widerstand.
- Zur Minimierung von **P_{Wirb}** ist es angebracht, statt Volumenmaterials eine Schichtung isolierter Bleche zu nehmen (z. B. Trafokerne)

$$P_{Fe} = P_{Wirb} + P_{Hyst}$$

$$= \frac{\pi \cdot d^2}{6\rho} \cdot (f \cdot B_{max})^2 + 2f \cdot H_C \cdot B_{max}$$