

Magnetische Materialien

Anwendungsgebiete

Bedeutung (weich: $n \cdot 10^6$ Tonne/Jahr, hart: $n \cdot 10^3$ t/Jahr)

antik China (II.Jh.)	Kompaß
1880	Martensitische Dauermagnet
1900	Fe - Si Legierung
1923	Fe - Ni Legierung
1935	Erste Magnetband
1946	Ferrite
1966	Seltene Erdmetalle - Cobalt Hartmagnete
1975	Orientierte Mn-Al-Co Hartmagnete

Material Wechselwirkung

$$\vec{B} = \mu \vec{H}$$

$$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \frac{Vs}{Am}$$

$$\vec{B} = \mu_0 \mu_r \vec{H} = \mu_0 (\vec{H} + \vec{M})$$

$$B \left[\frac{Vs}{m^2} = T \right]$$

$$\vec{M} = \kappa \vec{H} = \frac{1}{V} \sum \vec{P}_i$$

$$H \left[\frac{A}{m} \right]$$

$$\mu_r = 1 + \kappa$$

Verlustfaktor

$$\text{tg } \delta = \frac{U_V}{U_L}$$

Magnetische **Permeabilität**

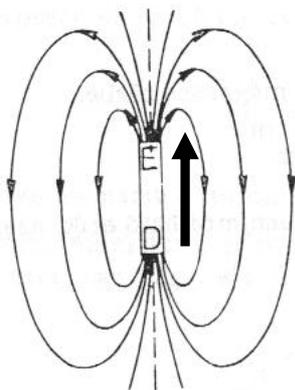
$$\vec{B} = \mu_0 (\vec{H}) + \vec{J}$$

Magnetische **Suszeptibilität**
(Empfindlichkeit)

Magnetische **Polarisation J**
Magnetisierung M

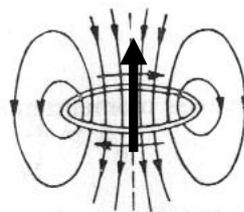
Folie: 3

Magnetische Dipole



$$\vec{P}_m = m \vec{l}$$

m – magnetische
„Ladungsmenge“



$$\vec{P}_m = I \vec{A}$$

$$\vec{\tau} = \vec{p}_m \times \vec{B}$$

$$W = -\vec{p}_m \cdot \vec{B} + \text{konst}$$

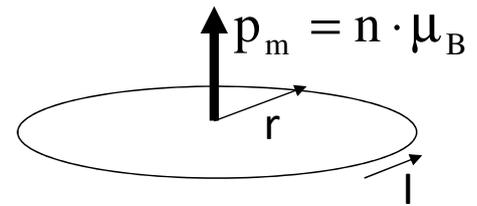
$$F = p_m \frac{d\vec{B}}{dx}$$

Im homogene magnetischen Feld wirkt nur ein Moment (τ) auf das Dipolmoment (P_m) und keine Kraft.

Die Energie des Moments sinkt, wenn der Dipol sich auf Feldrichtung dreht.

Sie versuchen miteinander parallel stehen.

Folie: 4



Die *Bohrsche* Quantenbedingung:

$$\text{Bahnimpuls} \cdot \text{Bahnlänge} = (m_e \cdot \omega \cdot r) \cdot (2 \cdot \pi \cdot r) = n \cdot h$$

$$(m_e \cdot \omega \cdot r) \cdot (2 \cdot \pi \cdot r) \cdot \frac{q}{2\pi} = n \cdot h \cdot \frac{q}{2\pi}$$

$$(\omega \cdot r^2) \cdot (\pi) \cdot \frac{q}{2\pi} = n \cdot h \cdot \frac{q}{4\pi \cdot m_e}$$

$$r^2 \cdot \pi \cdot \frac{q \cdot \omega}{2\pi} = n \cdot \frac{q \cdot h}{4\pi \cdot m_e} = n \cdot \mu_B$$

Atomare Kreisstrom

Magnetisches
Bahnmoment

$$r^2 \cdot \pi \cdot I = n \cdot \mu_B$$

$$\mu_B = 9,3 \cdot 10^{-24} \text{ Am}^2$$

Folie: 5

Magnetische Eigenschaften der elementare Teilchen

Magnetische Eigenschaften der freien Atome

Eigenes magnetische Moment (Elektronen, Protonen, Neutronen)

Bahnmoment

Atomares (spin) magn. Bahnmoment \rightarrow Bohrsches Magneton

Bahnmoment der besetzten Schalen ist null.

$$\mu_B = \frac{qh}{4\pi m} = \frac{q\hbar}{2m}$$

Festkörper

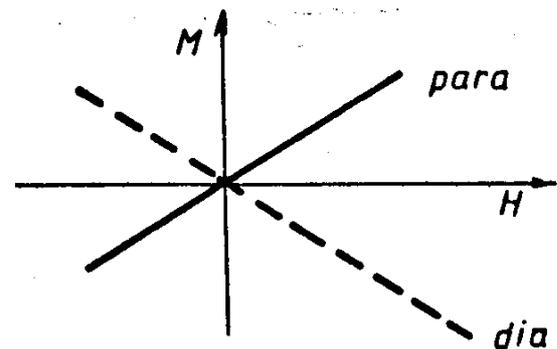
Die Bahnmomenten kompensieren einander (sind eingefroren)

\Rightarrow Nur die Bahnmomenten der nicht besetzte Schalen soll man rechnen

Folie: 6

Dia- (geschlossene Elektronenschale) $\kappa < 0$ ($\approx 10^{-5}$)
 universale Eigenschaften
 (Si, Cu, Zn, Ag, Cd, Au...)

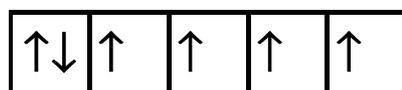
Para- (mindest ein ungepaartes Elektron) $\kappa > 0$ ($10^{-3} - 10^{-5}$)
 (Mg, Al, Ti, W...)



Folie: 7

Magnetische Materialien mit geordneter Struktur
 (3d, 4f Schalen unbesetzt, Domänen = *Weißsche Bezirke*)

Fe: $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 3d^6 4s^2 \Rightarrow$ 4 Bohrsches Magneton



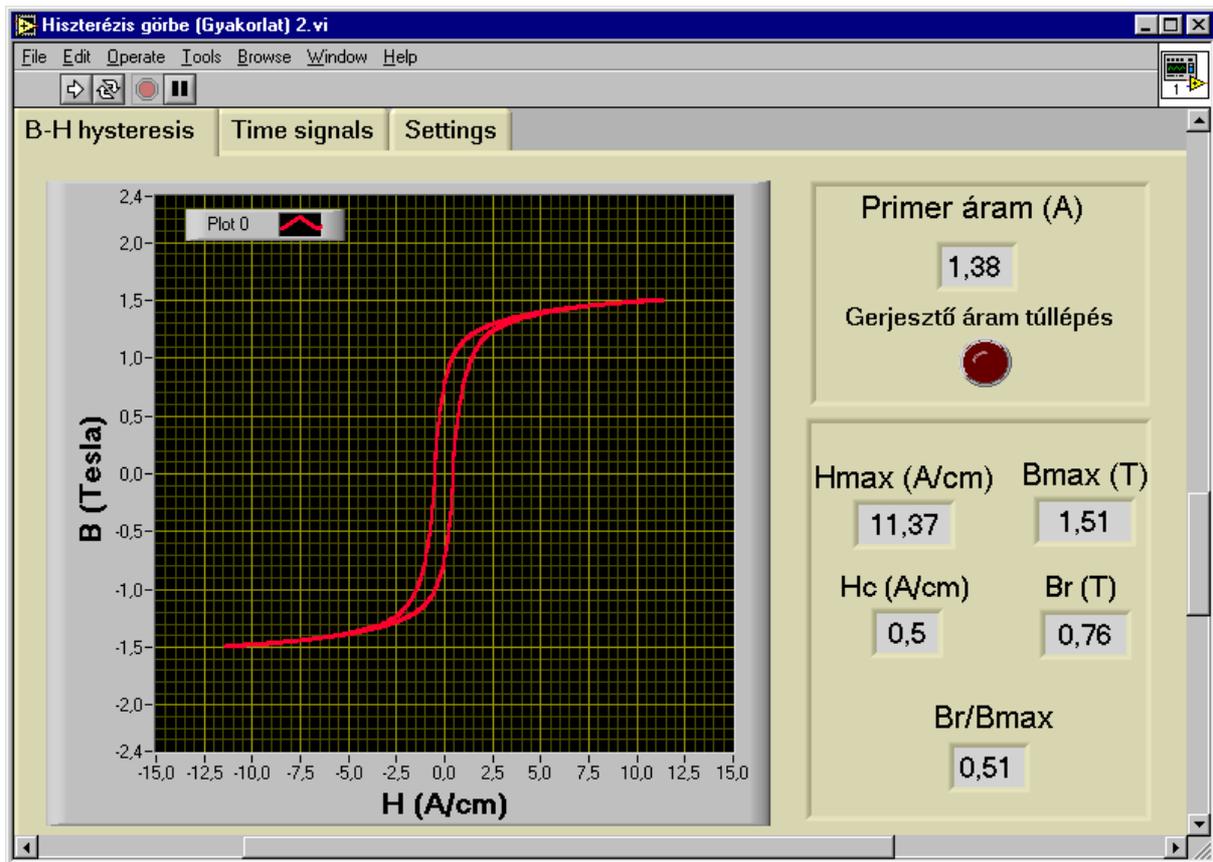
Ferro- ↑↑↑↑ (Fe, Co, Ni, Gd), Legierungen, Heussler (Mn, Cr)

Antiferro- ↑↓↑↓ (Cr, Mn)

Ferri- ↑↓↑↓ (Fe₃O₄, CrO₂, ErO ...)

Weich- und hartmagnetische Materialien

Folie: 8



Folie: 9

Neukurve der Polarisation, Magnetisierungskurven

M(H) és B(H) Hystereseschleifen

Innere-, und Nebenhystereseschleifen.

Die Sättigungsmagnetisierung (Wo?)

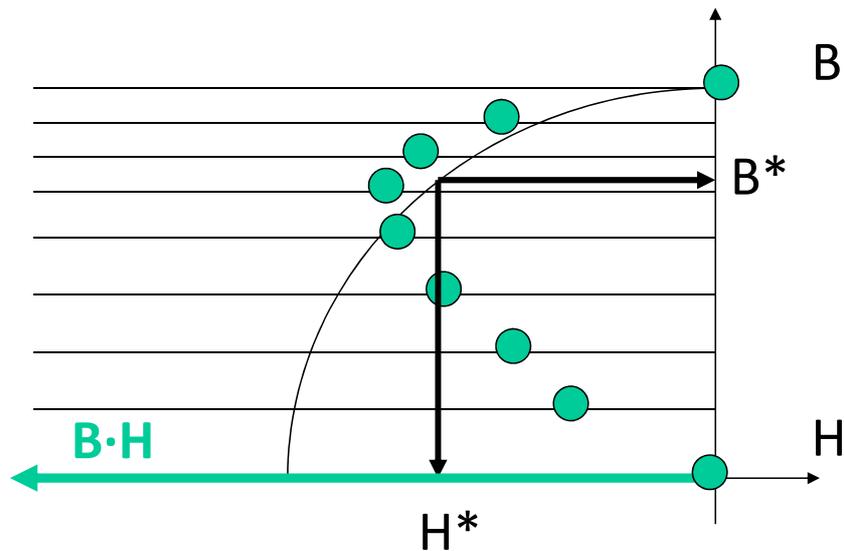
Sättigungsinduktion (B_M), Remanenzinduktion (B_R),
Koerzitivfeldstärke (H_c)

Permeabilitäten (μ_r): Anfangs-, Maximale, Amplituden-,
reversible-

$$\mu_i = \frac{1}{\mu_0} \frac{dB}{dH} \Bigg|_{H=0} \quad \mu_a = \frac{1}{\mu_0} \frac{B}{H} \Bigg|_{H=H_1} \quad \mu_{a,max} = \frac{1}{\mu_0} \frac{B}{H} \Bigg|_{H=H_2} \quad \mu_r = \frac{1}{\mu_0} \frac{\Delta B}{\Delta H} \Bigg|_{H=H_1}$$

Folie: 10

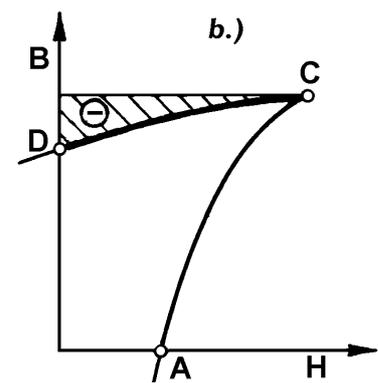
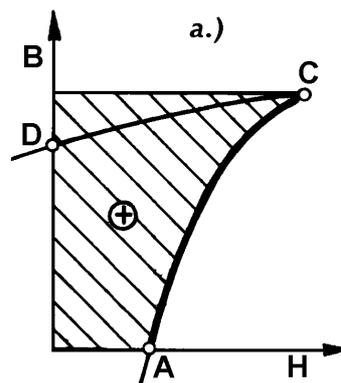
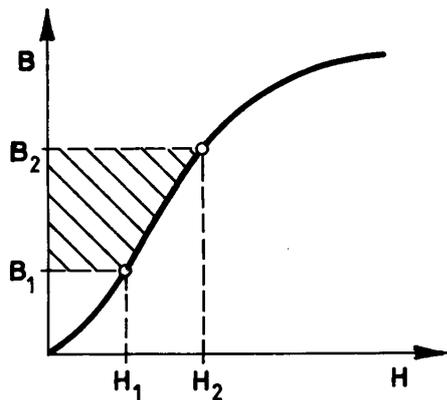
Gütegrad $(BH)_{\max}$, Viereckigkeitsfaktor B_R/B_M



$$(BH)_{\max} = (B^* \cdot H^*) \quad [Vs/m^2 \cdot A/m = VAs/m^3 = J/m^3]$$

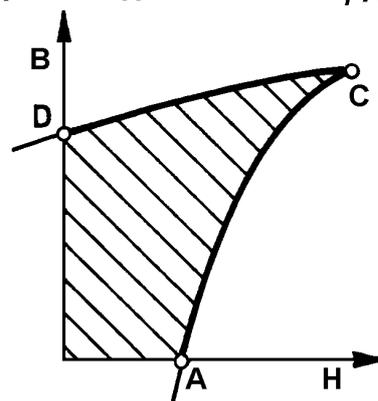
Folie: 11

Domänenwandbewegung, Wirbelströme



$$W = \int H dB$$

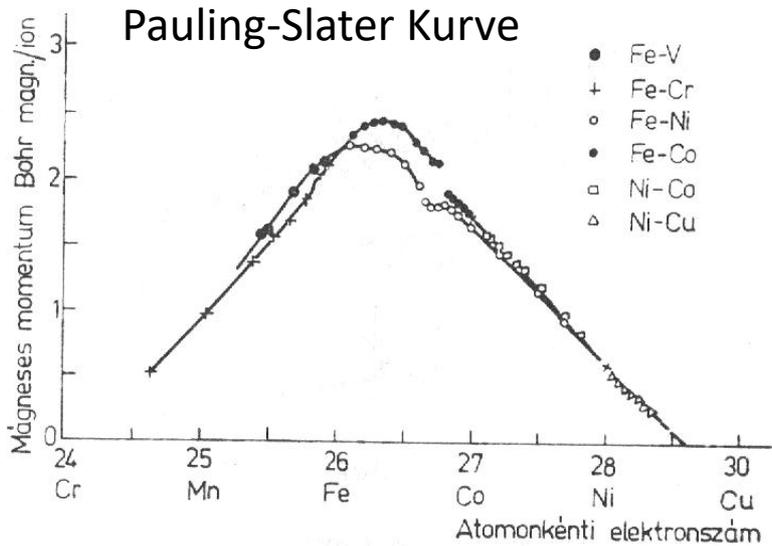
$$W_{\text{Hysteresis}} = \oint H dB$$



$$[Vs/m^2 \cdot A/m = VAs/m^3 = J/m^3]$$

Folie: 12

B_M, B_R, H_C



B_M : nur von chemischen
Zusammensetzung abhängt
(Zahl der Bohrschen
Magnetonen im
Volumeneinheit)

Verformt:

H_C wächst

B_R sinkt

Maximum → 70Fe - 30Co (Permendur)
(2,4 Bohrsches Magneton / Atom,
 $B_M = 2,45 \text{ T}$)

Folie: 13

$$F = \boxed{\sum U} - \boxed{T \sum S} + \boxed{MH}$$

Wechselwirkungsenergie

Kristallanisotropische Energie

Magnetoelastische Energie

Domänenwandenergie

Entropie der Momenteinstellung

Magnetostatische und Demagnetisierungsenergie

Folie: 14

1. Was ist die Ursache der außerordentlichen starken magnetischen Eigenschaften?
2. Warum haben keine magnetische Eigenschaften die ferromagnetische Materialien abgekühlt von hohen Temperaturen?

Folie: 15

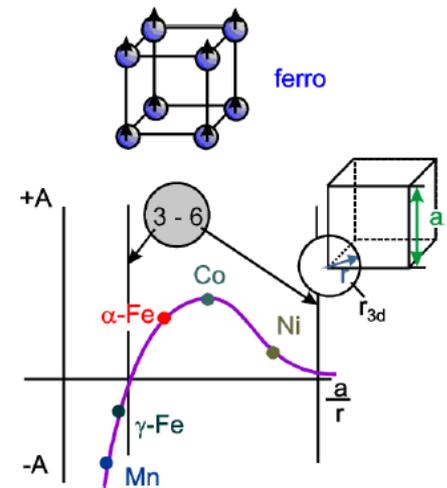
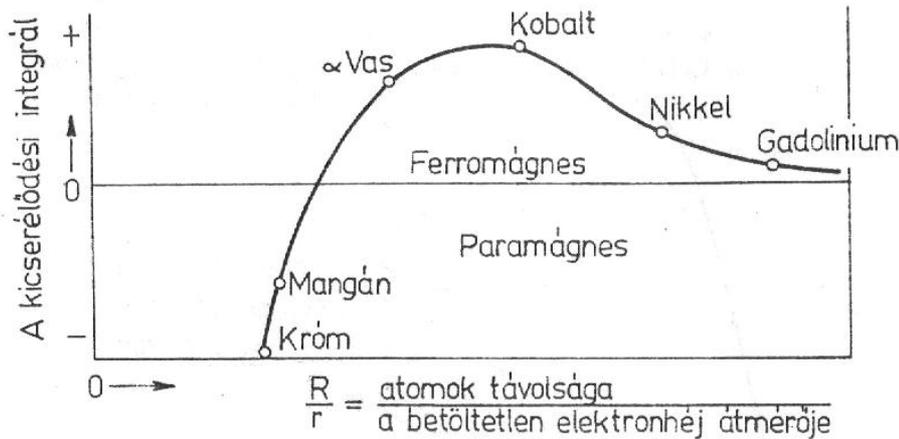
Dipol - Dipol Wechselwirkung

Weiss $H_m = \lambda M$

Heisenberg, Dirac (1926)

Wechselwirkungsenergie: Energiezusatz, abhängig von den Domänenpositionen. Nur quantenmechanische Erklärung. Verantwortlich für das Paralleldrehen der magnetischen Momenten.

Folie: 16



Ferrit - Austenit, 18/8 korrosionsbeständiger Stahl

Heussler-Legierungen (Mn, Cr) MnBi, MnAl, MnAlC
(Mischkristall, großer Atomdurchmesser)

Indirekte Wechselwirkung (O, S Zusatzatomen). Ferrite.

Folie: 17

Weiss (1907) Die Domäne (Weißschen Bezirken): Bis Sättigung magnetisierter Bereich, wo alle Momente parallel stehen.

Bitter (1931)

Faraday, Kerrsche Effekte (magneto-optische Erscheinungen)

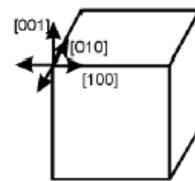
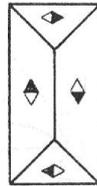
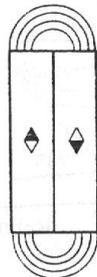
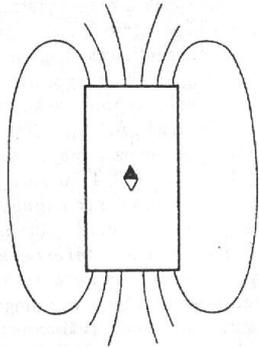
10^{12} - 10^{18} Elementarmomenten, Maßen: 10^{-2} - 10^{-5} cm

Was bestimmt das Maß der Domänen?

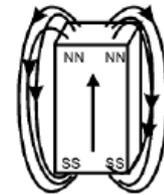
Folie: 18

H äußeres Feld, **M** magnetisierung (N: Formfaktor)

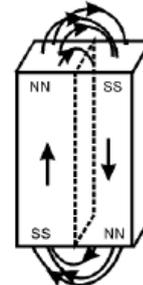
$$W_m = -\mu_0 \int \bar{H} d\bar{M} = \frac{\mu_0}{2} NM^2$$



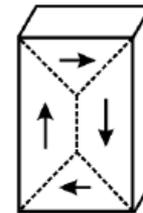
Richtungen leichter Magnetisierbarkeit in einem Fe-Si-Einkristall



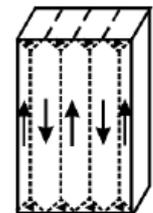
Entstehung von Polen N und S, wenn Gesamtmagnetisierung in einer Richtung verläuft



Bei zwei Bereichen ist die magnetostatische Energie vermindert



Querbereiche besetzen die Magnetpole und die magnetostatische Energie



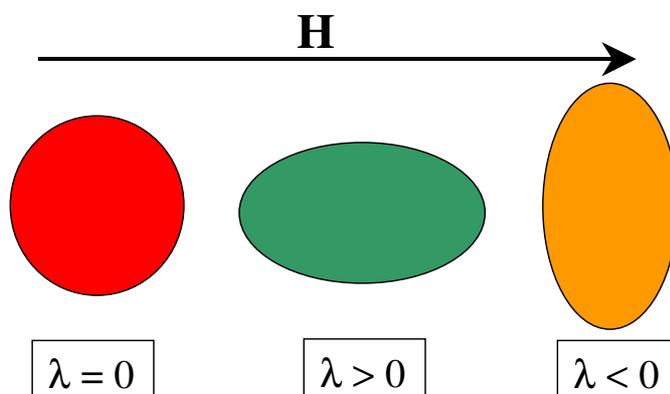
Bei einer grösseren Anzahl von Bereichen wird das Gesamtvolumen der Schließbereiche vermindert

Briefumschlagsmodell

⇒ **Große Domänen in kleinen Zahl**

Maßänderung unter magnetischem Einfluß.

λ gehört zur Sättigungsmagnetisierung ($50-100 \cdot 10^{-6}$)



Fe $\lambda > 0$, Ni $\lambda < 0$

Ultraschallgenerator
Transformatorgeräusch

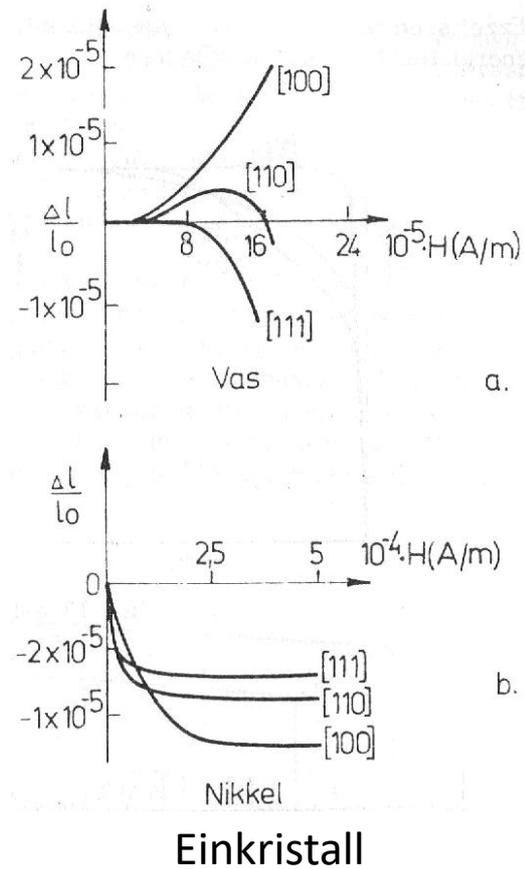
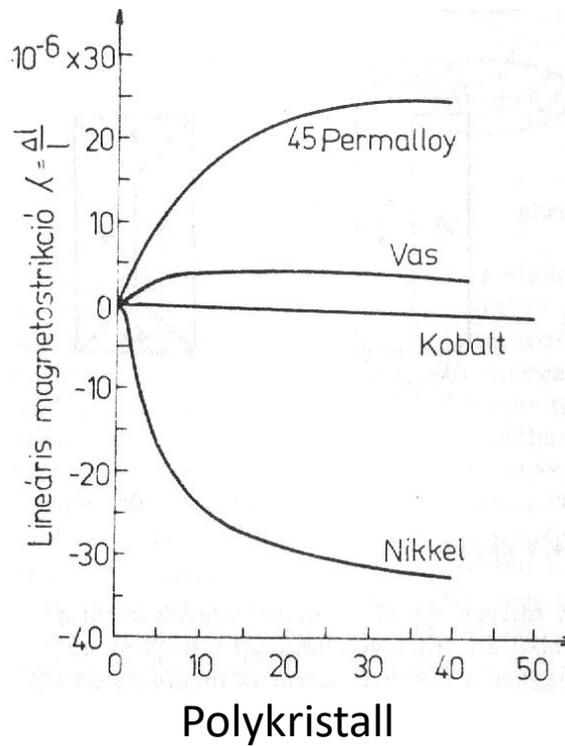
$$\lambda_{\text{Volumen}} = \frac{\Delta V}{V}$$

$$\lambda_{\text{linear}} = \frac{\Delta l}{l}$$

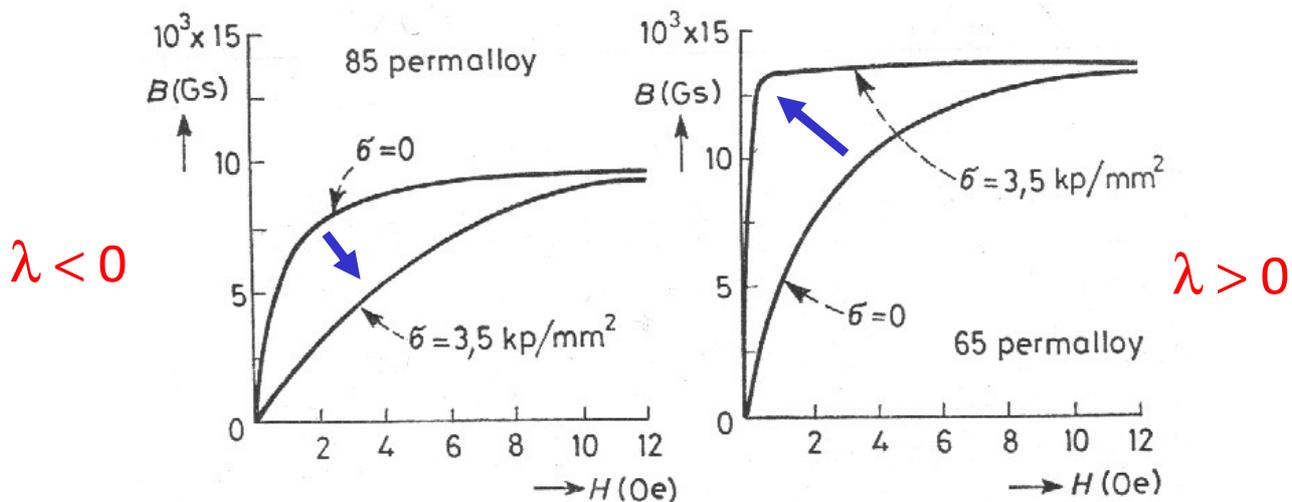
Pl: in 1 m Länge

$\lambda = 100 \cdot 10^{-6}$

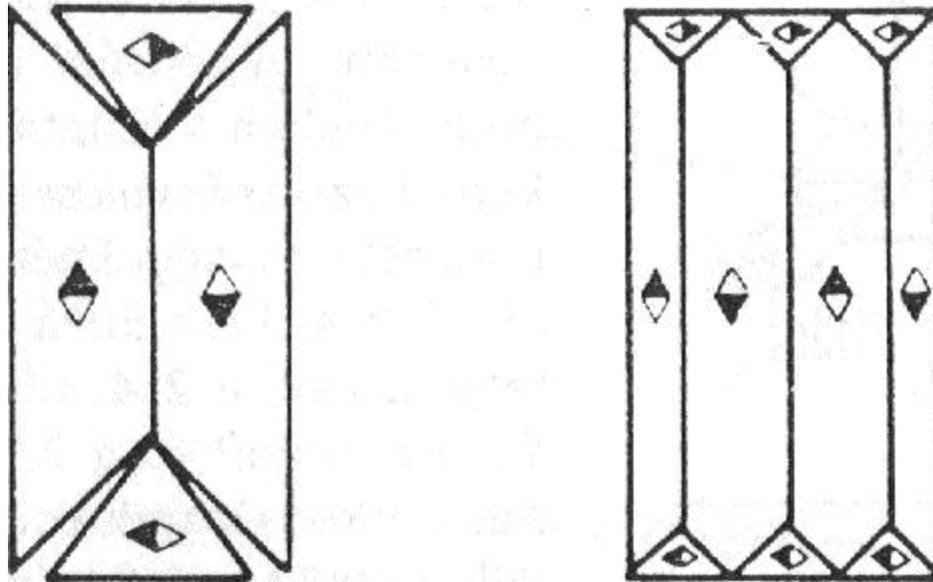
Längeänderung: 0,1 mm



Einfluß der Mechanischen Spannungen auf die magnetische Eigenschaften

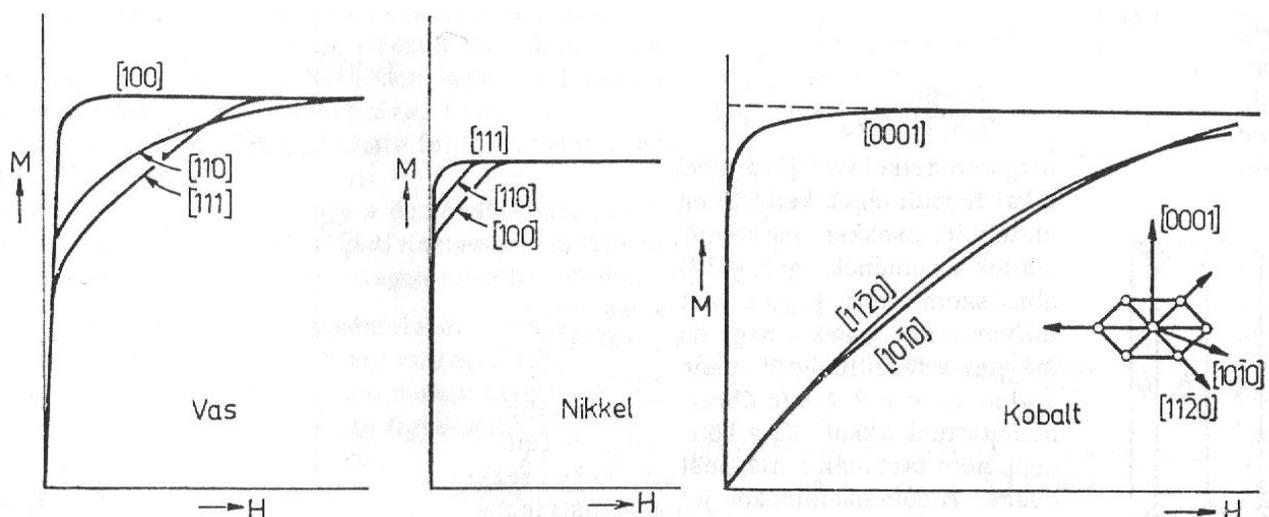


Verformungsenergie der Magnetostriktion
 Verformungsenergie der elastischen mechanischen Spannung



Die Domänen verkrümmeln sich \Rightarrow die Verformung sinkt

Leichte und schwere Magnetisierungsrichtungen
 Unterschied der Flächen unter der Kurven



Dicke der Bloch-Wänden: 15 - 300 Gitterparameter

$$E_{\text{Bloch-Wand}} = E_{\text{Wechselwirkung}} (1/d) + E_{\text{Anisotropie}} (d)$$

	Fe	Co	Ni
Domenwand dicke (nm)	40	15	100
Domenwand dicke (in Gitterparametereinheit)	138	36	285

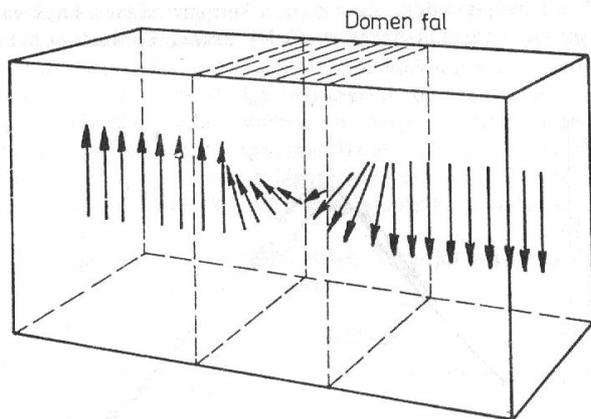
Die Wechselwirkungsenergie will die Domänen parallel stellen, die Anisotropie-energie will die Momente zu den leichtesten Magnetisierungsrichtungen drehen.

Im Gleichgewichtszustand zeigt die Magnetisierung der Domänen in irgendeine Leichtmagnetisierungsrichtung.

⇒ Domänenwandarten

Fe [100] ⇒ 90° és 180°

Ni [111] ⇒ 70,53° és 109,47°



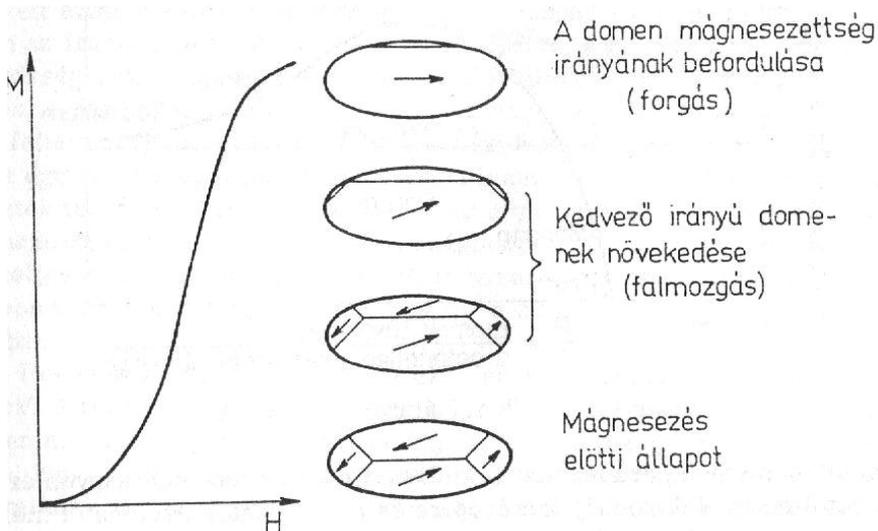
Wandarten:

- Bloch-Wand (Blockmaterial)
- Néel-Wand (Dünnschicht)
- Dorn-Wand (cross-tie)
- Ketten-Wand

Der Grad der Hindernisse und Stabilität hängt von relativem Maß.

Dicke Wänden bewegen sich leichter, als die Dünne.
(Ein Rad mit einem großen oder kleinen Durchmesser an der holperigen Straße.)

Folie: 27



Wandbewegung

reversibel

irreversibel

(Richtung ist immer die LMR)

Drehen

inkohärent

kohärent

(Richtung ist nicht die LMR)

Folie: 28

(ohne Phasenumwandlung)

Dia- $\frac{\partial \chi}{\partial T} = 0$

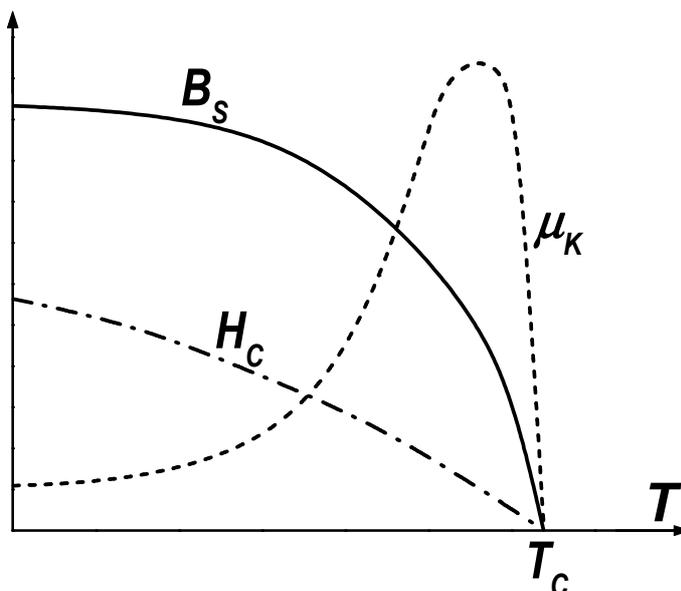
Nicht leitende Elektronen

Para- $\chi = \frac{M}{H} = \frac{\mu_0 N P_m^2}{3kT} = \frac{C}{T}$

Maxwell-Boltzmann-Verteilung + Curie-Gesetz

$$\chi = \frac{\mu_0 N P_m^2}{W_F} = \frac{\mu_0 N P_m^2}{kT_F}$$

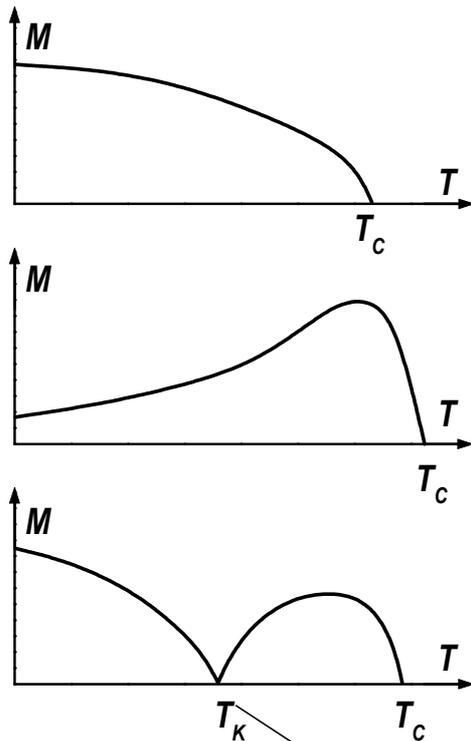
Leitende Elektronen
Fermi-Dirac-Verteilung



Reversibilität,
Unendlich vielmal
wiederholbar

Temperatursensoren,
Brandmeldeanlagen,
Lötkolben

Ferromagnete Curie-Temperatur
Antiferromagnete Néel- Temperatur



Die Curie-Temperatur und die Magnetisierungszusätze der einzelnen Subsystemen ist unterschiedlich.

Kompensierungstemperatur

Folie: 31

Magnetisierungsmechanismus:

1. Reversible Domänenwandbewegung
2. **Irreversible Domänenwandbewegung,**
Sprunghaftige Domänenwandbewegung \Rightarrow Barkhausen-Geräusch (quasi-stochastisches Geräusch)
3. Inkohärentes Drehen
4. Kohärentes Drehen

Sixtus & Tonks (Phys. Rev. 24, p.439, 1924), 14%Ni-86%Fe,
1 Oe \rightarrow 250 m/s \Rightarrow dB/dt groß \Rightarrow gut meßbarer Effekt

Folie: 32

"Mágneses anyagok és vizsgálatok (BMEGEMTMGK6)"

Weitere Informationen:

Dr. Mészáros István

MT ép. I. em. 109

meszaros.istvan.attila@gpk.bme.hu

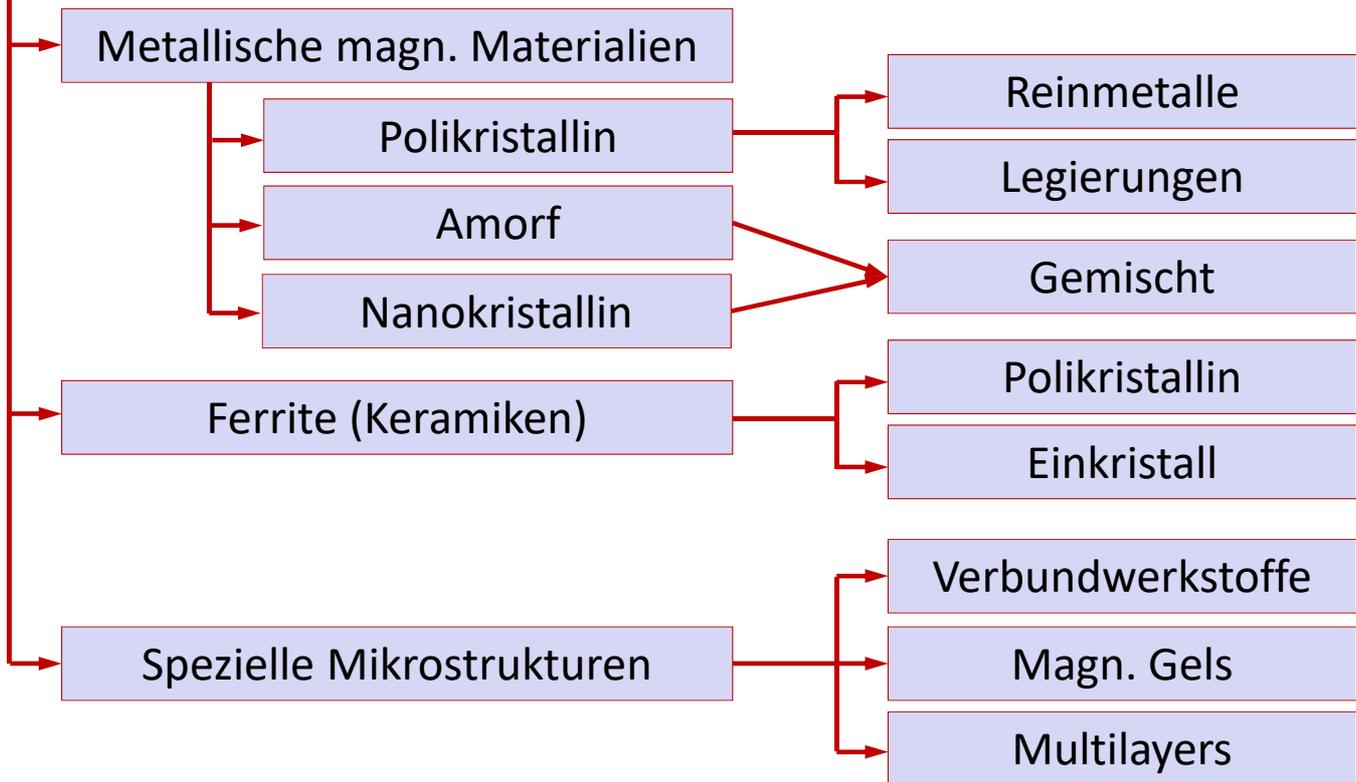
Folie: 33

Änderungsmöglichkeiten der magnetischen Eigenschaften

Technische Anwendungen der weich- und hartmagnetische Materialien

Folie: 34

(nach Mikrostruktur)



Folie: 35

Arten der Erhöhung der B_R : Anisotropie

- Magnetische Wärmebehandlung in der Nähe von T_C (orientierte Diffusion)
- Eindrehen der anisotropischen Körner (mit magnetischen Feld) in die Magnetisierungsrichtung.
- Kornorientierung in die Leichtmagnetisierungsrichtung
- Orientierte Kristallwachsen (Hartmagnete)
- Mechanische Spannungsbildung (Zug/Druck)

Folie: 36

Möglichkeiten zur Erhöhung der H_C :

- Beschränkung der Bewegung der Domänenwände (Korngröße, Ausscheidungen, Fehlerstruktur...)
- Beziehung zwischen Domänenwanddicke (d) und Hindernisbreite (D)
 $d \gg D$ kleine Wirkung, $d \approx D$ starkes Hindernis

Folie: 37

Charakteristische Anwendungsgebiete der Weichmagneten

Elektromechanische Geräte:

Hebel, Bewegungsmagneten, Relais, Magnetschalter

Geräte wirkend auf dem Grund der elektromagnetischen Induktion:

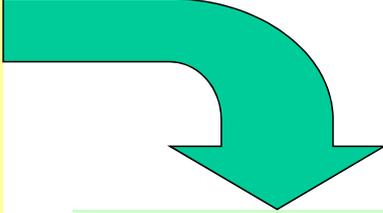
Transformatoren, Drosseln, Generatoren, Motoren, Elements der Magnetausscheider (Separatoren)

Magnetische Schirme

Fluxleitende Elementen

Folie: 38

Materialien

B_M	groß	
μ	groß	
H_C	klein	
Spez. el. Widerstand	groß	
Curie-Temperatur	groß	
Verformbarkeit	groß	
Verlust	klein	
Hysteresefläche	klein	

Reinmetalle und homogene Mischkristalle
Legierungen sind besser.

Mechanische Härte \Leftrightarrow Magnetische Härte

Folie: 39

Materialien

- Je mehr und größer Magnetisierungsmomente habende Atome beinhaltet es in einer Volumeneinheit.
- Anisotropie (konstante) ist klein. (Anisotropie, Weichgeglühte, rekristallisierte Struktur)
- In der Kristallzelle sind viele Leichtmagnetisierungsrichtungen (kubisch).
- Gitterfehlerdichte und innere mechanische Spannungen sind minimal.
- Magneto-elastizität/striktion (konstante) Effekt ist je kleiner.

Folie: 40

Werkstoffgruppe	Sättigungsinduktion, B_s (T)
Fe-Co	2,3 - 2,4
Fe	2,0 - 2,1
Fe-Si	1,7 - 1,9
70Fe - 30Ni	0,1 - 0,7
50Fe - 50Ni	1,3 - 1,5
25Fe - 75Ni	0,7 - 0,8

Folie: 41

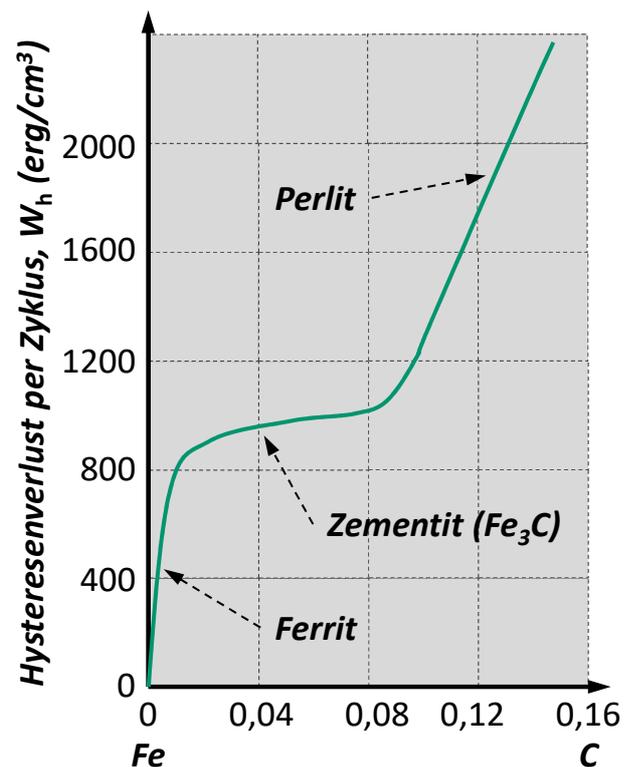
B_s (20° C) = 2,15 T
 μ_{\max} = 5.000 - 300.000 A/cm
 99,95 % Fe , 0,005% C ARMCO
 Unlegierte elektrotechnische Platte
 (Fedin, Fermax...)

Interstitiell: C, N, O \Rightarrow Gitterstörung



Dekarbonisation

Eigenschaften streuen sehr
Man kann nicht in der Hand halten



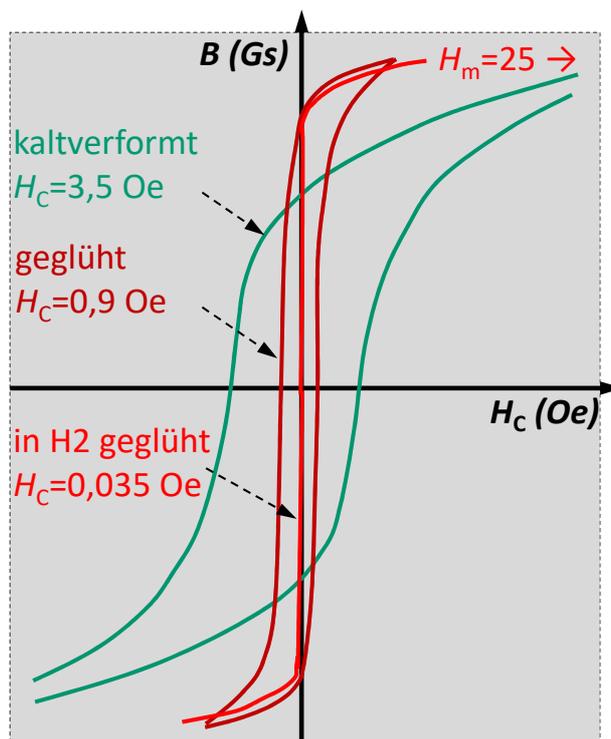
Folie: 42

Große Magnetostriktion →
starke Spannungsabhängigkeit



Spannungsarmglühen

Für reines Fe



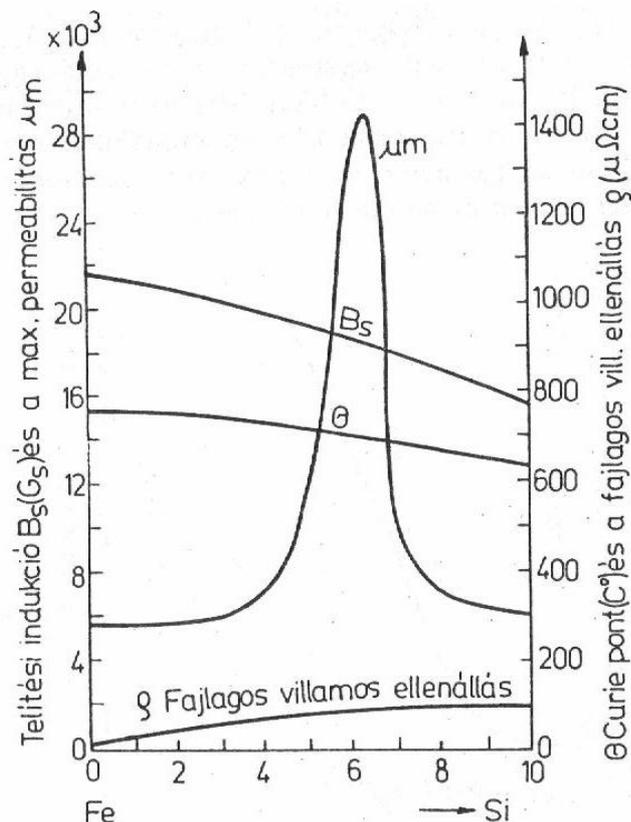
Folie: 43

Starkstromanwendung (große H, kleine f)
Transformator, Dynamoblech
(0,2 - 0,5 mm)
Si-Einfluss: verkleinert die
Anisotropie

Optimum: 6-7 % Si **spröd, harte**
Transformator: 4-4,5 % Si
Dynamo: 3,2-3,6 % Si

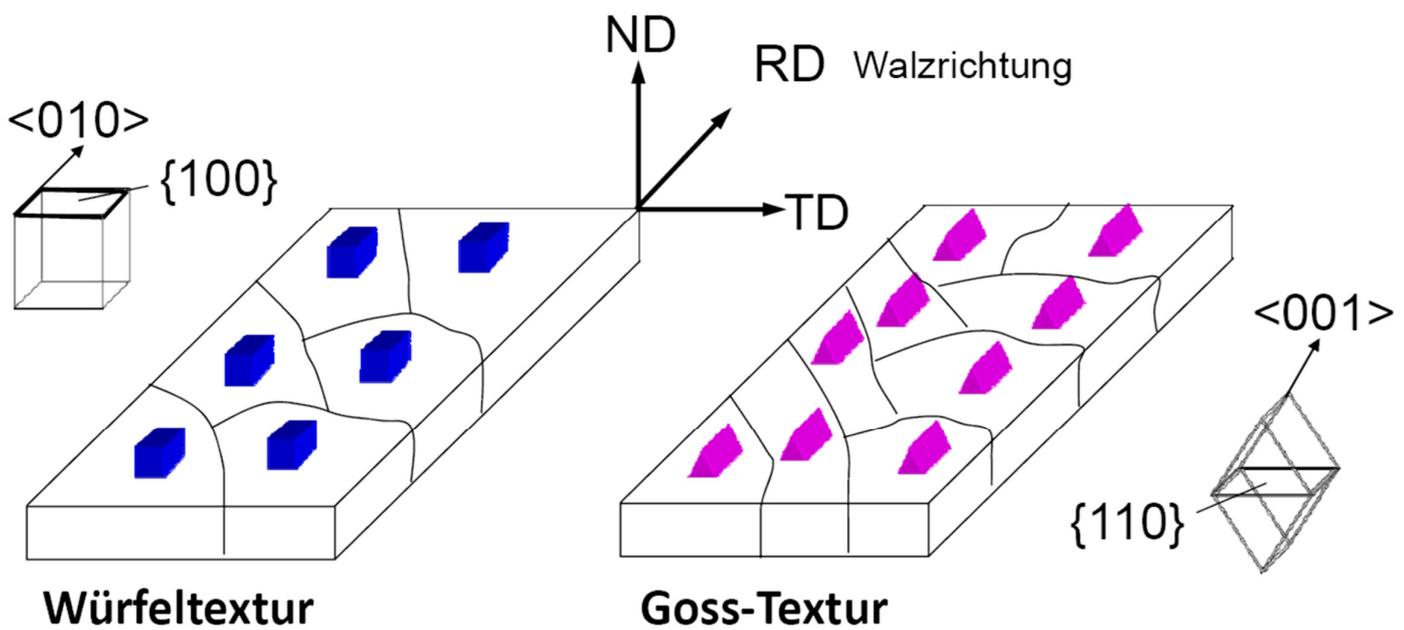
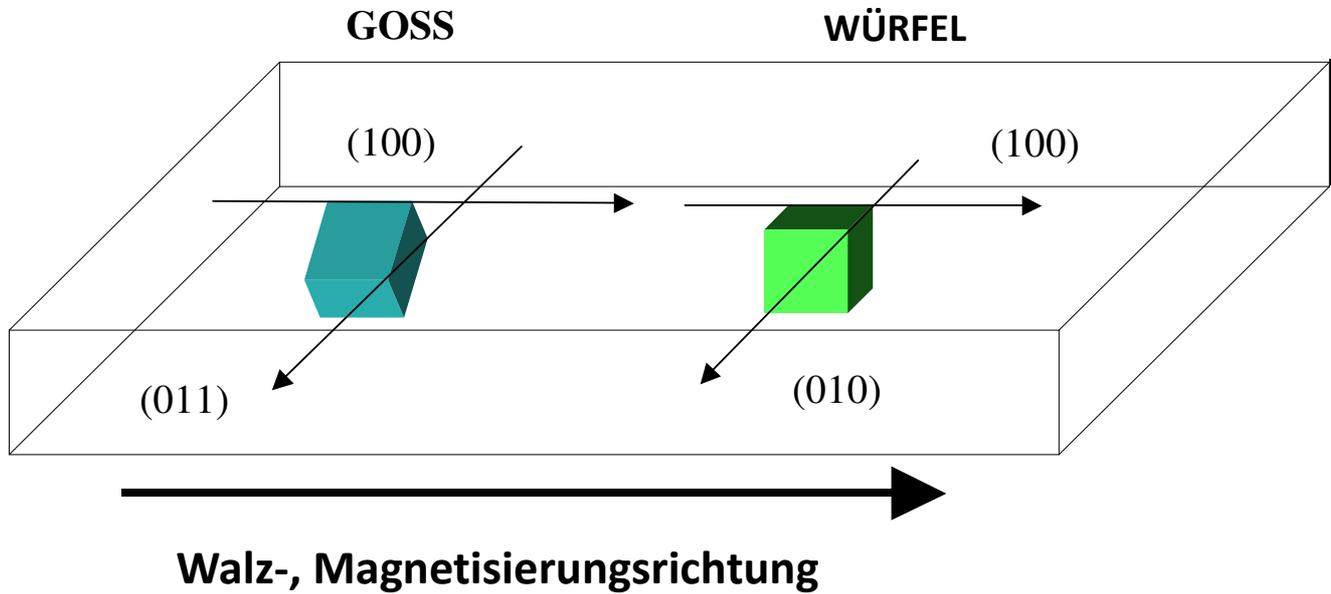
Interstitielle Legierungen: **C, O, P, S**
Bleibende Spannung

Wärmebehandlung: im nassen
Wasserstoff
 $C < 0,04$ %



Folie: 44

Außere H ist parallel mit einer Leichtmagnetisierungsrichtung
 Walzen \Rightarrow Kornorientierung \Rightarrow anisotropie, Struktur mit Textur
Magnetisierungsrichtung ist definiert !!!



50% Ni - 50% Fe

80% Ni - 20% Fe

Kleine Sättigungsinduktion (Fe-2,2 T, Ni-0,6 T)

Große Permeabilität (20 000 - 70 000)

Kleiner Verlust

Ni₃Fe Supergitter (Überstruktur) (75% Ni, 500 °C) ist zu vermeiden !

Verformung macht die Eigenschaften mehrmals schlechter.

Weichglühen (900-1000 °C, 1h), rasches Abkühlen,
Spannungsarmglühen (600 °C), rasches Abkühlen.

Bei T_c kühlen in Magnetfeld ab ⇒ Permeabilität × 10

Folie: 47

A amorf
NC nanokristall
MC mikrokristall
FINIMET gemischt

Sehr kleine H_c
Kein *Barkhausen* Geräusch

Dünne Bänder (0,02-0,05 mm)
Eutektische Zusammensetzung
Übergangsmetalle (Ni, Co, Fe, Mn)
Nicht metall. Leg.: (Si, P, N, C, B)
Abkühlen (10⁵ ° C/sec)
Wärmebehandlung, brechbare

Transformatormaterial
Fe-Si-B-(C)
Fe-Co-B-Si
Ni₄₀-Fe₄₀-P₁₄-B₆
Fe₂₉-Ni₄₉-P₁₄-B₆-Si₂

Folie: 48

Keramikmagnet (**Kubische Spinell**, Ferrimagnetische Ordnung)

- ⇒ Pulvermetallurgische Technologie
- ⇒ Spröd, brechbar, nicht verformbar (Schleifen)
- ⇒ Isolator (schlechter Halbleiter) ⇒ Hochfrequenzanwendungen

$M\text{OFe}_2\text{O}_3$ FERRIT

(M zweiwertiges Metall: Mn, Zn, Ni)
 Fe Momenten kompensieren einander ⇒ B_s klein

$3M_2\text{O}_35\text{Fe}_2\text{O}_3$ GRANAT

(M zweiwertiges Seltenerdmetall: Sm, Eu, Gd)
 Yttrium Legierung → YIG (Yttrium-Eisen-Granat)

Kubische Spinellstruktur:

O Ionen KFZ
 Fe Ionen oktaedrisch 1/2 0 0 tetraedrisch 1/4 1/4 1/4
 M Ionen oktaedrisch

Typ	Verwendungsfrequenz	μ_K	B_M
Mn-Zn	< 1 MHz	> 2000	0,3-0,4 T
Ni-Zn	< 1 GHz	500-1000	0,1-0,15 T
Gránát YIG, YAG	> 1 GHz (mikrohullám)		

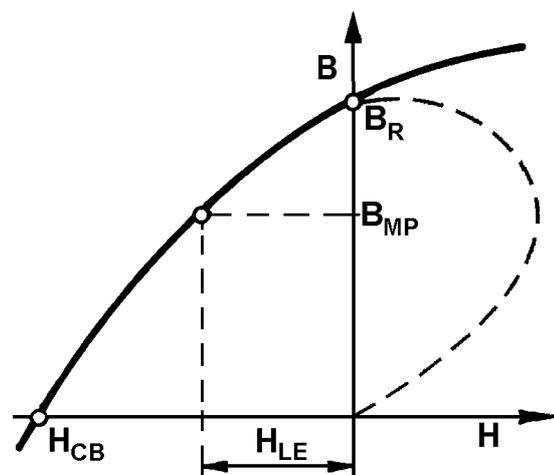
YAG (Yttrium-Aluminium-Granat) ist nicht magnetisch.

Anwendungsforderungen bei der Hartmagneten

Folie: 51

Anwendungsforderungen gegenüber der Hartmagneten

B_M	Groß
B_R	Groß
$(BH)_{max}$	Groß
Histeresefläche	Groß
$H_C > 4\text{kA/m}$ ($\approx 50\text{Oe}$)	Groß



Hartmagnetische Charakteristik

Folie: 52

- Die Mehrheitsphase soll je größer und je mehr Magnetmomenten in Volumeneinheit erhalten.
- Die Mehrheitsphase soll feine verteilt sein, und seiner Maß ist kleiner als die Domänenmaßen.
- In der Mehrheitsphase ist wenig Leichtmagnetisierungs-richtung (Kristallanisotropie: hexagonal und tetragonal).
- Induzierte Anisotropie soll groß sein. Große l/d Ellipsoide (Formanisotropie).

Folie: 53

Auslösung / Erhaltung vorgeschriebener Induktion im Luftschlitz.

Teuer, oft unformbar.

Fernmeldetechnik (Nachrichtentechnik):

Lautsprecher, Mikrophone, Mikrowellentechnik

Messtechnik:

Galvanometer

Mechanische Bewegung, Fixation:

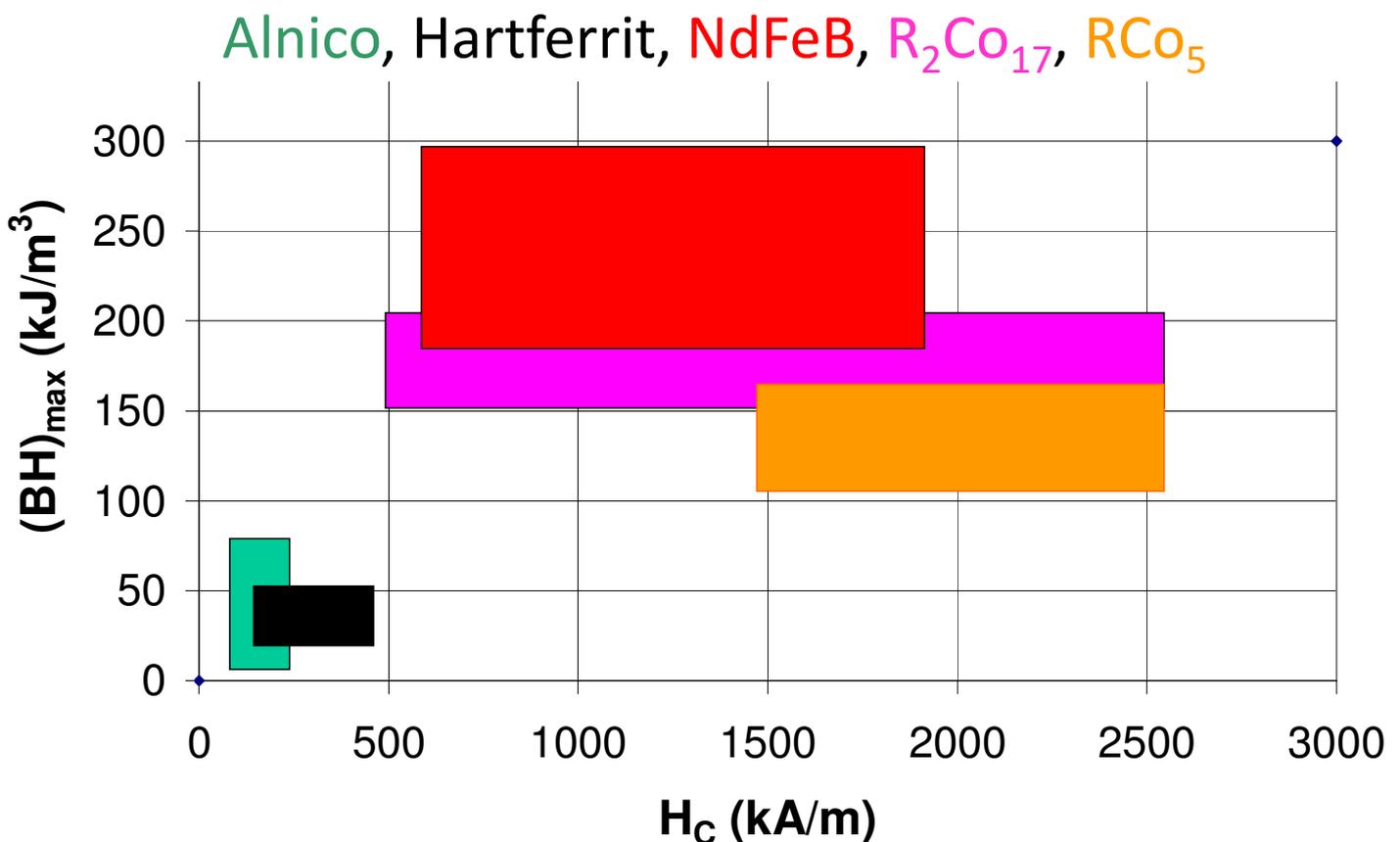
Motoren, Hebel usw. Magnete

Magnetische Informationsspeicher:

Tonbandgerät, Videorecorder, Floppy :) , Festplatte

Folie: 54

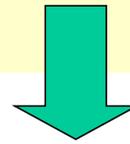
Martensitisch	(billig, klassisch)
Alnico, Ticonal	(gewöhnlich, Massenprodukt)
Cu-Ni-Co, Fe-Co-V	(verformbar)
Pt-Co, Pt-Fe	(Ausgezeichnet, teuer)
R-Co	(Beste, hoher Preis, 0,1-1 g)
Nd-Fe-B	(Ausgezeichnet, aber niedrigere T_C)
Hexaferrite	(billig, Pulvermetallurgie, einfache Anwendungen)



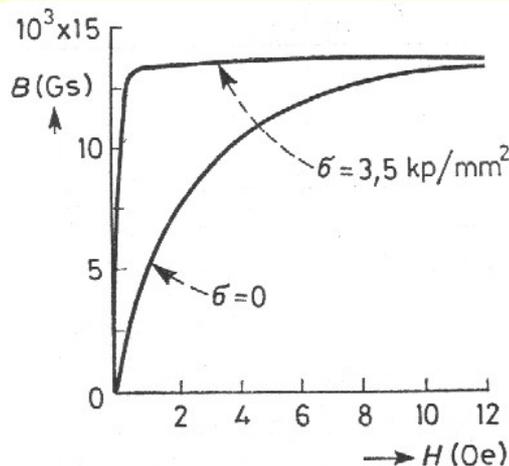
Martensitische Phasenumwandlung \Rightarrow Spannung + Magnetostraktion

Bainische Konfiguration: KFZ \rightarrow KRZ \Rightarrow Martensitnadel, Zugspannungen in der [100] Richtung (leichte Richtung)

Magnetostruktionskoeffizient > 0



H_C, B_R wächst



W, Mo, Cr Legierunt \Rightarrow Karbide \Rightarrow Domänenwandbewegung schwerer $\Rightarrow H_C$ wächst

Für billige, einfache Anwendungen

Alnico, Ticonal

Spinodalischer Zerfall: $\alpha \rightarrow \alpha_1 + \alpha_2$ (koherente Phasengrenze)

$\alpha_1 \approx \text{FeCo}$ (KRZ Mischkristall) **ferromagnetisch**

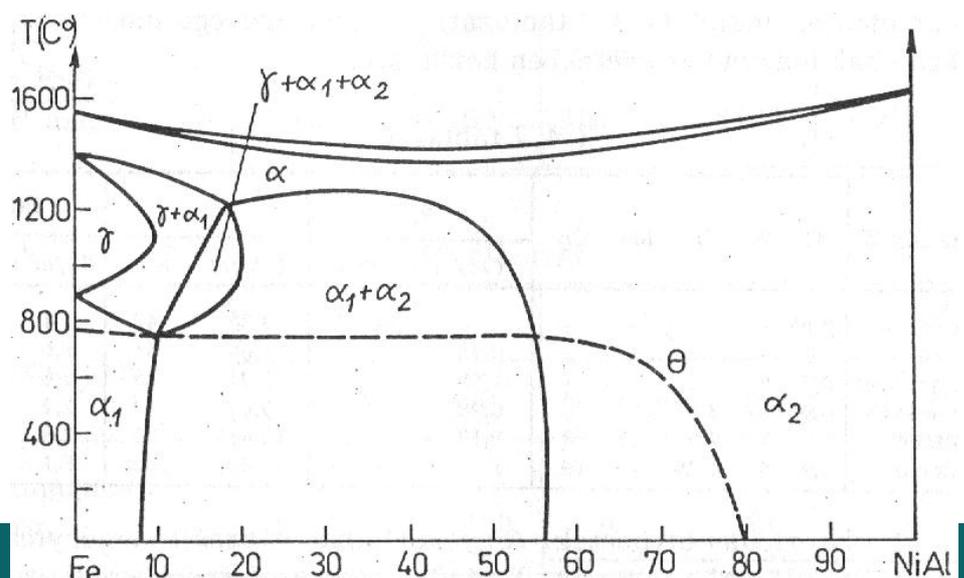
$\alpha_2 \approx \text{Fe}_2\text{NiAl}$ (KRZ Mischkristall) **paramagnetisch**

Aber: γ (KFZ) ist zu vermeiden!

α_1 Domänenmaß

α_2 Domänenwand

Domänenmaß habende ferromagnetische Phase getrennt mit nicht magnetische „Qasidomänenwand“ + Formanisotropie.



Spröd \Rightarrow Gießen, Pulvermetallurgie

Wärmebehandlung

Homogenisation ($\sim 1300^\circ\text{C}$) $\rightarrow \alpha$

Rasches Abkühlen auf 800°C (γ Vermeidung)

Wärmebehandlung im Magnetfeld bei 800°C (Curie T) $\rightarrow \alpha_1 + \alpha_2$ Struktur und α_1 Formanisotropie

Glühen bei 580°C , 14 h \rightarrow Co Diffusion in die α_1 Phase $\Rightarrow B_R, B_M$ wächst.

Folie: 59

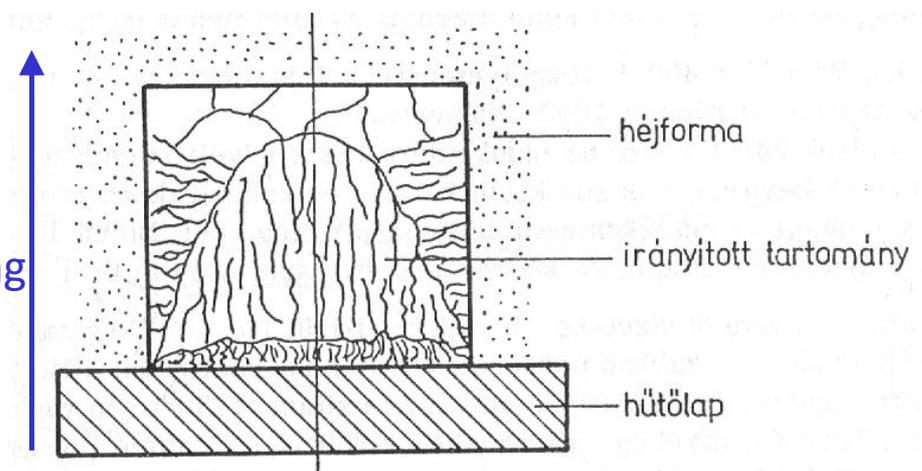
Kristallwachsen am schnellsten in der $\langle 100 \rangle$ Richtungen

Formanisotropie

Anisotropischer Magnet

(100) LR (KI)

Magnetisierungsrichtung



Folie: 60

Längsliche, Eindomäne-Maß habende Körne
(CuNiFe, MnBi, Fe₃O₄, Bariumferrit,
Stronziumferrit...)

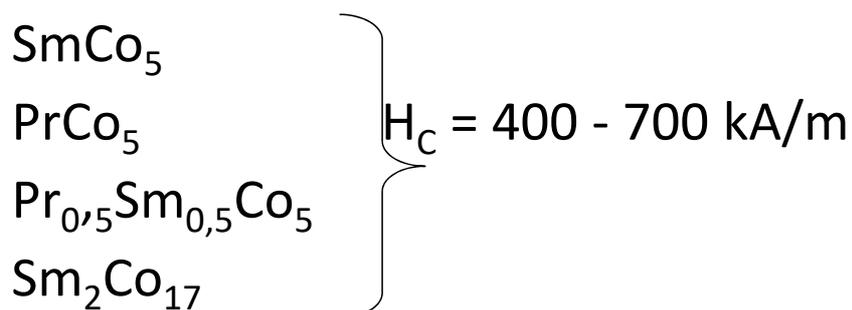
Bindungsmaterial (Kunststoff, Gummi, Metalle mit
niedrigerem Schmelzpunkt)

Folie: 61

RCo₅ und R₂Co₁₇ Zusammensetzung habenden
intermetallische Verbindungen

R: La, Ce, Pr, Nd, Pm, Sm, Eu, Gd, Tb...)

Hexagonalische Struktur ⇒ große Kristallanisotropie



Folie: 62

Nichtmetallische Magneten, Keramik

Bariumferrit $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$

Stronziumferrit $\text{SrFe}_{12}\text{O}_{19}$

B_s klein (max. 0,46-0,47 T)

H_c groß (130-250 kA/m) \Leftarrow Große
einachsige Anisotropie

- Spröd, zerbrüchlich, nicht verformbar (Schleifen)
- Isolator
- Curie Temperatur ist klein \Rightarrow keine Präzisionsanwendung
- Billig

Folie: 63

Danke für die Aufmerksamkeit!

Folie: 64