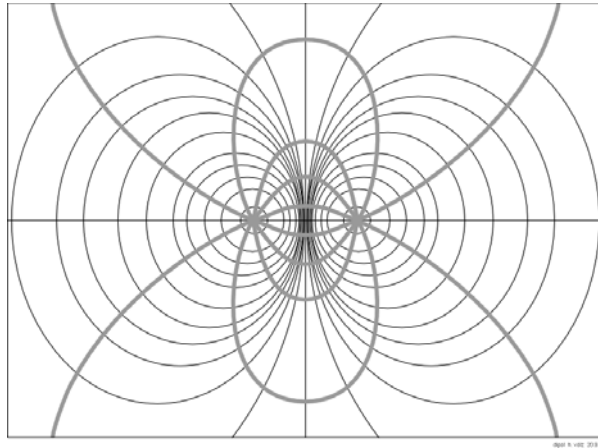
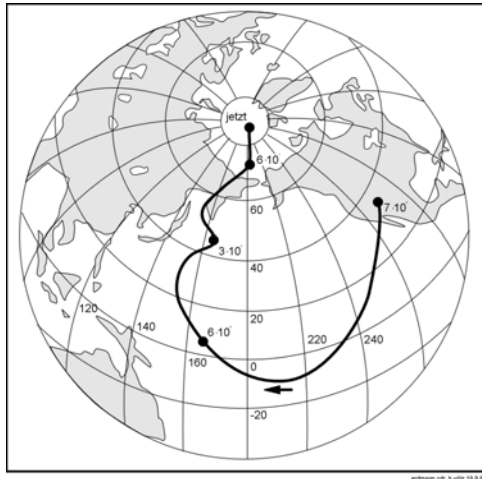
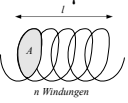
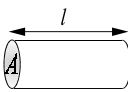
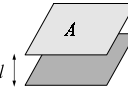


Da alle wesentlichen Fakten zum **Magnetismus** im meinem Buch recht ausführlich behandelt sind, können hier kurze Erklärungen zu den verwendeten Folien genügen.

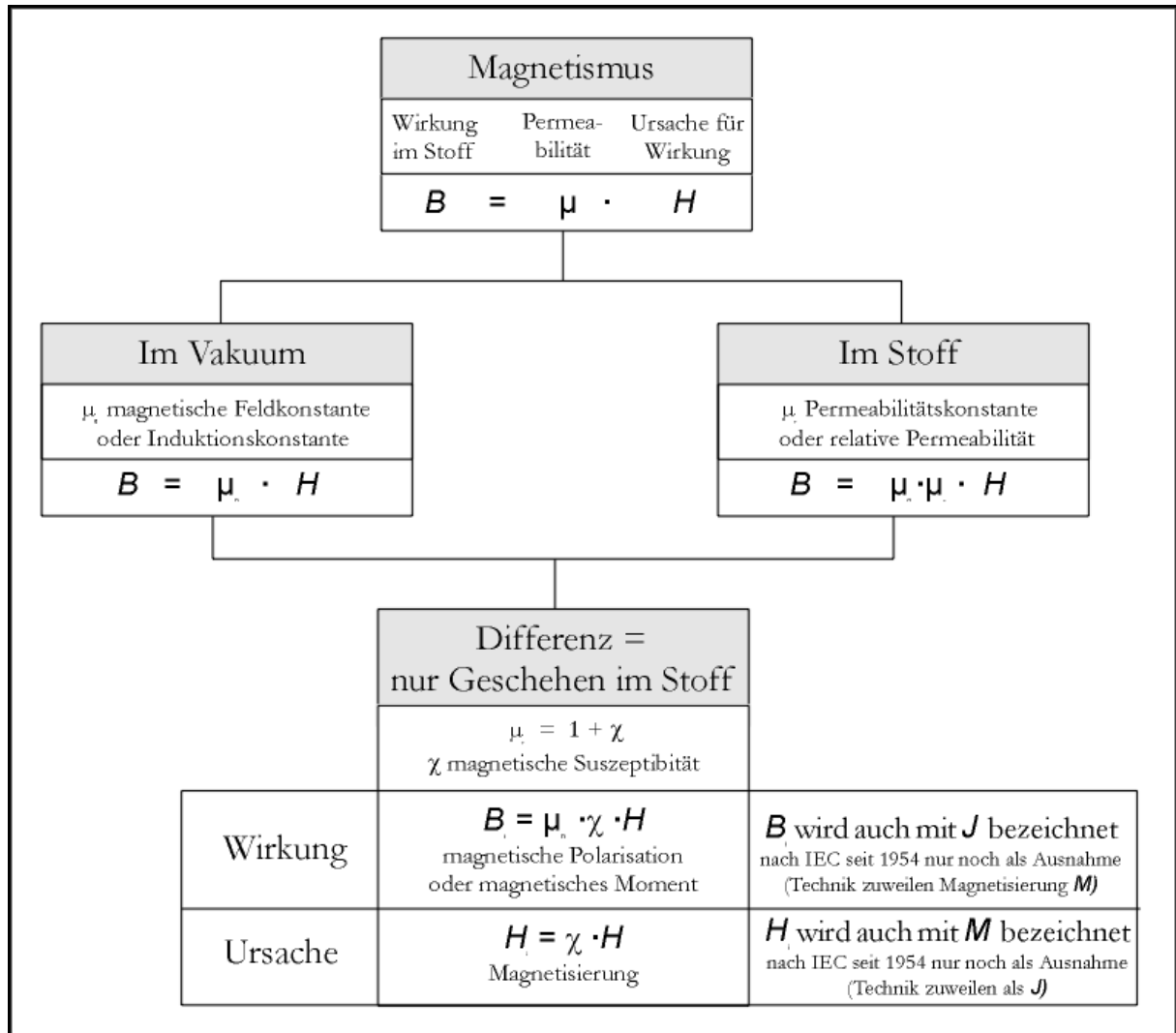
Die Entdeckung des Magnetismus hängt wesentlich mit dem Erdmagnetismus zusammen. Dabei hat im Laufe der Evolution der Nordpol an sehr verschiedenen Orten gelegen: Beim Magnetismus ist zu beachten, daß nie ein einzelner Magnetpol gefunden wurde, Magnetismus bedeutet also Dipole: (Erdmagnet am Ende)



Magnetismus wird am besten verstanden, wenn die Analogien zum statischen Strom und zur Elektrostatik aufgezeigt werden

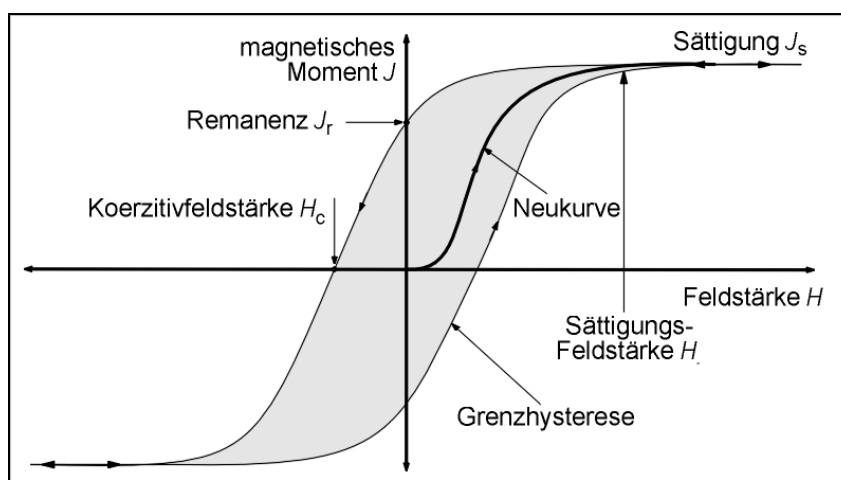
	Magnetismus	Ergänzungen	Stat. Strom	Elektrostatik
Ursache	Feldstärke H in A/m	Alt: Örsted $1 \text{ Oe} = 79,6 \text{ A/m}$	Feldstärke E in V/m	Feldstärke E in V/m
Wirkung	Induktion B in T	Alt: Gauß $1 \text{ G} = 10^{-4} \cdot \text{T}$	Stromdichte i in A/m ²	Verschöbung D in C/m ²
Gesetz	$B = \mu \cdot H$ mit $\mu = \mu_0 \cdot \mu_r$ $\mu_0 = 4 \cdot \pi \cdot 10^{-7} \text{ H/m}$	Suszeptibilität $\kappa = \mu - 1$	$i = E/\rho$ ρ spez. Widerstand	$D = \epsilon \cdot E$ mit $\epsilon = \epsilon_0 \cdot \epsilon_r$ $\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \text{ C/(V} \cdot \text{m)}$
Fläche A	$\Phi = B \cdot A$	Alt: Maxwell $1 \text{ Mx} = 10^{-8} \cdot \text{Wb}$	$I = i \cdot A$	$Q = D \cdot A$
Länge l	Fluß in $\text{Wb} = \text{V} \cdot \text{s}$ $V = H \cdot l$ Durchflutung in A	Alt: Θ in Gilbert $1 \text{ Gb} = 0,796 \text{ A}$	Stromstärke in A $U = E \cdot l$ Spannung in V	Ladung in C $U = E \cdot l$ Spannung in V
Energie	$N = L \cdot I^2/2$	in $\text{J} = \text{W} \cdot \text{s}$	$N = U \cdot I \cdot t$	$N = C \cdot U^2/2$
Energiedichte	$w = B \cdot H/2$	in J/m^3	$w = i \cdot E \cdot t/2$	$w = D \cdot E/2$
diff. Gesetz	$U = d\Phi/dt$		$I = dQ/dt$	$I = dQ/dt$
Bauelement	$L = n^2 \cdot \mu \cdot A/l$ 	$n = \text{Windungen}$ $P = \frac{l}{\mu \cdot A}$	$R = \rho \cdot l/A$ 	$C = \epsilon \cdot A/l$ 

Es ist ein großer Unterschied, ob der Magnetismus im Vakuum (Luft) oder im Material verläuft. In einigen Fällen wird auch nur die Differenz benutzt. Sie gibt an um wieviel das Magnetmaterial besser den Magnetismus leitet. Die entsprechenden Zusammenhänge zeigt das folgende Bild. Dabei ist zu beachten, daß in der Technik noch vielfach die Größe J und M benutzt werden und dies dazu nicht immer in eindeutiger Weise



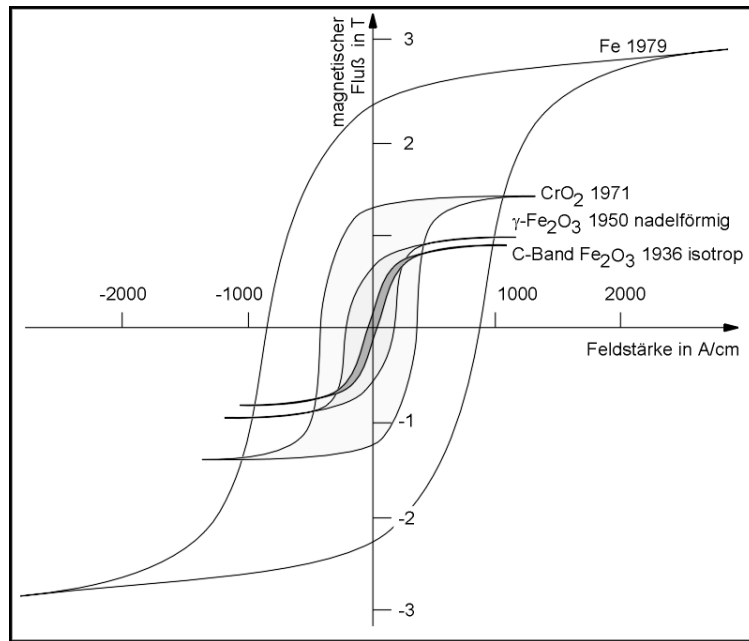
groessen.cdr h. vözl 22.9.94

Typisch für den Magnetismus ist die Hystereseurve:



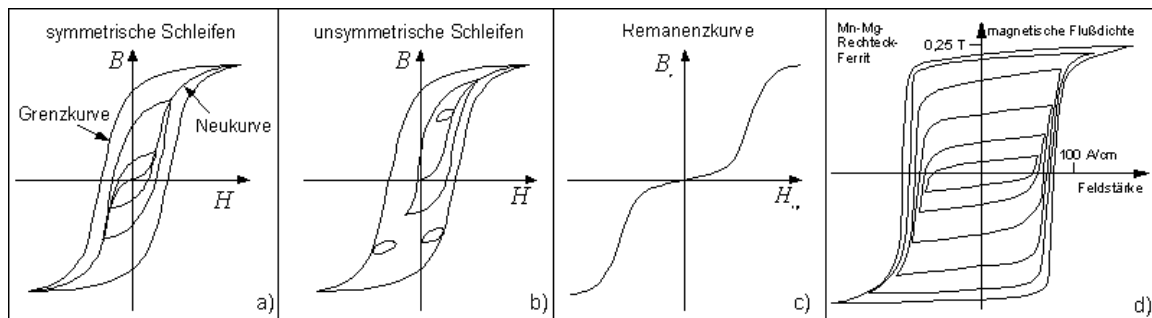
hyster.cdr h. vözl 23.9.94

Da der Inhalt der Hystereseffläche der verfügbaren Energie entspricht zeigt das folgende Bild die technisch Entwicklung der Magnetbänder



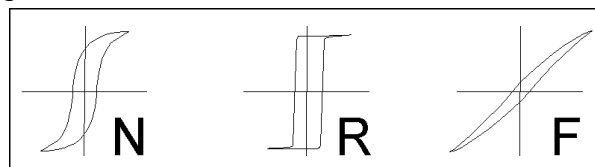
magnetband.cd h. völk 23.9.94

Alle möglichen Magnetisierungsprozesse laufen in der Grenzhysterese ab. Hierdurch ergeben sich unterschiedliche Unterschleifen (die beiden linken Teilbilder). Die Remanenzkurve ist entscheidend für die Speicherung. Sie ergibt sich dadurch, daß von Ursprung aus bis zur Feldstärke H magnetisiert wird und danach die verbleibende Remanenz aufgezeichnet wird. Die stark nichtlineare Kurve ist für die Speicherung unumgänglich und bringt daher



rechleindn.atr h. völk 22.9.94

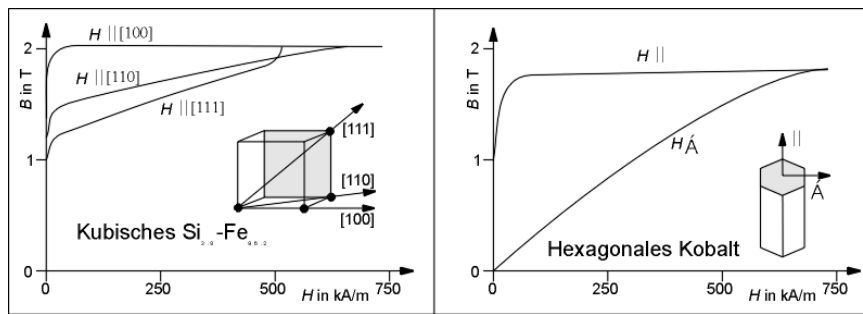
vielfältige Probleme mit sich. Ganz rechts im Bild ist noch eine typische Rechteckschleife mit Unterschleifen gezeigt.



hyttop.atr h. völk 22.9.94

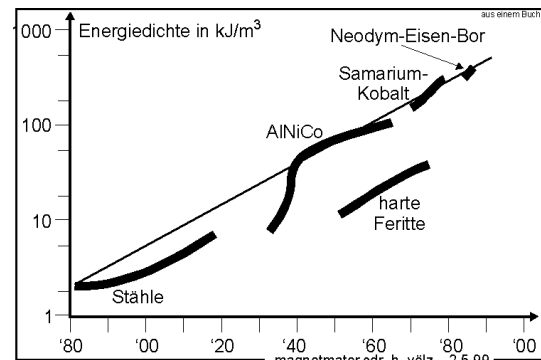
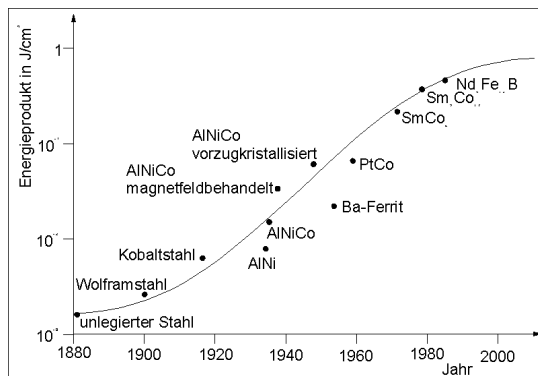
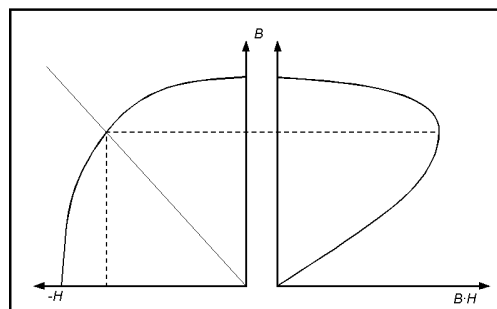
Neben der Rechteckschleife gibt es noch weitere. Im Bild bedeuten N = Normal; R = Rechteck (hohes H_C) und F = fein (weichmagnetisch).

Die magnetischen Eigenschaften hängen eng mit dem Kristallaufbau zusammen. Der ist aber in den Richtungen unterschiedlich. Daher überträgt sich dies auf die magnetischen Eigenschaften:



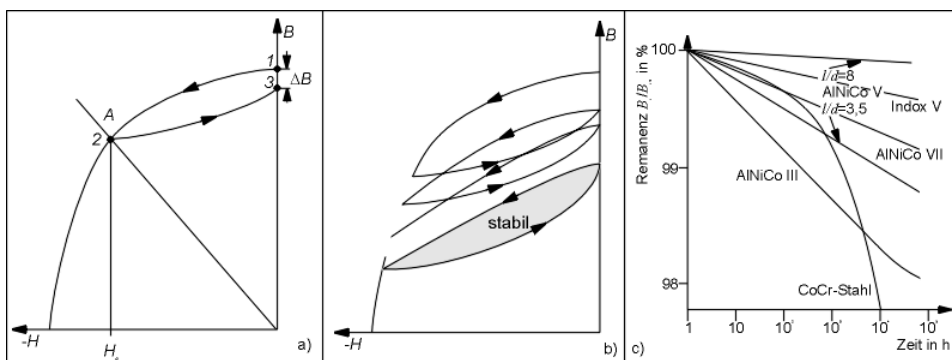
Die im Magneten gespeicherte Energie ist das Produkt aus H und B . (E , i). So ergibt sich das Bild, welches für die beste Lösung einen genauen Arbeitspunkt ausweist, der durch geometrische Anpassungen zum Magnetmaterial erreicht werden muß.

Das magnetische Energie-Produkt

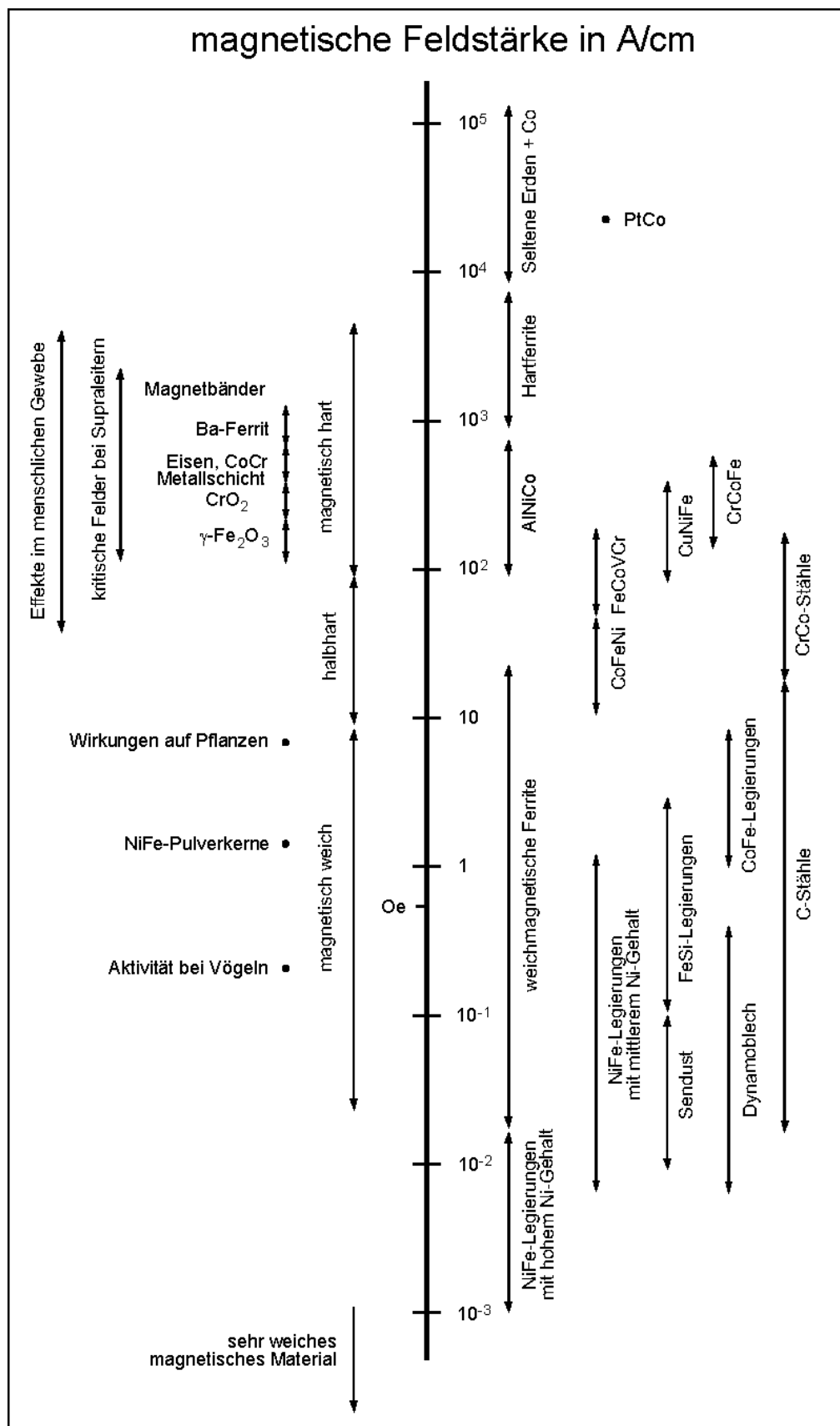


Die beiden obigen Kurven zeigen den geschichtlichen Verlauf in ein wenig unterschiedlichen Darstellungen.

Bei mehrfacher Wiedergabe (magnetisch kurzschließen und öffnen) tritt mit jedem Zyklus ein gewisser magnetischer Verlust auf. Er war früher recht groß, ca. 20 %. Durch bessere magnetische Eigenschaften konnte er deutlich gesenkt werden.

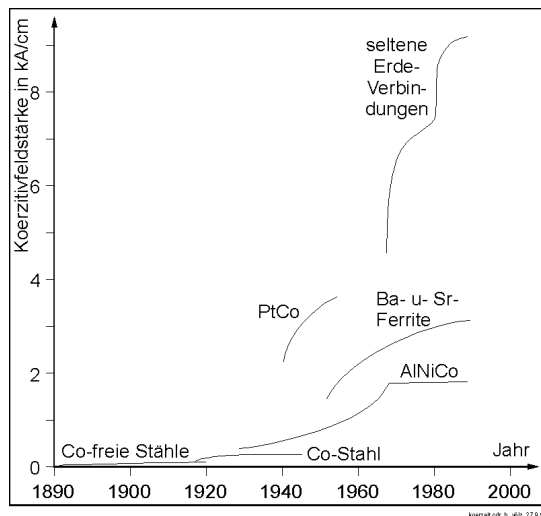


Einen Überblick über die Größe möglicher Koerzitivfeldstärken gibt das folgende Bild:



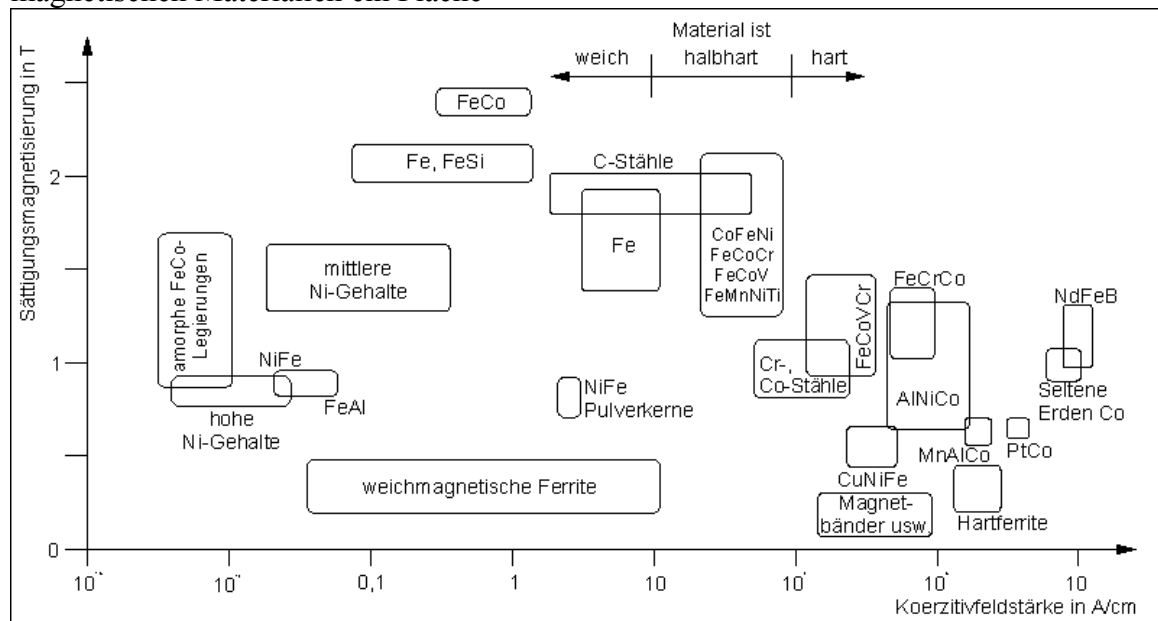
skalkoerz.cdr h. völz 28.9.94

Für ihre geschichtliche Entwicklung gilt

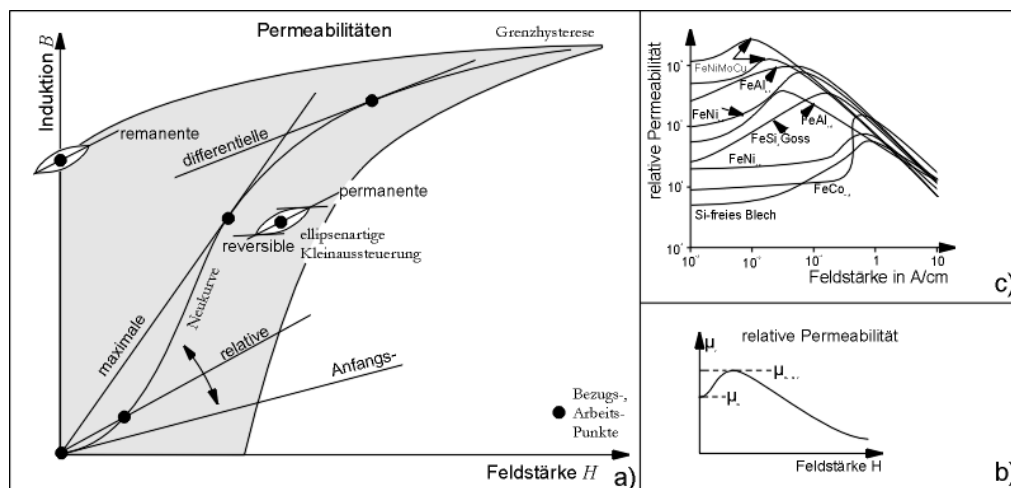


Auch für die magnetische Induktion gibt es eine Skala (nächste Seite)

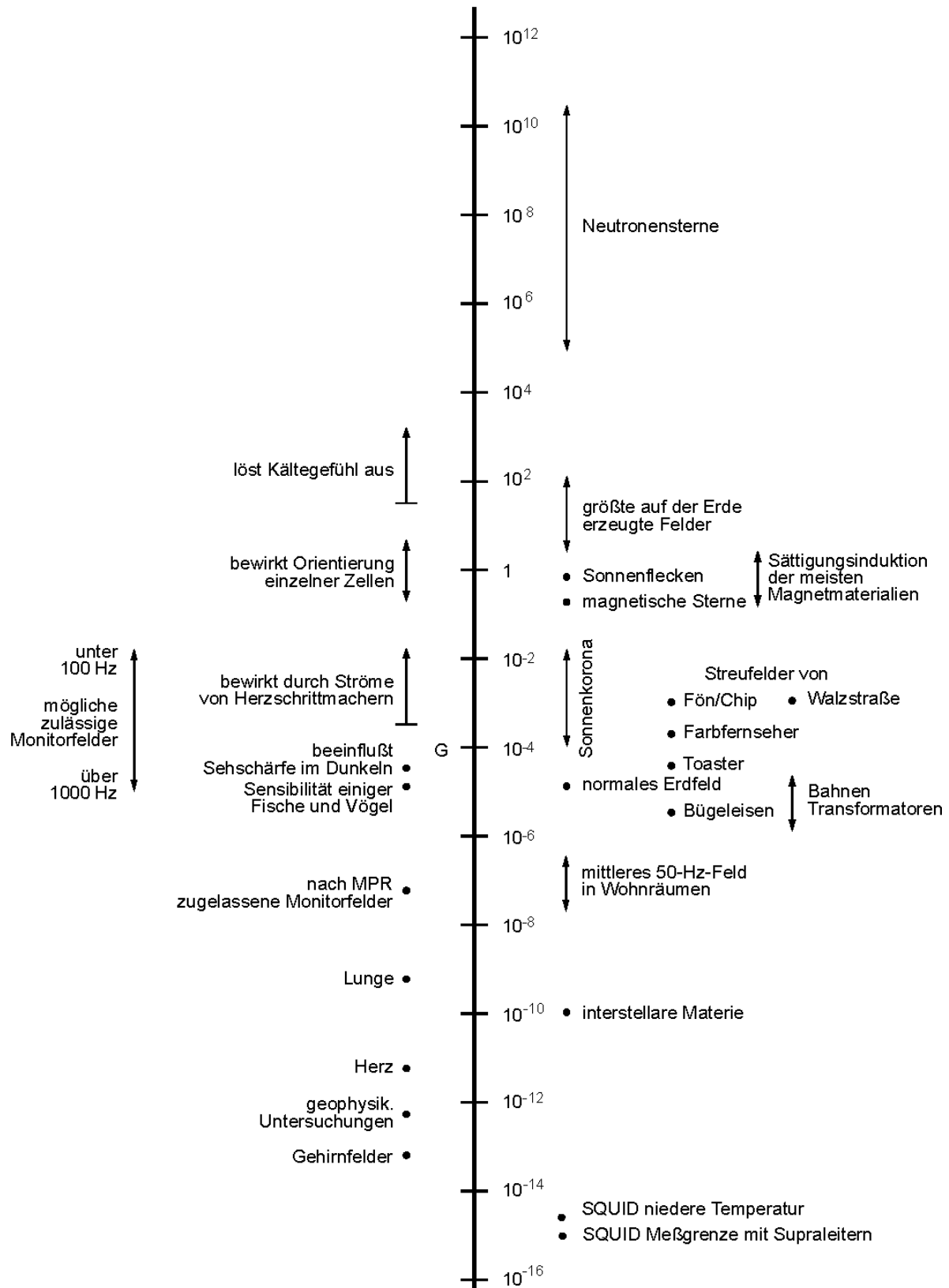
Faßt man beide Größen als Achsen zusammen, so ergibt sich für die verschiedenen magnetischen Materialien ein Fläche



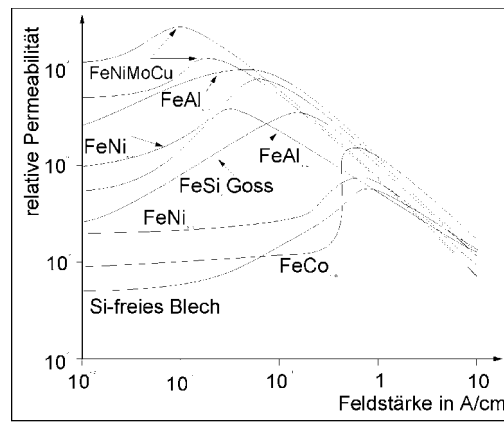
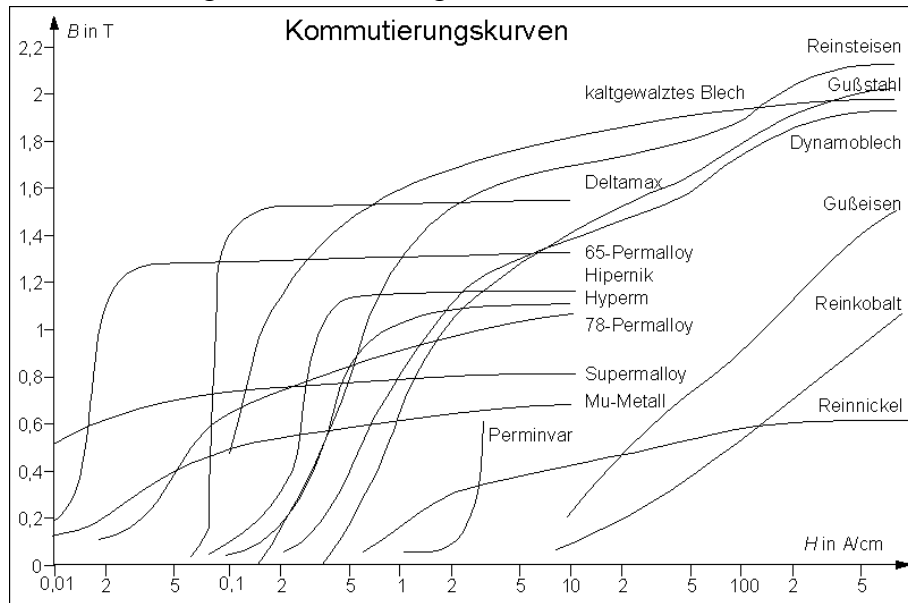
Zwischen den Größen vermittelt ein Vielzahl von Permeabilitäten:



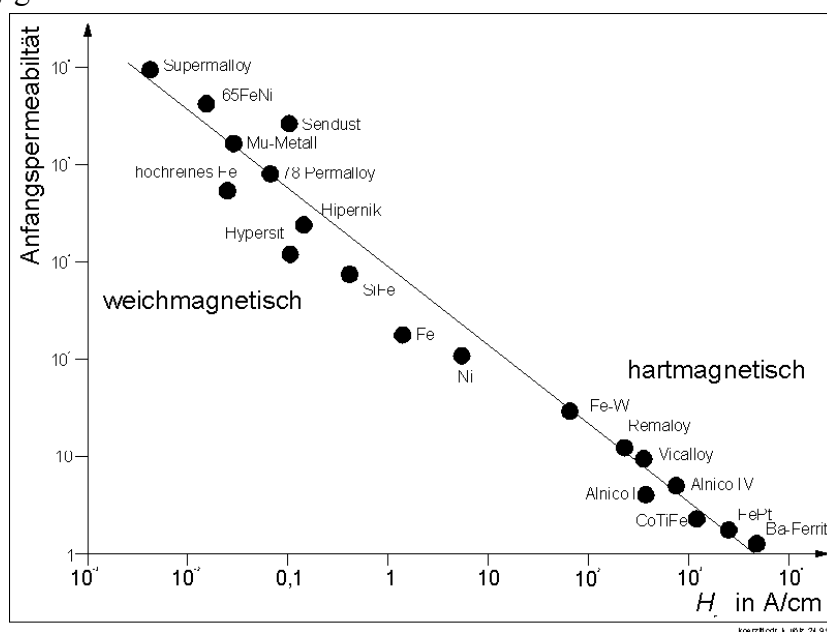
magnetische Flußdichte in T



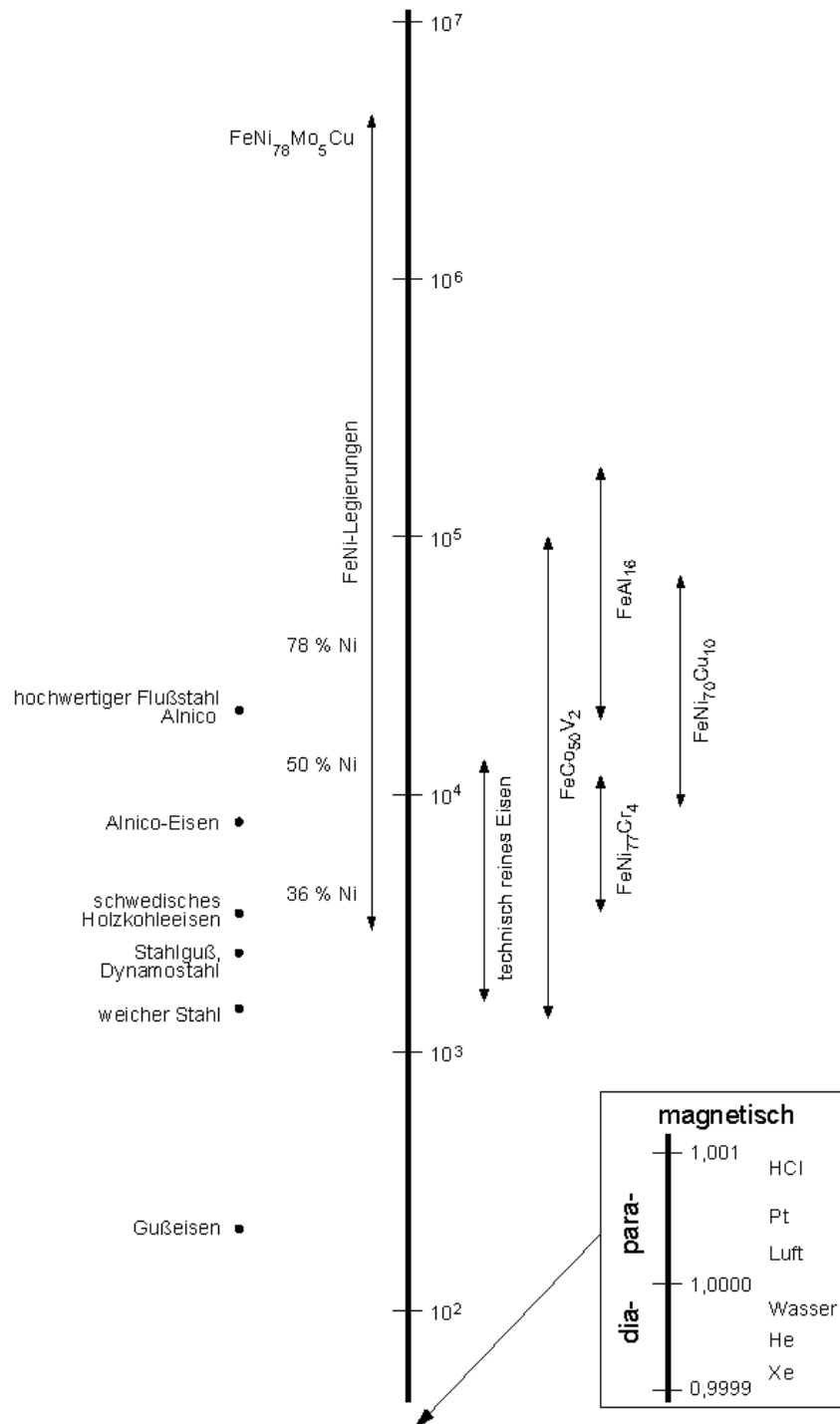
Technisch Kurven dazu zeigen die beiden folgenden Bilder



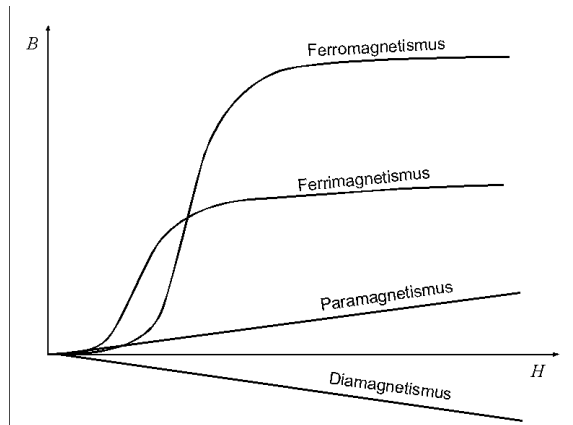
Auch zur Permeabilität gibt es Grenzen. Dazu das Bild auf der nächsten Seite
Es gibt nur eine Korrelation zwischen magnetischen Größen. Dies ist ein reines Erfahrungsgesetz



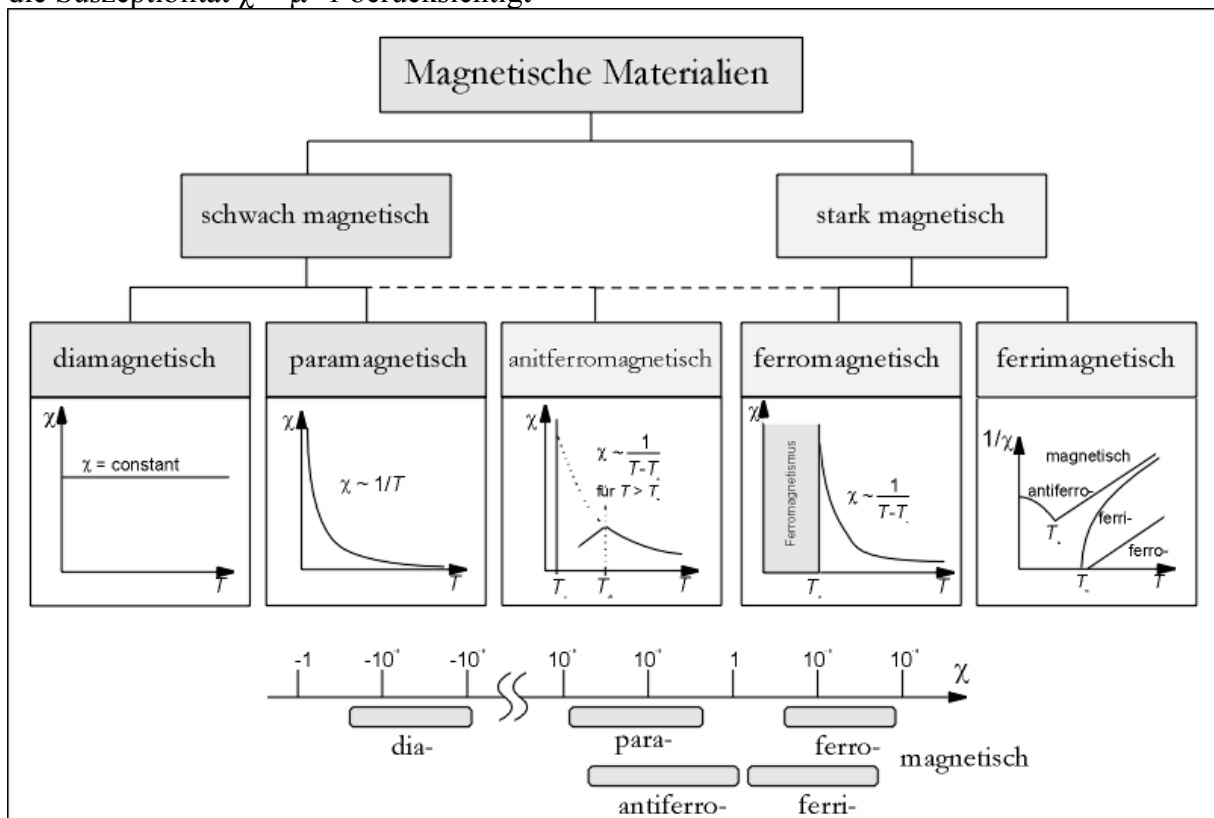
relative magnetische Permeabilität



Hier beginnt der **Mikromagnetismus**, der betont quantentheoretisch zu beschreiben ist. Es gibt davon mehrere Arten, die leicht nach dem nächsten Bild klassifiziert werden können.

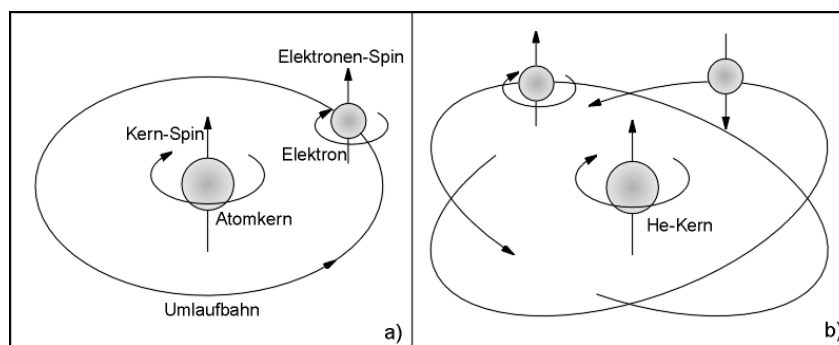


Natürlich gibt es eine genauere Beschreibung, die im wesentlichen das Temperaturverhalten und die Suszeptibilität $\chi = \mu - 1$ berücksichtigt.



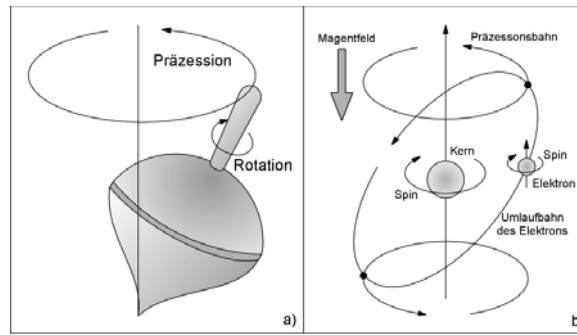
magn01sh.cdr h. vözl 21.9.94

Letztlich geht der Magnetismus auf die verschiedenen Spins der Atome zurück:

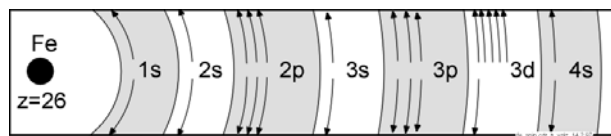


atom01sh.cdr h. vözl 18.9.94

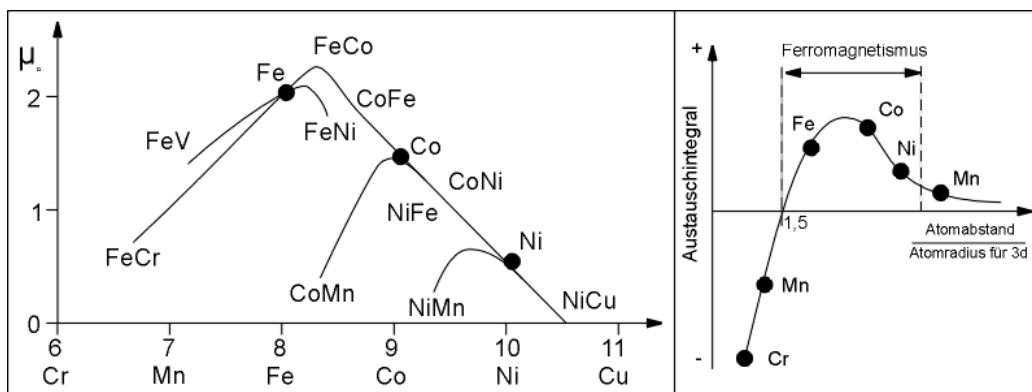
Für ihre Zusammensetzung gelten Pauliverbot usw. Der Paramagnetismus bewirkt – wie beim Kreisel – eine Präzision



Doch damit ein größerer Magnetismus auftreten kann, muß über eine nicht abgeschlossene Schale bereits eine neue aufgebaut werden. Dies ist einmal bei den Eisenmetallen und zum anderen bei den seltenen Erden der Fall



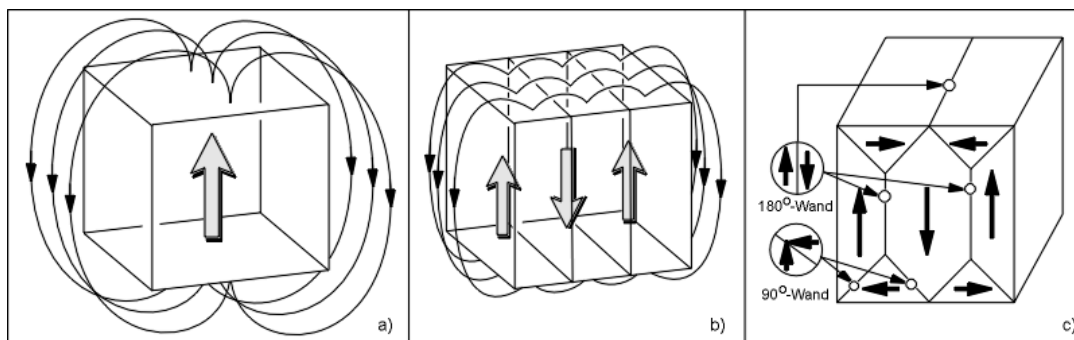
Inhaltlich wird dieser Zusammenhang genauer durch die Slaterkurve (Austauschintegral)



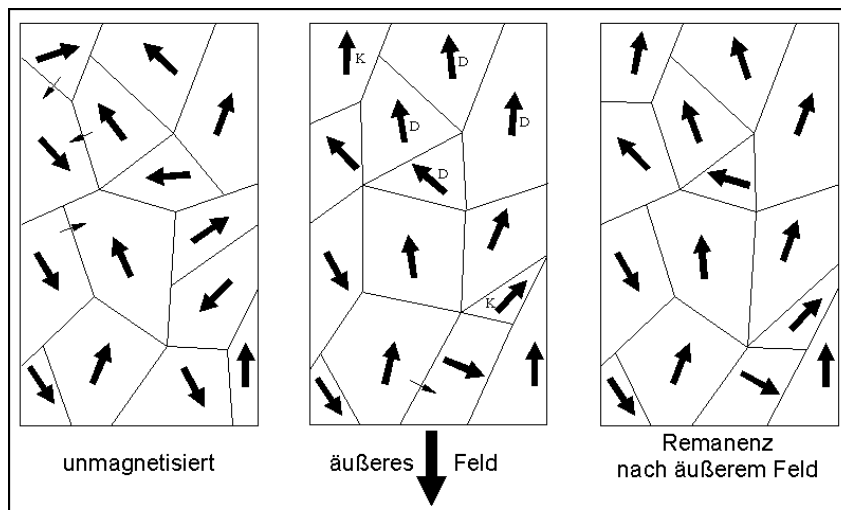
beschrieben

Auf diese Weise sind Kristalle dieser Materialien immer spontan magnetisiert. Dies muß jedoch nicht nach Außen pauschal auftreten. Eher strebt jedes Material sogar einen Zustand an, bei dem möglichst wenig Energie im Außenraum ist. So entstehen Wände und viele kleine Magnetisierungsstrukturen, die Weißschen Bezirke.

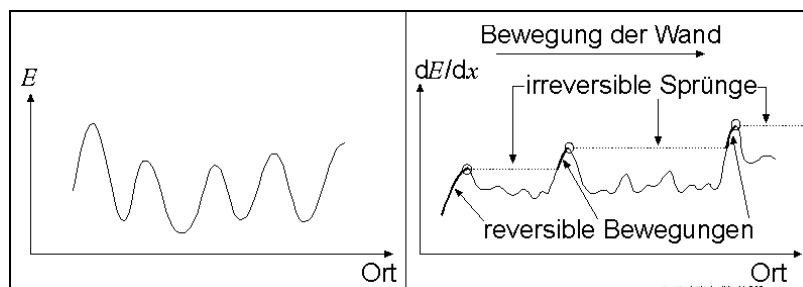
Betrachtet man dieses Geschehen an der Oberfläche eines Material, so lassen sich mit einer speziellen magnetischen Flüssigkeit (feinste Eisenfeilspantechnik) genau die entsprechenden Strukturen erkennen.



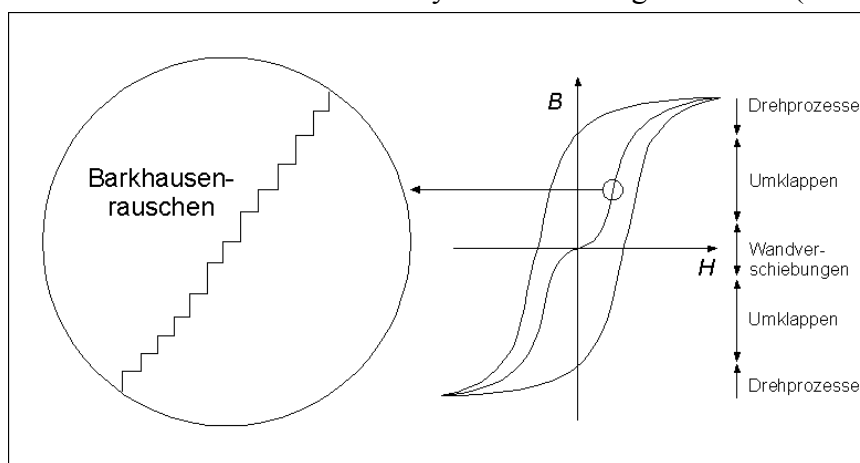
Hierbei sind durch ein äußeres Magnetfeld 3 unterschiedliche Vorgänge zu erkennen



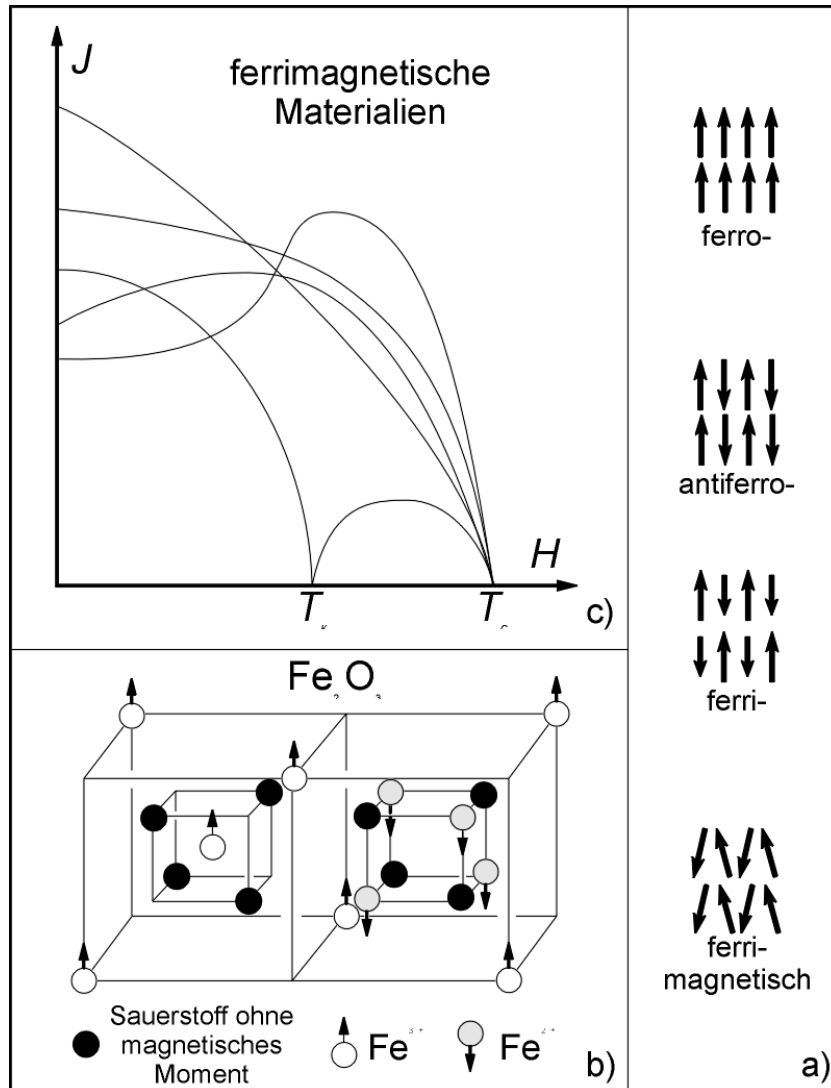
- *Wandverschiebungen:* einige Bereiche wachsen zugunsten anderer, Grenzen sind durch Kristallstörungen gesetzt, nächstes Bild. Sie sind teilweise reversibel
- *Klapp-Prozesse,* die Richtung der Magnetisierung springt spontan in die entgegengesetzte, Umpolung, sie sind voll irreversibel. Entsprechen dem Barkhausenrauschen, was gut hörbar gemacht werden kann.
- *Dreh-prozesse,* der Magnetisierungsvektor dreht sich in die Richtung des Magnetfeldes, sie sind voll reversibel



Mit diesen drei Prozessen lassen sich alle Hysteresekurven gut erklären (verstehen)

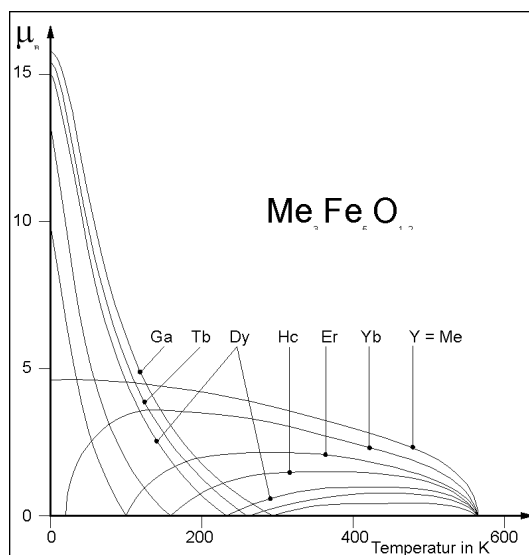


Magnetmaterialien sind in jedem Falle – zumindest in kleinen Teilen – kristallin. Leider sind die magnetischen Spinkopplungen jedoch auf Teile des eigentlichen physikalischen Kristalls beschränkt. Dadurch unterteilt sich eine übliche Kristallzelle oft in zwei (oder mehr) magnetische Unterzellen, mit verschiedenen magnetischen Eigenschaften. So erklären sich, insbesondere aus deren thermischem Verhalten, die unterschiedlichen Magnetika.



ferrimag.cdr h. vözl 22.9.94

Dies trägt dazu bei, daß es neben dem Curiepunkt – hier zerstört die thermische Energie die Spinkopplung – das Material wird unmagnetisch – auch eine Kompensationspunkt gibt, an dem sich die magnetischen Momente der beiden Teilgitter aufheben. Dieser Effekt ist bei MO-Materialien entscheidend.



seberd.cdr h. vözl 24.9.94

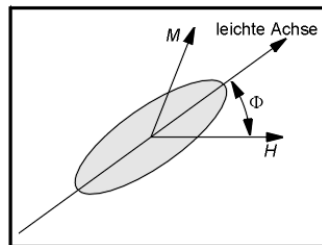
Schließlich kann man die magnetischen Teilchen so klein machen, daß darin keine Wand mehr Platz hat. Dann spricht man von einem Einbereichsteilchen. Dies nahmen Stoner und Wohlfahrt schon in den 30er Jahren an und entwickelten darauf ihre Theorie. Sie hat sich inzwischen weitgehend bestätigt. Denn seit den 70er Jahren werden Einbereichsteilchen auch praktisch hergestellt und benutzt.

Magnetisierung

Alles magnetische Material ist **spontan magnetisiert**.
Kopplung kreisender Elektronen und Elektronenspin.
Einbereichsteilchen hat keine Wände.
 Durch Form-Anisotropie leichte und schwere Achse.

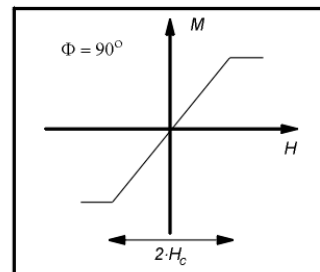
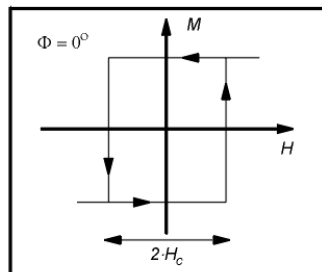
Entmagnetisierung: Verhältnis inneres zu äußeres Feld.
 $N_x + N_y + N_z = 1$ dabei für jede lange Ausdehnung ist $N=0$.
 z.B. dünne Platte daher nur $N_z=1$.

Scherung erfaßt Luftspalt bzw. mehrere Materialien
 im magnetischen Kreis.

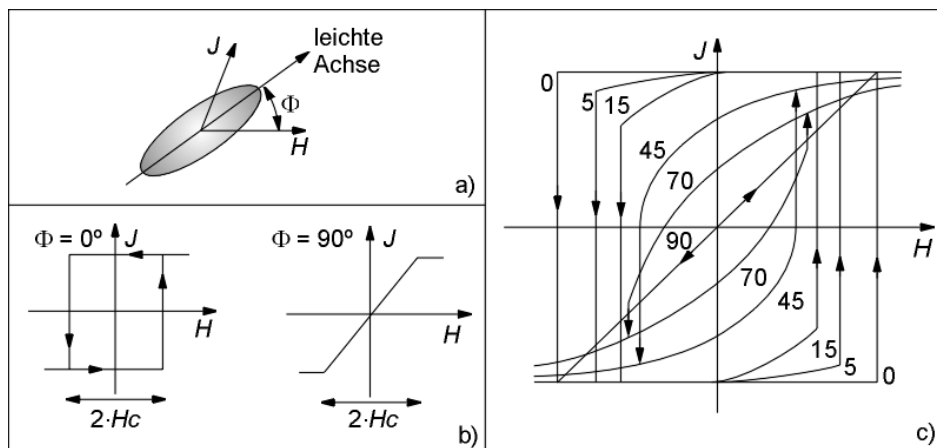


Elliptisches Einbereichsteilchen

Kennlinien der Magnetisierung

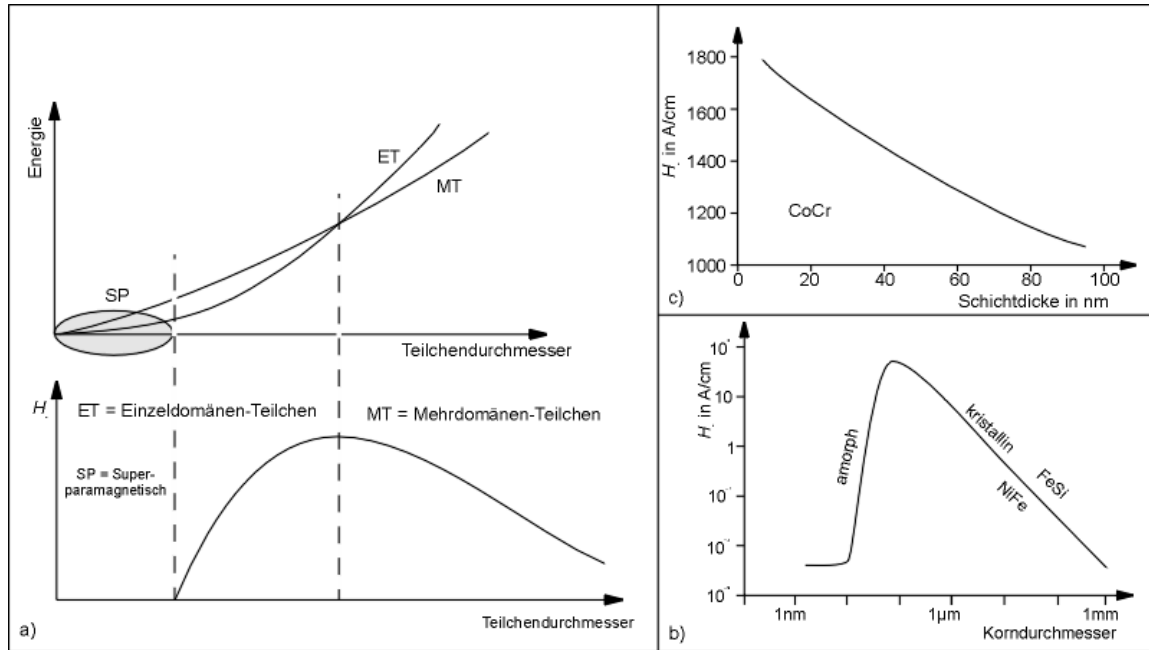


magnsch.cdr h.völz 7.11.93



einbereich.cdr h.völz 29.9.94

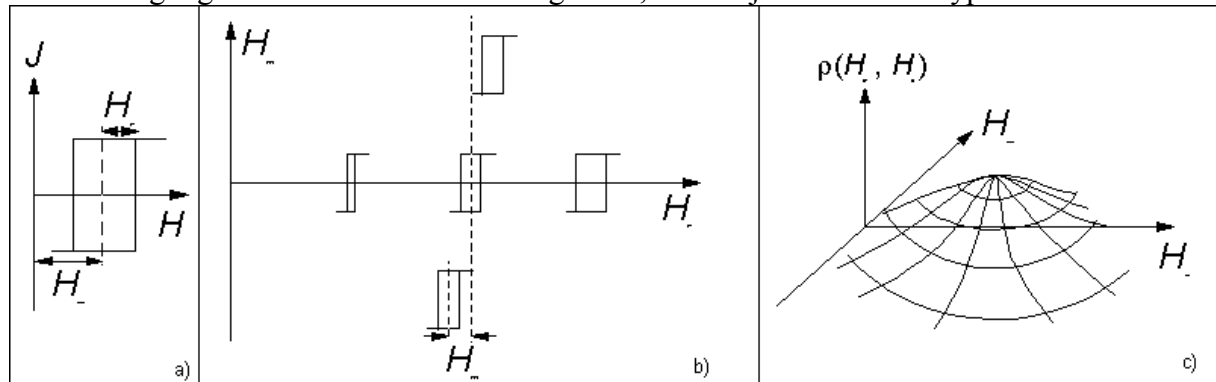
Den Einfluß der Teilchengröße auf die magnetischen Eigenschaften zeigt das nächste Bild



korng.cdr h.völz 24.9.94

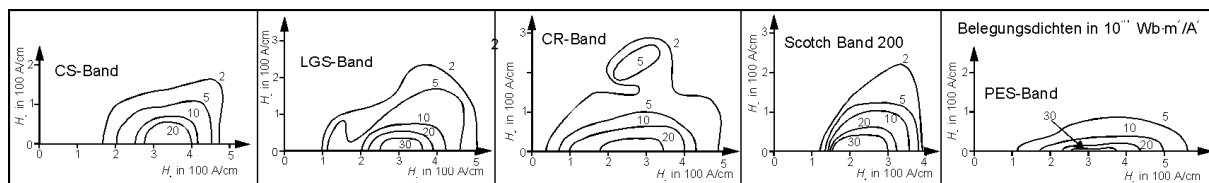
Der Superparamagnetismus tritt bei extrem kleinen Teilchen auf. Sie besitzen dann keine Hysterese mehr, sind also zum Speichern ungeeignet. Dies ist die praktische Grenze der magnetischen Speicherung.

Ein altes Modell, das allerdings für die Praxis - Theorie sehr umstritten ist, ist das Preisachdiagramm aus den 20 Jahren. Es nimmt „Einbereichsteilchen“. Sie besitzen im Material je nach Umgebung und Kristallaufbau (fehler) unterschiedliche Koerzitivfeldstärke und werden durch ein äußeres Magnetfeld vorgespannt. Beide Größen bilden die Preisachebene und durch messen stellt man fest, wie hoch die Anzahl je Punkt der Ebene ist. Diese Belegungsdichte ist das Preisachdiagramm, das für jedes Material typisch ist.



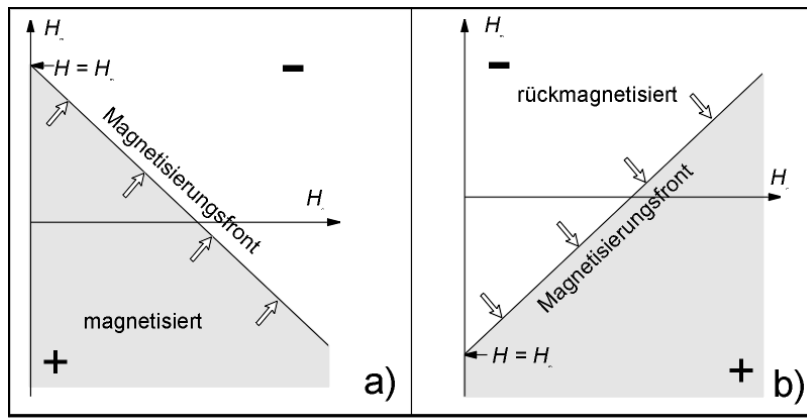
preisach.cdr huölz 27.9.94

Einige typische Belegungen zeigt das folgende Bild

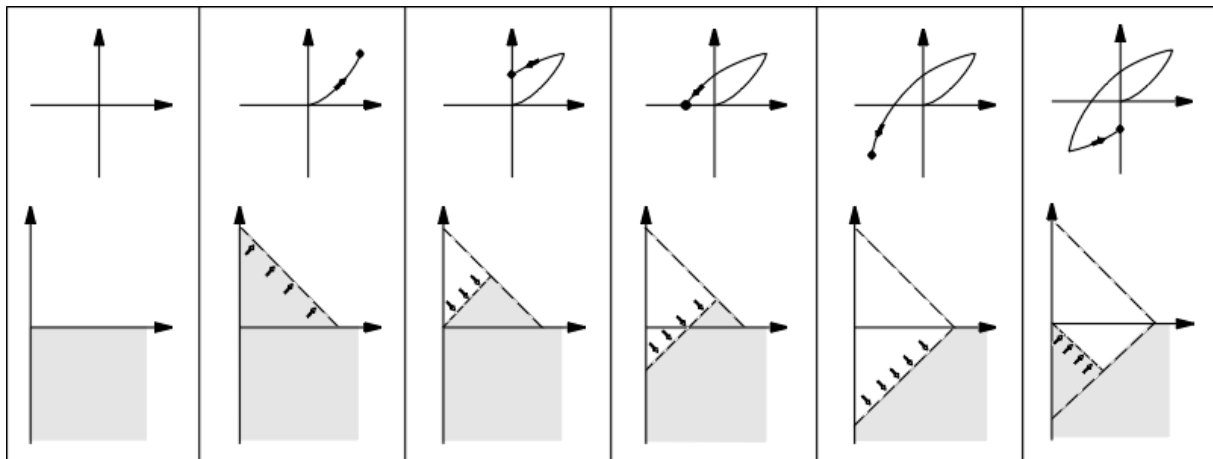


preis2.cdr h.völz 29.9.94

Mittels dieser Belegungen kann man nun gut die zugehörigen Hysteresekurven erklären (eigentlich läuft der Vorgang umgekehrt ab: aus den Kurven folgt die Belegung).

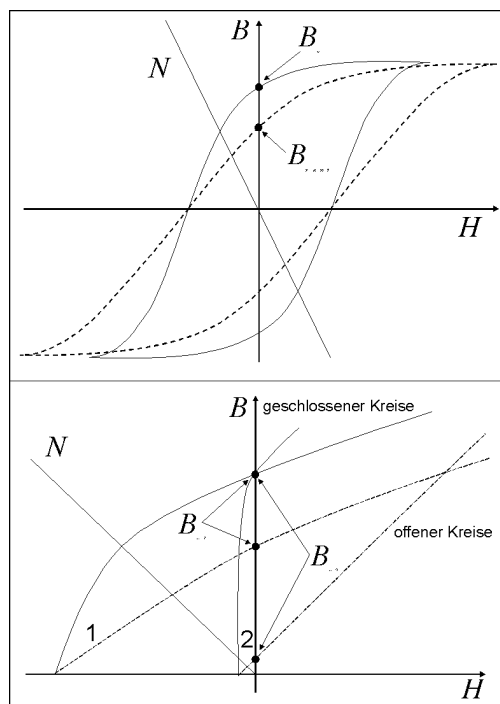


preis3.cdr h. vözl 29.9.94



preis4.cdr h. vözl 29.9.94

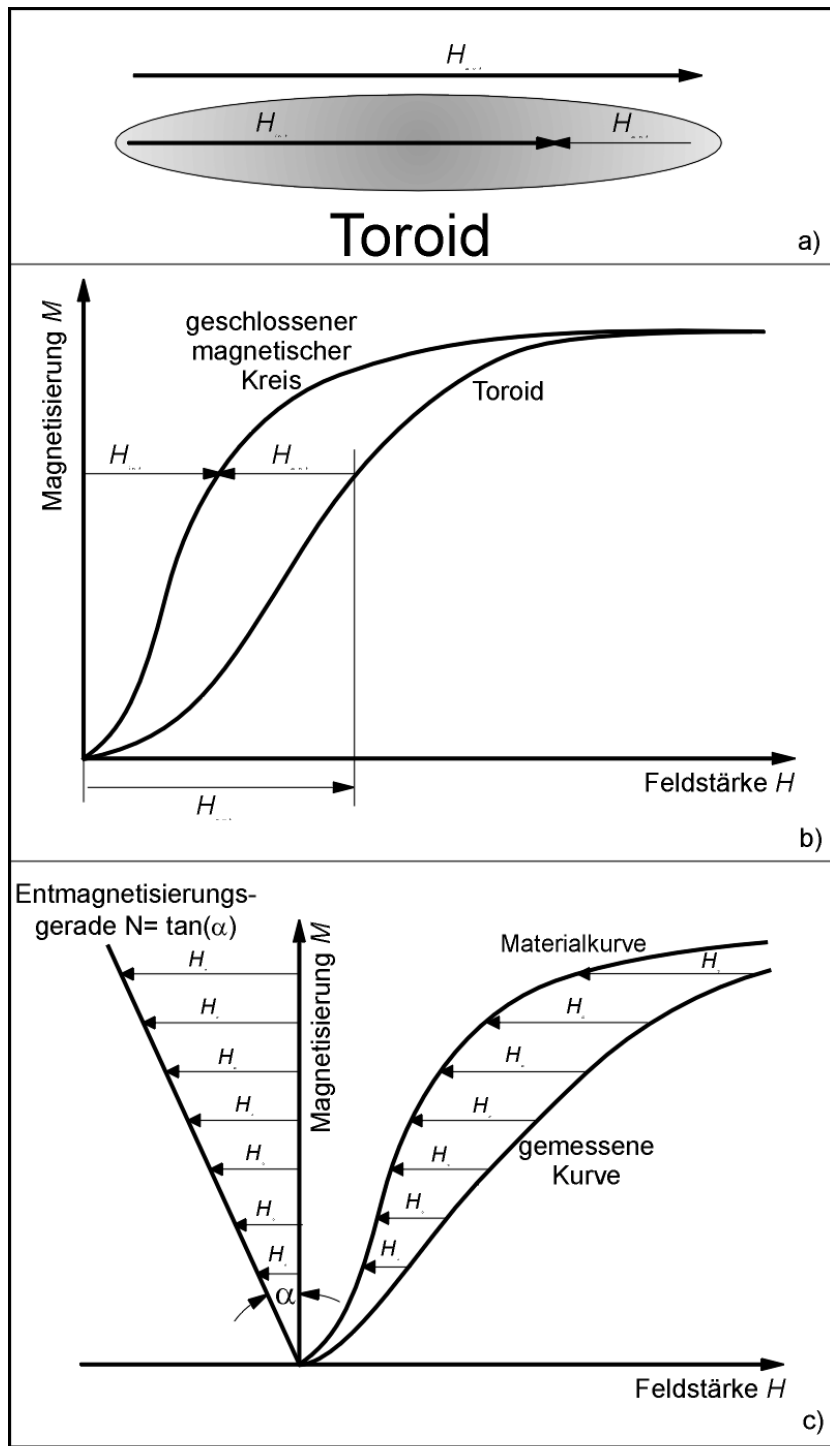
In der Praxis laufen die magnetischen Feldlinien immer durch Magnetmaterial und Luft. Die Luft wirkt dabei wie ein linearisierender Widerstand, d.h. die Hysteresekurve des kompakten Materials tritt nicht mehr in Erscheinung sondern wird „abgeflacht“, hierfür werden die Begriffe Scherung bzw. Entmagnetisierung benutzt. Ein typisches Bild sieht so aus:



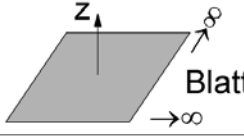
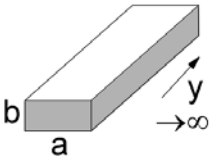
hypertext.cdr h. vözl 21.9.94

Eine zweite Darstellung sieht so aus

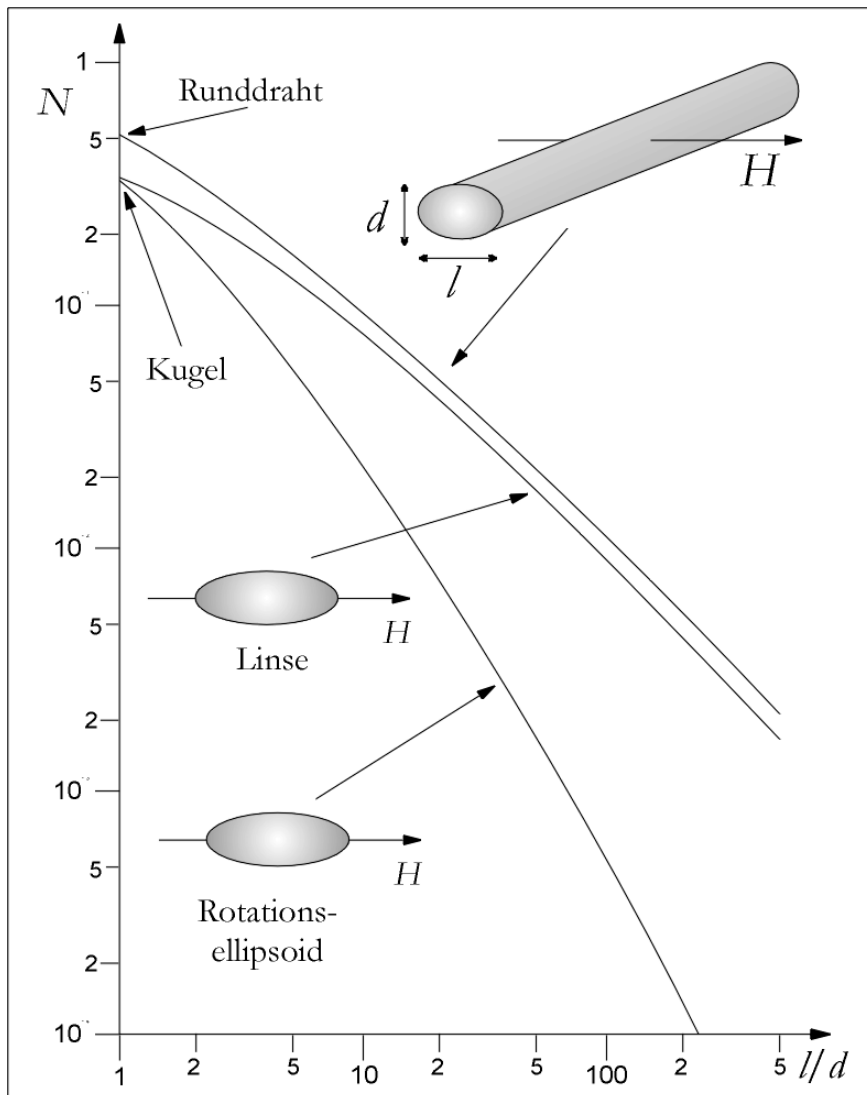
Auf diese Weise lassen sich für geometrische Formen unterschiedliche Entmagnetisierungsfaktoren berechnen. Überblicke hierzu geben die beiden folgenden Bilder



entmagn.cdr h. völz 18.9.94

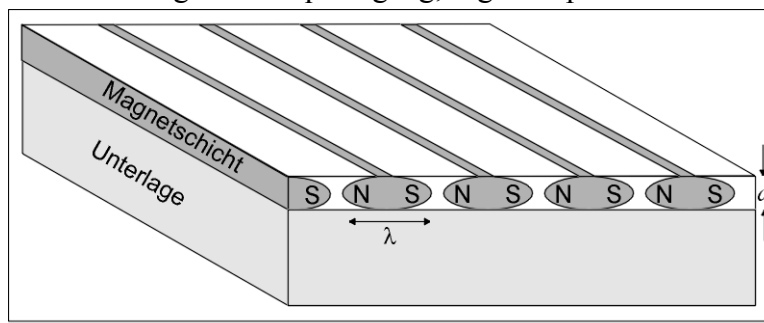
Entmagnetisierungsfaktoren			
	X	Y	Z
 Blatt	0	0	1
 Zylinder	0	1/2	1/2
 Kugel	1/3	1/3	1/3
 	$\frac{a}{a+b}$	0	$\frac{b}{a+b}$

entmag2.cdr h.völz 19.9.94

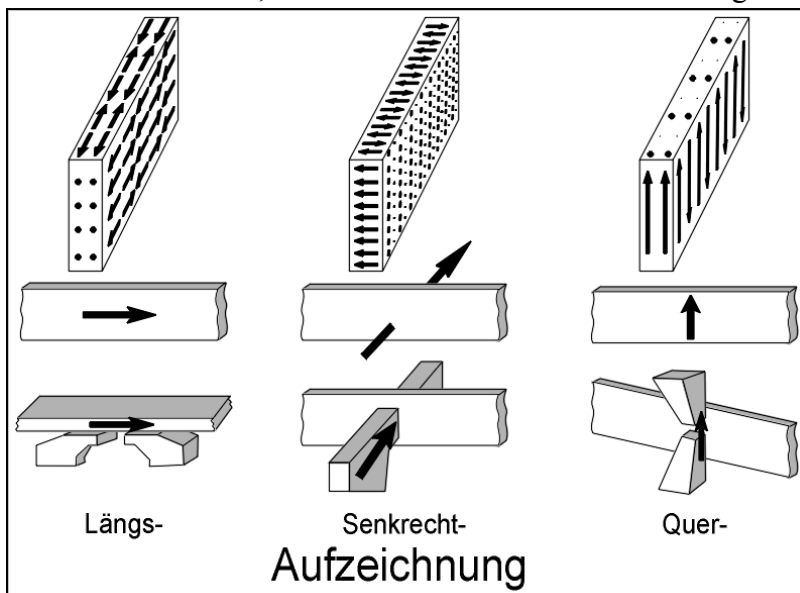


entmag3.cdr h.völz 20.9.94

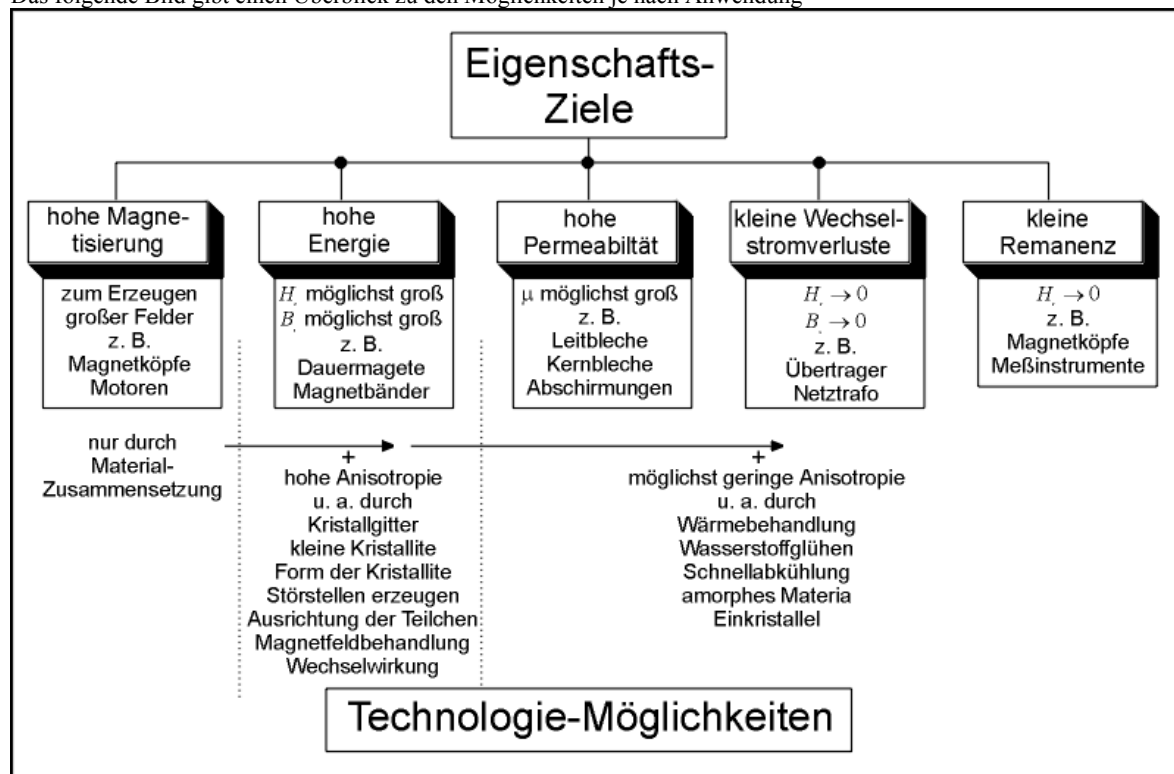
Das letzte Bild liefert bereits den Übergang zu den Magnetisierungsstrukturen im Band und ermöglicht so Berechnung von Frequenzgang, Signalimpulsen usw.



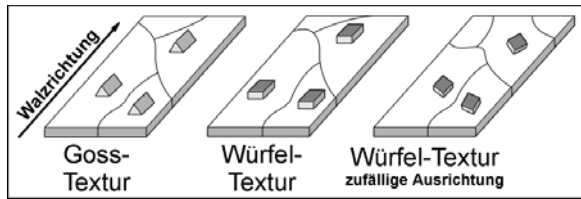
Außerdem ist so ersichtlich, wie die verschiedenen Aufzeichnungsmodi wirken:



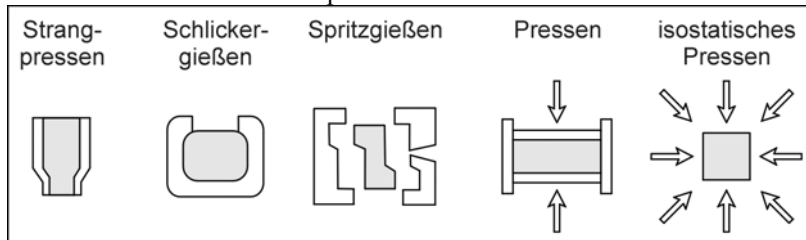
Das folgende Bild gibt einen Überblick zu den Möglichkeiten je nach Anwendung



Bei Texturblechen ist die Walzrichtung und die Thermik entscheidend



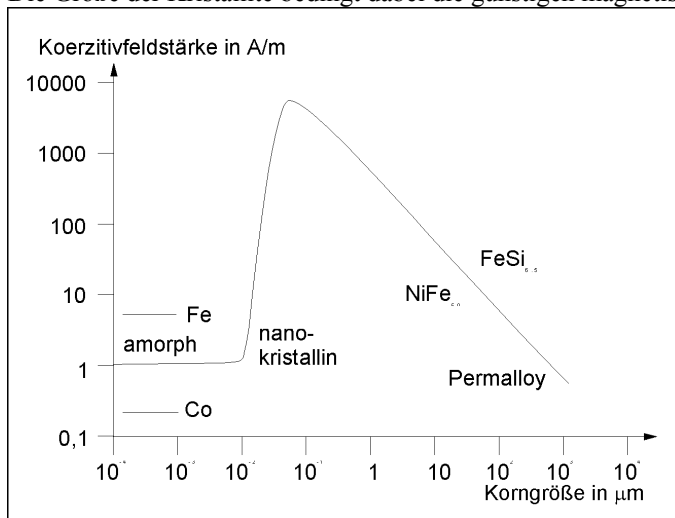
Für Sintermaterialien (Ferrite usw.) ist es wesentlich wie der Druck bei den hohen Temperaturen realisiert wird



Für die amorphen magnetischen Materialien ist eine extrem schnelle Abkühlung erforderlich, ca. $1000^\circ/\text{s}$, außerdem wird dem Material zur Isolierung (Wirbelstrom und Einzelteilchen) ein Glasmedium hinzugefügt



Die Größe der Kristallite bedingt dabei die günstigen magnetischen Eigenschaften



Schließlich sei noch auf magnetische Eigenschaften von organischen Material verwiesen. Bisher sind die folgenden Formeln bekannt geworden.

