

## Platzanleitung – Transversales Vibrationsmagnetometer (VSM)

### Geräte

- Erzeugung des Magnetfeldes: Elektromagnet mit Eisenjoch, dazu Power Supply SM120-25 D 5138
- Strommessung des Elektromagneten: DC-Digitalvoltmeter Keithley 199 System DMM sowie  $1\text{m}\Omega$ -Normalwiderstand
- Magnetfeldmessung: HALL-Sonde mit Anzeigergeräte Lake Shore 450 Gaussmeter
- Messung der induzierten Spannung: Messspulen-Einsatz, Lock-in Amplifier EG&G Model 5210 (frequenzabhängige ac-Spannungsmessung), DC-Digitalvoltmeter Keithley 2000 zur Messung der äquivalenten DC-Spannung
- Erzeugung der Vibration: Elektromotor mit Exzenter
- Computer, inkl. RS232-Inteface

### Aufbau

- Motor
- Elektromagnet
- Messspulen-System
- Gaussmeter
- Stromquelle Magnet (unipolar)



Mit einem Vibrationsmagnetometer kann die Magnetisierung (bzw. magnetische Polarisation) einer magnetischen Probe in Abhängigkeit von einem externen Magnetfeld bzw. der Temperatur (hier nicht realisiert) gemessen werden. Beide physikalische Größen haben Vektorcharakter, so dass die Richtungen von Schwingung, Magnetisierung der Probe und externem Magnetfeld zueinander beachtet werden müssen. Der Versuch wird mit einem transversalen VSM (=“vibrating sample magnetometer“) durchgeführt, d.h. Schwingungsrichtung und Messrichtung sind orthogonal zueinander. Die physikalische Größe „Magnetisierung“ ist makroskopisch und kann im Sinne der Thermodynamik behandelt werden. Sie beschreibt die Ausrichtung und Lage der in der Probe vorhandenen magnetischen Momente in integraler Weise. Die Messung erfolgt über elektromagnetische Induktion eines zur Magnetisierung proportionalen Spannungssignals. Eine spezielle Probenpräparation ist nicht notwendig.

## 1) Proben

Folgende Proben stehen zur Verfügung:

<i>Nr.</i>	<i>Bezeichnung</i>	<i>Masse (mg)</i>	<i>Dichte (g/cm<sup>3</sup>)</i>	<i>Geometrie</i>	<i>Besonderheit</i>
1	Ni	114,9	8,909	Zylinder	-
2	SmCo <sub>5</sub>	-	-	Scheibe	Dauermagnet
3	Ni	21,6	8,909	Scheibe hochkant Ø = 2,5 mm h = 0,5 mm	
4	BaFe <sub>12</sub> O <sub>19</sub>	23,2	5,2	Scheibe hochkant a = 1,5 mm h = 1.2 mm	
4a	BaFe <sub>12</sub> O <sub>19</sub>	33,8	5,2	Scheibe hochkant Ø = 2,4 mm h = 1,0 mm	
5	Nd <sub>2</sub> Fe <sub>14</sub> B	129	7,8	Quader L = 2,8 mm, B = 2,5 mm, H = 2,6 mm	Dauermagnet
5a	Nd <sub>2</sub> Fe <sub>14</sub> B	74,5	7,8	Würfel L = 2,2 mm	Dauermagnet

## 2) Vorbereitung

1. Schalten Sie zuerst die Messgeräte ein (Power Supply SM120-25 D 5138 und Lake Shore Gaussmeter 450 direkt am Gerät; Keithley 199 System DMM, Lock-in Amplifier EG&G Model 5210 und Digitalvoltmeter Keithley am Schalter der Steckerleiste rechts neben dem Elektromagneten).

2. Entnehmen Sie den Probenstab. Dazu ist die Arretierung des Exzentermotors (Rändelschraube rechts am Motorblock) zu lösen und der Motor nach oben zu klappen (Feststellhebel). Dann kann der Probenstab nach oben entnommen werden.  
**Beachten Sie:** Beim Wiedereinsetzen des Probenstabes muss der Dauermagnet, der im Vorderteil des oberen Rahmenstücks eingeklebt ist, in die Spule auf dem Magnetrahmen eingeführt werden (Bestimmung der Referenzfrequenz der Lock-in Messung).  
 Außerdem ist darauf zu achten, dass der Probenstab gut federnd eingebaut ist.
3. Durch den Betreuer kann nun der Messspulen-Einsatz ausgebaut werden.
4. Der Motor ist an der Steckerleiste rechts neben dem Magneten einzuschalten.  
**Beachten Sie:** Der Motor soll nur während der Messungen, also nicht im Dauerbetrieb, laufen.

### 3) Datenerfassung und Speicherung

Zur Datenerfassung und Speicherung von Magnetisierungskurven steht ein Computer (Betriebssystem WINDOWS-NT) zur Verfügung. Es ist vorgesehen, zur Erstellung und ggf. Ausdruck von grafischen Darstellungen während des Versuches ebenfalls diesen Computer zu nutzen. Dazu stehen beispielweise die Programme Microsoft EXCEL und Microcal ORIGIN6. zur Verfügung.

1. Starten Sie den Computer (Passwort: **adminpadp52**) und rufen Sie das Programm **VSM\_X06** auf.
2. Legen Sie im Verzeichnis **D:\Praktikum\Fo-praktikum\VSM** einen Ordner an, der Ihrer Gruppenbezeichnung entspricht und in den alle Messdaten und erstellten Auswertefiles gespeichert werden.

### 4) Durchführung der Messungen

#### 1. Kalibrierung der Feldstärke des Elektromagneten (Magnetfeld-Strom-Kennlinie):

Der Zusammenhang zwischen Feldstärke im Magnetzentrum und Strom des Power Supply SM120-25 D 5138 ist zu ermitteln.

**Beachten Sie:** Die Magnetspule ist nur für Dauerstrom bis maximal  $I = 15 \text{ A}$  zugelassen. Größerer Stromwerte bis maximal  $I = 25 \text{ A}$  sind nur kurzzeitig, d.h. insgesamt 1...2 Minuten zulässig. Speziell Stromwerte  $I > 20 \text{ A}$  dürfen nur sehr kurzzeitig fließen (Gefahr der Zerstörung des Magneten).

Der Elektromagnet weist eine Hysterese auf, d.h. die o.g. genannte Kennlinie ist abhängig vom Versuchsablauf. Um eindeutige Ergebnisse zu erhalten, sind die Kalibrierung ebenso wie alle nachfolgenden Messungen bei maximaler Feldstärke  $I = 25 \text{ A}$  zu beginnen.

Positionieren Sie die HALL-Sonde im Mittelpunkt des Magneten (Zentrum symmetrisch zwischen den Eisen-Polschuhen).

Stellen Sie Stromwerte in der Reihenfolge  $I = 25 \text{ A}, 24 \text{ A}, \dots, 1 \text{ A}, 0 \text{ A}$  ein und lesen Sie jeweils am Keithley 199 System DMM den stromäquivalenten Spannungswert (**Wie groß ist der Normalwiderstand im Stromkreis des Feldstroms ?**) und am Gaussmeter das eingestellte Magnetfeld ab. Beide Werte sind zu notieren (keine automatische Messwertfassung). Die Einstellung der Stromwerte erfolgt im Programm (s.o.) durch Eingabe des gewünschten Wertes unter „Set A?“.

**Beachten Sie:** Der Feldstrom darf nur geregelt und nie geschaltet werden (**Was ist der Grund für diese Maßnahme ?**). Notabschaltung des Stromes kann durch Betätigen des Buttons „Set 0.0“ im Programm erfolgen. Sollte die Interface-Verbindung zwischen Power Supply und Computer gestört sein, kann der Strom direkt am Power Supply herunter geregelt werden (Nie

den Netzschalter ausschalten!). Das Umpolen der Stromrichtung mit Hilfe des Umschalters unterhalb des Magneten darf nur im stromlosen Zustand ( $I = 0$ ) erfolgen!

Stellen Sie die Abhängigkeit  $\mu_0 H_{\text{ext}} = f(I)$  grafisch dar und geben Sie eine Fitfunktion für den linearen Teil an. Bestimmen Sie die Remanenz der Eisen-Polschuhe. (Warum weicht die Kurve für Felder größer als 2.2 T vom linearen Verlauf ab?).

Nach Absolvierung dieser Messaufgabe ist vom Betreuer das Messspulen-System wieder einzusetzen.

## 2. Optimierung der Probenposition

(-optionale Aufgabe; nur wenn vom Betreuer angezeigt!-)

Präzise Messungen am VSM erfordern die genaue geometrische Ausrichtung der schwingenden Probe in Bezug auf Elektromagnet und Messspulen-System. Dazu ist die Maximierung des Messsignals bei Veränderung A) der Höhe  $z$  des Probenhalters und B) der Position des Schwingers in der  $xy$ -Ebene vorzunehmen.

Bauen Sie die **Probe 1** (Ni, Charakterisieren Sie Ni bzgl der magnetischen Eigenschaften !) in den Probenhalter ein.

Stellen Sie ein Magnetfeld  $\mu_0 H_{\text{ext}} = 1\text{T}$  ein.

Optimierung der  $z$ -Position: Verändern Sie die Höhe  $z$  um jeweils  $\pm 1$  mm (entspricht 1 Umdrehung des Plastezylinders am oberen Ende des Probenstabes),  $\pm 2$  mm, etc. Stellen Sie anschließend die Höhe  $z$ , für die das maximale Messsignal beobachtet wurde, ein.

Optimierung der  $xy$ -Position: Prüfen Sie durch Drehen des Elektromagneten (Kabel mitführen) um  $\pm 90^\circ$ , ob die Vibration des Probenstabes im Messspulen-System im Wesentlichen reibungsarm verläuft. Ggf. ist hier eine Lageveränderung der Motor-Grundplatte (GummifüÙe) sowie eine Signalmaximierung durchzuführen.

## 3. Kalibrierung der Magnetisierungsmessung

In diesem Arbeitsschritt ist die der Messspannung entsprechende absolute Magnetisierung/Polarisation zu ermitteln.

Bauen Sie die **Probe 1** (Ni) in den Probenhalter ein.

Stellen Sie ein Magnetfeld  $\mu_0 H_{\text{ext}} = 1\text{T}$  ein.

Notieren Sie den Wert der induzierten Messspannung. Überprüfen Sie durch Drehen des Elektromagneten um  $\pm 90^\circ$  die Winkelabhängigkeit des Messsignals.

Berechnen Sie die Empfindlichkeit (Geometriefaktor) des VSM entsprechend

$$\mathbf{G} = \boldsymbol{\omega} \cdot \hat{\mathbf{z}} \cdot \tilde{\mathbf{G}} = \frac{U_i}{V_1 \cdot \mathbf{J}_{S, Ni}} \quad (1)$$

Die Sättigungspolarisation von Ni beträgt  $J_{S, Ni} = 0.614\text{ T}$  ( $T = 300\text{ K}$ ).

## 4. Winkelabhängigkeit der Remanenz eines Dauermagneten

Für diese Messaufgabe wird ein kleiner aufmagnetisierter Permanentmagnet ( $\text{SmCo}_5$ ) genutzt, der winkelabhängig gemessen wird.

Bauen Sie die **Probe 2** ( $\text{SmCo}_5$ ) in den Probenhalter ein.

Bestimmen Sie ohne äußeres Magnetfeld ( $\mu_0 H_{\text{ext}} = 0$ ) die Messspannung in Abhängigkeit von der Winkelstellung des Elektromagneten/Messspulen-Systems. Gehen Sie in  $10^\circ$ -Schritten im Bereich  $\pm 90^\circ$  vor (Wie ist die Winkelabhängigkeit zu interpretieren?).

Berechnen Sie daraus das magnetische Dipolmoment  $m^*$  der Probe (Angabe in A) Vsm B)  $\text{Am}^2$  C) emu ... Umrechnungstabelle am Arbeitsplatz).

## 5. Untersuchung magnetischer Anisotropien

Magnetische Anisotropien sind von extremer Bedeutung bei der Auswahl und Anwendung magnetischer Werkstoffe. Zum einen kann eine starke Formanisotropie (Wie ist diese zu erklären ?) das externe Magnetfeld stark schwächen, so dass im Inneren des Werkstoffs nur ein wesentlich kleineres internes Feld wirksam ist. Zum anderen sorgt die Kristallanisotropie (Welche mikroskopischen Ursachen hat diese Anisotropie ?) dafür, dass überhaupt leistungsstarke Permanentmagnete hergestellt werden können

### A) Formanisotropie

Als Untersuchungsobjekt für die Formanisotropie dient eine hochkant in den Probenhalter eingeklebte Ni-Scheibe (Kristallsymmetrie: kubisch).

Bauen Sie die **Probe 3** (Ni) in den Probenhalter ein.

Stellen Sie ein Magnetfeld  $\mu_0 H_{\text{ext}} = 0.3 \text{ T}$  ein. Ermitteln Sie durch Drehen des Elektromagneten die Winkelpositionen mit  $\phi_1$  maximalem (leichte Magnetisierungsrichtung) und  $\phi_s$  minimalem (schwere Magnetisierungsrichtung) Messsignal (Wie sind diese Richtungen bezüglich der Kristallform orientiert ?).

Stellen Sie  $\phi_1$  ein. Realisieren Sie eine Magnetisierungsmessung entsprechend Tabelle 1. Dazu übertragen Sie die Angaben (Zielfeld in A, Schrittweite beim Anfahren des Zielfeldes in A, Messzeit der Induktionsspannung bei jedem Feldwert in s, Mittelung  $M(t)$  der Magnetisierung) in die Tabelle im Messprogramm. Durch Drücken des Buttons „U-I-Kennlinie“ können Sie sich den Verlauf der Messwerte grafisch ansehen.

Wiederholen Sie die Messungen bei  $\phi_s$ .

Stellen Sie die Polarisationskurven  $J = f(\mu_0 H_{\text{ext}})$  für beide Messungen grafisch dar.

Nehmen Sie die Berechnung der im Punkt „Auswertung der Messungen“ genannten Parameter vor.

### B) Kristallanisotropie

Neben vielen anderen Substanzen zeigen auch Hartferrite eine starke Kristallanisotropie, z.B.  $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$  (Kristallsymmetrie: hexagonal). Neben der (mikroskopischen) Kristallanisotropie ist aber nach wie vor eine (makroskopische) Formanisotropie vorhanden.

Bauen Sie die **Probe 4** ( $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$ ) in den Probenhalter ein.

Stellen Sie ein Magnetfeld  $\mu_0 H_{\text{ext}} = 0.3 \text{ T}$  ein. Ermitteln Sie durch Drehen des Elektromagneten die Winkelpositionen mit  $\phi_1$  maximalem (leichte Magnetisierungsrichtung) und  $\phi_s$  minimalem (schwere Magnetisierungsrichtung) Messsignal (Wie sind diese Richtungen bezüglich der Kristallform orientiert ?).

Stellen Sie  $\phi_1$  ein. Realisieren Sie eine Magnetisierungsmessung entsprechend Tabelle 1. Dazu übertragen Sie die Angaben (Zielfeld in A, Schrittweite beim Anfahren des Zielfeldes in A, Messzeit der Induktionsspannung bei jedem Feldwert in s, Mittelung  $M(t)$  der Magnetisierung) in die Tabelle im Messprogramm. Durch Drücken des Buttons „U-I-Kennlinie“ können Sie sich den Verlauf der Messwerte grafisch ansehen.

Wiederholen Sie die Messungen bei  $\phi_s$ .

Stellen Sie die Polarisationskurven  $J = f(\mu_0 H_{\text{ext}})$  für beide Messungen grafisch dar.

Nehmen Sie die Berechnung der im Punkt „Auswertung der Messungen“ genannten Parameter vor.

	I (A)	$\Delta I$ (A)	$t_M$ (s)	M(t) (A/m)
	0	1	1	0
	25	5	1	0
	15	5	1	0
	6	0.25	5	0
	0	0.1	5	0

**(Achtung:  $t_M =$  „DELAY“) !**

Tabelle 1: Parameter für Messaufgaben 5A/B) und 6A)

	I (A)	$\Delta I$ (A)	$t_M$ (s)	M(t) (A/m)
	0	1	1	0
	25	5	1	0
	15	5	1	0
	0	0.2	5	0
	<b>Change Polarity</b>			
	-7	0.2	5	0
	0	0.5	5	0
	<b>Change Polarity</b>			

Tabelle 2: Parameter für Messaufgabe 6B)

### 6. Hystereseschleife eines hartmagnetischen Werkstoffes

Ferromagnetische Werkstoffe sind durch einen hysteretischen Verlauf der Magnetisierungs-/Polarisationskurven  $J = f(\mu_0 H_{\text{ext}})$  gekennzeichnet. Dieses Verhalten wird im Wesentlichen durch irreversible Magnetisierungsprozesse bedingt. Um die Hystereseschleife vollständig durchlaufen und ausmessen zu können, sind sowohl in positiver als auch negativer Richtung Magnetfelder notwendig, die das Material sättigen (Anderenfalls stellen sich nachfolgend nur „innere“ Schleifen dar) Dies ist mit vorliegenden experimentelle Aufbau nicht zu realisieren. Deshalb wird die Hystereseurve nur im I. und II. Quadranten aufgenommen. Daraus ergeben sich aber bereits alle charakteristischen Parameter.

Bauen Sie die **Probe 5a** ( $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$  = „Supermagnet“) in den Probenhalter ein. Diese Probe ist wurde in einer bestimmten Richtung aufmagnetisiert. Bestimmen Sie experimentell durch Drehen des Elektromagneten diese Richtung (maximales Messsignal im Nullfeld  $\mu_0 H_{\text{ext}} = 0$ ) und fixieren Sie den entsprechenden Winkel  $\phi_M$ .

**Beachten Sie:** Nun ist unbedingt zu überprüfen, ob die Konfiguration dem I. oder IV. Quadranten der Hystereseschleife entspricht (Willkür des Probeneinbaus). Dazu ist ein externes Magnetfeld von  $\mu_0 H_{\text{ext}} = 0.3$  T und 0.6 T einzustellen. Steigt der Betrag des Messsignals dabei an, ist die Probe richtig eingebaut (I. Quadrant), anderenfalls ist der Probenorientierung noch nicht korrekt (IV. Quadrant) und die Probe ist zu entnehmen, in umgekehrter Orientierung wieder einzubauen und die genannte Überprüfungsmessung ist zu wiederholen. (Begründen Sie dieses Vorgehen!).

#### A) Messung der Magnetisierungskurve

Realisieren Sie eine Magnetisierungsmessung entsprechend Tabelle 1.

#### B) Messung der Hystereseschleife (Teilverfahren)

Geben Sie in die Parametertabelle des Messprogramms die in Tabelle 2 genannten Parameter ein. Schalten Sie im Messprogramm den Umschalt-Button „Change Polarity?“ auf „On“ (Vorbereitung einer bipolaren Messung). Realisieren Sie eine Magnetisierungsmessung entsprechend Tabelle 2.

Bei Erreichen des Nullfeldes wird der Messvorgang unterbrochen und es erscheint die Aufschrift „Change Polarity“. Vergewissern Sie sich, dass die Feldspule stromlos ist und schalten dann den großen Umschalter unterhalb des Magneten um. Setzen Sie durch Drücken des Buttons „Done“ die Messung fort. Nach Abschluss der gesamten Messreihe wird der genannte Schalter wieder in die Ausgangsposition gebracht.

Schalten Sie am Ende des Versuchs alle Geräte aus und entnehmen Sie noch installierte Proben.

## 5) Auswertung der Ergebnisse

### Zu 5A) Untersuchung magnetischer Anisotropien (Formanisotropie)

Aus dem Anfangsanstieg der Magnetisierungskurven kann der Entmagnetisierungsfaktor  $N_l$  (leichte Magnetisierungsrichtung) bzw.  $N_s$  (schwere Magnetisierungsrichtung) bestimmt werden. Geben Sie diese Werte an und überprüfen Sie deren prinzipielle Richtigkeit anhand der Beziehung

$$N_a + N_b + N_c = 2N_l + N_s = 1 \quad (2)$$

Für Rotationsellipsoide können die Entmagnetisierungsfaktoren auch theoretisch ermittelt werden. Die entsprechende grafische Darstellung der Ergebnisse liegt am Versuchsplatz aus. Nutzen Sie das an die Probenform (Durchmesser, Höhe) angepasste (eingeschlossene) Rotationsellipsoid und ermitteln Sie die Werte  $N_l$  und  $N_s$  aus der Grafik. Vergleichen Sie experimentell und theoretische ermittelte Werte.

Berechnen Sie die Energiedichte der Formanisotropie der verwendeten Ni-Probe gemäß

$$\varepsilon_F = \frac{N_s - N_l}{2\mu_0} J_S^2 \quad (3)$$

### Zu 5B) Untersuchung magnetischer Anisotropien (Kristallanisotropie)

Für den Verlauf der Magnetisierungskurve von  $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$  sind sowohl Form- als auch Kristallanisotropie verantwortlich. Die Separation beider Anteile kann wie folgt durchgeführt werden:

Aus dem Anfangsanstieg der Kurve in leichter Magnetisierungsrichtung ist der Entmagnetisierungsfaktor  $N_l$  zu ermitteln. Damit kann aus

$$N_l + 2N_s = 1 \quad (4)$$

der Entmagnetisierungsfaktor  $N_s$  berechnet werden (**Diskutieren Sie den Unterschied zwischen den Formeln (2) und (4) !**). Wiederum sind das eingeschlossene Rotationsellipsoid und die dafür ermittelten theoretischen Werte für  $N_l$  und  $N_s$  als Vergleich heranzuziehen.

Aus dem Schnittpunkt der Magnetisierungskurve in schwerer Richtung mit der Linie der Sättigungspolarisation im Diagramm  $J = f(\mu_0 H_{\text{ext}})$  wird nun das durch Form- und Kristallanisotropie hervorgerufene Gesamt-Anisotropiefeld  $H_A'$  ermittelt. Der reine Einfluss der Kristallanisotropie ergibt sich dann gemäß

$$\mu_0 H_A = \mu_0 H_A' - N_s J_S \quad (5)$$

Die Energiedichte der Kristallanisotropie wird durch den Koeffizienten  $K_1$  bestimmt, der sich aus der Formel

$$K_1 = \frac{H_A J_S}{2} \quad (6)$$

ergibt (**Durch welche Überlegung ist der „Koeffizient“  $K_1$  motiviert ?**). Vergleichen Sie den Wert für  $K_1$  mit entsprechenden Literaturangaben.

### Zu 6B) Hystereseschleife eines hartmagnetischen Werkstoffs

Aus dem für den I. und II. Quadranten der Hystereseschleife von Nd<sub>2</sub>Fe<sub>14</sub>B gemessenen Verlauf lassen sich die wichtigsten Kenngrößen/Parameter für diesen Magnet-Werkstoff ableiten. Bestimmen Sie die Sättigungspolarisation J<sub>S</sub> (Extrapolation der Kurve nach H<sub>ext</sub> → ∞), die scheinbare Remanenz J<sub>RS</sub> (Extrapolation der Kurve für hohe Werte von H<sub>ext</sub> nach H<sub>ext</sub> = 0), die praktisch erreichte Remanenz J<sub>R</sub> (gemessener Wert für J bei H<sub>ext</sub> = 0) und das Koerzitivfeld H<sub>C</sub> (Extrapolation der Kurve nach J = 0).

Eine weitere für die Praxis entscheidende Kenngröße eines hartmagnetischen Werkstoffs ist das maximale Energieprodukt, das den Optimierungsparameter zwischen Remanenz und Koerzitivfeldstärke darstellt. Es charakterisiert das Rechteck mit maximaler Fläche unter der Kurve J = f(μ<sub>0</sub>H<sub>ext</sub>) im II. Quadranten. Unter der Annahme, dass die Probe ein Würfel ist, und damit der Entmagnetisierungsfaktor N = 1/3 angenommen werden kann, ist das maximale Energieprodukt (Energiedichte) wie folgt zu berechnen:

$$\mu_0 H_{\text{int}} = \mu_0 H_{\text{ext}} - NJ \quad (7)$$

$$B = \mu_0 H_{\text{int}} + J \quad (8)$$

$$\Rightarrow |B \cdot H_{\text{int}}| \quad \dots \text{Energieprodukt}$$

Stellen Sie die Funktion |BH<sub>int</sub>| = f(H<sub>int</sub>) grafisch dar und bestimmen Sie das Maximum im II. Quadranten.

Vergleichen Sie den Wert für |BH<sub>int</sub>|<sub>max</sub> mit entsprechenden Literaturangaben.

**Fassen Sie im Protokoll den Versuch zusammen, indem Sie insbesondere die Unterschiede von Hart- und Weichmagneten herausarbeiten. Nennen Sie Beispiele für beide Gruppen und jeweils entsprechende Anwendungen in der Praxis !**

**Beantworten Sie alle in der Platzanleitung grün gekennzeichneten Fragen !**