

DIN IEC 60404-8-1

ICS 29.030

Ersatz für
DIN IEC 60404-8-1:2003-02**Magnetische Werkstoffe –
Teil 8-1: Anforderungen an einzelne Werkstoffe –
Hartmagnetische Werkstoffe (Dauermagnete) (IEC 60404-8-1:2001 +
A1:2004)**

Magnetic materials –
Part 8-1: Specifications for individual materials –
Magnetically hard materials (IEC 60404-8-1:2001 + A1:2004)

Matériaux magnétiques –
Partie 8-1: Spécifications pour matériaux particuliers –
Matériaux magnétiquement durs (CEI 60404-8-1:2001 + A1:2004)

Gesamtumfang 30 Seiten

DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik im DIN und VDE
Normenausschuss Nichteisenmetalle (FNNE) im DIN



Nationales Vorwort

Vorausgegangener Norm-Entwurf: E DIN IEC 60404-8-1/A1:2002-10.

Für die vorliegende Norm ist das nationale Arbeitsgremium K 171 „Magnetische Legierungen und Stahl“ der DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik im DIN und VDE zuständig.

Die Änderungen gegenüber IEC 60404-8-1:2001 sind im Text mit einer senkrechten Linie am linken Seitenrand gekennzeichnet.

Für den Fall einer undatierten Verweisung im normativen Text (Verweisung auf eine Norm ohne Angabe des Ausgabedatums und ohne Hinweis auf eine Abschnittsnummer, eine Tabelle, ein Bild usw.) bezieht sich die Verweisung auf die jeweils neueste gültige Ausgabe der in Bezug genommenen Norm.

Für den Fall einer datierten Verweisung im normativen Text bezieht sich die Verweisung immer auf die in Bezug genommene Ausgabe der Norm.

Der Zusammenhang der zitierten Normen mit den entsprechenden Deutschen Normen ergibt sich, soweit ein Zusammenhang besteht, grundsätzlich über die Nummer der entsprechenden IEC-Publikation. Beispiel: IEC 60068 ist als EN 60068 als Europäische Norm durch CENELEC übernommen und als DIN EN 60068 ins Deutsche Normenwerk aufgenommen.

Änderungen

Gegenüber DIN IEC 60404-8-1:2003-02 wurden folgende Änderungen vorgenommen:

- a) Ersatz des Unterabschnitts 11.2.1 sowie der Tabellen 11, 12, 13 und 16.
- b) Neue Einteilung der Dauermagnetwerkstoffe für technische Anwendungen nach ihrer metallurgischen Verwandtschaft in Tabelle 8.

Frühere Ausgaben

DIN 17410: 1953-07, 1963-01, 1977-05

DIN IEC 60404-8-1: 2003-02

Inhalt

	Seite
1 Anwendungsbereich.....	5
2 Normative Verweisungen.....	5
3 Werkstoffgruppen und ihre Anwendungen.....	5
4 Einteilung.....	5
4.1 Kennzeichnende magnetische Eigenschaften.....	6
4.2 Weitere magnetische Eigenschaften.....	6
5 Chemische Zusammensetzung.....	7
6 Dichte.....	7
7 Bezeichnung.....	7
8 Lieferzustand und Maße.....	7
9 Prüfung.....	7
9.1 Prüfumfang.....	7
9.2 Prüfverfahren.....	7
10 Gründe für Beanstandung.....	8
11 Beschreibung der Tabellen der genormten Eigenschaften.....	8
11.1 Magnetisch harte Legierungen.....	8
11.1.1 Aluminium-Nickel-Kobalt-Eisen-Titan-Legierungen (AlNiCo).....	8
11.1.2 Chrom-Eisen-Kobalt-Legierungen (CrFeCo).....	9
11.1.3 Eisen-Kobalt-Vanadium-Chrom-Legierungen (FeCoVCr).....	9
11.1.4 Seltene Erdmetall-Kobalt-Legierungen (RECo).....	10
11.1.5 Neodym-Eisen-Bor-Legierungen (REFeB).....	11
11.2 Magnetisch harte keramische Werkstoffe (Hartferrite).....	11
11.2.1 Chemische Zusammensetzung.....	11
11.2.2 Herstellungsverfahren.....	12
11.2.3 Unter-Einteilung.....	12
11.2.4 Magnetische Eigenschaften und Dichte.....	12
11.2.5 Zulässige Maßabweichungen.....	12
11.3 Gebundene Magnete.....	12
11.3.1 Chemische Zusammensetzung.....	12
11.3.2 Herstellung.....	12
11.3.3 Unter-Einteilung.....	13
11.3.4 Magnetische Eigenschaften und Dichte.....	14
11.3.5 Zulässige Maßabweichungen.....	14
12 Irreversibles Abmagnetisierungsverhalten.....	14
13 Tabellen 8 bis 21.....	15
Anhang A (informativ) Physikalische Daten und mechanische Referenzwerte von AlNiCo-, CrFeCo-, FeCoVCr-, SmCo-, NdFeB- und Hartferrit-Magneten.....	29

Bild 1 – B -(H)- und J -(H)-Abmagnetisierungskurven und rückläufige Schleifen (schematische Darstellung)	15
Tabelle 1 – Magnetische Eigenschaften – Zeichen und Einheiten.....	6
Tabelle 2 – Weitere magnetische Eigenschaften – Zeichen und Einheiten	6
Tabelle 3 – Chemische Zusammensetzung von AlNiCo-Legierungen (Gewichtsprozent)	8
Tabelle 4 – Chemische Zusammensetzung von CrFeCo-Legierungen (Gewichtsprozent).....	9
Tabelle 5 – Chemische Zusammensetzung von FeCoVCr-Legierungen (Gewichtsprozent).....	9
Tabelle 6 – Chemische Zusammensetzung von RECo-Legierungen	10
Tabelle 7 – Chemische Zusammensetzung von REFeB-Legierungen	11
Tabelle 8 – Einteilung der hartmagnetischen Werkstoffe	16
Tabelle 9 – Magnetische Eigenschaften, Curie-Temperaturen, Betriebstemperatur und Dichten von AlNiCo-Magneten	17
Tabelle 10 – Magnetische Eigenschaften, Curie-Temperaturen, Betriebstemperatur und Dichten von CrFeCo- und FeCoVCr-Magneten	18
Tabelle 11 – Magnetische Eigenschaften und Dichten von RECo-Magneten	19
Tabelle 12 – Magnetische Eigenschaften und Dichten von REFeB-Magneten	20
Tabelle 13 – Magnetische Eigenschaften und Dichten von Hartferriten	21
Tabelle 14 – Magnetische Eigenschaften, Curie-Temperaturen, Betriebstemperatur und Dichten von isotropen AlNiCo-Legierungen mit organischem Binder	22
Tabelle 15 – Magnetische Eigenschaften, Curie-Temperaturen, Betriebstemperatur und Dichten von isotropen RECo-Legierungen mit organischem Binder.....	23
Tabelle 16 – Magnetische Eigenschaften und Dichten von isotropen REFeB-Legierungen mit organischem Binder.....	24
Tabelle 17 – Magnetische Eigenschaften, Curie-Temperaturen, Betriebstemperatur und Dichten von isotropen und anisotropen Hartferriten mit organischem Binder.....	25
Tabelle 18 – Zulässige Maßabweichungen von Magneten aus (gegossenen oder gesinterten) AlNiCo-Legierungen (Werte in Millimeter).....	26
Tabelle 19 – Zulässige Maßabweichungen von kaltgewalztem Band aus FeCoVCr- und CrFeCo-Legierungen mit einer max. Dicke von 6 mm und einer max. Breite von 125 mm (Werte in Millimeter)	27
Tabelle 20 – Zulässige Durchmesserabweichungen von kaltgezogenen Drähten und Stäben aus FeCoVCr- und CrFeCo-Legierungen (Werte in Millimeter).....	27
Tabelle 21 – Zulässige Maßabweichungen von Magneten aus Hartferriten (Werte in Millimeter).....	28
Tabelle A.1 – Physikalische Daten und mechanische Referenzwerte von AlNiCo-, CrFeCo-, FeCoVCr-, SmCo-, NdFeB- und Hartferrit-Magneten	30

1 Anwendungsbereich

Dieser Teil der IEC 60404 legt die Mindestwerte der kennzeichnenden magnetischen Eigenschaften und die Grenzabmaße der technisch wichtigen hartmagnetischen Werkstoffe (Dauermagnete) fest.

Die aufgeführten Werte zur Dichte der Werkstoffe und die Bereiche ihrer chemischen Zusammensetzungen dienen nur zur Information.

ANMERKUNG Zur Information und für Vergleiche sind ferner einige physikalische und mechanische Referenzwerte der magnetischen Werkstoffe in einem Anhang zu dieser Norm angegeben.

2 Normative Verweisungen

Die folgenden zitierten Dokumente sind für die Anwendung dieses Dokuments erforderlich. Bei datierten Verweisungen gilt nur die in Bezug genommene Ausgabe. Bei undatierten Verweisungen gilt die letzte Ausgabe des in Bezug genommenen Dokuments (einschließlich aller Änderungen).

IEC 60050-121:1998, *International Electrotechnical Vocabulary (IEV) – Part 121: Electromagnetism*

IEC 60050(221):1990, *International Electrotechnical Vocabulary (IEV) – Part 221: Magnetic materials and components*

IEC 60404-1:2000, *Magnetic materials – Part 1: Classification*

IEC 60404-5:1993, *Magnetic materials – Part 5: Permanent magnet (magnetically hard) materials – Methods of measurement of magnetic properties*

IEC 60404-7:1982, *Magnetic materials – Part 7: Method of measurement of the coercivity of magnetic materials in an open magnetic circuit*

3 Werkstoffgruppen und ihre Anwendungen

Dauermagnetwerkstoffe, auch als magnetisch harte Werkstoffe bezeichnet, werden nach IEC 60404-1 gemäß Abschnitt R (magnetisch harte Legierungen), Abschnitt S (magnetisch harte oxidkeramische Werkstoffe) und Abschnitt U (gebundene Magnete) eingeteilt.

Dauermagnete haben eine Koerzitivfeldstärke der magnetischen Polarisation > 1 kA/m. Die hohe magnetische Energiedichte, die nach dem Aufmagnetisieren bis zur Sättigungspolarisation erreicht wird, kann in statisch oder dynamisch beanspruchten Magnetkreisen technisch genutzt werden.

Dauermagnetwerkstoffe werden fast überall im täglichen Leben benutzt. Sie dienen zum Ankoppeln, zur Modulation oder haben Regelfunktionen in Betriebsmitteln oder Einrichtungen, die auf dem elektromagnetischen Prinzip basieren, zum Beispiel in Messinstrumenten, Motoren, Generatoren und Lautsprechern. Magnetwerkstoffe sind unentbehrlich in Büroeinrichtungen und Computerhardware, Automobilen, Unterhaltungselektronik, Kommunikationstechnik, Haushaltsgeräten und medizinischen Geräten sowie im Maschinenbau für Haftmagnete, Spannplatten und andere Verwendungszwecke.

Weitere mögliche und typische Anwendungen dieser handelsüblichen Dauermagnetwerkstoffe sind detailliert in den Abschnitten R, S und U der IEC 60404-1 beschrieben.

4 Einteilung

Gegenüber der vorangegangenen Ausgabe IEC 60404-8-1:1986 verwendet die vorliegende revidierte Ausgabe eine neue Einteilung der Dauermagnetwerkstoffe für technische Anwendungen. Diese Einteilung ist in Tabelle 8 angegeben. Die Werkstoffe sind neu nach ihrer metallurgischen Verwandtschaft eingeteilt worden.

Die dauermagnetischen Werkstoffe werden anhand der folgenden kennzeichnenden magnetischen Eigenschaften in Sorten eingeteilt.

4.1 Kennzeichnende magnetische Eigenschaften

Tabelle 1 – Magnetische Eigenschaften – Zeichen und Einheiten

Begriffsnummer in IEC 60050(121) und/oder IEC 60050(221)	Magnetische Eigenschaften	Zeichen	Einheit
221-04-05	Höchstwert des Energieproduktes BH	$(BH)_{max}$	kJ/m^3
121-12-67 221-02-38	Remanenz	B_r	mT
121-12-69 221-02-36	Koerzitivfeldstärke der magnetischen Flussdichte	H_{cB}	kA/m
121-12-69 221-02-36	Koerzitivfeldstärke der magnetischen Polarisation	H_{cJ}	kA/m

Die nach Aufmagnetisierung bis zur Sättigungspolarisation bestimmten Mindestwerte der magnetischen Eigenschaften bei Raumtemperatur sind in den Tabellen 9 bis 17 angegeben.

Die angegebenen Werte gelten nur für Magnete mit einem längs der Magnetisierungsachse gleich bleibenden Querschnitt, mit einem Rauminhalt zwischen 1 cm^3 und 200 cm^3 und mit Abmessungen in den drei Raumrichtungen von jeweils mindestens 8 mm.

Bei anisotropen Werkstoffen gelten sie nur längs einer geradlinigen Vorzugsrichtung.

ANMERKUNG 1 Ausführliche Einzelheiten bezüglich der Probengröße für die Messungen sind in IEC 60404-5 zu finden.

ANMERKUNG 2 Wenn die angeführten Bedingungen nicht erfüllt sind, dürfen aus Herstellungsgründen die Werte für die magnetischen Eigenschaften kleiner sein.

4.2 Weitere magnetische Eigenschaften

Tabelle 2 – Weitere magnetische Eigenschaften – Zeichen und Einheiten

Begriffsnummer in IEC 60050(121) und IEC 60050(221)	Magnetische Eigenschaften	Zeichen	Einheit
221-03-16	Permanente Permeabilität	μ_{rec}	—
	Temperaturkoeffizient der Remanenz (entspricht dem Temperaturkoeffizienten der magnetischen Sättigungspolarisation $\alpha(J_S)$)	$\alpha(B_r)$	$\%/^\circ\text{C}$
	Temperaturkoeffizient der Koerzitivfeldstärke der magnetischen Polarisation	$\alpha(H_{cJ})$	$\%/^\circ\text{C}$
121-12-51	Curie-Temperatur oder Curie-Punkt	T_C	$^\circ\text{C}$

Bei den in den Tabellen 9 bis 17 gemachten Angaben handelt es sich um typische Mindestwerte. Sie sind Mittelwerte aus der Literatur, dienen nur zur Information und sind nicht garantiert. Der Temperaturbereich für die angegebenen Temperaturkoeffizienten in den Tabellen geht im Allgemeinen von $20 \text{ }^\circ\text{C}$ bis $100 \text{ }^\circ\text{C}$; dies schließt jedoch nicht aus, dass die Werkstoffe auch außerhalb dieses Bereiches verwendet werden können.

Die magnetische Feldstärke zum Aufmagnetisieren der Dauermagnetwerkstoffe bis zur magnetischen Sättigung ist in IEC 60404-5 und in IEC 60404-7 angegeben.

5 Chemische Zusammensetzung

Zur Information sind in 11.1.1.1 und 11.2.1 die Bereiche der Zusammensetzung für die verschiedenen Werkstoffgruppen angegeben.

6 Dichte

Die Dichtewerte in den Tabellen 9 bis 17 dienen nur zur Information. Die Dichtewerte können zur Berechnung von Masse und Volumen verwendet werden.

7 Bezeichnung

Dauermagnetwerkstoffe können durch Kurzzeichen oder durch alphanumerische Symbole (Code-Nummern) gekennzeichnet werden (siehe Tabellen 9 bis 17). Soweit chemische Symbole in den Kurzzeichen verwendet werden, weisen sie auf die hauptsächlichen Werkstoffbestandteile hin. Im Kurzzeichen bezeichnet die Zahl vor dem Schrägstrich den Höchstwert des Produktes BH (in kJ/m^3) und die Zahl hinter dem Schrägstrich ein Zehntel der Koerzitivfeldstärke H_{cJ} (in kA/m). Hartmagnetische Werkstoffe mit einem Bindemittel (meist organisch, siehe 11.3) werden durch ein dem Kurzzeichen nachgesetztes „p“ gekennzeichnet.

Beispiel: Für die Sorte AlNiCo 12/6 von Tabelle 9 stammt die ganze Zahl 12 aus dem $(BH)_{\text{max}}$ -Mindestwert von $11,6 \text{ kJ/m}^3$ und die ganze Zahl 6 aus dem zehnten Teil des H_{cJ} -Mindestwertes, also $1/10$ von $55 \text{ kA/m} = 5,5 \text{ kA/m}$, durch Auf- oder Abrunden zur nächsten ganzen Zahl. Wenn das Abrunden jedoch zu Null führt, wird nur die erste, von Null verschiedene Dezimalstelle beibehalten.

Die Codenummern sind aus dem in IEC 60404-1 benutzten Einteilungssystem übernommen worden. Der Buchstabe in der Codenummer bezeichnet die hartmagnetische Werkstoffgruppe und die erste Ziffer die Werkstoffart in der betreffenden Gruppe, siehe Tabelle 8. Eine „0“ an der zweiten Stelle bedeutet, dass es sich um einen magnetisch isotropen, und eine „1“, dass es sich um einen magnetisch anisotropen Werkstoff handelt. Die Zahl an der dritten Stelle bezeichnet die verschiedenen Sorten.

8 Lieferzustand und Maße

Die Werkstoffe nach dieser Norm dürfen magnetisiert oder nicht magnetisiert geliefert werden, und sie dürfen in Magnetsysteme eingebaut sein.

Die Maße der Magnete sind bei der Bestellung zu vereinbaren.

9 Prüfung

9.1 Prüfumfang

Der Prüfumfang muss zwischen Lieferant und Besteller vereinbart werden.

9.2 Prüfverfahren

Das Prüfverfahren muss zwischen Lieferant und Besteller vereinbart werden.

Die magnetischen Mindestwerte der Magnete mit passender Form und geeigneten Maßen müssen nach IEC 60404-5 gemessen werden.

Wenn Form und Maße nicht den Anforderungen von 4.1 entsprechen, sollten die Einzelheiten der Prüfung zwischen Lieferant und Besteller vereinbart werden.

10 Gründe für Beanstandung

Gründe für Beanstandungen sind das Nichterreichen der magnetischen Eigenschaften (in den Tabellen 9 bis 17 sind Mindestwerte einiger magnetischer Eigenschaften festgelegt), physikalischer Größen und Grenzabmaße (siehe Tabellen 18 bis 21).

Äußere und innere mechanische Fehler dürfen nur dann beanstandet werden, wenn sie die Handhabung und die Verwendung des Magneten schädlich beeinträchtigen.

Der Beanstandung des Kunden müssen Belegstücke aus der beanstandeten Lieferung beigelegt werden.

11 Beschreibung der Tabellen der genormten Eigenschaften

11.1 Magnetisch harte Legierungen

11.1.1 Aluminium-Nickel-Kobalt-Eisen-Titan-Legierungen (AlNiCo)

11.1.1.1 Chemische Zusammensetzung

Die Dauermagnete auf Aluminium-Nickel-Kobalt-Eisen-Titan-Basis, bezeichnet als AlNiCo, haben ein breites Spektrum mit komponentenreichen Legierungen in folgendem Zusammensetzungsbereich (Werte in Gewichtsprozent):

Tabelle 3 – Chemische Zusammensetzung von AlNiCo-Legierungen (Gewichtsprozent)

	Al	Ni	Co	Cu	Ti	Nb	Si	Fe
AlNiCo	8 bis 13	13 bis 28	5 bis 42	2 bis 6	0 bis 9	0 bis 3	0 bis 0,8	Rest

11.1.1.2 Herstellungsverfahren

Die AlNiCo-Legierungen werden schmelz- oder pulvermetallurgisch hergestellt. Sofern der Kobaltgehalt höher als 20 Gewichtsprozent ist, können die magnetischen Eigenschaften dieser Legierungen durch Anlegen eines Magnetfeldes während der Wärmebehandlung in einer Vorzugsrichtung verbessert werden. Durch ein solches Verfahren wird eine magnetische Anisotropie im Werkstoff erzeugt.

Die besten magnetischen Werte werden bei AlNiCo-Magneten mit Stengelkristallisation bzw. an Einkristallen erreicht. Dabei ist das während der Wärmebehandlung angelegte Magnetfeld parallel zu den Stengelachsen auszurichten.

11.1.1.3 Unter-Einteilung

Isotrope Magnetlegierungen, gegossen oder gesintert (R1-0-x)
mit x = 1, 2, ...

Anisotrope Magnetlegierungen, gegossen oder gesintert (R1-1-x)
mit x = 1, 2, ...

11.1.1.4 Magnetische Eigenschaften und Dichte

Die magnetischen Eigenschaften und die Dichte sind in Tabelle 9 angegeben (siehe auch 4.1 und 4.2 sowie Abschnitt 6).

11.1.1.5 Zulässige Maßabweichungen

Werte für die zulässigen Maßabweichungen der gesinterten und der gegossenen AlNiCo-Magnete sind in Tabelle 18 angegeben.

11.1.2 Chrom-Eisen-Kobalt-Legierungen (CrFeCo)

11.1.2.1 Chemische Zusammensetzung

Die Zusammensetzungen der Dauermagnete auf Chrom-Eisen-Kobalt-Basis, bezeichnet als CrFeCo, liegen in folgenden Bereichen (Werte in Gewichtsprozent):

Tabelle 4 – Chemische Zusammensetzung von CrFeCo-Legierungen (Gewichtsprozent)

	Cr	Co	Andere Elemente z. B. Si, Ti, Mo, Al, V	Fe
CrFeCo	25 bis 35	7 bis 25	0,1 bis 3	Rest

11.1.2.2 Herstellungsverfahren

Die CrFeCo-Legierungen können durch Gießen, dem ein Warmwalz-, Kaltwalz- oder Ziehprozess folgt, hergestellt werden, um Bänder und Drähte zu erzeugen. Aus diesen Werkstoffen werden die Teile dann durch Stanzen, Drehen oder Bohren hergestellt. Nach der Formgebung muss eine Wärmebehandlung zur Einstellung der Dauermagneteigenschaften erfolgen. Die Magnete können auch mittels eines pulvermetallurgischen Verfahrens geformt werden. Die magnetischen Eigenschaften der gegossenen wie der gesinterten Werkstoffe können durch Anlegen eines Magnetfeldes während der Wärmebehandlung in einer Vorzugsrichtung verbessert werden.

11.1.2.3 Unter-Einteilung

Isotrope Magnetlegierungen (R2-0-x)
mit x = 1, 2, ...

Anisotrope Magnetlegierungen (R2-1-x)
mit x = 1, 2, ...

11.1.2.4 Magnetische Eigenschaften und Dichte

Die magnetischen Eigenschaften und die Dichte von isotropen und anisotropen CrFeCo-Magneten sind in Tabelle 10 angegeben (siehe auch 4.1 und 4.2 sowie Abschnitt 6).

11.1.2.5 Zulässige Maßabweichungen

Die Werte für die zulässigen Maßabweichungen von kaltgewalzten Bändern und kaltgezogenen Drähten und Stäben sind in den Tabellen 19 und 20 aufgeführt. Für gesinterte Magnete sind die zulässigen Maßabweichungen zwischen Lieferant und Besteller zu vereinbaren.

11.1.3 Eisen-Kobalt-Vanadium-Chrom-Legierungen (FeCoVCr)

11.1.3.1 Chemische Zusammensetzung

Für die chemische Zusammensetzung gelten folgende Bereiche (Werte in Gewichtsprozent):

Tabelle 5 – Chemische Zusammensetzung von FeCoVCr-Legierungen (Gewichtsprozent)

	Co	V + Cr	Fe
FeCoVCr	49 bis 54	4 bis 13	Rest

11.1.3.2 Herstellungsverfahren

Die FeCoVCr-Legierungen werden durch Gießen und Warm- und Kaltwalzen oder -ziehen zu Bändern bzw. Drähten verarbeitet. Die Kaltverformung (80 % bis 95 %), der eine Wärmebehandlung im Bereich von 500 °C bis 650 °C folgt, ist für die Herstellung der dauermagnetischen Eigenschaften wesentlich.

11.1.3.3 Unter-Einteilung

Die empfohlene Unter-Einteilung beruht auf der Koerzitivfeldstärke der magnetischen Polarisation H_{cJ} .

11.1.3.4 Magnetische Eigenschaften und Dichte

Die magnetischen Eigenschaften und die Dichte sind in Tabelle 10 angegeben (siehe auch 4.1 und 4.2 sowie Abschnitt 6).

11.1.3.5 Zulässige Maßabweichungen

Die Werte für die zulässigen Maßabweichungen für kaltgewalzte Bänder und kaltgezogene Drähte sind in den entsprechenden Tabellen 19 und 20 aufgeführt.

11.1.4 Seltene Erdmetall-Kobalt-Legierungen (RECo)

11.1.4.1 Chemische Zusammensetzung

Die beiden Legierungstypen RECo₅ bzw. RE₂Co₁₇ haben technische Bedeutung. Die Zusammensetzung RE₂Co₁₇ wird als Familienname einer Gruppe von zwei- und mehrphasigen Legierungen verwendet, wobei mehrere Übergangselemente teilweise den Kobaltanteil ersetzen. Diese Legierungen haben eine starke einachsige magnetische Anisotropie und eine hohe magnetische Sättigung, die zu einer hohen Koerzitivität H_{cJ} und einer hohen Remanenz B_r der Magnete führt. Ihre Hauptbestandteile sind in der folgenden Tabelle angegeben (Werte in Gewichtsprozent):

Tabelle 6 – Chemische Zusammensetzung von RECo-Legierungen

	Sm	Co	Fe	Cu	Andere Elemente z. B. Zr, Hf, Ti
Sm-Co₅	33 bis 35	65 bis 67	–	–	–
Sm₂Co₁₇	24 bis 26	48 bis 52	13 bis 18	4,5 bis 12	0 bis 3

Samarium (Sm) ist in diesen Legierungen das wichtigste Seltene Erdmetall und führt zu den besten magnetischen Eigenschaften. Allerdings können auch Cer (Ce) oder Praseodym (Pr) als Seltene Erde-Komponente verwendet werden.

11.1.4.2 Herstellungsverfahren

Einkristalline RECo-Pulverteilchen werden in einem Magnetfeld gepresst, so dass anisotrope teilchenorientierte Magnete entstehen. Die Presslinge werden unter Vakuum oder in einer Schutzgasatmosphäre gesintert.

11.1.4.3 Unter-Einteilung

Anisotrope Legierungen des Typs RECo₅ (R5-1-x)
mit x = 1, 2, ... 9

Anisotrope Legierungen des Typs RE₂Co₁₇ (R5-1-x)
mit x = 10, 11, 12, ... 19

11.1.4.4 Magnetische Eigenschaften und Dichte

Die magnetischen Eigenschaften und die Dichte sind in Tabelle 11 angegeben (siehe auch 4.1 und 4.2 sowie Abschnitt 6).

11.1.4.5 Zulässige Maßabweichungen

Die Werte für die zulässigen Maßabweichungen müssen zwischen Lieferant und Besteller vereinbart werden.

11.1.5 Neodym-Eisen-Bor-Legierungen (REFeB)

11.1.5.1 Chemische Zusammensetzung

Die REFeB-Magnetlegierungen basieren auf der Verbindung $RE_2Fe_{14}B$. Das Seltene Erde-Element ist hauptsächlich Neodym (Nd), das teilweise durch Dysprosium (Dy), Praseodym (Pr) oder andere Seltene Erdmetall-Elemente ersetzt sein kann. Eisen kann teilweise durch Kobalt (Co) ersetzt sein. Die $Nd_2Fe_{14}B$ -Legierung bildet eine tetragonale Kristallstruktur und weist sowohl eine hohe Sättigungspolarisation als auch eine hohe einachsige Kristallanisotropie auf.

Die Bereiche der Zusammensetzung der REFeB-Legierungen sind in Tabelle 7 angegeben (Werte in Gewichtsprozent):

Tabelle 7 – Chemische Zusammensetzung von REFeB-Legierungen

	Nd	Co	B	Dy, Pr	Andere Elemente z. B. V, Nb, Al, Ga	Fe
REFeB	28 bis 35	0 bis 15	1 bis 2	0 bis 10	0 bis 1	Rest

11.1.5.2 Herstellungsverfahren

Einkristalline REFeB-Pulverteilchen werden in einem Magnetfeld gepresst, so dass anisotrope teilchenorientierte Magnete entstehen. Die Presslinge werden unter Vakuum oder in einer Schutzgasatmosphäre gesintert.

11.1.5.3 Unter-Einteilung

Anisotrope Legierungen des Typs NdFeB (R7-1-x)
mit $x = 1, 2, \dots, 9$

11.1.5.4 Magnetische Eigenschaften und Dichte

Die festgelegten Mindestwerte der magnetischen Eigenschaften und die Dichte anisotroper Werkstoffe sind in Tabelle 12 angegeben (siehe auch 4.1 und 4.2 sowie Abschnitt 6).

11.1.5.5 Maßtoleranzen

Für die Magnete gelten die gleichen Maßtoleranzen wie für gesinterte AlNiCo-Magnete mit Titangehalten unter 1 %, wie sie in Tabelle 18 festgelegt sind.

11.2 Magnetisch harte keramische Werkstoffe (Hartferrite)

11.2.1 Chemische Zusammensetzung

Die chemische Zusammensetzung der Hartferrite kann durch die Stoffformel $MO \cdot n Fe_2O_3$ (mit $M = Ba$ und Sr) beschrieben werden. Das Verhältnis n kann zwischen 4,5 bis 6,5 liegen. Die Hartferrite haben eine hexagonale Struktur mit einer hohen einachsigen magnetischen Kristallanisotropie, aber mit einer relativ niedrigen magnetischen Sättigung.

Die magnetischen Eigenschaften können durch besondere Zusätze verbessert werden. Dies gilt insbesondere für Zusätze von La bis zu 4 % und Co bis zu 2 %, die die Werte von H_{CJ} und $\alpha(H_{CJ})$ jeweils um bis zu 40 % verbessern können.

11.2.2 Herstellungsverfahren

Monokristallines Hartferritpulver wird in einem Magnetfeld gepresst, so dass anisotrope teilchenorientierte Magnete entstehen. Die Presslinge werden in Luft gesintert.

11.2.3 Unter-Einteilung

Isotrope Hartferrite (S1-0-x)
mit $x = 1, 2, \dots$

Anisotrope Hartferrite (S1-1-x)
mit $x = 1, 2, \dots$

11.2.4 Magnetische Eigenschaften und Dichte

Die magnetischen Eigenschaften und die Dichte der isotropen und anisotropen Hartferrite sind in Tabelle 13 angegeben (siehe auch 4.1 und 4.2 sowie Abschnitt 6).

11.2.5 Zulässige Maßabweichungen

Die Werte für die zulässigen Maßabweichungen der isotropen und anisotropen Hartferrite sind in Tabelle 21 angegeben.

11.3 Gebundene Magnete

Gebundene Dauermagnete sind Verbundwerkstoffe. Sie bestehen aus Dauermagnetpulver, das in einer Kunststoffgrundmasse eingebettet ist. Die Binderphase bestimmt zu einem großen Teil die mechanischen Eigenschaften des Verbundstoffes, wohingegen das Magnetpulver die magnetischen Eigenschaften bestimmt. Die Eigenschaften des Verbundwerkstoffes werden durch den Typ des Dauermagnetwerkstoffes, den Matrixwerkstoff, den Füllfaktor und, im Fall von anisotropen Werkstoffen, auch durch den Orientierungsgrad bestimmt, wobei es eine breite Vielfalt von Sorten gibt.

Trotz ihrer niedrigeren magnetischen Werte, im Vergleich zu gesinterten Werkstoffen, bieten gebundene Magnete für viele Anwendungen wirtschaftliche und technische Vorteile, da sie kostengünstig in der Herstellung sind und viele Möglichkeiten hinsichtlich der Formgebung und der guten mechanischen Eigenschaften bieten.

Kostenaufwendige und arbeitsintensive Verfahrensschritte, die in der Pulvermetallurgie erforderlich sind, werden nicht benötigt.

11.3.1 Chemische Zusammensetzung

Die Magnetwerkstoffe zur Herstellung von gebundenen Dauermagneten sind Pulver aus AlNiCo, SmCo₅ und Sm₂Co₁₇, Nd-FeB und Hartferrite (siehe 11.1.1.1, 11.1.4.1, 11.1.5.1 und 11.2.1). Die wichtigsten Matrixwerkstoffe sind Elastomere, Thermoplaste oder Duromere.

11.3.2 Herstellung

Die Verfahren, gebundene Dauermagnete, häufig als „P-Magnete“ bezeichnet, herzustellen, sind weitgehend ähnlich, ungeachtet vom verwendeten Magnetwerkstoff. Die flexiblen Werkstoffe werden durch Walzen, Extrudieren oder Kalandrieren, die formstabilen Magnete durch Spritzgießen oder Formteilpressen hergestellt.

In der Spritzgusstechnik wird das Magnetpulver je nach Art des Bindemittels in Mischern, Mischextrudern oder Knetwerken kalt oder heiß vermischt.

Die wichtigsten Matrixwerkstoffe für Spritzgussmagnete sind thermoplastische Polyamide und Polyethylene. Die Verbundmasse wird in den Spritzgussmaschinen verarbeitet. Je nach Magnetform, -größe und Produktionsmenge werden Einzel- oder Mehrfachwerkzeuge verwendet.

Bei der Herstellung von anisotropen Sorten hängen die magnetischen Werte entscheidend von den Ausrichtungsbedingungen ab, die durch die magnetische Feldstärke in der Gießform und durch die Magnetform bestimmt werden.

In der Formteilpresstechnik, die kommerziell nur zur Herstellung von gebundenen Seltene Erde-Magneten verwendet wird, werden Duromere wie zum Beispiel Epoxidharze als Bindemittel verwendet.

Die Verbundmischungen werden in die Hohlräume des Presswerkzeuges gefüllt und mit einem Druck von 0,6 GPa bis 1 GPa zu Presskörpern verpresst. Die Presskörper werden dann wärmebehandelt, um den Binder auszuhärten. Anisotrope Magnete können auch durch Formteilpressen von anisotropen Pulvern in einem ausrichtenden Magnetfeld hergestellt werden.

11.3.3 Unter-Einteilung

Isotrope gebundene AlNiCo-Magnete (U1-0-x)
mit $x = 1, 2, \dots$

Isotrope gebundene RECo-Magnete (U2-0-x)
mit

$x = [10 + n]$ für Kalandrierung und Extrusion

$x = [20 + n]$ für Spritzgießen

$x = [30 + n]$ für Formpressen

$n = 0, 1, 2, \dots 9$

Anisotrope gebundene RECo-Magnete (U2-1-x)
mit

$x = [10 + n]$ für Kalandrierung und Extrusion

$x = [20 + n]$ für Spritzgießen

$x = [30 + n]$ für Formpressen

$n = 0, 1, 2, \dots 9$

Isotrope gebundene REFeB-Magnete (U3-0-x)
mit

$x = [10 + n]$ für Kalandrierung und Extrusion

$x = [20 + n]$ für Spritzgießen

$x = [30 + n]$ für Formpressen

$n = 0, 1, 2, \dots 9$

Isotrope gebundene Hartferrit-Magnete (U4-0-x)
mit

$x = [10 + n]$ für Kalandrierung und Extrusion

$x = [20 + n]$ für Spritzgießen

$x = [30 + n]$ für Formpressen

$n = 0, 1, 2, \dots 9$

Anisotrope gebundene Hartferrit-Magnete (U4-1-x)
mit

$x = [10 + n]$ für Kalandrierung und Extrusion

$x = [20 + n]$ für Spritzgießen

$x = [30 + n]$ für Formpressen

$n = 0, 1, 2, \dots, 9$

11.3.4 Magnetische Eigenschaften und Dichte

Die Mindestwerte der magnetischen Eigenschaften und der Dichte sind festgelegt für

- AlNiCo p in Tabelle 14,
- RECo p in Tabelle 15,
- REFeB p in Tabelle 16,
- Hartferrite p in Tabelle 17.

11.3.5 Zulässige Maßabweichungen

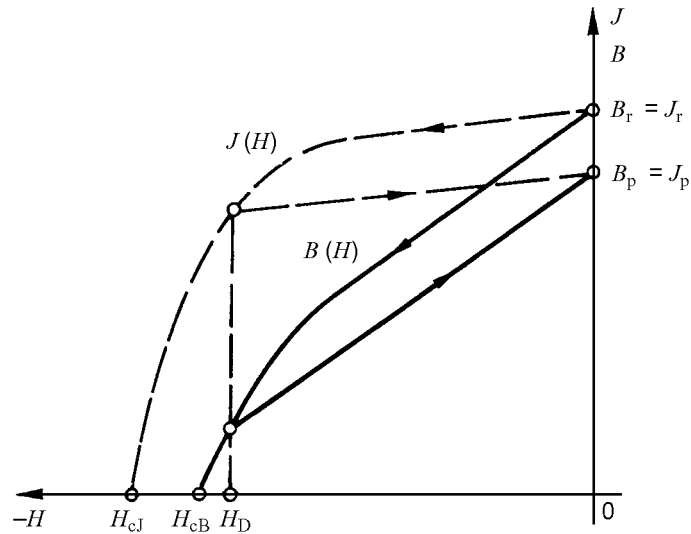
Die Werte für die zulässigen Maßabweichungen müssen zwischen Lieferant und Besteller vereinbart werden.

12 Irreversibles Abmagnetisierungsverhalten

Ein Dauermagnet, der sich ursprünglich in einem remanenten Zustand befindet, verliert schließlich eine bestimmte Menge an magnetischem Fluss, wenn er einem (entgegenwirkenden) abmagnetisierenden Magnetfeld ausgesetzt wird. Nach Entfernen des abmagnetisierenden Magnetfeldes kann der ursprüngliche magnetische Fluss des remanenten Zustands ganz oder teilweise wiederhergestellt werden. Im ersten Fall ist die Änderung des magnetischen Zustands vollkommen umkehrbar, während sie im zweiten Fall teilweise umkehrbar und teilweise nicht umkehrbar ist. Die umkehrbare Änderung des magnetischen Flusses, die mit der Änderung des Magnetfeldes verbunden ist, wird quantitativ durch die in den entsprechenden Tabellen der Werkstoffnormen angegebene relative permanente Permeabilität μ_{rec} beschrieben. Deshalb kann diese umkehrbare Änderung für die Auslegung eines Dauermagnetsystems berücksichtigt werden.

Für diese Auslegung ist es von größter Bedeutung, den Bereich der Abmagnetisierungsfelder zu kennen, der nur umkehrbare Änderungen zeigt. Genauer gesagt, muss man die Abmagnetisierungsfeldstärke kennen, die eine noch annehmbare Höhe nicht umkehrbarer Magnetflussänderung (Magnetflussverlust) hervorruft. Dies ist im Einzelnen in Bild 1 erläutert.

Bild 1 zeigt die Abmagnetisierungskurven und rückläufigen Schleifen für einen magnetisch harten Werkstoff, der eine Remanenz $B_r = J_r$ hat, nachdem er voll magnetisiert worden ist. Die Anlegung einer bestimmten abmagnetisierenden Feldstärke H_D und die Verringerung dieses Felds wieder auf Null (vorübergehende Einwirkung des Magnetfelds) führt zu einer Remanenzflussdichte $B_p = J_p$ im Werkstoff, die permanente Remanenzflussdichte (Permanenz) genannt wird. Für $B_p < B_r$ ist ein relativer, nicht umkehrbarer Magnetflussverlust aufgetreten. Der Verlust nimmt mit steigender H_D zu. Der Wert H_D , der zu einem vorbestimmten, immer noch annehmbaren Höchstverlust führt, ist ein quantitatives Maß für die Stabilität des magnetisch harten Werkstoffs gegenüber einem abmagnetisierenden Feld. Wenn beispielsweise der tolerierbare Höchstverlust auf 5 % festgelegt ist, wird das entsprechende Feld H_{D5} genannt. H_D kann durch Versuche bestimmt werden, wie in IEC 60404-5, Abschnitt 9, angegeben.



Legende

- B magnetische Flussdichte oder magnetische Induktion
- J magnetische Polarisierung
- H magnetische Feldstärke
- B_r, J_r Remanenz
- B_p, J_p permanente Remanenzflussdichte (Permanenz)
- H_{cB} Koerzitivfeldstärke der magnetischen Flussdichte
- H_{cJ} Koerzitivfeldstärke der magnetischen Polarisierung
- H_D abmagnetisierende Feldstärke, die, nachdem sie vorübergehend auf den magnetischen Zustand der Remanenz angewandt wurde, zum magnetischen Zustand der permanenten Remanenzflussdichte (Permanenz) führt.

Bild 1 – $B(H)$ - und $J(H)$ -Abmagnetisierungskurven und rückläufige Schleifen (schematische Darstellung)

13 Tabellen 8 bis 21

Die Tabelle 8 gibt die Einteilung der hartmagnetischen Werkstoffe (Dauermagnete) an.

Die Tabellen 9 bis 17 geben die festgelegten Mindesteigenschaften der verschiedenen Werkstoffe an. Typische Werte der relativen permanenten Permeabilität, der Temperaturkoeffizienten, der Curie-Temperatur der Dauerbetriebstemperatur und der Dichte sind ebenfalls angegeben.

Die Tabellen 18 bis 21 geben die zulässigen Formabweichungen der verschiedenen Werkstoffe an.

Tabelle 8 – Einteilung der hartmagnetischen Werkstoffe

Gruppe	Hauptbestandteile	Erster Teil der Codennummer (IEC 60404-8-1 aktuelle Ausgabe)	Alte Codennummer (IEC 60404-8-1, Ausgabe 1986)
Magnetisch harte Legierungen (R)	Aluminium-Nickel-Kobalt-Eisen-Titan-Legierungen	R1	R1
	Chrom-Eisen-Kobalt-Legierungen	R6	R6
	Kobalt-Eisen-Vanadium-Chrom-Legierungen	R3	R3
	Seltene Erdmetall-Kobalt-Legierungen	R5	R5
	Seltene Erdmetall-Eisen-Bor-Legierungen	R7	R7
	Platin-Kobalt-Legierungen	entfällt	R2
	Kupfer-Nickel-Eisen-Legierung	entfällt	R4
Magnetisch harte keramische Werkstoffe (S)	hartmagnetische Ferrite (MO · n Fe ₂ O ₃ ; M = Ba, Sr und/oder Pb und n = 4,5 bis 5)	S1	S1
Gebundene hartmagnetische Werkstoffe (U)	gebundene Aluminium-Nickel-Kobalt-Eisen-Titan-Magnete	U1	R1-2 R1-3
	gebundene Seltene Erdmetall-Kobalt-Magnete	U2	R5-3
	gebundene Neodym-Eisen-Bor-Magnete	U3	–
	gebundene Hartferrite	U4	S1-2 S1-3

Tabelle 9 – Magnetische Eigenschaften, Curie-Temperaturen, Betriebstemperatur und Dichten von AlNiCo-Magneten

Werkstoff			Art der Herstellung	Magnetische Eigenschaften							Betriebs-temperatur °C	Dichte ρ kg/dm ³		
Kurzzeichen)	Code-nummer		Höchstwert des Energieproduktes BH $(BH)_{max}$ kJ/m ³	Remanenz B_r mT	Koerzitivfeldstärke H_{cB} kA/m	Koerzitivfeldstärke H_{cJ} kA/m	Relative permanente Permeabilität μ_{rec}	$\alpha(B_r)$ ") %/°C	$\alpha(H_{cJ})$ ") %/°C			Curie-Temperatur °C	
AlNiCo				festgelegte Mindestwerte				typische Werte						
AlNiCo 9/5	i	R1-0-1	gegossen oder gesintert	9	550	44	47	7	-0,02	0,03 bis -0,07	750	550	6,8	
AlNiCo 12/6	i	R1-0-2		11,6	630	52	55	7,5			7,0			
AlNiCo 17/9	i	R1-0-3		17	580	80	86	7,5			7,1			
AlNiCo 37/5	a	R1-1-1	gegossen	37	1 180	48	49	4			800 bis 850		7,3	
AlNiCo 38/11	a	R1-1-2		38	800	110	112	2						7,3
AlNiCo 44/5	a	R1-1-3		44	1 200	52	53	3						7,3
AlNiCo 60/11	a	R1-1-4		60	900	110	112	2						7,3
AlNiCo 36/15	a	R1-1-5		36	700	140	148	2						7,3
AlNiCo 58/5	a	R1-1-6		58	1 300	52	53	3						7,3
AlNiCo 72/12	a	R1-1-7		72	1 050	118	120	2						7,3
AlNiCo 34/5	a	R1-1-10	gesintert	34	1 120	47	48	4			7,1			
AlNiCo 26/6	a	R1-1-11		26	900	56	58	4,5						
AlNiCo 31/11	a	R1-1-12		31	760	107	111	3						
AlNiCo 33/15	a	R1-1-13		33	650	135	150	2						

) i = isotrop; a = anisotrop
") für 20 °C bis 100 °C

Tabelle 10 – Magnetische Eigenschaften, Curie-Temperaturen, Betriebstemperatur und Dichten von CrFeCo- und FeCoVCr-Magneten

Werkstoff			Art der Herstellung	Magnetische Eigenschaften							Betriebs-temperatur °C	Dichte ρ kg/dm ³	
Kurzzeichen	^{*)}	Code-nummer		Höchstwert des Energieproduktes BH $(BH)_{max}$ kJ/m ³	Remanenz B_r mT	Koerzitivfeldstärke H_{CB} kA/m	Koerzitivfeldstärke H_{cJ} kA/m	Relative permanente Permeabilität μ_{rec}	$\alpha(B_r)$ ^{**)} %/°C	$\alpha(H_{cJ})$ ^{**)} %/°C			Curie-Temperatur °C
CrFeCo/FeCoVCr				festgelegte Mindestwerte				typische Werte					
CrFeCo 12/4	i	R2-0-1	gegossen oder gesintert	12	800	40	42	6	-0,05	-0,04	620 bis 640	500	7,6
CrFeCo 10/3	i	R2-0-2		10	850	27	29	6	0,03				7,6
CrFeCo 28/5	a	R2-1-1		28	1 000	45	46	3,5					7,6
CrFeCo 30/4	a	R2-1-2		30	1 150	40	41	3,5					7,6
CrFeCo 35/5	a	R2-1-3		35	1 050	50	51	3,5					7,6
CrFeCo 44/5	a	R2-1-4		44	1 300	44	45	2,5					7,6
FeCoVCr 11/2	a	R3-1-1	gegossen	11	800	24	24	5	-0,01	-0	720	500	8,1

^{*)} i = isotrop; a = anisotrop
^{**)} für 20 °C bis 100 °C

Tabelle 11 – Magnetische Eigenschaften und Dichten von RECo-Magneten

Werkstoff			Art der Herstellung	Magnetische Eigenschaften					Dichte ρ kg/dm ³	
Kurzzeichen	*)	Code-nummer		Höchstwert des Energieproduktes BH $(BH)_{max}$ kJ/m ³	Remanenz B_r mT	Koerzitivfeldstärke H_{cB} kA/m	Koerzitivfeldstärke H_{cJ} kA/m	Relative permanente Permeabilität μ_{rec}		
RECo				festgelegte Mindestwerte				typische Werte		
RECo ₅ 140/120	a	R4-1-1	gesintert	140	860	600	1 200	1,05	8,3 bis 8,5	
RECo ₅ 160/120	a	R4-1-2		160	920	660	1 200			
RECo ₅ 150/70	a	R4-1-3		150	900	600	700			
RECo ₅ 170/70	a	R4-1-4		170	930	600	700			
RECo ₅ 120/160	a	R4-1-5		120	800	620	1 600			
RE ₂ Co ₁₇ 140/100	a	R4-1-10		140	900	620	1 000	1,1	8,3 bis 8,4	
RE ₂ Co ₁₇ 160/70	a	R4-1-11		160	940	600	700			
RE ₂ Co ₁₇ 180/100	a	R4-1-12		180	1 000	680	1 000			
RE ₂ Co ₁₇ 200/70	a	R4-1-13		200	1 050	600	700			
RE ₂ Co ₁₇ 220/70	a	R4-1-14		220	1 100	600	700			
RE ₂ Co ₁₇ 180/150	a	R4-1-15		180	1 000	660	1 500			
RE ₂ Co ₁₇ 200/150	a	R4-1-16		200	1 050	700	1 500			
*) a = anisotrop										
Typische Werte der Parameter:										
RECo ₅										
Temperaturkoeffizient der Remanenz $\alpha(B_r) = -0,04 \text{ \%/}^\circ\text{C}$ (für 20 °C bis 100 °C).										
Temperaturkoeffizient der Koerzitivfeldstärke $\alpha(H_{cJ}) = -0,3 \text{ \%/}^\circ\text{C}$ (für 20 °C bis 100 °C) .										
Curietemperatur: 720 °C.										
Maximale Betriebstemperatur: weniger als 250 °C.										
RE ₂ Co ₁₇										
Temperaturkoeffizient der Remanenz $\alpha(B_r) = -0,03 \text{ \%/}^\circ\text{C}$ (für 20 °C bis 100 °C).										
Temperaturkoeffizient der Koerzitivfeldstärke $\alpha(H_{cJ}) = -0,25 \text{ \%/}^\circ\text{C}$ (für 20 °C bis 100 °C).										
Curietemperatur: 820 °C.										
Maximale Betriebstemperatur: weniger als 350 °C.										

Tabelle 12 – Magnetische Eigenschaften und Dichten von REFeB-Magneten

Werkstoff			Art der Herstellung	Magnetische Eigenschaften					Dichte ρ kg/dm ³
Kurzzeichen	*)	Code-nummer		Höchstwert des Energieproduktes BH $(BH)_{\max}$ kJ/m ³	Remanenz B_r mT	Koerzitivfeldstärke H_{cB} kA/m	Koerzitivfeldstärke H_{cJ} kA/m	Relative permanente Permeabilität μ_{rec}	
REFeB				festgelegte Mindestwerte				typische Werte	
REFeB 170/190	a	R5-1-1	gesintert	170	980	700	1900	1,05	7,5 bis 7,7
REFeB 210/130	a	R5-1-2		210	1060	790	1300		
REFeB 250/120	a	R5-1-3		250	1130	840	1200		
REFeB 290/80	a	R5-1-4		290	1230	700	800		
REFeB 200/190	a	R5-1-5		200	1060	760	1900		
REFeB 240/180	a	R5-1-6		240	1160	840	1800		
REFeB 280/120	a	R5-1-7		280	1240	900	1200		
REFeB 320/88	a	R5-1-8		320	1310	800	880		
REFeB 210/240	a	R5-1-9		210	1060	760	2400		
REFeB 240/200	a	R5-1-10		240	1160	840	2000		
REFeB 310/130	a	R5-1-11		310	1300	900	1300		
REFeB 250/240	a	R5-1-12		250	1200	830	2400		
REFeB 260/200	a	R5-1-13		260	1210	840	2000		
REFeB 340/130	a	R5-1-14		340	1330	920	1300		
REFeB 360/90	a	R5-1-15		360	1350	800	900		
REFeB 380/100	a	R5-1-16		380	1420	990	1000		

*) a = anisotrop

Typische Werte der Parameter:
 Temperaturkoeffizient der Remanenz $\alpha(B_r) = -0,1 \text{ \%/}^\circ\text{C}$ bis $-0,12 \text{ \%/}^\circ\text{C}$ (für 20 °C bis 100 °C).
 Temperaturkoeffizient der Koerzitivfeldstärke $\alpha(H_{cJ}) = -0,45 \text{ \%/}^\circ\text{C}$ bis $-0,6 \text{ \%/}^\circ\text{C}$ (für 20 °C bis 100 °C).
 Curietemperatur: 310 °C.
 Maximale Betriebstemperatur: weniger als 200 °C.

Tabelle 13 – Magnetische Eigenschaften und Dichten von Hartferriten

Werkstoff			Art der Herstellung	Magnetische Eigenschaften					Dichte ρ kg/dm ³
Kurzzeichen	**)	Code-nummer		Höchstwert des Energieproduktes BH (BH) _{max} kJ/m ³	Remanenz B_r mT	Koerzitivfeldstärke H_{cB} kA/m	Koerzitivfeldstärke H_{cJ} kA/m	Relative permanente Permeabilität μ_{rec}	
Hartferrit			festgelegte Mindestwerte				typische Werte		
Hartferrit 7/21	i	S1-0-1	gesintert	6,5	190	125	210	1,2	4,9
Hartferrit 7/25	i	S1-0-2		6,5	190	120	250	1,2	4,9
Hartferrit 20/19	a	S1-1-1		20	320	170	190	1,1	4,8
*) Hartferrit 24/23	a	S1-1-2		24	350	215	230	1,1	4,8
Hartferrit 25/14	a	S1-1-3		25	380	130	135	1,1	5,0
Hartferrit 26/18	a	S1-1-4		26	370	175	180	1,1	5,0
Hartferrit 22/30	a	S1-1-5		22	350	255	295	1,1	4,6
*) Hartferrit 26/26	a	S1-1-6		26	370	230	260	1,1	4,7
*) Hartferrit 29/22	a	S1-1-7		29	390	210	220	1,1	4,8
Hartferrit 32/17	a	S1-1-8		32	410	160	165	1,1	4,9
*) Hartferrit 32/25	a	S1-1-9		32	410	240	250	1,1	4,9
Hartferrit 24/35	a	S1-1-10		24	360	260	350	1,1	4,8
*) Hartferrit 29/15	a	S1-1-11		29	400	145	150	1,1	5,0
Hartferrit 25/38	a	S1-1-12		25	380	275	380	1,1	4,95
*) Hartferrit 31/30	a	S1-1-13		31	410	295	300	1,1	4,95
Hartferrit 35/25	a	S1-1-14		35	430	245	250	1,1	4,95
*) *) Hartferrit 38/27	a	S1-1-15		38	450	260	270	1,1	5,0
*) *) Hartferrit 36/34	a	S1-1-16	36	440	320	340	1,1	5,0	
*) *) Hartferrit 33/38	a	S1-1-17	33	420	300	380	1,1	5,0	

*) Dies sind Vorzugsgrade, die üblicherweise vom Entwickler verwendet werden sollten.

***) i = isotrop; a = anisotrop

+) Diese Grade haben Zusätze von La und Co.

Typische Werte der Parameter:
 Temperaturkoeffizient der Remanenz $\alpha(B_r) = -0,2 \text{ \%/}^\circ\text{C}$ (für 20 °C bis 100 °C).
 Temperaturkoeffizient der Koerzitivfeldstärke $\alpha(H_{cJ}) = 0,25 \text{ \%/}^\circ\text{C}$ bis 0,4 %/°C (für 20 °C bis 100 °C).
 Die La-, Co-Grade (siehe +) haben $\alpha(H_{cJ}) = 0,18 \text{ \%/}^\circ\text{C}$ bis 0,24 %/°C (für 20 °C bis 100 °C).
 Curietemperatur: 450 °C.
 Maximale Betriebstemperatur: weniger als 250 °C.

Tabelle 14 – Magnetische Eigenschaften, Curie-Temperaturen, Betriebstemperatur und Dichten von isotropen AlNiCo-Legierungen mit organischem Binder

Werkstoff			Art der Herstellung	Magnetische Eigenschaften							Betriebs-temperatur	Dichte ρ	
Kurzzeichen	¹⁾	Code-nummer		Höchstwert des Energieproduktes BH $(BH)_{max}$ kJ/m ³	Remanenz B_r mT	Koerzitivfeldstärke H_{CB} kA/m	Koerzitivfeldstärke H_{cJ} kA/m	Relative permanente Permeabilität μ_{rec}	$\alpha(B_r)$ %/°C	$\alpha(H_{cJ})$ %/°C			Curie-Temperatur °C
AlNiCo p				festgelegte Mindestwerte				typische Werte					
AlNiCo 3/5p	i	U1-0-1	Druckguss	3,1	280	37	46	2,5	siehe Tabelle 9	siehe Tabelle 9	750 bis 800	abhängig vom Binder	5,3
AlNiCo 5/6p	i	U1-0-2		5,2	320	46	56	2,5					5,4
AlNiCo 7/8p	i	U1-0-3		7,0	340	72	84	2,5					5,5
¹⁾ i = isotrop													

Tabelle 15 – Magnetische Eigenschaften, Curie-Temperaturen, Betriebstemperatur und Dichten von isotropen RECo-Legierungen mit organischem Binder

Werkstoff			Art der Herstellung	Magnetische Eigenschaften							Betriebs-temperatur °C	Dichte ρ kg/dm ³
Kurzzeichen	^{*)}	Code-nummer ¹⁾		Höchstwert des Energieproduktes BH $(BH)_{max}$ kJ/m ³	Remanenz B_r mT	Koerzitivfeldstärke H_{CB} kA/m	Koerzitivfeldstärke H_{cJ} kA/m	Relative permanente Permeabilität μ_{rec}	$\alpha(B_r)$ %/°C	$\alpha(H_{cJ})$ %/°C		
RECo p			festgelegte Mindestwerte					typische Werte				
RECo 20/60p	i	U2-0-20	Spritzguss	20	350	200	600	1,15	siehe Tabelle 11		abhängig vom Binder	5,6
RECo 30/80p	i	U2-0-30	Formpressen	30	430	300	800	1,15				6,8
RECo 40/60p	a	U2-1-20	Spritzguss	40	480	300	600	1,05				5,3
RECo 65/70p	a	U2-1-21		65	610	360	700	1,05				5,5
RECo 75/55p	a	U2-1-22		75	650	440	550	1,05				5,7
RECo 110/75p	a	U2-0-30	Formpressen	110	780	480	750	1,05				6,8
^{*)} i = isotrop; a = anisotrop ¹⁾ x = [10 + n] beim Kalandrieren oder Extrudieren, x = [20 + n] beim Spritzgießen oder Extrudieren, x = [30 + n] beim Formpressen, n = 0, 1, 2, ..., 9.												

Tabelle 16 – Magnetische Eigenschaften und Dichten von isotropen REFeB-Legierungen mit organischem Binder

Werkstoff			Art der Herstellung	Magnetische Eigenschaften					Dichte ρ kg/dm ³
Kurzzeichen	*)	Code-nummer 1)		Höchstwert des Energieproduktes BH $(BH)_{max}$ kJ/m ³	Remanenz B_r mT	Koerzitivfeldstärke H_{cB} kA/m	Koerzitivfeldstärke H_{cJ} kA/m	relative permanente Permeabilität μ_{rec}	
Hartferrite				festgelegte Mindestwerte				typische Werte	
REFeB 28/56p	i	U3-0-20	Spritzguss	28	430	270	560	1,25	4,2
REFeB 33/56p	i	U3-0-21		33	470	290	560	1,25	4,6
REFeB 26/90p	i	U3-0-22		26	400	270	900	1,15	4,2
REFeB 30/90p	i	U3-0-23		30	440	280	900	1,15	4,6
REFeB 40/70p	i	U3-0-24		40	470	320	700	1,25	5,0
REFeB 45/70p	i	U3-0-25		45	510	350	700	1,25	5,7
REFeB 50/70p	i	U3-0-26		50	550	380	700	1,25	5,7
REFeB 72/64p	i	U3-0-27		72	650	370	640	1,25	6,0
REFeB 40/100p	i	U3-0-28	40	480	330	1 000	1,15	5,3	
REFeB 63/64p	i	U3-0-30	Druckguss	63	630	360	640	1,25	5,8
REFeB 53/95p	i	U3-0-31		53	560	350	950	1,15	5,8
REFeB 82/68p	i	U3-0-32		82	700	500	680	1,25	6,2

*) i = isotrop

1) $x = [10 + n]$ für Kalandrierung oder Extrusion, $x = [20 + n]$ für Spritzguss, $x = [30 + n]$ für Druckguss, $n = 0, 1, 2, \dots, 9$.

Typische Werte der Parameter:
 Temperaturkoeffizient der Remanenz $\alpha(B_r) = -0,1 \text{ \%/}^\circ\text{C}$ (für 20 °C bis 100 °C).
 Temperaturkoeffizient der Koerzitivfeldstärke $\alpha(H_{cJ}) = -0,4 \text{ \%/}^\circ\text{C}$ (für 20 °C bis 100 °C).
 Curietemperatur der REFeB-Legierung: 310 °C.
 Maximale Betriebstemperatur: weniger als 120 °C.

A&I-Normenabonnement - Robert Bosch GmbH - Kd.-Nr.140250 - Abo-Nr.00703187/002/001 - 2005-07-27 10:38:07

Tabelle 17 – Magnetische Eigenschaften, Curie-Temperaturen, Betriebstemperatur und Dichten von isotropen und anisotropen Hartferriten mit organischem Binder

Werkstoff			Art der Herstellung	Magnetische Eigenschaften							Betriebs-temperatur °C	Dichte ρ kg/dm ³
Kurzzeichen	^{*)}	Code-nummer ¹⁾		Höchstwert des Energieproduktes BH $(BH)_{max}$ kJ/m ³	Remanenz B_r mT	Koerzitivfeldstärke H_{CB} kA/m	Koerzitivfeldstärke H_{cJ} kA/m	Relative permanente Permeabilität μ_{rec}	$\alpha(B_r)$ %/°C	$\alpha(H_{cJ})$ %/°C		
Hartferrit p			festgelegte Mindestwerte					typische Werte				
Hartferrit 3/16p	i	U4-0-10	Extrusion	3,2	130	85	160	1,15	siehe Tabelle 12			3,8
Hartferrit 1/18p	i	U4-0-20	Spritzguss	0,8	70	50	175	1,1				2,3
Hartferrit 3/18p	i	U4-0-21		3,2	135	85	175	1,1				3,8
Hartferrit 4/22p	i	U4-0-22		3,5	145	110	215	1,1				3,8
Hartferrit 7/18p	a	U4-1-10		Extrusion oder Kalandrierung	6,5	185	110	175				1,1
Hartferrit 9/17p	a	U4-1-11	9		215	145	170	1,1				3,6
Hartferrit 11/24p	a	U4-1-12	11		240	170	240	1,1				3,7
Hartferrit 15/24p	a	U4-1-13	14,5		275	190	240	1,1				3,8
Hartferrit 8/19p	a	U4-1-20	Spritzguss	7,5	210	120	185	1,1				3,2
Hartferrit 12/23p	a	U4-1-21		12	250	170	230	1,1				3,5
Hartferrit 15/21p	a	U4-1-22		15	280	180	210	1,1				3,7
^{*)} i = isotrop; a = anisotrop ¹⁾ x = [10 + n] beim Kalandrieren oder Extrudieren, x = [20 + n] beim Spritzgießen oder Extrudieren, x = [30 + n] beim Formpressen, n = 0, 1, 2, ..., 9.												

Tabelle 18 – Zulässige Maßabweichungen von Magneten aus (gegossenen oder gesinterten) AlNiCo-Legierungen (Werte in Millimeter)

Nennmaß		Gesinterte Legierungen ≤ 1 % Ti		Gesinterte Legierungen ≥ 1 % Ti		Gegossene Legierungen	
größer als	bis	senkrecht zur Pressrichtung ±	in Pressrichtung ±	senkrecht zur Pressrichtung ±	in Pressrichtung v	extrudiert oder gewalzt ±	spritzgegossen oder gepresst ±
4	4 6	0,15 0,20	0,20 0,25	0,25 0,25	0,25 0,30	0,40 0,40	0,25 0,25
6	8	0,20	0,25	0,25	0,30	0,40	0,25
8	10	0,20	0,30	0,30	0,35	0,45	0,25
10	13	0,25	0,30	0,30	0,35	0,50	0,30
13	16	0,25	0,35	0,35	0,45	0,50	0,30
16	20	0,30	0,35	0,40	0,45	0,55	0,40
20	25	0,30	0,40	0,45	0,55	0,60	0,50
25	30	0,35	0,45	0,50	0,60	0,65	0,50
30	35	0,40	0,50	0,55	0,70	0,70	0,60
35	40	0,45	0,55	0,65	0,75	0,75	0,60
40	45	0,50	0,60	0,70	0,85	0,80	0,70
45	50	0,50	0,65	0,75	0,90	0,80	0,70
50	55	0,55	0,70	0,80	1,00	1,00	0,80
55	60	0,60	0,80	0,90	1,10	1,00	0,80
60	70	–	–	–	–	1,00	0,80
70	80	–	–	–	–	1,00	0,80
80	90	–	–	–	–	1,10	0,80
90	100	–	–	–	–	1,20	0,80

Tabelle 19 – Zulässige Maßabweichungen von kaltgewalztem Band aus FeCoVCr- und CrFeCo-Legierungen mit einer max. Dicke von 6 mm und einer max. Breite von 125 mm
(Werte in Millimeter)

Dicke (max. 6 mm)			Breite (max. 125 mm)			
Dickenbereich		Zulässige Dickenabweichung ²⁾ ±	Art der Kanten	Dickenbereich		Zulässige Abweichung der Breite
von	bis kleiner als			von	bis kleiner als	
0,10	0,15	0,010	geschnitten	0,10	0,40	+ 0,3
0,15	0,40	0,020	geschnitten	0,40	1,50	+ 0,4
0,40	1,00	0,030	geschnitten	1,50	2,50	+ 0,6
1,00	1,50	0,040	geschnitten	2,50	6,00 ¹⁾	+ 0,8
1,50	2,50	0,050	Originalzustand (wie gewalzt)	0,3	6,00 ¹⁾	+ 3,0
2,50	4,00	0,060				
4,00	6,00 ¹⁾	0,080				

¹⁾ Einschließlich 6 mm.

²⁾ Die Dicke darf an jedem Punkt des Bandes, der mindestens 20 mm von der Kante entfernt ist, gemessen werden. Für Breiten ≤ 40 mm muss die Messung in der Streifenmitte erfolgen.

Tabelle 20 – Zulässige Durchmesserabweichungen von kaltgezogenen Drähten und Stäben aus FeCoVCr- und CrFeCo-Legierungen
(Werte in Millimeter)

Durchmesserbereich		Zulässige Durchmesserabweichung ±
von	bis kleiner als	
	0,25	0,01
0,25	0,40	0,015
0,40	0,63	0,02
0,63	1,0	0,03
1,0	1,6	0,04
1,6	2,5	0,06
2,5	4,0	0,08
4,0	6,3	0,10
6,3	10,0	0,15
10,0	16,0	0,20
16,0	20,0 (Wert eingeschlossen)	0,26

Tabelle 21 – Zulässige Maßabweichungen von Magneten aus Hartferriten (Werte in Millimeter)

Nennmaß		Isotrope Hartferrite		Anisotrope Hartferrite		Hartferrite mit Binder	
größer als	bis	senkrecht zur Pressrichtung ±	in Pressrichtung ±	senkrecht zur Pressrichtung ±	in Pressrichtung ¹⁾ ±	extrudiert oder gewalzt ±	spritzgegossen oder gepresst ±
	4	0,25	0,40	0,25	0,40	0,15	0,10
4	6	0,25	0,40	0,25	0,40	0,15	0,10
6	8	0,25	0,40	0,25	0,40	0,15	0,10
8	10	0,30	0,40	0,30	0,40	0,15	0,10
10	13	0,30	0,40	0,30	0,40	0,20	0,10
13	16	0,30	0,40	0,35	0,45	0,20	0,15
16	20	0,35	0,45	0,45	0,55	0,25	0,15
20	25	0,40	0,55	0,55	0,70	0,30	0,15
25	30	0,55	0,70	0,70	0,90	0,35	0,20
30	35	0,65	0,85	0,80	1,00	0,40	0,20
35	40	0,75	1,00	0,95	1,20	0,45	0,25
40	45	0,85	1,15	1,10	1,35	0,50	0,25
45	50	0,95	1,30	1,20	–	0,50	0,25
50	55	1,05	1,65	1,30	–	0,55	0,30
55	60	1,15	1,80	1,45	–	0,60	0,30
60	70	1,30	2,10	1,65	–	0,70	0,35
70	80	1,50	2,40	1,90	–	–	–
80	90	1,70	2,70	2,15	–	–	–
90	100	1,90	3,00	2,40	–	–	–

¹⁾ Nass verdichtete Hartferrite werden auf der Poffläche immer geschliffen.

Anhang A (informativ)

Physikalische Daten und mechanische Referenzwerte von AlNiCo-, CrFeCo-, FeCoVCr-, SmCo-, NdFeB- und Hartferrit-Magneten

Tabelle A.1 gibt einige physikalische und mechanische Daten für verschiedene Typen von hartmagnetischen Werkstoffen. Diese schließen AlNiCo-, CrFeCo-, FeCoVCr-, RECo-, REFeB- und Hartferrit-Magnete ein.

Diese Daten dienen nur als Referenzwerte. Sie ermöglichen einen qualitativen Vergleich der Werkstoffe bezüglich physikalischer und mechanischer Eigenschaften.

Tabelle A.1 – Physikalische Daten und mechanische Referenzwerte von AlNiCo-, CrFeCo-, FeCoVCr-, SmCo-, NdFeB- und Hartferrit-Magneten

Werkstoff/Herstellung				Physikalische Eigenschaften			Mechanische Referenzeigenschaften			
Kurzzeichen)	Codenummer	Herstellung	Thermischer Ausdehnungskoeffizient 10 ⁻⁶ /°C	Thermische Leitfähigkeit W/m·K	Spezifischer elektrischer Widerstand μΩ m	Zugfestigkeit MPa	Druckfestigkeit MPa	Elastizitätsmodul 10 ³ MPa	Härte HV
AlNiCo	i oder a	R1-0-x und R1-1-x	gegossen oder gesintert	11 bis 12	10 bis 50	0,45 bis 0,55	80 bis 300	300 bis 400	100 bis 200	300 bis 400
CrFeCo	i oder a	R6-0-x oder R6-1-x	gegossen oder gesintert	10 bis 11	10 bis 30	0,7 bis 0,8	1 200 bis 1 400 ¹⁾ 600 bis 700 ²⁾			300 bis 350 ¹⁾ 400 bis 500 ²⁾
FeCoVCr	a	R3-1-x	gegossen	11 bis 12		0,55 bis 0,65	2 000 bis 2 500 ¹⁾ 2 500 bis 3 500 ²⁾			
SmCo ₅	a	R5-1-x	gesintert	6 bis 7 ⊥ 12 bis 13	10 bis 13	0,5 bis 0,6	30 bis 40	900 bis 1 000	100 bis 150	500 bis 600
Sm ₂ Co ₁₇				8 bis 10 ⊥ 10 bis 12		0,75 bis 0,85	40 bis 50	800 bis 900	150 bis 200	600 bis 700
NdFeB	a	R7-1-x	gesintert	3 bis 4 ⊥ (1 bis 3)	8 bis 10	1,4 bis 1,6	80 bis 90	1000 bis 1 100	150 bis 200	500 bis 600
Hartferrit	i a	S1-0-x S1-1-x	gesintert	9 bis 10 12 bis 13 ⊥ 10 bis 11	4	> 10 ⁴	50 bis 60	600 bis 700	15 bis 200	500 bis 600

) i = isotrop; a = anisotrop
 1) kalt bearbeitet
 2) getempert