

DIN IEC 60404-1

ICS 29.030

**Magnetische Werkstoffe –
Teil 1: Einteilung (IEC 60404-1:2000)**

Magnetic materials –
Part 1: Classification (IEC 60404-1:2000)

Matériaux magnétiques –
Partie 1: Classification (CEI 60404-1:2000)

Gesamtumfang 55 Seiten

DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik im DIN und VDE
Normenausschuss Eisen und Stahl (FES) im DIN
Normenausschuss Materialprüfung (NMP) im DIN
Fachausschuss Mineralöl- und Brennstoffnormung (FAM) des NMP

Inhalt

	Seite
Nationales Vorwort.....	6
1 Allgemeines	7
1.1 Zweck und Anwendungsbereich	7
1.2 Normative Verweisungen	7
1.3 Begriffe	8
2 Magnetisch weiche Werkstoffe (Koerzitivfeldstärke ≤ 1 kA/m)	8
2.1 Klasse A – Eisen	8
2.1.1 Allgemeines	8
2.1.2 Physikalische Eigenschaften	9
2.1.3 Hauptanwendungsgebiete.....	10
2.2 Klasse B – Weicher kohlenstoffarmer Stahl	10
2.2.1 Klasse B.1 – Massivmaterial	10
2.2.2 Klasse B.2 – Flacherzeugnisse	11
2.3 Klasse C – Siliciumstähle	12
2.3.1 Klasse C.1 – Massivmaterial	12
2.3.2 Klasse C.2 – Flacherzeugnisse	13
2.4 Klasse D – Andere Stähle	20
2.4.1 Klasse D.1 – Massivwerkstoffe	20
2.4.2 Klasse D.2 – Flacherzeugnisse.....	22
2.4.3 Klasse D.3 – Nichtrostende Stähle.....	23
2.5 Klasse E – Nickel-Eisen-Legierungen	25
2.5.1 Klasse E.1 – Nickelgehalt 72 % bis 83 %	25
2.5.2 Klasse E.2 – Nickelgehalt 54 % bis 68 %	27
2.5.3 Klasse E.3 – Nickelgehalt 45 % bis 50 %	28
2.5.4 Klasse E.4 – Nickelgehalt 35 % bis 40 %	30
2.5.5 Klasse E.5 – Nickelgehalt 29 % bis 33 %	31
2.6 Klasse F – Eisen-Kobalt-Legierungen.....	32
2.6.1 Klasse F.1 – Kobaltgehalt 47 % bis 50 %	32
2.6.2 Klasse F.2 – Kobaltgehalt 35 %	33
2.6.3 Klasse F.3 – Kobaltgehalt 23 % bis 27 %	34
2.7 Klasse G – Andere Legierungen	35
2.7.1 Klasse G.1 – Aluminium-Eisen-Legierungen	35
2.7.2 Klasse G.2 – Aluminium-Silicium-Eisen-Legierungen.....	36
2.8 Klasse H – Weichmagnetische Werkstoffe, hergestellt mittels pulvermetallurgischer Verfahren.....	37
2.8.1 Klasse H.1 – Weichferrite	37
2.8.2 Klasse H.2 – Weichmagnetische Sinterwerkstoffe.....	38
2.8.3 Klasse H.3 – Pulververbundwerkstoffe	40

	Seite
2.9 Klasse I – Amorphe weichmagnetische Werkstoffe	41
2.9.1 Klasse I.1 – Eisen-Basis-Legierungen	41
2.9.2 Klasse I.2 – Kobalt-Basis-Legierungen	42
2.9.3 Klasse I.3 – Nickel-Basis-Legierungen	43
3 Magnetisch harte Werkstoffe (Koerzitivfeldstärke > 1 kA/m)	44
3.1 Klasse Q – Magnetostruktionswerkstoffe – Seltene-Erden-Eisen-Legierungen (Klasse Q.1)	44
3.1.1 Allgemeines	44
3.1.2 Physikalische Eigenschaften	44
3.1.3 Hauptanwendungsgebiete	45
3.2 Klasse R – Hartmagnetische Legierungen	45
3.2.1 Klasse R.1 – Aluminium-Nickel-Kobalt-Eisen-Titan-Legierungen	45
3.2.2 Klasse R.3 – Eisen-Kobalt-Vanadium-Chrom-Legierungen	46
3.2.3 Klasse R.5 – Seltene-Erden-Kobalt (SE-Co) -Legierungen	47
3.2.4 Klasse R.6 – Chrom-Eisen-Kobalt-Legierungen	48
3.2.5 Klasse R.7 – Seltene-Erden-Eisen-Bor-Legierungen	49
3.3 Klasse S – Hartmagnetische Keramik – Hartferrite (Klasse S.1)	50
3.3.1 Allgemeines	50
3.3.2 Physikalische Eigenschaften	51
3.3.3 Hauptanwendungsgebiete	51
3.4 Klasse T – Andere hartmagnetische Werkstoffe – Martensitische Stähle (Klasse T.1)	51
3.4.1 Allgemeines	51
3.4.2 Physikalische Eigenschaften	52
3.4.3 Hauptanwendungsgebiete	52
3.5 Klasse U – Kunststoffgebundene hartmagnetische Werkstoffe	52
3.5.1 Klasse U.1 – Kunststoffgebundene Aluminium-Nickel-Kobalt-Eisen-Titan-Magnete	53
3.5.2 Klasse U.2 – Kunststoffgebundene Seltene-Erden-Kobalt-Magnete	53
3.5.3 Klasse U.3 – Kunststoffgebundene Neodym-Eisen-Bor-Magnete	54
3.5.4 Klasse U.4 – Kunststoffgebundene Hartferrite	55
Tabelle 1 – Bereiche der chemischen Zusammensetzung	9
Tabelle 2 – Bereiche festgelegter Werte für magnetische Eigenschaften	10
Tabelle 3 – Bereiche typischer Werte für magnetische und mechanische Eigenschaften	11
Tabelle 4 – Bereiche für den Höchstwert des spezifischen Ummagnetisierungsverlustes	12
Tabelle 5 – Bereiche festgelegter Werte für magnetische und elektrische Eigenschaften	13
Tabelle 6 – Bereiche festgelegter Höchstwerte des spezifischen Ummagnetisierungsverlustes	14
Tabelle 7 – Bereiche festgelegter Höchstwerte des spezifischen Ummagnetisierungsverlustes	16
Tabelle 8 – Bereiche typischer Höchstwerte des spezifischen Ummagnetisierungsverlustes	16
Tabelle 9 – Festgelegte Höchstwerte des Ummagnetisierungsverlustes	17
Tabelle 10 – Typische Werte für mechanische und magnetische Eigenschaften für eine Dicke von 0,50 mm	19

	Seite
Tabelle 11 – Typische Werte für magnetische Eigenschaften	20
Tabelle 12 – Typische Bereiche der magnetischen und mechanischen Eigenschaften	21
Tabelle 13 – Typische Bereiche der mechanischen Eigenschaften.....	22
Tabelle 14 – Bereiche der festgelegten Werte für mechanische und magnetische Eigenschaften warm gewalzter Erzeugnisse	23
Tabelle 15 – Bereiche der festgelegten Werte für mechanische und magnetische Eigenschaften kalt gewalzter Erzeugnisse	23
Tabelle 16 – Bereiche der chemischen Zusammensetzung	24
Tabelle 17 – Typische magnetische Eigenschaften im schlussgeglühten Zustand	25
Tabelle 18 – Festgelegte magnetische Eigenschaften von Werkstoffen mit runder Hystereseschleife.....	26
Tabelle 19 – Typische magnetische Eigenschaften von Werkstoffen mit flacher Hystereseschleife.....	26
Tabelle 20 – Typische magnetische Eigenschaften von Werkstoffen mit rechteckiger Hystereseschleife	26
Tabelle 21 – Typische magnetische Eigenschaften von Werkstoffen mit runder Hystereseschleife	28
Tabelle 22 – Typische magnetische Eigenschaften von Werkstoffen mit flacher Hystereseschleife.....	28
Tabelle 23 – Festgelegte magnetische Eigenschaften ¹⁾ von Werkstoffen mit runder Hystereseschleife	29
Tabelle 24 – Typische magnetische Eigenschaften von Werkstoffen mit flacher Hystereseschleife.....	29
Tabelle 25 – Typische magnetische Eigenschaften von Werkstoffen mit rechteckiger Hystereseschleife	29
Tabelle 26 – Festgelegte magnetische Eigenschaften von Werkstoffen im schlussgeglühten Zustand.....	31
Tabelle 27 – Typische physikalische Eigenschaften	32
Tabelle 28 – Bereiche festgelegter magnetischer Eigenschaften von Werkstoffen mit runder Hystereseschleife	33
Tabelle 29 – Typische magnetische Eigenschaften der Werkstoffe mit rechteckiger Hystereseschleife	33
Tabelle 30 – Festgelegte magnetische Eigenschaften.....	34
Tabelle 31 – Festgelegte magnetische Eigenschaften.....	35
Tabelle 32 – Typische Eigenschaften für Mn-Zn-Ferrite	38
Tabelle 33 – Typische Eigenschaften für Ni-Zn-Ferrite.....	38
Tabelle 34 – Bereiche festgelegter Eigenschaften.....	39
Tabelle 35 – Typische physikalische und magnetische Eigenschaften.....	40
Tabelle 36 – Typische physikalische und magnetische Eigenschaften.....	41
Tabelle 37 – Typische physikalische und magnetische Eigenschaften.....	42
Tabelle 38 – Typische physikalische Eigenschaften	45
Tabelle 39 – Bereiche festgelegter magnetischer Eigenschaften	46
Tabelle 40 – Festgelegte Werte der magnetischen Eigenschaften.....	47
Tabelle 41 – Bereiche von festgelegten magnetischen Eigenschaften und der Dichte von gesinterten Werkstoffen.....	48
Tabelle 42 – Bereiche festgelegter magnetischer Eigenschaften	49
Tabelle 43 – Bereiche festgelegter magnetischer Eigenschaften und der Dichte für anisotrope SE- FeB-Legierungen ^{N3)}	50

	Seite
Tabelle 44 – Bereiche festgelegter magnetischer Eigenschaften	51
Tabelle 45 – Typische magnetische Eigenschaften	52
Tabelle 46 – Festgelegte Werte magnetischer Eigenschaften	53
Tabelle 47 – Festgelegte Werte magnetischer Eigenschaften	54
Tabelle 48 – Bereiche der typischen physikalischen und magnetischen Eigenschaften	54
Tabelle 49 – Bereiche der festgelegten magnetischen Eigenschaften	55

Nationales Vorwort

Vorausgegangener Norm-Entwurf: E DIN EN 60404-1:1998-10.

Für diese Norm ist das nationale Arbeitsgremium K 171 „Magnetische Legierungen und Stahl“ der DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik im DIN und VDE (www.dke.de) zuständig.

Die enthaltene IEC-Publikation wurde vom TC 68 „Magnetic alloys and steels“ erarbeitet.

An einigen Stellen in dieser Norm werden Einheiten verwendet, die nicht dem internationalen Einheitensystem (SI) entsprechen. IEC wurde auf den Fehler hingewiesen, damit dies in der nächsten Überarbeitung entsprechend korrigiert werden kann.

Das IEC-Komitee hat entschieden, dass der Inhalt dieser Publikation bis zum Jahr 2009 unverändert bleiben soll. Zu diesem Zeitpunkt wird entsprechend der Entscheidung des Komitees die Publikation

- bestätigt,
- zurückgezogen,
- durch eine Folgeausgabe ersetzt oder
- geändert.

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 Europäische Norm EN 60068 durch CENELEC übernommen und als DIN EN 60068 ins Deutsche Normenwerk aufgenommen.

1 Allgemeines

1.1 Zweck und Anwendungsbereich

Diese Norm wurde mit dem Ziel erarbeitet, kommerziell erhältliche magnetische Werkstoffe einzuteilen.

Der Begriff „Magnetische Werkstoffe“ bezeichnet Substanzen, deren Anwendung das Vorhandensein ferro- oder ferrimagnetischer Eigenschaften erfordert.

In dieser Norm erfolgt die Einteilung der magnetischen Werkstoffe nach zwei Hauptproduktgruppen, deren Vorhandensein allgemein anerkannt wird:

- weichmagnetische Werkstoffe (Koerzitivfeldstärke $\leq 1\,000\text{ A/m}$);
- hartmagnetische Werkstoffe (Koerzitivfeldstärke $> 1\,000\text{ A/m}$).

Innerhalb dieser Hauptgruppen berücksichtigt die Einteilung gegebenenfalls folgende Merkmale:

- das hauptsächliche Legierungselement, den metallurgischen Zustand und die physikalischen Eigenschaften des Werkstoffs;
- wenn es möglich und zweckmäßig ist, eine Beziehung zwischen diesen Eigenschaften.

Eine Einteilung nach den besonderen Anwendungsgebieten kann nicht für alle Werkstoffe angewandt werden, da sehr häufig abhängig von den geforderten Merkmalen verschiedene Werkstoffe für die gleiche Anwendung benutzt werden.

1.2 Normative Verweisungen

Die folgenden Normen enthalten Festlegungen, die durch Verweisung in diesem Text Bestandteil dieses Teiles der IEC 60404 Norm sind. Zum Zeitpunkt der Veröffentlichung dieser Norm gelten die angegebenen Ausgaben. Alle Normen unterliegen der Überarbeitung, und Anwender dieser Norm werden gebeten, die jeweils neueste Ausgabe der im Folgenden genannten Normen anzuwenden. Mitglieder von IEC und ISO führen Verzeichnisse der gültigen Internationalen Normen.

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

IEC 60050-151:1978, *International Electrotechnical Vocabulary (IEV) – Chapter 151: Electrical and magnetic devices*

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

IEC 60401:1993, *Ferrite materials – Guide on the format of data appearing in manufacturers' catalogues of transformer and inductor cores*

IEC 60404 (all parts), *Magnetic materials*

IEC 60404-2:1996, *Magnetic Materials – Part 2: Methods of measurement of magnetic properties of electrical steel sheet and strip by means of an Epstein frame*

IEC 60404-3:1992, *Magnetic Materials – Part 3: Methods of measurement of the magnetic properties of magnetic sheet and strip by means of a single sheet tester*

IEC 60404-4:1995, *Magnetic Materials – Part 4: Methods of measurement of the d. c. magnetic properties of iron and steel*

IEC 60404-6:1986, *Magnetic Materials – Part 6: Methods of measurement of the magnetic properties of isotropic nickel-iron soft magnetic alloys types E1, E3 and E4*

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

IEC 60404-8-1:1986, *Magnetic Materials – Part 8: Specifications for individual materials – Section 1: Standard specifications for magnetically hard materials*

IEC 60404-8-2:1998, *Magnetic Materials – Part 8-2: Specifications for individual materials – Cold-rolled magnetic alloyed steel sheet and strip delivered in the semi-processed state*

IEC 60404-8-3:1998, *Magnetic Materials – Part 8-3: Specifications for individual materials – Cold-rolled magnetic non-alloyed steel sheet and strip delivered in the semi-processed state*

IEC 60404-8-4:1998, *Magnetic Materials – Part 8-4: Specifications for individual materials – Cold-rolled non-oriented magnetic steel sheet and strip delivered in the fully processed state*

IEC 60404-8-5:1989, *Magnetic Materials – Part 8: Specifications for individual materials – Section 5: Specification for steel sheet and strip with specified mechanical properties and magnetic permeability*

IEC 60404-8-6:1999, *Magnetic Materials – Part 8-6: Specifications for individual materials – Soft magnetic metallic materials*

IEC 60404-8-7:1998, *Magnetic Materials – Part 8-7: Specifications for individual materials – Cold-rolled grain-oriented electrical steel sheet and strip delivered in the fully processed state*

IEC 60404-8-8:1991, *Magnetic Materials – Part 8: Specifications for individual materials – Section 8: Specification for thin magnetic steel strip for use at medium frequencies*

IEC 60404-8-9:1994, *Magnetic Materials - Part 8: Specifications for individual materials – Section 9: Standard specifications for sintered soft magnetic materials*

IEC 60404-8-10:1994, *Magnetic Materials – Part 8: Specifications for individual materials – Section 10: Specification for magnetic materials (iron and steel) for use in relays*

IEC 60404-10:1988, *Magnetic Materials – Part 10: Methods of measurement of magnetic properties of magnetic steel sheet and strip at medium frequencies*

ISO 4948-1:1982, *Steels – Classification – Classification of steels into unalloyed and alloy steels based on chemical composition*

1.3 Begriffe

Die Begriffe, die die verschiedenen Ausdrücke in diesem Teil der IEC 60404 betreffen, sind in IEC 60050-121, IEC 60050-151, IEC 60050-221 und in den Werkstoffnormen der Serie 60404-8 festgelegt.

2 Magnetisch weiche Werkstoffe (Koerzitivfeldstärke ≤ 1 kA/m)

2.1 Klasse A – Eisen

2.1.1 Allgemeines

Diese Werkstoffe werden durch die IEC 60404-8-6 und IEC 60404-8-10 abgedeckt.

2.1.1.1 Chemische Zusammensetzung

Grundbestandteil dieser Werkstoffe ist Eisen, und sie werden oft als „handelsüblich reine“ oder „weichmagnetische“ Eisen bezeichnet. Elemente, welche die remanente magnetische Polarisierung, die Koerzitivfeldstärke, die Sättigungspolarisation und die Stabilität der magnetischen Eigenschaften negativ beeinflussen, sind zur Erreichung der für die vorgesehene Anwendung geforderten magnetischen

Eigenschaften eingeschränkt. Die Gehalte der wichtigsten Elemente außer Eisen liegen, so in diesen Werkstoffen vorhanden, typischerweise innerhalb der Bereiche der Tabelle 1.

Tabelle 1 – Bereiche der chemischen Zusammensetzung

C %	Si %	Mn %	P %	S %	Al %	Ti %	V %
Bis zu 0,03	Bis zu 0,1	0,03 bis 0,2	Bis zu 0,015 *	Bis zu 0,03 *	Bis zu 0,08	Bis zu 0,1	Bis zu 0,1
* Für eine verbesserte Zerspanbarkeit können die oberen Grenzwerte für P und S höher als in der Tabelle angegeben sein.							

2.1.1.2 Grundlage der Untereinteilung

Die empfohlene Untereinteilung richtet sich nach den Werten der Koerzitivfeldstärke.

2.1.1.3 Lieferformen

Diese Werkstoffe sind in vielen Formen erhältlich. Sie können als Brammen, Knüppel, Blöcke oder Schmiedeteile geliefert werden; als warm gewalzte Vorbramme mit rechteckigen oder quadratischen Querschnitten; als warm gewalzter Draht mit rundem, sechs- oder achteckigem Querschnitt; in kalt gewalzter oder gezogener Form als Stab oder Draht; als warm- oder kalt gewalztes Blech oder Band.

2.1.2 Physikalische Eigenschaften

Zusätzlich zu den Werten für die Koerzitivfeldstärke kann eine vollständigere Beschreibung dieser Werkstoffe durch die folgenden Eigenschaften erfolgen:

- magnetisch: magnetische Sättigungspolarisation, magnetische Polarisation bei verschiedenen magnetischen Feldstärken (hieraus kann die Permeabilität abgeleitet werden), Stabilität der Eigenschaften mit der Zeit;
- mechanisch: Härte, Stanzbarkeit, Zerspanbarkeit, Tiefzieheigenschaften, Zugfestigkeit;
- metallurgischer Zustand: warm- oder kalt umgeformt, geschmiedet, tiefgezogen, schlussgeglüht.

ANMERKUNG Für einen Werkstoff, welcher nicht im schlussgeglühten Zustand geliefert wird, erfolgt die Unterteilung aufgrund der Koerzitivfeldstärke, gemessen nach einer Wärmebehandlung gemäß den Anforderungen der Werkstoffnorm oder gemäß den Empfehlungen des Herstellers.

Bereiche festgelegter Werte für die oben angeführten magnetischen Eigenschaften im schlussgeglühten Zustand sind in Tabelle 2 dargestellt.

Tabelle 2 – Bereiche festgelegter Werte für magnetische Eigenschaften

Höchstwert der Koerzitivfeldstärke	Mindestwert der magnetischen Polarisation für $H =$			Mindestwert der magnetischen Sättigungspolarisation *
	300 A/m	500 A/m	4 000 A/m	
A/m	T	T	T	T
12 bis 240	1,30 bis 1,15	1,40 bis 1,30	1,60	2,10 bis 2,16
* Werte nicht festgelegt, sondern typisch.				

2.1.3 Hauptanwendungsgebiete

Hauptanwendungsgebiete sind Gleichstromrelais, Lautsprecher, Elektromagnete, magnetische Kupplungen, Bremsen, Teile magnetischer Kreise von Mess- und Regelgeräten sowie Polschuhe und andere gleichstromerregte Teile für Generatoren und Motoren.

2.2 Klasse B – Weicher kohlenstoffarmer Stahl

2.2.1 Klasse B.1 – Massivmaterial

2.2.1.1 Allgemeines

Einige dieser Werkstoffe werden durch IEC 60404-8-10 abgedeckt.

2.2.1.1.1 Chemische Zusammensetzung

Grundbestandteil dieser Werkstoffe ist Eisen mit unvermeidbaren Verunreinigungen zusammen mit einem niedrigen Gehalt anderer Elemente, welche von Beimengungen herrühren können, die während des Herstellungsverfahrens erforderlich sind. Der Gehalt an Legierungselementen ist auf denjenigen von unlegierten Stählen nach ISO 4948-1 begrenzt, insbesondere beträgt der Siliciumgehalt weniger als 0,5 %.

2.2.1.1.2 Grundlage der Untereinteilung

Die empfohlene Untereinteilung richtet sich nach der Koerzitivfeldstärke.

2.2.1.1.3 Lieferformen

Die Werkstoffe werden üblicherweise in der Form von Guss- oder Schmiedestücken im schlussgeglühten Zustand oder nach kundenseitig zur Verfügung gestellten Zeichnungen teilweise bearbeitet geliefert oder als Vorbramme oder Draht im warm- oder kalt gewalzten oder kalt gezogenen Zustand.

2.2.1.2 Physikalische Eigenschaften

Zusätzlich zu der Koerzitivfeldstärke kann eine vollständigere Beschreibung dieser Werkstoffe durch die folgenden Eigenschaften erfolgen:

- magnetisch: magnetische Polarisation bei verschiedenen Werten der magnetischen Feldstärke;
- mechanisch: Streckgrenze (oder 0,2%-Dehngrenze), Dehnung ($L_0 = 5 d_0$), Fehlerfreiheit;
- metallurgischer Zustand: warm- oder kalt umgeformt, geblüht zur Erzielung der erforderlichen magnetischen Eigenschaften.

Mechanische und zerstörungsfreie Prüfungen werden in Übereinstimmung mit den zugehörigen ISO-Normen durchgeführt. Die Koerzitivfeldstärke muss in Übereinstimmung mit IEC 60404-7, andere magnetische Eigenschaften müssen in Übereinstimmung mit IEC 60404-4 gemessen werden.

Bereiche typischer Werte für magnetische und mechanische Eigenschaften sind in Tabelle 3 gegeben.

Tabelle 3 – Bereiche typischer Werte für magnetische und mechanische Eigenschaften

Streckgrenze	Dehnung ($L_0 = 5 d_0$)	Koerzitiv- feldstärke	Magnetische Polarisation für $H =$		
			2 500 A/m	5 000 A/m	10 000 A/m
N/mm ²	%	A/m	T		
100 bis 180	25 bis 45	40 bis 400	1,65 bis 1,55	1,75 bis 1,65	1,85 bis 1,75

2.2.1.3 Hauptanwendungsgebiete

Die Werkstoffe werden für große Gleichstrommagnete benutzt, wo keine mechanische Festigkeit benötigt wird, z. B. Ablenkmagnete in der Elementarteilchenphysik, und für Relaisanwendungen.

2.2.2 Klasse B.2 – Flacherzeugnisse

2.2.2.1 Allgemeines

Diese Werkstoffe werden durch IEC 60404-8-3, IEC 60404-8-4 and IEC 60404-8-10 abgedeckt.

2.2.2.1.1 Chemische Zusammensetzung

Grundbestandteil dieser Werkstoffe ist Eisen mit unvermeidbaren Verunreinigungen zusammen mit einem niedrigen Gehalt anderer Elemente, welche von Beimengungen herrühren können, die während des Herstellungsverfahrens erforderlich sind. Der Gehalt an Legierungselementen ist auf denjenigen von unlegierten Stählen nach ISO 4948-1 begrenzt, insbesondere beträgt der Siliciumgehalt weniger als 0,5 %. Diese Werkstoffe können nach dem Stanzen einer Glühbehandlung zur Verbesserung ihrer magnetischen Eigenschaften unterworfen werden.

2.2.2.1.2 Grundlage der Untereinteilung

Die empfohlene Untereinteilung richtet sich entweder nach dem spezifischen Ummagnetisierungsverlust, der von der Blechdicke abhängt und üblicherweise bei Polarisationswerten von 1,5 T und bei den üblichen Netzfrequenzen gemessen wird, oder (für Relaisanwendungen) nach der Koerzitivfeldstärke.

2.2.2.1.3 Lieferformen

Diese Werkstoffe werden in der Form kalt gewalzter Bänder oder Bleche oder (für Relaisanwendungen) in der Form warm gewalzter Bänder, Bleche oder Tafeln geliefert.

2.2.2.2 Physikalische Eigenschaften

Zusätzlich zu dem spezifischen Ummagnetisierungsverlust kann eine vollständigere Beschreibung dieser Werkstoffe durch die folgenden Eigenschaften erfolgen:

- magnetisch: magnetische Polarisation bei verschiedenen Werten der magnetischen Feldstärke;
- mechanisch: Stanzbarkeit, Oberflächenbeschaffenheit, Stapelfaktor;
- metallurgischer Zustand: warm gewalzt;
walzhart – d. h. kalt gewalzt;
nicht schlussgeglüht – d. h. geblüht und fertig gewalzt;
schlussgeglüht.

ANMERKUNG Für Werkstoffe, die walzhart und nicht schlussgeglüht geliefert werden, richtet sich die Untereinteilung nach dem spezifischen Ummagnetisierungsverlust, gemessen nach einer Wärmebehandlung entsprechend den Anforderungen der Werkstoffnorm oder entsprechend den Empfehlungen des Herstellers.

– Abmessungen: Dicke, Breite und (falls erforderlich) Länge.

Die empfohlenen Nenndicken dieser Werkstoffe betragen 0,47 mm, 0,50 mm, 0,65 mm und 1,0 mm.

Die magnetischen Messungen werden gemäß IEC 60404-2, IEC 60404-3 oder IEC 60404-7 durchgeführt.

Bereiche für den Höchstwert des spezifischen Ummagnetisierungsverlustes nach der Glühbehandlung sind in Tabelle 4 für die gebräuchlichen Blechdicken angegeben.

Tabelle 4 – Bereiche für den Höchstwert des spezifischen Ummagnetisierungsverlustes

Nenndicke	Frequenz	Bereich des spezifischen Ummagnetisierungsverlustes bei $\hat{J} = 1,5 \text{ T}$
mm	Hz	W/kg
0,50	50	6,6 bis 10,5
0,65	50	8,0 bis 12,0
0,50	60	8,4 bis 13,4
0,65	60	10,2 bis 15,3

Die festgelegten Höchstwerte der Koerzitivfeldstärke von Relaiswerkstoffen reichen von 40 A/m bis 240 A/m.

2.2.2.3 Hauptanwendungsgebiete

Die Werkstoffe werden zur Herstellung von lamellierten Kernen elektrischer Geräte und insbesondere kleiner Maschinen und für Relaisanwendungen verwendet.

2.3 Klasse C – Siliciumstähle

2.3.1 Klasse C.1 – Massivmaterial

2.3.1.1 Allgemeines

Einige dieser Werkstoffe werden durch IEC 60404-8-6 und IEC 60404-8-10 abgedeckt.

2.3.1.1.1 Chemische Zusammensetzung

Grundbestandteil dieser Werkstoffe ist Eisen. Hauptlegierungselement ist Silicium in einem Bereich von 0,5 % bis 5 %.

2.3.1.1.2 Grundlage der Untereinteilung

Die empfohlene Untereinteilung richtet sich nach den Werten der Koerzitivfeldstärke oder nach dem spezifischen elektrischen Widerstand, welcher vom Siliciumgehalt abhängig ist.

2.3.1.1.3 Lieferformen

Diese Werkstoffe sind als warm gewalzte und kalt gezogene Stäbe, Draht, geschliffene Stäbe und geschmiedete Knüppel erhältlich und erfordern nach mechanischer Bearbeitung zur Erzielung der erforderlichen magnetischen Eigenschaften eine Wärmebehandlung.

2.3.1.2 Physikalische Eigenschaften

Zusätzlich zur Koerzitivfeldstärke und dem spezifischen elektrischen Widerstand, für welche in Tabelle 5 Wertebereiche angegeben sind, kann eine vollständigere Beschreibung dieser Werkstoffe durch die folgenden Eigenschaften erfolgen:

- magnetisch: magnetische Sättigungspolarisation, magnetische Polarisation für verschiedene magnetische Feldstärken, remanente magnetische Polarisation;
- mechanisch: Zerspanbarkeit, Zähigkeit, Härte;
- metallurgischer Zustand: warm- oder kalt umgeformt, gegläht zur Erzielung der geforderten magnetischen Eigenschaften.

Tabelle 5 – Bereiche festgelegter Werte für magnetische und elektrische Eigenschaften

Silicium- gehalt *	Spezifischer elektrischer Widerstand *	Koerzitiv- feldstärke	Mindestwert der magnetischen Polarisation bei $H =$			
			100 A/m	300 A/m	500 A/m	4 000 A/m
%	$\mu\Omega\text{m}$	A/m	T			
2 bis 4,5	0,35 bis 0,60	48 bis 12	0,6 bis 1,2	1,1 bis 1,3	1,2 bis 1,35	1,5

* Wert nicht festgelegt, sondern typisch.

2.3.1.3 Hauptanwendungsgebiete

Hauptanwendungsgebiete sind magnetische Kreise von Relais, magnetische Kupplungen, magnetische Polschuhe, Schrittmotoren und Kreiselgehäuse.

2.3.2 Klasse C.2 – Flacherzeugnisse

2.3.2.1 Klasse C.21 – Isotrope* (nichtkornorientierte) Stähle zur Verwendung bei Netzfrequenzen

2.3.2.1.1 Allgemeines

Diese Werkstoffe werden durch IEC 60404-8-2, IEC 60404-8-4, IEC 60404-8-6 und IEC 60404-8-10 abgedeckt.

2.3.2.1.1.1 Chemische Zusammensetzung

Grundbestandteil dieser Werkstoffe ist Eisen. Hauptlegierungselement ist Silicium, dessen Gehalt zwischen 0,5 % und 5 % betragen kann. Andere Legierungselemente, z. B. Aluminium, können ebenfalls vorhanden sein. Der Werkstoff enthält außerdem unvermeidbare Verunreinigungen zusammen mit einem niedrigen Gehalt anderer Elemente, welche von Beimengungen herrühren können, die während des Herstellungsverfahrens erforderlich sind.

2.3.2.1.1.2 Grundlage der Untereinteilung

Die empfohlene Untereinteilung richtet sich nach dem spezifischen Ummagnetisierungsverlust, welcher von der Blechdicke abhängt und üblicherweise bei einer Polarisation von 1,5 T und bei Netzfrequenz gemessen wird.

Wenn die Anwendung (z. B. Relais) es erfordert, kann es geeigneter sein, dass sich die Untereinteilung nach der Koerzitivfeldstärke oder Permeabilität richtet.

* Dies beschreibt einen Werkstoff, der im Wesentlichen isotrop ist und absichtlich so hergestellt wurde.

2.3.2.1.1.3 Lieferformen

Die Werkstoffe werden üblicherweise als kalt gewalzte Bänder oder Bleche geliefert.

2.3.2.1.2 Physikalische Eigenschaften

Zusätzlich zu den Werten des spezifischen Ummagnetisierungsverlustes kann eine vollständigere Beschreibung dieser Werkstoffe durch die folgenden Eigenschaften erfolgen:

- magnetisch: magnetische Polarisation für verschiedene Werte der magnetischen Feldstärke, spezifische Scheinleistung für verschiedene Werte der Polarisation, Anisotropie des Ummagnetisierungsverlustes;
- elektrisch: Art der Oberflächenisolation und ihr elektrischer Widerstand, spezifischer elektrischer Widerstand;
- mechanisch: Stanzbarkeit, Zähigkeit, Zugfestigkeit, Härte, Oberflächenzustand und -beschaffenheit, Stapelfaktor, Ebenheit, Kantengeradheit;
- metallurgischer Zustand: walzharter Zustand: d. h. kalt gewalzt;
nicht schlussgeglühter Zustand: d. h. geglüht oder geglüht und nachgewalzt;
schlussgeglühter Zustand.

ANMERKUNG Für Werkstoffe, die walzhart oder nicht schlussgeglüht geliefert werden, richtet sich die Untereinteilung nach dem spezifischen Ummagnetisierungsverlust, gemessen nach einer Wärmebehandlung entsprechend den Anforderungen der Werkstoffnorm oder entsprechend den Empfehlungen des Herstellers.

- Abmessungen: Dicke, Breite und (falls erforderlich) Länge.

Die üblicherweise empfohlenen Werte der Nenndicke betragen 0,35 mm, 0,47 mm, 0,50 mm, 0,65 mm und 1,00 mm.

Die magnetischen Messungen werden in Übereinstimmung mit IEC 60404-2 oder IEC 60404-3 durchgeführt. Die für die magnetischen Messungen benötigten Dichtewerte sind in den maßgeblichen Werkstoffnormen festgelegt. Andernfalls müssen die Dichtewerte vereinbart werden.

Bereiche festgelegter Höchstwerte des spezifischen Ummagnetisierungsverlustes nach der Schlussglühung sind in Tabelle 6 für vier gebräuchliche Blechdicken dargestellt.

Tabelle 6 – Bereiche festgelegter Höchstwerte des spezifischen Ummagnetisierungsverlustes

Nenndicke	Frequenz	Höchstwert des spezifischen Ummagnetisierungsverlustes bei $\hat{J} = 1,5 \text{ T}$
mm	Hz	W/kg
0,35	50	2,3 bis 3,6
0,50	50	2,5 bis 10
0,65	50	3,1 bis 10
1,00	50	6,0 bis 13
0,35	60	2,9 bis 4,6
0,50	60	3,2 bis 11,9
0,65	60	4,1 bis 12,8
1,00	60	8,1 bis 17,3

2.3.2.1.3 Hauptanwendungsgebiete

Diese Werkstoffe werden hauptsächlich in magnetischen Kreisen von elektrischen Geräten verwendet, insbesondere in den Teilen von rotierenden Maschinen, in welchen der magnetische Fluss nicht gerichtet ist. Die Werkstoffe können außerdem in elektromagnetischen Relais, Kleintransformatoren, Vorschaltgeräten für Leuchtstoffröhren, elektrischen Messinstrumenten, Abschirmungen und magnetischen Polen von Elektronen- und Protonensynchrotronen verwendet werden.

2.3.2.2 Klasse C.22 – Anisotrope* (kornorientierte) Stähle zur Verwendung bei Netzfrequenzen

2.3.2.2.1 Allgemeines

Diese Werkstoffe werden durch IEC 60404-8-7 abgedeckt.

2.3.2.2.1.1 Chemische Zusammensetzung

Grundbestandteil dieser Werkstoffe ist Eisen und Hauptlegierungselement Silicium (ungefähr 3 %) zusammen mit unvermeidbaren Verunreinigungen und einem niedrigen Gehalt anderer Elemente, welche von Beimengungen herrühren können, die während des Herstellungsverfahrens erforderlich sind. Diese Art von Magnetwerkstoff besitzt anisotrope Eigenschaften (Orientierung), so dass die Richtung parallel zur Walzrichtung die niedrigsten Werte des spezifischen Ummagnetisierungsverlustes und die höchste Permeabilität aufweist. Diese Eigenschaften sind gegenüber mechanischer Bearbeitung empfindlich, und Spannungsfreigüßen kann verwendet werden, damit die innewohnenden Eigenschaften optimiert werden.

2.3.2.2.1.2 Grundlage der Untereinteilung

Die empfohlene Untereinteilung richtet sich nach der Vollständigkeit der Kristallorientierung, ausgedrückt durch den Polarisationswert bei einer magnetischen Feldstärke von 800 A/m, und nach dem spezifischen Ummagnetisierungsverlust, der von der Blechdicke und der Orientierung abhängt und üblicherweise bei Polarisationswerten von 1,5 T oder 1,7 T und bei Netzfrequenzen gemessen wird.

2.3.2.2.1.3 Lieferformen

Die Werkstoffe werden üblicherweise als kalt gewalzte Bänder oder Bleche mit einer anorganischen Isolationsbeschichtung geliefert.

2.3.2.2.2 Physikalische Eigenschaften

Zusätzlich zu der Vollständigkeit der Kristallorientierung und den Werten des spezifischen Ummagnetisierungsverlustes kann eine vollständigere Beschreibung dieser Werkstoffe durch die folgenden Eigenschaften erfolgen:

- elektrisch: Art der Oberflächenisolation und ihr elektrischer Widerstand, spezifischer elektrischer Widerstand;
- mechanisch: Zähigkeit, Oberflächenbeschaffenheit und -zustand, Stapelfaktor, Ebenheit, Kantengeradheit;
- metallurgischer Zustand: gegläht und vollständig rekristallisiert;
- Abmessungen: Dicke, Breite und (falls erforderlich) Länge.

Die üblicherweise verwendeten Blechdicken sind: 0,23 mm, 0,27 mm, 0,30 mm und 0,35 mm. Falls andere Dicken erforderlich sind, werden die Werte 0,18 mm und 0,50 mm empfohlen.

Magnetische Messungen werden in Übereinstimmung mit IEC 60404-2 oder IEC 60404-3 durchgeführt. Die für die Berechnungen verwendete Dichte beträgt üblicherweise 7,65 kg/dm³. Die Prüfstreifen werden parallel

* Dies beschreibt einen Werkstoff, der im Wesentlichen anisotrop ist und absichtlich so hergestellt wurde.

zur Walzrichtung entnommen und vor der Messung einer Spannungsfreiglühung entsprechend den Empfehlungen den Herstellers unterzogen.

Bereiche festgelegter Höchstwerte des spezifischen Ummagnetisierungsverlustes nach der Spannungsfreiglühung für üblicherweise verwendete Blechdicken sind in Tabelle 7 dargestellt.

Tabelle 7 – Bereiche festgelegter Höchstwerte des spezifischen Ummagnetisierungsverlustes

Nenn­dicke	Konventionelle Werkstoffe		Werkstoffe mit hoher Permeabilität	
	Höchstwert des spezifischen Ummagnetisierungsverlustes bei			
	50 Hz	60 Hz	50 Hz	60 Hz
	$\hat{j} = 1,7 \text{ T}$		$\hat{j} = 1,7 \text{ T}$	
mm	W/kg	W/kg	W/kg	W/kg
0,23	1,20 bis 1,27	1,57 bis 1,65	0,90 bis 1,00	1,21 bis 1,32
0,27	1,30 bis 1,40	1,68 bis 1,85	1,03 bis 1,10	1,35 bis 1,45
0,30	1,40 bis 1,50	1,83 bis 1,98	1,05 bis 1,17	1,38 bis 1,54
0,35	1,50 bis 1,65	1,98 bis 2,18	1,25 bis 1,35	1,64 bis 1,77

Zusätzlich sind Werkstoffe verfügbar, die nicht in IEC 60404-8-7 festgelegt sind. Ihre Eigenschaften sind in Tabelle 8 gegeben.

Tabelle 8 – Bereiche typischer Höchstwerte des spezifischen Ummagnetisierungsverlustes

Nennstärke	Werkstoffe mit Domänenverfeinerung	
	Höchstwert des spezifischen Ummagnetisierungsverlustes bei $\hat{J} = 1,7 \text{ T}$	
	50 Hz	60 Hz
mm	W/kg	
0,23	0,80 bis 0,90	1,06 bis 1,21
0,27	0,85 bis 0,95	1,12 bis 1,25

2.3.2.2.3 Hauptanwendungsgebiete

Diese Werkstoffe werden hauptsächlich für die Herstellung magnetischer Kerne verwendet, in welchen die magnetischen Flusslinien im Wesentlichen parallel zur Walzrichtung verlaufen, wie zum Beispiel in Transformatorkernen.

2.3.2.3 Klasse C.23 – Dünnteileblech

2.3.2.3.1 Allgemeines

Diese Werkstoffe werden durch IEC 60404-8-8 abgedeckt.

2.3.2.3.1.1 Chemische Zusammensetzung

Grundbestandteil dieser Werkstoffe ist Eisen. Hauptlegierungselement ist Silicium, dessen Gehalt zwischen 2 % und 4 % liegen kann. Andere Legierungsbestandteile, insbesondere Aluminium, können ebenfalls vorhanden sein. Der Werkstoff enthält außerdem unvermeidbare Verunreinigungen zusammen mit einem niedrigen Gehalt anderer Elemente, welche von Beimengungen herrühren können, die während des Herstellungsverfahrens notwendig sind.

2.3.2.3.1.2 Grundlage der Untereinteilung

Die empfohlene Untereinteilung richtet sich nach der magnetischen Anisotropie und dem spezifischen Ummagnetisierungsverlust, welcher von der Dicke, der magnetischen Polarisation und der Prüffrequenz abhängt.

2.3.2.3.1.3 Lieferformen

Diese Werkstoffe werden üblicherweise in der Form kalt gewalzter Bänder oder Bleche geliefert.

2.3.2.3.2 Physikalische Eigenschaften

Zusätzlich zu den Werten des spezifischen Ummagnetisierungsverlustes kann eine vollständigere Beschreibung dieser Werkstoffe durch die folgenden Eigenschaften erfolgen:

- magnetisch: magnetische Polarisation für verschiedene Werte der magnetischen Feldstärke;
- elektrisch: Art der Oberflächenisolation und ihr Widerstand, spezifischer elektrischer Widerstand;
- mechanisch: Zähigkeit, Stapelfaktor, Ebenheit, Kantengeradheit;
- metallurgischer Zustand: gegläht und vollständig rekristallisiert;
- Abmessungen: Dicke, Breite und (falls erforderlich) Länge.

Die festgelegten Höchstwerte des spezifischen Ummagnetisierungsverlustes für die gebräuchlichen Blechdicken sind in Tabelle 9 dargestellt.

Tabelle 9 – Festgelegte Höchstwerte des Ummagnetisierungsverlustes

Art	Nennstärke	Höchstwert des spezifischen Ummagnetisierungsverlustes bei $\hat{J} =$		Frequenz
		1,0 T	1,5 T	
	mm	W/kg		Hz
Kornorientiert	0,05	24	–	1 000
	0,1	–	15	400
	0,15	–	16	400
Nichtkornorientiert	0,05	45	–	1 000
	0,1	13	–	400
	0,15	14	–	400
	0,2	15	–	400

Die magnetischen Eigenschaften werden in Übereinstimmung mit IEC 60404-10 und, ausgenommen für den nichtkornorientierten Werkstoff in 0,2 mm Dicke, an Prüfkörpern bestimmt, welche in Übereinstimmung mit den Empfehlungen des Herstellers gegläht worden sind.

2.3.2.3.3 Hauptanwendungsgebiete

Diese Werkstoffe werden hauptsächlich in magnetischen Kreisen von Transformatoren und rotierenden Maschinen angewandt, welche bei höheren Frequenzen als 100 Hz betrieben werden.