

# Weichmagnetische Werkstoffe

Grundlagen, Legierungen,  
Eigenschaften, Lieferformen, Anwendungen

Bearbeitet von Richard Boll

3., völlig überarbeitete und erweiterte Auflage, 1977

---

Herausgeber: VACUUMSCHMELZE GMBH

# Inhalt

## Teil 1 Einführung in den Magnetismus

<b>1.</b>	<b>Vorbemerkung zu den physikalischen Grundlagen</b>	13
1.1.	Einleitung	13
1.2.	Kleines Kapitel aus der Atomphysik	13
1.3.	Ferromagnetische Metalle	14
1.4.	Weiss'sche Bezirke und Blochwände	15
1.5.	Elementarprozesse der Magnetisierung	18
1.6.	Von Bitterstreifen, „Zipfelmützen“ und „Tannenbäumen“	20
1.7.	Störstellen, innere Spannungen, Fremdkörper, Korngrenzen	22
1.8.	Textur und magnetische Anisotropien	26
<b>2.</b>	<b>Magnetische Begriffe und Definitionen</b>	29
<b>3.</b>	<b>Übersicht über die magnetischen Werkstoffe</b>	43
3.1.	Vorbemerkung	43
3.2.	Wertebereiche magnetischer Werkstoffe	43
	Sättigung und Koerzitivfeldstärke	43
	Permeabilität, Remanenz, Verluste	45
3.3.	Extremwerte magnetischer Eigenschaften	47
3.4.	Metalle und Ferrite	48
3.5.	Pulverkerne (Massekerne)	49
3.6.	Dünne magnetische Schichten, Magnetschichtdrähte	49
3.7.	Amorphe weichmagnetische Legierungen („Metallgläser“)	51
3.8.	Anmerkung zu Supraleitern	52
3.9.	Klassifizierung der magnetischen Werkstoffe	52
3.10.	Übersicht über Kern- und Anwendungsformen sowie über induktive Bauelemente aus weichmagnetischen Werkstoffen	55
<b>4.</b>	<b>Der magnetische Kreis, Berechnungsformeln für magnetische und elektrische Größen</b>	61
4.1.	Allgemeines	61
4.2.	Der magnetische Kreis	61
4.2.1.	Geschlossener magnetischer Kreis	61
4.2.2.	Offener magnetischer Kreis (Luftspalteinfluß, Scherung)	61
	Schnittbandkerne, Blechpakete (EK-Kerne)	63
	Kernbleche	64
4.3.	Magnetische Form-Kenngrößen der Kerne (für Ringbandkerne, Schnittbandkerne, Kernbleche und EK-Kerne, Streifen)	65

4.4.	Berechnungsformeln für einige wichtige magnetische und elektrische Größen . . . . .	68
4.4.1.	Wechselmagnetisierung . . . . .	68
	Feldstärke, Induktion, Permeabilität . . . . .	68
	Scheinleistung, Ummagnetisierungsverluste . . . . .	68
	Komplexe Permeabilität . . . . .	70
	Verluste und ihre Trennung . . . . .	73
	Grenzfrequenz . . . . .	74
	Induktivitäts- und Widerstandsfaktor, Zeitkonstante . . . . .	76
4.4.2.	Impulsmagnetisierung, Schaltverhalten . . . . .	77
	Eingeprägte Spannung . . . . .	78
	Eingeprägter Strom . . . . .	78
4.5.	Gleichstromvormagnetisierung, Gleichstromvorbelastbarkeit . . . . .	79
<b>5.</b>	<b>Magnetische Größen und Einheiten . . . . .</b>	<b>81</b>
<b>6.</b>	<b>Magnetisierungsbedingungen, Meßverfahren . . . . .</b>	<b>85</b>
6.1.	Magnetisierungsbedingungen und ihr Einfluß auf die Kennlinien . . . . .	85
6.1.1.	Begriffe und Erläuterungen . . . . .	85
6.1.2.	Statisches Magnetisieren . . . . .	87
6.1.3.	Wechselmagnetisieren . . . . .	87
	Wechselmagnetisieren mit kleiner Aussteuerung . . . . .	87
	Wechselmagnetisieren mit kleiner Aussteuerung und Gleichfeldüberlagerung . . . . .	87
	Wechselmagnetisieren mit hoher Aussteuerung . . . . .	88
6.1.4.	Mischmagnetisieren . . . . .	91
6.1.5.	Impulsmagnetisieren . . . . .	93
	Magnetisieren mit Stromimpulsen . . . . .	94
	Magnetisieren mit Spannungsimpulsen . . . . .	94
6.2.	Meßverfahren . . . . .	96
6.2.1.	Hinweise zur Bestimmung von Feldstärke und Induktion . . . . .	96
6.2.2.	Gleichfeld-Meßverfahren . . . . .	97
	Ballistische Methode . . . . .	97
	Koerzimeter-Methode . . . . .	98
6.2.3.	Wechselfeld-Meßverfahren . . . . .	98
	Transformator-Methode . . . . .	98
	Ferrometer-Methode . . . . .	98
	Leistungsmesser- und Multiplikator-Methode . . . . .	99
	Anmerkung zum Formfaktor und Klirrfaktor . . . . .	100
	Brücken-Methode . . . . .	101
	Oszillografische Aufzeichnungsverfahren . . . . .	102
6.2.4.	Impuls-Meßverfahren . . . . .	103
	Bestimmung der Impulspermeabilität . . . . .	103
	Messung von Schalt- und Speicherfunktionen . . . . .	103
	Messung magnetischer Eigenschaften bei hohen Impulsleistungen . . . . .	105
6.2.5.	Abschirm-Meßverfahren . . . . .	105
6.2.6.	Einfluß des Abmagnetisierens . . . . .	106

<b>7.</b>	<b>Einschlägige DIN-Normen und IEC-Publikationen</b>	108
<b>8.</b>	<b>Schrifttum</b>	111
8.1.	Fachbücher	111
8.2.	Technisch-wissenschaftliche Veröffentlichungen der VAC auf magnetischem Gebiet (ab 1950)	112
<b>Teil 2 Unsere Werkstoffe und ihre Anwendungen</b>		
<b>9.</b>	<b>Übersicht über das VAC-Legierungsprogramm</b>	121
9.1.	Nickeisen-Legierungen mit 72 bis 83% Nickel	121
9.2.	Nickeisen-Legierungen mit 54 bis 68% Nickel	124
9.3.	Nickeisen-Legierungen mit 45 bis 50% Nickel	125
9.4.	Nickeisen-Legierungen mit 35 bis 40% Nickel	127
9.5.	Nickeisen-Legierung mit 30% Nickel	128
9.6.	Siliziumeisen-Werkstoffe	129
9.7.	VACOFER (Magnetreineisen)	130
9.8.	Kobalteisen	131
	Kobalteisen mit 47 bis 50% Kobalt	131
	Kobalteisen mit 23 bis 27% Kobalt	132
9.9.	Aluminium-Eisen-Legierungen	133
<b>10.</b>	<b>Lieferformen</b>	134
10.1.	Übersicht	134
10.2.	Bandkerne	136
10.2.1.	Ringbandkerne, Abmessungsbereiche	136
10.2.2.	Fixierung, Schutztröge	138
10.2.3.	Typenreihen	141
10.2.4.	Bandkerne in Sonderformen	146
10.3.	Schnittbandkerne	147
10.3.1.	Ausführung, Werkstoffe	147
10.3.2.	Kernformen	147
10.3.3.	Typenreihen	150
10.3.4.	Zubehörteile, Bausätze	154
10.3.5.	Temperaturverhalten	156
10.4.	Kernbleche, Stanzteile	157
10.4.1.	Allgemeines	157
10.4.2.	Typenreihen für Kernbleche	158
10.4.3.	Sonderformen	162
10.5.	Geklebte Blechpakete, EK-Kerne	162
10.5.1.	Übersicht	162
10.5.2.	Typenreihe für EK-Kerne	163
10.5.3.	Zubehörteile, Montagesätze	165
10.6.	Magnetische Abschirmungen	166
10.6.1.	Vorbemerkungen	166

10.6.2.	Typenreihen für Abschirmbecher . . . . .	166
10.6.3.	Magnetische Abschirmschläuche . . . . .	169
10.6.4.	Magnetische Abschirmfolien . . . . .	170
10.6.5.	Abschirmungen für spezielle Anwendungen . . . . .	170
10.7.	Form- und Massivteile . . . . .	172
10.7.1.	Werkstoffe und Herstellungsverfahren . . . . .	172
10.7.2.	Formsinterteile . . . . .	173
10.8.	Induktive Bauelemente . . . . .	175
10.8.1.	Übersicht, Typenreihen . . . . .	175
10.8.2.	Sonderformen, Bausteine, Bauelement-Sätze . . . . .	178
10.9.	Halbzeuge . . . . .	179
10.9.1.	Bänder und Streifen . . . . .	180
10.9.2.	Lieferformen für weitere Halbzeuge . . . . .	180
10.10.	Kennzeichnung . . . . .	183
10.11.	Anhang: Berechnete Formkenngrößen und Kernkonstanten für unsere wichtigsten Kerntypenreihen . . . . .	184
<b>11.</b>	<b>Hinweise für die Weiterverarbeitung von Halbzeugen, Wärmebehandlungen . . . . .</b>	<b>194</b>
11.1.	Hinweise für die Weiterverarbeitung . . . . .	194
11.2.	Wärmebehandlungen . . . . .	196
	Ausführung von Glühungen und Wärmebehandlungen . . . . .	196
	Magnetische Schlußglühung . . . . .	197
	Weichglühung . . . . .	198
	Entspannungsglühung . . . . .	199
<b>12.</b>	<b>Eigenschaften und Kennlinien . . . . .</b>	<b>200</b>
12.1.	Einleitung . . . . .	200
12.2.	Haupttabellen . . . . .	200, 201
12.3.	Statische Eigenschaften von Massivmaterial und Formteilen . . . . .	208
12.4.	Eigenschaften von Bandkernen bei Wechselmagnetisierung . . . . .	213
12.4.1.	Magnetisierungskurven und Hystereseschleifen . . . . .	214
12.4.2.	Komponentendarstellung der Magnetisierungskurven . . . . .	227
12.4.3.	Ummagnetisierungsverluste . . . . .	233
12.4.4.	Frequenzabhängigkeit der Permeabilität . . . . .	239
12.4.5.	Eigenschaften bei Gleichstromvormagnetisierung . . . . .	241
12.5.	Eigenschaften von Bandkernen bei Impulsmagnetisierung . . . . .	247
12.5.1.	Allgemeines . . . . .	247
12.5.2.	Impulsschleifen und Magnetisierungskurven . . . . .	247
12.5.3.	Impulspemeabilität . . . . .	249
12.5.4.	Impulsverluste . . . . .	250
12.5.5.	Schalteeigenschaften von Miniaturbandkernen . . . . .	252
12.6.	Temperaturabhängigkeit der magnetischen Eigenschaften (Bandkerne) . . . . .	255
12.6.1.	Erläuterungen . . . . .	255
12.6.2.	Permeabilität . . . . .	256

12.6.3.	Sättigung und Hystereseschleifen	259
12.7.	Eigenschaften von Schnittbandkernen	261
12.7.1.	Magnetisierungskurven, Permeabilität, Hystereseschleifen	261
12.7.2.	Ummagnetisierungsverluste	264
12.7.3.	Impulseigenschaften	269
12.7.4.	Magnetische Vorbelastbarkeit	270
12.8.	Eigenschaften von Kernblechen	270
12.8.1.	Magnetisierungskurven	272
12.8.2.	Komplexe Permeabilität	275
12.8.3.	Hysteresebewert, Verluste	276
12.9.	Eigenschaften von geklebten Blechpaketen, insbesondere EK-Kernen	279
12.9.1.	Magnetisierungskurven, Koerzitivfeldstärke	279
12.9.2.	Magnetische Vorbelastbarkeit, $A_1$ -Kurven	280
12.9.3.	Ummagnetisierungsverluste	282
12.10.	Eigenschaften von magnetischen Abschirmungen	284
12.10.1.	Erläuterungen, Abschätzungsformeln	284
12.10.2.	Kenmlinien von Abschirmungen	285
12.11.	Spezielle Eigenschaften magnetischer und sonstiger Werkstoffe	288
12.11.1.	Magnetische Werkstoffe mit hoher Verschleißfestigkeit und Härte (RECOVAC, VACODUR)	288
12.11.2.	Federeigenschaften magnetischer Werkstoffe	290
12.11.3.	Werkstoffe für Temperaturkompensation (THERMOFLUX)	290
12.11.4.	Werkstoffe für Ultraschallanwendungen, Magnetostriktion	292
12.11.5.	Werkstoffe für mechanische Filter und für Verzögerungsleitungen	294
12.11.6.	Magnetische und physikalische Eigenschaften von Legierungen für Glas-Metall-Verschmelzungen	296
12.11.7.	Magnetisch halbharte Werkstoffe (VACUZET)	297
12.11.8.	Kurzübersicht Dauermagnete	300
<b>13.</b>	<b>Gesichtspunkte zur Wahl von Werkstoff, Banddicke und Lieferform</b>	<b>302</b>
13.1.	Wahl der Legierung	302
13.1.1.	Wichtige magnetische Eigenschaften	302
13.1.2.	Wichtige mechanische und technologische Eigenschaften	304
13.2.	Wahl der Banddicke	305
13.2.1.	Hohe Permeabilität bei höheren Frequenzen	305
13.2.2.	Niedrige Ummagnetisierungsverluste im Mittelfrequenzbereich	307
13.3.	Wahl der Lieferform	307
13.3.1.	Mechanische Stabilität der verschiedenen Kern- und Lieferformen	307
13.3.2.	Auswirkung verschiedener mechanischer Beanspruchungen auf die magnetischen Eigenschaften	308
13.4.	Umwelteinflüsse	311
13.4.1.	Klimatische, mechanische und sonstige Anforderungen	311
13.4.2.	Korrosionsbeständigkeit unserer Legierungen	312
13.4.3.	Einfluß radioaktiver Strahlen	314

<b>14.</b>	<b>Magnetqualitäten</b>	317
14.1.	Allgemeines	317
14.2.	Statistische Qualitätskontrolle	318
14.3.	Erläuterungen zu den Magnetqualitäten unserer Hauptlieferformen	319
14.4.	Magnetqualitäten (Tabellen)	321
14.4.1.	Ringbandkerne	321
14.4.2.	Schnittbandkerne	326
14.4.3.	Kernbleche	328
14.4.4.	EK-Kerne	334
14.4.5.	Magnetische Abschirmungen	337
14.4.6.	Form- und Massivteile	338
14.5.	Bestellbeispiele	339
<b>15.</b>	<b>Stichwortverzeichnis und Hinweise</b>	341
15.1.	Stichwortverzeichnis	341
15.2.	Druckschriftenverzeichnis	346
15.3.	Fabrikategruppen der VAC	348
15.4.	Vertretungen der VAC	348