

Inhaltsverzeichnis

Vorwort

1	Grundlagen der Dauermagnete: Begriffe, Einheiten, Werkstoffe, spezifische Eigenschaften	1
	Wilhelm Cassing	
1.1	Einleitung	1
1.2	Historischer Überblick	1
1.2.1	Das Atommodell	2
1.2.2	Zeitliche Entwicklung der Werkstoffe	3
1.3	Grundbegriffe	5
1.3.1	Magnetische Grundbegriffe und ihre Einheiten	5
1.3.2	Magnetische Feldstärke	6
1.3.3	Die Feldlinien	6
1.3.4	Magnetischer Fluss	9
1.3.5	Magnetische Flussdichte	10
1.3.6	Permeabilität und Suszeptibilität	10
1.3.7	Polarisation, Magnetisierung, magnetisches Moment	11
1.4	Das B(H)-Diagramm	11
1.4.1	Die Magnetisierungskennlinie	12
1.4.2	Die Entmagnetisierungskennlinie	13
1.4.3	Die Arbeitsgerade und der Arbeitspunkt	15
1.4.4	Die Entmagnetisierungskennlinien verschiedener Werkstoffe	16
1.4.5	Die Scherung der Arbeitsgeraden/Scherungsfächer	17
1.4.6	Die Nomenklatur	17
1.5	Die aktuellen Magnetworkstoffe	18
1.5.1	AlNiCo- Werkstoffe	18
1.5.1.1	Die Zusammensetzung	18
1.5.1.2	Der Herstellungsprozess	18
1.5.1.3	Chemische Beständigkeit	20
1.5.2	HF- Werkstoff	22
1.5.2.1	Die Zusammensetzung	22
1.5.2.2	Der Herstellungsprozess	22
1.5.2.3	Die chemische Beständigkeit	24
1.5.3	SmCo- Werkstoffe (RECo)	25
1.5.3.1	Die Zusammensetzung	25
1.5.3.2	Das Herstellverfahren	26
1.5.3.3	Die chemische Beständigkeit	28
1.5.4	NdFeB- Werkstoffe (REFeB)	29
1.5.4.1	Die Zusammensetzung	29
1.5.4.2	Das Herstellverfahren	29
1.5.4.3	Die chemische Beständigkeit	31
1.5.4.4	Beschichtungen	31
1.5.5	Kunststoffgebundene Magnete	33

1.5.6	Magnetgummi	34
1.6	Einheiten	35
1.7	Literatur	35
2	Grundlagen zur Berechnung des dauer-magnetischen Kreises	36
	Wilhelm Cassing	36
2.1	Einleitung	36
2.2	Das B(H)-Diagramm	37
2.3	Dauermagnetkreis	41
2.3.1	Arbeitsgerade	42
2.3.2	Luftspaltflussdichte	43
2.3.3	Optimaler Arbeitspunkt	43
2.3.4	Fremdfeldeinfluss	46
2.4	Temperaturverhalten	45
2.4.1	Beispiel einer graphischen Methode zur Bestimmung reversibler und irreversibler Flussdichteänderung bei Ferriten	50
2.5	Berechnung von Dauermagnetkreisen mit konzentrierten Elementen	52
2.5.1	Magnetisches Ersatzschaltbild	52
2.5.2	Streuleitwerte	54
2.6	Berechnung eines Ringspaltsystems	
	mit der Ersatzschaltbildmethode	57
2.6.1	Berechnung der Leitwerte	57
2.6.2	Berechnung der Luftspaltflussdichte	59
2.6.3	Berechnung der Flussdichte im Permanentmagneten	60
2.6.4	Vergleich zu den Ergebnissen der numerischen Feldberechnung	60
2.7	Scherung eines Magnetzyinders im offenen Magnetkreis	62
2.7.1	Analytische Berechnung	62
2.7.2	Vergleich mit der numerischen Berechnung	64
2.8	Literatur	73
3	Magnetische Messtechnik	74
	Gunnar Ross	
3.1	Einleitung	74
3.2	Fluxmeter	75
3.2.1	Magnetischer Fluss ϕ	75
3.2.2	Elektronische Integratoren	76
3.2.2.1	Analoge Integratoren	76
3.2.2.2	Digitale Integratoren	78
3.2.3	Digital kompensierter analoger Integrator	79
3.2.3	Messgeräte	80
3.3	Messgrößen	81
3.3.1	Magnetischer Fluss ϕ	83
3.3.1.1	Flussmessung an Ringspaltsystemen	83
3.3.1.2	Flussmessung in Motoren	83
3.3.1.3	Automatische Serienmessung von Dauermagneten	84
3.3.2	Magnetische Feldstärke H	85

3.3.3	Magnetische Flussdichte B	86
3.3.4	Magnetisches Potenzial P	87
3.3.4.1	Prüfung von Stabmagneten	91
3.3.4.2	Messungen an Magnetsystemen für Drehspul-Instrumente	93
3.3.4.3	Messungen an Lautsprecher-Magnetsystemen	94
3.3.5	Magnetischer Leitwert λ	95
3.3.6	Magnetisches Moment und magnetisches Dipolmoment	96
3.3.6.1	Magnetisches Moment von Block- und Stabmagneten	100
3.3.6.2	Bestimmung der Vorzugsrichtung von Dauermagneten	101
3.3.7	Arbeitspunktbestimmung durch Messung von J oder H	101
3.3.7.1	Arbeitspunkt von Segment-Magneten	103
3.3.7.2	Punktweise Bestimmung der Entmagnetisierungskurve	104
3.4	Feldstärkemessgeräte mit Hall-Sonden	105
3.4.1	Funktionsprinzip und Messgeräte	105
3.4.2	Vergleich zwischen Fluxmeter und Feldstärkemessgerät	110
3.5	Magnetisierungskurven von Dauermagneten	108
3.5.1	Elektromagnete	109
3.5.2	Probenvorbereitung	110
3.5.3	Messung von J(H)-Kurven mit J-kompensierten Umspulen	111
3.5.4	Messung von J(H)-Kurven mit Polspulen	114
3.5.5	J(H)-Kurven bei hohen Temperaturen	117
3.5.6	J(H)-Kurven magnetischer Pulver	118
3.5.7	B(H) und J(H)-Kurven von hochkoerzitiven Werkstoffen	119
3.6	Kalibrieren von Messmitteln	120
3.6.1	Erzeugung von Magnetfeldern zum Kalibrieren	122
3.6.1.1	Erzeugung von Magnetfeldern mit Helmholtz-Spulen	122
3.6.1.2	Normalfeldspulen nach Helmholtz	123
3.6.1.3	Vergleichsmagnete	123
3.6.2	Kalibrieren eines Fluxmeters	124
3.6.3	Kalibrieren von Messgeräten	
	für die magnetische Polarisation mit Nickel	126
3.6.4	Beziehungen zwischen SI- und CGS-Einheiten	126
3.7	Literatur	127
4	Magnetisiertechnik	129
	Gunnar Ross	
4.1	Einleitung	129
4.2	Grundlagen	130
4.2.1	Magnetisierfeldstärke	130
4.2.2	Magnetisieren von Magneten oder Systemen	132
4.2.3	Arbeitssicherheit	134
4.2.4	Magnetisierarten	134
4.2.5	Magnetisierenergie	136
4.3	Erzeugung von Magnetfeldern zum Magnetisieren	136
4.3.1	Magnetisieren mit Gleichstrom	136
4.3.2	Magnetisieren mit Dauermagneten	138
4.3.3	Magnetisieren und Entmagnetisieren mit Impulsfeldern	139
4.3.3.1	Sinusförmige Entladung	140

4.3.3.2	Aperiodische Entladung	141
4.3.3.3	Alternierende Entladung	142
4.3.3.4	Wirbelströme	144
4.4	Qualitätssicherung	146
4.4.1	Messung von Magnetisierströmen	146
4.4.2	Messung von Impulsfeldern	147
4.4.3	Prüfen des Magnetisierergebnisses	147
4.5	Magnetisierspulen	148
4.6	Magnetisierzvorrichtungen in Anwendungsbeispielen	151
4.6.1	Magnetisieren von Stataren und Rotoren	152
4.6.2	Magnetisieranlage für Magnetsysteme	155
4.6.3	Magnetisierplatten und Impulsmagnetisierwalzen	156
4.6.4	Impulstransformatoren	157
4.7	Abgleichen von Magneten auf einen vorgegebenen Wert	159
4.8	Literatur	163
5	Magnetische Sensoren	164
	Wilhelm Cassing	
5.1	Einleitung	164
5.2	Übersicht über physikalische Prinzipien	165
5.2.1	Galvano-magnetisches Prinzip	166
5.2.1.1	Die Strom-/Leistungsmessung	169
5.2.1.2	Die Abstandsmessung mittels Hallsensoren	170
5.2.1.3	Blechdickenmessung mittels Hallsensoren	171
5.2.1.4	Die Magnetgabelschranke	172
5.2.2	Dauermagnete zur Ansteuerung von Sensoren	173
5.3	Das Differentialtransformatorprinzip (Dreispulensystem)	175
5.3.1	Der PLCD-Sensor	178
5.4	Der magnetoresistive Effekt	179
5.4.1	Die Feldplatte	179
5.4.2	Der „Anisotrope Magnetoresistive Effekt“ (AMR), Magnetisierung dünner Schichten	182
5.4.3	Der „Giant Magnetoresistive Effect“ (GMR)	192
5.4.3.1	Colossaler Magnetoresistiver Effekt (CMR) 1998	195
5.4.3.2	Außergewöhnlicher Magnetoresistiver Effekt (EMR) 1998	195
5.4.3.3	Giant Magneto Impedance (GMI)-Effekt 1995	196
5.4.3.4	Nanokontakte (2002)	198
5.5	Spezielle Varianten magnetischer Sensoren	199
5.5.1	Magnetostriktion und Ultraschall	199
5.5.2	Reed-Kontakte, Sonderformen	201
5.6	Schlussbetrachtung	202
5.7	Literaturverzeichnis	203
6	Qualitätssicherung in der Dauermagnettechnik	204
	Karl Kuntze	
6.1	Einleitung	204
6.2	QM-Normen und Produkthaftung	205

6.2.1	Übersicht über die Normen der Reihe DIN EN ISO 9000 ff	205
6.2.2	Rechtliche Aspekte	207
6.2.2.1	Haftung und Produkthaftung	207
6.2.2.2	Wareneingangsprüfungen	208
6.2.3	Null-Fehler-Philosophie	209
6.2.4	Normen zu Begriffen des Qualitätsmanagements	209
6.3	Methoden der Qualitätssicherung	209
6.3.1	Qualitätsplanung	210
6.3.2	Statistische Methoden der Q-Sicherung	210
6.3.2.1	Vollprüfung (Sortieren, Klassieren)	211
6.3.2.2	Stichprobenprüfungen	211
6.3.2.2.1	Qualitative Merkmale/Attributives Verfahren nach ISO 2859	212
6.3.2.2.2	Quantitative Merkmale/Variablenprüfung	212
	nach ISO 3951 für normalverteilte Merkmale	212
6.3.2.2.3	SPC	214
6.4	Qualitätssicherung in der Dauermagnettechnik	215
6.4.1	Werkstoffauswahl und Magnetauslegung	215
6.4.2	Dauermagnetherstellung	216
6.4.3	Mess- und Prüfverfahren für Dauermagnete	218
6.4.3.1	Magnetische Mess- und Prüfverfahren für Dauermagnete	218
6.4.3.2	Abwicklung und EMK-Messung	220
6.5	Prüfmittelmanagement (PMM)	222
6.5.1	Aufgaben des PM-Managements	222
6.5.2	Prüfmittelüberwachung	223
6.5.3	Kosten der Prüfmittelüberwachung	224
6.5.4	Kalibrieren von Prüfmitteln	224
6.5.4.1	Begriffe	225
6.5.4.2	Die PTB und der DKD	225
6.5.4.3	Forderungen der Normen	227
6.5.4.4	Magnetische Kalibrierverfahren	227
6.5.5	Prüfmittelfähigkeit	230
6.5.5.1	Aufgabenstellung	230
6.5.5.2	Begriffsdefinitionen	231
6.5.5.3	Verfahren zur Ermittlung der Fähigkeit	231
Anhang 1:		
Beispieltabelle für Herstellerangaben		
zu kunststoffgebundenen Magnetworkstoffen		237
Anhang 2:		
Normen für die Dauermagnettechnik und zu QM-Begriffen		239
Anhang 3:		
Adressen zur Beschaffung von Informationen		240
Stichwortverzeichnis		241
Autorenverzeichnis		244