

Vorwort 9

1 Grundlagen des Magnetismus 11

1.1 Die historische Entwicklung 11

1.2 Die Erzeugung eines Magnetfeldes 13

1.3 Das Ampère'sche Gesetz zur Beschreibung des Feldes eines Leiters 14

1.4 Die elektromagnetische Induktion 14

1.5 Das Feld einer Spule 15

1.6 Die technische Erzeugung von Magnetfeldern 17

1.7 Die Grundlagen des Permanentmagnetismus 19

1.8 Die Ausprägungen des Magnetismus 20

1.9 Die magnetische Hysterese B(H)-Kennlinie 23

1.10 Die Magnetisierungskennlinie 25

1.11 Die Temperaturabhängigkeit der Magnetisierung 29

2 Dauermagnetische Werkstoffe Herstellungsverfahren, Eigenschaften, Gefahren 31

2.1 Einleitung 31

2.1.1 Das Atommodell 32

2.1.2 Zeitliche Entwicklung der Werkstoffe 33

2.2 Grundbegriffe 36

2.2.1 Definitionen und Einheiten 36

2.2.2 Das B-H-Diagramm 44

2.3 Die aktuellen Magnetwerkstoffe 52

2.3.1 AlNiCo-Werkstoffe 52

2.3.2 Der keramische Werkstoff ‚Hartferrit‘ (HF) 57

2.3.3 RECo-Werkstoffe 61

2.3.4 REFeB-Werkstoffe 65

2.3.5 Magnetgummi auf Kautschukbasis 74

2.4	Das L/D-Verhältnis bei Sensormagneten	77
2.4.1	Die Berechnung der Steigung der Arbeitsgeraden	78
2.4.2	Die Berechnung der Feldstärke von Sensormagneten	80
2.5	Sicherheitshinweise	84
2.5.1	Verpackung	84
2.5.2	Sicherheitsrichtlinien	85
2.5.3	Grenzwerte	85
2.5.4	Beispiele und Tabellen:	89
2.5.5	Grenzwertbetrachtungen:	91
2.6	Gesundheitsrisiken beim Umgang mit Dauermagneten ...	93
2.6.1	Die „Spielzeugrichtlinie“ nach DIN EN 71-1:2018-12 Kapitel 4.23 „Sicherheit von Spielzeug“ + Anhang 51	93
2.6.2	Einteilung der magnetischen Strahlung	95
2.6.3	Physikalische Daten	98
2.6.4	Grenzfelder im ELF-Bereich (extreme low frequency)	101
2.7	Anhang	104
2.8	Literaturverzeichnis	107
3	Kunststoffgebundene Magnete	111
3.1	Einführung	111
3.1.1	Reduktion magnetischer Eigenschaften in gebundenen Werkstoffen	111
3.1.2	Bedeutung kunststoffgebundener Materialien	115
3.2	Werkstoffe	117
3.3	Herstellung	121
3.3.1	Spritzguss	121
3.3.2	Formpressen	124
3.3.3	Vulkanisation	124
3.3.4	Extrusion	125
3.3.5	Kalandrierung	125
3.3.6	3D-Druck	127
3.4	Anwendungen	128
3.4.1	Anwendung von kunststoffgebundenen Magneten in der Sensorik	128
3.4.2	Haftanwendungen	132
3.4.3	Kleinmotoren und -generatoren	133
3.5	Magnetisierung	135

3.6	Magnetische Qualifizierung / Qualitätssicherung	136
3.7	Feldberechnung	139
3.8	Literatur	142
4	Elektroband für energietechnische Anwendungen: Motoren, Generatoren, Transformatoren	145
4.1	Grundlagen weichmagnetischer Werkstoffe für elektrische Maschinen	145
4.1.1	Elektrobanddesign	148
4.1.2	Magnetische Eigenschaften	160
4.1.3	Weichmagnetische Werkstoffalternativen	174
4.2	Anwendungsoptimierte Werkstoffauswahl	176
4.2.1	Anforderungsspezifikationen	176
4.2.2	Materialmodellbildung	178
4.2.3	Fallbeispiel einer gezielten Elektrobandauswahl	183
4.2.4	Fazit und Ausblick	185
5	Magnetische Messtechnik	187
5.1	Weichmagnetische Messtechnik	187
5.1.1	Kennwerte der Hystereseschleife	188
5.1.2	Fehlerbilder	189
5.1.3	Aufbau eines Hysteresegraphen:	191
5.1.4	Einstellbare Kurvenverläufe der Polarisierung	194
5.1.5	Gebräuchliche Sensoren für weichmagnetische Hysteresegraphen	195
5.2	Hartmagnetische Messtechnik	202
5.2.1	Arbeitspunktbezogene Messungen	204
5.2.2	Messungen mit dem Fluxmeter	204
5.2.3	Messungen mit einem Magnetometer	215
5.2.4	Messung der Feldverteilung eines Magnetsystems	218
5.2.5	Messung der gesamten Hysteresekurve	220
6	Magnetisierertechnologie	233
6.1	Sättigungsverhalten verschiedener Magnete	233
6.1.1	Sättigungskurve	233
6.1.2	Nukleation / Pinning	235
6.1.3	Magnetsorten	237

6.2	Magnetisierung in der Prozesskette:	237
6.3	Magnetisiergeräte	241
6.3.1	Permanentmagnet-Magnetisierjoch	241
6.3.2	DC-Elektromagnetisierjoch:	241
6.3.3	Impulsmagnetisiergeräte	242
6.3.4	Grundsaltungen eins Impulsmagnetisiergerätes	244
6.3.5	Konfigurationsmöglichkeiten der Impulsmagnetisiergeräte:	247
6.4	Elektrische Magnetisierspulen	248
6.4.1	Axialspulen	250
6.4.2	Radiale Magnetisierung	251
6.4.3	Mehrpole radiale Spulen für permanentmagnet-erregte Innenläufer	252
6.4.4	Mehrpole radiale Rotorens spulen für Außenläufer	254
6.4.5	Axiale mehrpolige Rotorens spulen	255
6.5	Kalibriergeräte	256
6.5.1	Einschränkungen:	257
6.6	Literaturverzeichnis	260
Register		261