

**Werkstoffe und Bauelemente  
der Elektrotechnik**

**H. Schaumburg (Hrsg.)  
Keramik**

# **Werkstoffe und Bauelemente der Elektrotechnik**

Herausgegeben von

Prof. Dr. Hanno Schaumburg, Hamburg-Harburg

Die Realisierung neuer Funktionen in der Elektrotechnik ist in der Regel verbunden mit dem Einsatz hochentwickelter elektronischer Bauelemente, deren Herstellung abhängig ist von neuen Erkenntnissen auf dem Gebiet der Werkstoff- und Fertigungstechnologie. Darauf basiert das Grundkonzept dieser Buchreihe: die Darstellung der für die Elektrotechnik bedeutsamen Werkstoffe und deren Anwendung auf neue Bauelementkonzepte.

Die Buchreihe „Werkstoffe und Bauelemente der Elektrotechnik“ ist in ihrem Umfang nicht eingeschränkt: Sie ist offen für neue Entwicklungen, die schnell eine technische und wirtschaftliche Bedeutung gewinnen können. Sie setzt sich zum Ziel, dem Leser – sowohl an den Universitäten als auch in der Industrie – die neuesten Entwicklungen aufzuzeigen und ihn umfassend zu informieren. Gleichzeitig soll die Reihe aber auch die Funktion eines Nachschlagewerkes haben für die Vielzahl der konventionelleren Techniken, die in der Praxis weitverbreitet sind und auch bleiben werden.

# **Keramik**

Herausgegeben von  
Hanno Schaumburg

Unter Mitwirkung von

T. Baiatu U. Böttger R. Bormann  
F. J. Esper P. Greil K. H. Härdtl  
D. Hennings H. Hinck J. Pankert  
D. Peuckert M. Peuckert H. Schaumburg  
K. Ruschmeyer H. Schmitt U. D. Scholz  
T. G. W. Stijntjes E. Visser R. Waser

Mit 632 Bildern und 63 Tabellen



**B. G. Teubner Stuttgart 1994**

Herausgeber:

Prof. Dr. Hanno Schaumburg, Technische Universität Hamburg-Harburg

Verfasser:

Dr. Tudor Baiatu, Asea Brown Boveri AG, Baden-Dättwil  
Dipl.-Phys. Ulrich Böttger, Rhein.-Westf. Technische Hochschule Aachen  
Prof. Dr. Rüdiger Bormann, GKSS-Forschungszentrum Geesthacht und  
Technische Universität Hamburg-Harburg  
Dr. Friedrich J. Esper, vorm. Robert Bosch AG, Stuttgart  
Prof. Dr. Peter Greil, Universität Erlangen-Nürnberg  
Prof. Dr. Karl Heinz Härdtl, Universität Karlsruhe  
Dr. Detlef Hennings, Philips GmbH Forschungslaboratorium, Aachen  
Dr. Helmut Hinck, Philips GmbH, Hamburg  
Dr. Joseph Pankert, Philips GmbH Forschungslaboratorium, Aachen  
Dr. Doris Peuckert, Degussa AG, Hanau  
Dr. Marcell Peuckert, Hoechst AG, Frankfurt/Main  
Prof. Dr. Hanno Schaumburg, Technische Universität Hamburg-Harburg  
Dipl.-Ing. Karl Ruschmeyer, vorm. Philips Components, Hamburg  
Dr. Heinz Schmitt, Universität des Saarlandes, Saarbrücken  
Dr. Udo D. Scholz, Thyssen Magnettechnik GmbH, Dortmund  
Ir. Theo G. W. Stijntjes, Philips Eindhoven  
Dr. Eelco Visser, Philips GmbH, Hamburg  
Prof. Dr.-Ing. Rainer Waser, Rhein.-Westf. Technische Hochschule Aachen

Die Deutsche Bibliothek – CIP-Einheitsaufnahme

**Keramik:**

mit 63 Tabellen / hrsg. von Hanno Schaumburg.

Unter Mitw. von T. Baiatu ... – Stuttgart : Teubner, 1994

(Werkstoffe und Bauelemente der Elektrotechnik ; 5)

ISBN 978-3-663-05977-6 ISBN 978-3-663-05976-9 (eBook)

DOI 10.1007/978-3-663-05976-9

NE: Schaumburg, Hanno [Hrsg.]; Baiatu, Tudor; GT

Das Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung außerhalb der engen Grenzen des Urheberrechtsgesetzes ist ohne Zustimmung des Verlages unzulässig und strafbar. Das gilt besonders für Vervielfältigungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

© B. G. Teubner Stuttgart 1994

Softcover reprint of the hardcover 1st edition 1994

## Vorwort

Nach den Lehrbüchern "Werkstoffe", "Halbleiter" und "Sensoren" liegt jetzt der erste *herausgegebene* Band innerhalb der Buchreihe "Werkstoffe und Bauelemente der Elektrotechnik" vor. Auf dem wichtigen und zukunftssträchtigen Gebiet der Elektrokeramik beschreiben bekannte Forscher, Entwickler und Fertigungsspezialisten ihr Spezialgebiet.

Bereits aus dem Inhaltsverzeichnis ist die enorme Bandbreite für den Einsatz von Keramiken in der Elektrotechnik und Elektronik erkennbar: Die Anwendungen reichen weit über die bekannte Isolatorfunktion hinaus bis hin zu Leitern und Supraleitern. Zunehmende Bedeutung bekommen Bauelemente – wie nichtlineare Widerstände und Sensoren –, deren Eigenschaften sich nur mit Hilfe spezieller Keramiken realisieren lassen. Auch bei neueren Magnetwerkstoffen mit großer Anwendungsbreite bringen Keramiken Vorteile – sowohl in den Eigenschaften als auch in der Fertigungstechnik.

Wie in allen Büchern dieser Reihe werden die neuen technischen Entwicklungen praxisnah und umfassend, aber dennoch leicht verständlich dargestellt. Auf diese Weise sollen auch den Fachleuten in der Praxis wichtige Informationen zugänglich gemacht werden. Der inzwischen beachtlichen Leserschaft der ersten drei Lehrbücher dieser Reihe wird die Möglichkeit geboten, ihre Kenntnisse auf einem Spezialgebiet zu vertiefen.

Im Band "Keramik" wird die bewährte Zusammenarbeit mit dem Teubner-Verlag fortgesetzt, die jetzt schon zu einer Vielzahl auch drucktechnisch hervorragend gelungener Bücher geführt hat. Hier ist die erfahrene Handschrift von G. Krümmel, Art Type Kommunikation, unverkennbar. Für das große Interesse und die Vielzahl anregender Gespräche sei auch Herrn Dr. J. Schlembach vom Verlag B. G. Teubner wieder einmal herzlichst gedankt.

Hamburg, Mai 1994

H. S.

# Inhalt

Vorwort .....	V
Inhalt .....	VII

<b>Einführung</b> .....	1
Von H. Schaumburg	

## I. Mikrostruktur keramischer Werkstoffe

Von P. Greil

<b>1 Einleitung</b> .....	29
<b>2 Moderne Methoden der Strukturuntersuchung</b> .....	36
2.1 Mikroskopie .....	37
2.2 Diffraktometrische Verfahren .....	41
2.3 Spektroskopische Verfahren .....	43
<b>3 Phasengleichgewichte</b>	
3.1 Heterogene Systeme und Gibbsches Phasengesetz .....	47
3.2 Kondensierte Systeme .....	50
3.3 Systeme mit einer Gasphase .....	57
3.4 Ungleichgewichte .....	60
<b>4 Gefügeausbildung</b>	
4.1 Verdichtung .....	62
4.2 Kornwachstum .....	68
4.3 Devitrifikation .....	72
<b>5 Korngrenzen</b> .....	77
5.1 Kristalline Korngrenzen .....	77
5.2 Defektstruktur kristalliner Korngrenzen .....	80
5.3 Ausscheidungen an Korngrenzen .....	86
<b>6 Gefüge und mechanische Eigenschaften</b>	
6.1 Bruchzähigkeit .....	90
6.2 Festigkeit .....	94
6.3 Verstärkung keramischer Werkstoffe .....	98
<b>Literatur</b> .....	102

## II. Herstellverfahren der Keramik

Von F. J. Esper

<b>1</b>	<b>Einleitung</b> .....	105
<b>2</b>	<b>Rohstoffe</b> .....	105
<b>3</b>	<b>Masseaufbereitung</b> .....	107
3.1	Mischen und Mahlen .....	107
3.2	Aufbereitung der zur Formgebung fertigen Masse .....	109
3.3	Sonstige Aufbereitungsmethoden .....	110
<b>4</b>	<b>Formgebung</b> .....	111
4.1	Axialpressen .....	112
4.2	Kaltisostatpressen .....	113
4.3	Heißisostatpressen .....	116
4.4	Heißpressen .....	118
4.5	Axialnaßpressen .....	119
4.6	Strangpressen .....	120
4.7	Schlickerguß .....	121
4.8	Spritzguß .....	122
4.9	Foliengießen .....	123
<b>5</b>	<b>Sintern</b> .....	124
<b>6</b>	<b>Fertigbearbeiten</b> .....	125
<b>7</b>	<b>Fügen</b> .....	126
	<b>Literatur</b> .....	127

## III. Lineare und nicht-lineare Widerstände

Von R. Waser

<b>1</b>	<b>Einleitung</b> .....	129
<b>2</b>	<b>Elektronische Leitung in Keramiken</b> .....	130
2.1	Ladungstransport .....	130
2.2	Metallisch leitende Oxide .....	133
2.3	Beweglichkeiten elektronischer Ladungsträger .....	136
2.4	Halbleitende Oxide	
2.4.1	Intrinsische Halbleiter .....	137
2.4.2	Extrinsische Halbleiter .....	139
2.4.3	Elektronische Kompensation und Defekt-Kompensation .....	142

2.5	Grenzflächen und elektrische Kontakte .....	146
2.5.1	Übersicht .....	146
2.5.2	Transport durch Schottky-Barrieren .....	149
2.5.3	Ohmsche Metall/Halbleiter-Kontakte .....	150
2.6	Korngrenzen	
2.6.1	Ausbildung von Barrieren .....	151
2.6.2	Nichtlineare Strom-Spannungs-Kennlinien .....	153
2.6.3	Dynamisches Verhalten .....	157
<b>3</b>	<b>Lineare Dickschichtwiderstände .....</b>	<b>160</b>
3.1	Widerstandstypen .....	160
3.2	Bauformen und Herstellung .....	163
3.3	Mikrostruktur und Leitungsmechanismus .....	166
3.4	Zuverlässigkeit .....	???
<b>4</b>	<b>NTC-Widerstände</b>	
4.1	Funktionsweise und elektrische Eigenschaften .....	169
4.2	Materialien und Herstellung .....	172
4.3	Technische Anwendungen .....	176
4.4	Zuverlässigkeit .....	177
<b>5</b>	<b>Varistoren .....</b>	<b>178</b>
5.1	Elektrische Charakteristik .....	178
5.2	Herstellung, Zusammensetzung und Mikrostruktur von ZnO-Varistoren....	180
5.3	Mechanismus des Varistoreffekts	
5.3.1	Defektstruktur des ZnO.....	183
5.3.2	Ausbildung von Korngrenz-Barrieren.....	185
5.3.3	Durchbruchmechanismus.....	187
5.4	Einsatzbeispiele und Typenauswahl-Kriterien.....	192
5.5	Ausführungsformen.....	193
5.6	Zuverlässigkeit und Ausfallmechanismen.....	195
<b>6</b>	<b>PTC Widerstände .....</b>	<b>198</b>
6.1	Elektrische Charakteristik .....	198
6.2	Zusammensetzung und Herstellung .....	200
6.3	Mechanismus des PTC-Effekts	
6.3.1	Heywang-Modell .....	204
6.3.2	Bildung der Korngrenz-Zustände .....	206
6.4	Technische Anwendungen .....	210
6.5	Alternative PTC-Keramiken .....	213
	<b>Literatur .....</b>	<b>214</b>



## IV. Keramische Gassensoren

Von K. H. Härdtl

<b>1</b>	<b>Einleitung</b> .....	219
<b>2</b>	<b>Festelektrolyt-Sensoren</b> .....	220
	2.1 Sauerstoffsensoren.....	220
	2.2 Wasserstoff-Sensoren.....	224
<b>3</b>	<b>Halbleiter-(Taguchi)-Sensoren</b> .....	224
<b>4</b>	<b>Resistive Sensoren</b> .....	227
	4.1 Resistive Sensoren in Dickschichttechnik.....	229
	4.2 Resistive Sensoren in Dünnschichttechnik.....	230
<b>5</b>	<b>PTC-Mikrokalorimeter</b> .....	230
<b>6</b>	<b>Schlußbemerkung</b> .....	233
	<b>Literatur</b> .....	234

## V. Supraleitende Keramiken

Von M. und D. Peuckert

<b>1</b>	<b>Grundlagen der Supraleitung</b> .....	237
<b>2</b>	<b>Strukturen</b> .....	242
<b>3</b>	<b>Herstellung und Eigenschaften</b>	
	3.1 Das System Y–Ba–Cu–O .....	248
	3.2 Das System Bi–Sr–Ca–Cu–O .....	252
<b>4</b>	<b>Anwendungen</b> .....	256
	<b>Literatur</b> .....	259

## VI. Thermodynamik supraleitender Keramiken

Von R. Bormann

<b>1</b>	<b>Einleitung</b> .....	261
<b>2</b>	<b>Das System Y–Ba–Cu–O</b> .....	262
<b>3</b>	<b>Das System Bi–Sr–Ca–Cu–O</b> .....	272
	<b>Literatur</b> .....	276

## VII. Dielektrische Keramiken

Von R. Waser, D. Hennings und T. Baiatu

<b>1</b>	<b>Einleitung</b> .....	277
<b>2</b>	<b>Polarisationsprozesse</b>	
2.1	Dielektrika in statischen elektrischen Feldern .....	278
2.2	Wechselfelder und die komplexe Dielektrizitätszahl .....	281
2.3	Atomare Deutung elektrischer Polarisationsmechanismen .....	285
2.3.1	Elektronische Polarisation .....	288
2.3.2	Ionische Polarisation .....	290
2.3.3	Orientierungspolarisation .....	291
2.3.4	Raumladungspolarisation .....	292
2.4	Allgemeine Polarisationsmechanismen in Festkörpern .....	296
2.5	Ferroelektrika	
2.5.1	Domänenbildung und remanente Polarisation .....	298
2.5.2	Thermodynamik der ferroelektrischen Phasenübergänge .....	299
2.5.3	Relaxoren .....	303
2.6	Makroskop. Dielektrizitätszahl inhomogener, dielektrischer Materialien .	304
<b>3</b>	<b>Leitungsmechanismen und spannungsinduzierte Ausfallprozesse</b> .....	306
3.1	Fehlordnung in dielektrischen Oxiden .....	306

3.2	Elektronische und ionische Leitung .....	312
3.3	Ausfallsmechanismen .....	315
3.3.1	Thermischer Durchschlag .....	315
3.3.2	Dielektrischer Durchschlag .....	316
3.3.3	Degradation des Isolationswiderstandes .....	318
3.3.4	Poren- und Oberflächeneffekte .....	322
<b>4</b>	<b>Herstellungstechnologien</b>	
4.1	Kompakte Keramiken .....	323
4.2	Vielschichttechnologie .....	326
4.3	Dick- und Dünnschichttechniken .....	333
<b>5</b>	<b>Isolatoren und Substrate</b>	
5.1	Übersicht .....	335
5.2	Materialien	
5.2.1	Gläser .....	336
5.2.2	Porzellane .....	337
5.2.3	Aluminiumoxid .....	338
5.2.4	Aluminiumnitrid .....	340
5.3	Hochspannungsisolatoren .....	342
5.4	Substrate	
5.4.1	Kompaktsubstrate .....	343
5.4.2	Vielschichtsubstrate .....	344
5.4.3	Multikomponenten-Substrate .....	347
<b>6</b>	<b>Kondensatoren</b>	
6.1	Klassifizierungen und Bauformen .....	348
6.2	Materialien mit sehr hohen Dielektrizitätszahlen .....	353
6.2.1	Modifizierte Bariumtitanate .....	353
6.2.2	Relaxor-Materialien .....	355
6.3	Ferroelektrische Materialien mit flacher Temperaturcharakteristik .....	357
6.3.1	Heterogen-dotierte Systeme .....	358
6.3.2	Korngrößeneffekte .....	361
6.4	Paraelektrische Materialien .....	362
6.5	Methoden zur Herstellung niedrig-sinternder Materialien .....	364
6.6	Kondensatoren mit Nichtedelmetall-Elektroden .....	366
6.7	Sperrschichtkondensatoren .....	367
6.8	Spezifische elektrische Eigenschaften .....	369
6.8.1	Impedanzverhalten .....	369
6.8.2	Feldabhängigkeit der dielektrischen Parameter .....	370
6.8.2	Alterungsvorgänge in ferroelektrischen Materialien .....	372
<b>7</b>	<b>Mikrowellen-Bauelemente</b> .....	373

7.1	Anforderungen und Bauformen .....	374
7.2	Materialklassen .....	375
7.2.1	Barium–Zink–Tantalat- und Barium–Zink–Niobat-System .....	376
7.2.2	Zirkonium–Titanat–Stannat-System .....	377
7.2.3	Nd <sub>2</sub> O–TiO <sub>2</sub> –BaO–Bi <sub>2</sub> O-System .....	378
7.3	Spezifische elektrische Eigenschaften .....	378
7.3.1	Höhe der Dielektrizitätszahl .....	379
7.3.2	Temperaturabhängigkeit der Dielektrizitätszahl .....	379
7.3.3	Dielektrische Verluste .....	381
7.4	Anwendungen .....	383
7.4.1	Funktionsprinzipien .....	384
7.4.2	Dielektrische Resonatoren .....	385
7.4.3	Koaxiale Keramikresonatoren .....	387
	<b>Literatur</b> .....	388

## VIII. Piezoelektrische Keramiken

Von U. Böttger und K. Ruschmeyer

<b>1</b>	<b>Grundlagen</b> .....	395
<b>2</b>	<b>Piezoelektrische Parameter</b>	
2.1	Lineare Grundgleichungen .....	398
2.2	Vollständiger Satz der Piezogleichungen .....	402
2.3	Dynamisches Verhalten und Kopplungsfaktoren .....	404
<b>3</b>	<b>Piezoelektrische Werkstoffe</b> .....	411
3.1	Perowskitstruktur .....	412
3.2	Domänenstruktur .....	413
3.3	Bleizirkonat-Titanat-Keramik .....	417
3.4	Bariumtitanat .....	419
3.5	Einfluß von Modifizierungen .....	420
3.6	Alterung .....	422
<b>4</b>	<b>Piezoelektrische Applikationen</b> .....	424
4.1	Gaszünder .....	424
4.2	Sensoren .....	426
4.3	Aktuatoren .....	428
4.4	Ultraschallmotoren .....	429
4.5	Verzögerungsleitung .....	430
4.6	Lautsprecher .....	432
	<b>Literatur</b> .....	433
	<b>Anhang</b> .....	435

## IX. Pyroelektrische Keramiken

Von J. Pankert

<b>1</b>	<b>Einleitung</b> .....	437
<b>2</b>	<b>Thermodynamik der Pyroelektrika</b>	
2.1	Thermodynamische Zustandsgleichungen .....	439
2.2	Ginsburg-Devonshire-Theorie der Ferroelektrika .....	442
<b>3</b>	<b>Dynamisches Verhalten der Pyroelektrika</b> .....	445
<b>4</b>	<b>Pyroelektrische Detektoren</b>	
4.1	Funktionsprinzip und Signalstärke .....	448
4.2	Rauschen .....	451
4.3	Bauformen und Anwendungen .....	453
4.3.1	Bewegungsmelder .....	453
4.3.2	Dielektrisches Bolometer .....	455
4.3.3	Berührungslose Temperaturmessung .....	456
4.3.4	Infrarot-Absorptionsspektrometer .....	456
4.3.5	Infrarotabbildungssysteme .....	457
<b>5</b>	<b>Pyroelektrische Materialklassen</b> .....	458
5.1	Nicht-polarisierbare Pyroelektrika .....	459
5.2	Organische Elektrete .....	459
5.3	Ferroelektrika .....	460
5.3.1	Lithium Tantalat .....	460
5.3.2	Perowskite .....	460
5.3.2.1	Modifiziertes Blei-Titanat .....	461
5.3.2.2	Blei-Zirkonat-Titanat .....	463
5.3.3	Triglycinsulfat .....	464
5.4	Relaxoren .....	464
<b>6</b>	<b>Zusammenfassung</b> .....	465
	<b>Literatur</b> .....	466

## X. Elektrooptische Keramik

Von H. Schmitt

<b>1</b>	<b>Einleitung</b> .....	467
<b>2</b>	<b>Materialien</b> .....	468

<b>3</b>	<b>Pulverpräparation</b> .....	471
3.1	Klassische Präparationstechnik .....	472
3.2	Chemische Kopräzipitation und Sol-Gel-Prozeß .....	473
<b>4</b>	<b>Probenherstellung</b> .....	475
4.1	Heißpreßverfahren .....	475
4.1.1	Isostatisches Heißpressen (HIP) .....	475
4.1.2	Matrizenverfahren .....	476
4.2	Sinterverfahren .....	477
<b>5</b>	<b>Eigenschaften</b> .....	478
5.1	Relaxorverhalten und Diffuse Phasenumwandlungen .....	481
5.2	Mechanische und elektromechanische Eigenschaften .....	487
5.3	Optische Eigenschaften .....	489
5.4	Elektrooptische Eigenschaften .....	491
<b>6</b>	<b>Anwendungen</b> .....	495
6.1	Lichtschutzeinrichtungen .....	498
6.2	Lichtmodulatoren .....	499
6.3	Stereosichtsysteme .....	499
6.4	Bildschirmssysteme .....	499
6.5	Andere Systeme .....	500
<b>7.</b>	<b>Zusammenfassung</b> .....	500
	<b>Literatur</b> .....	500

## XI. Hartmagnetische Keramiken

Von U. D. Scholz

<b>1</b>	<b>Einführung</b> .....	503
<b>2</b>	<b>Magnetische Grundlagen</b> .....	504
2.1	Diamagnetismus .....	504
2.2	Paramagnetismus .....	505
2.3	Kooperative Eigenschaften:	
	Ferromagnetismus, Antiferromagnetismus, Ferrimagnetismus .....	505
2.3.1	Ferromagnetismus .....	506
2.3.2	Antiferromagnetismus .....	512
2.3.3	Ferrimagnetismus .....	512
2.4	Magnetische Anisotropie	
2.4.1	Kristallanisotropie .....	513
2.4.2	Andere Anisotropieerscheinungen .....	516

2.5	Sekundärmagnetische Eigenschaften .....	516
2.6	Koerzitivfeldstärkemechanismen .....	518
2.7	Voraussetzungen für gute Dauermagnetwerkstoffe .....	522
<b>3</b>	<b>Hexagonale Ferrite</b>	
3.1	Kristallstruktur von Hexaferrit .....	524
3.2	Magnetische Struktur und primärmagnetische Eigenschaften von Hexaferriten .....	526
3.3	Phasendiagramm .....	533
<b>4</b>	<b>Herstellung von Ferriten</b> .....	535
4.1	Rohmaterialaufbereitung .....	536
4.2	Calzinierung, Reaktionssinterung .....	537
4.3	Mahlprozeß .....	539
4.4	Formgebung .....	540
4.4.1	Isotrope Ferrite .....	541
4.4.2	Anisotrope Ferrite .....	541
4.4.2.1	Trockenpressen anisotroper Ferrite .....	542
4.4.2.2	Naßpressen anisotroper Ferrite .....	544
4.4.3	Herstellung kunststoffgebundener Ferrite .....	545
4.5	Sintern .....	546
4.6	Mechanische Bearbeitung .....	547
4.7	Magnetisieren .....	548
<b>5</b>	<b>Magnetische Eigenschaften von Hartferriten</b> .....	548
<b>6</b>	<b>Anwendung von Hartferriten</b> .....	555
<b>7</b>	<b>Vergleich der Eigenschaften verschiedener Dauermagnetwerkstoffe</b> .....	559
	<b>Literatur</b> .....	561

## XII. Weichmagnetische Keramiken

Von H. Hinck, Dr. E. G. Visser und T. G. W. Stijntjes

<b>1</b>	<b>Einführung</b>	
1.1	Historie .....	565
1.2	Die Ferrit-Industrie – Umfang und allgemeine Trends .....	568
<b>2</b>	<b>Ferrite – Struktur und wesentliche Eigenschaften</b>	
2.1	Die Spinellstruktur und die Magnetisierung .....	570
2.2	Magnetische Bezirke und Permeabilität .....	572
2.3	Magnetische Anisotropie .....	574
2.4	Magnetisierungsmechanismen .....	576

2.5	Die magnetischen Verluste .....	578
2.6	Magnetostriktion .....	581
	a. Normale Magnetostriktion .....	581
	b. Inverse Magnetostriktion .....	582
2.7	Permeabilität polykristalliner Ferrite .....	583
2.8	Elektrische Leitfähigkeit .....	586
<b>3</b>	<b>Chemische Zusammensetzung und die Eigenschaften von Weichferriten</b>	
3.1	MnZn-Ferrite	
	3.1.1 Magnetokristalline Anisotropie .....	589
	3.1.2 Magnetostriktion .....	591
	3.1.3 Sättigungsmagnetisierung .....	592
3.2	NiZn-Ferrite	
	3.2.1 Magnetokristalline Anisotropie .....	592
	3.2.2 Magnetostriktion .....	594
	3.2.3 Sättigungspolarisation .....	595
	3.2.4 Elektrischer Widerstand .....	595
3.3	MgZn-Ferrite	
	3.3.1 Magnetokristalline Anisotropie .....	597
	3.3.2 Magnetostriktion .....	599
	3.3.3 Sättigungspolarisation .....	600
	3.3.4 Elektrischer Widerstand .....	601
<b>4</b>	<b>Ferrit-Technologie und -Produkte</b>	
4.1	Technologie .....	601
4.2	Ferrit-Produktreihe .....	604
<b>5</b>	<b>Anwendung von weichmagnetischen Ferriten</b>	
5.1	Einleitung .....	607
5.2	MnZnFe <sup>2+</sup> -, NiZn- und MgZn-Ferrite für Jochringe in Ablenksyst. ....	608
5.3	MnZn- und NiZn-Ferrite für Spulen .....	613
5.4	MnZn- und NiZn-Ferrite für Transformatoren .....	618
	5.4.1 Breitbandtransformatoren für digitale Impulsübertragung .....	618
	5.4.2 Transformatoren zur Energieübertragung in Schaltnetzteilen .....	620
5.5	Trends in der Ferrite-Technologie .....	622
<b>6</b>	<b>Gegenwärtige Entwicklungen auf dem Gebiet der Ferrite</b>	
6.1	Marktveränderungen .....	623
6.2	Neue Ferrite für Leistungstransformatoren .....	623
	<b>Literatur</b> .....	628
	<b>Stichwortverzeichnis</b> .....	635