

# Inhalt

	<b>Vorwort zur 2. Auflage</b>	V
	<b>Vorwort zur 1. Auflage</b>	VI
	<b>Autorenverzeichnis</b>	VII
	<b>Einleitung</b>	1
	Wolfgang Kollenberg	
<b>1.</b>	<b>Struktur und Gefüge keramischer Werkstoffe</b>	7
	Wolfgang Kollenberg	
<b>1.1</b>	<b>Atomaufbau der Elemente</b> .....	8
<b>1.2</b>	<b>Interatomare Bindungen</b> .....	11
<b>1.3</b>	<b>Aggregatzustände</b> .....	13
<b>1.4</b>	<b>Kristalline und amorphe Strukturen</b> .....	14
1.4.1	Kristallgitter .....	14
1.4.2	Gitterfehler .....	17
<b>1.5</b>	<b>Gefüge</b> .....	18
<b>1.6</b>	<b>Thermochemie</b> .....	22
<b>2.</b>	<b>Eigenschaften und Prüfverfahren</b>	25
	Georg Grathwohl, Mathias Herrmann, Hagen Klemm, Wolfgang Kollenberg, Meinhard Kuntz, Sandra Lehmann, Ralf Lucke, Ralf Moos, Teja Reetz, Jochen Schilm, Jürgen Dieter Schnapp, Mathias Woydt	
<b>2.1</b>	<b>Mineralogische Charakterisierung</b>	26
2.1.1	Erfassung der chemischen Zusammensetzung	26
2.1.1.1	Elementaranalyse	26
2.1.1.2	Atomabsorptions- (AAS) und Atomemissionsspektroskopie (AES)	28
2.1.1.3	Röntgenfluoreszenzanalyse (FRA)	29
2.1.1.4	Vergleich der Methoden zur chemischen Analytik	30
2.1.2	Erfassung der Phasenzusammensetzung	30
2.1.2.1	Röntgenbeugungsanalyse (RBA)	30
2.1.2.2	Infrarotspektroskopie (IR)	34
2.1.3	Erfassung des strukturellen Aufbaus	35
2.1.3.1	Lichtmikroskopie .....	35
2.1.3.2	Rasterelektronenmikroskopie (REM) .....	36
2.1.4	Thermische Analyse .....	39
2.1.5	Rohstoff und Gefüge .....	43
2.1.5.1	Korngrößenanalyse .....	43
2.1.5.2	Bestimmung der spezifischen Oberfläche .....	44
2.1.5.3	Porosität .....	45
<b>2.2</b>	<b>Mechanische Eigenschaften</b> .....	47
2.2.1	Elastizität .....	47
2.2.1.1	Grundlagen .....	47
2.2.1.2	Messmethoden .....	49
2.2.2	Bruchmechanik .....	50
2.2.2.1	Allgemeines .....	50
2.2.2.2	Spannungsintensitätsfaktor	52

2.2.2.3	Risszähigkeit .....	53
2.2.2.4	Messmethoden .....	55
2.2.3	Festigkeit .....	56
2.2.3.1	Weibullverteilung .....	56
2.2.3.2	Messmethoden .....	58
2.2.3.3	Ermittlung und Darstellung der Weibull-Verteilung .....	60
2.2.3.4	Saumriss-Modell der Festigkeit .....	61
2.2.4	Unterkritisches Risswachstum .....	63
2.2.4.1	Allgemeines .....	63
2.2.4.2	Messmethoden .....	64
2.2.5	Kriechen .....	66
2.2.5.1	Grundlagen .....	66
2.2.5.2	Messmethoden .....	68
2.2.6	Härte .....	71
2.2.6.1	Allgemeines .....	71
2.2.6.2	Verfahren nach VICKERS und KNOOP .....	71
2.2.6.3	Spannungsverhalten und Verformung .....	73
2.2.6.4	Temperaturabhängigkeit .....	76
2.2.6.5	Zeitabhängigkeit .....	77
2.2.6.6	Umwelteinflüsse aus der Härte .....	78
2.2.7	Tribologisches Verhalten .....	80
2.2.7.1	Allgemeines .....	80
2.2.7.2	Grundlagen und Definitionen .....	81
2.2.7.3	Gleitreibung und -verschleiß im Trockenlauf .....	83
2.2.7.4	Gleitreibung und -verschleiß unter Misch- und Grenzreibung .....	87
<b>2.3</b>	<b>Thermische Eigenschaften</b> .....	<b>91</b>
2.3.1	Thermische Dehnung .....	91
2.3.1.1	Physikalische Grundlagen .....	92
2.3.1.2	Messmethoden .....	93
2.3.1.3	Anwendungsbereiche .....	94
2.3.2	Wärmeleitfähigkeit .....	95
2.3.2.1	Physikalische Grundlagen .....	95
2.3.2.2	Messmethoden .....	97
2.3.2.3	Anwendungsbereiche .....	99
<b>2.4</b>	<b>Korrosionsbeständigkeit</b> .....	<b>101</b>
2.4.1	Allgemeines .....	101
2.4.2	Gaskorrosion .....	101
2.4.3	Oxidation von Nichtoxiden .....	103
2.4.4	Korrosion in wässrigen Medien .....	107
2.4.5	Verträglichkeit von Keramik mit Metallen .....	112
2.4.5.1	Allgemeines .....	112
2.4.5.2	Thermodynamische und kinetische Aspekte der Verträglichkeit .....	112
2.4.5.3	Silicate .....	116
2.4.5.4	Siliciumnitrid und Siliciumcarbid .....	117
2.4.5.5	Aluminiumoxid-Keramik .....	119
2.4.5.6	Zirconiumoxidkeramiken .....	120
2.4.5.7	Yttriumoxidkeramik .....	120
<b>2.5</b>	<b>Elektrische Eigenschaften</b> .....	<b>121</b>
2.5.1	Isolatoren .....	123
2.5.1.1	Isolatoren und Substrate .....	123
2.5.1.2	Dielektrika .....	125
2.5.1.3	Piezoelektrika .....	126
2.5.2	Halbleitende Keramiken .....	128

2.5.2.1	NTC-Keramiken	129
2.5.2.2	Keramische Varistoren	130
2.5.2.3	PTC-Keramiken	131
2.5.3	Keramische Ionenleiter	133
2.5.3.1	Yttrium stabilisiertes Zirconiumoxid	133
2.5.3.2	Kationenleiter	134
2.5.4	Elektrisch leitfähige Keramiken	134
<b>2.6</b>	<b>Magnetische Eigenschaften</b>	135
2.6.1	Allgemeines	135
2.6.2	Grundlagen des Magnetismus	136
2.6.3	Struktur von hart- und weichmagnetischen Ferriten	139
2.6.4	Weichmagnetische Ferritwerkstoffe für technische Anwendungen	139
2.6.5	Hartmagnetische Ferritwerkstoffe für technische Anwendungen	144
<b>2.7</b>	<b>Zerstörungsfreie Prüfung</b>	146
2.7.1	Allgemeines	146
2.7.2	Sichtprüfung	149
2.7.3	Eindringprüfung	149
2.7.4	Klangprüfung	151
2.7.5	Ultraschallverfahren	151
2.7.6	Schallemissionsprüfung	155
2.7.7	Durchstrahlungsprüfung	156
<b>3.</b>	<b>Keramische Werkstoffe</b>	159
	Wolfgang D.G. Böcker, Dieter Brunner, Gunter Carl, Andreas Gebhardt, Mathias Herrmann, Hans Hoppert, Wolfgang Kollenberg, Johannes Liebermann, Bernhard Mussler, Dieter Nikolay, Oswin Öttinger, Ewald Pfaff, Helmut Rasch, Hartmut Schneider, Lars Schnetter, Dieter Sporn, Gerald Vogt	
<b>3.1</b>	<b>Silicatische Technische Keramik</b>	164
3.1.1	Einleitung	164
3.1.2	Technisches Porzellan	165
3.1.2.1	Allgemeines	165
3.1.2.2	Porzellan – der ideale Werkstoff für Hochspannungs-Isolatoren	165
3.1.2.3	Abbau der Gefügespannungen	168
3.1.2.4	Wie erreicht man eine hohe Festigkeit und ein stabiles Porzellengefüge?	169
3.1.2.5	Alterung des Porzellengefüges	171
3.1.2.6	Weitergehende Werkstoffentwicklungen	172
3.1.2.7	Trends und Leitlinien	174
3.1.2.8	Gefügeanalyse an verschiedenen Elektroporzellanen	182
3.1.2.9	Regeln und Richtwerte für Hersteller und Anwender	183
3.1.2.10	Einfluss von Bauform und Oberflächeneigenschaften auf das elektrische Verhalten	186
3.1.2.11	Einfluss der Splittung auf die Festigkeit	187
3.1.3	Steatit	188
3.1.4	Cordierit	191
3.1.4.1	Allgemeine Mineral- und Gefügeeigenschaften	191
3.1.4.2	Ausdehnungsanomalie als kristallographische Besonderheit	191
3.1.4.3	Wechselwirkungen zwischen Cordieritbildung und Werkstoffgefüge	193
3.1.4.4	Phasenbestand bei einer Rohstoffbasis Talk – Tonminerale – Mullit	194
3.1.4.5	Anwendungen von Cordierit	195
<b>3.2</b>	<b>Oxidische Technische Keramik</b>	197
3.2.1	Allgemeines	197
3.2.2	Aluminiumoxid-Keramik	198

3.2.2.1	Konventionelle Aluminiumoxid-Werkstoffe .....	198
3.2.2.2	Rohstoffe und Rohstoffsynthesen .....	200
3.2.2.2.1	Der Bayerprozess .....	200
3.2.2.2.2	Synthesen von hochreinen, synthetischen Tonerden .....	205
3.2.2.2.2.1	Flüssigphasensynthese .....	205
3.2.2.3	Aluminiumoxid-Werkstoffe auf der Basis der Bayer-Tonerden .....	207
3.2.2.3.1	Mullitwerkstoffe (C 600) .....	207
3.2.2.3.2	Einteilung der Aluminiumoxid-Werkstoffe der Klasse C-700 .....	208
3.2.2.3.3	Eigenschaften und Anwendungen von Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> -Werkstoffen .....	212
3.2.2.4	Aluminiumoxid-Werkstoffe auf der Basis der synthetischen Rohstoffe, dichtes Submikronaluminiumoxid .....	220
3.2.2.4.1	Pulveranforderungen .....	220
3.2.2.4.2	Aufbereitung und Verarbeitung .....	224
3.2.2.4.3	Eigenschaften von submikronkristallinem Aluminiumoxid .....	226
3.2.2.4.4	Anwendungen von Submikronaluminiumoxid .....	229
3.2.3	Zirconiumoxid .....	231
3.2.3.1	Einleitung .....	231
3.2.3.2	Grundlegende Eigenschaften von ZrO <sub>2</sub> .....	232
3.2.3.3	Vorstellung der unterschiedlichen ZrO <sub>2</sub> -Typen .....	234
3.2.3.3.1	PSZ – partially stabilized zirconia (teilstabilisiertes ZrO <sub>2</sub> ) .....	235
3.2.3.3.2	TZP – tetragonal zirconia polykristall .....	236
3.2.3.3.2.1	Y-TZP .....	236
3.2.3.3.2.2	Ce-TZP .....	238
3.2.3.3.3	FSZ – fully stabilized zirconia (Vollstabilisiertes ZrO <sub>2</sub> ) .....	239
3.2.3.3.4	Zusammenfassung der ZrO <sub>2</sub> -Typen .....	239

3.2.3.4	Verstärkungsmechanismen in $ZrO_2$ -Keramiken .....	240
3.2.3.4.1	Mikrorissbildung .....	241
3.2.3.4.2	Spannungsinduzierte Umwandlungsverstärkung .....	241
3.2.3.4.3	Rissabschirmung (Crack deflection) .....	241
3.2.3.4.4	Rissverzweigung .....	241
3.2.3.5	Rohstoffe für $ZrO_2$ -Keramiken .....	241
3.2.3.5.1	Natürliche Rohstoffe .....	241
3.2.3.5.2	Synthetische Rohstoffe .....	242
3.2.3.6	ZTC – zirconia toughened ceramics .....	243
3.2.3.7	Anwendungsbeispiele .....	246
3.2.4	Titanate .....	250
3.2.4.1	Einleitung und Überblick .....	250
3.2.4.2	Kristalliner Aufbau und Eigenschaften .....	251
3.2.4.3	Aluminiumtitanat .....	253
3.2.4.4	Bariumtitanat .....	254
3.2.4.5	Bleititanat, PZT-Keramik .....	255
3.2.4.6	Ferroelektrische Schichten .....	255
3.2.5	Mullit .....	256
3.2.5.1	Einleitung .....	256
3.2.5.2	Mullit-Feuerfestmaterialien .....	257
3.2.5.3	Mullit-Strukturkeramiken .....	257
3.2.5.4	Mullit-Schutzschichten .....	258
3.2.5.5	Oxidfaser/Mullitmatrix-Verbundwerkstoffe .....	258
3.2.5.6	Weitere Mullit-Anwendungen .....	260
3.2.6	Transparente Keramik .....	260
3.2.6.1	Pulverherstellung .....	262
3.2.6.2	Aufbereitung und Verarbeitung .....	263
3.2.6.3	Werkstoffe .....	263
3.2.6.3.1	Stoffe mit nicht kubischen Kristallsystemen .....	265
3.2.6.3.2	Werkstoff mit kubischem Kristallsystem .....	267
<b>3.3</b>	<b>Nichtoxidische Technische Keramik .....</b>	<b>272</b>
3.3.1	Allgemeines .....	272
3.3.2	Siliciumcarbid .....	272
3.3.2.1	Einleitung .....	272
3.3.2.2	Struktur und Phasenbeziehungen .....	274
3.3.2.3	Eigenschaften .....	275
3.3.2.4	Weitmarkt und Verwendung .....	276
3.3.2.5	Herstellung von Siliciumcarbid .....	277
3.3.2.6	Chemische Bildung und Sintern .....	279
3.3.2.7	Werkstoffeigenschaften .....	282
3.3.2.8	Sonderherstellungsverfahren .....	285
3.3.2.9	SiC als Verstärkungsmittel .....	286
3.3.2.10	Großtechnische Anwendungen und Produkte .....	287
3.3.2.11	Anwendungen in der Halbleiterindustrie .....	291
3.3.2.12	Ausblick .....	292
3.3.3	Siliciumnitridwerkstoffe .....	293
3.3.3.1	Einleitung .....	293
3.3.3.2	Modifikationen des Siliciumnitrids .....	296
3.3.3.3	Oxidnitridische Phasendiagramme .....	298
3.3.3.4	Werkstoffherstellung .....	303
3.3.3.5	Gefügeentwicklung in dichter $Si_3N_4$ -Keramik .....	312
3.3.3.6	Eigenschaften dichter Siliciumnitridkeramik .....	320
3.3.3.7	Reaktionsgebundene $Si_3N_4$ -Werkstoffe .....	326

3.3.3.8	Applikation .....	327
3.3.3.9	Zusammenfassung / Ausblick .....	328
3.3.4	Aluminiumnitrid .....	330
3.3.4.1	Einleitung .....	330
3.3.4.2	Physikalische Eigenschaften .....	330
3.3.4.3	Vergleich mit anderen Keramiken .....	333
3.3.4.4	Herstellung .....	334
3.3.4.5	Anwendungen .....	336
<b>3.4</b>	<b>Keramische Fasern</b> .....	<b>337</b>
3.4.1	Allgemeines .....	337
3.4.2	Einsatzfelder keramischer Fasern .....	338
3.4.3	Stoffliche und strukturelle Varianten .....	340
3.4.4	Herstellung keramischer Fasern .....	342
3.4.5	Eigenschaftsprofile .....	345
<b>3.5</b>	<b>Glaskeramik</b> .....	<b>348</b>
3.5.1	Einleitung .....	348
3.5.2	Glasbildung und Herstellung von Glaskeramiken .....	348
3.5.3	Eigenschaften und Anwendungen von Glaskeramiken .....	351
3.5.3.1	Glaskeramiken mit minimaler thermischer Ausdehnung .....	351
3.5.3.2	Maschinell bearbeitbare Glaskeramiken .....	352
3.5.4	Bioglaskeramiken .....	354
3.5.5	Glaskeramiken mit ausgerichteten Kristallphasen – orientierte Glaskeramiken .....	356
3.5.6	Glaskeramiken mit hoher mechanischer Festigkeit .....	359

<b>3.6</b>	<b>Kohlenstoffwerkstoffe</b> .....	362
3.6.1	Einleitung .....	362
3.6.2	Die Graphitstruktur .....	362
3.6.3	Herstellung und Eigenschaften von Kohlenstoffwerkstoffen .....	363
3.6.4	Hauptanwendungen von Kohlenstoffwerkstoffen .....	367
3.6.5	Ausblick: Kohlenstoffwerkstoffe .....	373
<b>4.</b>	<b>Herstellungsverfahren der Keramik</b> .....	375
	Rainer Bartsch, Michael Böhmer, Ines Durmann, Herbert Gasthuber, Michael Hölzgen, Markus Kindtner, Gernot Klein, Wolfgang Kollenberg, Ralf Löbe, Marcus Müller, Peter Nold, Peter Quirnbach, Hermann Riedel, Andreas Roosen, Stefan Rünz, Gerd Schwier, Wolfgang Tillmann, Gerald Vogt, Alfred Vuin, Hans-Jörg Walter, Moritz v. Witzleben	
<b>4.1</b>	<b>Allgemeines</b> .....	376
<b>4.2</b>	<b>Pulverherstellung</b> .....	377
4.2.1	Einleitung .....	377
4.2.2	Pulvereigenschaftsanforderungen .....	377
4.2.3	Pulverherstellung allgemein .....	378
4.2.4	Pulveraufbereitung .....	380
4.2.4.1	Aluminiumoxid .....	382
4.2.4.2	Zirconiumoxid .....	384
4.2.4.3	Yttriumoxid .....	386
4.2.4.4	Aluminiumnitrid .....	386
4.2.4.5	Bornitrid .....	388
4.2.4.6	Siliciumnitrid .....	389
4.2.4.7	Titannitrid, Titancarbonitrid, Titancarbid .....	390
4.2.4.8	Borcarbid .....	393
4.2.4.9	Siliciumcarbid .....	393
4.2.4.10	Titanborid .....	395
4.2.4.11	Molybdänsilicid .....	396
<b>4.3</b>	<b>Organische Additive</b> .....	398
4.3.1	Einleitung .....	398
4.3.2	Additive als Bestandteil der keramischen Produktionstechnologie .....	399
4.3.3	Funktionalität der einzelnen Additivtypen .....	399
4.3.3.1	Verflüssigungs- bzw. Dispergiermittel .....	399
4.3.3.2	Temporäre Bindemittel .....	400
4.3.3.3	Presshilfsmittel .....	400
4.3.3.4	Gleithilfsmittel .....	401
4.3.3.5	Plastifizierungsmittel .....	401
4.3.3.6	Thermoplastische Binder .....	401
4.3.3.7	Feedstocks .....	402
4.3.3.8	Trennmittel .....	402
4.3.3.9	Entschäumer .....	402
4.3.3.10	Filtrationshilfsmittel .....	402
<b>4.4</b>	<b>Aufbereitung</b> .....	403
4.4.1	Einleitung .....	403
4.4.2	Mechanische Granulierverfahren .....	405
4.4.2.1	Aufbauagglomeration .....	405
4.4.2.2	Pressagglomeration .....	407
4.4.2.3	Wirbelschichtagglomeration .....	407
4.4.3	Thermische Granulierverfahren .....	408
4.4.3.1	Wirbelschichtgranulation .....	408

4.4.3.2	Sprühgranulation .....	408
4.4.3.3	Kneten .....	408
4.4.3.4	Dispergieren .....	410
<b>4.5</b>	<b>Formgebungsverfahren</b> .....	<b>412</b>
4.5.1	Axialpressen .....	412
4.5.2	Kaltisostatisches Pressen .....	419
4.5.2.1	Grundprinzip .....	419
4.5.2.2	Verfahrensprinzipien .....	421
4.5.2.3	Anlagentechnik .....	424
4.5.2.4	Anwendungsbeispiele .....	426
4.5.3	Heißisostatisches Pressen .....	426
4.5.4	Extrudieren .....	432
4.5.4.1	Die Arbeitsmasse .....	432
4.5.4.2	Die Formgebungsaggregate .....	434
4.5.5	Druckgießen .....	437
4.5.5.1	Einleitung .....	437
4.5.5.2	Entwicklung des Druckgießens in der keramischen Industrie .....	438
4.5.5.3	Physikalische Grundlagen des Druckgussprozesses .....	438
4.5.5.4	Anwendung der Druckgusstechnologie in der silicatischen und nichtsilicatischen Keramik .....	439
4.5.5.5	Beeinflussung der Scherbenbildung silicatkeramischer Suspensionen .....	444
4.5.5.6	Scherbenbildung beim Druckguss in der Oxid- und Nichtoxidkeramik .....	448
4.5.6	Spritzgießen .....	451
4.5.6.1	Einleitung .....	451

4.5.6.2	Verfahrensbeschreibung .....	452
4.5.6.3	Möglichkeiten und Grenzen des Verfahrens .....	457
4.5.7	Foliengießen .....	458
4.5.7.1	Einsatz des Verfahrens .....	458
4.5.7.2	Verfahrensvarianten zur Herstellung von Folien .....	459
4.5.7.3	Verfahrensablauf beim Foliengießen .....	461
4.5.7.4	Schlickerkomponenten .....	462
4.5.7.5	Herstellung des Schlickers und Schlickereigenschaften .....	467
4.5.7.6	Gießvorgang .....	468
4.5.7.7	Bearbeiten, Metallisieren, Laminiieren .....	470
4.5.7.8	Binderausbrand .....	471
4.5.7.9	Sinterbrand .....	471
4.5.7.10	Zusammenfassende Bewertung des Verfahrens .....	472
<b>4.6</b>	<b>Sintern</b> .....	<b>476</b>
4.6.1	Einleitung .....	476
4.6.2	Unterscheidung verschiedener Sintermechanismen und Prozessvarianten ....	476
4.6.3	Festphasensintern .....	477
4.6.4	Flüssigphasensintern .....	483
4.6.5	Anwendungsbeispiele .....	485
4.6.5.1	Pressen und Sintern einer Dichtscheibe aus $Al_2O_3$ .....	486
4.6.5.2	Sintern von Tellern, Verformung durch die Schwerkraft .....	487
4.6.5.3	Mikrowellensintern von $Al_2O_3$ -Scheiben .....	489
4.6.6	Zusammenfassung .....	490
<b>4.7</b>	<b>Bearbeitung</b> .....	<b>492</b>
4.7.1	Grünbearbeitung .....	494
4.7.2	Hartbearbeitung .....	499
4.7.2.1	Technologie der Bearbeitung .....	499
4.7.2.2	Konventionelle Verfahren .....	501
4.7.2.3	Innovative Verfahren .....	503
4.7.2.4	Laserbearbeitung .....	504
4.7.2.5	Auswirkungen der Bearbeitung auf das Bauteil .....	505
4.7.2.6	Schleifwerkzeuge .....	506
<b>4.8</b>	<b>Fügen</b> .....	<b>509</b>
<b>4.9</b>	<b>Keramische Prototypen</b> .....	<b>521</b>
4.9.1	Einleitung .....	521
4.9.2	Verfahren des Rapid Prototyping in der Keramik .....	522
4.9.2.1	Abtragende Verfahren .....	522
4.9.2.2	Formgebundene Verfahren .....	523
4.9.2.3	Aufbauende Verfahren .....	524
<b>4.10</b>	<b>Keramische Schichten</b> .....	<b>529</b>
4.10.1	Einleitung .....	529
4.10.2	Herstellung keramischer Schichten .....	529
4.10.2.1	PVD-Verfahren .....	529
4.10.2.1.1	Aufdampfen .....	529
4.10.2.1.2	Kathodenzerstäuben .....	529
4.10.2.1.3	Ionenplattieren .....	530
4.10.2.2	CVD-Verfahren .....	530
4.10.2.3	Thermische Spritzverfahren .....	530
4.10.2.3.1	Plasmaspritzen .....	531
4.10.2.3.2	Lichtbogenspritzen .....	531
4.10.2.3.3	Kaltgasspritzen .....	531
4.10.2.3.4	Flammspritzen .....	531
4.10.2.3.5	Hochgeschwindigkeitsflammspritzen .....	532

4.10.3	Gefüge und Eigenschaften thermisch gespritzter keramischer Schichten .....	532
4.10.4	Konstruktive Hinweise .....	534
4.10.5	Anwendungsbeispiele .....	535
<b>5.</b>	<b>Anwendung keramischer Werkstoffe in der Technik</b> .....	<b>539</b>
	Armin El Gammal, Hermann Hald, Wolfgang Kaysser, Ralf Moos, Detlev Nicklas, Wolfgang Schulle	
<b>5.1</b>	<b>Anwendung feuerfester Werkstoffe</b> .....	<b>540</b>
5.1.1	Allgemeine Charakterisierung und Klassifizierung feuerfester Werkstoffe .....	540
5.1.2	Spezifische Eigenschaften feuerfester Werkstoffe .....	543
5.1.3	Wesentliche Anwendungsbereiche feuerfester Werkstoffe	558
5.1.3.1	Anwendungsbereich Metallurgie	559
5.1.3.2	Anwendungen in der Glas- und Keramikindustrie	578
5.1.3.3	Anwendungen in der chemischen Industrie	582
5.1.3.4	Anwendungen in allgemeinen Feuerungs- und Verbrennungsanlagen .....	583
5.1.3.5	Ungeformte feuerfeste Erzeugnisse .....	583
5.1.3.6	Hochtemperaturwärmedämmstoffe .....	586
<b>5.2</b>	<b>Anwendungsbeispiele im Maschinen- und Anlagenbau</b> .....	<b>588</b>
5.2.1	Keramik im Maschinenbau .....	589
5.2.1.1	Kugel-, Gleit- und Wälzlager .....	589
5.2.1.2	Führungs- und Umlenkelemente .....	590
5.2.1.3	Umform- und Stanzwerkzeuge .....	590
5.2.1.4	Düsen .....	591
5.2.1.5	Schneidkeramik .....	591

5.2.1.6	Keramische Beschichtungen	592
5.2.1.7	Automotive	592
5.2.1.7.1	Motorenbereich .....	592
5.2.1.7.2	Abgasstrang .....	593
5.2.1.7.3	Thermo-Management .....	594
5.2.2	Keramik im Anlagenbau .....	595
5.2.2.1	Mühlen (Brechen und Mahlen) .....	595
5.2.2.2	Auskleidungen (gegen Verschleiß sowie thermomechanischer- und korrosiver Beanspruchung .....	596
5.2.2.3	Rohrsysteme .....	597
5.2.2.4	Pumpen- und Armaturenbau .....	597
5.2.2.4.1	Pumpen .....	597
5.2.2.4.2	Armaturen .....	598
5.2.2.4.3	Sanitärarmaturen .....	599
5.2.2.5	Chemie- und Umwelttechnik .....	600
5.2.2.5.1	Füllkörper .....	600
5.2.2.5.2	Waben (Abgasreinigung / Wärmerückgewinnung) .....	600
5.2.2.5.3	Filter .....	601
5.2.3	Funktionskeramik .....	602
<b>5.3</b>	<b>Elektronik</b> .....	605
5.3.1	Keramische Vielschichtkondensator .....	606
5.3.2	LTCC-Technologie .....	607
<b>5.4</b>	<b>Luft- und Raumfahrt</b> .....	609
5.4.1	Einleitung .....	609
5.4.2	Keramiken der Luft und Raumfahrt .....	610
5.4.3	Bauteilanwendungen in der Raumfahrt .....	612
5.4.3.1	Gesichtspunkte für die Gestaltung von Faserkeramik-Leichtbaustrukturen ...	613
5.4.3.2	Keramisches Thermalschutzsystem (TPS) .....	614
5.4.3.3	CMC-Strukturen für X-38 .....	615
5.4.3.4	Rumpfsteuerklappen für X-38 .....	617
5.4.3.5	Raketenschubdüsen .....	618
5.4.3.6	Spin-off Anwendungen für Raumfahrtkeramiken .....	618
5.4.4	Bauteilanwendungen in der Luftfahrt .....	619
5.4.4.1	Thermalschutzsysteme und Liner für Gasturbinen .....	620
5.4.4.2	Keramische Wärmedämmschichten auf hochbeanspruchten Turbinenteilen	623
	<b>Stichwortverzeichnis</b>	627
	<b>Inserentenverzeichnis</b>	633