Wolfgang Kollenberg (Hrsg.)

ethnische Keramik

Grundlagen | Werkstoffe | Verfahrenstechnik

3. Auflage

In

Vorwort zur 3. Auflage	V
Vorwort zur 2. Auflage	VI
Vorwort zur 1. Auflage	VII
Autorenverzeichnis	IX
1. Struktur und Gefüge keramischer Werkstoffe	1
1.1 Atomaufbau der Elemente	2
1.2 Interatomare Bindungen	3
1.3 Aggregatzustände	7
1.4 Kristalline und amorphe Strukturen	7
1.4.1 Koordination	8
1.4.2 Kristallgitter	8
1.4.3 Gitterfehler	11
1.5 Gefüge	12
2. Eigenschaften und Prüfverfahren	19
2.1 Mineralogische Charakterisierung	20
2.1.1 Erfassung der chemischen Zusammensetzung	20
2.1.1.1 Elementaranalyse	20
2.1.1.2 Atomabsorptions- (AAS) und Atomemissionsspektroskopie (AES)	22
2.1.1.3 Röntgenfluoreszenzanalyse (RFA)	23
2.1.1.4 Vergleich der Methoden zur chemischen Analytik	24
2.1.2 Erfassung der Phasenzusammensetzung	24
2.1.2.1 Röntgenbeugungsanalyse (RBA)	24
2.1.2.2 Infrarotspektroskopie (IR)	28
2.1.3 Erfassung des strukturellen Aufbaus	29
2.1.3.1 Lichtmikroskopie	29
2.1.3.2 Rasterelektronenmikroskopie (REM)	30
2.1.4 Thermische Analyse	33
2.1.5 Rohstoff und Gefüge	35
2.1.5.1 Korngrößenanalyse	37
2.1.5.2 Bestimmung der spezifischen Oberfläche	38
2.1.5.3 Porosität	39
2.2 Mechanische Eigenschaften	40
2.2.1 Elastizität	41
2.2.1.1 Grundlagen	41
2.2.1.2 Messverfahren für elastische Kennwerte	42
2.2.2 Bruchmechanik	43
2.2.2.1 Einleitung	43
2.2.2.2 Spannungsintensitätsfaktor und Risszähigkeit	44
2.2.2.2 Messmethoden der Risszähigkeit	47
2.2.3 Festigkeit	48
2.2.3.1 Einleitung	48
2.2.3.2 Weibullverteilung	50
2.2.3.3 Messmethoden	52

2.2.4	Unterkritisches Risswachstum	54
2.2.4.1	Allgemeines	54
2.2.4.2	Messmethoden	55
2.2.5	Kriechen	57
2.2.5.1	Grundlagen	57
2.2.5.2	Messmethoden	59
2.2.6	Härte	61
2.2.6.1	Allgemeines	61
2.2.6.2	Verfahren nach Vickers, Knoop und Rockwell	61
2.2.6.3	Spannungsverhalten und Verformung	65
2.2.6.4	Temperaturabhängigkeit	68
2.2.6.5	Zeitabhängigkeit	70
2.2.6.6	Umwelteinflüsse auf der Härte	71
2.2.7	Tribologisches Verhalten	74
2.2.7.1	Einleitung	74
2.2.7.2	Kurze Einführung in die Tribologie	75
2.2.7.3	Keramiken in trockenen Systemen	77
2.2.7.4	Keramische Wälzlager	78
2.2.7.5	Keramiken in mediengeschmierten Systemen	79
2.2.7.6	Biomedizinische Anwendungen	81
2.2.7.7	Schlussbemerkungen und Ausblick	82
2.3	Thermische Eigenschaften	84
2.3.1	Wärmeausdehnung	86
2.3.1.1	Physikalische Grundlagen	86
2.3.1.2	Messverfahren	89
2.3.1.3	Anwendungen	91
2.3.2	Wärmeleitfähigkeit	92
2.3.2.1	Physikalische Grundlagen	92
2.3.2.2	Messverfahren	95
2.3.2.3	Anwendungen	98
2.3.3	Wärmekapazität	99
2.3.3.1	Physikalische Grundlagen	99
2.3.3.2	Messverfahren	101
2.3.3.3	Anwendungen	102
2.3.4	Thermoschockverhalten	103
2.3.4.1	Physikalische Grundlagen	103
2.3.4.2	Messverfahren	105
2.3.4.3	Anwendungen	106
2.4	Korrosionsbeständigkeit	108
2.4.1	Allgemeines	108
2.4.2	Gaskorrosion	109
2.4.3	Oxidation von Nichtoxiden	111
2.4.4	Korrosion in wässrigen Medien	115
2.4.5	Verträglichkeit von Keramik mit Metallen	124
2.4.5.1	Allgemeines	124
2.4.5.2	Thermodynamische und kinetische Aspekte der Verträglichkeit	124
2.4.5.3	Silicate	128
2.4.5.4	Siliciumnitrid und Siliciumcarbid	128
2.4.5.5	Aluminiumoxid-Keramik	131
2.4.5.6	Zirconiumoxidkeramiken	132
2.4.5.7	Yttriumoxidkeramik	132
2.5	Elektrische Eigenschaften	133
2.5.1	Isolatoren	135

2.5.1.1	Isolatoren und Substrate	135
2.5.1.2	Dielektrika	136
2.5.1.3	Piezoelektrika	138
2.5.2	Halbleitende Keramiken	140
2.5.2.1	NTCR-Keramiken	140
2.5.2.2	Keramische Varistoren	142
2.5.2.3	PTCR-Keramiken	143
2.5.3	Keramische Ionenleiter	145
2.5.3.1	Yttrium-stabilisiertes Zirconiumoxid	145
2.5.3.2	Kationenleiter	146
2.5.4	Elektrisch leitfähige Keramiken	147
2.6	Magnetische Eigenschaften	148
2.6.1	Allgemeines	148
2.6.2	Grundlagen des Magnetismus	148
2.6.3	Struktur von hart- und weichmagnetischen Ferriten	151
2.6.4	Weichmagnetische Ferritwerkstoffe für technische Anwendungen	152
2.6.5	Hartmagnetische Ferritwerkstoffe für technische Anwendungen	157
2.7	Zerstörungsfreie Prüfung	158
2.7.1	Grundlagen	158
2.7.2	Optische Verfahren	160
2.7.2.1	Sichtprüfung	161
2.7.2.2	Eindringprüfung	161
2.7.2.3	Thermographie	162
2.7.2.4	Optische Kohärenztomographie	163
2.7.2.5	Laser-Speckle-Photometrie	163
2.7.3	Elektromagnetische Verfahren	164
2.7.3.1	Röntgenverfahren	164
2.7.4	Elastodynamische Verfahren	169
2.7.4.1	Ultraschallprüfung	169
2.7.4.2	Resonanzprüfung	171
2.7.4.3	Schallemissionsprüfung	172
3.	Keramische Werkstoffe	175
3.1	Silicatkeramik	182
3.1.1	Porzellan	186
3.1.1.1	Porzellan für Hochspannungsisolatoren	190
3.1.1.2	Lithiumporzellan	195
3.1.2	Steatit	196
3.1.3	Cordierit	200
3.1.3.1	Ausdehnungsanomalie als kristallographische Besonderheit	202
3.1.3.2	Wechselwirkungen zwischen Cordieritbildung und Gefüge	203
3.1.3.3	Phasenbestand bei einer Rohstoffbasis Talk – Tonminerale – Mullit	204
3.1.3.4	Anwendung als Katalysatorträger	205
3.1.3.5	Anwendung als Brennhilfsmittel	205
3.1.3.6	Cordierit in Glaskeramik	207
3.1.3.7	Anwendung in der Wärmetechnik	207
3.2	Oxidkeramik	208
3.2.1	Aluminiumoxid	208
3.2.1.1	Kristallstruktur	209
3.2.1.2	Der Bayer-Prozess	210
3.2.1.3	Synthesen von hochreinen, synthetischen Aluminiumoxiden	214
3.2.1.4	Aluminiumoxid-Werkstoffe	217

3.2.1.5	Eigenschaften und Anwendungen von Al ₂ O ₃ -Werkstoffen	222
3.2.1.6	Anwendungen im Verschleißschutz	224
3.2.1.7	Spezielle Anwendungen von Aluminiumoxid-Keramik	226
3.2.2	Zirconiumoxid	227
3.2.2.1	Natürliche Rohstoffe	227
3.2.2.2	Synthetische Rohstoffe	228
3.2.2.3	Grundlegende Eigenschaften	229
3.2.2.4	Vorstellung der unterschiedlichen ZrC _{>2} -Typen	232
3.2.2.5	Verstärkungsmechanismen in ZrCVKeramiken	237
3.2.2.6	ZTC – zirconia toughened ceramics	240
3.2.2.7	Anwendungsbeispiele	243
3.2.3	Titanate	249
3.2.3.1	Kristalliner Aufbau und Eigenschaften	249
3.2.3.2	Aluminiumtitanat	252
3.2.3.3	Bariumtitanat	254
3.2.3.4	Bleititanat, PZT-Keramik	254
3.2.3.5	Ferroelektrische Schichten	254
3.2.4	Mullit	255
3.2.4.1	Mullit-Strukturkeramiken	258
3.2.4.2	Mullit-Schutzschichten	259
3.2.4.3	Oxidfaser/Mullitmatrix-Verbundwerkstoffe	259
3.2.4.4	Weitere Mullit-Anwendungen	260
3.2.5	Transparente Keramik	261
3.2.5.1	Pulverherstellung	263
3.2.5.2	Aufbereitung und Verarbeitung	264

3.2.5.3	Werkstoffe	265
3.2.5.4	Zusammenfassung und Ausblick	274
3.3	Nichtoxidkeramik	276
3.3.1	Allgemeines	276
3.3.2	Siliciumcarbid	277
3.3.2.1	Struktur und Phasenbeziehungen	278
3.3.2.2	Eigenschaften	279
3.3.2.3	Weltmarkt und Verwendung	280
3.3.2.4	Herstellung von Siliciumcarbid	281
3.3.2.5	Chemische Bindung und Sintern	283
3.3.2.6	Aufbereitung von Submicron-SiC-Pulver	286
3.3.2.7	Werkstoffeigenschaften und-gefüge	287
3.3.2.8	Sonderherstellverfahren	290
3.3.2.9	SiC als Verstärkungsmittel	291
3.3.2.10	Großtechnische Anwendungen und Produkte	292
3.3.2.11	Anwendungen in der Halbleiterindustrie	296
3.3.2.12	Ausblick	297
3.3.3	Siliciumnitrid	299
3.3.3.1	Einleitung	299
3.3.3.2	Modifikationen des Siliciumnitrids	301
3.3.3.3	Oxidnitridische Phasendiagramme	304
3.3.3.4	Werkstoffherstellung	308
3.3.3.5	Gefügeentwicklung in dichter Si ₃ N ₄ -Keramik	317
3.3.3.6	Eigenschaften dichter Siliciumnitridkeramik	324
3.3.3.7	Reaktionsgebundene Si ₃ N ₄ -Werkstoffe	331
3.3.3.8	Applikation	333
3.3.3.9	Zusammenfassung / Ausblick	334
3.3.4	Aluminiumnitrid	337
3.3.4.1	Einleitung	337
3.3.4.2	Physikalische Eigenschaften	337
3.3.4.3	Vergleich mit anderen Keramiken	340
3.3.4.4	Herstellung	341
3.3.4.5	Anwendungen	342
3.4	Keramische Fasern	344
3.4.1	Allgemeines	344
3.4.2	Einsatzfelder keramischer Fasern	345
3.4.3	Stoffliche und strukturelle Varianten	347
3.4.4	Herstellung keramischer Fasern	350
3.4.5	Eigenschaftsprofile	352
3.5	Glaskeramik	355
3.5.1	Einleitung	355
3.5.2	Glasbildung und Herstellung von Glaskeramiken	355
3.5.3	Eigenschaften und Anwendungen von Glaskeramiken	359
3.5.3.1	Glaskeramiken mit minimaler thermischer Ausdehnung	359
3.5.3.2	Maschinell bearbeitbare Glaskeramiken	360
3.5.4	Bioglaskeramiken	361
3.5.5	Glaskeramiken mit ausgerichteten Kristallphasen – orientierte Glaskeramiken	365
3.5.6	Glaskeramiken mit hoher mechanischer Festigkeit	366
3.6	Kohlenstoffwerkstoffe	370
3.6.1	Einleitung	370
3.6.2	Die Graphitstruktur	370
3.6.3	Herstellung und Eigenschaften von Kohlenstoffwerkstoffen	371

Max-Schaidhaufstr. 25
87437 Kempten
Germany

Phone: +49 831 5618 0
Fax: +49 831 5618 345
info.technical-ceramics@3M.com

[Hightech-Lösungen aus technischer Keramik von 3M

3M Technical Ceramics gehört zu den weltweit führenden Anbietern keramischer Hochleistungsprodukte für industrielle Anwendungen und ist Spezialist im Bereich Nickel-Dispersions-schichten. Die umfangreiche Werkstoffpalette umfasst Boride, Carbide und Nitride, wie beispielsweise Borcarbid, Bornitrid, Siliciumcarbid, Siliciumnitrid oder Titandiborid. Zum Produktportfolio gehören alle anwendungsorientierten Nicht-Oxid-Keramikwerkstoffe, die weltweit Kunden aus zahlreichen Branchen einsetzen: zum Beispiel in der Automobil- und Elektronikindustrie, im Maschinen- und Anlagenbau, in der Metallurgie oder der Windenergie.

Das 1922 als Elektroschmelzwerk Kempten (ESK) gegründete Unternehmen begann 1925 mit der Produktion von Siliziumcarbid. Es spielte bei der Entwicklung von Werkstoffen aus Hochleistungskeramik im 20. Jahrhundert seine entscheidende Rolle. 2012 wurde ESK vom Multi-Technologiekonzern 3M übernommen.

Mit seinen über 50.000 Produkten und Patenten zählt 3M zu den innovativsten Unternehmen der Welt.

3M Technical Ceramics setzt auf kontinuierliche Fertigungsprozesse durch innovative Produktivitäts- und Wissensmanagement. Effiziente Produktionsabläufe werden durch professionelles Innovationsmanagement unterstützt. Die Neuproduktentwicklung und die Erschließung immer neuer Anwendungsbereiche gehören zur Unternehmenskultur, die einen stetig hohen Anspruch an Qualität und Fertigungskompetenz setzt.

Die Nachhaltigkeit ist ebenfalls ein zentraler Bestandteil der 3M Technical Ceramics-Strategie. Dazu gehört für das Unternehmen der effiziente Ressourceneinsatz sowie die Entwicklung umweltfreundlicher Produkte und Herstellungsverfahren.

3M Technical Ceramics
For Better Engineering

www.technical-ceramics.3mdeutschland.de

3.6.4	Hauptanwendungen von Kohlenstoffwerkstoffen	375
3.6.5	Ausblick: Kohlenstoffwerkstoffe	380
4.	Herstellungsverfahren der Keramik	383
4.1	Allgemeines	384
4.2	Pulverherstellung	385
4.2.1	Einleitung	385
4.2.2	Pulvereigenschaftsanforderungen	386
4.2.3	Pulverherstellung allgemein	387
4.2.4	Pulveraufbereitung	389
4.2.4.1	Aluminiumoxid	391
4.2.4.2	Zirconiumoxid	391
4.2.4.3	Yttriumoxid	393
4.2.4.4	Aluminiumnitrid	393
4.2.4.5	Bornitrid	395
4.2.4.6	Siliciumnitrid	398
4.2.4.7	Titannitrid, Titancarbonitrid, Titancarbid	398
4.2.4.8	Borcarbid	401
4.2.4.9	Siliciumcarbid	402
4.2.4.10	Titanborid	405
4.2.4.11	Molybdänsilicid	407
4.3	Organische Additive	408
4.3.1	Einleitung	408
4.3.2	Additive als Bestandteil der keramischen Produktionstechnologie	408
4.3.3	Funktionalität der einzelnen Additivtypen	409
4.3.3.1	Verflüssigungs- bzw. Dispergiermittel	409
4.3.3.2	Temporäre Bindemittel	410
4.3.3.3	Presshilfsmittel	410
4.3.3.4	Gleithilfsmittel	410
4.3.3.5	Plastifizierungsmittel	411
4.3.3.6	Thermoplastische Binder	411
4.3.3.7	Feedstocks	411
4.3.3.8	Trennmittel	412
4.3.3.9	Entschäumer	412
4.3.3.10	Filtrationshilfsmittel	413
4.4	Aufbereitung	413
4.4.1	Einleitung	413
4.4.2	Mechanische Granulierverfahren	414
4.4.2.1	Aufbauagglomeration	414
4.4.2.2	Pressagglomeration	416
4.4.2.3	Wirbelschichtagglomeration	417
4.4.3	Thermische Granulierverfahren	417
4.4.3.1	Wirbelschichtgranulation	418
4.4.3.2	Sprühgranulation	419
4.4.3.3	Kneten	419
4.4.3.4	Dispergieren	420
4.5	Formgebungsverfahren	421
4.5.1	Axialpressen	422
4.5.1.1	Pressentypen für Pulverformgebung durch axiales Pressen	422
4.5.1.2	Adaptor- und Werkzeugträgersysteme	427
4.5.1.3	Pulverfüllen	428
4.5.1.4	Füllschuhvarianten	431

Inhalt		XXI
4.5.1.5	Besondere Werkzeugsysteme	432
4.5.1.6	Zukünftige Trends und Perspektiven	433
4.5.2	Kaltisostatisches Pressen	434
4.5.2.1	Grundprinzip	434
4.5.2.2	Verfahrensprinzipien	436
4.5.2.3	Anlagentechnik	439
4.5.2.4	Anwendungsbeispiele	440
4.5.3	Heißisostatisches Pressen	442
4.5.3.1	Mechanismen der Verdichtung beim HIP-Prozess	443
4.5.4	Extrudieren	451
4.5.4.1	Die Arbeitsmasse	452
4.5.4.2	Die Formgebungsaggregate	454
4.5.5	Druckgießen	457
4.5.5.1	Einleitung	457
4.5.5.2	Entwicklung des Druckgießens in der keramischen Industrie	457
4.5.5.3	Physikalische Grundlagen des Druckgussprozesses	458
4.5.5.4	Anwendung der Druckgusstechnologie	459
4.5.5.5	Beeinflussung der Scherbenbildung silicatkeramischer Suspensionen	463
4.5.5.6	Scherbenbildung beim Druckguss in der Oxid- und Nichtoxidkeramik	468
4.5.6	Spritzgießen	470
4.5.6.1	Einleitung	470
4.5.6.2	Verfahrensbeschreibung	471
4.5.6.3	Grenzen und Möglichkeiten des Verfahrens	477
4.5.7	Foliengießen	479
4.5.7.1	Einleitung	479
4.5.7.2	Verfahrensvarianten zur Herstellung von Folien	480
4.5.7.3	Verfahrensablauf <i>beim</i> Foliengießen	481
4.5.7.4	Schlickerbestandteile	482
4.5.7.5	Herstellung des Schlickers und Schlickereigenschaften	488
4.5.7.6	Gießvorgang	489
4.5.7.7	Bearbeiten, Metallisieren, Laminieren	492
4.5.7.8	Binderausbrand	493
4.5.7.9	Sinterbrand	493
4.5.7.10	Zusammenfassende Bewertung des Verfahrens	494
4.5.8	Additive Fertigung	498
4.5.8.1	Einleitung	498
4.5.8.2	Verfahren der Additiven Fertigung	499
4.5.8.3	Abscheidungsprozesse	504
4.5.8.4	Die Prozesskette der Additiven Fertigung	507
4.5.8.5	Ausblick	508
4.6	Sintern	510
4.6.1	Einleitung	510
4.6.2	Triebkräfte und Kinetik	510
4.6.3	Mechanismen für Stofftransport und Verdichtung	513
4.6.4	Sintermechanismen	514
4.6.4.1	Festphasensintern	514
4.6.4.2	Flüssigphasensintern	517
4.6.4.3	Flüssigphasensintern von LTCC	519
4.6.4.4	Reaktionssintern	520
4.6.4.5	Drucksintern	521
4.7	Bearbeitung	525
4.7.1	Einleitung	525
4.7.2	Grünbearbeitung	525

4.7.3	Weißbearbeitung	526
4.7.3.1	Grundlagen des Weißsinterns (Keramikhersteller)	527
4.7.3.2	Weiß- und Weiterbearbeitung (Zahntechniker)	530
4.7.4	Hartbearbeitung	532
4.7.4.1	Konventionelle Verfahren	532
4.7.4.2	Innovative Verfahren	536
4.7.4.3	Laserbearbeitung	537
4.7.4.4	Auswirkungen der Bearbeitung auf das Bauteil	538
4.7.4.5	Schleifwerkzeuge	539
4.7.4.6	Ausführungsbeispiele	541
4.8	Fügen	542
4.9	Keramische Schichten	554
4.9.1	Einleitung	554
4.9.2	CVD- und PVD-Schichten	554
4.9.2.1	Eigenschaften und Anwendungen von Hartstoffschichten	555
4.9.2.2	Herstellung von Hartstoffschichten	560
4.9.2.3	CVD-Verfahren	562
4.9.2.4	PVD-Verfahren	566
4.9.2.5	Randbedingungen bei der Beschichtung mit dünnen Hartstoffen	571
4.9.3	Thermische Spritzschichten	572
4.9.3.1	Thermische Spritzverfahren	573
4.9.3.2	Neuere Entwicklungen	574
4.9.3.3	Mikrostruktur und Eigenschaften thermisch gespritzter Keramiksichten	575
4.9.3.4	Anwendungsbeispiele	577
4.9.3.5	Plasmakeramik	578
4.9.3.6	Funktionsschichten	579
4.9.4	Sol-Gel-Schichten	580
4.9.4.1	Sol-Gel-Prozess	581
4.9.4.2	Dip-Coating („Tauchbeschichtung“)	584
4.9.4.3	Spin-Coating („Aufschleudern“)	585
4.9.4.4	Spray-Coating („Sprühbeschichtung“)	586
4.9.4.5	Modifizierte Sole	587
4.9.5	Aerosol-Depositionsschichten	588
5.	Anwendung keramischer Werkstoffe in der Technik	593
5.1	Einleitung	594
5.2	Anwendungsbeispiele in der Feuerfestindustrie	594
5.2.1	Basische Feuerfestprodukte	597
5.2.2	Nichtbasische Feuerfestprodukte	599
5.2.3	Auswahlkriterien für den Anwendungseinsatz	601
5.2.4.	Branchen- und industrieübergreifender Anwendungsüberblick	603
5.2.5	Ausblick, Entwicklungen und Perspektiven	608
5.3	Anwendungsbeispiele im Maschinen- und Anlagenbau	609
5.3.1	Keramik im Maschinenbau	611
5.3.1.1	Kugel-, Gleit- und Wälzlager	611
5.3.1.2	Führungs- und Umlenkelemente	611
5.3.1.3	Umform- und Stanzwerkzeuge	612
5.3.1.4	Düsen	612
5.3.1.5	Schneidkeramik	613
5.3.1.6	Keramische Beschickungen	613
5.3.1.7	Automotive	614
5.3.2	Keramik im Anlagenbau	616

5.3.2.1	Mühlen (Brechen und Mahlen)	616
5.3.2.2	Auskleidungen (gegen Verschleiß sowie thermomechanische und korrosive Beanspruchung)	617
5.3.2.3	Rohrsysteme	618
5.3.2.4	Pumpen- und Armaturenbau	619
5.3.2.5	Chemie- und Umwelttechnik	621
5.3.3	Funktionskeramik	623
5.3.3.1	Halbleitertechnik	623
5.3.3.2	Niederspannungstechnik	624
5.3.3.3	Piezokeramiken: Aktoren und Sensoren	625
5.3.3.4	Elektrische Widerstände, Kondensatoren und Überspannungsableiter	626
5.4	Anwendungsbeispiele aus der Elektronik	627
5.4.1	Keramischer Vielschichtkondensator	627
5.4.2	LTCC-Technologie	629
5.5	Luft- und Raumfahrt	630
5.5.1	Keramiken der Luft- und Raumfahrt	631
5.5.2	Bauteilanwendungen in der Raumfahrt	633
5.5.2.1	Gesichtspunkte für die Gestaltung von Faserkeramik-Leichtbaustrukturen	634
5.5.2.2	Keramisches Thermalschutzsystem (TPS)	635
5.5.2.3	CMC-Strukturen für X-38	636
5.5.2.4	Rumpfsteuerklappen für X-38	639
5.5.2.5	Raketenschubdüsen	640
5.5.2.6	Spin-off-Anwendungen für Raumfahrtkeramiken	640
5.5.3	Bauteilanwendungen in der Luftfahrt	641
5.5.3.1	Thermalschutzsysteme und Liner für Gasturbinen	642
5.5.3.2	Keramische Wärmedämmschichten auf hochbeanspruchten Turbinenteilen....	645
	Stichwortverzeichnis	647
	Inserentenverzeichnis	653