

# Inhalt

<b>Vorwort</b> .....	VII
<b>Geleitwort</b> .....	IX
<b>Autorenverzeichnis</b> .....	X
<b>1. Einleitung</b> .....	1
<b>1.1 Definition des Begriffs Thermoprozesstechnik</b> .....	2
<b>1.2 Systematik und Klassifikation der Thermoprozessanlagen</b> .....	3
1.2.1 Thermische Verfahren .....	3
1.2.2 Ofenart .....	6
1.2.3 Gutlagerung .....	11
1.2.4 Erwärmungsprinzip .....	12
1.2.5 Hüllmittel .....	22
1.2.6 Produktionsbereich .....	23
1.3 Ausblick .....	26
<b>2. Werkstofftechnische Grundlagen</b> .....	29
<b>2.1 Schmelzen</b> .....	30
2.1.1 Eisenwerkstoffe .....	30
2.1.1.1 Stahlherstellung .....	33
2.1.1.2 Sekundärmetallurgie der Stahlherstellung .....	35
2.1.1.3 Schmelzen von Eisenguss .....	35
2.1.2 Aluminium .....	39
2.1.2.1 Primär- und Sekundäraluminium .....	39
2.1.2.2 Guss- und Knetlegierungen .....	40
2.1.2.3 Qualität der Aluminiumschmelze .....	40
2.1.2.4 Schmelzebehandlung .....	42
2.1.3 Kupferwerkstoffe .....	43
2.1.3.1 Kupfergewinnung .....	43
2.1.3.2 Kupfersorten und -legierungen .....	43
2.1.3.3 Oxidierendes und reduzierendes Schmelzen .....	44
2.1.4 Glas .....	46
2.1.4.1 Zur Natur und Struktur des Glases .....	46
2.1.4.2 Viskosität .....	48
2.1.4.3 Industriell hergestellte Gläser .....	50
2.1.4.4 Industrielle Glasherstellung .....	53
2.1.4.5 Ausblick .....	63
<b>2.2 Grundlagen der technischen Wärmebehandlung metallischer Werkstoffe</b> .....	64
2.2.1 Härten .....	67
2.2.1.1 Begriffsbestimmung .....	67
2.2.1.2 Vergüten (Härten und Anlassen) .....	68
2.2.1.3 Prüfung der Härbarkeit .....	79
2.2.1.4 Berechnung der Härbarkeit .....	82
2.2.1.5 Einsatzhärten .....	83
2.2.1.6 Eigenschaften gehärteter Werkstücke .....	84
2.2.1.7 Presshärten .....	89

2.2.2	Glühbehandlungen .....	90
2.2.2.1	Diffusionsglühen .....	90
2.2.2.2	Grobkornglühen .....	91
2.2.2.3	Normalglühen .....	94
2.2.2.4	Weichglühen .....	97
2.2.2.5	Rekristallisationsglühen .....	100
2.2.2.6	Spannungsarmglühen .....	106
2.2.2.7	Wasserstoffarmglühen .....	106
2.2.2.8	Kombinierte Glühverfahren .....	107
2.2.2.9	Patentieren von Drähten .....	107
2.2.3	Beschreibung der Austenitumwandlung für technische Anwendungen .....	108
2.2.3.1	Ermittlung der Ungleichgewichtsschaubilder .....	109
<b>2.3</b>	<b>Grundlagen der technischen Wärmebehandlung von nichtmetallisch-anorganischen Werkstoffen .....</b>	<b>111</b>
2.3.1	Einteilung von nichtmetallisch-anorganischen Werkstoffen .....	111
2.3.2	Natursteine .....	112
2.3.2.1	Magmatite .....	112
2.3.2.2	Sedimente .....	112
2.3.2.3	Metamorphite .....	112
2.3.3	Glas .....	113
2.3.3.1	Rohstoffe und Herstellung .....	113
2.3.3.2	Wärmebehandlung von Glas .....	114
2.3.3.3	Formgebung von Glas .....	114
2.3.3.4	Eigenschaften von Glas und ihre Beeinflussung .....	115
2.3.4	Keramik .....	117
2.3.4.1	Einteilung keramischer Werkstoffe .....	118
2.3.4.2	Sintern keramischer Werkstoffe .....	121
2.3.5	Nichtmetallisch-anorganische Bindemittel .....	127
2.3.5.1	Zement .....	127
2.3.5.2	Kalk .....	130
2.3.5.3	Gips .....	132
2.3.5.3.1	System $\text{CaSO}_4 - \text{H}_2\text{O}$ .....	132
<b>3.</b>	<b>Wärmeübertragung .....</b>	<b>137</b>
<b>3.1</b>	<b>Grundgleichungen der Wärmeübertragung .....</b>	<b>138</b>
<b>3.2</b>	<b>Wärmeleitung .....</b>	<b>139</b>
3.2.1	Fouriersches Gesetz .....	139
3.2.2	Fouriersche Wärmeleitungsgleichung .....	139
3.2.3	Eindimensionale, stationäre Wärmeleitung .....	141
3.2.4	Wärmeübertragung an Rippen .....	145
3.2.4.1	Wärmeübertragung an Rippen mit konstanten Querschnitten .....	146
3.2.4.2	Rippenwirkungsgrad .....	147
3.2.5	Instationäre Wärmeleitung .....	153
3.2.5.1	Körper mit hoher Wärmeleitfähigkeit .....	155
3.2.5.2	Ebene Wand mit Konvektion .....	157
3.2.5.3	Unendlich langer Zylinder mit Konvektion .....	159
3.2.5.4	Kugel mit Konvektion .....	163
3.2.5.5	Der einseitig unendlich ausgedehnte Körper .....	167
3.2.6	Numerische Lösung von Wärmeleitungsproblemen .....	169
3.2.6.1	Numerische Lösung stationärer Wärmeleitungsprobleme .....	169

3.2.6.2	Numerische Lösung instationärer Wärmeleitungsprobleme in kartesischen Koordinaten .....	177
3.2.6.3	Numerische Lösung instationärer Wärmeleitungsprobleme in Zylinder- und Kugelkoordinaten .....	182
<b>3.3</b>	<b>Wärmestrahlung</b> .....	189
3.3.1	Schwarze Strahlung.....	190
3.3.1.1	Plancksches Verteilungsgesetz .....	191
3.3.1.2	Wiensches Verschiebungsgesetz .....	192
3.3.1.3	Stefan-Boltzmannsches Gesetz .....	193
3.3.2	Oberflächenemission – Reflexion, Absorption, Transmission .....	193
3.3.3	Strahlungsaustausch zwischen diffusen, grauen Flächen .....	199
3.3.3.1	Einstrahlzahlen (view factors) .....	199
3.3.3.2	Berechnete Einstrahlzahlen .....	201
3.3.3.3	Strahlungsaustausch zwischen schwarzen Oberflächen .....	201
3.3.3.4	Strahlungsaustausch zwischen grauen Oberflächen in einem geschlossenen Raum .....	204
3.3.4	Gasstrahlung; Strahlung von Gasgemischen .....	207
3.3.4.1	Absorption und Strahlung in Gasen mit konstanten Temperaturen .....	207
3.3.4.2	Emissionsgrade von Gasen bei einem Gesamtdruck von $p = 1$ bar .....	211
3.3.4.3	Strahlungsaustausch zwischen Gas und Wand .....	216
<b>3.4</b>	<b>Konvektion</b> .....	218
3.4.1	Bestimmung von Wärmeübergangskoeffizienten mittels dimensionsloser Kennzahlen .....	220
<b>4.</b>	<b>Gasförmige Brennstoffe und Verbrennung</b> .....	225
<b>4.1</b>	<b>Einteilung der Brennstoffe</b> .....	226
<b>4.2</b>	<b>Ursprung und Zusammensetzungen gasförmiger Brennstoffe</b> .....	227
4.2.1	Erdgas.....	227
4.2.2	Kuppelgase der Stahlindustrie .....	228
4.2.3	Bio-, Klär- und Deponiegas.....	232
<b>4.3</b>	<b>Eigenschaften und Kenndaten von Gasen und gasförmigen Brennstoffen</b> .....	232
4.3.1	Zusammensetzung eines Gasgemischs.....	234
4.3.2	Molare Masse eines Gasgemischs.....	234
4.3.3	Molares Volumen eines Gasgemischs .....	235
4.3.4	Dichte.....	235
4.3.5	Relative Dichte.....	235
4.3.6	Bezugszustand .....	235
4.3.7	Brennwert .....	236
4.3.8	Heizwert .....	236
4.3.9	Wobbe-Index gasförmiger Brennstoffe .....	236
4.3.10	Zündtemperatur eines gasförmigen Brennstoffs.....	237
4.3.11	Zündgrenzen eines gasförmigen Brennstoffs.....	238
4.3.12	Spezifische Wärmekapazität und Enthalpie .....	239
<b>4.4</b>	<b>Verbrennung</b> .....	244
4.4.1	Grundgleichungen der Verbrennung .....	244
4.4.1.1	Reaktionsgleichungen .....	245
4.4.1.2	Sauerstoff- und Luftbedarf der Verbrennung .....	246
4.4.1.3	Abgase bei der Verbrennung.....	249

4.2.2	Energetik der Verbrennungsprozesse .....	257
4.4.2.1	Verbrennungstemperatur .....	258
4.4.2.2	Abgasverluste .....	264
4.4.2.3	Feuerungstechnischer Wirkungsgrad .....	265
<b>4.5</b>	<b>Schadstoffe der Verbrennung</b> .....	<b>268</b>
4.5.1	Kohlendioxid CO <sub>2</sub> .....	268
4.5.2	Kohlenmonoxid CO .....	269
4.5.3	Stickoxide .....	270
4.5.3.1	Bildung von Stickstoffoxiden .....	270
4.5.3.2	Primärmaßnahmen zur Verminderung von Stickstoffoxiden .....	275
4.5.3.3	Sekundärmaßnahmen zur Verminderung von Stickstoffoxiden .....	280
<b>5.</b>	<b>Elektrothermische Verfahren</b> .....	<b>285</b>
<b>5.1</b>	<b>Übersicht der Elektrothermischen Verfahren und deren Anwendungsgebiete in der Industrie</b> .....	<b>286</b>
<b>5.2</b>	<b>Direkte Erwärmungsverfahren</b> .....	<b>288</b>
5.2.1	Mathematische Grundlagen und Berechnung direkter Erwärmungsverfahren .....	290
5.2.1.1	Elektromagnetisches Feld .....	291
5.2.1.2	Temperaturfeld .....	297
5.2.1.3	Kopplung von elektromagnetischem und thermischem Feld .....	298
5.2.1.4	Fluiddynamisches Feld .....	299
5.2.1.5	Methoden zur numerischen Berechnung .....	301
5.2.2	Induktive Erwärmung .....	306
5.2.2.1	Physikalische und technische Grundlagen .....	306
5.2.2.2	Induktives Schmelzen .....	309
5.2.2.3	Induktive Erwärmung zum Wärmebehandeln, Umformen sowie zum Fügen und Trennen .....	317
5.2.3	Konduktive Erwärmung .....	323
5.2.3.1	Physikalische und technische Grundlagen .....	323
5.2.3.2	Anwendungsbereiche und Anlagentechniken .....	324
5.2.3.3	Energieversorgung und Energiebedarf .....	326
5.2.4	Dielektrische Erwärmung .....	326
5.2.4.1	Physikalische und technische Grundlagen .....	327
5.2.4.2	Hochfrequenzerwärmung .....	328
5.2.4.3	Mikrowellenerwärmung .....	331
<b>5.3</b>	<b>Indirekte Erwärmungsverfahren</b> .....	<b>334</b>
5.3.1	Widerstandserwärmung .....	334
5.3.1.1	Physikalische und technische Grundlagen .....	335
5.3.1.2	Anlagentechniken und Anwendungsbereiche .....	337
5.3.2	Infrarot Erwärmung .....	338
5.3.2.1	Physikalische und technische Grundlagen .....	338
5.3.2.2	Anlagentechniken und Auslegungskriterien .....	339
5.3.2.3	Anwendungsbereiche .....	340
5.3.3	Lichtbogenerwärmung .....	341
5.3.3.1	Physikalische und technische Grundlagen .....	341
5.3.3.2	Anwendungen .....	342
5.3.4	Plasmaerwärmung .....	345
5.3.4.1	Physikalische und technische Grundlagen .....	345
5.3.4.2	Anwendungsbereiche der Plasmastrahlverfahren .....	346

5.3.4.3	Anwendungsbereiche der Plasmawärmebehandlung und Plasmaoberflächentechniken .....	347
5.3.5	Laserstrahlerwärmung .....	349
5.3.5.1	Physikalische und technische Grundlagen .....	349
5.3.5.2	Anwendungsbereiche .....	350
5.3.6	Elektronenstrahlerwärmung .....	353
5.3.6.1	Physikalische und technische Grundlagen .....	353
5.3.6.2	Anlagentechniken und Anwendungsbereiche .....	355
<b>5.3.7</b>	<b>Funkenerosion</b> .....	<b>356</b>
5.3.7.1	Physikalische und technische Grundlagen .....	356
5.3.7.2	Anwendungstechniken .....	357
5.3.7.3	Anlagenaufbau .....	358
5.3.7.4	Anwendungsbereiche .....	359
<b>6.</b>	<b>Energiebilanz von Industrieöfen und Energieeffizienz</b> .....	<b>361</b>
<b>6.1</b>	<b>Massenbilanz</b> .....	<b>362</b>
<b>6.2</b>	<b>Energiebilanz</b> .....	<b>362</b>
6.2.1	Erster Hauptsatz der Thermodynamik .....	363
6.2.2	Arbeit .....	365
6.2.3	System und Systemgrenze .....	366
6.2.4	Enthalpie, innere Energie .....	369
<b>6.3</b>	<b>Bewertung von Bilanzen</b> .....	<b>372</b>
6.3.1	Nutzungsgrad .....	373
6.3.2	Wirkungsgrad .....	374
6.3.3	Definition von Wirkungsgraden .....	375
<b>6.4</b>	<b>Wirkungsgrade eines Ofens ohne Luftvorwärmung</b> .....	<b>379</b>
<b>6.5</b>	<b>Wirkungsgrade eines Ofens mit Luftvorwärmung</b> .....	<b>384</b>
<b>6.6</b>	<b>Wirkungsgrade und Energiebilanzen von elektrothermischen Verfahren</b> .....	<b>387</b>
6.6.1	Wirkungsgradketten .....	389
6.6.2	Wirkungsgrade für die elektrothermische Energiewandlung bei direkten elektrothermischen Erwärmungsverfahren .....	392
6.6.3	Beispiele für Energiebilanzen elektrothermischer Verfahren .....	393
<b>6.7</b>	<b>Energieeffizienz von Industrieöfen</b> .....	<b>395</b>
6.7.1	Methodik zur Verbesserung der Energieeffizienz von Industrieöfen .....	395
6.7.2	Energieeffizienz von elektrothermischen Verfahren .....	396
6.7.2.1	Optimierung vorhandener Prozesse und Anlagen .....	398
6.7.2.2	Substitution oder Ergänzung konventioneller thermischer Prozesse und Anlagen .....	399
6.7.2.3	Entwicklung und Einführung neuer hocheffizienter Verfahren .....	399
<b>6.8</b>	<b>Beispiele für Energiebilanzen brennstoffbeheizter Industrieöfen</b> .....	<b>401</b>
<b>6.9</b>	<b>Energetische Auslegung eines Stoßofens</b> .....	<b>407</b>
6.9.1	Beschreibung des Ofens .....	407
6.9.2	Abmessungen des Ofens .....	409
6.9.3	Ermittlung der Prozessdaten .....	410
6.9.3.1	Massen und Zeiten .....	410
6.9.3.2	Enthalpiezunahme des Stahls (Energieerhöhung des Gutes während des Erwärmungsprozesses) .....	411

6.9.3.3	Simulation des Erwärmungsprozesses mit der Finiten-Volumen-Methode .....	414
6.9.3.4	Energiebilanz .....	418
6.9.3.5	Abstrahlverluste $\dot{Q}_{\text{Strahlung}}$ .....	419
6.9.3.6	Wandverluste $\dot{Q}_{\text{Wand}}$ .....	420
6.9.3.7	Kühlung von Ofenteilen $\dot{Q}_{\text{Kühlung}}$ .....	422
6.9.3.8	Wirkungsgrade .....	425
6.9.3.9	Brennstoffvolumenstrom und spezifischer Energiebedarf .....	425
6.9.3.10	Berechnung der Volumenströme für die installierte Brennstoffleistung .....	426
6.9.3.11	Energiebilanz des Rekuperators .....	427
<b>7.</b>	<b>Strömung in Industrieöfen .....</b>	<b>431</b>
<b>7.1</b>	<b>Thermoprozessanlagen mit Gasumwälzung .....</b>	<b>432</b>
<b>7.2</b>	<b>Grundlagen der Strömungsmechanik .....</b>	<b>436</b>
7.2.1	Fluide .....	436
7.2.1.1	Dichte .....	436
7.2.1.2	Viskosität .....	438
7.2.1.3	Wärmeleitfähigkeit .....	441
7.2.1.4	Spezifische Wärmekapazität .....	442
7.2.2.1	Grundgleichungen der Stromfadentheorie .....	446
7.2.2.2	Kontinuitätsgleichung .....	447
7.2.2.3	Kräftegleichgewicht am Stromfaden .....	447
7.2.2.4	Druckbegriffe und Druckmessung .....	451
7.2.2	Strömung von Fluiden .....	443



## RWO Retorten Wärmebehandlungs Ofen

mit Schnellkühlfunktion

- Abschrecken
- Gefüge einfrieren
- kurze Prozesszeiten
- Schnellkühlen im Vakuum

mut-jena.de

**MUT** ADVANCED HEATING

Thermoprozessanlagen für die Herstellung  
von Produkten mit höchsten Ansprüchen

<b>7.3</b>	<b>Strömung in Rohren und Kanälen</b> .....	454
7.3.1	Einlaufströmung im Rohr.....	454
7.3.2	Ausgebildete Rohrströmungen.....	455
7.3.3	Laminare Rohrströmung.....	456
7.3.4	Turbulente Rohrströmung.....	459
7.3.5	Widerstandsgesetze für kreisförmige Rohre.....	459
7.3.5.1	Widerstandsgesetze für glatte Rohre.....	459
7.3.5.2	Widerstandsgesetze für raue Rohre.....	460
7.3.6	Strömung durch Kanäle mit nicht kreisförmigem Querschnitt.....	461
7.3.6.1	Laminare Strömung.....	461
7.3.6.2	Turbulente Strömung.....	466
7.3.7	Druckverluste in Rohrleitungs- und Kanalelementen.....	466
7.3.7.1	Querschnittserweiterung.....	466
7.3.7.2	Querschnittsverengung.....	468
<b>7.4</b>	<b>Strömung und Wärmeübertragung in Düsensystemen</b> .....	470
7.4.1	Düsenfreistrahler.....	473
7.4.1.1	Kernbereich.....	474
7.4.1.2	Ähnlichkeitsbereich.....	477
7.4.2	Prallstrahl.....	481
7.4.2.1	Wärmeübergang Einzel-Prallstrahl.....	481
7.4.2.2	Wärmeübergang von Düsenfeldern.....	484
<b>7.5</b>	<b>Wärmeübergang für die ebene Platte</b> .....	487
7.5.1	Lösung der laminaren Grenzschichtgleichungen für die ebene Platte.....	488
7.5.2	Grenzschichtgleichungen für die turbulente Strömung.....	489
7.5.3	Wärmeübertragung an der ebenen Platte.....	489
<b>7.6</b>	<b>Ventilatoren für Hochkonvektionsanlagen</b> .....	493
7.6.1	Theoretische Grundlagen.....	493
7.6.2	Bauformen.....	496
7.6.2.1	Axialventilatoren.....	496
7.6.2.2	Radialventilatoren.....	497
7.6.2.3	Querstromventilatoren.....	500
7.6.3	Schaufelgeometrie.....	500
7.6.4	Mechanische Belastungen von Laufrädern.....	501
7.6.5	Leitsysteme.....	505
7.6.6	Ventilator Kennlinien.....	508
7.6.7	Anlagenkennlinie und Betriebspunkt.....	514
7.6.8	Reihenschaltung und Parallelschaltung von Ventilatoren.....	516
<b>8.</b>	<b>Ofenatmosphären</b> .....	519
<b>8.1</b>	<b>Grundlagen der Vakuumtechnik</b> .....	520
8.1.1	Allgemeines.....	520
8.1.2	Merkmale der Druckbereiche und Auswirkungen in der Thermoprozesstechnik.....	521
8.1.3	Vakuumerzeugung.....	522
8.1.4	Druckmessung.....	529
8.1.4.1	Totaldruckmessung.....	529
8.1.4.2	Partialdruckmessung.....	531
8.1.5	Vakuum in der Thermoprozesstechnik.....	533
<b>8.2</b>	<b>Grundlagen der Vakuumwärmebehandlung</b> .....	534
8.2.1	Glühen.....	536

8.2.2	Vergüten .....	536
8.2.3	Einsatzhärten im Vakuum .....	539
8.2.3.1	Niederdruckaufkohlung .....	540
8.2.3.2	Plasmaaufkohlen .....	546
8.2.4	Gasabschrecken .....	547
8.2.4.1	Physikalische Grundlagen .....	548
8.2.4.2	Reversieren .....	553
8.2.4.3	Düsenkühlung .....	555
8.2.4.4	Härtbarkeit .....	556
8.2.5	Vakuumnitrieren .....	558
8.2.5.1	Niederdruck-Nitrieren .....	558
8.2.5.2	Plasmanitrieren .....	558
8.2.6	Löten .....	560
8.2.7	Trockenes Bainitieren .....	561
8.2.8	Verzug .....	562
<b>8.3</b>	<b>Grundlagen der Schutz- und Reaktionsgastechnik .....</b>	<b>568</b>
8.3.1	Schutz- und Reaktionsgas .....	568
8.3.1.1	Aufgaben von Schutz- und Reaktionsgasen .....	568
8.3.1.2	Herstellung/Erzeugung durch Verbrennung .....	569
8.3.1.3	Herstellung/Erzeugung durch thermische Spaltung .....	572
8.3.1.4	Herstellung/Erzeugung durch Mischung .....	573
8.3.2	Schutzgase für thermische Prozesse .....	573
8.3.2.1	Glühprozesse .....	573
8.3.2.2	Neutralhärten .....	574
8.3.3	Schutz- und Reaktionsgase für thermochemische Prozesse .....	575
8.3.3.1	Aufkohlen/Einsatzhärten .....	575
8.3.3.2	Kohlenstoffübertragung .....	583
8.3.4	Schutzgasatmosphäre .....	588
8.3.4.1	Stöchiometrische Berechnungen .....	588
8.3.4.2	Berechnung der Schutzgaszusammenstellung .....	589
8.3.4.3	Homogene Wassergasreaktion .....	590
8.3.4.4	Homogene Methanbildungsreaktion .....	590
8.3.4.5	Boudouard-Reaktion .....	591
8.3.4.6	Heterogene Wassergasreaktion .....	592
8.3.4.7	Heterogene Methanbildungsreaktion .....	593
8.3.4.8	Berechnung der Schutzgaszusammensetzung .....	593
8.3.4.9	Rußgrenze .....	598
8.3.5	Carbonitrieren im Gas .....	598
8.3.6	Vergüten .....	599
8.3.7	Nitrieren und Nitrocarburieren .....	600
<b>9.</b>	<b>Werkstoffe im Ofenbau .....</b>	<b>617</b>
<b>9.1</b>	<b>Metallische Hochtemperaturwerkstoffe .....</b>	<b>618</b>
9.1.1	Einleitung .....	618
9.1.1.1	Grundlagen hitzebeständiger Stähle .....	618
9.1.1.2	Grundlagen hochwärmfester Werkstoffe .....	620
9.1.2	Ofenbauwerkstoffe – Anwendungsbeispiele .....	624
9.1.2.1	Werkstoffe für die Wärmebehandlung an Luft .....	624
9.1.2.2	Blankglühanlagen und Nitrieröfen .....	626
9.1.2.3	Ofenbauwerkstoffe für den Einsatz unter aufkohlenden Bedingungen .....	627
9.1.2.4	Ofenbauwerkstoffe für den Einsatz unter komplexen Korrosionsbedingungen .....	629



9.1.3	Heizleiterwerkstoffe .....	630
9.1.3.1	Eisen-Chrom-Aluminium-Legierungen .....	630
9.1.3.2	Nickel-Chrom-(Eisen)-Legierungen .....	633
<b>9.2</b>	<b>Keramische Werkstoffe</b> .....	<b>636</b>
9.2.1	Dichte geformte feuerfeste Erzeugnisse .....	640
9.2.1.1	Basische geformte Erzeugnisse .....	641
9.2.1.2	Nichtbasische geformte Erzeugnisse .....	642
9.2.2	Ungeformte feuerfeste Werkstoffe .....	649
9.2.2.1	Feuerbetone (C) .....	649
9.2.2.2	Formbare feuerfeste Massen (M) .....	651
9.2.2.3	Spritzmassen (G) .....	651
9.2.2.4	Feuerfeste Mörtel (J) .....	651
9.2.2.5	Sonstige ungeformte feuerfeste Erzeugnisse (O) .....	652
9.2.3	Wärmedämmende Werkstoffe .....	652
9.2.3.1	Wärmedämm- und Feuerleichtsteine .....	653
9.2.3.2	Hochtemperaturwolle .....	654
9.2.3.3	Vakuumgeformte Filter in der Umwelttechnik .....	661
9.2.4	Sonstige wärmedämmende Werkstoffe .....	663
<b>9.3</b>	<b>Kohlenstoff und Graphit im Ofenbau</b> .....	<b>664</b>
9.3.1	Feinkorngraphit .....	664
9.3.1.1	Elektrische Heizelemente und Heizsysteme aus Feinkorngraphit .....	664
9.3.1.2	Elektrische Anschlusskontakte aus Spezialgraphiten mit hoher elektrischer Leitfähigkeit .....	667
9.3.2	Carbonfaserverstärkter Kohlenstoff (CFC) .....	671
9.3.2.1	Elektrische Heizelemente und Heizsysteme aus carbonfaserverstärktem Kohlenstoff (CFC) .....	671
9.3.2.2	Komponenten aus CFC-Verbundwerkstoffen für den Ofenbau .....	676
9.3.3	Isolationswerkstoffe aus Kohlenstoffen .....	677
9.3.3.1	Weichfilze .....	677
9.3.3.2	Kohlenstoff-Weichfilze .....	678
9.3.3.3	Graphit-Weichfilz .....	678
9.3.4	Hartfilze .....	679
9.3.5	Kohlenstoffschaum .....	681
<b>Anhang A1</b>	.....	<b>685</b>
	Prozesstemperaturen für Metalle .....	686
<b>Anhang A2</b>	.....	<b>697</b>
	Wärmeleitfähigkeiten fester und gasförmiger Stoffe .....	698
<b>Anhang A3</b>	.....	<b>709</b>
	Spezifische Wärmekapazitäten fester und gasförmiger Stoffe .....	710
<b>Anhang A4</b>	.....	<b>721</b>
	Enthalpien fester und gasförmiger Stoffe .....	722
<b>Anhang A5</b>	.....	<b>733</b>
	Sonstige Daten .....	734
<b>Stichwortverzeichnis</b>	.....	<b>749</b>
<b>Inserentenverzeichnis</b>	.....	<b>760</b>