

# Inhaltsverzeichnis

---

Symbol- und Abkürzungsverzeichnis	v
1 Einleitung und Zielstellung der Arbeit	1
2 Literaturübersicht und Stand der Technik	3
2.1 Besonderheiten zellulärer Strukturen	3
2.1.1 Verfahren zur Herstellung abgeformter, offenzelliger Schaumkeramik	3
2.1.2 Verarbeitung wässriger Suspensionen	5
2.1.3 Fließverhalten keramischer Suspensionen	7
2.1.4 Zusammenhang der Einflussgrößen im Bezug zur Schaumkeramik	8
2.1.5 Kenngrößen von Schaumkeramik	9
2.1.6 Modelle zur Beschreibung der Schaumstruktur	13
2.1.7 Mechanische Eigenschaften keramischer Schäume	18
2.2 Hochtemperaturwerkstoffe	26
2.2.1 Materialien für Hochtemperaturanwendungen	26
2.2.2 Siliciumcarbid	30
2.2.3 Materialverhalten von SiC bei hohen Temperaturen	37
2.2.4 Modelle zur Lebensdauervorhersage	53
2.3 Der Porenbrenner	55
2.3.1 Vorbemerkungen	55
2.3.2 Flammene Ausbildung und -stabilisierung	55
2.3.3 Verringerung von Schadstoffemissionen	56
2.3.4 Betriebsverhalten von Porenbrennern	57
2.3.5 Arten und Anwendung von Porenbrennern	58
3 Experimentelles Vorgehen	59
3.1 Probenpräparation	60
3.1.1 Materialauswahl	60
3.1.2 Probenherstellung	60
3.1.3 Sonderverfahren	62
3.2 Materialentwicklung	63
3.3 Materialuntersuchung	64
3.3.1 Auslagerung in ruhender Luftatmosphäre	65

3.3.2	Untersuchung im Brennerprüfstand „Marathon“ . . . . .	66
3.3.3	Untersuchung im Heißgasprüfstand . . . . .	69
3.3.4	Untersuchung im Rohofenprüfstand . . . . .	70
3.4	Analysemethoden . . . . .	72
3.4.1	Überwachung der Auslagerungsversuche . . . . .	72
3.4.2	Abgasuntersuchung . . . . .	73
3.4.3	Optische Analyseverfahren . . . . .	73
3.4.4	Computertomographie . . . . .	75
3.4.5	Röntgenographische und chemische Analyse . . . . .	76
3.4.6	Partikelgrößenanalyse, Zeta-Potentialmessung und Quecksilber- porosimetrie . . . . .	76
3.4.7	Festigkeitsuntersuchung . . . . .	77
4	Ergebnisdarstellung und Diskussion . . . . .	79
4.1	Oberflächencharakterisierung . . . . .	79
4.1.1	Neues Strukturmodell für die Abschätzung der äußeren und inne- ren Oberfläche keramischer Schäume . . . . .	79
4.1.2	Vergleich zu bekannten Modellen aus der Literatur . . . . .	82
4.2	Gefügeoptimierung bei <i>SSiC</i> -Schaumkeramik . . . . .	86
4.2.1	Übersicht zu den durchgeführten Variationen . . . . .	86
4.2.2	Maßnahmen zur Absenkung der Gefügeporosität . . . . .	88
4.2.3	Alternative Herstellungsverfahren und Probengeometrien . . . . .	95
4.2.4	Maßnahmen zur Verbesserung der mechanischen Stabilität der <i>SSiC</i> -Schaumkeramik . . . . .	100
4.2.5	Kurzzusammenfassung zur Gefügeoptimierung . . . . .	102
4.3	Ergebnisse der Auslagerungsuntersuchungen in trockener Luftatmosphäre 103	
4.3.1	Bedeutung der Primäroxidschichtbildung . . . . .	103
4.3.2	Temperaturabhängigkeit der Oxidationsrate . . . . .	105
4.3.3	Einfluss von Verunreinigungen . . . . .	108
4.3.4	Gestalt der Oxidschicht . . . . .	109
4.3.5	Einfluss der Gefügeporosität auf das Oxidationsverhalten . . . . .	111
4.3.6	Resümee der Oxidationsuntersuchungen in trockener Luftatmosphäre 114	
4.4	Ergebnisse des Brennerprüfstands „Marathon“ . . . . .	115
4.4.1	Temperaturverteilung im Reaktor . . . . .	115
4.4.2	Ableitung der Belastungsbedingungen im Brennerprüfstand . . . . .	117
4.4.3	Makroskopische Beurteilung des Probenzustands . . . . .	118
4.4.4	Die Auswirkung des Brennereinsatzes auf das Gefüge . . . . .	120
4.4.5	Masseänderung der Porenkörper während des Brennereinsatzes . . . . .	122
4.4.6	Berechnete Oxidationsraten für Porenbrennerbedingungen . . . . .	125
4.4.7	Defektausbildung innerhalb der Brennerschäume . . . . .	130
4.4.8	Resümee der Oxidationsuntersuchungen im Brennerprüfstand . . . . .	133

4.5	Einsatz von Schaumkeramik bei hohen Strömungsgeschwindigkeiten . . .	134
4.6	Degradationsuntersuchungen im Rohrofenprüfstand . . . . .	135
4.6.1	Oxidationsverhalten in simulierter Porenbrennerumgebung . . . .	136
4.6.2	Materialveränderungen während des Einsatzes . . . . .	138
4.6.3	Bewertung der Festigkeitsdegradation . . . . .	140
4.6.4	Resümee der Untersuchungen im Rohrofenprüfstand . . . . .	143
4.7	Umgebungsabhängiges Oxidationsverhalten von $SSiC$ -Schaumkeramik .	143
4.8	Lebensdauerabschätzung . . . . .	145
5	Zusammenfassung	153
	Literaturverzeichnis	159
	Abbildungsverzeichnis	177
	Tabellenverzeichnis	185
A	Anhang	189
A.1	Einfluss der Porosität auf das mechanische Verhalten . . . . .	189
A.2	Herleitung des Innenkugel-Hohlsteg-Modells . . . . .	190
A.2.1	Steglängenberechnung über das Äquivalenzvolumen und die Querschnittsfläche . . . . .	190
A.2.2	Steglängenberechnung über eine Innenkugel . . . . .	191
A.2.3	Das IKHS-Modell . . . . .	192
A.3	Zusammensetzung von Brenn- und Rauchgas . . . . .	194
A.3.1	Zusammensetzung der eingesetzten Gase . . . . .	194
A.3.2	Verbrennungsreaktionen . . . . .	195
A.3.3	Berechnung der Partialdrücke im Brenngas . . . . .	195
A.4	Kontrollmessung der Ofentemperaturen . . . . .	196
A.5	Übersicht aller durchgeführten Auslagerungsversuche in ruhender Luftatmosphäre . . . . .	197
A.6	Übersicht aller durchgeführten Brennerversuche im Langzeitprüfstand „Marathon“ . . . . .	200
A.7	Darstellung der Temperaturverteilung im Brennerprüfstand „Marathon“	205
A.8	Übersicht aller durchgeführten Versuche im Rohrofenprüfstand . . . . .	206
A.9	Tabellenübersichten und zusätzliche Erläuterungen . . . . .	210