

Inhaltsverzeichnis

Abkürzungsverzeichnis	vi
1. Einleitung	1
1.1 Thematik	1
1.2 Zielsetzung	2
2. Grundlagen und theoretische Methoden	3
2.1 Elektrolytschichten in der oxidkeramischen Brennstoffzelle	3
2.2 Freie Sinterung	6
2.2.1 Sintermechanismen und -stadien	6
2.2.2 Einfluss des Grünkörpers	9
2.2.3 Modellierung des Sintervorgangs	10
2.2.4 Generalisierte Sintermodelle	12
2.2.5 Mastersinterkurven-Modell	14
2.2.5.1 Freies, anisotropes Sintern	15
2.2.5.2 Bestimmung der Aktivierungsenergie	16
2.3 Überblick über das Kosintern eines Schichtverbundes	16
2.3.1 Sinterung auf einem steifen Substrat	17
2.3.2 Sinterung auf einem mitschrumpfendem Substrat	18
2.4 Materialeigenschaften	20
2.4.1 Diffusionskriechen	20
2.4.2 Elastische Module	24
2.4.3 Poissonkoeffizienten	25
2.4.3.1 Elastische Poissonkoeffizienten	25
2.4.3.2 Viskose Poissonkoeffizienten	25
2.5 Verwendetes Sintermodell	26
2.5.1 Theoretische Beschreibung	27
2.5.2 Numerische Umsetzung	30
3. Experimentelle Methoden	32
3.1 Ausgangsmaterialien	32
3.1.1 Anodensubstrat	32
3.1.2 Anodenschicht	32
3.1.3 Elektrolytschicht	32
3.2 Herstellungsmethoden	33
3.2.1 Pulverpresslinge	33
3.2.2 Anoden- und Elektrolytbeschichtungen	34
3.2.2.1 Vakuum-Schlickerguss	34
3.2.2.2 Siebdruck	34
3.2.3 Herstellung freistehender Schichten	34
3.3 Pulver-, Grünling- und Schichtcharakterisierung	37
3.3.1 Korngröße	37
3.3.2 Spezifische Oberfläche	37
3.3.3 Dichtebestimmung	37
3.3.3.1 Presslinge	37
3.3.3.2 Anodensubstrate	37
3.3.3.3 Schichten auf Substrat	38
3.3.3.4 Freistehende Schichten	40
3.3.4 Mikrostrukturanalyse	41
3.3.4.1 Porenanalyse	41

3.3.4.2 Kornanalyse	43
3.3.4.3 Vertikale Dichteverteilung	43
3.4 Sinterung freistehender dünner Schichten	43
3.5 Dilatometrie ohne Lastauftrag	43
3.5.1 Thermische Dehnung	46
3.5.2 Freie Sinterung	47
3.5.2.1 Allgemeine Korrektur	47
3.5.2.2 Verdichtbare Proben	48
3.6 Drei-Punkt-Biege-Versuche	50
3.6.1 Burger-Modell	51
3.6.2 Lineare Materialien	52
3.6.3 Nicht-lineare Materialien	53
3.6.4 Durchführung	54
3.6.4.1 E-Moduli	55
3.6.4.2 Viskositäten / Kriechkoeffizienten	56
3.6.4.3 Automatische Datenauswertung	57
3.7 Krümmungsmessungen	58
3.7.1 Modellproben	58
3.7.2 Halbzellen	59
3.8 Bestimmung der Leckraten	59
3.9 Elektrochemische Charakterisierung	61
4. Experimentelle Ergebnisse und deren Diskussion	63
4.1 Charakterisierung des Grünzustands	63
4.1.1 Korngrößenverteilung und spezifische Oberflächen	63
4.1.2 Mikrostruktur	64
4.1.3 Gründichte	67
4.2 Freie Sinterung	71
4.2.1 Vergleich Substrat und Funktionsschichten	71
4.2.2 Vergleich Presslinge und Schichten	74
4.2.3 Einfluss der Pulversorte und Kalzination	75
4.2.4 Einfluss der Gründichte	77
4.2.5 Einfluss der Heizrate	79
4.2.6 Bestimmung der Mastersinterkurven	85
4.3 Gehinderte Sinterung	89
4.3.1 Analyse der Mikrostruktur	90
4.3.1.1 Mikrographien	91
4.3.1.2 Verdichtung	94
4.3.1.3 Porengröße	96
4.3.1.4 Porenform	98
4.3.1.5 Porenausrichtung	99
4.3.2 Krümmung	107
4.3.2.1 Modellproben	107
4.3.2.2 Halbzellen	115
4.3.3 Leckraten	117
4.4 Zelltests	120
4.5 Bestimmung der Materialparameter	122
4.5.1 Thermische Dehnung	123
4.5.2 Elastische Parameter	124
4.5.3 Kriechparameter	128

5. Ergebnisse der Sintermodellierung und deren Diskussion	138
5.1 Vergleich mit den experimentellen Ergebnissen.....	139
5.2 Einfluss der Ausgangsgrößen.....	144
5.2.1 Ausdehnungskoeffizient.....	144
5.2.2 Elastische Parameter.....	145
5.2.3 Viskose Parameter.....	145
5.2.4 Zusammenfassung der Einflussgrößen.....	148
6. Zusammenfassung.....	149
7. Literatur.....	152
8. Anhang.....	159
8.1 Beispielausgabe freie Dilatometer-Sinterung.....	159
8.2 Beispielprogramme für Drei-Punkt-Biegeversuche.....	160