

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung .....</b>	<b>1</b>
1.1	Einleitung.....	1
1.2	Ziele der Arbeit .....	3
1.3	Gliederung der Arbeit .....	4
<b>2</b>	<b>Die Hochtemperatur-Festoxid-Brennstoffzelle.....</b>	<b>7</b>
2.1	Funktionsprinzip.....	7
2.2	Die Verluste im Betrieb .....	8
2.3	Elektrolytwerkstoffe .....	10
2.4	Anodenwerkstoffe .....	13
2.5	Kathodenwerkstoffe .....	14
2.5.1	Leitfähigkeit .....	18
2.5.2	Thermischer Ausdehnungskoeffizient .....	21
2.5.3	Sauerstoffreduktion .....	22
2.6	Degradationsuntersuchungen .....	24
2.6.1	Elektrolyt.....	25
2.6.2	Anode.....	26
2.6.3	Kathode.....	27
<b>3</b>	<b>Proben, Messtechnik, Messablauf.....</b>	<b>31</b>
3.1	Proben: Anodengestützte Zellen.....	31
3.2	Messtechnik zur elektrischen Charakterisierung.....	33
3.2.1	Messplatz.....	33
3.2.2	Messablauf .....	36
3.2.3	Elektrochemische Impedanzspektroskopie (EIS) .....	40
<b>4</b>	<b>Analyse und Auswertung .....</b>	<b>43</b>
4.1	Elektrochemische Impedanzspektroskopie (EIS).....	43
4.2	Relaxverfahren (DRT).....	44
4.3	Ersatzschaltbild .....	46
4.4	Bestimmung von $k^0$ - und $D^0$ - Werten aus den Messungen .....	55
4.5	Materialanalyse .....	56
4.5.1	Rasterelektronenmikroskopie .....	56
4.5.2	Transmissionselektronenmikroskopie .....	57
4.5.3	Röntgenbeugung - XRD .....	58
<b>5</b>	<b>Ergebnisse und Diskussion.....</b>	<b>59</b>
5.1	Identifikation der Polarisationsverluste .....	59

5.1.1	600 °C .....	59
5.1.2	750 °C .....	61
5.1.3	900 °C .....	64
5.2	Zeit- und Temperaturabhängigkeit der Verlustprozesse .....	66
5.2.1	Gesamtpolarisationswiderstand $R_{pol}$ .....	68
5.2.2	Ohmscher Widerstand $R_0$ .....	69
5.2.3	Gasdiffusionswiderstand $R_{1A}$ .....	70
5.2.4	Anoden- Ladungsaustauschreaktion $R_{2A}$ und $R_{3A}$ .....	70
5.2.5	Gesamtanodenpolarisationswiderstand $R_{anode,gesamt}$ .....	73
5.2.6	Kathodenverluste $R_{2C}$ .....	74
5.2.7	Fazit der elektrischen Impedanz- und DRT- Analyse .....	76
5.3	Zeit- und temperaturabhängiger Verlauf der $k^B$ - und $D^B$ - Werte .....	82
5.4	Reversible Kathodenalterung .....	88
5.5	Ergebnisse XRD Messungen .....	95
5.6	Ergebnisse Mikrostruktur .....	98
5.7	Einfluss der GCO Zwischenschicht und der LSCF Sintertemperatur .....	105
5.8	Degradationsmechanismus der LSCF Kathode .....	108
6	Zusammenfassung und Ausblick .....	115
7	Anhang .....	121
7.1	Herstellungsparameter .....	121
7.2	Dateizuordnung .....	122
7.3	Parameter Impedanzmessungen .....	136
7.4	Wertetabellen zu den Abbildungen aus Kapitel 5 .....	136
8	Verzeichnisse .....	165
8.1	Symbole .....	165
8.2	Abkürzungen .....	166
8.3	Abbildungen .....	167
8.4	Tabellen .....	169
8.5	Betreute Arbeiten .....	171
8.6	Eigene Veröffentlichungen .....	171
9	Literatur .....	175