

Inhaltsverzeichnis

Einleitung	xi
Abkürzungen	xiii
Formelzeichen	xv
1 Brennstoffzellen	1
1.1 Funktionsprinzip	1
1.2 Geschichte	1
1.3 Wirkungsgrad	3
1.4 Verschiedene Brennstoffzellentypen	4
1.5 Die Festoxid-Brennstoffzelle	7
1.5.1 Designkonzepte	7
1.5.2 Materialien	9
1.5.3 Von der Zelle zu Systemen	13
2 Aufgabenstellung und Vorgehensweise	15
3 Theoretische Grundlagen	17
3.1 Elektrochemische Grundlagen	17
3.1.1 Sauerstoffreduktion an der Kathode	17
3.1.2 Theoretische Zellspannung	21
3.2 Degradation von SOFCs	31
3.2.1 Definitionen von Degradation	31
3.2.2 Ursachen von Degradation	37
4 Chrom-bezogene Degradation — bisheriger Kenntnisstand	41
4.1 Transportmechanismus	41
4.2 Chromverdampfung	42
4.3 Chrom-bezogene Degradation — die Einflussparameter	44
4.3.1 Zellaufbau	44
4.3.2 Betriebsbedingungen	49
4.4 Degradationsmechanismen	51
4.4.1 Elektrochemische Reaktion	52
4.4.2 Keimbildung und Keimwachstum	54

5	Experimentelle Methoden	57
5.1	Probenaufbau	57
5.1.1	Die FZ-Jülich-SOFC	57
5.1.2	Die Chromquelle	58
5.2	Elektrochemische Versuche	60
5.3	Impedanzspektroskopie	63
5.4	Charakterisierungsmethoden	67
5.4.1	Chromgehalt	67
5.4.2	Elektronenmikroskopie	69
5.4.3	Röntgendiffraktometrie	71
5.4.4	Tiefenprofile mit Glimmentladungsspektroskopie	71
6	Elektrochemische Messreihen	73
6.1	Charakterisierung des Messplatzes	73
6.2	Laufzeitabhängige Degradation bei Variation der Chromquelle und der Laststromdichte	75
6.2.1	Degradation	76
6.2.2	Charakterisierung der Mikrostruktur	85
6.2.3	Chromverteilung über die Zelle	99
6.2.4	Chromgehalt	104
6.2.5	Diskussion der Ergebnisse	106
6.3	Belastungszyklisierung	119
6.3.1	Degradation	120
6.3.2	Mikrostruktur	125
6.3.3	Chromgehalt	128
6.3.4	Diskussion	128
6.4	Impedanzspektroskopie	139
6.4.1	Messprogramm	140
6.4.2	Ergebnisse	141
6.5	Fehleranalyse	146
7	Weiterführende Experimente	153
7.1	Manganoxid-Separation	153
7.2	Lösungsversuche in Salzsäure	159
8	Schlussfolgerung	161
8.1	Elektrochemische Wechselwirkung	161
8.1.1	Reduktionspotential von Chromspezies	162
8.1.2	Wechselwirkung Chromoxid mit LSM	167
8.2	Elektrochemische Reduktion vs. Keimbildung und Keimwachstum	168
8.3	Chemische Wechselwirkung mit Manganoxidphasen	169
8.4	Erhöhung der Aktivierungsverluste durch chemische Wechselwirkung	170
8.5	Degradationsverlauf	171
8.6	Vergleich mit Ergebnissen des Stackbetriebs	176
8.7	Minimierung der Chrom-bezogenen Degradation	180

9 Zusammenfassung und Ausblick	181
A Kathodengefüge	185
A.1 Crofer22APU	185
A.2 Crofer22APU beschichtet mit Mn_3O_4	188
A.3 Crofer22APU beschichtet mit Mn_3O_4 und LCC10	190
B TEM - Element Mapping	193
C Chromtiefenprofile mit GD-OES	195
D Impedanzelemente	199
Literatur	216
Danksagung	217