

Inhaltsverzeichnis

Abkürzungsverzeichnis	iii
1. Einleitung	1
2. Brennstoffzellen	2
2.1. Entwicklung	2
2.2. Funktionsprinzip	2
2.3. Thermodynamik und Wirkungsgrad	3
2.4. Brennstoffzellentypen	4
2.5. Die Oxidkeramische Brennstoffzelle	5
2.5.1. Funktionsschema und Elektrodenprozesse	5
2.5.2. Designkonzepte	6
2.5.3. Komponenten und Materialien	7
3. Aufgabenstellung und Vorgehensweise	10
4. Theorie und Stand der Kenntnisse	11
4.1. Thermodynamik der Verdampfung	11
4.1.1. Partialdampfdruck	11
4.1.2. Verdampfungsenthalpien	12
4.2. Kinetik der Verdampfung unter strömungsfreien Bedingungen	13
4.2.1. Reaktionskontrollierte Verdampfung	13
4.2.2. Diffusionskontrollierte Verdampfung	14
4.3. Wachstum von Oxidschichten auf Metallen	15
4.4. Chromverdampfung	18
4.5. Zellegradation durch Chromfreisetzung	19
4.5.1. Kathodenvergiftung	19
4.5.2. Versprödung von Glaslotdichtungen	20
4.6. Maßnahmen zur Verminderung der Chromfreisetzung	20
4.7. Galliumverdampfung	21
5. Auswahl, Herstellung und Vorbereitung der Proben	23
5.1. Auswahl und Vorbereitung der Legierungsproben	23
5.1.1. Chrombasislegierungen und ferritische Chromoxidbildner	23
5.1.2. Austenitische Eisen-, Nickel- und Kobalt-Basislegierungen	24
5.1.3. Ferritische Aluminiumoxidbildner	25
5.1.4. Probenvorbereitung	26

5.2.	Beschichtungen und Oberflächenbehandlungen	26
5.2.1.	Sputterschichten	26
5.2.2.	Aliterschichten	29
5.3.	Herstellung der Gallatproben	29
5.3.1.	Herstellung der Gallatproben nach der Pechini-Methode	29
5.3.2.	Herstellung über die Oxidroute	31
5.3.3.	Probencharakterisierung	32
5.4.	Vorbereitung reiner Oxide zur Bestimmung von Partialdampfdrücken	32
6.	Untersuchungsmethoden	33
6.1.	Die Transpirationsmethode	33
6.1.1.	Theorie	33
6.1.2.	Versuchsaufbau und -durchführung	44
6.1.3.	Analyse	48
6.1.4.	Kontrollmessungen mit Silber	48
6.2.	Weitere Untersuchungs- und Charakterisierungsmethoden	49
6.2.1.	Chemische Analyse	49
6.2.2.	Röntgendiffraktometrie	49
6.2.3.	Rasterelektronenmikroskopie und Mikrosonde	49
6.2.4.	Transmissionselektronenmikroskopie	50
6.2.5.	Sekundärneutralteilchen-Massenspektrometrie	50
6.2.6.	Adsorptionsisotherme	51
7.	Chromverdampfung von Chromoxid und Chromoxidbildnern	52
7.1.	Gleichgewichtsverdampfung von reinem Chromoxid	52
7.2.	Chromoxidbildende Legierungen	54
7.2.1.	Flussratenabhängigkeit der Chromverdampfung	54
7.2.2.	Vergleich der Chromverdampfung ferritischer Stähle nach Voroxidation	56
7.2.3.	Vergleich der Chromverdampfung ferritischer Stähle ohne Voroxidation in Abhängigkeit von der Zeit	60
7.2.4.	Verdampfungsverhalten unter reduzierenden Bedingungen	63
7.2.5.	Vergleich der Chromverdampfung austenitischer Eisen-, Nickel- und Kobalt-Basislegierungen in Abhängigkeit von der Zeit	65
7.2.6.	Überblick über die Ergebnisse der Chromverdampfung von Legierungen mit unterschiedlichen äußeren Oxidschichten	69

8. Chromverdampfung von Aluminiumoxidbildnern	70
8.1. Chromverdampfungsraten von voroxidierten Aluminiumoxidbildnern	70
8.2. Chromverdampfungsraten von nicht-voroxidierten Aluminiumoxidbildnern	74
9. Chromrückhalteschichten	81
9.1. Aliterschichten	81
9.2. Sputterschichten	84
9.2.1. Perowskite	84
9.2.2. Metalle	86
10. Diskussion Chromverdampfung	91
10.1. Gleichgewichtsmessungen mit reinem Chromoxid	91
10.2. Chromverdampfung von chromoxidbildenden Legierungen	94
10.3. Chromverdampfung von aluminiumoxidbildenden Legierungen	101
10.4. Chromrückhalteschichten	107
11. Galliumverdampfung	112
11.1. Gleichgewichtsverdampfung von reinem Galliumoxid	112
11.2. Zeitabhängigkeit der Verdampfung von dotierten Lanthangallaten	115
11.3. Temperaturabhängigkeit der Verdampfung von dotierten Lanthangallaten	116
11.4. Einfluss der Flussrate auf die Verdampfung von dotierten Lanthangallaten	119
11.5. Einfluss der Dotierung auf die Verdampfung von dotierten Lanthangallaten	123
12. Diskussion der Galliumverdampfung	126
12.1. Die Gleichgewichtsverdampfung von Galliumoxid	126
12.2. Thermodynamik der Ga-Verdampfung von dotierten Lanthangallaten	130
12.3. Die Verdampfung von dotierten Lanthangallaten	131
13. Zusammenfassung	137
13.1. Chromverdampfung	137
13.2. Galliumverdampfung	138
Mathematischer Anhang	139
Literaturverzeichnis	145
Danksagung	154