



Inhaltsverzeichnis

Erklärung	1
Kurzfassung	3
Abstract	5
Danksagung	7
1. Einleitung	13
2. Stand der Technik	15
2.1. SOFC-Stacks und -Systeme	15
2.2. Modellierung und Simulation	19
2.2.1. 0D-Simulation	19
2.2.2. 3D-Simulation	21
2.3. Vergleich mit Energiewandlung-Systemen ähnlicher Leistungsklasse	22
2.3.1. Diesel- bzw. Benzin-Generator	22
2.3.2. PEM-Brennstoffzellenheizgerät	22
3. Beschreibung der Versuchsanlagen und Komponenten-Modelle	25
3.1. Prozess-Beschreibung	25
3.1.1. 1 kW-System	25
3.1.2. 500 W-System	27
3.2. Komponenten für SOFC-Systeme	31
3.2.1. Brennstoffzellen-Stack	31
3.2.2. Brenner	33
3.2.3. Reformier	39
3.2.4. Wärmeübertrager	44
3.2.5. Pumpen und Verdichter	51
3.2.6. Rohrleitungen und Kompensatoren	56
3.2.7. Mischer-Elemente	59
3.2.8. PVC-Spülgehäuse	61
Konstruktion	65
4. Kathodenluft-Wärmeübertrager	67
4.1. Randbedingungen	68



4.2.	Analytische Auslegung	69
4.3.	1D-Modell	74
4.4.	Numerische Strömungssimulation	79
4.4.1.	Entwicklung des Basis-Designs	79
4.4.2.	Vertikale Gasverteilung	80
4.4.3.	Horizontale Gasverteilung	87
4.4.4.	Wärmeübergang	90
4.5.	Bau des Wärmeübertragers	91
4.5.1.	Spanende Bearbeitung	92
4.5.2.	Fügen der Platten	98
4.5.3.	Gestaltung der Schnittstellen	99
4.5.4.	Ergebnisse	102
5.	Anodenabgas-Verdichter	105
5.1.	Konstruktion der temperaturbelasteten Bauteile	106
5.1.1.	Ventile	106
5.1.2.	Zylindergehäuse	107
5.1.3.	Zylinderkopf	109
5.1.4.	Zylinderlaufbuchse	115
5.1.5.	Kolben und Kolbendichtung	117
5.1.6.	Kolbenstange und Kolbenstangendichtung	120
5.2.	Konstruktion des Antriebsstrangs	122
5.2.1.	Kreuzkopf-Gelenk	122
5.2.2.	Pleuel	123
5.2.3.	Massenausgleich	127
5.2.4.	Antriebsmotor	131
5.2.5.	Grundplatte	132
5.3.	Funktionsprüfungen im Kaltzustand	134
5.4.	Thermische Konditionierung des Anodenabgases	137
5.4.1.	Konzept	137
5.4.2.	AAGR-Wärmeübertrager	138
5.4.3.	Thermo-Massen	144
	Simulation	147
6.	Vergleich Messung und Simulation 1 kW-System	149
6.1.	Komponenten	149
6.1.1.	SOFC-Stack	149
6.1.2.	Injektor	150
6.1.3.	Brenner-Reformer Einheit	151
6.1.4.	Kathodenluft-Wärmeübertrager	153
6.2.	Gesamtsystem	155
6.2.1.	Aufheizverhalten	155
6.2.2.	Reformat-Betrieb	158



6.2.3. Stationärer Betrieb	160
7. Vergleich Messung und Simulation 500 W-System	163
7.1. Komponenten	163
7.1.1. AAGR-Wärmeübertrager	163
7.2. Gesamtsystem	165
7.2.1. Aufheizverhalten	165
7.2.2. Reformat-Betrieb	175
7.2.3. Stationärer Betrieb	182
8. Optimierte Anfahr- und Systemkonzepte	185
8.1. 1 kW-System	185
8.2. 500 W-System	189
8.2.1. Optimierung des Systems	189
8.2.2. Vereinfachung des Systems	194
8.2.3. Vergleich Optimierungs-Varianten	196
9. Zusammenfassung und Ausblick	197
A. Anhang	203
R+I Fließbilder	205
Baugruppe B1: Heissgasverdichter	209
Baugruppe B2: Doppelrohr-Wärmeübertrager	225
Baugruppe B3: Kathodenluft-Wärmeübertrager	237
Kantenmaße Wärmeübertrager 1 kW-System	245
Symbolverzeichnis	249
Literaturverzeichnis	261