

Inhalt

Formelzeichen	IX
1 Einführung	1
2 Theoretische Grundlagen	3
2.1 Funktionsweise und Typen von Brennstoffzellen	3
2.2 Thermodynamische Grundlagen der Brennstoffzelle	6
2.2.1 Reaktionsenthalpie und Reaktionsentropie	7
2.2.2 Die reversible Brennstoffzelle	14
2.2.3 Bilanzierung von Brennstoffzellen und -stacks.....	22
2.3 Brennstoffe und Brenngaserzeugung.....	27
2.3.1 Brennstoffeinsatz in Brennstoffzellen.....	28
2.3.2 Verfahren der Brenngaserzeugung.....	29
3 Brennstoffzellensysteme und kombinierte Anlagen	36
3.1 Thermodynamische Grundlagen zur Auslegung kombinierter Anlagen	38
3.1.1 Prozessstruktur des allgemeinen Vergleichsprozesses.....	40
3.1.2 Reversible Arbeit der Vergleichsprozesse	44
3.1.3 Einflussparameter auf die Prozessführung.....	49
3.2 Modellvereinfachung und Integration der Brenngaserzeugung ...	55
3.2.1 Vereinfachter Brennstoffzellenkraftprozess und Realprozess.....	56
3.2.2 Integration der Brennstoffaufbereitung – Brenngaserzeugung	62
3.3 Skalierungsgesetze für Brennstoffzellensysteme	72
3.3.1 Abschätzungen der Größenordnungen	73
3.3.2 Prozessmodell und Kennzahlen	76
3.3.3 Auswertungen und Analysen	83
4 Systemintegration und Anlagenkonzepte	90
4.1 Einführung in die Modellierung kombinierter Kraftwerke	91
4.2 Systemlösungen und Baubarkeit.....	110
4.2.1 Anlagentechnische Konzepte zur hocheffizienten Stromerzeugung	121

4.2.2	Konzeption eines kombinierten SOFC Gasturbinen- kraftwerks.	122
4.2.3	Planungen zum kombinierten Konzept SureCELL™ von SIEMENS Westinghouse.	128
4.2.4	Fortgeschrittene Kreisläufe.	133
4.3	Brennstoffzelleneinsatz in der Kraft-Wärme-Kopplung (KWK) ..	135
4.3.1	Systemanalyse bei Erdgasbetrieb.	136
4.3.2	Systemanalyse von Wasserstoffbetrieb.	150
4.3.3	Systemvergleich und Systemintegration.	153
4.3.4	SOFC-GT Systeme im KWK Einsatz.	157
4.4	Systeme für den Markteintritt und Synergien zu mobilen Anwendungen.	160
4.4.1	Beispiele von Anlagenkonzepten.	161
4.4.2	Synergien zu mobilen Anwendungen.	170
5	Zell- und Stackkonzepte.	176
5.1	Konzepte und Bauformen.	176
5.2	Auslegung und Prozessanalyse von Brennstoffzellen.	191
5.2.1	Nernstspannung, Verluste, Kaskadierung.	191
5.2.2	Konstruktionsanalyse und Vergleich tubularer und planarer Konzepte.	206
5.2.3	Stoffaustausch und Zellauslegung.	216
5.2.4	Zellgeometrien und Baugruppenauslegung.	228
5.2.5	Zusammenfassung der Anforderungen an den Stackentwurf.	238
5.3	Entwicklungsstand der einzelnen Zelltypen.	242
5.3.1	Entwicklungsstand der PEFC (Polymer Electrolyte Fuel Cell).	242
5.3.2	Entwicklungsstand der PAFC (Phosphoric Acid Fuel Cell).	248
5.3.3	Entwicklungsstand der MCFC (Molten Carbonate Fuel Cell).	252
5.3.4	Entwicklungsstand der SOFC (Solid Oxide Fuel Cell).	259
6	Betriebserfahrungen.	273
6.1	PEFC Anlagen.	274
6.1.1	PEFC Heizgeräte (Bauart HGC).	275
6.1.2	250 kW PEFC BHKW der BEWAG (Bauart Ballard).	276
6.2	PAFC Anlagen.	279
6.2.1	200 kW ONSI PC 25 BWK der HEAG.	279
6.2.2	200 kW ONSI PC 25 BWK in Bochum und Düren.	283
6.2.3	5 000 kW PAFC Anlage bei Kansai Electric Power, Amagasaki.	286
6.3	MCFC Anlagen.	287

6.3.1	2000 kW MCFC Anlage St. Clara (Bauart Fuel Cell Energy)	287
6.3.2	250 kW MCFC Anlage Miramar (Bauart M-C Power)	290
6.3.3	280 kW Direkt BZ Anlage (MCFC) der Ruhrgas in Dorsten (Bauart MTU)	291
6.3.4	280 kW Direkt BZ Anlage (MCFC) der Stadtwerke Bielefeld (Bauart MTU)	293
6.3.5	280 kW Direkt BZ Anlage (MCFC) des Rhön-Klinikums (Bauart MTU)	295
6.4	SOFC Anlagen	296
6.4.1	SOFC Versuchsanlagen im Feldversuch.	297
6.4.2	100 kW SOFC BHKW der EDB / Elsam (Bauart SIEMENS Westinghouse)	301
6.4.3	230 kW SOFC-GT Anlage University of California Irvine (Bauart SIEMENS Westinghouse)	304
6.4.4	25 kW SOFC Demonstrator von Ceramic Fuel Cells Ltd. .	306
6.4.5	1 kW SOFC Sulzer Hexis im Feldversuch.	307
7	Die Brennstoffzelle in der zukünftigen Energieversorgung	311
7.1	Potentiale dezentraler Stromerzeugung	311
7.2	Bestimmung zulässiger Investitionskosten	314
7.3	Szenarien zu zulässigen Investitionskosten	317
7.4	Randbedingungen zur Markteinführung der Brennstoffzellentechnik.	323
7.5	Gesamtwirtschaftliche Einflüsse und Umsetzungsstrategien	334
	Literatur.	344
	Sachverzeichnis	369