

Wolfgang Winkler

Brennstoffzellen anlagen

Mit 220 Abbildungen



Springer

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-	122
4.2.3	Planungen zum kombinierten Konzept SureCELL™ von	128
4.2.4	SIEMENS Westinghouse.	133
4.2.4	Fortgeschrittene Kreisläufe.	136
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	160
	Anwendungen.	160
4.4.1	Beispiele von Anlagenkonzepten.	161
4.4.2	Synergien zu mobilen Anwendungen.	170
5	Zeil- 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	206
	planarer Konzepte.	216
5.2.3	Stoffaustausch und Zellauslegung	228
5.2.4	Zellgeometrien und Baugruppenauslegung	238
5.2.5	Zusammenfassung der Anforderungen an den	242
	Stackentwurf.	248
5.3	Entwicklungsstand der einzelnen Zelltypen.	252
5.3.1	Entwicklungsstand der PEFC (Polymer Electrolyte	242
	Fuel Cell).	248
5.3.2	Entwicklungsstand der PAFC (Phosphoric Acid	252
	Fuel Cell).	259
5.3.3	Entwicklungsstand der MCFC (Molten Carbonate	273
	Fuel Cell).	274
5.3.4	Entwicklungsstand der SOFC (Solid Oxide Fuel Cell)	275
6.	Betriebserfahrungen	273
6.1	PEFC Anlagen.	274
6.1.1	PEFC Heizgeräte (Bauart HGC).	274
6.1.2	250 kW PEFC BHKW der BEWAG (Bauart Ballard)	275
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,	286
	Amagasaki.	287
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