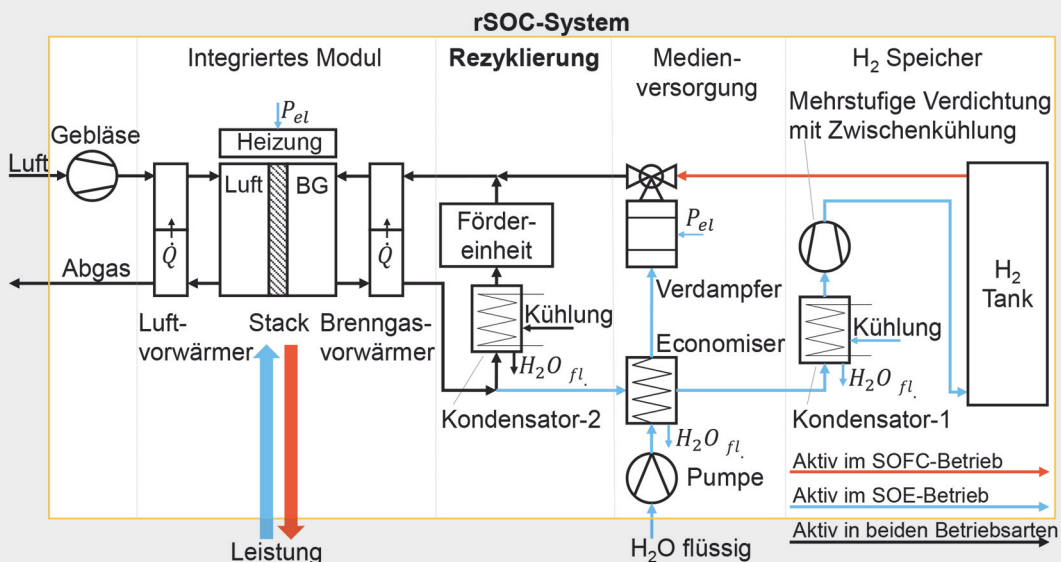




Reversible wasserstoffbetriebene Festoxidzellensysteme

Matthias Helmut Frank

Energie & Umwelt / Energy & Environment

Band / Volume 475

ISBN 978-3-95806-430-0

Forschungszentrum Jülich GmbH
Institut für Energie- und Klimaforschung
Elektrochemische Verfahrenstechnik (IEK-3)

Reversible wasserstoffbetriebene Festoxidzellensysteme

Matthias Helmut Frank

Schriften des Forschungszentrums Jülich
Reihe Energie & Umwelt / Energy & Environment

Band / Volume 475

ISSN 1866-1793

ISBN 978-3-95806-430-0

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
1.1	Motivation	2
1.2	Zielsetzung	2
1.3	Methodik	3
1.4	Gliederung der Arbeit	4
2	Grundlagen von Festoxidzellen.....	7
2.1	Brennstoffzelle	10
2.2	Elektrolyse	13
2.3	Reversibilität von Festoxidzellen	15
3	Stand der Forschung und der Systemtechnik	17
3.1	Brennstoffzellensysteme	17
3.2	Elektrolysesysteme	20
3.3	Reversible Festoxidzellensysteme	23
3.3.1	Kohlenstoffbasiert	23
3.3.2	Wasserstoffbasiert	26
3.4	Erkenntnisse und Forschungsschwerpunkte	28
4	Funktionsweise der dynamischen Modelle	31
4.1	Modellstruktur	31
4.1.1	Verfahrenstechnischer Ansatz	31
4.1.2	Stoffmengenbilanz	34
4.1.3	Energiebilanz	35
4.1.4	Modellimplementierung	36
4.2	Grundlagen der Modelle	37
4.2.1	Elektrochemische Reaktionen	37
4.2.2	Chemische Reaktionen	40
4.2.3	Wärmeübertragung	42
4.2.4	Verdampfung	45
4.2.5	Kondensation	47
4.2.6	Druck	48
4.2.6.1	Druckverringerung	48
4.2.6.2	Druckerhöhung	52
4.3	Zusammenfassung	53

5	Design und Validierung der Systemkomponenten	55
5.1	Wärmeübertrager	55
5.2	Reversibler Festoxidzellstapel	59
5.3	Elektrische Heizung	62
5.4	Fördereinheiten.....	64
5.4.1	Verdichter	64
5.4.2	Membranpumpe.....	65
5.4.3	Ejektor	70
5.5	Dampferzeugung	72
5.5.1	Speisewasservorwärmer.....	73
5.5.2	Elektrischer Verdampfer	76
5.6	Wasserstoffspeichereinheit.....	78
5.7	Abgasnachbehandlung	80
5.8	Zusammenfassung	83
6	Integriertes Modul für die reversible Anwendung.....	85
6.1	Betriebsrandbedingungen der Festoxidzellen	85
6.2	Entwicklung eines Integrierten Moduls für die rSOC-System-Anwendung....	91
6.3	Temperaturverteilung im Integrierten Modul.....	93
6.4	Kostenreduktion.....	95
6.5	Zusammenfassung	100
7	Forschung im Bereich des rSOC-Systems.....	101
7.1	Betriebsrandbedingungen des Systems.....	101
7.2	Systemkonzeptanalyse	102
7.2.1	Interne Abwärmeveruschaltung	103
7.2.2	Brenngasseitige Rezyklierschleife.....	105
7.2.2.1	Rezyklierung mit Seitenkanalverdichter oder Membranpumpe	107
7.2.2.2	Rezyklierung mit Ejektor.....	112
7.2.3	Vergleich und Beurteilung der Systemkonzepte.....	115
7.3	Betriebsstrategie und dynamisches Betriebsverhalten des rSOC-Systems	119
7.3.1	Anfahrvorgang	119
7.3.2	Brennstoffzellenbetrieb	121
7.3.3	Elektrolysebetrieb	123
7.3.4	Umschaltvorgänge	124
7.3.4.1	Vom Brennstoffzellenbetrieb in den Elektrolysebetrieb.....	124
7.3.4.2	Vom Elektrolysebetrieb in den Brennstoffzellenbetrieb.....	127
7.3.5	Bereitschaftsbetrieb	129

7.3.6	Abschaltvorgang	130
7.4	Wirtschaftlichkeitsanalyse	131
7.5	Zusammenfassung	141
8	Diskussion.....	143
9	Zusammenfassung	151
10	Anhang	155
10.1	Alternative Wasserstoffaufbereitung und -speicherung	155
10.2	Kennzahlen zur Wärmeübertragung	156
10.3	Modellierung des Ejektors.....	156
10.4	Weitere interne Verschaltungsvarianten.....	159
10.5	Betriebsstrategie des Verdampfers	159
10.6	Daten zur Wirtschaftlichkeitsanalyse.....	161
10.7	Grundlagen zu dem elektrochemischen Modell.....	162
10.8	Nomenklatur	165
10.9	Abbildungsverzeichnis	170
10.10	Tabellenverzeichnis	177
10.11	Literaturverzeichnis.....	179

Energie & Umwelt / Energy & Environment
Band / Volume 475
ISBN 978-3-95806-430-0