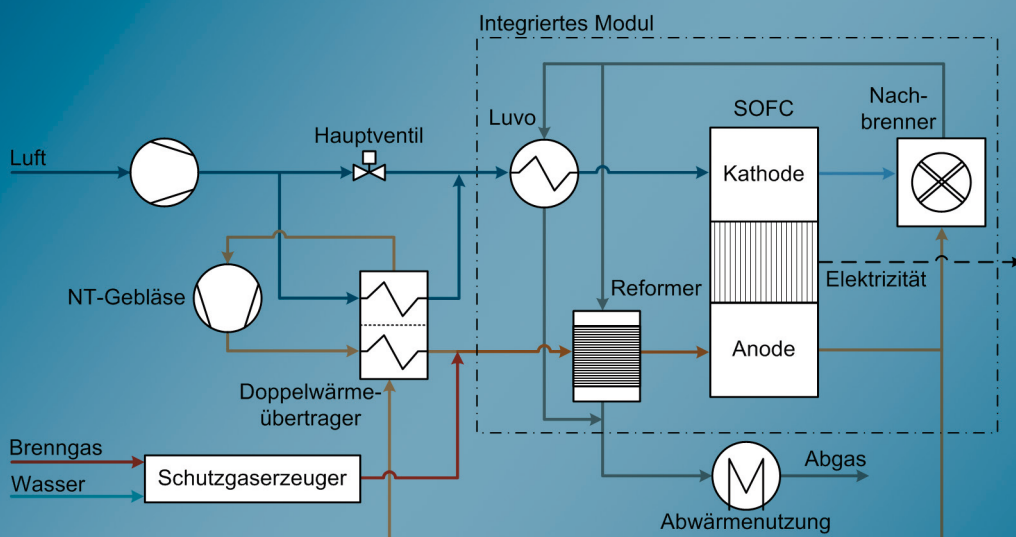


Design eines hocheffizienten Festoxid-Brennstoffzellensystems mit integrierter Schutzgaserzeugung

Maximilian Florian Alexander Engelbracht



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

Design eines hocheffizienten Festoxid- Brennstoffzellensystems mit integrierter Schutzgaserzeugung

Maximilian Florian Alexander Engelbracht

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

Band / Volume 346

ISSN 1866-1793

ISBN 978-3-95806-189-7

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung.....	1
1.1	Motivation	2
1.2	Zielsetzung	3
1.3	Methodik der Arbeit	3
2	Stand von Wissenschaft und Technik	7
2.1	Grundlagen der SOFC	7
2.2	Brenngasaufbereitung	12
2.3	Kohlenstoffbildungsproblematik	14
2.4	Reoxidationsproblematik	17
2.5	Stationäre SOFC-Systeme	20
2.5.1	Grundsätzlicher Anlagenaufbau und Charakterisierung	20
2.5.2	Anlagenkonzept – 20 kW _{el} System	22
2.6	Anodenabgasrezyklierung	24
2.6.1	Druckerhöhungseinheit	27
2.6.1.1	Gebläse	28
2.6.1.2	Ejektoren	30
2.7	Schutzgaseinsatz	32
2.7.1	Schutzgaserfordernde Betriebsphasen	32
2.7.2	Vermeidungsstrategien	33
2.8	Abgeleitete Arbeitsschwerpunkte	39
3	Dynamische Modellierung und Simulation der Anlagenkomponenten	41
3.1	Simulationsansatz	41
3.1.1	Stoffbilanz	44
3.1.2	Energiebilanz	45
3.2	Wärmeübertrager	45
3.2.1	Modellbildung	46
3.2.2	Validierung	49
3.3	Reformer	51
3.3.1	Modellbildung	52
3.3.2	Validierung	53
3.4	Festoxid-Brennstoffzelle	55
3.4.1	Modellbildung	56
3.4.2	Validierung	58

3.5	Nachbrenner.....	60
3.5.1	Modellbildung.....	60
3.5.2	Validierung.....	61
3.6	Gebälse.....	62
3.6.1	Modellbildung.....	63
3.6.2	Validierung.....	63
3.7	Ejektor.....	65
3.7.1	Modellbildung.....	66
3.7.2	Validierung.....	68
3.8	Zusammenfassung.....	70
4	Anlagenkonzeptanalyse mit Anodenabgasrecycling.....	71
4.1	Festlegung notwendiger Randbedingungen.....	72
4.2	Anlagenkonzepte mit Gebläsen.....	73
4.2.1	Niedertemperaturkonzept.....	74
4.2.2	Hochtemperaturkonzept.....	77
4.3	Anlagenkonzepte mit Ejektoren.....	79
4.3.1	Brenngas als Treibmedium.....	79
4.3.2	Wasserdampf als Treibmedium.....	83
4.4	Vergleich und Beurteilung der erarbeiteten Konzepte.....	88
4.5	Zusammenfassung.....	91
5	Experimentelle Validierung des Gesamtmodells.....	93
5.1	Experimenteller Aufbau.....	93
5.2	Versuchsergebnisse und simulative Rückschlüsse.....	97
5.3	Zusammenfassung.....	109
6	Analyse des Systems.....	111
6.1	Simulation.....	111
6.1.1	Elektrisches Wirkungsgradverhalten.....	112
6.1.2	Teillastverhalten.....	118
6.1.3	Lasterhöhungsstrategie.....	121
6.2	Wirtschaftlichkeitsbetrachtung.....	124
6.3	Zusammenfassung.....	129
7	Schutzgasvermeidungsstrategie.....	131
7.1	Experimentelle Validierung der Vermeidungsstrategie.....	132
7.1.1	Charakterisierungstests des Schutzgaserzeugers.....	133
7.1.2	Stackversuch mit Schutzgaserzeuger.....	134

7.2	Simulative Analyse der Vermeidungsstrategie	138
7.2.1	Aufheizphase	138
7.2.2	Anfahrphase	142
7.2.3	Abfahrphase	142
7.2.4	Abkühlphase	143
7.2.5	Notfallphase	146
7.3	Zusammenfassung	147
8	Diskussion	149
9	Zusammenfassung	155
Anhang		159
A – Modellierung der Saugkammer des Ejektors		159
B – Rezyklierratenbestimmung		162
C – Grundlagen der Wirtschaftlichkeitsanalyse		164
Nomenklatur		167
Abbildungsverzeichnis		171
Tabellenverzeichnis		177
Literaturverzeichnis		179
Danksagung		191

**Energie & Umwelt /
Energy & Environment
Band / Volume 346
ISBN 978-3-95806-189-7**

