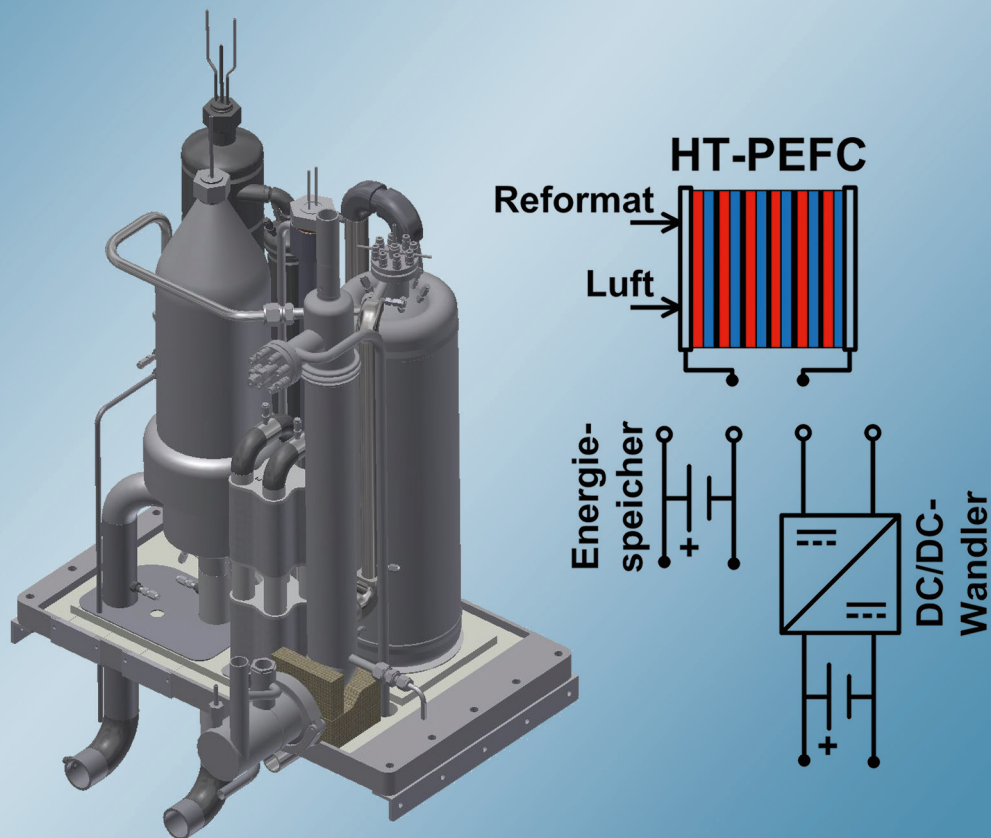


Computerunterstützte Auslegung eines Brennstoffzellen-Batterie-Hybridsystems für die Bordstromversorgung

Carsten Krupp



Energie & Umwelt /
Energy & Environment
Band/ Volume 309
ISBN 978-3-95806-124-8

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

Computerunterstützte Auslegung eines Brennstoffzellen-Batterie-Hybridsystems für die Bordstromversorgung

Carsten Krupp

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

Band / Volume 309

ISSN 1866-1793

ISBN 978-3-95806-124-8

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung und Zielsetzung	1
1.1	Motivation	2
1.2	Zielsetzung	3
1.3	Methodik	4
1.4	Gliederung der Arbeit	5
2	Grundlagen	7
2.1	Brennstoffzellenhybridsysteme	7
2.2	Brennstoffzellen	10
2.3	Brenngaserzeugung für Brennstoffzellen	13
2.4	Energiespeicher	16
2.4.1	Kennwerte von Energiespeichern	16
2.4.2	Batterietypen	17
2.4.3	Einordnung der Batterien	19
3	Stand der Technik und Forschung	21
3.1	Reaktor- und Systementwicklung am IEK-3	21
3.1.1	Reaktorentwicklung	21
3.1.1.1	Strömungsdynamische Modellierung	23
3.1.2	Systementwicklung	25
3.1.2.1	Startstrategie	26
3.1.2.2	Brenngaserzeugungspackages	28
3.2	Hybridsysteme mit Brennstoffzellen	31
3.2.1	Verschaltungsarten	31
3.2.1.1	Passive Hybridsysteme	31
3.2.1.2	Aktive Hybridsysteme	34
3.2.2	Betriebsstrategien	35
3.3	Anfahrstrategien für Brennstoffzellensysteme	39
3.4	Packaging von Brenngaserzeugungssystemen	42
3.5	Ableitung der Arbeitsschwerpunkte	49
4	Methodik der Arbeit	51
4.1	Methodik strömungsdynamischer Simulationen (CFD)	54
4.1.1	Erhaltungsgleichungen der Strömungsdynamik	54
4.1.2	Bilanzierung der Erhaltungsgleichungen	55
4.1.3	Erzeugung eines Rechengitters	57

4.1.4	Physikalische Modellgrundlagen	60
4.1.4.1	Turbulenz	60
4.1.4.2	Wärmeübergang und Strahlung	61
4.1.4.3	Stoffgemische und Reaktionen	63
4.1.4.4	Poröse Medien	65
4.1.4.5	Mehrphasenströmungen	67
4.1.5	Parallelisierung	67
4.2	Methodik der dynamischen Systemsimulation	68
5	Entwicklung einer Anfahrstrategie	77
5.1	Entwicklung eines Anfahrkonzepts für das Brennstoffzellensystem	77
5.1.1	Thermischer Startvorgang des Systems	78
5.1.2	Elektrischer Startvorgang des Systems	84
5.1.3	Auswertung der Startkonzepte	88
5.2	Strömungsdynamische Modellierung des Startvorgangs	90
5.2.1	Erstellung eines transienten Modells für den Startvorgang	90
5.2.1.1	Modellierung der porösen Medien	90
5.2.1.2	Validierung des Modells	91
5.2.1.3	Kopplung der einzelnen Reaktoren	94
5.2.2	Strömungsdynamische Optimierung des Aufheizverhaltens	95
5.3	Abschließende Auswertung der Startkonzepte	102
6	Erstellung und Optimierung des Hybridkonzeptes	105
6.1	Analytische Herleitung des Hybridisierungsgrades	105
6.2	Dynamische Simulation des Hybridsystems	108
6.2.1	Direkte Hybridverschaltung	111
6.2.2	Aktive Hybridverschaltung	115
6.2.3	Startvorgang des Systems	120
6.3	Fazit Hybridisierung	124
7	Packaging des Brenngaserzeugungssystems	127
7.1	Simulationsmethodik zur Packageentwicklung	127
7.1.1	Simulation des Packages 3	133
7.1.2	Simulationsunterstützte Wärmeübertragerentwicklung	134
7.2	Entwicklung eines neuen Packagekonzepts	137
7.2.1	Package 5: Thermisches Aufheizkonzept	138
7.2.1.1	Entwicklung eines Wärmeübertragers für den Startvorgang	138
7.2.1.2	Sensitivitätsanalyse des Startbrennerbetriebs	140
7.2.1.3	Experimentelle Untersuchung des Mikrostrukturwärmeübertragers	145
7.2.1.4	Fazit Package 5	145
7.2.2	Package 6: Elektrisches Aufheizkonzept	146
7.3	Fazit des Packagings	149

8 Anwendung der Gesamtmethodik	153
8.1 Zusammenführung der Ergebnisse	157
8.2 Wichtigste Erkenntnisse dieser Arbeit	161
9 Zusammenfassung	163
A Ergänzende Informationen zu Kapitel 5	169
A.1 Dynamische Systemsimulation	169
A.2 Zusätzliche Ergebnisse der strömungsdynamischen Simulationen	172
A.3 Benutzerdefinierte Funktion für die Kopplung des Druckes	173
B Ergänzende Informationen zu Kapitel 6	175
C Ergänzende Informationen zu Kapitel 7	177
C.1 Wärmeübertrager für den Startvorgang	178
C.2 Mikrostrukturwärmeübertrager	180
C.3 Komponenten Package 6	184
Nomenklatur	187
Abbildungsverzeichnis	191
Tabellenverzeichnis	197
Literaturverzeichnis	199

**Energie & Umwelt /
Energy & Environment
Band / Volume 309
ISBN 978-3-95806-124-8**

