



Mechanisches Verhalten von Polymer-Elektrolyt-Membran-Elektrolysezellen und -Stacks

Sebastian Holtwerth

Energie & Umwelt / Energy & Environment

Band / Volume 609

ISBN 978-3-95806-697-7

Forschungszentrum Jülich GmbH
Institut für Energie- und Klimaforschung (IEK)
Elektrochemische Verfahrenstechnik (IEK-14)

Mechanisches Verhalten von Polymer- Elektrolyt-Membran-Elektrolysezellen und -Stacks

Sebastian Holtwerth

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

Band / Volume 609

ISSN 1866-1793

ISBN 978-3-95806-697-7

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung und Ziel der Arbeit.....	1
2	Grundlagen und Stand der Technik.....	3
2.1	Grundlagen der Polymer-Elektrolyt-Membran-Wasserelektrolyse.....	3
2.1.1	Aufbau von Polymer-Elektrolyt-Membran-Wasserelektrolysezellen.....	6
2.1.2	Strömungsverteilerplatten.....	8
2.1.3	Poröse Materialien.....	9
2.2	Mechanischer Aufbau von Polymer-Elektrolyt-Membran-Elektrolysezellen.....	11
2.2.1	Mechanisches Verhalten der porösen Materialien.....	12
2.2.2	Elektrischer Widerstand.....	13
2.2.3	Einfluss der Zellmechanik auf die Elektrolysezelleistung.....	16
2.2.4	Einfluss unterschiedlicher, poröser Materialien auf die Zelleistung.....	18
2.2.5	Dichtungen in PEM-Elektrolyseuren.....	19
2.3	Polymer-Elektrolyt-Membran-Wasserelektrolysestacks.....	27
2.3.1	Endplatten und Stack-Verspannung.....	29
2.4	Modellierung von Polymer-Elektrolyt-Membran-Wasser-Elektrolyseuren.....	31
2.4.1	Grundlagen Finite-Elemente-Methode in der Strukturmechanik.....	31
2.4.2	Mechanisches Materialverhalten.....	32
2.4.3	Modellierung des Materialverhaltens von porösen Materialien im Bereich der Brennstoffzellentechnologie.....	35
2.4.4	Modellierung des Kompressionsverhaltens.....	38
2.5	Evaluation Anpressdruck.....	43
2.6	Zusammenfassung.....	44
3	Versuchsaufbau für Einzelzellentests und experimentelle Methoden.....	46
3.1	Aufbau von Elektrolysetestzellen.....	46
3.1.1	Referenzaufbau.....	48
3.2	Ermitteln der Anpressdruckverteilung.....	49
3.2.1	Drucksensitive Folien.....	49
3.2.2	Zeitabhängige Druckverteilungsmessung mittels piezoresistiven Sensoren.....	52
3.2.3	Methodenvalidierung.....	54

3.2.4	Grenzen der Messmethoden und allgemeine Anmerkungen	61
3.3	Elektrochemische Charakterisierung der Elektrolysetestzelle	62
3.3.1	Versuchsaufbau	62
3.3.2	Polarisationskurven	63
3.3.3	Elektrochemische Impedanzspektroskopie.....	63
3.4	Überprüfung der Dichtigkeit von Elektrolysezellen und -stacks.....	64
4	Finte-Elemente-Modellierung des mechanischen Verhaltens von Elektrolyseuren	66
4.1	Modellbildung für eine Elektrolyseeinzelzelle.....	66
4.1.1	Geometrischer Zellaufbau	68
4.1.2	Kontaktbedingungen	69
4.1.3	Vernetzungsdefinition.....	70
4.1.4	Randbedingungen	72
4.1.5	Streckmetalldesign.....	73
4.2	Modellbildung für einen Elektrolysestack.....	76
4.2.1	Geometrischer Aufbau und Modell	77
4.2.2	Randbedingungen	80
4.3	Materialmodelle.....	81
4.3.1	Materialmodelle poröser Materialien.....	82
4.3.2	Membran-Elektroden-Einheit	86
4.3.3	Dichtungsmaterialien.....	87
4.3.4	Sonstige Materialmodelle	89
4.3.5	Vereinfachte Materialmodelle	90
5	Evaluation des mechanischen Verhaltens von Elektrolysezellen	92
5.1	Experimentelle Untersuchungen des mechanischen Verhaltens von Elektrolysezellen	92
5.1.1	Messungen für den Referenzaufbau	93
5.1.2	Mechanischer Einfluss der Endplatten und Flowfield-Platten.....	95
5.1.3	Messung des zeitlichen Kompressionsverlaufs	96
5.1.4	Untersuchung des mechanischen Einflusses auf die elektrochemische Leistung einer Elektrolysezelle	99

5.1.5	Mechanische Untersuchung von Dichtungen einer Elektrolysezelle	110
5.2	Finite-Elemente-Simulation des Fujifilm-Ersatzmodells	115
5.2.1	Variation der Kontaktdefinition.....	116
5.2.2	Einfluss der kathodischen GDL-Materialmodelle	126
5.2.3	Einfluss der Dichtungsmaterialmodelle.....	132
5.2.4	Variation Bekaert-Modell	135
5.2.5	Diskussion und Bewertung des Fujifilm-Ersatzmodells.....	137
5.3	Finite-Elemente-Simulation einer Elektrolysetestzelle	138
5.3.1	Variation der Schraubenkraft.....	143
5.3.2	Variation der GDL-Kompression.....	147
5.3.3	Variation der Flowfield-Struktur	151
5.3.4	Variation des Dichtungsdesigns	154
5.3.5	Variation des Endplattendesigns	160
5.3.6	Kurzzusammenfassung zum MEA-Zellmodell	162
6	Evaluation des mechanischen Einflusses auf die Komponenten eines PEM-Elektrolysestacks.....	165
6.1	Mechanische Evaluation eines quadratischen Stack-Designs	165
6.1.1	Einfluss der Schrauben auf die Spannungsverteilung in der Endplatte.....	168
6.1.2	Einfluss der Eckschrauben auf das mechanische Verhalten des Stacks	169
6.1.3	Parametrische Untersuchungen von Einflussgrößen	171
6.1.4	Kurzzusammenfassung.....	173
6.2	Konstruktive Untersuchungen zu Endplattendesigns.....	174
6.2.1	Topologieoptimierte Endplatte.....	174
6.2.2	Gebogene Endplatte	176
6.2.3	Verstellbare Endplatte.....	176
6.2.4	Vergleich der vorgestellten Endplattenkonzepte.....	177
6.2.5	Kurzzusammenfassung.....	178
6.3	Ableitung eines neuartigen Stack-Designs unter mechanischen und konstruktiven Gesichtspunkten	179
6.4	Diskussion.....	182

7	Spannungsoptimiertes, neuartiges Stack-Design	183
7.1	Untersuchung des Anpressdrucks.....	183
7.1.1	Drucksensitive Folien – Fujifilm	184
7.1.2	Zeitabhängige Druckverteilungsevaluation – Tekscan.....	186
7.2	Zusammenfassung und Diskussion	191
8	Diskussion.....	193
9	Zusammenfassung.....	203
10	Literaturverzeichnis	206
	Abbildungsverzeichnis.....	217
	Tabellenverzeichnis.....	224
	Abkürzungsverzeichnis.....	226
	Formelzeichen und Indizes.....	227
	Anhang.....	230

Energie & Umwelt / Energy & Environment
Band / Volume 609
ISBN 978-3-95806-697-7

Mitglied der Helmholtz-Gemeinschaft

