

Forschungszentrum Jülich GmbH  
Institut für Werkstoffe und Verfahren der Energietechnik  
Institut 3: Energieverfahrenstechnik

# Entwicklung und Optimierung von Direktmethanol-Brennstoffzellstapeln

Martin Johannes Müller

Schriften des Forschungszentrums Jülich  
Reihe Energietechnik / Energy Technology

Band / Volume 51

ISSN 1433-5522

ISBN 3-89336-434-X

## Inhaltsverzeichnis

<b>1 Einführung und Aufgabenstellung</b>	<b>5</b>
<b>2 Technischer Überblick</b>	<b>7</b>
<b>2.1 Energiewandlung</b>	<b>7</b>
<b>2.2 Funktion der Direktmethanol-Brennstoffzelle</b>	<b>8</b>
2.2.1 Grundlagen	9
2.2.2 Chancen	10
<b>2.3 Membran-Elektroden-Einheit</b>	<b>11</b>
2.3.1 Elektrolyt	11
2.3.2 Katalysatorschichten	13
2.3.3 Diffusionsschichten	13
<b>2.4 Strömungsverteiler und Bipolarplatten</b>	<b>14</b>
<b>2.5 Endplatten und Spannelemente</b>	<b>15</b>
<b>2.6 Versorgungsleitungen und sonstige Stackbauteile</b>	<b>15</b>
<b>2.7 Brennstoffzellen-Systeme</b>	<b>15</b>
<b>3 Methodik zur Beurteilung von Stackkomponenten</b>	<b>17</b>
<b>3.1 Entwicklungsmethodik</b>	<b>17</b>
3.1.1 System Brennstoffzelle und Systemgrenzen	18
3.1.2 Brennstoffzellensystem	19
3.1.3 Zellstapel	19
3.1.4 Zelle	20
<b>3.2 Messgrößen</b>	<b>20</b>
<b>3.3 Kenngrößen zur Beurteilung der Konstruktion von Stacks</b>	<b>21</b>
3.3.1 Längenkennzahl – Flächennutzung	21
3.3.2 Charakterisierung der Volumennutzung	22
3.3.3 Massenbezogene Kenngrößen	22
<b>3.4 Kennzahlen zur Beurteilung der Betriebsparameter</b>	<b>23</b>
3.4.1 Flächenbezogene Volumen- und Massenströme	23
3.4.2 Stoffmengenbezogene Kenngrößen	24
3.4.3 Wasserdurchtritt durch die Membran	25
3.4.4 Spreizung und Homogenität	26
<b>3.5 Kenngrößen zur Beurteilung der Zelleistung</b>	<b>26</b>
3.5.1 Die Zellspannung $U_{\Omega,0}$	28
3.5.2 Der Widerstandsterm $R_{\Omega}$	29
3.5.3 Gegenüberstellung von $U_{\Omega,0}$ und $R_{\Omega}$	30
<b>3.6 Zusammenstellung der entwickelten Kenngrößen</b>	<b>30</b>
<b>4 Zellbetrieb und Stofftransport in der Brennstoffzelle</b>	<b>33</b>
<b>4.1 Transportphänomene in Membran und MEA</b>	<b>35</b>
4.1.1 Protonenleitung im Elektrolyten	35

4.1.2	Wasserpermeation ohne Protonenfluss	37
4.1.3	Methanol- und Wasserpermeation unter elektrischer Last	39
<b>4.2</b>	<b>Transportprozesse im Anodenraum</b>	<b>45</b>
4.2.1	Diffusionszone und Katalysator	46
4.2.2	Diffusionszone und Strömungsverteiler	51
<b>4.3</b>	<b>Transportprozesse im Kathodenraum</b>	<b>56</b>
4.3.1	Diffusionszone und Katalysator	57
4.3.2	Diffusionszone und Strömungsverteiler	62
<b>4.4</b>	<b>Stationärer Zellbetrieb</b>	<b>71</b>
4.4.1	Wärmebilanz	71
4.4.2	<i>Einfluss der Temperatur auf die Zelleistung</i>	73
<b>4.5</b>	<b>Dynamischer Betrieb</b>	<b>75</b>
4.5.1	Startphase	77
4.5.2	Lastwechsel	77
4.5.3	Abfahren	78
<b>4.6</b>	<b>Unterversorgung von Zellen und Zellabschnitten</b>	<b>78</b>
4.6.1	Unterversorgung der Anode	79
4.6.2	Unterversorgung der Kathode	79
<b>4.7</b>	<b>Zusammenstellung der Ergebnisse aus Kapitel 4</b>	<b>87</b>
<b>5</b>	<b>Brennstoffzellstack: Komponenten und Funktionalität</b>	<b>89</b>
<b>5.1</b>	<b>Stackkonzept</b>	<b>89</b>
5.1.1	Bipolarer Aufbau	89
5.1.2	Monopolarer Aufbau	90
5.1.3	Sonstige Konzepte	92
<b>5.2</b>	<b>Strömungsverteiler und Dichtungskonzept</b>	<b>92</b>
5.2.1	Funktion des Strömungsverteilers – Ausführungsvarianten	92
5.2.2	Fertigungsmethoden und Fertigungsungenauigkeiten	104
5.2.3	Dichtungskonzept	110
5.2.4	Interaktion kathodischer und anodischer Verteilerstrukturen	115
5.2.5	Druckverlust beim Durchströmen – Zweiphasenströmung	117
5.2.6	Elektrische Eigenschaften von Kollektor- und Bipolarplatten	120
<b>5.3</b>	<b>Versorgungskanäle zu den Zellen</b>	<b>127</b>
<b>5.4</b>	<b>Endplatten</b>	<b>128</b>
5.4.1	Materialien	128
5.4.2	Anpressdruck	128
<b>5.5</b>	<b>Stackauslegung</b>	<b>130</b>
<b>5.6</b>	<b>Stack und System – Integration von Systemkomponenten</b>	<b>133</b>
5.6.1	Anodische Medienversorgung	134
5.6.2	Luftzufuhr – Luftmengensteuerung	134
5.6.3	Phasenseparation im Strömungsverteiler	135
5.6.4	Medieneinspeisung im Strömungsverteiler	136
5.6.5	Methanol- oder Wasserstoffnachverbrennung im Kathodenraum	136

5.6.6 Überwachungselektronik und Sensorik	138
<b>5.7 Umsetzung und Bewertung</b>	<b>138</b>
<b>5.8 Zusammenstellung der Ergebnisse aus Kapitel 5</b>	<b>141</b>
<b>6 Ergebnis und Ausblick</b>	<b>145</b>
<b>7 Anhang</b>	<b>149</b>
7.1 Werkstoffdaten	149
7.2 Indizes	154
7.3 Nomenklatur	154
7.4 Abkürzungen	155
7.5 Tabellenverzeichnis	156
7.6 Abbildungsverzeichnis	156
7.7 Literaturverzeichnis	161