

---

|          |  |           |
|----------|--|-----------|
| <b>1</b> | <b>EINFÜHRUNG UND ZIELSETZUNG.....</b>                                     | <b>1</b>  |
| <b>2</b> | <b>LEISTUNGSMODELLIERUNG EINER PEFC.....</b>                               | <b>12</b> |
| 2.1      | Analytischer eindimensionaler Modellansatz .....                           | 13        |
| 2.2      | Quasi eindimensionaler (Q1D-) Modellansatz.....                            | 20        |
| 2.2.1    | Anwendung des Q1D-Modellansatzes auf Zellen im Labormaßstab .....          | 22        |
| 2.2.2    | Anwendung des Q1D-Modellansatzes auf Einzelzellen eines 5 kW-Stapels.....  | 27        |
| 2.3      | Identifikation von Optimierungspotentialen bezüglich der Zelleistung ..... | 30        |
| 2.3.1    | Definition eines Basisfalls .....  | 30        |
| 2.3.2    | Einfluss der Modellparameter .....   | 32        |
| 2.3.3    | Einfluss ausgewählter Betriebsparameter.....                               | 34        |
| 2.4      | Zusammenfassung .....  | 37        |
| <b>3</b> | <b>MESSAUFBAUTEN UND MESSMETHODEN .....</b>                                | <b>39</b> |
| 3.1      | Aufbau der Einzelzellen und Zellstapel .....                               | 39        |
| 3.2      | Messstände und Messapparaturen .....                                       | 42        |
| 3.2.1    | Visualisierung der Strömung in Einzelzellen .....                          | 42        |
| 3.2.2    | Messstand zur Leistungscharakterisierung .....                             | 42        |
| 3.2.3    | Passives Widerstandsnetzwerk zur Stromdichtemessung .....                  | 44        |
| 3.2.4    | Magnetotomographiemessstand zur Stromdichtemessung.....                    | 45        |
| 3.3      | Dichtigkeitsmessung .....  | 46        |
| 3.4      | Kraftflussmessung .....  | 47        |
| 3.5      | Stromdichtemessung .....   | 47        |
| 3.5.1    | Passives Widerstandsnetzwerk.....  | 48        |
| 3.5.2    | Magnetotomographie.....  | 52        |
| 3.6      | Widerstandsmessung .....   | 58        |
| 3.7      | Messung des Tropfenaustrags aus der Strömungsstruktur .....                | 58        |
| <b>4</b> | <b>AUSWERTUNG DER MESSERGEBNISSE.....</b>                                  | <b>60</b> |
| 4.1      | Bewertung von Strömungsstrukturen und Bipolarplattenmaterialien .....      | 60        |
| 4.1.1    | Vergleich zwischen Mäander- und Kanal-Füßchen-Strömungsstruktur .....      | 60        |
| 4.1.2    | Vergleich zwischen metallischen und graphitischen Bipolarplatten .....     | 63        |
| 4.2      | Variation von Betriebsparametern .....                                     | 64        |
| 4.2.1    | Durchfluss .....   | 64        |
| 4.2.2    | Druck.....   | 65        |
| 4.2.3    | Temperatur.....  | 66        |
| 4.2.4    | Reaktandenbefeuchtung.....   | 68        |

---

|          |   |            |
|----------|---|------------|
| 4.3      | Stromdichtemessung .....  | 69         |
| 4.3.1    | Stromdichtemessung mit Hilfe des passiven Widerstandsnetzwerks .....                | 69         |
| 4.3.2    | Magnetotomographie.....   | 74         |
| 4.4      | Weiterführende Charakterisierung.....   | 77         |
| 4.4.1    | Dichtungsscreening.....   | 77         |
| 4.4.2    | Anpressdruckverteilung.....   | 79         |
| 4.5      | Zusammenfassung.....  | 80         |
| <b>5</b> | <b>MEDIENVERTEILUNG IM ZELLSTAPEL .....</b>   | <b>83</b>  |
| 5.1      | Verfahren zur Berechnung der Medienverteilung in einem Zellstapel.....              | 86         |
| 5.1.1    | Eindimensionaler Rechenansatz.....  | 87         |
| 5.1.2    | Dreidimensionale Strömungssimulation.....   | 90         |
| 5.1.3    | Vergleich der 1D- und 3D-Rechenergebnisse .....                                     | 93         |
| 5.2      | Einfluss der Stackgeometrie und der Betriebsparameter auf die Medienverteilung..... | 95         |
| 5.3      | Kennzahlenbasierte Beschreibung der Medienverteilung .....                          | 103        |
| 5.3.1    | Definition dimensionsloser Kennzahlen .....   | 103        |
| 5.3.2    | Ergebnisse der kennzahlenbasierten Betrachtung .....                                | 106        |
| 5.3.3    | Formel zur Bewertung der Medienverteilung im Zellstapel .....                       | 111        |
| 5.4      | Zusammenfassung.....  | 112        |
| <b>6</b> | <b>KÜHLUNG .....</b>  | <b>114</b> |
| 6.1      | Wärmebilanz eines 5 kW Brennstoffzellenstapels.....                                 | 115        |
| 6.2      | Verlustleistung durch Kühlung .....   | 117        |
| 6.3      | Vergleich der Verlustleistung bei Luft- und Wasserkühlung .....                     | 119        |
| 6.4      | Auslegungsroutine für Kühlkanalgeometrien.....                                      | 123        |
| 6.5      | Berechnung der optimalen Kühlzellenanzahl in einem Zellstapel .....                 | 128        |
| 6.6      | Zusammenfassung.....  | 132        |
| <b>7</b> | <b>BEFEUCHTUNG.....</b>   | <b>133</b> |
| 7.1      | Befeuchtungskonzepte .....  | 133        |
| 7.2      | Membranverfahren.....   | 135        |
| 7.2.1    | Experimentelle Charakterisierung des Pervaporationsbefeuchters .....                | 135        |
| 7.2.2    | Experimentelle Charakterisierung des Gaspermeationsbefeuchters .....                | 137        |
| 7.3      | Zusammenfassung.....  | 139        |

---

|           |  |            |
|-----------|--|------------|
| <b>8</b>  | <b>BETRACHTUNG EINES PEFC-SYSTEMS DER 5 KW-KLASSE .....</b>                | <b>140</b> |
| 8.1       | Betrachtete Systemkonzepte.....  | 140        |
| 8.2       | Modellannahmen .....   | 141        |
| 8.3       | Ergebnisse der Systembetrachtung .....                                     | 143        |
| 8.4       | Zusammenfassung .....  | 145        |
| <b>9</b>  | <b>KONSTRUKTIVE BAUTEILOPTIMIERUNG .....</b>                               | <b>146</b> |
| 9.1       | Endplattendesign .....   | 146        |
| 9.1.1     | Einfluss der Endplattenwölbung auf die Druckverteilung im Zellstapel ..... | 147        |
| 9.1.2     | Gewichtsreduktionspotential der Endplatten.....                            | 153        |
| 9.1.3     | Bauteilkosten ausgewählter Endplattenvarianten .....                       | 160        |
| 9.2       | Dichtung.....  | 166        |
| 9.3       | Zusammenfassung .....  | 170        |
| <b>10</b> | <b>POLYMERELEKTROLYT-BRENNSTOFFZELLENSTAPEL DER 5 KW<br/>KLASSE .....</b>  | <b>173</b> |
| <b>11</b> | <b>ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK.....</b>                                   | <b>176</b> |
| <b>12</b> | <b>LITERATURVERZEICHNIS .....</b>  | <b>180</b> |
| <b>13</b> | <b>ANHANG .....</b>  | <b>187</b> |
| 13.1      | Nomenklatur.....   | 187        |
| 13.2      | Ergänzungen zu Kapitel 5 (Medienverteilung im Zellstapel) .....            | 192        |
| 13.3      | Ergänzungen zu Kapitel 6 (Kühlung).....                                    | 196        |
| 13.4      | Ergänzungen zu Kapitel 9 (Konstruktive Bauteiloptimierung) .....           | 199        |