

# Inhaltsverzeichnis

<b>1 Einleitung</b>	<b>1</b>
<b>2 Grundlagen</b>	<b>5</b>
2.1 Stand der Technik . . . . .	5
2.2 Analyse der Kostensituation . . . . .	10
2.3 Synthese der Literaturdaten . . . . .	15
2.3.1 Gesamtsystem . . . . .	15
2.3.2 Membran . . . . .	17
2.3.3 Elektrode . . . . .	20
2.3.4 Bipolarplatte . . . . .	20
2.3.5 Elektrolyt . . . . .	20
<b>3 Methodik der Kostenanalyse und -bewertung</b>	<b>25</b>
3.1 Kostenbegriff . . . . .	25
3.2 Verfahren zur Kostenberechnung . . . . .	26
3.3 Verwendete Methoden . . . . .	29
3.3.1 Statistische Methodik zur Ermittlung von Materialkosten	29
3.3.2 Monte-Carlo-Analyse . . . . .	32
3.3.3 <i>Process Step Scoring</i> -Methode . . . . .	33
3.3.4 Erfahrungskurven . . . . .	34
3.3.5 Sensitivitätsanalyse . . . . .	34
<b>4 Elektrochemische Modellierung</b>	<b>37</b>
4.1 Redoxchemie der VRFB . . . . .	38
4.2 Elektrochemisches Modell der VRFB . . . . .	40
<b>5 Techno-ökonomische Analyse und Modellierung auf Komponentenebene</b>	<b>49</b>
5.1 Membran . . . . .	51
5.1.1 Funktionsbeschreibung und Anforderungen . . . . .	51
5.1.2 Material, Design und physikalische Eigenschaften . . . . .	51
5.1.3 Fertigungsverfahren . . . . .	54
5.1.4 Materialkosten . . . . .	55

5.1.5	Herstellkosten und Preisentwicklung . . . . .	63
5.2	Elektroden . . . . .	67
5.2.1	Funktionsbeschreibung und Anforderungen . . . . .	67
5.2.2	Material, Design und physikalische Eigenschaften . . . . .	68
5.2.3	Fertigungsverfahren . . . . .	68
5.2.4	Materialkosten . . . . .	70
5.2.5	Herstellkosten und Preisentwicklung . . . . .	73
5.3	Bipolarplatten . . . . .	75
5.3.1	Funktionsbeschreibung und Anforderungen . . . . .	75
5.3.2	Material, Design und physikalische Eigenschaften . . . . .	76
5.3.3	Fertigungsverfahren . . . . .	78
5.3.4	Materialkosten . . . . .	81
5.3.5	Herstellkosten und Preisentwicklung . . . . .	83
<b>6</b>	<b>Techno-ökonomische Modellierung großer stationärer VRFB-Systeme</b>	<b>87</b>
6.1	Modellierung der Leistungsseite . . . . .	88
6.1.1	Technische Auslegung der Leistungsseite . . . . .	89
6.1.2	Leistungsseitige Komponentenauswahl und -kosten . . . . .	90
6.1.3	Berechnung der leistungsseitigen Kosten . . . . .	92
6.2	Modellierung der Energieseite . . . . .	94
6.2.1	Technische Auslegung der Energieseite . . . . .	95
6.2.2	Energieseitige Komponentenauswahl und -kosten . . . . .	96
6.2.3	Berechnung der energieseitigen Kosten . . . . .	99
6.3	Berechnung der Systemkosten . . . . .	99
6.4	Sensitivitätsanalyse . . . . .	104
6.4.1	Sensitivitätsanalyse Membran . . . . .	104
6.4.2	Sensitivitätsanalyse Standardsystem . . . . .	106
<b>7</b>	<b>Zusammenfassung und Ausblick</b>	<b>111</b>
<b>A</b>	<b>Kostensituation</b>	<b>117</b>
<b>B</b>	<b>Membranen</b>	<b>123</b>
B.1	Anwendung der <i>Process Step Scoring</i> -Methode . . . . .	123
B.2	Anwendung des Referenzmodells zur Berechnung der Herstellkosten	127
<b>C</b>	<b>Filzelektroden</b>	<b>131</b>
C.1	Faserherstellung und -kosten . . . . .	131
C.2	Referenzmodell zur Berechnung der Herstellkosten . . . . .	131

<b>D Bipolarplatten</b>	<b>133</b>
D.1 Dynamische Bildanalyse von synthetischem Graphit . . . . .	133
D.2 Anwendung des Referenzmodells zur Berechnung der Herstellkosten	133
<b>E Auslegung großer stationärer VRFB-Systeme</b>	<b>137</b>
E.1 Leistungsseitige Auslegung . . . . .	137
E.2 Energieseitige Auslegung . . . . .	139
<b>Abkürzungsverzeichnis</b>	<b>I</b>
<b>Symbolverzeichnis</b>	<b>III</b>
<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>VII</b>