

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
2	Grundlagen	5
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
3	Methodik der Kostenanalyse und -bewertung	25
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
4	Elektrochemische Modellierung	37
4.1	Redoxchemie der VRFB	38
4.2	Elektrochemisches Modell der VRFB	40
5	Techno-ökonomische Analyse und Modellierung auf Komponentenebene	49
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
6	Techno-ökonomische Modellierung großer stationärer VRFB-Systeme	87
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
7	Zusammenfassung und Ausblick	111
A	Kostensituation	117
B	Membranen	123
B.1	Anwendung der <i>Process Step Scoring</i> -Methode	123
B.2	Anwendung des Referenzmodells zur Berechnung der Herstellkosten	127
C	Filzelektroden	131
C.1	Faserherstellung und -kosten	131
C.2	Referenzmodell zur Berechnung der Herstellkosten	131

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