



Christine Minke (Autor)

Techno-ökonomische Modellierung und Bewertung von stationären Vanadium-Redox-Flow-Batterien im industriellen Maßstab

Schriftenreihe des Energie-Forschungszentrums Niedersachsen

efzn

Energie-Forschungszentrum
Niedersachsen



TU Clausthal

Techno-ökonomische Modellierung und Bewertung von stationären Vanadium- Redox-Flow-Batterien im industriellen Maßstab

Christine Minke

Promotion an der Technischen Universität Clausthal

Band 40



Cuvillier Verlag Göttingen

<https://cuvillier.de/de/shop/publications/7304>

Copyright:

Cuvillier Verlag, Inhaberin Annette Jentzsch-Cuvillier, Nonnenstieg 8, 37075 Göttingen, Germany
Telefon: +49 (0)551 54724-0, E-Mail: info@cuvillier.de, Website: <https://cuvillier.de>



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 |