

Inhaltsverzeichnis

| | |
|--|-----|
| I. Abkürzungen | iii |
| II. Formelzeichen und Indizes | v |
| 1. Einleitung | 1 |
| 1.1. Motivation und Zielstellung | 1 |
| 1.2. Einordnung in das Fachgebiet | 1 |
| 1.3. Gliederung der Arbeit | 2 |
| 2. Grundlagen regenerativer Brennstoffzellensysteme | 5 |
| 2.1. Alkalische Brennstoffzelle | 6 |
| 2.1.1. Aufbau | 6 |
| 2.1.2. Elektrochemische Grundlagen | 8 |
| 2.1.3. Thermodynamische Grundlagen | 10 |
| 2.1.4. Eigenschaften und Stand der Technik | 14 |
| 2.2. Alkalischer Elektrolyseur | 16 |
| 2.2.1. Aufbau | 16 |
| 2.2.2. Elektrochemische Grundlagen | 18 |
| 2.2.3. Thermodynamische Grundlagen | 18 |
| 2.2.4. Eigenschaften und Stand der Technik | 19 |
| 2.3. Regeneratives Brennstoffzellensystem | 21 |
| 2.3.1. Aufbau | 21 |
| 2.3.2. Betrieb | 23 |
| 2.3.3. Speichermethoden | 25 |
| 2.3.4. Eigenschaften und Stand der Technik | 26 |
| 3. Raumfahrtspezifische Auslegungskriterien eines RFCS | 29 |
| 3.1. Elektrolysebetrieb und Speicherung der Gase bei hohem Druck | 29 |
| 3.2. Brennstoffzellenbetrieb bei hoher Temperatur | 33 |
| 3.3. Geschlossenheit der Stoffkreisläufe | 38 |
| 3.3.1. Wasser | 39 |
| 3.3.2. Wasserstoff und Sauerstoff | 40 |
| 3.3.3. Kaliumhydroxidlösung | 43 |
| 3.4. Sonstige Kriterien | 44 |
| 4. Experimenteller Aufbau | 45 |
| 4.1. Elektrolyseur und Brennstoffzelle | 45 |
| 4.2. Teststand | 48 |

| | |
|--|-----|
| 4.2.1. Wasserstoffsegment | 49 |
| 4.2.2. Sauerstoffsegment | 50 |
| 4.2.3. Wassersegment und Heizkreislauf | 51 |
| 4.2.4. Stickstoffsegment | 52 |
| 4.2.5. Elektrik und Elektronik | 53 |
| 5. Optimierung der alkalischen Brennstoffzelle..... | 55 |
| 5.1. Optimierung der Struktur..... | 55 |
| 5.2. Optimierung der elektrischen Eigenschaften..... | 59 |
| 5.3. Optimierung der Betriebsparameter | 64 |
| 5.4. Fazit | 73 |
| 6. Test und Charakterisierung des experimentellen RFCS | 75 |
| 6.1. Elektrolysebetrieb bei hohem Druck | 75 |
| 6.2. Brennstoffzellenbetrieb bei hoher Temperatur..... | 78 |
| 6.3. Geschlossenheit | 82 |
| 6.3.1. Wasser | 82 |
| 6.3.2. Wasserstoff und Sauerstoff | 84 |
| 6.3.3. Kaliumhydroxidlösung..... | 87 |
| 6.4. Zyklische Energiespeicherung..... | 90 |
| 6.5. Fazit | 95 |
| 7. Diskussion und Bewertung der RFCS-Ergebnisse..... | 97 |
| 7.1. Vergleich mit den Ergebnissen bisheriger Arbeiten..... | 97 |
| 7.2. Vergleich mit realen Szenarien..... | 98 |
| 7.3. Offene Punkte und weitere Optimierungsmöglichkeiten | 102 |
| 7.4. Konzeption eines Weltraumexperiments..... | 106 |
| 8. Zusammenfassung und Ausblick | 109 |
| 9. Literaturverzeichnis..... | 113 |
| Anhang A - Stoffwerte und Berechnungen | 123 |
| Anhang B - Brennstoffzellen: Stand der Technik | 125 |
| Anhang C - Energiespeichertechnologien | 135 |
| Anhang D - Fließbild RFCS-Teststand | 137 |
| Anhang E - Brennstoffzellenbauteile | 139 |
| Anhang F – Thesen | 141 |