



Redox-Flow-Technologie zur Energiebereitstellung – Stand und Entwicklung

Bachelorarbeit
von
Alexander Hoppe

Fachbereich
Energie • Gebäude • Umwelt



Erstprüfer: Prof. Dr.-Ing. Christof Wetter
Zweitprüfer: Prof. Dr.-Ing. Andreas Böker

Steinfurt im Oktober 2011

INHALTSVERZEICHNIS

1	EINLEITUNG	4
2	DIE REDOX-FLOW-TECHNOLOGIE	6
2.1	Geschichte	6
2.2	Funktionsweise und Stand der Technik	7
2.2.1	Begriffsbestimmungen	7
2.2.2	Funktionsweise der Redox-Flow-Batterie.....	7
2.2.3	Stand der Technik.....	12
2.3	Arten und Eigenschaften von Redox-Flow-Batterien (RFB).....	12
2.3.1	Eisen-Chrom RFB	15
2.3.2	Polysulfid-Bromid RFB	15
2.3.3	Vanadium RFB.....	16
2.3.4	Vanadium-Bromid RFB	17
3	FORSCHUNG AN DER REDOX-FLOW-TECHNOLOGIE	19
3.1	Forschung in Deutschland.....	19
3.1.1	Fraunhofer Gesellschaft	19
3.1.2	Bayerisches Zentrum für Angewandte Energieforschung e.V. (ZAE Bayern).....	22
3.1.3	Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule Aachen (RWTH Aachen).....	22
3.1.4	Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoff-Forschung Baden-Württemberg (ZSW)	23
3.1.5	NEXT ENERGY - EWE-Forschungszentrum für Energietechnologie e.V.....	23
3.2	Forschung international.....	23
3.2.1	University of New South Wales (UNSW), Australien.....	23
3.2.2	Sandia National Labs, Vereinigte Staaten von Amerika (USA)	24
3.2.3	Pacific Northwest National Laboratory (PNNL), USA.....	24
3.2.4	University of Strathclyde Glasgow, Vereinigtes Königreich (UK)	24

3.2.5	University of Manchester, UK	24
3.2.6	Dalian Institute of Chemical Physics (DICP), Chinese Academy of Sciences (CAS), China	24
3.2.7	University of Twente, Niederlande	25
3.3	Aktuelle Projekte.....	25
4	REDOX-FLOW-BATTERIEN IM EINSATZ.....	27
4.1	Hersteller von Redox-Flow-Batterien	27
4.1.1	Cellstrom GmbH, Österreich.....	27
4.1.2	Renewable Energy Dynamics Technology Ltd. (REDT), Irland	28
4.1.3	Deeya Energy Inc., USA	29
4.1.4	Prudent Energy VRB TM Systems, USA	30
4.1.5	V-Fuel Pty Ltd. and Ashlawn Energy, LLC, USA.....	30
4.1.6	Golden Energy Fuel Cell Co., Ltd. (GEFC), China	30
4.2	Anlagen im Einsatz	31
4.2.1	Huxley Hill Wind Farm auf King Island, Australien	31
4.2.2	Solarstrom-Tankstelle bei Monte Vibiano, Italien.....	32
5	EINSATZ DER REDOX-FLOW-TECHNOLOGIE IM BEREICH DER ELEKTROMOBILITÄT.....	33
5.1	Speicherung regenerativ erzeugter elektrischer Energie in einer Redox- Flow-Batterie	33
5.2	Transport der Elektrolytflüssigkeiten.....	38
5.2.1	Transport per LKW	38
5.2.2	Transport per Rohrleitung	41
5.3	Mobile Nutzung der Redox-Flow-Technologie in Elektrofahrzeugen	51
5.3.1	Anforderungen an Batterien für Elektrofahrzeuge.....	52
5.3.2	Möglichkeiten und Grenzen für den Einsatz von Vanadium-Redox-Flow- Batterien in Elektrofahrzeugen	57

6	DISKUSSION DER ERGEBNISSE	62
7	AUSBLICK	65
8	ZUSAMMENFASSUNG	66
9	VERZEICHNISSE	67
9.1	Literaturverzeichnis.....	67
9.2	Abbildungsverzeichnis	74
9.3	Tabellenverzeichnis.....	75
9.4	Formelzeichenverzeichnis.....	76
10	ANHANG	79

8 ZUSAMMENFASSUNG

Die Grundlage für die vorliegende Bachelorarbeit war die eingangs beschriebene Diskussion über die zukünftige Versorgung der Menschen mit Energie. Daher wurde als Aufgabenstellung die Überprüfung der Redox-Flow-Technologie hinsichtlich Ihrer Nutzbarkeit als Energiespeicher gewählt. Der Fokus wurde dabei auf den Einsatz von Elektrolytflüssigkeiten als Energieträger in Elektrofahrzeugen gelegt.

Die Ausführungen zur Funktionsweise und dem Stand der Technik zeigen, dass bereits zahlreiche Varianten dieser relativ alten Technologie existieren, allerdings sind nur wenige davon kommerziell verfügbar. Am weitesten entwickelt ist die Vanadium-Redox-Flow-Technologie, die auch aktuell im Bereich der Forschungen an erster Stelle steht. Verschiedene nationale und internationale Institute sind in diesem Gebiet tätig, wobei in Deutschland allen voran das Fraunhofer-Institut zu nennen ist. Darüber hinaus werden bereits von unterschiedlichen Herstellern funktionsfähige Anlagen angeboten.

Durch die Untersuchungen zur Einsetzbarkeit der Redox-Flow-Technologie im Bereich der Elektromobilität wird deutlich, dass mit dem aktuellen Stand der Technik noch nicht die Voraussetzungen für eine entsprechende Nutzung erfüllt werden. Vor allem der Transport der Elektrolytflüssigkeiten und deren Verwendung in Elektrofahrzeugen sind noch nicht näher erforscht. Auch die Wirtschaftlichkeit eines flächendeckenden Transportnetzes ist aufgrund der geringen Energiedichte der Flüssigkeiten nicht gegeben. Ferner ist noch zu klären, wie die Sicherheit im Umgang mit den Elektrolytflüssigkeiten gewährleistet werden kann.

Abschließend kann festgehalten werden, dass es noch intensiver Forschungs- und Entwicklungsarbeit bedarf, um die Redox-Flow-Technologie als Energiespeicher zu etablieren.