



## Recyclingmöglichkeiten für die Keramikkomponenten einer Festoxidzelle

Stephan Sarner

Energie & Umwelt / Energy & Environment

Band / Volume 660

ISBN 978-3-95806-816-2

Forschungszentrum Jülich GmbH  
Institute of Energy Materials and Devices (IMD)  
Werkstoffsynthese und Herstellungsverfahren (IMD-2)

# **Recyclingmöglichkeiten für die Keramikkomponenten einer Festoxidzelle**

Stephan Sarner

Schriften des Forschungszentrums Jülich  
Reihe Energie & Umwelt / Energy & Environment

Band / Volume 660

---

ISSN 1866-1793

ISBN 978-3-95806-816-2

INHALTSVERZEICHNIS

ABSTRACT	I
KURZFASSUNG	II
ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS	VII
1 EINLEITUNG	1
2 HINTERGRUND UND THEORIE	3
2.1 Festoxidzellen	3
2.1.1 Funktionsprinzip	3
2.1.2 Spannungsverluste	6
2.1.3 Systemkomponenten	9
2.1.4 Zellkomponenten	11
2.1.5 Zelldesigns	14
2.1.6 Zellherstellung	16
2.2 Kreislaufwirtschaft von Festoxidzellabfällen	20
2.2.1 Marktentwicklung von Festoxidzellen	22
2.2.2 Rohstoff- und Kostenabschätzung	23
2.2.3 Gesetzliche Regelungen in der EU	25
2.2.4 Literaturüberblick zum Recycling von Festoxidzellen	27
2.2.5 Recycling von analogen Materialien	31
2.2.6 Hydrometallurgie	33
3 EXPERIMENTELLE METHODEN	35
3.1 Überblick zum Probenmaterial	35
3.2 Analytische Methoden	36
3.2.1 Optische Emissionsspektrometrie mit induktiv gekoppeltem Plasma	36
3.2.2 Rasterelektronenmikroskopie	38
3.2.3 Röntgenbeugung	39
3.2.4 Laserbeugungs-Partikelgrößenanalyse	39
3.2.5 Messung der spezifischen Oberfläche	40
3.2.6 Rheologische Messungen	40
3.2.7 Thermogravimetrie	41
3.2.8 Mechanische Festigkeitsuntersuchungen	41
3.2.9 Luftlekraten-Test	43
3.2.10 Einzelzell-Messungen	43
4 ERGEBNISSE UND DISKUSSION	44
4.1 Recyclingkonzept	44
4.1.1 Geschlossener Kreislauf	46
4.1.2 Offener Kreislauf	48

4.2 Lösungsversuche	48
4.2.1 Löslichkeitsstudie mit diversen Säuren	48
4.2.2 Modellbasierte Löslichkeitsstudie mit Salzsäure und Salpetersäure	54
4.2.3 Löslichkeit anderer Perowskite	61
4.2.4 Untersuchung an betriebenen Zellbruchstücken	63
4.2.5 Selektive LSCF- und LCC10-Extraktion an EoU-Zellbruchstücken	65
4.3 Teilrezyklierte Substrate und Zellen	66
4.3.1 Pulveraufbereitung	67
4.3.2 Schlickerherstellung und Foliengießen	70
4.3.3 Charakterisierung des Substrats	72
4.3.4 Untersuchung der Vollzellen	80
4.4 Rückgewinnung der ausgelaugten Bestandteile	82
4.4.1 pH-abhängige Oxalsäurefällung	82
4.4.2 Kalzinierung der rückgewonnenen Lanthanfracht	85
4.5 Prozessdaten	86
5 ZUSAMMENFASSUNG	88
6 AUSBLICK	90
6.1 Zukünftiges Recycling von Brenngaselektroden-gestützten Zellen	92
6.2 Recycling weiterer Festoxid-Zelltypen	93
TABELLENVERZEICHNIS	95
ABBILDUNGSVERZEICHNIS	96
LITERATURVERZEICHNIS	99
ANHANG	117
DANKSAGUNG	121

Energie & Umwelt / Energy & Environment  
Band / Volume 660  
ISBN 978-3-95806-816-2

Mitglied der Helmholtz-Gemeinschaft

