

Julian Zöschinger

Ressourcenkritikalität von Perowskit-Solarzellen

Ein bionischer und nachhaltiger
Technologieeinsatz?



Diplomica Verlag

Zöschinger, Julian: Ressourcenkritikalität von Perowskit-Solarzellen: Ein bionischer und nachhaltiger Technologieeinsatz? Hamburg, Diplomica Verlag GmbH 2015

Buch-ISBN: 978-3-95934-763-1

PDF-eBook-ISBN: 978-3-95934-263-6

Druck/Herstellung: Diplomica® Verlag GmbH, Hamburg, 2015

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek:

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

Das Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung außerhalb der Grenzen des Urheberrechtsgesetzes ist ohne Zustimmung des Verlages unzulässig und strafbar. Dies gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Bearbeitung in elektronischen Systemen.

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Werk berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, dass solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürften.

Die Informationen in diesem Werk wurden mit Sorgfalt erarbeitet. Dennoch können Fehler nicht vollständig ausgeschlossen werden und die Diplomica Verlag GmbH, die Autoren oder Übersetzer übernehmen keine juristische Verantwortung oder irgendeine Haftung für evtl. verbliebene fehlerhafte Angaben und deren Folgen.

Alle Rechte vorbehalten

© Diplomica Verlag GmbH

Hermannstal 119k, 22119 Hamburg

<http://www.diplomica-verlag.de>, Hamburg 2015

Printed in Germany

Abstract

Bedingt durch Turbulenzen an den weltweiten Rohstoffmärkten, durch die zunehmende Materialdiversifizierung und -abhängigkeit im Technologiesektor sowie durch den Bedeutungsgewinn von Rohstoffen als Produktionsfaktor gerieten ressourcenstrategische Analysen in den Fokus der akademischen Forschung. Vor dem aktuellen Hintergrund globaler demographischer, gesellschaftlicher und ökologischer Entwicklungen, welche die Tragfähigkeit der Erde strapazieren, sollten diese Kritikalitätsanalysen in den Kontext eines nachhaltigen Leitbildes gesetzt werden. Denn im Zeitalter des Anthropozän bedarf es einer differenzierten Auseinandersetzung mit der gesamten Wertschöpfungskette eines Produktes und seinen ökonomischen, ökologischen sowie sozialgesellschaftlichen Auswirkungen.

Die vorliegende Arbeit untersucht und bewertet die Zukunftstechnologie der Perowskit-Solarzelle hinsichtlich Risiken der Rohstoffversorgung sowie interdisziplinären Ressourcenaspekten. Die perowskitbasierte Energieerzeugung gilt konzeptionell als Paradebeispiel der Bionik und aufgrund ihrer einzigartigen Charakteristika als vielsprechende Photovoltaikinnovation. Derzeit befindet sie sich noch im Stadium der Forschung und Entwicklung; es ist allerdings in den nächsten Jahren mit einer Marktreife zu rechnen. Die hohe Aktualität des Themas spiegelt sich in der Vielzahl gegenwärtiger Publikationen wieder, in denen z.B. eine Substitution des kritischen Bleiinhaltes diskutiert wird. Im Rahmen dieser Abhandlung wurden drei technologiespezifische Fragestellungen untersucht. Bestehen beim Markteintritt potentielle Versorgungsengpässe oder Verfügbarkeitsrisiken bezüglich der enthaltenen Materialien? Welche positiven und negativen Auswirkungen sind bei einer Bleisubstitution durch Zinn zu erwarten? Wie ist das technologische Gesamtsystem der perowskitbasierten Photovoltaik hinsichtlich Nachhaltigkeitskriterien zu bewerten?

Zur Beantwortung dieser Forschungsfragen wurde sich des Instrumentes der Kritikalitätsanalyse bedient, weshalb eine intensive und kritische Auseinandersetzung mit bisherigen Studien zur Rohstoffversorgung und deren Vorgehensweise erfolgte. Dadurch stellten sich wissenschaftlich etablierte Ansätze und Bewertungsindikatoren heraus und konnten für die vorliegende Arbeit adaptiert werden. Im Rahmen der angewandten Methodik war außerdem eine umfassende Beschäftigung mit der Photovoltaik im Allgemeinen und der Perowskit-Solarzelle im Speziellen notwendig. Dies ermöglichte ein Verständnis bezüglich der Eigenheiten der Technologie sowie der Funktionalität und

Relevanz der eingesetzten Materialien. Im Zuge einer praktikablen Vorgehensweise wurden drei Rohstoffe selektiert, die sich als Spezifikum der Technologie auszeichnen. Anhand von Blei, Zinn und Iod wurde anschließend die ressourcenstrategische Analyse exemplarisch durchgeführt. Im Zuge dieser wurden die drei Rohstoffe bezüglich diverser technologierelevanter Indikatoren untersucht und hinsichtlich ihrer Kritikalität bewertet. Aufgrund technologischer Charakteristika und der Auswertung der Analyse kann hinsichtlich der drei bewerteten Materialien von einer geringen ökonomischen Relevanz ausgegangen werden. Diese Frage ist zwar rohstoffspezifisch zu beantworten, insgesamt sind jedoch keine ernsthaften Versorgungsrisiken oder Verfügbarkeitseinschränkungen zu erwarten. Hinsichtlich einer potentiellen Bleisubstitution sind neben offenkundigen positiven Effekten wie einer Reduzierung der Ökotoxizität durchaus kritische Aspekte mit dem Rohstoff Zinn verbunden. Diese zeigen zwar gewisse Risikopotentiale auf, sprechen aber in keinem Fall gegen eine Substitution. Eine Technologiebewertung im Kontext des nachhaltigen Leitbildes lässt sich mit dem derzeitigen Instrument der Kritikalitätsanalyse wissenschaftlich fundiert nicht durchführen. Dennoch zeigte die Auseinandersetzung mit der Technologie und die Bewertung der Rohstoffe, dass einige grundlegende Bedingungen für einen nachhaltigen Technologieeinsatz gegeben sind. Darüber hinaus wird deutlich, dass es für derartige Fragestellungen einer Weiterentwicklung dieses ressourcen-strategischen Instrumentes bedarf.

Inhaltsverzeichnis

Abstract.....	v
Abbildungsverzeichnis	x
Tabellenverzeichnis	xi
1 Ressourcenstrategie – Eine Hinführung zum Thema	13
1.1 Globaler Ressourcenverbrauch	13
1.2 Materialdiversifizierung	18
1.3 Sphäreninteraktion im Anthropozän	20
1.4 Die Energiezeitalter	24
1.5 Potentiale und Bedingungen technologischer Innovationen.....	26
2 Zielsetzung und Methodik.....	29
2.1 Zentrale Problem- und Fragestellungen	29
2.1.1 Rohstoffverfügbarkeit einer Perowskit-Solarzelle	29
2.1.2 Blei versus Zinn in der Perowskit-Solarzelle	30
2.1.3 Nachhaltiges Hochtechnologieprodukt.....	30
2.2 Methodik und Herangehensweise	32
2.2.1 Instrument der Kritikalitätsbewertung.....	32
2.2.2 Angewandte Methodik der nachfolgenden Analyse	35
3 Technologiebeschreibung	37
3.1 Übersicht der Photovoltaiktechnologien	37
3.1.1 Entwicklung der Photovoltaik	37
3.1.2 Waferzellen	39
3.1.3 Dünnschichtsolarzellen	40
3.1.4 Die dritte Generation der Photovoltaik-Technologie	41

3.2	Die Perowskit-Solarzelle.....	43
3.2.1	Aufbau und Funktion.....	43
3.2.2	Entwicklungen und Innovationen	46
3.2.3	Anwendungsmöglichkeiten und Zukunftsprognosen.....	49
3.2.4	Die Perowskit-Solarzelle im terrestrischen Gesamtsystem.....	51
4	Kritikalitätsanalyse.....	53
4.1	Annahmen und Schemata der Analyse	53
4.1.1	Auswahl der potentiell kritischen Materialien	53
4.1.2	Indikatorauswahl zur Kritikalitätsbewertung.....	55
4.1.3	Annahmen der Kritikalitätsanalyse.....	56
4.1.4	Bewertungsschema.....	57
4.2	Ökonomie	58
4.2.1	Geopolitische Marktkonzentration.....	58
4.2.2	Politische Stabilität.....	59
4.2.3	Reichweite.....	61
4.2.4	Preis- und Nachfrageentwicklung	62
4.2.5	Recyclingpotential	65
4.3	Ökologie.....	66
4.3.1	Material- und Energieeffizienz.....	66
4.3.2	Umweltstandards und Beeinträchtigung der Ökosysteme	67
4.3.3	Ökotoxizität	69
4.3.4	Treibhausgaspotential.....	71
4.4	Gesellschaft und Soziales	72
4.4.1	Soziale Standards.....	72
4.4.2	Gesellschaftliche Akzeptanz der Technologie	74
4.4.3	Partizipationsmöglichkeiten.....	75
4.4.4	Gesellschaftliche Entwicklungen.....	76
4.5	Kritikpunkte der Analyse.....	77

5	Auswertung und Beantwortung der Forschungsfragen	79
5.1	Forschungsfrage: Versorgungsrisiken	79
5.2	Forschungsfrage: Blei vs. Zinn	81
5.3	Forschungsfrage: Nachhaltige Technologie	83
6	Fazit und Ausblick	85
	Glossar.....	88
	Anhang.....	91
	Literaturverzeichnis	94

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Auswahl verschiedener Indikatoren des anthropogenen Handels im Zeitraum 1700 – 2000	16
Abbildung 2: Veränderung der Bevölkerung und des ökologischen Fußabdrucks nach Regionen (1961-2010)	17
Abbildung 3: Materialdiversifizierung im Rahmen der technologischen Entwicklung	19
Abbildung 4: Stoffwechsel der Technosphäre.....	21
Abbildung 5: Sphäreninteraktion umweltrelevanter Chemikalien.....	23
Abbildung 6: Mögliche Einteilung und Gliederung der Kondratieff-Zyklen	26
Abbildung 7: Anteile der global installierten PV-Leistung (Stand: 2013).....	38
Abbildung 8: Schematische Aufbau der Farbstoffzelle	42
Abbildung 9: Die ABX_3 -Struktur der Perowskite.....	44
Abbildung 10: Funktionsweise der Perowskit-Solarzelle.....	45
Abbildung 11: Steigerung des Wirkungsgrades der Perowskit-Solarzelle (2013) .	47
Abbildung 12: Perowskit-Solarzelle.....	49
Abbildung 13: Beispiel für gebäudeintegrierte Photovoltaiktechnologie	50
Abbildung 14: Bleipreis an der London Metal Exchange (2009-2014).....	63
Abbildung 15: Zinnpreis an der London Metal Exchange (2009-2014).....	64
Abbildung 16: Weltkarte des Child Labour Index (2014).....	73
Abbildung 18: Wechselwirkungen innerhalb des Versorgungsrisikos.....	78
Abbildung 19: Die Bewertung von Zinn und Blei innerhalb der Kritikalitätsanalyse	81

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Überblick über einige Kritikalitätsstudien und ihre Charakteristika.....	34
Tabelle 2: Rahmenbedingungen und Charakteristika der Analyse	56
Tabelle 3: Beispiel für die Kritikalitätsskala mit ihren Abstufungen	57
Tabelle 4: Kritikalitätsbewertung der geopolitischen Marktkonzentration	59
Tabelle 5: Kritikalitätsbewertung der politischen Stabilität	61
Tabelle 6: Kritikalitätsbewertung der Reichweite	62
Tabelle 7: Kritikalitätsbewertung der Preis- und Nachfrageentwicklung	65
Tabelle 8: Kritikalitätsbewertung des Recyclingpotentials	66
Tabelle 9: Kritikalitätsbewertung für Material- und Energieeffizienz	67
Tabelle 10: Kritikalitätsbewertung der Umweltstandards	69
Tabelle 11: Kritikalitätsbewertung für die Ökotoxizität	70
Tabelle 12: Kritikalitätsbewertung des Treibhausgases.....	71
Tabelle 13: Kritikalitätsbewertung der sozialen Standards	74
Tabelle 14: Kritikalitätsbewertung der gesellschaftlichen Akzeptanz.....	75
Tabelle 15: Ökonomisch relevante Indikatoren und ihre Bewertungen.....	79
Tabelle 16: Minenproduktion von Blei nach Ländern mit jeweiligen Marktanteilen und Indizes.....	91
Tabelle 17: Minenproduktion von Zinn nach Ländern mit jeweiligen Marktanteilen und Indizes.....	92
Tabelle 18: Produktion von Iod nach Ländern mit jeweiligen Marktanteilen und Indizes.....	93

