

**Julian Barthel**

Rohstoffverfügbarkeit. Beschaffungsseitige  
Risiken der Elektrifizierung des  
Antriebsstranges

**Masterarbeit**

# BEI GRIN MACHT SICH IHR WISSEN BEZAHLT



- Wir veröffentlichen Ihre Hausarbeit, Bachelor- und Masterarbeit
- Ihr eigenes eBook und Buch - weltweit in allen wichtigen Shops
- Verdienen Sie an jedem Verkauf

Jetzt bei [www.GRIN.com](http://www.GRIN.com) hochladen  
und kostenlos publizieren



### **Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek:**

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

Dieses Werk sowie alle darin enthaltenen einzelnen Beiträge und Abbildungen sind urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung, die nicht ausdrücklich vom Urheberrechtsschutz zugelassen ist, bedarf der vorherigen Zustimmung des Verlanges. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Bearbeitungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen, Auswertungen durch Datenbanken und für die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronische Systeme. Alle Rechte, auch die des auszugsweisen Nachdrucks, der fotomechanischen Wiedergabe (einschließlich Mikrokopie) sowie der Auswertung durch Datenbanken oder ähnliche Einrichtungen, vorbehalten.

### **Impressum:**

Copyright © 2017 GRIN Verlag  
ISBN: 9783668518841

### **Dieses Buch bei GRIN:**

<https://www.grin.com/document/372028>

**Julian Barthel**

# **Rohstoffverfügbarkeit. Beschaffungsseitige Risiken der Elektrifizierung des Antriebsstranges**

## **GRIN - Your knowledge has value**

Der GRIN Verlag publiziert seit 1998 wissenschaftliche Arbeiten von Studenten, Hochschullehrern und anderen Akademikern als eBook und gedrucktes Buch. Die Verlagswebsite [www.grin.com](http://www.grin.com) ist die ideale Plattform zur Veröffentlichung von Hausarbeiten, Abschlussarbeiten, wissenschaftlichen Aufsätzen, Dissertationen und Fachbüchern.

### **Besuchen Sie uns im Internet:**

<http://www.grin.com/>

<http://www.facebook.com/grincom>

[http://www.twitter.com/grin\\_com](http://www.twitter.com/grin_com)

Institut für Technische Betriebswirtschaft

Wirtschaftsingenieurwesen (M. Sc.)

Masterarbeit

---

Beschaffungsseitige Risiken der  
Elektrifizierung des Antriebsstranges am  
Beispiel der Rohstoffverfügbarkeit

---

Verfasst von: **Julian Niklas Barthel**

:

Fachsemesteranzahl: 4

Ort und Datum der Abgabe: Steinfurt, 29.03.2017

# Inhaltsverzeichnis

<b>Abbildungsverzeichnis</b>	<b>IV</b>
<b>Tabellenverzeichnis</b>	<b>V</b>
<b>Abkürzungsverzeichnis</b>	<b>VI</b>
<b>1 Einleitung</b>	<b>1</b>
1.1 Ausgangslage und Motivation	1
1.2 Zielsetzung	5
1.3 Aufbau der Arbeit	7
<b>2 Theoretische Grundlagen zur Elektromobilität</b>	<b>9</b>
2.1 Elektrifizierte Antriebskonzepte im Fokus der Arbeit	10
2.2 Schlüsseltechnologie Lithium-Ionen-Batterie	13
<b>3 Entwicklung der Messmethodik von Rohstoffkritikalität</b>	<b>17</b>
3.1 Fortschritt - Treiber der Rohstoffabhängigkeit	17
3.2 Konzeptionelle Ansätze zur Messung von Rohstoffkritikalität	19
3.2.1 Studie mit Kritikalitätsindex	21
3.2.2 Studie mit Kritikalitätsmatrix	22
3.2.3 Studie mit Berechnung des zukünftigen Angebots und Bedarfs	27
3.3 Operationalisierung der Messmethodik von Rohstoffkritikalität	30
<b>4 Analyse der Kritikalität von Lithium</b>	<b>33</b>
4.1 Einführung	33
4.2 Analyse der geologischen Verfügbarkeit	34
4.2.1 Bestimmung des Lithium-Angebots	34
4.2.2 Bestimmung des Lithium-Bedarfs mit G.8	41
4.2.3 Synthese der Angebots- und Bedarfsentwicklung	45
4.3 Analyse der sozioökonomischen Verfügbarkeit	55
4.3.1 Länderkonzentration	55
4.3.2 Unternehmenskonzentration	56
4.3.3 Politische Stabilität in den Förderländern	57
4.3.4 Recycling	58
4.3.5 Substituierbarkeit	60
<b>5 Zusammenfassung und Ausblick</b>	<b>62</b>
<b>6 Literaturverzeichnis</b>	<b>70</b>
<b>7 Internetverzeichnis</b>	<b>82</b>

---

<b>Anhänge</b>	<b>88</b>
Anhang 1 – historische Entwicklung des Rohölpreises in US-\$	88
Anhang 2 – Prognosedaten zum Produktionsvolumen und Bedarf der Deutschen Bank 2013-2025	89
Anhang 3 – Prognosedaten zum Produktionsvolumen und Bedarf der Stormcrow Capital Ltd. 2015-2025	90
Anhang 4 – Prognosedaten Dakota Minerals Ltd. 2015-2025	91
Anhang 5 – Berechnung der CAGR für den Verwendungsbereich Batterien mit Daten der Deutschen Bank	92
Anhang 6 – Berechnung des Lithiumkarbonat-Bedarfs der ausgewählten Szenarien im Vergleich zum LCE-Produktionsvolumen bis 2025	93
Anhang 7 – Berechnung des Lithiumkarbonat-Bedarfs verschiedener Verbreitungsszenarien der Elektromobilität bis 2050	97
Anhang 8 – Historische Daten zum Lithium-Produktionsvolumen 1996-2015, USGS 100	

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Risiken im Unternehmensumfeld bei technologischem Wandel	3
Abbildung 2: Zielstruktur der Arbeit	6
Abbildung 3: Aufbau der Arbeit	8
Abbildung 4: Bestandsentwicklung an Elektrofahrzeugen 2012 - 2016	9
Abbildung 5: Einordnung des Range Extender-Konzepts	12
Abbildung 6: Aufbau eines Lithium-Ionen-Batteriepacks	14
Abbildung 7: Aufbau einer Lithium-Ionen-Batteriezelle	15
Abbildung 8: Materialeinsatz der Antriebskonzepte im Vergleich	18
Abbildung 9: Anzahl nachgefragter Rohstoffe in den letzten Jahrhunderten	19
Abbildung 10: Bewertungsschema der vbw-Studie	22
Abbildung 11: Resultat der EU-Studie	23
Abbildung 12: Berechnung der wirtschaftlichen Bedeutung eines Rohstoffs	24
Abbildung 13: Struktureller Aufbau der Kritikalitätsanalyse Lithiums	32
Abbildung 14: Verteilung der weltweiten Reserven auf Länder	35
Abbildung 15: Verteilung der weltweiten Ressourcen auf Länder	35
Abbildung 16: Weltweites Lithium-Produktionsvolumen in LCE [t]	37
Abbildung 17: Marktanteile führender Lithiumproduzenten im Jahr 2014	38
Abbildung 18: Zunahme des Produktionsvolumens 2015 - 2018	40
Abbildung 19: Entwicklung des Produktionsvolumens 1996 - 2025	41
Abbildung 20: Verwendungsbereiche des Lithiums 2008 vs. 2015	42
Abbildung 21: Bedarf im Vergleich zum Produktionsvolumen 2015-2025	45
Abbildung 22: Aktueller und zukünftiger LCE-Bedarf durch Elektrofahrzeuge	48
Abbildung 23: Wachstumsrate des Elektroauto-Absatzes bis 2025	49
Abbildung 24: Bedarfsszenarien gegenüber Produktionsvolumen-Prognosen	51
Abbildung 25: Fahrzeugbestandsszenarien gegenüber Reserven/Ressourcen	54
Abbildung 26: Anteil des recycelten Lithiums gegenüber dem CTI-Szenario	67
Abbildung 27: Entwicklung des Rohölpreises	88
Abbildung 28: Produktionsvolumen und Bedarf 2015-2025, Deutsche Bank	89
Abbildung 29: Lithium-Produktionsv. 2015-2025, Stormcrow Capital Ltd.	90
Abbildung 30: Lithium-Bedarf 2015-2025, Stormcrow Capital Ltd.	90
Abbildung 31: Lithium-Verwendungsbereiche 2015-2025, Dakota Minerals	91

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Berechnung der wirtschaftlichen Bedeutung Niobiums für die EU	24
Tabelle 2: Berechnung der gewichteten Substitutionsvariable $\sigma_i$ für Niobium	26
Tabelle 3: Berechnung des HHI-Indikators für Niobium	26
Tabelle 4: Veränderung des spezifischen Rohstoffbedarfs $q_i$	29
Tabelle 5: Bedarfsprognose für Lithium mithilfe von G.4	44
Tabelle 6: Länderkonzentration der Lithiumproduktion	55
Tabelle 7: Länderkonzentration der Lithium-Reserven	56
Tabelle 8: Unternehmenskonzentration der Lithiumproduktion	57
Tabelle 9: Politische Stabilität in den Förderländern des Lithiummarktes	58
Tabelle 10: Substitutionschancen von Lithium	61
Tabelle 11: Lithium-Bedarf 2015-2025 mit 8% CAGR	91
Tabelle 12: LCE-Bedarf für das Szenario „EVI 2020“ der EVI	93
Tabelle 13: LCE-Bedarf für das Ziel der Pariser Klimakonferenz	94
Tabelle 14: LCE-Bedarf für das Verbreitungsszenario von BP	95
Tabelle 15: LCE-Bedarf für die Absatzprognosen von Roland Berger	96
Tabelle 16: LCE-Bedarf für das IEA 2DS-Szenario	97
Tabelle 17: LCE-Bedarf für das „Strong EV“-Szenario der CTI	98
Tabelle 18: LCE-Bedarf für die EV City Casebook-Studie	99
Tabelle 19: Produktionsvolumen 1996-2015	100

## Abkürzungsverzeichnis

BEV	=	Battery electric vehicle
BGR	=	Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe
CAGR	=	Compound annual growth rate
CTI	=	Carbon Tracker Initiative
EPI	=	Environmental Performance Index
EVI	=	Electric Vehicles Initiative
HHI	=	Herfindahl-Hirschmann-Index
IEA	=	International Energy Agency
ISI	=	Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung
IZT	=	Institut für Zukunftsforschung
LCE	=	Lithium carbonate equivalent
Ltd	=	Limited
PHEV	=	Plug-in hybrid electric vehicle
REX	=	Range-Extender
RMI	=	Rocky Mountains Institute
RWI	=	Rheinisch-Westfälisches Institut für Wirtschaftsforschung
USGS	=	United States Geological Survey
VBW	=	Vereinigung der bayerischen Wirtschaft e.V.
WGI	=	World Governance Indicators

# 1 Einleitung

## 1.1 Ausgangslage und Motivation

„Mobilität soll den Menschen nutzen und sie begeistern. Von daher muss sie immer auch den Zeitgeist reflektieren und die Welt, in der wir morgen leben wollen.“<sup>1</sup>

*(Dr. Norbert Reithofer, Vorstandsvorsitzender von BMW, IAA Pressekonferenz 2011)*

Die Automobilindustrie befindet sich inmitten einer weltweit geführten Debatte zur Mobilität. Insbesondere das Thema Elektromobilität befindet sich im Zentrum politischer als auch wirtschaftlich-technischer Diskussionen. Aktuell wird der Zeitgeist gemäß Dr. Norbert Reithofer durch einen tiefgreifenden, technologischen Wandel reflektiert, der sich in verstärkten Forschungsaktivitäten seitens unterschiedlichster Instanzen bemerkbar macht.<sup>2</sup>

Der derzeitige Vorstandsvorsitzende der Daimler AG Dr. Dieter Zetsche vergleicht die aktuelle Situation der Automobilindustrie mit ihrer Entstehungsphase Ende des 19. Jahrhunderts<sup>3</sup>, in der verschiedene Antriebskonzepte miteinander konkurrierten und eine Entwicklung schwer prognostizierbar war.<sup>4</sup> Letztendlich setzte sich der Verbrennungsmotor aufgrund bedeutender technischer Fortschritte und billigem Öl gegen die Elektromotoren und Dampfmaschinen durch. Insbesondere die stark limitierte Reichweite und Geschwindigkeit als auch die kälteempfindliche, erschütterungsanfällige Batterie der Elektroautos erwiesen sich als schwerwiegende Nachteile gegenüber den Automobilen mit Verbrennungsmotor.<sup>5</sup>

Energie- und klimapolitischer Ziele geschuldet ist Elektromobilität mittlerweile mehr als nur ein zukünftiges Nischenkonzept. Das Wirtschaftswachstum in den Schwellenländern, insbesondere den BRICS-Staaten, sorgt weltweit für einen erhöhten Bedarf an Energieträgern und Erdöl.<sup>6</sup> Obgleich sich der Rohölpreis aktuell auf einem vergleichsweise niedrigen Niveau befindet<sup>7</sup>, rechnen viele Experten langfristig mit einem Anstieg der Rohölpreise. Neben der unsicheren Ressourcen-

---

<sup>1</sup> BMW 2011, S.1

<sup>2</sup> Vgl. Kampker; Vallée; Schnettler 2013, S. 1

<sup>3</sup> <http://www.spiegel.de/auto/aktuell/dieter-zetsche-im-interview-a-838097.html> (11.06.2012)

<sup>4</sup> Vgl. Schäfer; von Essen 2015, S. 1080

<sup>5</sup> Vgl. Kampker et al. 2013, S.8

<sup>6</sup> Vgl. Bertram; Bongard 2014, S. 1

<sup>7</sup> Siehe Anhang 1