



René Alexander Staikowski (Autor)

## **Risiken der Transformation zur Elektromobilität in der Unternehmensberichterstattung**

*Kritikalitätsbewertung der eingesetzten Rohstoffe und empirische Untersuchung der Berichterstattungspraxis der deutschen Automobilindustrie*



<https://cuvillier.de/de/shop/publications/8461>

Copyright:

Cuvillier Verlag, Inhaberin Annette Jentsch-Cuvillier, Nonnenstieg 8, 37075 Göttingen, Germany  
Telefon: +49 (0)551 54724-0, E-Mail: [info@cuvillier.de](mailto:info@cuvillier.de), Website: <https://cuvillier.de>

# 1 Einleitung

*„It is not the most intellectual of the species that survives; it is not the strongest that survives; but the species that survives is the one that is able best to adapt and adjust to the changing environment in which it finds itself.“<sup>1</sup>*

Die Bedeutung der Adaptionsfähigkeit an sich verändernde Rahmenbedingungen zeigt sich derzeit im Transformationsprozess von konventionellen Verbrennungsmotoren hin zur Elektromobilität, der deutsche Automobilhersteller und –zulieferer vor neue Herausforderungen stellt. Diese werden einleitend in der Problemstellung umrissen (Kapitel 1.1). Aufbauend darauf wird die für die vorliegende Untersuchung geltende Zielstellung herausgearbeitet und die Forschungsleitfragen werden vorgestellt (Kapitel 1.2). Deren Beantwortung erfolgt durch die Anwendung von ausgewählten theoretischen und methodischen Grundkonzepten, die in Kapitel 1.3 erläutert werden. Das einleitende Kapitel schließt mit einer Übersicht über den Gang der Untersuchung (Kapitel 1.4).

## 1.1 Problemstellung und Forschungskontext

Der Klimawandel, die Urbanisierung und die Abhängigkeit von Öl stellen die Menschheit vor große Herausforderungen. **Diese als Megatrend** zu bezeichnenden Entwicklungen und sich verändernde Kundenansprüche **werden die Mobilität der Zukunft nachhaltig verändern.**<sup>2</sup>

Der **weltweite Personenkraftfahrzeugbestand** könnte laut *British Petroleum p.l.c.* (2017) von ca. 950 Millionen<sup>3</sup> im Jahr 2015 auf bis zu 1,8 Milliarden<sup>4</sup> Fahrzeuge im Jahr 2035 anwachsen. Weltweit betrachtet verursacht der Straßenverkehr im Jahr 2017 ca. 18 % der CO<sub>2</sub>-Emissionen, die durch die Verbrennung von fossilen Energieträgern entstehen.<sup>5</sup> Bedingt durch die prognostizierte Zunahme des weltweiten Fahrzeugbestands ist somit (ceteris paribus) davon auszugehen, dass die weltweiten CO<sub>2</sub>-Emissionen weiter ansteigen und zu einer Beschleunigung des Klimawandels beitragen.

---

<sup>1</sup> Megginson (1963), S. 4.

<sup>2</sup> Vgl. Kleine-Möllhoff et al. (2012), S. 1.

<sup>3</sup> Vgl. Organisation Internationale des Constructeurs d'Automobiles (2016), S. 1–2.

<sup>4</sup> Vgl. British Petroleum p.l.c. (2017), S. 47.

<sup>5</sup> Vgl. International Energy Agency (2019), S. 117.

Im Zusammenspiel mit einem stetigen **Wachstum der Weltbevölkerung** und einer gleichzeitig **fortschreitenden Urbanisierung** werden vor allem Großstädte vor verkehrsbedingte Herausforderungen gestellt. Die Vereinten Nationen (UN) gehen in ihrem „*World Population Prospects*“ Bericht von 2017 davon aus, dass die Weltbevölkerung von 7,55 Mrd. (2017) auf 9,77 Mrd. (2050) wachsen wird.<sup>6</sup> Der stetige Zuzug in urbane Landschaften wird zudem in Zukunft anhalten und die Lebensräume in der Stadt verengen. Im Jahr 1950 lebten laut den UN 70 % der Bevölkerung in ländlichen Regionen. Diese Verteilung wird sich bis zum Jahr 2050 deutlich verschieben. Die UN gibt hierzu im „*World Urbanization Prospects*“ Bericht von 2014 an, dass im Jahr 2050 ca. 34 % der Bevölkerung in ländlichen und 66 % der Bevölkerung in städtischen Regionen leben werden.<sup>7</sup> Infolgedessen wird die Anzahl der Megacities (Städte mit über zehn Millionen Einwohnern)<sup>8</sup> zunehmen. Im Jahr 2018 gab es laut den UN rund 33 Megacities, bis zum Jahr 2030 rechnen die UN mit einem Anstieg auf 43 Megacities.<sup>9</sup>

Insbesondere für Städte wird es, aufgrund der Zunahme der Einwohner und der damit verbundenen Zunahme der Fahrzeuge, immer schwerer, den Bedürfnissen der Einwohner nach sauberer Luft und individueller Mobilität gerecht zu werden.<sup>10</sup>

Ein weiterer Aspekt, der die Mobilität der Zukunft beeinflussen wird, ist die **Abhängigkeit von Öl**. Die weltweiten Ölreserven werden laut der Studie *Energy Outlook* von *British Petroleum p.l.c.* bis zum Jahr 2050 und womöglich darüber hinaus ausreichen, um die Menschheit mit Öl zu versorgen,<sup>11</sup> allerdings wird durch die Verbrennung von Öl, bei der Schadstoffe emittiert werden, der Klimawandel beschleunigt und die Luftqualität verschlechtert.<sup>12</sup> Hinzukommt, dass vor allem die Industrienationen in eine zunehmende Abhängigkeit von den OPEC-Staaten geraten.<sup>13</sup> Vor dem Hintergrund der eingeschränkten Verfügbarkeit und zunehmenden Abhängigkeit sind diese bestrebt, ihren Ölverbrauch zu vermindern.<sup>14</sup> Zusammenfassend liegt der politische Fokus staatlicher und nicht-staatlicher Akteure und Regime darauf, durch strengere Abgasgrenzwerte den Benzin- und Dieserverbrauch

---

<sup>6</sup> Vgl. United Nations (2017), S. 1.

<sup>7</sup> Vgl. United Nations (2015), S. 7.

<sup>8</sup> Vgl. ebd., S. 90.

<sup>9</sup> Vgl. United Nations (2018), S. 2.

<sup>10</sup> Vgl. Helmers (2015), S. 121.

<sup>11</sup> Vgl. British Petroleum p.l.c. (2017), S. 51.

<sup>12</sup> Vgl. Neugebauer (2017), S. 11.

<sup>13</sup> Vgl. Difiglio (2014), S. 53–56.

<sup>14</sup> Vgl. Wallentowitz/Freialdenhoven (2011), S. 34.

zu senken, um dem Klimawandel entgegenzuwirken, die Luftqualität zu verbessern und den Ölbedarf zu verringern.

**Weltweit** wurden deshalb **strengere Emissionsgrenzen** für Fahrzeuge mit Verbrennungsmotoren beschlossen.<sup>15</sup> Für die Automobilindustrie sind vor allem die Vorschriften, die für die größten Absatzregionen gelten, von großer Bedeutung. Die größten Absatzmärkte sind die **Europäische Union (EU)** und die **Volksrepublik China (VRC)**.<sup>16</sup> Im Jahr 2019 wurden in der EU (EU-28 + EFTA) 15.819.949 Personenkraftwagen (Pkw) abgesetzt. Dieser Wert wird vom chinesischen Absatzmarkt mit 21.444.180 Einheiten übertroffen.<sup>17</sup> In Relation zum weltweiten Gesamtumsatz von 64.314.693 Pkw entfallen auf beide Absatzmärkte **zusammen ca. 58 % des Gesamtvolumens**.<sup>18</sup>

In der EU wurden bereits strengere Emissionsgesetze für Pkw erlassen. Ab dem Jahr 2020 liegt der Grenzwert für den CO<sub>2</sub>-Ausstoß von Pkw bei 95 g/CO<sub>2</sub> pro km (EU 333/2014).<sup>19</sup> Der Grenzwert für 2030 wurde durch den Erlass der EU Verordnung Nr. 2019/631 nochmals um 37,5 % gegenüber dem Grenzwert des Jahres 2021 gesenkt.<sup>20</sup> Dies entspricht insgesamt mehr als einer Halbierung des maximal zulässigen Ausstoßes des Jahres 2015 (EG 443/2009).<sup>21</sup> Die aufgezeigten Verschärfungen der Grenzwerte verdeutlichen die ambitionierte Zielsetzung zur Reduzierung der verkehrsbedingten CO<sub>2</sub>-Emissionen in der EU. Neben der EU verschärft auch die VRC mit dem *National Standard GB 19578-2014*, welcher eine Absenkung des maximal zulässigen Kraftstoffverbrauchs in fünf Phasen vorsieht, die Emissionsgrenzwerte.<sup>22</sup> Bis 2020 liegt der Grenzwert für den Durchschnittsverbrauch in der vierten Phase bei 5 Litern Kraftstoff und ab 2025 in der fünften Phase bei 4 Litern Kraftstoff auf 100 km.<sup>23</sup> Zusätzlich werden jene Autohersteller, welche jährlich mehr als 30.000 Pkw in der VRC absetzen, durch die New-Energy-Vehicles-Quote

---

<sup>15</sup> Neben der EU und der VRC hat auch Kalifornien strengere Emissionsgesetze erlassen. Siehe hierzu Assembly Bill No. 32 (2006). Die Emissionsgrenzwerte für Pkw von 2015 bis 2025 wurden in der LEV III Regulation §§1961.2 und 1961.3 verankert. Siehe Title 13, CCR (2012).

<sup>16</sup> Vgl. Organisation Internationale des Constructeurs d'Automobiles (2020a), S. 1–2; Verband der Automobilindustrie e. V. (2020), S. 4.

<sup>17</sup> Vgl. Organisation Internationale des Constructeurs d'Automobiles (2020a), S. 1–2.

<sup>18</sup> Vgl. ebd.

<sup>19</sup> Vgl. EU Nr. 333/2014 (2014), S. 4.

<sup>20</sup> Vgl. EU Nr. 2019/631 (2019), S. 9.

<sup>21</sup> Vgl. EG Nr. 443/2009 (2009), S. 2.

<sup>22</sup> Vgl. Li et al. (2017), S. 343–345.

<sup>23</sup> Vgl. Yang/Cui (2019), S. 1; Zhou/Yang (2018), S. 4.

dazu verpflichtet, Absatzquoten für elektrifizierte Pkw zu erfüllen.<sup>24</sup> Die Vorgaben zum Absatz von elektrifizierten Pkw steigen von 2019 (10 %) bis 2023 (18 %) um jährlich zwei Prozentpunkte.<sup>25</sup>

Die deutsche **Automobilindustrie** ist, aufgrund der Abhängigkeit von den Absatzvolumina der beiden Märkte, den gezeigten Gesetzesverschärfungen direkt unterworfen und deshalb **zum Wandel angehalten**. Zur Einhaltung der gesetzlichen Vorgaben und zur Reduktion der Treibhausgase sowie zur Verbesserung der Luftqualität wird die **Elektrifizierung des Antriebsstrangs** in der Fachliteratur als eine zielführende Alternative zum Verbrennungsmotor angesehen.<sup>26</sup>

In der deutschen Automobilindustrie findet deshalb ein Umdenken statt.<sup>27</sup> Zur Förderung der alternativen Antriebe plante die Automobilindustrie Investitionen in Höhe von 40 Mrd. € bis zum Jahr 2020.<sup>28</sup> Unter anderem diese Forschungsinvestitionen führen dazu, dass im Zeitraum von 2010 bis 2015 weltweit rund jedes dritte Patent für Elektrofahrzeuge (34 %) und Hybridfahrzeuge (32 %) von deutschen Unternehmen angemeldet wurde.<sup>29</sup> Koers (2014) unterstreicht die Bedeutung der Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten für die deutschen Automobilhersteller. So sieht Koers in diesen Aktivitäten den Schlüssel für den langfristigen Erfolg der Automobilhersteller.<sup>30</sup> Neben den Investitionsbestrebungen der Hersteller fördern auch Regierungen den Absatz von Elektrofahrzeugen. Hierzu haben beispielsweise die Staaten Frankreich, Großbritannien, Schweden, Kalifornien, Japan und China umfassende Subventionsprogramme für den Kauf von elektrifizierten Pkw aufgelegt.<sup>31</sup>

Mit dem bevorstehenden **disruptiven Wandel des Antriebskonzepts hin zur Elektromobilität** geht eine signifikante Veränderung der Materialzusammenset-

---

<sup>24</sup> Je nach Reichweite und weiteren Parametern können für den Absatz eines elektrifizierten Fahrzeugs mehrere Punkte gesammelt werden. Die Summe der gesammelten Punkte muss mindestens den geforderten prozentualen Absatzanteilen entsprechen. Weiterführende Informationen zur Berechnungssystematik in Zhao et al. (2019), S. 278–280.

<sup>25</sup> Vgl. Huglisch et al. (2019), S. 41.

<sup>26</sup> Vgl. Angerer et al. (2009), S. 5; Döring (2012), S. 563; Hacker et al. (2011), S. 122; Hanselka/Jöckel (2010), S. 22; Sandau/Wiegmann (2013), S. 514; Schramm/Koppers (2013), S. 50–54; Seeberger (2016), S. 22–23; Strathmann (2019), S. 23–24.

<sup>27</sup> Vgl. Bayerische Motoren Werke AG (2017), S. 17; Daimler AG (2017), S. 20; Volkswagen AG (2017), S. 9.

<sup>28</sup> Vgl. Verband der Automobilindustrie e. V. (2017b), S. 3.

<sup>29</sup> Vgl. Falck et al. (2017), S. 49–52.

<sup>30</sup> Vgl. Koers (2014), S. 179.

<sup>31</sup> Vgl. Mock/Yang (2014), S. 7–9.

zung der Fahrzeuge einher. So kommt es laut Helmers (2015) dazu, dass Elektroautos zwar wesentlich weniger Komponenten beinhalten, aber trotzdem deutlich schwerer als konventionell angetriebene Fahrzeuge sind.<sup>32</sup> Neue Komponenten, wie zum Beispiel der Elektromotor, die Leistungselektronik und die Traktionsbatterie, werden Einzug in die Fahrzeugarchitektur halten.<sup>33</sup> Aus der veränderten Materialzusammensetzung des Gesamtfahrzeugs ergeben sich neue latente Risiken für die Hersteller. Buchert et al. (2011) stellen hierzu fest, dass eine flächendeckende „(...) Marktdurchdringung der Elektromobilität (...) ohne Zweifel auch erhebliche Konsequenzen auf den Ressourcenbedarf wichtiger und zum Teil kritische Metalle (...)“<sup>34</sup> haben wird. Altfeld et al. (2014) sehen hierdurch immense **Risiken des technologischen Wandels** auf die Hersteller zukommen<sup>35</sup> und Döring (2012) stellt fest, dass der mittel- bis langfristige Durchbruch der Elektromobilität sowohl von der technischen Entwicklung als auch von den Preisen der eingesetzten Rohstoffe abhängt.<sup>36</sup> Somit wird deutlich, dass der disruptive Wandel der Antriebstechnologie auf der einen Seite dazu beitragen kann, globale Probleme (z. B. den Klimawandel) abzuschwächen, auf der anderen Seite aber auch **zu neuen Abhängigkeiten von einzelnen Rohstoffen führt**.<sup>37</sup>

Von diesen Problemen sind die deutschen Automobilhersteller maßgeblich betroffen. Durch die Preisvolatilität und Versorgungsunsicherheit der zur Elektrifizierung des Antriebsstrangs eingesetzten Rohstoffe entstehen für die Hersteller latente Risiken. So sah Hackenberg bereits 2012, in seiner damaligen Funktion als Mitglied des Markenvorstands der Volkswagen AG (Geschäftsbereich Forschung und Entwicklung), vor allem die Elemente der Seltenen Erden, Ordnungszahlen 21 und 39 sowie 57 bis 71 im Periodensystem, als kritisch an.<sup>38</sup> Diese Einschätzung teilt Scheiter, als damaliger Leiter des globalen Technologiefelds Materialsubstitution und Recycling bei Siemens Corporate Technology. Laut Scheiter droht bei den seltenen Erden ein Rohstoffproblem.<sup>39</sup> Schwedes (2013) untermauert die Aussagen von Hackenberg und Scheiter. Laut Schwedes kann es dazu kommen, dass durch die Innovation Elektroauto alte Ressourcenabhängigkeiten (v. a. von Öl) durch

---

<sup>32</sup> Vgl. Helmers (2015), S. 123.

<sup>33</sup> Vgl. Buchert et al. (2011), S. 25.

<sup>34</sup> ebd., S. 1.

<sup>35</sup> Vgl. Altfeld et al. (2014), S. 10.

<sup>36</sup> Vgl. Döring (2012), S. 563.

<sup>37</sup> Vgl. Berking et al. (2012), S. 32–33; Bethge et al. (2014), S. 7.

<sup>38</sup> Vgl. Grühsem/Thul (2012), S. 2.

<sup>39</sup> Vgl. Frobörse (2011), S. 100.

neue Ressourcenabhängigkeiten (v. a. von Seltenen Erden und Lithium) ersetzt werden.<sup>40</sup> Das Institut für Zukunftsstudien und Technologiebewertung schätzt die Kritikalität der Seltenen Erden Elemente als hoch ein und validiert dadurch die Aussagen von Hackenberg, Scheiter und Schwedes.<sup>41</sup>

**Politisch** wurden sowohl auf der Ebene der EU als auch auf internationaler Ebene die **rohstoffbedingten Risiken erkannt**. Im Rahmen des G7-Gipfels, der vom 07. bis 08.06.2015 auf Schloss Elmau stattfand, wurde aufgrund der ressourcenbedingten Risiken für produzierende Unternehmen eine G7-Allianz für Ressourceneffizienz gegründet. Diese Allianz besteht auf freiwilliger Basis und hat das Ziel, den Austausch darüber zu fördern, wie die Herausforderungen der Ressourceneffizienz angegangen werden können.<sup>42</sup> In der Bundesrepublik Deutschland (BRD) wurde 2010 ein Konsens zwischen der Bundesregierung und der Wirtschaft darüber erreicht, dass die Sicherstellung der Rohstoffversorgung grundsätzlich die Aufgabe der betroffenen Wirtschaftsunternehmen ist.<sup>43</sup> In der weiterentwickelten Fassung der Rohstoffstrategie aus dem Jahr 2019 wird dieser Grundsatz bekräftigt.<sup>44</sup> Die Bundesregierung wird die Unternehmen dennoch durch staatliche Aktivitäten auf Bundesebene bei der Rohstoffsicherung unterstützen.<sup>45</sup>

Als Reaktion auf die Rohstoffsituation haben laut der Studie *The rare earth challenge* der Roland Berger GmbH (2012) 50 % der befragten Unternehmen im Jahr 2012 eine **Task Force zur Rohstoffsicherung** eingerichtet. In 60 % der Unternehmen, die Seltene Erden in der Produktion verwenden, ist zudem das **Topmanagement für die Rohstoffversorgung** verantwortlich. Im Rahmen der Studie wurden 60 Unternehmen, die Seltene Erden für ihre Produktion benötigen, befragt.<sup>46</sup>

Die Ausführungen zeigen, dass durch die globalen Megatrends die Elektromobilität an Bedeutung gewonnen hat. Die **Elektrifizierung des Antriebsstrangs trägt zur Entlastung der Umwelt bei** und bietet den Herstellern die Chance, die gesetzlichen Emissionsvorgaben einzuhalten. Darüber hinaus kann die Abhängigkeit von Öl verringert werden. Demgegenüber **drohen neue ressourcenbedingte Abhängigkei-**

---

<sup>40</sup> Vgl. Schwedes (2013), S. 70.

<sup>41</sup> Vgl. Erdmann et al. (2011), S. 43–44.

<sup>42</sup> Vgl. Schmidt et al. (2017), S. 11.

<sup>43</sup> Vgl. Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (2010), S. 8.

<sup>44</sup> Vgl. Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (2019), S. 19.

<sup>45</sup> Vgl. Schmidt et al. (2017), S. 8.

<sup>46</sup> Vgl. Roland Berger GmbH (2012), S. 15–16.

ten, aus denen Risiken vor allem für die Automobilhersteller entstehen. Auf internationaler, nationaler und Unternehmensebene wurden als Reaktion auf die latenten Risiken bereits Maßnahmen zur Verminderung des Rohstoffrisikos eingeleitet.

## 1.2 Zielsetzung, Forschungsleitfragen und Forschungsstand

**Ziel dieser Dissertation** ist Analyse der Berichterstattungspraxis ausgewählter Akteure der deutschen Automobilindustrie über elektromobilitätsbedingte Rohstoffrisiken und deren Risikomanagement.

Zur sukzessiven Erreichung des **Hauptziels** der Arbeit werden folgende **drei Fragestellungen** untersucht:

- Welche Rohstoffe könnten die Transformation der deutschen Automobilindustrie zur Elektromobilität gefährden?
- Wie ist das Risikomanagement zur Begegnung der Risiken in der Automobilindustrie laut der Berichterstattung im Risikobericht aufgebaut?
- In welchem Ausmaß (Häufigkeit) wird über elektromobilitätsbedingte Risiken berichtet?

Der **Forschungsstand**, in welchen sich diese Studie einfügt, befindet sich aufgrund der Interdisziplinarität des Forschungsgebiets **in einer fragmentalen Phase**. Die Komplexität der Forschungsfrage ergibt sich vor allem aus der Vermischung von technischen und betriebswirtschaftlichen Aspekten. Beide Themengebiete gehören zu den **Realwissenschaften**, deren Ziel es ist, Erklärungen für beobachtbare Phänomene zu liefern und Implikationen zur Verbesserung des praktischen Handelns abzuleiten.<sup>47</sup>

Aufgrund der beschriebenen Komplexität der Forschungsfragen konnte in der Fachliteratur keine Studie identifiziert werden, in der die elektromobilitätsbedingten Rohstoffrisiken evaluiert und deren Risikomanagement sowie die Berichterstattung der Risiken untersucht wurde. Da zur **Gesamtheit der Forschungsfragen kein fundierter Forschungsstand** vorliegt, werden die oben aufgezeigten Forschungsfragen **in drei separaten Untersuchungsschritten behandelt**. Dieses Vorgehen

---

<sup>47</sup> Vgl. Helfrich (2016), S. 7; Kuß (2013), S. 55; Pritsch (2000), S. 34–35.



bietet den Vorteil, dass bei der Bearbeitung der drei Leitfragen, anhand der erhobenen empirischen Daten, stets eine Orientierung am vorliegenden Forschungsstand ermöglicht wird.

Durch die Zusammenführung der gewonnenen Erkenntnisse werden abschließend die Handlungsempfehlungen zur Begegnung der elektromobilitätsbedingten Rohstoffrisiken, zur Berichterstattung über das Risikomanagement und über elektromobilitätsbedingte Risiken erarbeitet. Hierdurch soll eine strukturierte Beantwortung der Forschungsfragen und somit eine adäquate Schließung der definierten Forschungslücke gewährleistet werden. Der zu den drei Leitfragen identifizierte Stand der Forschung wird im Folgenden skizziert.

Zur Identifikation und **Konstruktion des Forschungsstands** können grundsätzlich zwei konkurrierende **Review Ansätze** zur Auswertung der einschlägigen Fachliteratur genutzt werden.<sup>48</sup> Der strukturierte Review und der narrative Review. Der strukturierte Ansatz eignet sich für fokussierte Forschungsfragen, zu denen eine breite Literaturbasis vorliegt.<sup>49</sup> Der Ansatz ist durch den engen Fokus jedoch nicht dazu geeignet, offene und wenig erforschte Thematiken zu erschließen.<sup>50</sup> Rückblickend wird der **Ansatz des narrativen Reviews**<sup>51</sup> zur Erhebung des Forschungsstands zu den vorliegenden drei Teilfragen gewählt.<sup>52</sup>

Das **erste Teilziel** der Dissertation ist die Identifikation und Bewertung der rohstoffbedingten Risiken für die deutsche Automobilindustrie. Im Rahmen der Risikoidentifikation werden **die Rohstoffe, die in den Schlüsselkomponenten von Elektrofahrzeugen eingesetzt werden, hinsichtlich ihrer Kritikalität untersucht und bewertet**. Die Bewertung der Kritikalität der Rohstoffe und das daraus resultierende Risikobild stellt die **Grundlage des Dissertationsvorhabens** dar und begründet die Notwendigkeit der Untersuchung des Risikomanagements und externe Berichterstattung der Risiken durch ausgewählte Akteure der deutschen Automobilindustrie. Hieraus lässt sich die **erste Forschungsleitfrage** wie folgt konkretisieren:

---

<sup>48</sup> Vgl. Faggion et al. (2017), S. 177–178; Greenhalgh et al. (2018), S. 1–2.

<sup>49</sup> Vgl. Hochrein et al. (2014), S. 5.

<sup>50</sup> Vgl. Collins/Fauser (2005), S. 103–104.

<sup>51</sup> Der narrative Review wird auch als übersichts oder traditioneller Review bezeichnet. Vgl. Rhoades (2011), S. 62.

<sup>52</sup> Vgl. Bortz/Döring (2006), S. 672–673; Kuß (2013), S. 23.

- Welche Rohstoffe sind im Rahmen der Elektrifizierung der Fahrzeuge als kritisch einzuschätzen und welche Risiken ergeben sich aus der Kritikalität der Rohstoffe für die Hersteller und Zulieferer?

Die Einschätzung der Kritikalität von Rohstoffen stellt per se keine Forschungslücke dar. In der Fachliteratur existieren diverse Studien zu diesem Thema. Auf der einen Seite liegen wissenschaftliche Studien vor, in deren Rahmen die Kritikalität der Rohstoffe für die Elektromobilität im Gesamtzusammenhang mit anderen Zukunftstechnologien bewertet wird. Auf der anderen Seite existieren Studien, welche den Rohstoffbedarf für die Elektromobilität beziehungsweise für die Schlüsselkomponenten der Elektrofahrzeuge (v. a. Traktionsbatterie, Elektromotor und Leistungselektronik) von anderen Zukunftstechnologien isoliert evaluieren.

Zur Konsolidierung des Forschungsstandes werden die Ergebnisse einer Studie von Marscheider-Weidemann et al. (2016) skizziert, welche den gesamten Rohstoffbedarf für verschiedene Zukunftstechnologien identifizieren. Im Rahmen der Studie „Rohstoffbedarf für Zukunftstechnologien“ aus dem Jahr 2016 wurden von den Autoren Technologiesynopsen gebildet.<sup>53</sup> Innerhalb der Synopsen wurde der Rohstoffbedarf für die entsprechende Zukunftstechnologie ermittelt. Laut Marscheider-Weidemann et al. beträgt der Lithiumverbrauch für Batterien im Jahr 2035 bei einer breiten Marktdurchdringung von Elektrofahrzeugen 110.000 Tonnen. Demgegenüber steht eine Weltförderung im Jahr 2013 von 29.759 Tonnen.<sup>54</sup> Diese Zahlen verdeutlichen den Einfluss der Elektromobilität auf den weltweiten Lithiumbedarf.

Andere Studien, bei denen der Rohstoffbedarf für die Elektromobilität separat und unabhängig von anderen Zukunftstechnologien abgeschätzt wurde, deuten ebenfalls auf einen großen Rohstoffbedarf für Elektrofahrzeuge und damit verbundene Risiken hin. Diese spezifischen Studien zur Elektromobilität ermöglichen tiefere Einblicke in die Struktur des künftigen Rohstoffbedarfs und werden deshalb im Folgenden umfassender dargestellt.

Bereits im Jahr 2007 kam Tahil (2007) im Rahmen der Studie „*The Trouble with Lithium*“ zu dem Ergebnis, dass für einen Umstieg auf 100 % Elektrofahrzeuge insgesamt 36 % der weltweiten Lithiumressourcen benötigt werden.<sup>55</sup> Tahil stellt fest,

---

<sup>53</sup> Vgl. Marscheider-Weidemann et al. (2016), S. 30–31.

<sup>54</sup> Vgl. ebd., S. 146.

<sup>55</sup> Bei einer angenommenen durchschnittlichen Batteriegröße von 10 kWh und einem Fahrzeugbestand von 900 Mio. Fahrzeugen.

dass ein solcher Lithiumbedarf nicht nachhaltig gedeckt werden kann.<sup>56</sup> Verstärkt wird die Versorgungsproblematik durch aktuell mangelnde Alternativen in der Batterietechnik. So sehen Kleine-Möllhoff et al. (2012) auf absehbare Zeit keine Alternative zu den auf Lithium basierenden Batterien und erkennen gleichzeitig eine hohe Versorgungsabhängigkeit bei der Beschaffung von Lithium gegenüber den Förderländern.<sup>57</sup> Grosjean et al. (2012) stellen fest, dass ausreichend Lithium auf der Erde vorhanden ist, allerdings können sich kurzfristige Preissteigerungen oder Lieferengpässe ergeben, weil die weltweiten Lithiumreserven geografisch stark konzentriert sind.<sup>58</sup> Die These von Grosjean et al., dass genügend Lithium auf der Welt vorhanden sei, wird von Wallentowitz/Freialdenhoven (2011) gestützt. Laut Wallentowitz und Freialdenhoven können langfristig Batterien in einer hinreichenden Menge für batteriebetriebene Fahrzeuge hergestellt werden, kurzfristig kann es jedoch zu Ungleichgewichten bei der Angebots- und Nachfragerelation kommen.<sup>59</sup>

Neben Lithium könnte laut Kleine-Möllhoff et al. (2012) auch das Kathodenmaterial Cobalt von Versorgungsengpässen betroffen sein.<sup>60</sup> Diese Einschätzung wird von Hoyer (2015) geteilt. So kann es durch die konzentrierte geologische Verteilung der Cobaltreserven in der Demokratischen Republik Kongo zu Engpässen oder Preissteigerungen kommen.<sup>61</sup> Mocker et al. (2015) kommen dahingegen zu der Annahme, dass Cobalt in den Batteriezellen substituierbar ist. Die Substituierbarkeit vermindert demnach die Kritikalität dieses Elements.<sup>62</sup> Glöser-Chahoud et al. (2016) erwarten ab dem Jahr 2020 einen erheblichen Mangel an Dysprosium, bedingt durch die starke Marktpenetration alternativer Antriebe.<sup>63</sup> Hinzu kommt, dass die VRC im Jahr 2016 insgesamt 83 % der Weltförderung der Seltenen Erden Elemente auf sich vereint hat, woraus sich eine große Abhängigkeit von diesem Förderland ergibt.<sup>64</sup>

Insgesamt wird deutlich, dass vor allem die Rohstoffe Lithium, Cobalt und Dysprosium in der Fachliteratur als kritisch angesehen werden. In weiteren Studien wurde

---

<sup>56</sup> Vgl. Tahil (2007), S. 14.

<sup>57</sup> Vgl. Kleine-Möllhoff et al. (2012), S. 21 u. 32.

<sup>58</sup> Vgl. Grosjean et al. (2012), S. 1744.

<sup>59</sup> Vgl. Wallentowitz/Freialdenhoven (2011), S. 153.

<sup>60</sup> Vgl. Kleine-Möllhoff et al. (2012), S. 29.

<sup>61</sup> Vgl. Hoyer (2015), S. 30–32.

<sup>62</sup> Vgl. Mocker et al. (2015), S. 446.

<sup>63</sup> Vgl. Glöser-Chahoud et al. (2016), S. 45.

<sup>64</sup> Vgl. United States Geological Survey (2017), S. 135.