



---

## Sachstand

---

## Ökobilanzierung von Energiespeichern für Elektrofahrzeuge

---

## Ökobilanzierung von Energiespeichern für Elektrofahrzeuge

Aktenzeichen: WD 8 - 3000 - 099/18  
Abschluss der Arbeit: 16.10.2018  
Fachbereich: WD 8: Umwelt, Naturschutz, Reaktorsicherheit, Bildung und  
Forschung

---

Die Wissenschaftlichen Dienste des Deutschen Bundestages unterstützen die Mitglieder des Deutschen Bundestages bei ihrer mandatsbezogenen Tätigkeit. Ihre Arbeiten geben nicht die Auffassung des Deutschen Bundestages, eines seiner Organe oder der Bundestagsverwaltung wieder. Vielmehr liegen sie in der fachlichen Verantwortung der Verfasserinnen und Verfasser sowie der Fachbereichsleitung. Arbeiten der Wissenschaftlichen Dienste geben nur den zum Zeitpunkt der Erstellung des Textes aktuellen Stand wieder und stellen eine individuelle Auftragsarbeit für einen Abgeordneten des Bundestages dar. Die Arbeiten können der Geheimschutzordnung des Bundestages unterliegende, geschützte oder andere nicht zur Veröffentlichung geeignete Informationen enthalten. Eine beabsichtigte Weitergabe oder Veröffentlichung ist vorab dem jeweiligen Fachbereich anzuzeigen und nur mit Angabe der Quelle zulässig. Der Fachbereich berät über die dabei zu berücksichtigenden Fragen.

---

## **Inhaltsverzeichnis**

|           |   |           |
|-----------|---|-----------|
| <b>1.</b> | <b>Einleitung</b>   | <b>4</b>  |
| <b>2.</b> | <b>Ökobilanzierung in der Normierung</b>                        | <b>5</b>  |
| <b>3.</b> | <b>Nachhaltigkeit von Energiespeichern für Elektrofahrzeuge</b> | <b>5</b>  |
| <b>4.</b> | <b>Ökobilanzierung in Einzelstudien</b>                         | <b>7</b>  |
| <b>5.</b> | <b>Fazit</b>  | <b>11</b> |
| <b>6.</b> | <b>Quellenverzeichnis</b>                                       | <b>11</b> |

## 1. Einleitung

Derzeit werden in Elektrofahrzeugen in der Regel Lithium-Ionen-Batterien (auch Li-Ionen-Batterien (LIB) verwendet. Dieser Batterietyp ist momentan die effizienteste Energiespeicherform. Die Zelltechnologien werden in der Regel nach den sich unterscheidenden Aktivmaterialien der Kathode bezeichnet: Nickel-Mangan-Kobalt-Zellen (NMC), Nickel-Kobalt-Aluminium-Zellen (NCA) und Lithium-Eisenphosphat-Zellen (LPF).<sup>1</sup> Es werden verschiedene Zelltechnologien mit unterschiedlichen Auswirkungen auf die Ökobilanz verwendet. Relevante Batterieeigenschaften mit Einfluss auf die Ökobilanz sind Zellchemie, Lebensdauer, Energie- bzw. Leistungsdichte, Sicherheit, Energieeinsatz in der Produktion und der Standort der Produktion.

Bei der Bilanzierung werden die Materialherstellung und die Materialverarbeitung sowie die Fertigung der Zellen, des Batteriemanagementmoduls und des Batteriegehäuses berücksichtigt. Die in den Zellen eingesetzte Materialmenge wird im Wesentlichen von der Kapazität und Energiedichte der Batterie bestimmt. Bei einem Vergleich der unterschiedlichen Energiespeicher sollte der Herstellungsaufwand auf eine kWh-Batteriekapazität (kWh=Kilowattstunde) bezogen werden. Die Bilanzierung enthält auch den benötigten Energieeinsatz für die Fertigung und die Transportprozesse. Der Strom- und Wärmebedarf der Herstellung hängt dabei auch vom Automatisierungsgrad der Fertigung ab. Dabei wird die Entwicklung des Energieeinsatzes mit der Entwicklung der Energiedichte korreliert.<sup>2</sup> Die Wiederverwertbarkeit der Batterie und ihr Recycling<sup>3</sup> sind ebenso Aspekte der Ökobilanzierung.

Zusätzlich sollten Einzelaspekte des gesamten Lebenszyklus berücksichtigt werden. Beispielsweise ist das Laden von Elektromobilen im privaten Bereich einfach umzusetzen, für den öffentlichen Raum wird eine eigene Ladeinfrastruktur benötigt. Für die Ökobilanzierung kommen auch Besonderheiten, wie z. B. das Heizen der Ladesäulen, um eine für die Elektronik schädliche Taubildung zu vermeiden, hinzu.<sup>4</sup> Batterien ermöglichen aber das Fahren mit erneuerbarem Strom,

---

1 Umweltbundesamt (UBA) (2016). „Weiterentwicklung und vertiefte Analyse der Umweltbilanz von Elektrofahrzeugen“, [https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/378/publikationen/texte\\_27\\_2016\\_umweltbilanz\\_von\\_elektrofahrzeugen.pdf](https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/378/publikationen/texte_27_2016_umweltbilanz_von_elektrofahrzeugen.pdf), Kap. 3.2.2 „Batterietechnologien“, Seite 72

2 Umweltbundesamt (UBA) (2016). „Weiterentwicklung und vertiefte Analyse der Umweltbilanz von Elektrofahrzeugen“, [https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/378/publikationen/texte\\_27\\_2016\\_umweltbilanz\\_von\\_elektrofahrzeugen.pdf](https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/378/publikationen/texte_27_2016_umweltbilanz_von_elektrofahrzeugen.pdf), Seite 85 und 145

3 Projekte zum Recycling von Batterien:

Öko-Institut (2011). Verbundprojekt : Entwicklung eines realisierbaren Recyclingkonzepts für die Hochleistungsbatterien zukünftiger Elektrofahrzeuge – LiBRi, Teilprojekt: LCA der Recyclingverfahren“, <https://www.oeko.de/oekodoc/1499/2011-068-de.pdf>

Öko-Institut (2011). „Ökobilanz zum Recycling von Lithium-Ionen-Batterien (Projekt LithoRec)“, <https://www.oeko.de/oekodoc/1500/2011-068-de.pdf>

Hochschule Rhein Main, Hessisches Landesamt für Naturschutz, Umwelt und Geologie (2018). „Wiederverwendung und Recycling von Lithium –Ionen-Akkus“, [https://www.hlnug.de/fileadmin/dokumente/abfall/ressourcenschutz/Projektarbeit\\_LIA\\_final.pdf](https://www.hlnug.de/fileadmin/dokumente/abfall/ressourcenschutz/Projektarbeit_LIA_final.pdf)

4 Sterner, M., Stadler, I. (2014). „Energiespeicher“, Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2014, Kapitel 14.2.1

was die Effizienz um einen Faktor von 3 bis 4 steigen lässt<sup>5</sup> und die Feinstaub- und Lärmbelastung durch Batteriefahrzeuge ist vergleichsweise gering.<sup>6</sup>

Die folgende Arbeit enthält Informationen über Ökobilanzierungen von Energiespeichern.

## 2. Ökobilanzierung in der Normierung

Für die Erstellung von Ökobilanzen gibt es eine Reihe von Normen. Grundsätze und Rahmenbedingungen von Ökobilanzen sind in der DIN EN ISO 14040 genormt. Die Norm umfasst Ökobilanz-Studien und Sachbilanz-Studien. Anforderungen und Verfahren der Ökobilanzierung und Anleitungen zu deren Erstellung beschreibt die DIN EN ISO 14044. Die Änderung A1 ergänzt die Informationen zu ökologischen Fußabdrücken (Footprints). Die DIN EN ISO 14045 beschreibt die Ökoeffizienzbewertung, die die Umweltauswirkungen unter Anwendung der Ökobilanz bewertet. Anforderungen und Anleitungen für die Durchführung einer kritischen Prüfung jeder Art von Ökobilanzen finden sich in der Norm DIN CEN ISO/TS 14071.<sup>7</sup> Die Spezifikationen und Sicherheitsanforderungen von Li-Ionen Batterien finden sich ebenfalls in Normen wieder.<sup>8</sup>

## 3. Nachhaltigkeit von Energiespeichern für Elektrofahrzeuge

In den Ausführungen der Bundesregierung zur „Nachhaltigkeit der Elektroautobatterie“ werden Aspekte beispielsweise von Lebensdauer, Wiederverwertung und Recycling behandelt, die auch bei der Erstellung der Ökobilanz betrachtet werden:

---

5 Sterner, M., Stadler, I. (2014). „Energiespeicher“, Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2014, Kapitel 5.4.1

6 Sterner, M., Stadler, I. (2014). „Energiespeicher“, Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2014, Kapitel 5.4.1

Feinstaub durch Elektrofahrzeuge entsteht durch Bremsen- und Reifenabrieb oder durch Aufwirbelung des Staubs auf der Straße.

7 Umweltmanagement – Ökobilanz – Grundsätze und Rahmenbedingungen (DIN EN ISO 14040:2006)

Umweltmanagement – Ökobilanz – Anforderungen und Anleitungen (DIN EN ISO 14044:2006 + Amd 1:2017)

Umweltmanagement – Ökoeffizienzbewertung von Produktsystemen (DIN EN ISO 14045:2012)

Umweltmanagement – Ökobilanz – Prozesse der Kritischen Prüfung und Kompetenzen der Prüfer (DIN CEN ISO/TS 14071)

8 Elektrische Straßenfahrzeuge – Batteriesysteme – Anforderungen an die Gestaltung von Lithium – Ionen Batteriezellen DIN 91252

Elektrisch angetriebene Straßenfahrzeuge – Sicherheitsspezifikation – Teil 1: Bordeigene wiederaufladbare Energiespeichersysteme (RESS) ISO/DIN 6469 Teil 1 - 4

„Wesentliche Bestandteile einer Lithium-Ionen-Batterie sind Kobalt, Nickel und Mangan, daher ist die Batterieherstellung von hohem Materialeinsatz geprägt. Hierbei ist die Aufarbeitung von Bauteilen und das Recycling der eingesetzten Ressourcen ein wichtiges Kriterium für die Umweltverträglichkeit und den Gedanken der Nachhaltigkeit.“ [...]

„Derzeit ist das Recyclingverfahren extrem kompliziert, energieaufwendig und entsprechend kostspielig. Die Wiederaufbereitung einer Tonne Lithium-Ionen-Batterien kostet mehrere Tausend Euro und rechnet sich nur, wenn die Batterie über einen hohen Kobaltanteil verfügt. Die Europäische Union schreibt mit EU-Richtlinie 2006/66/EG eine Wiederverwertungsquote von 50 Prozent der Batteriezellen vor.“

„Im Rahmen des europäischen Forschungsprojekts „ABattReLife“ (Automotive Battery Recycling and 2nd Life, Laufzeit 2012 bis 2015) verschiedener europäischer Forschungseinrichtungen und der Automobilkonzerne PSA und BMW wurden die Batteriealterung, Recyclingverfahren für Lithium-Ionen-Batterien und die Wiederverwendung der aufgearbeiteten Batterien als stationäre Speicher untersucht. Detaillierte Informationen können unter: [www.vehiculedufutur.com/abattrelife/](http://www.vehiculedufutur.com/abattrelife/) eingesehen werden. Das Projekt wurde im Rahmen des „Electromobility+“ Programms der Europäischen Kommission durchgeführt und vom Bundeswirtschaftsministerium gefördert (<http://electromobility-plus.eu/>).“<sup>9</sup>

Weitere Informationen zur Umweltbilanz von Batterien für Elektrofahrzeuge finden sich in der vom Umweltbundesamt herausgegebenen Studie „Weiterentwicklung und vertiefte Analyse der Umweltbilanz von Elektrofahrzeugen“. Darin beschreiben die Autoren im Rahmen der Bewertung des gesamten Lebenszyklus der Fahrzeuge auch den Bereich Fahrzeugbatterien.<sup>10</sup>

Zu einer Ökobilanz gehört auch die Nutzungsphase des Produkts. Der Bilanz-Vergleich der Nutzungsphase von Dieselfahrzeugen und Elektrofahrzeugen wird in einem Video der Hochschule für Technik und Wirtschaft Berlin (HTW Berlin) erklärt. Dort beschreibt der Autor die CO<sub>2</sub>-Bilanz der Elektrofahrzeuge in Abhängigkeit vom Strommix und die Fahrzeiten, die benötigt werden, um die bei der Herstellung benötigten CO<sub>2</sub>-Mengen wieder auszugleichen.<sup>11</sup>

---

9 Kleine Anfrage der Fraktion der FDP und Antwort der Bundesregierung (2018). „Nachhaltigkeit der Elektrobatterie“, BT-Drs. [19/3999](#) und BT-Drs. [19/4288](#)

10 Umweltbundesamt (UBA) (2016). „Weiterentwicklung und vertiefte Analyse der Umweltbilanz von Elektrofahrzeugen“, [https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/378/publikationen/texte\\_27\\_2016\\_umweltbilanz\\_von\\_elektrofahrzeugen.pdf](https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/378/publikationen/texte_27_2016_umweltbilanz_von_elektrofahrzeugen.pdf)

BMU „Wie umweltfreundlich sind Elektroautos?“, [https://www.bmu.de/fileadmin/Daten\\_BMU/Download\\_PDF/Verkehr/emob\\_umweltbilanz\\_2017\\_bf.pdf](https://www.bmu.de/fileadmin/Daten_BMU/Download_PDF/Verkehr/emob_umweltbilanz_2017_bf.pdf)

11 Quaschnig, V., Hochschule für Technik und Wirtschaft Berlin (HTW Berlin) (2016). <https://www.youtube.com/watch?v=BBdJSfGQibA>, ca. 3:42 min bis 7:00 min

#### 4. Ökobilanzierung in Einzelstudien

In den letzten Jahren sind zahlreiche Ökobilanzen zu Energiespeichern von Elektrofahrzeugen durchgeführt worden. Die folgende Aufstellung enthält eine Auswahl.

Die derzeit **aktuellste Studie** zur Umweltverträglichkeit von Batterien für Elektrofahrzeuge ist aus dem Jahr 2017. Die Autoren vergleichen in ihrer Studie verschiedene Ökobilanzen über Treibhausgasemissionen und Energieverbrauch bei der Herstellung und dem Recycling von Lithium-Ionen-Autobatterien. Sie setzen den Fokus in ihrer Literaturstudie auf aktuelle Technologien und Batterien für leichte Nutzfahrzeuge, betrachten aber nicht die Nutzungsphase. Diese Studie des schwedischen Instituts für Umweltforschung (IVL) im Auftrag der schwedischen Energiebehörde und des schwedischen Verkehrsverbundes wurde in den Medien kontrovers diskutiert.<sup>12</sup> Ein weiterer Beitrag erklärt die Hintergründe der Diskussion.<sup>13</sup> Ein Kritikpunkt ist der aktuelle technologische Trend: Mit zunehmend höherer Laufleistung pro Ladung werden die Batterien von Elektroautos immer größer. Aufgrund der energieintensiven Batterieproduktion kann der Klimavorteil der Elektromobilität stark reduziert werden. Insbesondere die Zusammensetzung des Strommixes und das Recycling spielen in der Bewertung eine große Rolle.

Die folgende Grafik zeigt anschaulich die komplexe Bezugnahme und Wiederverwendung der zahlreichen Studien, ohne dass diese notwendigerweise neue Untersuchungen darstellen. Das macht ein Vergleich oder ein Fazit im Einzelnen schwierig.

---

12 IVL Svenska Miljöinstitutet (2017). Bericht "The Life Cycle Energy Consumption and Greenhouse Gas Emissions from Lithium-Ion Batteries", <http://www.ivl.se/download/18.5922281715bdaebede9559/1496046218976/C243%20The%20life%20cycle%20energy%20consumption%20and%20CO2%20emissions%20from%20lithium%20ion%20batteries%20.pdf>

IVL Svenska Miljöinstitutet (2017). Pressemitteilung „New report highlights climate footprint of electric car battery production“, <https://www.ivl.se/english/startpage/top-menu/pressroom/press-releases/press-releases---arkiv/2017-06-21-new-report-highlights-climate-footprint-of-electric-car-battery-production.html>

13 Leiva, L., Energie-Experten (2017). „Wie stark belastet die Batterieherstellung die Ökobilanz von Elektroautos?“, <https://www.energie-experten.ch/de/mobilitaet/detail/wie-stark-belastet-die-batterieherstellung-die-oekobilanz-von-elektroautos.html>

Report U – The Life Cycle Energy Consumption and Greenhouse Gas Emissions from Lithium-Ion Batteries – A Study with Focus on Current Technology and Batteries for Light-duty Vehicles

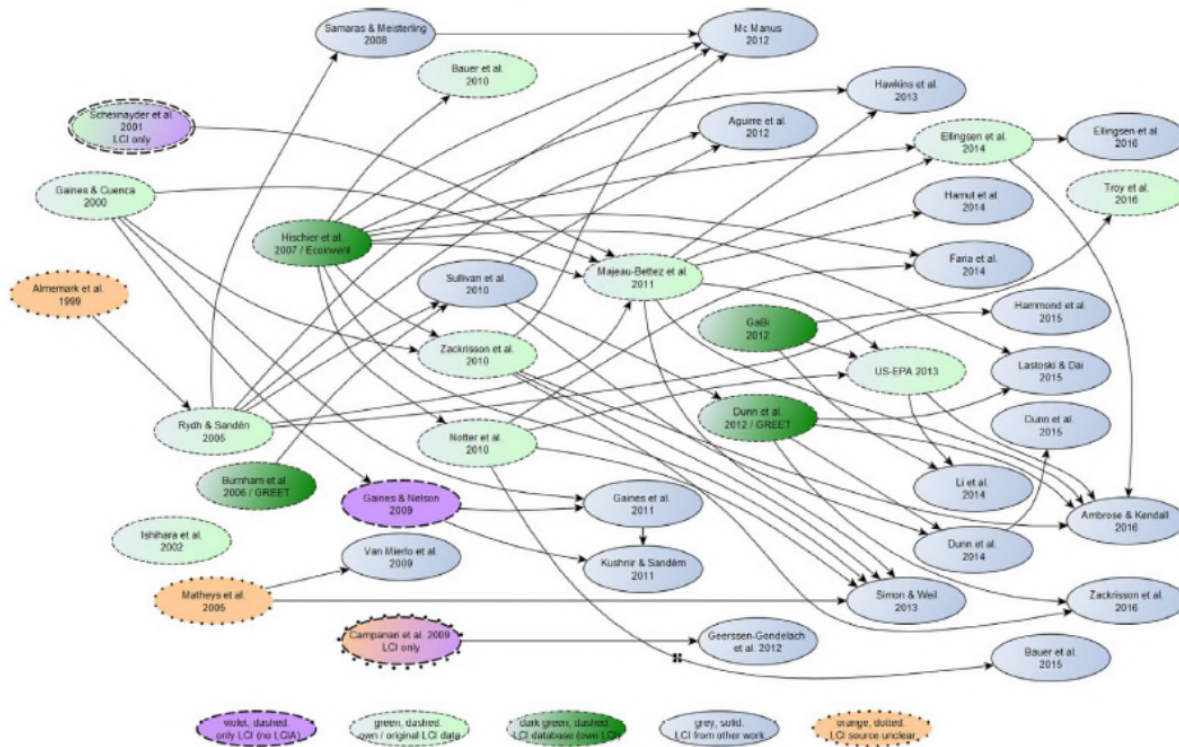


Figure 2: The figure illustrates how LCI used in LCAs on lithium-ion batteries are interlinked and reused (Peters, et al., 2017). Image reused with permission from the author.

Das Themenfeld „Ökobilanzen von Elektroautos“ und die fachlichen Zusammenhänge, relevanten Studien und Akteure fasst ein Übersichtsartikel umfassend zusammen.<sup>14</sup>

Um die Ökobilanz der Energiespeicher weiter zu verbessern wird in Forschung und Entwicklung intensiv an der Weiterentwicklung der Energiespeicher gearbeitet:

Experten des Paul Scherrer Instituts beschreiben in ihrer Studie zur Umweltverträglichkeit aktueller (2017) und zukünftiger (2040) Technologien für Elektrofahrzeuge verschiedene Antriebsarten, auch die benötigten Energiespeicher. Die Autoren kommen u.a. zu dem Schluss, dass der Einfluss der batteriebetriebenen Fahrzeuge (BEV, Battery Electric Vehicle), bedingt durch die Reichweite, stark durch die immer größer werdende Bordbatterie beeinflusst wird. Durch verbesserte Fertigungsprozesse soll dieser Faktor aber an Bedeutung verlieren. Ebenso sind die Umweltbelastungen durch den Strommix und die Effizienz der Prozesskette von der Herstellung bis zur

14 Schrader, Ch., Spektrum Die Woche (2017). „Ökobilanz- Ein kritischer Blick“, <https://www.spektrum.de/news/wie-ist-die-umweltbilanz-von-elektroautos/1514423>



Verwendung der Batterie von Bedeutung und können durch entsprechende Stückzahlen und den auch damit verbundenen Technologiefortschritt reduziert werden.<sup>15</sup>

Das Bundesministerium für Bildung und Forschung fördert innerhalb des Rahmenprogramms zur Förderung der Materialforschung "Vom Material zur Innovation" auch das Themenfeld "Batteriematerialien für zukünftige elektromobile, stationäre und weitere industrierelevante Anwendungen (Batterie 2020)".<sup>16</sup> Ziel der Förderinitiative ist es, „Material- und Prozessentwicklungen entlang der gesamten Wertschöpfungsketten für wiederaufladbare, elektrochemische Energiespeicher (Sekundärbatterien) voranzutreiben, die in der Elektromobilität, stationären Speichern und weiteren industrierelevanten Anwendungen wie Gabelstaplern, Werkzeugen oder Medizintechnik eingesetzt werden können.“<sup>17</sup>

Die Aufgaben des Begleitforschungsprojekts „Energiespeicher-Monitoring für die Elektromobilität“ (EMOTOR) umfassen die übergreifende internationale Beobachtung (Monitoring) und Analyse wissenschaftlich-technologischer Trends, industrieller-wirtschaftlicher Entwicklungen, ökologischer Bewertungen und politischer Rahmenbedingungen, die strategische Handlungsempfehlungen für die deutschen Akteure in Wissenschaft, Wirtschaft und Politik ermöglichen sollen. Der Bericht zur Produktion und Ökobilanzierung ist ein Teilstück des Projekts:

„Um neben diesen qualitativen Analysen auch quantitative Aussagen zu den zukünftigen Wertschöpfungsentwicklungen Lithium-Ionen-Automotive-Batterie und deren Verteilung über die einzelnen Akteure der Wertschöpfungskette durchzuführen, wurde ein Berechnungsmodell entwickelt, mit dem es möglich ist, derartige Abschätzungen durchzuführen. [...] Der zweite Themenblock „Ökobilanzierung“ widmet sich den ökologischen Aspekten des Elektrofahrzeugs im Allgemeinen und der Batterietechnologie im Besonderen. Durch eine detaillierte Literaturrecherche wird ein besseres Verständnis der Auswirkungen auf die Umwelt erlangt. Aufbauend auf vier umfassenden Studien mit deutschem Kontext werden zusätzlich vier englischsprachige Studien analysiert. Darüber hinaus werden acht relevante Studien zu Batterietechnologien behandelt, die wiederum die Batterietechnologie im Allgemeinen und deren Materialeinsatz im Speziellen ausführlich diskutieren. Auswirkungen von Entwicklungsprozessen in der Batterieherstellung werden somit umfassend dargestellt und analysiert. Als Haupteinflussparameter auf das Resultat der Ökobilanz wurde der angenommene Anteil an regenerativen Energien im Strom-Mix, die Fahrleistung, der Fahrzyklus und die Art des Ladeverhaltens identifiziert. Derzeit können zwar mit den untersuchten LCAs Vergleichsergebnisse für BEVs, PHEVs und konventionelle Fahrzeuge erzielt werden sowie Schwachstellen der einzelnen Konzepte nach Lebensab-

---

15 Cox, B. et al., Paul Scherrer Institut (PSI) (2018). Background report “The environmental burdens of passenger cars: today and tomorrow”, [https://www.psi.ch/ta/PublicationTab/Cox\\_2018.pdf](https://www.psi.ch/ta/PublicationTab/Cox_2018.pdf)

16 Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) (2018). „Änderung der Richtlinie zur Förderung von Verbundprojekten im Themenfeld "Batteriematerialien für zukünftige elektromobile, stationäre und weitere industrierelevante Anwendungen (Batterie 2020)"[...]“, Bundesanzeiger vom 09.05.2017, <https://www.bmbf.de/foerderungen/bekanntmachung-1725.html>

17 Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) „Batterie 2020“, <https://batterie-2020.de/>

schnitt und Verursacher identifiziert werden. Im Rahmen der Batterietechnologie ist jedoch insgesamt die Datenlage noch nicht akzeptabel, und es bedarf weiterer Forschung, um fundierte Produktionsdaten von Kathoden und Anoden und der gesamten Zell- sowie Batterieproduktion zu erhalten. Auch der Recyclingprozess liegt im weiteren Forschungsfokus.“<sup>18</sup>

Im Kapitel 8.2.3. liefern die Autoren einen Überblick zu Studien über Ökobilanzen verschiedener Batterietechnologien aus den Jahren 2010 bis 2013.<sup>19</sup>

Im aktuell laufenden Projekt „Helmholtz-Initiative Energie System 2050 – Forschungsthema Lebenszyklusorientierte Nachhaltigkeitsanalyse der Fallstudie Speicher und Netze“ werden in der Fallstudie „Speicher und Netze“ „relevante und potenziell nachhaltige Energiespeicher (mit unterschiedlicher Netz-Interaktion) lebenszyklusbasiert hinsichtlich ihrer ökologischen (LCA), ökonomischen (LCC), gesellschaftlichen und technischen Aspekte analysiert.“<sup>20</sup>

Eine etwas ältere, aber ausführliche Arbeit beschreibt Umweltbilanz von Lithium-Ionen- und Nickel-Metall-Hydrid-Batterien für Plug-in-Hybrid- und Batterie-Elektrofahrzeuge. Dazu wurden als Parameter europäische Herstellungs- und Transportbedingungen gewählt. Sehr detailliert beschreiben die Autoren die einzelnen Komponenten der Prozesskette. Beispielsweise listen sie u. a. die Annahmen zur Quantifizierung des Energiebedarfs für die Produktion der verschiedenen Batterie-Subkomponenten und Materialien auf. Bei der Beschreibung wird zwischen Nutzungs- und Herstellungsphase unterschieden.<sup>21</sup>

- 
- 18 Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung ISI (2013-2015). „Energiespeicher Monitoring für die Elektromobilität (EMOTOR) - Bericht zur Produktion und Ökobilanzierung“, <http://www.emotor.isi-projekt.de/emotor/inhalte/bericht-zur-produktion-und-oekobilanzierung.php>, [http://www.emotor.isi-projekt.de/emotor-wAssets/docs/privat/EMOTOR-Produktion-und-Oekobilanzierung\\_Juni-2013.pdf](http://www.emotor.isi-projekt.de/emotor-wAssets/docs/privat/EMOTOR-Produktion-und-Oekobilanzierung_Juni-2013.pdf) und <http://www.emotor.isi-projekt.de/emotor/index.php>, s.a. Umweltbundesamt (UBA) (2016). „Weiterentwicklung und vertiefte Analyse der Umweltbilanz von Elektrofahrzeugen“.
- 19 Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung ISI (2013). „Energiespeicher Monitoring für die Elektromobilität (EMOTOR) - Bericht zur Produktion und Ökobilanzierung“, [http://www.emotor.isi-projekt.de/emotor-wAssets/docs/privat/EMOTOR-Produktion-und-Oekobilanzierung\\_Juni-2013.pdf](http://www.emotor.isi-projekt.de/emotor-wAssets/docs/privat/EMOTOR-Produktion-und-Oekobilanzierung_Juni-2013.pdf), Seite 99 bis 103
- 20 Institut für Technikfolgenabschätzung und Systemanalyse (ITAS) (2016). „Helmholtz-Initiative Energie System 2050 – Forschungsthema Lebenszyklusorientierte Nachhaltigkeitsanalyse der Fallstudie Speicher und Netze“, [http://www.itas.kit.edu/projekte\\_weil15\\_fallspeinet.php](http://www.itas.kit.edu/projekte_weil15_fallspeinet.php)
- 21 Majeau-Bettez, G. et al. (2011). „Life Cycle Environmental Assessment of Lithium-Ion and Nickel Metal Hydride Batteries for Plug-in Hybrid and Battery Electric Vehicles. Supporting Information“, [http://scholar.google.de/scholar\\_url?url=http://pstorage.acs-6854636.s3.amazonaws.com/4309258/es103607c\\_si\\_001.pdf&hl=de&sa=X&scisig=AAGBfm3fv3-sKr061JAwk1op7Qm3GZDXw&nossl=1&oi=scholar](http://scholar.google.de/scholar_url?url=http://pstorage.acs-6854636.s3.amazonaws.com/4309258/es103607c_si_001.pdf&hl=de&sa=X&scisig=AAGBfm3fv3-sKr061JAwk1op7Qm3GZDXw&nossl=1&oi=scholar) und Majeau-Bettez, G. et al. (2011). “Life cycle environmental assessment of lithium-ion and nickel metal hydride batteries for plug-in hybrid and battery electric vehicles”, *Environmental science & technology*. Vol. 45, No.10, S. 4548–54

## 5. Fazit

Ein Vergleich von Ökobilanzen, die über eine längere Zeitspanne erstellt wurden, ist nicht immer möglich, da die zur Verfügung stehenden Daten, insbesondere die Herstellungsparameter und Produktdaten über längere Zeit meist nicht konstant sind und der technologische Fortschritt voran schreitet.

Auch wenn die Energieeffizienz des Herstellungsprozesses und der Recyclingprozess noch verbessert werden sollten, scheinen derzeit die Vorteile der Nachhaltigkeit von Energiespeichern für Elektrofahrzeuge in ihrem gesamten Lebenszyklus im Vergleich zu Verbrennungsmotoren zu überwiegen.

## 6. Quellenverzeichnis

Beuth Verlag „Elektrisch angetriebene Straßenfahrzeuge – Sicherheitspezifikation – Teil 1: Bord-eigene wiederaufladbare Energiespeichersysteme“ (RESS) ISO/DIN 6469 Teil 1 - 4

Beuth Verlag „Elektrische Straßenfahrzeuge – Batteriesysteme – Anforderungen an die Gestaltung von Lithium – Ionen Batteriezellen“ DIN 91252

Beuth Verlag „Umweltmanagement – Ökobilanz – Grundsätze und Rahmenbedingungen“ (DIN EN ISO 14040:2006)

Beuth Verlag „Umweltmanagement – Ökobilanz – Prozesse der Kritischen Prüfung und Kompetenzen der Prüfer“ (DIN CEN ISO/TS 14071)

Beuth Verlag „Umweltmanagement – Ökobilanz – Anforderungen und Anleitungen“ (DIN EN ISO 14044:2006 + Amd 1:2017)

Beuth Verlag „Umweltmanagement – Ökoeffizienzbewertung von Produktsystemen“ (DIN EN ISO 14045:2012)

BMU „Wie umweltfreundlich sind Elektroautos?“, [https://www.bmu.de/fileadmin/Daten\\_BMU/Download\\_PDF/Verkehr/emob\\_umweltbilanz\\_2017\\_bf.pdf](https://www.bmu.de/fileadmin/Daten_BMU/Download_PDF/Verkehr/emob_umweltbilanz_2017_bf.pdf)

Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) (2018). „Änderung der Richtlinie zur Förderung von Verbundprojekten im Themenfeld "Batteriematerialien für zukünftige elektromobile, stationäre und weitere industrierelevante Anwendungen (Batterie 2020)"[...]“, Bundesanzeiger vom 09.05.2017, <https://www.bmbf.de/foerderungen/bekanntmachung-1725.html>

Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) „Batterie 2020“, <https://batterie-2020.de/>

Cox, B. et al., Paul Scherrer Institut (PSI) (2018). Background report “The environmental burdens of passenger cars: today and tomorrow”, [https://www.psi.ch/ta/PublicationTab/Cox\\_2018.pdf](https://www.psi.ch/ta/PublicationTab/Cox_2018.pdf)

Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung ISI (2013-2015). „Energiespeicher Monitoring für die Elektromobilität (EMOTOR) - Bericht zur Produktion und Ökobilanzierung“, <http://www.emotor.isi-projekt.de/emotor/inhalte/bericht-zur-produktion-und-oekobilanzierung.php>, [http://www.emotor.isi-projekt.de/emotor-wAssets/docs/privat/EMOTOR-Produktion-und-Oekobilanzierung\\_Juni-2013.pdf](http://www.emotor.isi-projekt.de/emotor-wAssets/docs/privat/EMOTOR-Produktion-und-Oekobilanzierung_Juni-2013.pdf)

Hochschule Rhein Main, Hessisches Landesamt für Naturschutz, Umwelt und Geologie (2018). „Wiederverwendung und Recycling von Lithium –Ionen-Akkus“, [https://www.hlnug.de/fileadmin/dokumente/abfall/ressourcenschutz/Projektarbeit\\_LIA\\_final.pdf](https://www.hlnug.de/fileadmin/dokumente/abfall/ressourcenschutz/Projektarbeit_LIA_final.pdf)

Institut für Technikfolgenabschätzung und Systemanalyse (ITAS) (2016). „Helmholtz-Initiative Energie System 2050 – Forschungsthema Lebenszyklusorientierte Nachhaltigkeitsanalyse der Fallstudie Speicher und Netze“, [http://www.itas.kit.edu/projekte\\_weil15\\_fallspeinet.php](http://www.itas.kit.edu/projekte_weil15_fallspeinet.php)

IVL Svenska Miljöinstitutet (2017). Bericht “The Life Cycle Energy Consumption and Greenhouse Gas Emissions from Lithium-Ion Batteries”, <http://www.ivl.se/download/18.5922281715bdaebede9559/1496046218976/C243%20The%20life%20cycle%20energy%20consumption%20and%20CO2%20emissions%20from%20lithium%20ion%20batteries%20.pdf>

IVL Svenska Miljöinstitutet (2017). Pressemitteilung „New report highlights climate footprint of electric car battery production“, <https://www.ivl.se/english/startpage/top-menu/press-room/press-releases/press-releases---arkiv/2017-06-21-new-report-highlights-climate-footprint-of-electric-car-battery-production.html>

Kleine Anfrage der Fraktion der FDP und Antwort der Bundesregierung (2018). „Nachhaltigkeit der Elektrobatterie“, BT-Drs [19/3999](#) BT-Drs [19/4288](#)

Leiva, L., Energie-Experten (2017). „Wie stark belastet die Batterieherstellung die Ökobilanz von Elektroautos?“, <https://www.energie-experten.ch/de/mobilitaet/detail/wie-stark-belastet-die-batterieherstellung-die-oekobilanz-von-elektroautos.html>

Majeau-Bettez, G. et al. (2011). “Life cycle environmental assessment of lithium-ion and nickel metal hydride batteries for plug-in hybrid and battery electric vehicles”, Environmental science & technology. Vol. 45, No.10, S. 4548–54

Majeau-Bettez, G. et al. (2011). „Life Cycle Environmental Assessment of Lithium-Ionand Nickel Metal Hydride Batteries for Plug-in Hybrid and Battery Electric Vehicles. Supporting Information“, [http://scholar.google.de/scholar\\_url?url=http://pstorage-acs-6854636.s3.amazonaws.com/4309258/es103607c\\_si\\_001.pdf&hl=de&sa=X&scisig=AAGBfm3fV3-sKr061JAwkw1op7Qm3GZDXw&nossl=1&oi=scholar](http://scholar.google.de/scholar_url?url=http://pstorage-acs-6854636.s3.amazonaws.com/4309258/es103607c_si_001.pdf&hl=de&sa=X&scisig=AAGBfm3fV3-sKr061JAwkw1op7Qm3GZDXw&nossl=1&oi=scholar)

Öko-Institut (2011). „Ökobilanz zum Recycling von Lithium-Ionen-Batterien (Projekt LithoRec)“, <https://www.oeko.de/oekodoc/1500/2011-068-de.pdf>

Öko-Institut (2011). Verbundprojekt : Entwicklung eines realisierbaren Recyclingkonzepts für die Hochleistungsbatterien zukünftiger Elektrofahrzeuge – LiBRI, Teilprojekt: LCA der Recyclingverfahren“, <https://www.oeko.de/oekodoc/1499/2011-068-de.pdf>

Quaschnig, V., Hochschule für Technik und Wirtschaft Berlin (HTW Berlin) (2016).  
<https://www.youtube.com/watch?v=BBdJSfGQibA>

Schrader, Ch., Spektrum Die Woche (2017). „Ökobilanz- Ein kritischer Blick“,  
<https://www.spektrum.de/news/wie-ist-die-umweltbilanz-von-elektroautos/1514423>

Sterner, M., Stadler, I. (2014). „Energiespeicher“, Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2014, Kapitel 14.2.1

Umweltbundesamt (UBA) (2016). „Weiterentwicklung und vertiefte Analyse der Umweltbilanz von Elektrofahrzeugen“, [https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/378/publikationen/texte\\_27\\_2016\\_umweltbilanz\\_von\\_elektrofahrzeugen.pdf](https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/378/publikationen/texte_27_2016_umweltbilanz_von_elektrofahrzeugen.pdf)

\*\*\*