

# Antriebstechnik der Zukunft?

---

AUFBAU, FUNKTIONSWEISE UND PERSPEKTIVEN DES  
LITHIUM-IONEN-AKKUMULATORS

Tobias Boosfeld

GYMNASIUM AM MARKT 20/21 | KURS BÜNTE

# Inhalt

Einleitung .....	1
Aufbau des Lithium-Ionen-Akkumulators .....	2
Funktionsweise .....	3
Anwendungsbereiche.....	4
Grenzen/Schwächen .....	5
Umweltproblematik.....	6
Recycling .....	7
Schwächen gegenüber dem Verbrenner .....	8
Möglichkeiten – Wie sieht die Zukunft aus? .....	12
Schlusswort.....	14
Anhang .....	15
Literaturverzeichnis .....	16
Selbstständigkeitserklärung .....	19
Freiwillige Erklärung.....	19

# Einleitung

Elektromobilität ist ein aktuell ein wichtiges und viel diskutiertes Thema. Emissionsfreie Fortbewegung wird in Zeiten des Klimawandels immer wichtiger und aktuell ist die beste Möglichkeit Elektroautos mit Energie zu versorgen der Lithium-Ionen-Akkumulator<sup>1</sup>. Aktuell werden für die Herstellung einer Elektroauto-Batterie circa zehn Kilogramm Lithium benötigt<sup>2</sup>. „[...] Seit 2016 hat sich der weltweite Lithiumabbau mehr als verdoppelt und Experten schätzen, dass bis 2030 jedes Jahr mehr als 240.000 Tonnen Lithium in der Automobilindustrie gebraucht werden.“<sup>3</sup> Der hohe Bedarf des Materials bringt, besonders in den Abbaugebieten, einige Probleme, aber auch neue Möglichkeiten mit sich und noch ist die Technik nicht ausgereift. Es stellt sich die Frage, ob der Lithium-Ionen-Akkumulator, als Energiespeicher, Teil der Antriebstechnik der Zukunft sein wird, oder ob alternative Speicher nötig sind um die Mobilität der Bevölkerung zu gewährleisten. Der nachfolgende Text soll sich mit dieser Fragestellung beschäftigen und diese beantworten.

Deshalb wird in dieser Facharbeit zum allgemeinen Verständnis zunächst der Aufbau sowie die grundsätzliche Funktionsweise eines Lithium-Ionen-Akkumulators erklärt. Außerdem werden verschiedene Anwendungsmöglichkeiten der Technik kurz dargestellt. Über die Nachteile und Probleme die mit der Nutzung und der Produktion von Lithium-Ionen-Akkumulatoren verbunden sind soll im Anschluss informiert werden. Hier werden insbesondere die Probleme des Lithiumabbaus thematisiert, sowie die Nachteile der Nutzung von Lithium-Ionen-Akkumulatoren in Automobilen, gegenüber dem herkömmlichen Verbrennungsmotor. Zur schlussendlichen Klärung der Frage wird auf den aktuellen Stand der Forschung eingegangen und mögliche Alternativen genannt. Da, aufgrund der Größe des Forschungsgebiets, das Präsentieren aller aktuellen Innovationen der Lithium-Ionen-Akkumulator-Technik jeden Rahmen sprengen würde, werden einige der Wichtigsten Neuerungen beschrieben sowie Verbesserungsmöglichkeiten genannt und erklärt. Die

---

<sup>1</sup> Jiang, Jiuchun; Zhang, Caiping: Fundamentals and Applications of lithium-Ion Batteries in Electronic cars. Singapur: Wiley, <sup>1</sup>2015 S.2.

<sup>2</sup> Götze, Susanne: Lithium-Abbau in Südamerika. Kehrseite der Energiewende, 30.04.2019. [https://www.deutschlandfunk.de/lithium-abbau-in-suedamerika-kehrseite-der-energie-wende.724.de.html?dram:article\\_id=447604](https://www.deutschlandfunk.de/lithium-abbau-in-suedamerika-kehrseite-der-energie-wende.724.de.html?dram:article_id=447604), abgerufen am 04.01.2020.

<sup>3</sup> Ebenda.

vorhandenen Alternativen können leider nicht alle genannt werden, es besteht daher kein Anspruch auf Vollständigkeit. Unabhängig davon soll das Thema ausreichend beschrieben werden.

## Aufbau des Lithium-Ionen-Akkumulators

Ein einzelner Akkumulator, wie man ihn zum Beispiel in einem Auto findet, besteht meist aus mehreren, miteinander verbundenen, elektrochemischen Zellen. Siehe Bild 1, der Akku eines „Tesla Model S“ besteht aus 16 Modulen, in diesen Modulen befinden sich wiederum die einzelnen Zellen<sup>4</sup>. Diese Zellen haben nach außen hin einen Plus-Pol, die Kathode, und einen Negativen Pol die Anode<sup>5</sup>.

Innerhalb der Zelle befinden sich vier verschiedene Bausteine: Jeweils eine Schicht an der an Anode und an der Kathode in denen sich Lithium-Ionen einlagern können, ein organischer Elektrolyt in dem Lithiumsalze gelöst sind und ein Separator, der einen Elektronenfluss zwischen Kathode und Anode verhindert, allerdings durchlässig für Lithium-Ionen ist. Derzeit ist ein kommerziell genutzter Separator eine mikroporöse Membran aus Polyethylen oder Polypropylen. Die Beschichtungen an der Kathode sind Interkalationsverbindungen von Lithium-Ionen, das heißt die Lithium-Ionen in einem Molekül eingelagert werden (Beziehungsweise eingeschoben; Lateinisch *intercalare* = einschieben) ohne, dass dadurch das Molekül seine Struktur wesentlich verändert. Es werden häufig  $\text{LiCoO}_2$ ,  $\text{LiNiO}_2$ ,  $\text{LiMn}_2\text{O}_4$ ,  $\text{LiFePO}_4$  und  $\text{LiNi}_x\text{Co}_{1-2x}\text{Mn}_x\text{O}_2$  verwendet. An der Anode stößt man häufig auf Materialien wie  $\text{Li}_x\text{C}_6$ ,  $\text{TiS}_2$  und  $\text{V}_2\text{O}_5$ . Es besteht auch die Möglichkeit, dass sich an Anode und Kathode Graphit befinden, die Funktionsweise ändert sich nicht<sup>6</sup>. Die Lithiumsalze im Elektrolyten sind zum Beispiel  $\text{LiPF}_6$ ,  $\text{LiBF}_4$ ,  $\text{LiClO}_4$  oder  $\text{LiAsF}_6$  und die genutzten Lösungsmittel sind meist Ethylencarbonat, Propylencarbonat, Dimethylcarbonat und Chlormethylcarbonat<sup>7</sup>. Es gibt auch sogenannte Lithiumpolymer Akkumulatoren (oft auch als Lipo bezeichnet). Hier wird ein Polymer

---

<sup>4</sup> Musk, Elon: Model S Fire, 04.10.2013. [https://www.tesla.com/de\\_DE/blog/model-s-fire](https://www.tesla.com/de_DE/blog/model-s-fire), abgerufen am 22.02.2020.

<sup>5</sup> Wakihara, Masataka; Yamamoto, Osamu: Lithium Ion Batteries. Fundamentals and Performance. Tokyo: Kodansha Ltd.; Wiley-VCH, <sup>1</sup>1998 S.2-3.

<sup>6</sup> Ducci, Matthias; Oetken, Marko: „Wie Lithiumakkus funktionieren. Sie sind die gängigen Stromquellen für moderne tragbare Elektronikgeräte. Doch einfache Versionen können sogar Laien selbst herstellen.“, in: Spektrum der Wissenschaft Nr. 7/2016, S. 78.

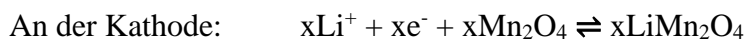
<sup>7</sup> Jiang, Jiuchun; Zhang, Caiping: S.9.

als Elektrolyt benutzt. Die Funktionsweise ist dieselbe, allerdings ist der Elektrolyt nicht flüssig wie bei anderen Bauformen, er hat eine gelartige Konsistenz, dies ermöglicht es zum Beispiel flache Akkumulatoren herzustellen, wie man sie in einem modernen Smartphone benötigt.

Anode und Kathode sind in herkömmlichen Akkumulatoren meist dünne Metallfolien auf denen die Lithium-Ionen-aufnahmefähigen Stoffe aufgetragen sind. Diese Struktur ist gut in Video 1<sup>8</sup> zu erkennen, zwei Metallfolien, mit einem Separator dazwischen, sind eine eigene Zelle. In zylinderförmigen Akkumulatoren, wie man sie zum Beispiel in einem Auto der Marke Tesla findet, werden Anode, Kathode und Separator, mit etwas Elektrolyt dazwischen, umeinandergewickelt, dies lässt sich gut in Video 2<sup>9</sup>.

## Funktionsweise

Während des Entladevorgangs, also wenn eine Last am System anliegt, zum Beispiel ein Auto, wandern Elektronen von der Anode zu der Kathode. Zur selben Zeit fließen innerhalb der Zelle einfach positiv geladene Lithium-Ionen von der Anode, durch den Elektrolyten und den Separator, zu der Kathode<sup>10</sup>. Der Fluss der Elektronen ist gleich dem Fluss der Ionen in der Zelle<sup>11</sup>. In einem Lithiummanganoxidakkumulator mit einer Graphit Anode, sind die, während des Entladevorgangs stattfindenden Reaktionen:



Das Lithium wird reduziert. Während des Aufladevorgangs laufen diese Reaktionen rückwärts ab. An der Anode sammeln sich, da eine Externe Spannung anliegt, Elektronen. Aus der Lithiummanganoxidschicht fließen Elektronen zum positiven Pol der Spannungsquelle ab und es werden Lithium-Ionen in den Elektrolyten abgegeben. Durch die elektromotorische Kraft bewegen sich die Lithium-Ionen durch

---

<sup>8</sup> EV West: Inside a Lithium Ion Electric Car Battery Cut Open by EV West, 01.07.2014. <https://www.youtube.com/watch?v=MUG9W4CbZUQ>, abgerufen am 01.03.2020.

<sup>9</sup> ARIES RC: What's inside a Tesla Battery?, 16.05.2017. [https://www.youtube.com/watch?v=CxS7XeIh\\_i4](https://www.youtube.com/watch?v=CxS7XeIh_i4), abgerufen am 01.03.2020.

<sup>10</sup> Jiang, Jiuchun; Zhang, Caiping: S.9.

<sup>11</sup> Wakihara, Masataka; Yamamoto, Osamu: S.2.

den Elektrolyten und lagern sich in die Graphitschicht ein. Es finden die oben gezeigten Reaktionen statt.<sup>12</sup> „Da die Lithiumionen bei den Lade- und Entladezyklen ständig zwischen Anode und Kathode hin- und herwandern, spricht man oft auch von Schaukelstuhl-Akkumulatoren.“<sup>13</sup>

## Anwendungsbereiche

Wenn man einen Lithium-Ionen-Akkumulator sucht, genügt es meist in die Tasche zu greifen und einen Blick auf das, mittlerweile allgegenwärtige, Smartphone zu richten. Doch auch einige Autohersteller setzen auf Lithium-Ionen-Akkumulator-Technologie. Zum Beispiel „Tesla“, der bekannte Konzern aus den USA verwendet mehrere tausend Zellen Typ 18650<sup>14</sup> in seinen Autos. Grundsätzlich findet ein Lithium-Ionen-Akkumulator überall Anwendung, wo eine mobile Stromversorgung benötigt wird, also Laptops, Handys, Tablets, Akku-Schrauber und dergleichen. Die Technik ist natürlich nicht auf mobile Anwendungsarten beschränkt. „Powerwall“ von Tesla ist ein Stromspeichersystem welches Lithium-Ionen-Akkumulator-Technik benutzt um eine unabhängige Stromversorgung für einen Privathaushalt zu gewährleisten<sup>15</sup>. Dieselbe Technik kann auch genutzt werden um das größte Problem der erneuerbaren Energien zu beheben, die Verfügbarkeit. Eine Photovoltaikanlage ist nachts, wenn viel Strom gebraucht wird, nicht in der Lage Strom zu produzieren und Windräder drehen sich nicht bei Windstille. Um eine Stadt durchgängig mit Energie zu versorgen muss die produzierte Elektrizität gespeichert werden. Aktuell werden für diese Aufgabe Pumpspeicherkraftwerke verwendet, die Errichtung eines solchen Kraftwerks ist allerdings sehr Teuer und ist nur in passenden Gebieten möglich<sup>16</sup>. Das heißt Gebiete ohne natürliche Gefälle benötigen eine andere Lösung. Eine mögliche Alternative Strom zu speichern sind Lithium-Ionen-Akkumulatoren. In Australien ist eine solche Anlage der Firma Tesla mit einer

---

<sup>12</sup> Jiang, Jiuchun; Zhang, Caiping: S.10.

<sup>13</sup> Ducci, Matthias; Oetken, Marko: S.78.

<sup>14</sup> Rawlinson, Peter Dore: US2012160088A1 Vehicle Battery Pack Ballistic Shield, 28.06.2012. <https://worldwide.espacenet.com/patent/search/family/046315136/publication/US2012160088A1?q=pn%3DUS8286743>, abgerufen am 23.02.2020.

<sup>15</sup> Tesla: Powerwall. [https://www.tesla.com/de\\_DE/powerwall](https://www.tesla.com/de_DE/powerwall), abgerufen am 01.03.2020.

<sup>16</sup> Verivox: Pumpspeicherkraftwerk. <https://www.verivox.de/strom/themen/pumpspeicherkraftwerk/>, abgerufen am 03.03.2020.

Leistung von 100 Megawatt bereits in Betrieb genommen worden. Diese Anlage soll nun sogar erweitert werden und auf 150 Megawatt aufgerüstet werden<sup>17</sup>.

## Grenzen/Schwächen

Nichts ist perfekt, auch nicht Lithium-Ionen-Akkumulatoren. Das Nutzen eines Lithium-Ionen-Akkumulators kann gefährlich werden, denn wird eine Zelle beschädigt, kann es zu einer sehr heftigen Reaktion kommen; siehe Video 3<sup>18</sup>. Dies ist ein besonders großes Problem, wenn man die Technik in Automobilen anwendet. Ist ein mit Lithium-Ionen-Akkumulatoren ausgestattetes Auto in einen Unfall verwickelt entzündet sich der Akkumulator und ist dann kaum noch zu löschen. „Ein brennender Akku lässt sich nur kühlen, kühlen, kühlen. Über Stunden, vielleicht Tage hinweg[.]“<sup>19</sup> Eine zunehmende Nutzung von Lithium-Ionen-Akkumulatoren in unserem Straßenverkehr führt zu neuen Problemen für die Straßensicherheit. Im Falle eines Unfalls ist die Brandwahrscheinlichkeit eines Automobils der Marke Tesla sogar geringer als die eines mit Benzin betriebenen Autos.<sup>20</sup>

Theoretisch kann ein Lithium-Ionen-Akkumulator unendlich oft geladen und wieder entladen werden. Das dies nicht in der Realität funktioniert sollte jedem Besitzer eines Smartphones aufgefallen sein. Während der Lade- und Entladezyklen entstehen Dendriten<sup>21</sup> die den Separator durchstechen können und so einen Kurzschluss herbeiführen können. Dies kann im schlimmsten Fall zu einem Feuer oder sogar zu einer Explosion führen.<sup>22</sup> Die Graphitschicht an der Anode hilft das Wachstum der Dendriten zu vermeiden<sup>23</sup>. Nicht nur das Dendritenwachstum lässt einen Akkumulator unbrauchbar werden, eine hohe interne Wärmeproduktion, durch den Betrieb,

---

<sup>17</sup> Harmsen, Nicholas: South Australia's giant Tesla battery output and storage set to increase by 50 per cent, 20.11.2019. <https://www.abc.net.au/news/2019-11-19/sa-big-battery-set-to-get-even-bigger/11716784>, abgerufen am 03.03.2020.

<sup>18</sup> Burn Hard Zen: Lithium Battery Causing Extreme Fumes When Cut, 28.12.2014. <https://www.youtube.com/watch?v=BLc74Qpvweg>, abgerufen am 01.03.2020.

<sup>19</sup> Ilg, Peter: Ein brennendes Elektroauto lässt sich nicht löschen. Auch für die Feuerwehr werden elektrische Fahrzeuge entwickelt, die vernetzt sind und autonom fahren. Aber wie sie ein brennendes E-Auto löschen kann, ist noch unklar., 29.11.2018. <https://www.zeit.de/mobilitaet/2018-11/elektromobilitaet-elektroautos-motoren-feuerwehr-sicherheit>, abgerufen am 24.02.2020.

<sup>20</sup> Musk, Elon.

<sup>21</sup> Als Dendriten (von griechisch *déndron* „Baum“) bezeichnet man in der Metallo- und Kristallographie baum- oder strauchartige Kristallstrukturen.

<sup>22</sup> Welter, Kira: Die Lithium-Ionen-Batterie: Eine Erfindung voller Energie, in: Chemie In Unserer Zeit, 6/2019 S.363.

<sup>23</sup> Wakihara, Masataka; Yamamoto, Osamu: S. 199.

die den Akkumulator nachhaltig schädigen kann, lässt den Akkumulator altern, daher sind Kühlsysteme von größter Wichtigkeit. Mit der Zeit kommt zu einer Erhöhung des Innenwiderstands und somit zu einem Leistungsabfall<sup>24</sup>. Der Akkumulator verliert von Zyklus zu Zyklus an Kapazität und entlädt sich immer schneller von alleine mit fortschreitendem Dendritenwachstum und fortschreitender Zellalterung. In einem Mobiltelefon mag dies nur ein kleines Ärgernis sein, in einem Elektroauto ist dies ein großes Problem. Das heißt, jeder Lithium-Ionen-Akkumulator im Laufe der Zeit unbrauchbar wird und entsorgt werden muss.

## Umweltproblematik

Wie bereits in der Einleitung erwähnt, steigt unser Bedarf an Lithium. Der größte Teil des gewonnenen Lithiums wird, mit einem Anteil von 37,4%, für die Herstellung von Lithium-Ionen-Akkumulatoren verwendet<sup>25</sup>. (Stand 2015) Laut Prognosen der DERA<sup>26</sup> wird dieser Anteil auf 66,6% steigen. Die CAGR<sup>27</sup> für wiederaufladbare Batterien wird von der Deutschen Bank sogar mit 17,6% prognostiziert<sup>28</sup>.

Mit einem Marktanteil von circa 39,9% war Australien, im Jahre 2015, das größte Förderland für Lithium. Chile war, knapp dahinter, mit einem Marktanteil von circa 35,7%. An dritter Stelle mit circa 10,7% folgte Argentinien<sup>29</sup>. In Bolivien, Chile und Argentinien lagern 70% der weltweiten Lithium-Vorkommen. An der Dreiländergrenze zwischen Bolivien, Chile und Argentinien leben circa 100'000 Kollas, sie sind „eines der wenigen indigenen Völker die es noch in Südamerika gibt.“<sup>30</sup> Ihre Existenz ist bedroht, sie leben im sogenannten „Lithiumdreieck“. Im Rahmen der Lithiumproduktion wird viel Wasser benötigt und durch die Bearbeitung des Bodens werden die natürlichen Barrieren zwischen Süß- und Salzwasser zerstört. Dies führt zu einer Kontaminierung des Trinkwassers. „Diese Kontamination ist

---

<sup>24</sup> Rahimzei, Ehsan; Sann, Kerstin; Dr. Vogel, Moritz: Kompendium: Li-Ionen-Batterien. im BMWi Förderprogramm IKT für Elektromobilität II: Smart Car – Smart Grid – Smart Traffic. Grundlagen, Bewertungskriterien, Gesetze und Normen. Frankfurt: VDE Verband der Elektrotechnik, 2015 S. 13.

<sup>25</sup> Schmidt, Michael: Rohstoffrisikobewertung – Lithium. Berlin: DERA Rohstoffinformationen, 2017 S.25.

<sup>26</sup> Deutsche Rohstoffagentur.

<sup>27</sup> Compound annual growth rate (Die prognostizierte jährliche Nachfragesteigerung).

<sup>28</sup> Schmidt, Michael: S.101-102.

<sup>29</sup> Ebenda: S. 43.

<sup>30</sup> Götze, Susanne.



irreversibel, die Region verliert unwiederbringlich ihre Trinkwasserreserven.“<sup>31</sup> Das Leben in der Region könnte, aufgrund der Süßwasserverluste, schon bald unmöglich sein. Doch nicht nur die, dort lebende, Bevölkerung wird durch den Lithiumabbau belastet, auch die lokale Fauna hat mit zerstörten Wasserstellen und einer starken Staubentwicklung zu kämpfen<sup>32</sup>.

## Recycling

Genau wie die, auf der Erde vorhandenen, Rohölvorräte wird auch irgendwann der natürliche Lithiumvorrat zur Neige gehen (das gilt natürlich auch für die restlichen Bestandteile eines Akkumulators wie Kupfer und Kobalt zum Beispiel). Es müssen also, um eine zukünftige Versorgung mit Lithium (, Kobalt, Kupfer et cetera) zu sichern, alte, unbrauchbar gewordenen Akkumulatoren recycelt oder wiederverwendet werden. Wenn nun der, in einem Elektroautomobil enthaltene, Akkumulator aufgrund der Zellalterung an Kapazität verliert und daher nicht mehr den Anforderungen des Nutzers entspricht muss der Akkumulator natürlich getauscht werden. Der alte Akkumulator kann allerdings noch, bevor er in seine Einzelteile zerlegt wird, ein zweites Mal genutzt werden, denn nach circa 1500 bis 2500 Ladezyklen haben die Akkumulatoren noch 70-80% ihrer ursprünglichen Kapazität<sup>33</sup>. Die im vorherigen Kapitel bereits genannten, auf Akkumulator-Technik basierenden, Speicherwerke können alte Akkumulatoren benutzen. Auf diese Art ist eine Verlängerung der Lebensdauer der Akkumulatoren, im stationären Betrieb, von mindestens zehn weiteren Jahren möglich<sup>34</sup>. Nach der Lebensdauer im Speicherwerk können die in einem Akkumulator enthaltenen Rohstoffe verwertet werden. In einem 50-Kilowattstunden-Akkumulator befinden sich etwa zehn Kilogramm Mangan, elf Kilogramm Kobalt, 32 Kilogramm Nickel, etwas mehr als sechs Kilogramm Lithium und circa 100 Kilogramm Graphit<sup>35</sup>. Es ist möglich einen Teil der

---

<sup>31</sup> Ebenda.

<sup>32</sup> Götze, Susanne.

<sup>33</sup> Rudschies, Wolfgang: Elektroauto-Akkus: So funktioniert das Recycling, 13.12.2019.

<https://www.adac.de/rund-ums-fahrzeug/elektromobilitaet/info/elektroauto-akku-recycling/>, abgerufen am 06.03.2020.

<sup>34</sup> Wetzel, Daniel: Das zweite Leben der Batterie, 07.05.2019.

[https://www.welt.de/print/welt\\_kompakt/print\\_politik/article193054623/Das-zweite-Leben-der-Batterie.html](https://www.welt.de/print/welt_kompakt/print_politik/article193054623/Das-zweite-Leben-der-Batterie.html), abgerufen am 06.03.2020.

<sup>35</sup> Winterhagen, Johannes: So werden Lithium-Ionen-Akkus recycelt. Die Zellen der Lithium-Ionen-Akkus müssen vor der Wiederverwertung ausgebaut werden. Es gibt zwei Verfahren für das

enthaltenen Rohstoffe zurückzugewinnen, Anlagen dafür gibt es bereits, allerdings fehlen noch die ausgemusterten Akkumulatoren um Recycling gewinnbringend betreiben zu können<sup>36</sup>. Dies wird sich ändern, wenn Elektroautos einen größeren Marktanteil haben, doch davon ist auszugehen. Das Recycling wird sich lohnen, es können zum Beispiel 95% des Kobalts durch ein simples Einschmelzverfahren wiedergewonnen werden<sup>37</sup>. Das heißt der freie Markt hat ein Interesse daran, die Rohstoffe zu Recyceln, dadurch kann ein nachhaltiger Ressourcenzyklus entstehen, der auch von Vorteil für den Endverbraucher ist, da ein teilweise recycelter Akkumulator in der Herstellung, und somit auch beim Kauf, weniger kostet.

## Schwächen gegenüber dem Verbrenner

### Reichweite

Ein Elektroauto hat, im direkten Vergleich mit dem herkömmlichen Verbrenner, einige Nachteile. Das wohl bekannteste Problem ist die Reichweite eines Elektroautos. Das stimmt nur teilweise, ein e-up! der Marke Volkswagen besitzt, laut eigenen Angaben, eine Reichweite von bis zu 260 Kilometern<sup>38</sup>. Dies würde nicht reichen um ohne Zwischenstopp von Bremen bis nach Berlin zu fahren. Der Renault ZOE bietet, laut eigenen Angaben, immerhin eine Reichweite von bis zu 475 Kilometern<sup>39</sup> und ein Tesla Model 3 hat, laut eigenen Angaben 560 Kilometern<sup>40</sup>. Die tatsächlichen Zahlen sehen allerdings in der Realität deutlich schlechter aus. Renault bietet einen Reichweitensimulator auf der eigenen Website. Wenn wir jetzt wie in unserem vorherigen Beispiel, von Bremen nach Berlin fahren wollen, also eine Strecke von 396 Kilometern<sup>41</sup> bewältigen wollen, ist dies, laut Simulator, kein Problem, denn wir haben ja eine Reichweite von 419 Kilometern. Allerdings nur

---

Recycling., 02.11.2019. <https://www.faz.net/aktuell/technik-motor/technik/so-werden-lithium-ionen-akkus-recycelt-16454686.html>, abgerufen am 06.03.2020.

<sup>36</sup> Rudschies, Wolfgang.

<sup>37</sup> Winterhagen, Johannes.

<sup>38</sup> Volkswagen AG: Der neue e-up!. <https://www.volkswagen.de/de/modelle-und-konfigurator/e-up.html>, abgerufen am 07.03.2020.

<sup>39</sup> Renault SA: Der neue Renault ZOE. <https://www.renault.de/modellpalette/renault-modelluebersicht/zoe.html>, abgerufen am 07.03.2020. (Bei ausgeschalteter Klimaanlage,  $50\text{ km h}^{-1}$  Durchschnittsgeschwindigkeit und  $20^\circ\text{C}$  Außentemperatur.)

<sup>40</sup> Tesla, Inc.: Model 3 Konfigurator. [https://www.tesla.com/de\\_de/model3/design#battery](https://www.tesla.com/de_de/model3/design#battery), abgerufen am 07.03.2020.

<sup>41</sup> Google: Google Maps Routenplaner. <https://goo.gl/maps/Gxyks3yqAfx8VxDN9>, abgerufen am 07.03.2020.

unter der Voraussetzung, dass wir mit einer durchschnittlichen Geschwindigkeit von  $60 \text{ km h}^{-1}$  und bei konstanten  $20^\circ\text{C}$  Außentemperatur unterwegs sind. Soll nun die Fahrzeit von 6h 36min etwas reduziert werden, muss schneller gefahren werden. Bei einer Verdopplung der Geschwindigkeit von  $60 \text{ km h}^{-1}$  auf  $120 \text{ km h}^{-1}$  verliert der Renault ZOE circa die Hälfte der ursprünglichen Reichweite und es muss ein zeitaufwändiger Zwischenstopp in die Routenplanung eingefügt werden<sup>42</sup>. Das Problem der Reichweite ist schwer zu lösen, denn möchte man ein Elektroauto mit verbesserter Reichweite bauen, oder ein existierendes Modell verbessern kann man entweder bessere/effizientere Technik verwenden und das ist meist teuer, oder man vergrößert den vorhandenen Akkumulator bzw. erhöht die Anzahl der Zellen. Letzteres beginnt einen Teufelskreis, denn mehr Akkumulator bedeutet mehr Gewicht und mehr Gewicht bedeutet weniger Reichweite, da es nun mehr Energie benötigt das Fahrzeug zu bewegen. Es gilt:

$$F_{\text{Widerstand}} = \mu_r * g * M + \frac{1}{2} \rho * C_W * A * V^2 + g * M * \sin(\theta) \quad 43$$

$F_{\text{Widerstand}}$  wird in Newton angegeben und drückt den Widerstand eines Fahrzeugs aus.  $M$  ist das Gewicht des Fahrzeugs und  $V$  ist die Geschwindigkeit des Fahrzeugs. Der erste Term auf der rechten Seite der Gleichung beschreibt den Rollwiderstand des Fahrzeugs.  $\mu_r$ , der Reibungskoeffizient hat meist einen wert von 0,025. Die Gravitationskonstante  $g$  beträgt  $9,81 \text{ m s}^{-2}$ . Gehen wir von einem Fahrzeug mit einer Masse von 1500 Kilogramm aus ergibt der erste Term:

$$0,025 * 9,81 * 1500 \approx 367,9[\text{N}]$$

Der zweite Term drückt den Luftwiderstand aus. Die Luftdichte  $\rho$  beträgt  $1,2 \text{ kg m}^{-3}$  und in einem normalen Automobil beträgt der Luftwiderstandsbeiwert  $C_W$  circa 0,35. Es wird davon ausgegangen, dass das Fahrzeug eine Querschnittsfläche  $A$  von  $2 \text{ m}^2$  hat. Fährt das Fahrzeug nun mit einer Geschwindigkeit von  $60 \text{ km h}^{-1} \hat{=} 16,7 \text{ m s}^{-1}$ , ergibt der Zweite Term:

$$0,5 * 1,2 * 0,35 * 2 * (16,7 * 16,7) \approx 117[\text{N}]$$

---

<sup>42</sup> Renault SA.

<sup>43</sup> Dr. Ozawa, Kazunori; u.A.: Lithium Ion Rechargeable Batteries. Materials, Technology, and New Applications. Weinheim: WILEY VCH, <sup>1</sup>2009, S. 314.

Hier lässt sich gut erkennen was für einen großen Einfluss die Geschwindigkeit auf die Reichweite haben kann, denn verdoppeln wir, wie in unserem vorherigen Beispiel, die Geschwindigkeit, wenn also mit  $120\text{km h}^{-1} \cong 33,3\text{m s}^{-1}$  gerechnet wird, vervierfacht sich der Luftwiderstand nahezu<sup>44</sup>. Der dritte Term beschreibt die Kraft, abhängig vom Gewicht des Fahrzeugs, die aufgewendet werden muss, wenn sich das Fahrzeug bergauf bewegt oder die Kraft die gewonnen wird, wenn es sich bergab bewegt.  $\theta$  ist der Steigungsgrad, ist  $\theta = 0$ , also wenn wir uns auf einer flachen Strecke befinden, wird  $g * M * \sin(\theta) = 0$ , da  $\sin(0) = 0$ <sup>45</sup>. Das He-ist auf einer flachen Strecke hat das  $1500\text{kg}$  schwere Automobil bei einer Geschwindigkeit von  $60\text{km h}^{-1}$  einen Widerstand von circa  $367,9 + 117 = 484,9\text{[N]}$ .

Doch auch das Wetter muss mitspielen um die größtmögliche Reichweite zu erreichen, setzt man die Temperatur in der Reichweitensimulation des Renault ZOE von  $20^\circ\text{C}$  auf  $-5^\circ\text{C}$  verliert man knapp ein Fünftel der Reichweite, schaltet man die Heizung ein verliert der Renault ZOE in der Simulation sogar etwas mehr als ein Viertel der ursprünglichen Reichweite<sup>46</sup>. Eine Studie der AAA<sup>47</sup> fand heraus, dass wenn die Außentemperatur auf unter  $-6,6^\circ\text{C}$  fällt und die Heizung eingeschaltet ist, 41% der ursprünglichen Reichweite verloren gehen. Doch auch durch starke Hitze verliert ein Elektroauto an Reichweite. Steigt die Temperatur auf etwa auf  $35^\circ\text{C}$  an, so verliert ein Elektroauto, bei eingeschalteter Klimaanlage, 17% der ursprünglichen Reichweite<sup>48</sup>.

Die maximale Reichweite verringert sich Außerdem noch mit fortschreitendem Alter des Elektromobils, beziehungsweise mit fortschreitendem Alter des Lithium-Ionen Akkumulators. Dieser kann zwar getauscht werden, doch das kann kostspielig sein.

---

<sup>44</sup>  $0,5 * 1,2 * 0,35 * 2 * (33,3 * 33,3) \approx 465,7\text{[N]}$

<sup>45</sup> Dr. Ozawa, Kazunori: S. 314.

<sup>46</sup> Renault SA.

<sup>47</sup> American Automobile Association.

<sup>48</sup> Eisenstein, Paul A.: AAA confirms what Tesla, BMW, Nissan electric car owners suspected — cold weather saps EV range. Even turning on the car drains power, 07.02.2019. <https://www.cnbc.com/2019/02/06/aaa-confirms-what-tesla-bmw-nissan-ev-owners-suspected-of-cold-weather.html>, abgerufen am 08.03.2020.

## Ladezeit

Ein Stopp an der Tankstelle mit einem Verbrenner dauert 4 Min. 5 Sek.<sup>49</sup>. Für die meisten Fahrten mit dem Elektroauto wird es nicht einmal nötig sein unterwegs zu halten, da es möglich ist das eigene Elektromobil im Eigenheim mit Strom zu versorgen<sup>50</sup>. Etwas anders sieht es aus, wenn man längere Strecken zurücklegen möchte. Für die Beispielfahrt von Bremen nach Berlin berechnet „A Better Route-planner“ eine 16-minütige Ladepause auf ungefähr halber Strecke und benötigt insgesamt knapp 4 Stunden, wenn man die Strecke in einem Tesla Model 3 bewältigt, nicht schneller als  $130\text{km h}^{-1}$  fährt und mit 90% Ladung startet<sup>51</sup>. Mit einem VW e-up! würde man für dieselbe Strecke circa 5,5 Stunden brauchen, von denen beinahe 1,5 Stunden Ladezeit sind, wenn die Ladung bei der Abfahrt 90% beträgt und nicht schneller als  $110\text{km h}^{-1}$  gefahren wird<sup>52</sup>. Nicht jedes Elektromobil kann mit derselben Geschwindigkeit laden. Ein Tesla Model 3 zum Beispiel kann mit einem Benziner mithalten, der VW e-up! jedoch nicht. Deshalb lässt sich kein einheitlicher Vergleich herstellen.

## Energiedichte

Im Vergleich zu Benzin hat der Lithium-Ionen-Akkumulator eine verschwindend geringe Energiedichte. Das bedeutet nicht, dass Lithium-Ionen-Akkumulatoren schlecht sind, es zeigt wie gut Benzin als Speicher für Energie funktioniert. Die Lithium-Ionen-Akkumulatoren mit der Besten energiedichte können bis zu  $250\text{Wh/kg}$  beziehungsweise  $670\text{Wh/l}$  erreichen<sup>53</sup>. Benzin hat dazu im Vergleich circa  $11806\text{Wh/kg}$ <sup>54 55</sup>. Damit zu direkt zu konkurrieren ist utopisch.

---

<sup>49</sup> Gemessen an der Shell Tankstelle 28832, Achim. Bremer Straße 72-74 um circa 16:00. Ein Tankvorgang begann mit dem Verlassen des Autos und endete mit dem Einsteigen in das Auto.

<sup>50</sup> Tesla: Wandladestation silberfarben. [https://shop.tesla.com/de\\_de/product/wandladestation-silberfarben](https://shop.tesla.com/de_de/product/wandladestation-silberfarben), abgerufen am 08.03.2020.

<sup>51</sup> [https://abetterrouteplanner.com/?plan\\_uuid=f786347b-d94d-49ca-898e-30683beaeb21](https://abetterrouteplanner.com/?plan_uuid=f786347b-d94d-49ca-898e-30683beaeb21).

<sup>52</sup> [https://abetterrouteplanner.com/?plan\\_uuid=1422c8bc-9af3-4e45-bb3b-10b90797a030](https://abetterrouteplanner.com/?plan_uuid=1422c8bc-9af3-4e45-bb3b-10b90797a030).

<sup>53</sup> Rahimzei, Ehsan; Sann, Kerstin; Dr. Vogel, Moritz: S. 9.

<sup>54</sup> Kurzweil, Peter: Chemie: Grundlagen, Aufbauwissen, Anwendungen und Experimente. Wiesbaden: Springer-Verlag, <sup>10</sup>2015 S. 127.

<sup>55</sup>  $42500\text{ kJ/kg}$  entsprechen  $11806\text{Wh/kg}$ , da  $1\text{Wh} = 3600\text{Ws} = 3600\text{J} = 3,6\text{kJ}$ .

## Möglichkeiten – Wie sieht die Zukunft aus?

Es wird erwartet, dass zukünftige Lithium-Ionen-Akkumulatoren eine etwas bessere Energiedichte erreichen können von bis zu  $310 \text{ Wh/kg}$  beziehungsweise  $860 \text{ Wh/l}$ <sup>56</sup>. Dies kann erreicht werden indem die Anode beziehungsweise die Kathode optimiert werden, so dass sie mehr Lithium einlagern können.

Auch ist es möglich den Elektrolyten zu verbessern, sodass ein stärkerer Ionenfluss innerhalb der Zelle ermöglicht wird was zu einer verbesserten Leistung einer einzelnen Zelle führt.

Von einer vorschreitenden Preisreduktion ist außerdem auszugehen, da Produktionsprozesse fortwährend optimiert werden.

Ein möglicher nächster großer Schritt in der Entwicklung von Lithium-Ionen-Akkumulatoren können die sogenannten Solid State Batteries beziehungsweise Festkörperakkumulatoren sein. Die Besonderheit bei dieser Akkumulatortechnik liegt hier im Elektrolyten, anders als bei dem herkömmlichen Lithium-Ionen-Akkumulator ist der Elektrolyt nicht ein Lithiumsalz in organischer Lösung, sondern es wird ein Feststoff verwendet. Dies würde ein schwerwiegendes Problem des aktuellen Lithium-Ionen-Akkumulators beheben. Derzeit werden, in aktuellen Akkumulatoren organische leichtentzündliche Stoffe als Elektrolyt verwendet, die auf der Hand liegende, Lösung ist nicht entzündliche Elektrolyte zu verwenden, zum Beispiel anorganische Feststoffe. Die Technik wird, bis jetzt, nicht viel genutzt. Eine Ausnahme ist die in Herzschrittmachern verwendete Lithiumiodid-Batterie. Der verwendete Elektrolyt ist Lithiumiodid, ein Feststoff. Allerdings kann, wegen des Elektrolyten und seiner schlechten Ionenleitfähigkeit, nur ein geringer Stromfluss entstehen, dies ist ein Problem welches sich alle Zellen mit Festkörperelektolyten teilen. Grundsätzlich ist die Ionenleitfähigkeit von Feststoffen nur  $1/10 - 1/10^5$  mal die eines flüssigen Elektrolyten. Bei dieser Anwendung ist Zuverlässigkeit von höchster Wichtigkeit, weshalb hier ein fester Elektrolyt besonders Nützlich ist. Ein fester Elektrolyt kann nicht auslaufen, und so Schäden am Menschen verursachen.

---

<sup>56</sup> Rahimzei, Ehsan; Sann, Kerstin; Dr. Vogel, Moritz: S. 9.

Außerdem wird die Elektrolytschicht aus einer Reaktion zwischen Kathode und Anode gebildet, was einen Kurzschluss innerhalb der Zelle unmöglich macht<sup>57</sup>.

Aktuell vielversprechend sind auch „solid-state LCB“ (Lithium Ceramic Battery) beziehungsweise Festkörper-Lithium-Keramik-Akkumulator. Die Firma ProLogium stellt Lithium-Keramik-Akkumulatoren her. Diese sind extrem sicher im Vergleich zu den herkömmlichen Lithium-Ionen-Akkumulatoren<sup>58</sup>. Dies lässt sich gut an den Stresstests in Video 4 erkennen. Der Akkumulator kann sogar durchstoßen werden. Mit einer Energiedichte von  $118 \text{ Wh/kg}$  sind sie allerdings eher am unteren Ende des Spektrums<sup>59</sup>. Anders als Herkömmliche Lithium-Ionen-Akkumulatoren können diese Lithium-Keramik-Akkumulatoren noch bei Temperaturen von bis zu  $-20^\circ\text{C}$  betrieben werden (laut eigenen Angaben)<sup>60</sup>. Ihre extreme Sicherheit macht sie zwar hoch interessant für die Nutzung in einem Elektroauto, die geringe Energiedichte ist allerdings ein großes Problem.

Als eine Alternative zum Elektroauto mit (Lithium-Ionen-)Akkumulator könnte das Wasserstoffauto dienen. Das Wasserstoffauto ist im Prinzip auch ein Elektroauto, der Strom kommt nur nicht aus einem Akkumulator, sondern wird von einer Brennstoffzelle geliefert. Diese Automobile kann man bereits erwerben<sup>61</sup>, allerdings sind die Tankstellen an denen man Wasserstoff tanken kann immer noch relativ selten<sup>62</sup>. Auflademöglichkeiten für Elektroautos sind um einiges besser vertreten<sup>63</sup>. Die Tankdauer eines Wasserstoffautos ist wesentlich kürzer als die von einem Elektroauto.

---

<sup>57</sup> Wakihara, Masataka; Yamamoto, Osamu: S. 199 – 200.

<sup>58</sup> ProLogium: LCB Technology. <http://www.prologium.com/TechnologyClass01.aspx?02F0EA87FB60FF52F60FF1221203B459084E5C154D8C94B57B645EA58001BB451E4410A4192500D0BA9A3C4BA674EEB501D08258FADE51FA08016097E669DCD06ABC05100405138B63492543DED50FA02CAAB495E7E87C451AA181D644D43DBC45ADE7C264866993BA648867C32D75FD9500C584FA2324C99F316273527FACB8781E186D234A15CC>, abgerufen am 14.03.2020.

<sup>59</sup> GreatScott!: Testing LCBs (Lithium Ceramic Batteries) || The Future of Battery Technology?, 09.09.2018. <https://www.youtube.com/watch?v=kJXRyWQgOY4>, abgerufen am 14.03.2020.

<sup>60</sup> ProLogium.

<sup>61</sup> Hyundai: Der Hyundai NEXO. Zukunft für  $\text{Dich}_2$ . <https://www.hyundai.de/modelle/nexo/>, abgerufen am 15.03.2020.

<sup>62</sup> <https://h2.live/>.

<sup>63</sup> <https://e-tankstellen-finder.com/at/de/elektrotankstellen>.

# Schlusswort

Der Lithium-Ionen-Akkumulator ist eine Technik die noch in einigen Aspekten wachsen kann und wird. Aktuell setzt die Automobilindustrie auf Elektroautos mit Lithium-Ionen-Akkumulator und das wird sich voraussichtlich, in den nächsten Jahren, nicht ändern, andere Akkumulator-Techniken sind jedoch denkbar. Allerdings wird der Verbrennermotor nicht in naher (oder ferner) Zukunft von unserem Straßenbild verschwinden, da Benzin (und Diesel) als Energiespeicher dem Lithium-Ionen-Akkumulator überlegen ist. Auch wegen den Jahrzehnten von Innovation die der Ottomotor dem Lithium-Ionen-Akkumulator voraus hat werden wir von dem Verbrennermotor nicht so schnell Abschied nehmen müssen. Allerdings werden Elektromobile, und somit Lithium-Ionen-Akkumulatoren, ein großer Teil unseres Straßenbildes. Das Elektroauto wird eine Alternative und kein Ersatz. Auch das Wasserstoffauto wird seinen Platz auf unseren Straßen einnehmen. Als ultimative Lösung kann man den Lithium-Ionen-Akkumulator, ausgehend von dem was Aktuell bekannt ist. nicht bezeichnen. Doch was in ferner Zukunft liegt ist ungewiss. Große Entdeckungen kann man nur selten planen und die nächste Revolution ist vielleicht schon übermorgen.

Um die zu Beginn gestellte Frage zu beantworten. Wird der Lithium-Ionen-Akkumulator **die** Antriebstechnik der Zukunft?

Nein.

Allerdings ist die Technik der aktuell wichtigste Schritt zum emissionsfreien Fahren und somit der Antriebstechnik der Zukunft.



# Anhang



Bild 1. Akkumulator eines Tesla Model S. <https://www.forbes.com/sites/arielcohen/2020/12/30/teslas-new-lithium-ion-patent-brings-company-closer-to-promised-1-million-mile-battery/#2b03662f33e3>

## Tankzeiten

1	3:38
2	3:16
3	3:49
4	3:53
5	3:21
6	4:56
7	4:47
8	4:54
9	4:10

*Wh/kg*

Wattstunden pro Kilogramm

*Wh/l*

Wattstunden pro Liter

# Literaturverzeichnis

Jiang, Jiuchun; Zhang, Caiping: Fundamentals and Applications of lithium-Ion Batteries in Electronic cars. Singapur: Wiley, <sup>1</sup>2015.

Wakihara, Masataka; Yamamoto, Osamu: Lithium Ion Batteries. Fundamentals and Performance. Tokyo: Kodansha Ltd.; Wiley-VCH, <sup>1</sup>1998.

Rahimzei, Ehsan; Sann, Kerstin; Dr. Vogel, Moritz: Kompendium: Li-Ionen-Batterien. im BMWi Förderprogramm IKT für Elektromobilität II: Smart Car – Smart Grid – Smart Traffic. Grundlagen, Bewertungskriterien, Gesetze und Normen. Frankfurt: VDE Verband der Elektrotechnik, 2015.

Schmidt, Michael: Rohstoffrisikobewertung – Lithium. Berlin: DERA Rohstoffinformationen, 2017.

Dr. Ozawa, Kazunori; u.A.: Lithium Ion Rechargeable Batteries. Materials, Technology, and New Applications. Weinheim: WILEY VCH, <sup>1</sup>2009.

Kurzweil, Peter: Chemie: Grundlagen, Aufbauwissen, Anwendungen und Experimente. Wiesbaden: Springer-Verlag, <sup>10</sup>2015

Ducci, Matthias; Oetken, Marko: „Wie Lithiumakkus funktionieren. Sie sind die gängigen Stromquellen für moderne tragbare Elektronikgeräte. Doch einfache Versionen können sogar Laien selbst herstellen.“, in: Spektrum der Wissenschaft Nr. 7/2016.

Welter, Kira: Die Lithium-Ionen-Batterie: Eine Erfindung voller Energie, in: Chemie In Unserer Zeit, 6/2019.

Götze, Susanne: Lithium-Abbau in Südamerika. Kehrseite der Energiewende, 30.04.2019.

[https://www.deutschlandfunk.de/lithium-abbau-in-suedamerika-kehrseite-der-energiewende.724.de.html?dram:article\\_id=447604](https://www.deutschlandfunk.de/lithium-abbau-in-suedamerika-kehrseite-der-energiewende.724.de.html?dram:article_id=447604), abgerufen am 04.01.2020.

Musk, Elon: Model S Fire, 04.10.2013. [https://www.tesla.com/de\\_DE/blog/model-s-fire](https://www.tesla.com/de_DE/blog/model-s-fire), abgerufen am 22.02.2020.

EV West: Inside a Lithium Ion Electric Car Battery Cut Open by EV West, 01.07.2014. <https://www.youtube.com/watch?v=MUg9W4CbZUQ>, abgerufen am 01.03.2020.

ARIES RC: What's inside a Tesla Battery?, 16.05.2017. [https://www.youtube.com/watch?v=CxS7XeIh\\_i4](https://www.youtube.com/watch?v=CxS7XeIh_i4), abgerufen am 01.03.2020.

Rawlinson, Peter Dore: US2012160088A1 Vehicle Battery Pack Ballistic Shield, 28.06.2012. <https://worldwide.espacenet.com/patent/search/family/046315136/publication/US2012160088A1?q=pn%3DUS8286743>, abgerufen am 23.02.2020.

Tesla: Powerwall. [https://www.tesla.com/de\\_DE/powerwall](https://www.tesla.com/de_DE/powerwall), abgerufen am 01.03.2020.

Verivox: Pumpspeicherkraftwerk. <https://www.verivox.de/strom/themen/pumpspeicherkraftwerk/>, abgerufen am 03.03.2020.

Harmsen, Nicholas: South Australia's giant Tesla battery output and storage set to increase by 50 per cent, 20.11.2019. <https://www.abc.net.au/news/2019-11-19/sa-big-battery-set-to-get-even-bigger/11716784>, abgerufen am 03.03.2020.

Ilg, Peter: Ein brennendes Elektroauto lässt sich nicht löschen. Auch für die Feuerwehr werden elektrische Fahrzeuge entwickelt, die vernetzt sind und autonom fahren. Aber wie sie ein brennendes E-Auto löschen kann, ist noch unklar., 29.11.2018. <https://www.zeit.de/mobilitaet/2018-11/elektromobilitaet-elektroautos-motoren-feuerwehr-sicherheit>, abgerufen am 24.02.2020.

Rudschies, Wolfgang: Elektroauto-Akkus: So funktioniert das Recycling, 13.12.2019. <https://www.adac.de/rund-ums-fahrzeug/elektromobilitaet/info/elektroauto-akku-recycling/>, abgerufen am 06.03.2020.

Wetzel, Daniel: Das zweite Leben der Batterie, 07.05.2019. [https://www.welt.de/print/welt\\_kompakt/print\\_politik/article193054623/Das-zweite-Leben-der-Batterie.html](https://www.welt.de/print/welt_kompakt/print_politik/article193054623/Das-zweite-Leben-der-Batterie.html), abgerufen am 06.03.2020.

Winterhagen, Johannes: So werden Lithium-Ionen-Akkus recycelt. Die Zellen der Lithium-Ionen-Akkus müssen vor der Wiederverwertung ausgebaut werden. Es gibt zwei Verfahren für das Recycling., 02.11.2019. <https://www.faz.net/aktuell/technik-motor/technik/so-werden-lithium-ionen-akkus-recycelt-16454686.html>, abgerufen am 06.03.2020.

Volkswagen AG: Der neue e-up!. <https://www.volkswagen.de/de/modelle-und-konfigurator/e-up.html>, abgerufen am 07.03.2020.

Renault SA: Der neue Renault ZOE. <https://www.renault.de/modellpalette/renault-modelluebersicht/zoe.html>, abgerufen am 07.03.2020.

Tesla, Inc.: Model 3 Konfigurator. [https://www.tesla.com/de\\_de/model3/design#battery](https://www.tesla.com/de_de/model3/design#battery), abgerufen am 07.03.2020.

Google: Google Maps Routenplaner. <https://goo.gl/maps/Gxyks3yqAfX8VxDN9>, abgerufen am 07.03.2020.

Eisenstein, Paul A.: AAA confirms what Tesla, BMW, Nissan electric car owners suspected — cold weather saps EV range. Even turning on the car drains power, 07.02.2019. <https://www.cnbc.com/2019/02/06/aaa-confirms-what-tesla-bmw-nissan-ev-owners-suspected-of-cold-weather.html>, abgerufen am 08.03.2020.

Tesla: Wandladestation silberfarben. [https://shop.tesla.com/de\\_de/product/wandladestation-silberfarben](https://shop.tesla.com/de_de/product/wandladestation-silberfarben), abgerufen am 08.03.2020.

[https://abetterrouteplanner.com/?plan\\_uuid=f786347b-d94d-49ca-898e-30683beaeb21](https://abetterrouteplanner.com/?plan_uuid=f786347b-d94d-49ca-898e-30683beaeb21).

[https://abetterrouteplanner.com/?plan\\_uuid=1422c8bc-9af3-4e45-bb3b-10b90797a030](https://abetterrouteplanner.com/?plan_uuid=1422c8bc-9af3-4e45-bb3b-10b90797a030).

ProLogium: LCB Technology. <http://www.prologium.com/TechnologyClass01.aspx?02F0EA87FB60FF52F60FF1221203B459084E5C154D8C94B57B645EA58001BB451E4410A4192500D0BA9A3C4BA674EEB501D08258FADE51FA08016097E669DCD06ABC05100405138B63492543DED50FA02CAAB495E7E87C451AA181D644D43DBC45ADE7C264866993BA648867C32D75FD9500C584FA2324C99F316273527FACB8781E186D234A15CC>, abgerufen am 14.03.2020.

GreatScott!: Testing LCBs (Lithium Ceramic Batteries) || The Future of Battery Technology?, 09.09.2018. <https://www.youtube.com/watch?v=kJXRyWQgOY4>, abgerufen am 14.03.2020.

Hyundai: Der Hyundai NEXO. Zukunft für Dich<sub>2</sub>. <https://www.hyundai.de/mo-delle/nexo/>, abgerufen am 15.03.2020.

<https://h2.live/>.

<https://e-tankstellen-finder.com/at/de/elektrotankstellen>.