

Vor- und Nachteile eines Elektromotorrads

Facharbeit

Geschwister-Scholl-Gymnasium Fürstenwalde

eingereicht von: [REDACTED]

eingereicht bei: [REDACTED]

Klasse

Jahr [REDACTED]

Fürstenwalde, den [REDACTED]

[Geben Sie Text ein]

Vorwort

Ich danke meinem Vater [REDACTED] denn er hat mir beim Recherchieren sowie bei der Beschaffung weiterer Quellen geholfen, durch seine Hilfe hatte ich das Grundgerüst und es fiel mir einfacher zu recherchieren. Außerdem danke ich [REDACTED], da sie mir bei der Gliederung geholfen hat und meine Arbeit so lenken konnte, dass sie nicht vom „roten Faden“ abschweift. Meine Schwester war ebenfalls eine große Hilfe für mich, da sie gute Formulierungen sowie Tipps für mich hatte.

[REDACTED]

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung.....	3
2. Lithium-Ion Akkumulator	3
2.1 Aufladen.....	4
2.2 Entladen.....	4
2.3 Allgemein	5
3. Motor	6
4. Marken.....	8
5. Vor- und Nachteile	8
6. Eigenanteil.....	9
7. Fazit.....	11
8. Abbildungsverzeichnis	12
9. Literatur- und Quellenverzeichnis.....	13
10. Eigenständigkeitserklärung	14

1. Einleitung

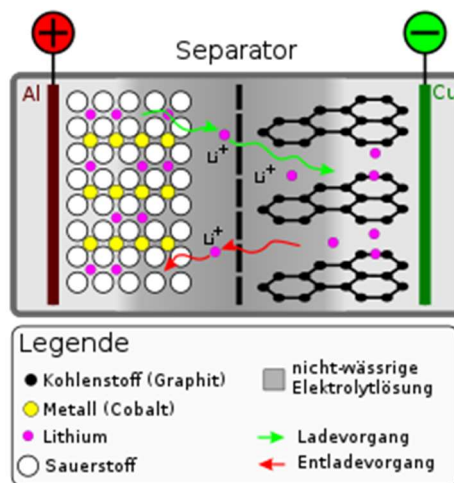
Bei einem Elektro-Motorrad (EM) liegen die Hauptunterschiede im Vergleich zu einem Motorrad, welches mit einem Verbrennungsmotor (VMM) betrieben wird, im Aufbau, beim Akku und beim Motor. Hinzu kommt, dass ein EM natürlich keinen Tank enthält, somit ändert sich der Aufbau und auch die Gewichtsverteilung verhält sich anders. Es gibt noch mehrere kleine Unterschiede, die hier nur erwähnt werden sollen, während auf die bereits genannten spezifisch eingegangen wird. In meiner Arbeit steht der Motor sowie der Akkumulator im Mittelpunkt, da sie die Hauptdifferenz bilden.

2. Lithium-Ion Akkumulator

Ein Lithium-Ionen-Akkumulator oder Lithiumionen-Akku funktioniert folgendermaßen: Auf der einen Seite befindet sich C-Kohlenstoff und auf der anderen ein Metall-Oxid Gemisch, in welchem Lithium enthalten ist. Außerdem ist auf der Seite, auf der sich das Lithium befindet, eine Aluminiumelektrode, (rot auf der Abbildung) auf der anderen Seite eine Kupferelektrode (grün auf der Abbildung). Beide sind voneinander durch einen Separator getrennt (schwarz auf der Abbildung), welcher nur dem Lithium gegenüber durchlässig ist. Ohne den Separator entstünde ein Kurzschluss. Damit sich das Lithium in dem Akku frei bewegen kann, gibt es eine „Transportmedium“, bestehend aus Elektrolyten. Als Elektrolyt versteht man eine anorganische Leitsalz-Lösung (z.B. LiPF_6 mit Wasser). Desto weniger Wasser in der Lösungen enthalten ist, desto besser transportiert sie das Lithium. Die Seite mit der Aluminiumelektrode ist hierbei die Kathode (+) und die Kupferelektroden-seite die Anode (-). Wenn der Akkumulator nicht geladen ist, sind die Lithium-Ionen (rosa auf der Abbildung) mit dem Metallgemisch auf der Seite der Aluminiumelektrode. Eine der möglichen Kombinationen des Metall-Oxid Gemischs ist Lithium-Cobalt-Dioxid (LiCoO_2). Die Oxidationszahlen sind für Li^{+1} , Co^{+3} , und für O^{-2} . Das bedeutet sie sind ungeladen (neutral). Der Kohlenstoff dient lediglich der Lagerung des Lithiums, da er hier nur als Speichermedium fungiert und die Reaktion nicht beeinflusst.

2.1 Aufladen

Wenn eine externe Spannung angelegt wird (aufladen), geben die Cobalt-Ione ihre Elektronen ab und werden dadurch positiv geladen bzw. weiter oxidiert (Co^{+III} wird zu Co^{+IV}). Die Elektronen bewegen sich zur Aluminiumelektrode über die externe Spannung zur Kupferelektrode. Ohne das Lithium-Ion wäre es jetzt wieder neutral ($\text{Co}^{+IV} \text{O}_2^{-II}$). Die Seite würde sich positiv aufladen und um dem entgegen zu wirken „wandern“ die positiv geladenen Lithium-Ionen zum Graphit bzw. Kohlenstoff (grüner Pfeil) und verbinden sich dort mit den Elektronen vom Cobalt. Hier ist der Separator sehr wichtig, denn er besteht aus mikroporösem Kunststoff, welcher wie ein Filter agiert, der nur die kleinen Atome oder Moleküle durchlässt, wie hier das Lithium. Das Sauerstoff-Ion sowie das Cobalt-Ion sind zu groß. Das Lithium lagert sich in die Schichtstruktur des Kohlenstoffs (auf der Abbildung, schwarze Sechsecke) ein und wenn alle Lithium-Ionen auf der Seite des Graphits sind ist der Akkumulator komplett geladen.



Physischer Aufbau Akkumulator innen

2.2 Entladen

Bei der Entladung gibt das Lithium seine Elektronen ab (das Normalpotential bei 25°C ist -3,04). Das ist ein sehr niedriger Wert, somit gibt das Lithium seine Elektronen sehr leicht ab (hierbei ist das Problem, dass der Wert so gering ist, dass der Akkumulator sich selbstständig entlädt. Dies tut er nur langsam und geringfügig, dennoch geschieht es).

Die Elektronen fließen zum Verbraucher (z.B. dem Motor/ dem Vorderlicht) und dann weiter zum Cobalt-Oxid. Das Cobalt-Oxid erhält das Elektron und eine einfach negative Ladung entsteht ($\text{Co}^{+IV} + e^- + \text{O}_2^{-II}$ reagiert zu $\text{Co}^{+III} + \text{O}_2^{-II}$). Das auf der anderen Seite gelagerte Lithium geht zurück zum Cobalt-Oxid. Nun ist die Ladung ausgeglichen; die Elektronenabgabe geschieht, bis alle Elektronen abgegeben wurden bzw. bis alle Lithium-Ionen auf der Seite des Cobalt-Oxides sind. Wenn alle Lithium-Ionen übergelaufen sind, ist der Akkumulator vollkommen entladen und ein Ladezyklus ist beendet.²

2.3 Allgemein

Nach vielen Ladezyklen verändert sich die kristalline Form des Lithiums³, somit werden immer weniger Lithium-Ionen aktiviert und die insgesamte Speicherkapazität sinkt. Ein Akkumulator mit aktiver Kühlung hält ca. 1000 bis 1500 Ladezyklen aus, bis seine maximale Energiespeicherkapazität auf unter 90% der ursprünglichen Maximalkapazität sinkt. Wenn Strom aus dem Akku genutzt wird, dann erhitzt er sich. Bei Autos wird deshalb eine aktive Kühlung eingesetzt. Beiden meisten Motorrädern gibt es allerdings keine aktive Kühlung; der Akkumulator wird meist von der Luft gekühlt (bzw. passiv gekühlt) und im Falle einer Überhitzung gibt es eine Art „Schutzsoftware“ die, die Maximalgeschwindigkeit einschränkt und somit den Akkumulator vor Überhitzungen schützt. Daraus folgt eine verbesserte Lebensdauer (mehr Ladezyklen vor dem Kapazitätsverlust des maximalen Energiespeichers). Eine neue Technologie, entwickelt von Tesla, ermöglicht deutlich langlebigere Akkus. Die Kerntechnologie besteht aus dem Metallgemisch „NMC“ namens Single Crystal. NMC ist die Abkürzung für die drei Elemente Nickel, Mangan und Cobalt. Der Schlüssel ist die Kombination aus Nickel und Mangan. Nickel bringt die hohe spezifische Energiedichte in die Zelle, doch es ist auch für die instabile Elektrodenstruktur verantwortlich. Mangan sorgt hier für die geringen Innenwiderstände; hat allerdings eine schlechte spezifische Energiedichte. Diese beiden Metalle reduzieren gegenseitig ihre Nachteile (bzw. „schwächen“) und schaffen somit einen guten Ausgleich aus geringem Innenwiderstand und Spezifischer Energiespeicherkapazität. Das Cobalt *soll* sein Elektron abgeben um das Lithium-Ion auf die andere Seite zu bewegen. Dadurch *soll* die Lebensdauer des Akkumulators zwei- bis drei-mal länger sein. Rund 6000 Ladezyklen *sollen* mit einem aktiven Kühlsystem

² Quelle, paraphrasiert

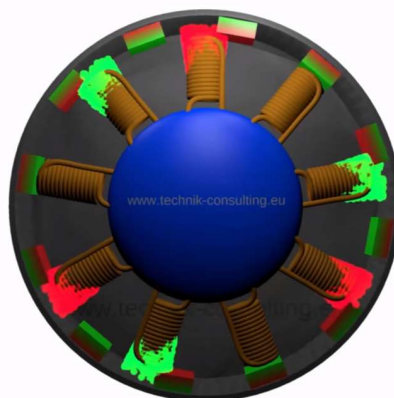
³ Quelle,

möglich sein. Eine weitere Entwicklung ist die Festkörperbatterie. Diese wird sicherlich auch eine große Rolle spielen, allerdings ist sie zurzeit noch nicht marktfähig, da sie noch kein gutes Preis-Leistungsverhältnis bieten kann. Eigentlich sind Festkörperbatterien den Lithium-Ion Akkumulatoren nicht unähnlich; im Grunde benutzt man einen festen Elektrolyten statt der Flüssigkeit, dieser ist allerdings kein so gutes Transportmedium. Ein Vorteil der Festkörperbatterie ist, dass sie auf Lithium verzichtet und auf Natrium baut. In einem Lithium-Ion Akkumulator wird auch Cobalt verbaut, welcher ist wie Lithium ein seltenes Element ist. Lithium hat ganz klar eine höhere Energiedichte als Natrium, ist aber deutlich seltener und somit teurer. Schlussfolgernd ist die Festkörperbatterie umweltfreundlicher als der Lithium-Ionen Akkumulator und wird wahrscheinlich bald auf dem Markt erscheinen.

3. Motor

Für Elektromotoren gelten folgende Grundregeln: zwei Magnete können einander anziehen oder abstoßen, wobei verschiedene Pole sich anziehen und identische sich voneinander abstoßen. Außerdem kann ein nicht magnetisches Eisenstück durch elektrischen Strom magnetisiert werden. Die Elektromotoren bestehen grundsätzlich aus 2 Teilen, dem Rotor (der Körper, das sich dreht) und der Stator. In einem Motor kommen aber nicht permanente Magnete zum Einsatz, sondern Elektromagnete. Diese bestehen aus einem leitfähigen Medium (z.B. Kupferdraht) durch den Strom fließt. Um solch einen Magneten zu erstellen muss man ein lackiertes Kupferdraht mehrmals um das ferromagnetische Element (Eisen, Ferrite, etc.) wickeln und es an eine Batterie anschließen. Wenn durch den lackierten Kupferdraht Strom fließt, entsteht ein Elektromagnet (hier Rotor oder Anker). Wenn der Strom andersherum durch den Rotor läuft wird er umgepolt. Das andere Teil, welches zum E-Motor gehört ist der Stator: dieser ist magnetisch und fest mit dem Außengehäuse des Motors verbunden. Es handelt sich um einen unbeweglichen Magneten. Zwischen den Polen des Stators ist der Rotor, er befindet sich auf der Motorachse und ist in der Lage sich zu drehen. Damit der Rotor Strom kriegt, um zu einem Elektromagneten zu werden, gibt es zwei Schleifkontakte. Diese sind mit dem Kommutator (auch Polwender genannt) verbunden und sorgen mit ihm für die Umpolung des Rotors. Ohne diese würde der Rotor im Stator nach einer halben Umdrehung stehenbleiben, da der Südpol des Rotors dem Nordpol des Stators gegenüberstände und umgekehrt. Allerdings läuft ein Motor mit einem zwei-köpfigem Rotor nicht mit Sicherheit in die richtige Richtung (beim Starten) deswegen

braucht man einen drei- oder mehrköpfigen Rotor, da er sich somit nicht in die falsche Richtung drehen kann. Viele E-Motoren haben Betriebskondensatoren, die dafür sorgen, dass der Motor sowie in die richtige Richtung dreht. Der Gleichstrommotor ist aber für ein Motorrad nicht bestens geeignet. Die Hauptgründe sind die Empfindlichkeit der Polwender-Kontakte und die Einschränkung der guten Leistung (in kW) in einem engen Drehbereich. Eine viel bessere Option ist der BLDC-Motor, BLDC steht für **B**rush**L**ess **D**irect **C**urrent Motor, also Gleichstrommotor ohne Gleitkontakte. Dieser eignet sich (gut) als Motor sowie Generator für das regenerative Bremssystem. Der BLDC Motor hat bei allen Drehzahlen eine hohe Effektivität (Drehmoment). Die leichte Steuerung wird durch die Stromzufuhr ermöglicht, denn die Drehzahl ist von ihr abhängig. Bei einer geringen Stromzufuhr sind es vergleichsweise wenig Umdrehungen; bei einer hohen Stromzufuhr sind Stromkonsum und Motorumdrehungen hoch. Im Motor gibt es mehrere Spulen, welche magnetisiert werden wenn Strom sie durchfließt (in der Abbildung braun, Magnetismus symbolisiert durch grünes/rotes Licht). Ob dieser positiv oder negativ wird hängt von der Richtung des Stromflusses ab. Es sind mehrere Magnete im Inneren des Rades befestigt, mit einer abwechselnder pol Ausrichtung. (siehe Abbildung)



4

Die Spulen „ziehen“ sich an die befestigten Magneten, sobald sie da sind wird die Stromzufuhr gestoppt (auf der Abbildung sind das die Spulen ohne Licht), die Spule ist nicht mehr magnetisch. Sobald sie am befestigten Magneten vorbei ist, fließt wieder Strom diesmal in die andere Richtung (die Spule ist umgepolt). Nun drückt sie sich vom letzten Magneten weg und zieht sich zum Neun (siehe Abbildung). Mit mehreren Spulen sowie Magneten entsteht so ein Kreislauf, der zum Fahren eines EM führt. Eine sehr lineare Steuerung zwischen Drehen am „Gas-Griff“ und Drehzahl des Motors ist somit möglich, sie wird in einer elektronischen Steuereinheit (BLDC Controller) realisiert.

⁴ Bild

Verglichen mit einem Verbrennungsmotor, ist also der Elektromotor kleiner, leichter, einfacher und effizient in weite Drehzahlbereiche. Das ist dem Verbrenner gegenüber ein großer Vorteil, dieser ist nämlich nur bei einer bestimmten Drehzahl effizient. Um aber auch in anderen Drehzahlbereichen des Motors effizient sein zu können, muss bei den Verbrennungsmotoren ein Mehrganggetriebe verbaut werden. Dieses sorgt unter Anderem für die fünf bzw. sechs Gänge, es verändert die Drehzahl von der Pleuelstange zur Achse, damit man in „jeder“ Geschwindigkeit eine hohe Leistung erreicht (PS). Diese Bauteile sind schwer, ein „typischer Verbrennungsmotor Gewicht ~180 kg Leistung ~140 kW Gewicht/Leistung ~ 0.8 kW/kg“ „Tesla-Induktionsmotor Gewicht 31.8 Leistung 270 kW Gewicht/Leistung 8.5 kW/kg.“⁵

4. Marken

Es gibt weltweit lediglich eine EM Marke die sich nur darauf konzentriert hat, EM herzustellen: es ist die kalifornische Firma Zero. Zero baute sein erstes Prototyp-Motorrad 2006 in Santa Cruz, Kalifornien. Vier Jahre später fingen sie an ihr erstes EM zu verkaufen, die Zero S. 2018 hatte Zero sechs Modelle auf dem Markt. Mittlerweile sind unter anderem Marken wie KTM oder Harley-Davidson auch in die Branche eingestiegen. Einige Firmen wie BMW oder Ducati sind dabei, EM in Planung zu nehmen und diese werden demnächst auf dem Markt erscheinen.

5. Vor- und Nachteile

Als Konsequenz der oben angeführten Unterschiede, ist der Gewichtsunterschied bei vergleichbarer Leistung ein weiteres Merkmal: ein Elektromotorrad unterscheidet sich zu einem VMM vor allem durch den Gewichtsschwerpunkt, denn bei dem EM ist dieser Motor bei weitem nicht so schwer wie bei einem Verbrenner. Bei einem EM ist das schwerste Teil der Akku, am Beispiel von Zero SR, Gesamtgewicht 188kg. Sie hat eine Leistung von 69 PS (52 kW). Die vergleichbare Suzuki Gladius 650 wiegt 206 kg und hat 72Ps (53 kW). Die 14,5 L im Tank der Gladius wiegen $\approx 12,8\text{kg}$. Wie viel der Akku oder der Motor einer SR wiegt ist nicht bekannt, allerdings besteht der Rahmen aus Aluminium und es sind viele Carbon-Teile verbaut. Dies sorgt für wenig Gewicht. Der restliche Hauptbestandteil des Gewichtes ist der Akku, er ist in der Mitte des Motorrads

⁵ Zitat, Quelle: <https://www.youtube.com/watch?v=RB-TeOTxqkY>

verbaut und entscheidet den Schwerpunkt. Der Akkumulator ist meist auf der Motorhalterungsstange (tief). Der Motor ist verhältnismäßig weiter hinten bzw. im Hinterrad. Das macht das abrupte Bremsen etwas sicherer, da sich viel Gewicht im hinteren Teil des Motorrads befindet und die Gefahr eines Überschlages verringert wird. Diese wird allerdings auch durch das regenerative Bremssystem⁶ verringert. Das EM liegt außerdem besser in der Kurve, zum Teil weil es leichter ist aber auch wegen der genannten Schwerpunktunterschiede. Die kurze Anspruchszeit=(die Zeit vom Drehen des „Gasgriffs“ bis zur Beschleunigung/Reaktion des Motors) sorgt auch für eine verbesserte Beschleunigung was vor allem für das Fahren in der Stadt ein großer Vorteil ist. Der Elektromotor macht fast keine Geräusche bzw. ist lautlos. Ein anderer großer Vorteil ist das Sparen bei den Wartungs- und Betriebskosten (Ölwechsel, komplizierte Motorreparatur, Kette einstellen etc.) ist bei einem EM nicht notwendig. Die zwei bedeutendsten Aspekte die gegen das EM sprechen, sind der Preis und die Reichweite. Akkumulatoren sind technologisch noch lange nicht auf demselben Forschungsstand wie ein herkömmlicher Verbrenner. Die Technologieentwicklung eines Verbrennungsmotors begann 1862 (Ottomotor), die eines Lithium-Ionen Akkumulatoren erst 1982. Schlussfolgernd ist zu sagen, dass sich die Technologie auf jeden Fall weiterentwickeln wird und die Reichweite somit kein Problem mehr darstellen wird. Außerdem können bestimmte seltene(/teure) Metalle ersetzt werden z.B. Lithium in der Festkörperbatterie.

6. Eigenanteil



Abbildung 7. Akkusatz + Punktschweißgerät

⁶ ein sanfteres Abbremsen, wobei Energie zurück gewonnen wird, der BLDC Motor ist hier der Generator.

⁷ Bild

Auf der linken Seite befindet sich das Punktschweißgerät. Bei den Akkumulatoren habe ich ihn verwendet, um die jeweils voneinander getrennten Akkuzellen zusammen zu bringen, sodass sie sich zusammen aufladen sowie entladen. Damit sie verbunden sind ist oben und unten eine Nickelschiene die am Pluspol sowie am Minuspol festgeschweißt ist. Um das zu erreichen nimmt man die Anode sowie Kathode und hält sie an den Punkt wo man die Schweißnaht haben möchte, schließlich lässt man den Strom im Kondensator fließen, (bei mir ausgelöst durch ein Pedal). Wenn das passiert hat man eine Art Einkerbung in der Nickelschiene, die mit dem Akkumulator verbunden ist. Der Akkumulator ist angeschlossen. Auf dem unteren Bild sind die Schweißnähte leicht erkennbar

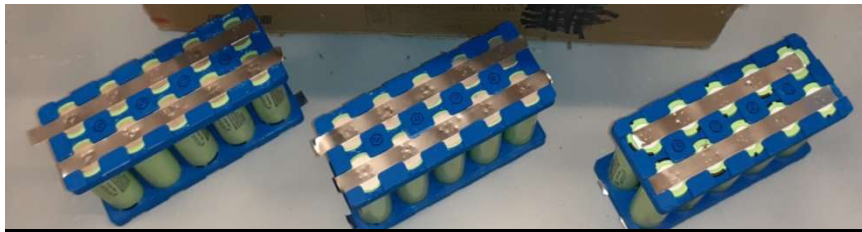


Abbildung 8. Akkumulatorsatz Nahaufnahme

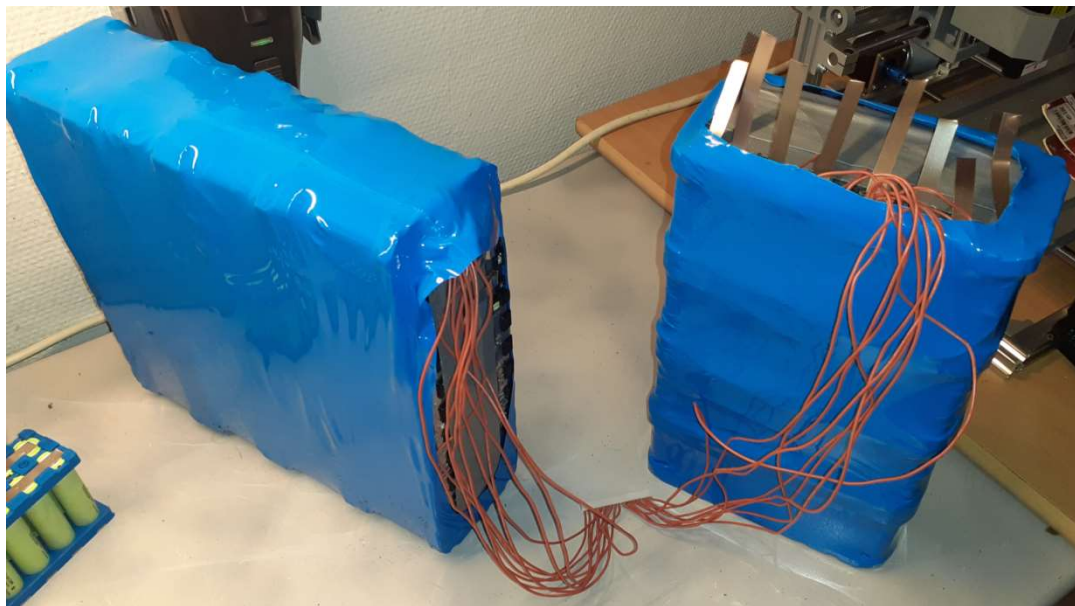


Abbildung 9. Akkumulatorsatz im Schrumpffolienpack + angeschlossenes Kabel

Das Zusammengeschweißte Akkumulatoren Dutzend wird übereinandergestapelt. Die Nickelschienen werden an ein Kabel geschweißt (selbe Methode), pro Nickelschiene ein

⁸ Bild

⁹ Bild

Kabel, diese werden später dazu genutzt den Akkumulator aufzuladen bzw. entladen. Die Folie wird genutzt um die Akkumulatoren zu verpacken, damit sie zusammenhaken.

7. Fazit

Zusammenfassend lässt sich zu diesem Thema sagen, dass Elektromotoren in naher Zukunft sehr wichtig sein werden. Die Energiezufuhr dieser Motoren wird dabei eine große Rolle spielen und sich sicherlich weiterentwickeln. Über die Mobilität lässt sich sagen, dass sie sich verändern wird und die leichten umweltfreundlicheren Festkörperbatterien werden da zum Einsatz kommen. Heutzutage ist die Mobilität leider noch sehr eingeschränkt dennoch bin ich zuversichtlich das neue Ideen sowie Revolutionen in der Energiespeicherbranche stattfinden werden. Letzten Endes ist zu sagen, dass sich EM auf lange Zeit mehr lohnen als VMM, aber durch die stark eingeschränkte Reichweite nur in der Stadt zu empfehlen sind.

8. Abbildungsverzeichnis

¹Bild: Spieler, Florian: Übungen im Vortragen mit Demonstrationen – AC. 13.07.18.<
<http://daten.didaktikchemie.uni-bayreuth.de/umat/lithiumionenakku/lithiumionenakku.htm>>[20.01.2020].

⁴Bild: Brunner, Dirk: Funktionsweise brushless Motor - einfach erklärt (Videoausschnitt
1;58 Minute).17.08.2015.< <https://www.youtube.com/watch?v=7oNz0eeWcCE>>[
20.01.2020].

^{7, 8 & 9}Bild:  Eigenfotografie.18.01..

9. Literatur- und Quellenverzeichnis

Voß, Michael: MOTORRAD. <https://www.autobild.de/motorrad_11737485.html>[20.01.2020].

Codu Motors GmbH: Suzuki SFV 650 Gladius. <<https://www.codumotors.de/de/motorrad-modell-suzuki-sfv-650-gladius-3880-2017>>[20.01.2020].

Motorrad: naked bike. <<https://www.motorradonline.de/naked-bike/dauertest-abschlussbilanz-suzuki-sfv-650-die-50000-kilometer-der-suzuki-gladius/>>[20.01.2020].

Brunner, Dirk: Funktionsweise brushless Motor - einfach erklärt. 17.08.2015. <<https://www.youtube.com/watch?v=7oNz0eeWcCE>>[20.01.2020].

Quelle 3: Mathew, Sabin: Wie funktioniert ein Elektroauto ? | Tesla Model S. 12.07.2017. <<https://www.youtube.com/watch?v=RB-TeOTxqkY>>[20.01.2020].

Hörner, Erhard: Elektromotor - einfach erklärt. 15.04.2015. <<https://www.youtube.com/watch?v=glUcvuBfV9o>>[20.01.2020].

Häusser, Philip: Teslas neue Super-Batterie: 1,6 Millionen km mit dem E-Auto! | BreakingLab. 26.11.2019 <<https://www.youtube.com/watch?v=Uva8GFkZQbg>>[20.01.2020].

3. Quelle: Giesecke, Alexander: Lithium-Ionen-Akku - Der Held des Tages • Gehe auf SIMPLECLUB.DE/GO & werde #EinserSchüler. 26.02.2017. <<https://www.youtube.com/watch?v=tDj6sy-Gil>>[20.01.2020].

Mathew, Sabin: Die Li-Ionen-Batterie. Wie funktioniert sie?. 18.06.2019. <<https://www.youtube.com/watch?v=yYINZqCJ9U4&t=400s>>[20.01.2020].

Häusser, Philip: Festkörperbatterien - Zukunft des E-Autos und mehr! | Breaking Lab. 12.12.2019. <<https://www.youtube.com/watch?v=DEsT8Z2XVzE>>[20.01.2020].

10. Eigenständigkeitserklärung

Ich erkläre hiermit, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig verfasst und alle Formulierungen, die wörtlich oder dem Sinn nach aus anderen Quellen entnommen wurden, kenntlich gemacht habe. Aus dem Internet verwendete Informationen sind mit Angabe der vollständigen URL und dem [Abrufdatum] enthalten. Sofern sich herausstellt, dass die Arbeit oder Teile darin ohne Zitat- bzw. Quellenverweis vorgelegt wurde, werden diese als nicht geschrieben gewertet, bei größerem Umfang wird die Facharbeit mit der Note „Ungenügend“ bewertet. Ich erkläre mich damit einverstanden, dass die Arbeit für schulische Zwecke genutzt werden kann.

Fürstenwalde, den _____