

Workshop zur Physik der Energiespeicherung

Thomas Krauß*, Silvana Fischer*, Holger Cartarius*

*AG Fachdidaktik der Physik und Astronomie, Friedrich-Schiller-Universität Jena, 07743 Jena
t.krausse@uni-jena.de

Kurzfassung

Das Thema erneuerbare Energien wird heutzutage in der Schule intensiv behandelt. Ein Beispiel dafür ist das Wahlpflichtfach Naturwissenschaften und Technik an Thüringer Schulen. Ein wichtiges Thema hierbei ist die Speicherung von Energie, da die elektrische Energie oft nicht dann zum Einsatz kommen kann, wenn sie gewonnen wird. Für die Speicherung gibt es eine Reihe von Möglichkeiten, welche aber unterschiedliche Wirkungsgrade oder technische Umsetzungsmöglichkeiten besitzen. In einem Experimentier-Workshop für das 2. MINT-Festival Jena sollen die physikalischen Hintergründe so aufbereitet werden, dass Schülerinnen und Schüler der Sekundarstufe II die verschiedenen Möglichkeiten selbst testen und unter die Lupe nehmen können. Erneuerbare Energien müssen nicht nur gewonnen, sondern auch gespeichert werden. Wir stellen in Konzepten für Stationen vor, wie sich die Themen experimentell in einem Workshop umsetzen lassen, da Experimente zum Thema schnell einen Rahmen annehmen, der die Möglichkeiten im Unterricht übersteigt.

1. Einleitung

Ein wichtiges Thema in der heutigen Gesellschaft ist der Klimawandel. Nicht nur in den Medien taucht es immer wieder auf, sondern auch in der Schule. So ist das Thema der Energieversorgung im sächsischen Lehrplan im Fach Physik zu finden [1]. Schon in der Klassenstufe 9 wird die Energieversorgung durch Kraftwerke behandelt. Dabei wird auf die Diskussion einer nachhaltigen Entwicklung und der Konsequenzen der Energieversorgung für die Gesellschaft Wert gelegt [1]. Im Thüringer Lehrplan ist die Energieversorgung ein bedeutendes Thema im Lehrplan des Wahlpflichtfachs Naturwissenschaften und Technik. Sie wird insbesondere in der Klassenstufe 10 thematisiert [2]. Hier werden explizit die nachhaltige Energieversorgung und die Nutzung regenerativer Energien erwähnt. Aber auch Speichersysteme, wie zum Beispiel Pumpspeicherkraftwerke, werden dort genannt [2].

Die Thematik der erneuerbaren Energien bietet sich für eine Vertiefung im Unterricht an. Schülerinnen und Schüler setzen sich mit Themen der Nachhaltigkeit und des Umweltschutzes intensiv auseinander. Ein deutliches Zeichen dafür ist die weltweit aktive „Fridays For Future“-Bewegung. Dabei gehen insbesondere auch in Deutschland Jugendliche auf die Straße, um sich für einen klimapolitischen Wandel auszusprechen und sich somit dafür einzusetzen, mehr auf regenerative Energien und die zugehörige Speicherung zu setzen [3].

Regenerative Energien sind im Kontext des Klimawandels von großer Wichtigkeit. Es ist daher nur

selbstverständlich, dass es bereits entwickelte Workshops gibt, die das Thema aufgreifen. Als Beispiel möchten wir die „Ideenwerkstatt von morgen“ [4], welche sich speziell an Schülerinnen und Schüler richtet, eine Fortbildung für Erziehende zum Thema Erneuerbare Energien [5] oder die Sammlung „Erneuerbare Energien im Experiment“ [6] nennen. Das Thema der Energiespeicherung ist jedoch in einem viel geringeren Maße vertreten. Wir möchten es aufgreifen und experimentell umsetzen.

In vielen Fällen der Gewinnung elektrischer Energie aus regenerativen Quellen stellt sich das Problem, dass viele Energieträger, zum Beispiel die Wind- oder Sonnenenergie, nicht genau dann in dem Maß zur Verfügung stehen, wie die elektrische Energie benötigt wird. Um das abzufangen, kommen regenerative Speichermedien zum Einsatz. Dabei gibt es eine Reihe von Möglichkeiten, welche aber unterschiedliche Wirkungsgrade oder technische Umsetzungsmöglichkeiten besitzen. Diese verschiedenen Möglichkeiten möchten wir im Workshop modellhaft aufarbeiten, um diese den Schülerinnen und Schülern experimentell näher zu bringen.

Ein außerschulischer Workshop eignet sich aus unserer Sicht besonders für diese Thematik. Will man aussagekräftige Experimente erhalten, werden teilweise große Aufbauten benötigt, die im Schulbetrieb nicht umgesetzt werden können. Will man quantitative Auswertungen erhalten und verschiedene Typen der Energiespeicherung vergleichen, ist mit einem halbtägigen Experimentierprogramm zu rechnen. Ein solches Programm lässt sich oft nur schwer in den Schulalltag eingliedern.

Wir stellen in diesem Artikel das Konzept für Stationen in einem Workshop vor, der aktuell für das 2. MINT-Festival Jena entwickelt wird. Dazu gehen wir zunächst in Kapitel 2 auf die Ziele des Workshops ein. In Kapitel 3 stellen wir beispielhaft die Konzepte für vier verschiedene Versuche vor, die alle auf anderen physikalischen Energieformen bestehen. In Kapitel 4 geben wir einen Ausblick auf die weitere Arbeit.

2. Zielsetzung und Anknüpfung an den Unterricht

Ein Workshop zur Energiespeicherung deckt viele Themenfelder ab und eignet sich daher, gleich mehrere Ziele anzustreben. Wir setzen uns vier Ziele.

Das erste Ziel ist die Verdeutlichung der Notwendigkeit der Energiespeicherung im Kontext erneuerbarer Energien. Wie oben schon erwähnt wurde, wird dieser Aspekt seltener behandelt als die Gewinnung elektrischer Energie aus regenerativen Quellen. Den Schülerinnen und Schülern soll verdeutlicht werden, dass es nicht ausreichend ist, erneuerbare Energien zu nutzen. Da die dabei gewonnene elektrische Energie meist nicht sofort umgesetzt werden kann, muss man die überschüssige Energie speichern können. Wir benötigen also Speichermedien.

Aufgrund der großen technischen Breite an Möglichkeiten zur Energiespeicherung und dem dafür benötigten Hintergrundwissen bietet sich der Workshop an, Themen aus dem Physikunterricht zu wiederholen und vertiefen. Dies ist unser zweites Ziel. Basis ist für uns der Thüringer Lehrplan [2]. Aus der Doppelklassenstufe 7/8 wird der Druck, insbesondere in Form des Luftdrucks, als physikalische Größe benötigt. Darüber hinaus greifen wir auf die mechanische Energie aus derselben Doppelklassenstufe zurück. Aus dem Themenkomplex des elektrischen Stromkreises benötigen wir vor allem die Kenntnisse über die physikalischen Größen der Elektrizität. Dies sind insbesondere die elektrische Stromstärke und die Spannung. Aus der Doppelklassenstufe 9/10 sind wir auf die Grundlagen zum Magnetismus und dessen Wirkung angewiesen. Vor allem die Anwendungen in Elektromotor und Generator ist hierbei wichtig, um zu wissen, wie in unseren Experimenten der Antrieb und die Umwandlung elektrischer in mechanische Energie (bzw. umgekehrt) funktionieren. Eine wichtige Kenngröße dazu ist der Wirkungsgrad. Dessen Bestimmung wird für technische Geräte im Thüringer Lehrplan der Doppelklassenstufe explizit als Projektvorschlag genannt. Weiterhin benötigen wir den Energieerhaltungssatz beziehungsweise die Energiebilanz. In der Sekundarstufe II, in der die Schülerinnen und Schüler den Workshop besuchen werden, werden die Bestimmung und Berechnung von Wirkungsgraden ein weiteres Mal explizit

angesprochen. Es bietet sich an, das direkt mit dem Workshop zu verknüpfen. Darüber hinaus werden in der Sekundarstufe II das Laden und Entladen von Kondensatoren behandelt, was ebenfalls im Workshop thematisiert wird.

Der Workshop geht jedoch auch über den Lehrplan hinaus und bietet die Möglichkeit, aufzuzeigen, dass die Physik noch viele interessante Themen bereit hält, was für uns explizit ein drittes Ziel ist. So kommt das Trägheitsmoment vor. Dies bietet die Möglichkeit, mit interessierten Schülerinnen und Schülern fortgeschrittene Themen, wie die Drehbewegung oder den Drehimpuls, zu diskutieren.

Neben diesen inhaltlichen Zielen haben wir uns als viertes Ziel des Workshops gesetzt, den Schülerinnen und Schülern das Experimentieren näherzubringen und es in die naturwissenschaftliche Arbeitsweise einzubetten. Da der Workshop an Schülerinnen und Schüler der Sekundarstufe II gerichtet ist, sollten diese bereits einige Erfahrungen mit dem Experimentieren gesammelt haben und ein genereller Ablauf eines Experiments sollte bekannt sein. Im Experimentierprogramm geht es vorwiegend darum, die verschiedenen Möglichkeiten mehrerer Arten von Speicherkraftwerken auszutesten und deren Wirkungsgrade zu bestimmen, um dann auf mögliche Vor- und Nachteile des jeweiligen Typs zu schließen. Darunter zählen neben dem Wirkungsgrad auch mögliche Nutzungsfelder, der bauliche Aufwand, sowie eventuelle Schwierigkeiten in der Umsetzung. Als Beispiel seien der erhebliche Flächenbedarf und der große benötigte Höhenunterschied von Pumpspeicherkraftwerken genannt.

Es sind also Betrachtungen weit über das reine Erfassen von Zahlenwerten hinaus notwendig. Sie müssen diskutiert und in einen Kontext eingebettet werden, der über die Physik hinausgeht. Vor diesem Hintergrund ist gegebenenfalls ein Überdenken der aufgenommenen Werte nötig. Ein typisches Element der naturwissenschaftlichen Arbeit.

3. Beispiele

Im Workshop gehen wir auf vier verschiedene Speichermedien ein, die in der technischen Anwendung oft Speicherkraftwerke genannt werden. Dies sind die Lageenergiespeicher, welche die elektrische Energie mittels potentieller Energie im Gravitationsfeld speichern, die Drehmassenspeicher, die die kinetische Energie zur Speicherung nutzen, die chemischen Speichermedien, z.B. Akkumulatoren, und die thermodynamischen Speicher, welche auf den Druck und die innere Energie in Gasen oder Flüssigkeiten zurückgreifen. In allen Fällen muss die elektrische Energie in eine dieser Formen umgewandelt und möglichst vollständig wieder zurückerhalten

werden. In unserem Workshop sollen aus jedem der vier Speicherkraftwerkstypen Beispiele nachgebildet werden, um ihre Prinzipien qualitativ zu veranschaulichen und in Form des Wirkungsgrads quantitativ zu erfassen. Anhand dieser Erkenntnisse sollen die Vor- und Nachteile diskutiert werden.

3.1. Modell eines Pumpspeicherkraftwerks

Auf Grund der Größe des Modells wird das Pumpspeicherkraftwerk Kernstück des Workshops. Dieses gehört zur ersten der oben genannten Typen, dem Lageenergiespeicher. Hier wird potenzielle Energie zur Speicherung der elektrischen Energie verwendet. Bei einer Überproduktion an elektrischer Energie wird Wasser von einem unteren Becken in ein höher liegendes gepumpt und dort gespeichert. Dieses kann dann, wenn der Energiebedarf höher als die Verfügbarkeit regenerativ gewonnener elektrischer Energie ist, wieder in das untere Becken abgelassen werden. Dabei treibt es eine Turbine an, die mittels eines Generators elektrische Energie zur Verfügung stellt [7]. Im Modell, welches für den Workshop entwickelt wird, wird das Prinzip und der Aufbau genauso umgesetzt (siehe Abb.1). Für die beiden Becken werden im Modell Regentonnen verwendet, welche schon über einen Ausfluss mit Hahn verfügen. Zum Hochpumpen des Wassers wird eine Gartenpumpe verwendet, welche das Wasser vom unteren Becken in das Obere pumpt. Als Generator dient ein Hydrogenerator, welcher das herabströmende Wasser in elektrische Energie umwandelt. Ziel soll sein, dass die elektrische Energie zum Betrieb eines elektrischen Gerätes eingesetzt wird, welches durchaus im Haushalt genutzt werden kann. Das hat insbesondere den Zweck, ein Gefühl für die benötigten Dimensionen zu entwickeln. Als Beispiel greifen wir eine Glühlampe mit einer Leistung von 15 W heraus. Um diese eine Zeit von einer Minute betreiben zu können, benötigen wir eine elektrische Energie von 900Ws. Diese muss aus der potenziellen Energie gewonnen werden. Nehmen wir an, dass der Hydrogenerator einen Wirkungsgrad von 90% besitzt, benötigen wir eine potenzielle Energie von 1000 J. Bei einem Höhenunterschied von 2,5 m benötigt man allein dafür ein Volumen von etwa 40 l Wasser. Man erkennt schnell, dass diese Art der Energiespeicherung Dimensionen annehmen kann, die in einer Schule nur mit erhöhtem Aufwand umgesetzt werden können.

Die Schülerinnen und Schüler können im Versuchsablauf mittels Messung von Strom und Spannung in einfacher Weise die elektrische Leistung und damit die verwertbare elektrische Energie bestimmen. Die verfügbare potenzielle Energie können sie mit ihren Kenntnissen aus dem Physikunterricht leicht

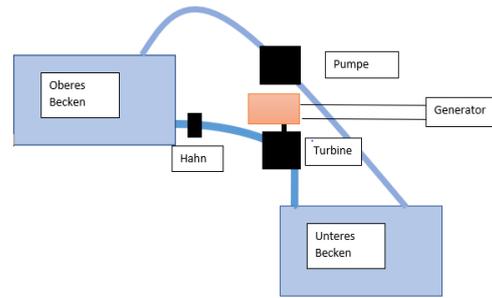


Abb.1: Schematischer Aufbau eines Pumpspeicherkraftwerks

berechnen. Beides kann mit der eingesetzten Energie der Pumpe zum Hochpumpen des Wassers verglichen werden. Der Wirkungsgrad des Pumpspeicherkraftwerks ergibt sich dann einfach als Quotient der Energien, die in die Pumpe geflossen sind und am Ende in der Glühlampe umgesetzt wurden.

3.2. Modell eines Druckluftspeicherkraftwerks

Bei einem Druckluftspeicherkraftwerk wird die elektrische Energie in Form von einer Erhöhung des Luftdrucks in einem Gefäß umgesetzt und gespeichert. Damit zählt es zu den thermodynamischen Speicherkraftwerken. Bei einem Überfluss in der Gewinnung elektrischer Energie wird dieser dazu genutzt, Luft mittels einer Pumpe in eine Kaverne zu pumpen. Bei einem Bedarf an elektrischer Energie kann dann die Luft wieder abgelassen werden. Diese strömt durch den Druckunterschied zwischen der Kaverne und der Umgebung durch eine Turbine. Die Turbine treibt erneut ein Generator an und es wird wieder elektrische Energie gewonnen.

In solchen Kraftwerken entsteht der unerwünschte Nebeneffekt, dass sich die Luft bei der Kompression stark erhitzt. Diese Wärmeenergie wird mittels Wärmetauscher abgeführt, damit sie das Kraftwerk nicht beschädigt und nicht allmählich ungenutzt in die Umgebung entweicht. Beim Herausströmen der Luft hat man den umgekehrten Effekt. Die sich entspannende Luft kühlt ab, was zum Einfrieren der Turbine des Generators führen könnte. Im großen Maßstab wird, um das zu vermeiden, Erdgas in einer Brennkammer zusammen mit der Luft verbrannt, wodurch Wärme zugeführt wird [8]. Dies ist eine wichtige Thematik, da hier ein nicht-regenerativer Energieträger zum Einsatz kommt. Sie kann im Workshop jedoch nur in einer Diskussion erfolgen. Im Modell kann zwar die Temperaturänderung erfahrbar gemacht werden, jedoch nicht in einem Ausmaß, das die genannten technischen Schwierigkeiten enthalten würde.

Als Kaverne wird im Workshop ein großer Luftballon verwendet. Dieser wird mittels einer Luftpumpe

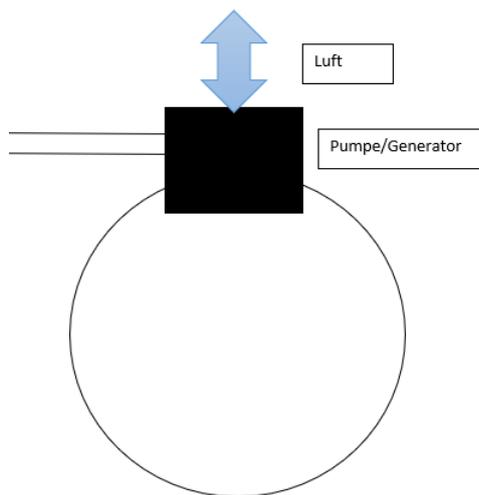


Abb.2: Schematischer Aufbau eines Druckluftspeicherkraftwerkes

gefüllt. Dann werden mittels eines Generators durch die wieder herausströmende Luft die thermische Energie und die Spannenergie des Ballons in elektrische Energie umgewandelt (siehe Abb. 2). Die Schülerinnen und Schüler können nun erneut durch die Messung von Strom und Spannung die rückgewonnene elektrische Energie bestimmen. Diese kann mit der aufgewandten elektrischen Energie der Luftpumpe, welche mittels eines Energiekostenmessgerätes gemessen wird, ins Verhältnis setzen und so den Wirkungsgrad bestimmen.

Als besondere Schwierigkeit des Versuchs fällt auf, dass gerade im kleinen Maßstab des Modells bei der Rückgewinnung der Druckunterschied zwischen der Luft innerhalb und außerhalb des Ballons schnell so gering wird, dass die verfügbare elektrische Leistung drastisch absinkt, obwohl immer noch elektrische Energie gewonnen wird. Dies sollen die Schülerinnen und Schüler bei der Durchführung des Versuchs feststellen. Anschließend wird thematisiert, dass man dieses Problem mittels des Einbaus von Kondensatoren für einen gewissen Zeitraum umgehen und immer noch ein elektrisches Gerät betreiben kann.

3.3. Modell eines Schwungradspeichers

Bei einem Schwungradspeicher wird die kinetische Energie des Schwungrades mittels eines Generators in elektrische Energie umgewandelt. Dies wird im Modell über das Laufrad eines Fahrrads umgesetzt. Zunächst wird das Rad durch einen Motor in Bewegung versetzt. Danach wird die kinetische Energie mittels eines Generators in elektrische Energie umgewandelt. Der Wirkungsgrad wird wie in den vorherigen Fällen ermittelt.

Bei diesem Thema ist aus physikalischer Sicht wichtig, wie das Rad gestaltet sein muss, damit man

möglichst viel Energie speichern kann, ohne mit zu hohen Verlusten bei hohen Drehzahlen zu kämpfen zu haben. Ein weiterer Teil des Versuchs wird daher darin bestehen, dass die Schülerinnen und Schüler untersuchen werden, welchen Einfluss die Massenverteilung auf die Speichermöglichkeit hat. Dazu werden bewegliche Massen mit Magneten am Rad angebracht. Durch unterschiedliche Verteilungen werden bei konstanter Gesamtmasse des Rades unterschiedliche Trägheitsmomente erzielt, deren Einfluss auf die Speicherfähigkeit und Konstanz der Erzeugung elektrischer Energie untersucht werden soll.

3.4. Vergleich von Akkumulatoren und Kondensatoren

Als letzter der vier oben genannten Bereiche wird die chemische Speicherung betrachtet. Diese findet zum Beispiel in Akkumulatoren Anwendung. Im Versuch unseres Workshops wird ein Vergleich von Akkumulatoren und Kondensatoren vollzogen. Dabei werden in einem Langzeitexperiment eine Lade- sowie eine Entladekurve eines Akkumulators aufgenommen. Das Experiment wird einerseits aufgrund der langen Dauer der Vorgänge vorbereitet, damit die Kurven bekannt sind. Andererseits wird es ständig im Hintergrund laufen, sodass die Schülerinnen und Schüler wenigstens teilweise die Datenerfassung nachvollziehen können. Die Auf- und Entladekurven werden dann den Schülerinnen und Schülern im Workshop präsentiert. Sie sollen dann je eine Lade- und Entladekurve eines Kondensators aufnehmen und diese mit denen des Akkumulators vergleichen. Daraus sollen Schlüsse gezogen werden, welche Speicherung für welche Einsatzgebiete besser geeignet ist.

4. Zusammenfassung und Ausblick

Die hier vorgestellten Konzepte für einzelne Versuche im Workshop sollen den Vergleich der verschiedenen Methoden zur vorübergehenden Speicherung elektrischer Energie in anderen Energieformen ermöglichen. Einfache Vergleiche sind ohne großen Aufwand möglich. So ist zum Beispiel schnell zu erkennen, dass der Schwungradspeicher durch die auftretende Reibung eine eher kurzfristige Speichermöglichkeit darstellt, während das Pumpspeicherkraftwerk eine langfristige Speichermöglichkeit bietet. Außerdem lassen sich technische Einschränkungen wie die schwankende elektrische Ausgangsleistung von Druckluftspeicherkraftwerken (vgl. Abschnitt 3.2) darstellen, welche wiederum bei einem Pumpspeicherkraftwerk nicht auftreten, da dort bei einer sinnvollen Höhendifferenz nur minimale Leistungsunterschiede beim Abfließen des Wassers auftreten. Allerdings hat ihr Bau aufgrund der benötigten Größe oft gravierende Einflüsse auf die Natur. Mit diesen Erkenntnissen sollen die Schülerinnen

und Schüler auf mögliche Einsatzgebiete schließen, z.B. Schwungradspeicher zur Energierückgewinnung beim Bremsen von Fahrzeugen [9].

Ergänzt werden soll die Thematik durch eine experimentelle Anordnung, die verdeutlicht, dass elektrische Energie, wie wir sie in unserem Alltag als elektrischen Strom kennen, selbst nicht gespeichert werden kann, sondern erst umgewandelt werden muss. Aktuell ist die Entwicklung der einzelnen Aufbauten für die Experimente in der Umsetzung. Diese werden anschließend getestet und für die Durchführung mit Schülergruppen optimiert.

5. Literatur

- [1] Sächsisches Staatsministerium für Kultus (Hrsg.): *Lehrplan Gymnasium Physik* (2004)
- [2] Thüringer Ministerium für Bildung, Jugend und Sport (Hrsg.): *Lehrplan für den Erwerb der allgemeinen Hochschulreife Wahlpflichtfach Naturwissenschaften und Technik* (2018)
- [3] Moritz Sommer, Dieter Rucht, Sebastian Haunss, Sabrina Zajak (2019). *Fridays for Future Profil, Entstehung und Perspektiven der Protestbewegung in Deutschland*. ipb working paper. S.14-18
- [4] „Ideenwerkstatt von morgen“, Workshop- und Aktionsnetzwerk für zukunftsfähige Entwicklung: <https://bildung.vonmorgen.org/energiedierzukunft/>
- [5] Häusle, Ivo; Welzel-Breuer, Manuela (2014): „Erneuerbare Energie: Fortbildung für Erziehende“ In: PhyDid B, Didaktik der Physik, Beiträge zur DPG-Frühjahrstagung, 1 (2014), Url: https://www.forscherstation.info/wp-content/uploads/2015/05/EE_Fobi_fuer_Erzieher.pdf (Stand 5/2020)
- [6] Wolfrum, Tobias; Fösel, Angela (2016): „Erneuerbare Energien im Experiment“ In: PhyDid B, Didaktik der Physik, Beiträge zur DPG-Frühjahrstagung, 1 (2016), S.5, Url: <https://core.ac.uk/download/pdf/230004016.pdf> (Stand 5/2020)
- [7] Müller, Claus Peter; Knop, Carsten (2011): „Am Edersee setzt Eon auf Wasserkraft“, Frankfurter Allgemeine Zeitung, 2.4.2011, Url: <https://www.faz.net/aktuell/politik/energiepolitik/pumpspeicherkraftwerk-am-edersee-setzt-eon-auf-wasserkraft-1622855.html> (Stand 5/2020)
- [8] „Das Druckluftspeicherkraftwerk in Huntorf“, Reportage in bremen zwei, radiobremen, 3.1.2020, Url: <https://www.radiobremen.de/bremen-zwei/rubriken/reportagen/druckluftspeicherkraftwerk106.html> (Stand 5/2020)
- [9] Kuther, Thomas (2017): „Bremsenergieerückgewinnung; Forscher entwickeln Schwungradspeicher für Serien-Elektro- und Hybridautos“, next-mobility.news, 25.9.2017, Url: <https://www.next-mobility.news/forscher-entwickeln-schwungradspeicher-fuer-serien-elektro-und-hybridautos-a-646943/> (Stand 5/2020)