

# Elektromobilität fächerübergreifend – Elektroautos im Fokus

THOMAS WILHELM, DIRK DALICHAU, ARNIM LÜHKEN

## Kurzfassung

**Vorgestellt wird ein interdisziplinäres Unterrichtskonzept der Fächer Soziologie, Physik und Chemie, das sich mit verschiedenen Aspekten von Elektroautos auseinandersetzt. Zunächst werden, wie in der Soziologie üblich, Experteninterviews und die Rohdaten einer Fragebogenerhebung zur Akzeptanz von Elektroautos ausgewertet. Im physikalischen Teil werden die Drehstrom-Synchronmotore behandelt, die man in Elektroautos findet, und den Stromwendermotoren gegenüber gestellt. Im chemischen Teil geht es um Lithium-Ionen-Akkumulatoren und es wird gezeigt, wie Schüler/innen stark vereinfachte Modellakkumulatoren nachbauen können.**

## 1. Einleitung

Unsere Gesellschaft ist sehr mobil und dies im Wesentlichen mit Verbrennungsmotoren. Gleichzeitig wissen wir, dass die Ölreserven begrenzt sind und bei der Verbrennung von Öl CO<sub>2</sub> entsteht. Deshalb möchte die Bundesregierung, dass bis 2020 eine Million Elektrofahrzeuge in Deutschland im Einsatz sind und bis 2030 sechs Millionen (BUNDESREGIERUNG 2016), so dass der Verkehrssektor einen Beitrag zur Reduzierung des Energieverbrauchs in Deutschland und zu den Klimaschutzverpflichtungen leisten wird. Ende 2014 waren aber bundesweit erst 24.000 Elektroautos zugelassen. Dennoch sind Elektroautos ein großes Thema in den Medien und auch für Schüler/innen interessant.

Erscheinen Elektroautos auf der Straße oder werden sie auf Automobilausstellungen präsentiert, erhalten sie schnell staunende und fragende Aufmerksamkeit genauso von Erwachsenen, wie von Jugendlichen. Ist es „cool“, ein Elektroauto zu haben? Kann man weit genug damit fahren? Ist es billiger als ein Auto mit Benzin-/Dieselmotor? Diese Faktoren entscheiden unter anderen darüber, wie sich das Elektroauto und dessen Vermarktung weiter entwickeln werden. Fragt man verschiedene potentielle Nutzer/innen von Elektroautos, vom Fahrschüler bis zum Manager eines Fuhrparks, kommen noch weitere Faktoren für die Akzeptanz hinzu. Marktwirtschaftlich betrachtet, diktiert die Akzeptanzfaktoren die technische Weiterentwicklung des Elektroautos, weshalb Studien zur Nutzerakzeptanz von großer Bedeutung sind. Bedingungsverhältnisse von Fragen der Akzeptanz zu Lösungen der Naturwissenschaften und Technik sind von grundlegender Bedeutung für unsere Konsum- und Lebenswelt. Das Elektroauto ist ein gutes Beispiel dafür, wie die Akzeptanzentwicklung für ein Produkt unmittelbar mit der naturwissenschaftlich-technischen Weiterentwicklung verbunden ist. Diese Akzeptanz

ist also indirekt von fachlichen Fakten bestimmt, denn der Fahrspaß hängt zusammen mit den leistungsfähigen Elektromotoren, die zudem noch klein, leicht und leise sind. Deren Funktionsweise ist ein Thema der Physik. Die Reichweite und die Kosten werden stark von den Akkus bestimmt, deren Funktionsweise ein Thema der Chemie ist.

Mit dem hier vorgestellten interdisziplinären Unterrichtskonzept sollen Schülerinnen und Schüler am Beispiel des Elektroautos einen Einblick und ein Grundverständnis dieses gesellschaftlichen und naturwissenschaftlich-technischen Bedingungsverhältnisses erlangen, das in einer konsumorientierten Lebenswelt so weitreichend ist. Mit einer sozialwissenschaftlichen Simulation erhalten die Schülerinnen und Schüler zum einen Einblick in die Erhebung und Analyse von Akzeptanzfaktoren potentieller Käufer von Elektroautos. Zum anderen wird dadurch auf naturwissenschaftlich-technische Aspekte fokussiert, die in diesem Bedingungsverhältnis stehen und Konsequenzen für die Weiterentwicklung des Elektroautos haben. Im Fokus stehen der Elektromotor und der Akkumulator, die für die Reichweite und die Kosten eines Elektroautos zentral sind.

Die Unterrichtseinheit wurde bereits mehrfach im GoetheLab mit Oberstufenklassen durchgeführt, ist aber auch im regulären Schulunterricht durchführbar. Die Schüler/innen werden durch Arbeitsblätter geführt, die unter [www.thomas-wilhelm.net/Elektromobilitaet.pdf](http://www.thomas-wilhelm.net/Elektromobilitaet.pdf) zur Verfügung stehen.

## 2. Unterrichtseinheit Soziologie

Das Fach Soziologie findet sich nicht unmittelbar im Fachkanon allgemeinbildender Schulen wieder, dennoch werden zahlreiche Gegenstandsbereiche und ansatzweise auch Methoden empirischer Sozialforschung im Schulunterricht behandelt, dies zumeist in „Politik & Wirtschaft“, „Gemeinschaftskunde“ oder „Sozialkunde“. Ziel des fächerübergreifenden Projektes „Elektromobilität“ in der Kombination zwischen Natur- und Sozialwissenschaften ist es, Schüler/innen einen alltags- und lebensweltlichen Zugang zu naturwissenschaftlichen Themen anzubieten, den sie sich über selbst durchgeführte Erhebungen erarbeiten können.

So wurde im Rahmen des GoetheLabs eine schülergerechte Simulation des sozialwissenschaftlichen Zugangs zum Thema Elektromobilität erarbeitet. Während im realen Referenzprojekt Verantwortliche aus Projekten zur Elektromobilität sowie Nutzer/innen von Elektrofahrzeugen befragt wurden, können ähnliche Befragungen mit Schüler/innen ideal simuliert werden. Auf diesem Wege erschließen sich die Schüler/innen die Zugänge sowie Vor- und Nachteile von Elektrofahrzeugen selbst und dies zumeist intensiver als dies über die reine Auswertung von Akzeptanzstatistiken geschehen würde.

### 2.1. Die sozialwissenschaftliche Erhebung

Die Erhebungsphase gliedert sich in zwei Teile, eine qualitative sowie eine quantitative Erhebung (PRZYBORSKI & WOHLRAB-SAHR 2009). Im Rahmen der qualitativen Erhebung wurde die Befragung von Leiter/innen in Umsetzungsprojekten zur Elektromobilität simuliert. Das

damit verbundene Ziel war, mehr über die Motive von Organisationen zu erfahren, die Elektrofahrzeuge in ihre Fahrzeugflotten integriert haben. Im Idealfall gelingt es, Schlüsselstellen zu identifizieren, an denen Organisationen den Einsatz von Elektrofahrzeugen erfolgreich vorantreiben und intensivieren könnten. Solche Organisationen können Arbeitgeber, Wohnungsbaugesellschaften (Vermieter) oder auch Kommunen und kommunale Gesellschaften sein. Hierfür wurden leitfadengestützte Experteninterviews (LIEBOLD & TRINCZEK 2009; MEUSER & NAGEL 2009) geführt, die von den Schüler/innen simuliert werden konnten, indem diese die Rolle der Forscherin / des Forschers übernahmen und eine/n Expert/in befragten, welche/r von einer Person aus dem Simulationsteam gespielt wurde. Zusätzlich zum Interviewladefaden lagen den Schüler/innen auch bereits Antworten vor, die auf den Ergebnissen eines realen Forschungsprojekts beruhten und als eine Art „Drehbuch“ dienten. So war es möglich, realistische Antworten zu geben und ein authentisches Experteninterview nachzuspielen.

Zudem sollten auch Nutzungserfahrungen mit Elektrofahrzeugen berücksichtigt werden. Hierfür wurde eine breit angelegte quantitative Erhebung mit Nutzer/innen simuliert. Grundlage für diesen Teil der Simulation war ein real verwendeter Fragebogen, der für die Simulation aus didaktischen Gründen lediglich minimal angepasst wurde. Dieser Fragebogen wurde mit den Schüler/innen intensiv durchgesprochen, um auch die Phase der Fragebogenentwicklung zu simulieren und die Fragen umfassend zu verstehen. In diesem Prozess lässt sich ideal thematisieren, dass das Stellen von Fragen keinesfalls trivial ist und unsachgemäße Frageformulierungen das Antwortverhalten stark beeinflussen können (KIRCHHOFF, KUHN, LIPP & SCHLAWIN 2010). Zusammen mit dem exemplarischen Fragebogen haben die Schüler/innen auch die Rohdaten der Erhebung als Ergebnis erhalten. Auch diese Daten stammen aus einer realen Erhebung und wurden ebenfalls aus didaktischen Gründen lediglich minimal angepasst. Die Schüler/innen sollten aus den einfachen Häufigkeitstabellen Tendenzen zur Akzeptanz von Elektrofahrzeugen ablesen. Je nach Jahrgangsstufe bietet sich diese themen- und projektbezogene Auswertung zudem ideal an, um Themen anzusprechen wie beispielsweise Skalenniveaus, Dichotomien oder die Vor- und Nachteile einer Fünfer- oder Sechskerskala („neutrale“ Mitte für Indifferente (Fünferskala) oder Erzwingen einer Tendenz (Sechskerskala)) aufzuzeigen und am Beispiel der Erhebungssimulation zu vertiefen.

## 2.2. Die Durchführung der Simulation

Die Schüler/innen nehmen jeweils nur an einer der beiden Erhebungssimulationen teil und spielen somit nur eine der dargestellten Teilerhebungen nach. Dafür werden sie in zwei Forschungsteams eingeteilt und führen entweder das Experteninterview (qualitative Erhebung) oder die Befragung der Nutzer/innen (quantitative Erhebung) durch.

Beide Forschungsteams verfolgen dabei das gleiche Ziel und werden die gleichen Fragen beantworten: Inwieweit finden Elektrofahrzeuge Akzeptanz bei Nutzer/innen? Welche Chancen und Barrieren bestehen bei der Umsetzung von Elektromobilität? Wer sind die typischen Nutzer/innen?

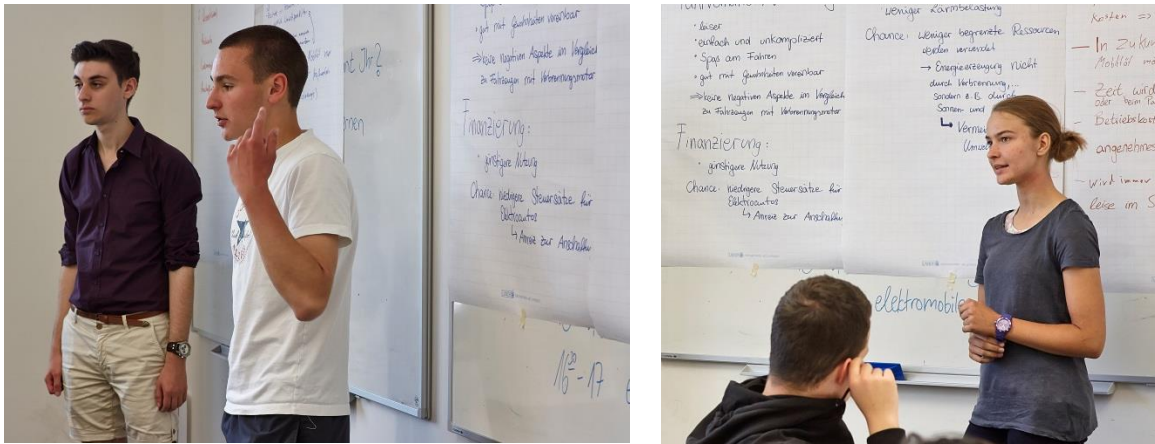


Abb. 1: Ergebnispräsentation der Forschungsteams, Quelle: GU/Lecher

Nachdem die Forschungsteams die Erhebungen simuliert haben, erarbeitet jedes Team die Auswertung und sammelt die Ergebnisse auf Flipchart-Papieren, eines für jede der drei Teilfragen: Chancen, Barrieren und Nutzer/innen. Abschließend stellen die Forschungsteams ihre Ergebnisse vor. Dabei werden die beiden Forschungsperspektiven des qualitativen und des quantitativen Ansatzes zusammengeführt, so dass sich ein umfassendes Bild hinsichtlich der Akzeptanz von Elektromobilität ergibt. Dabei ist die Simulation so angelegt, dass die Schüler/innen stets zu den gleichen Kernaussagen kommen, wobei je nach Dynamik in den Auswertungsgruppen einzelne Aspekte gegebenenfalls intensiver diskutiert werden als andere. Die Schüler/innen werden feststellen, dass sich Elektrofahrzeuge noch in einer frühen Entwicklungsphase befinden, damit jedoch zugleich ein großes Potenzial für die Mobilität der Zukunft verbunden sein kann. Vermutlich werden die Anschaffungspreise weiter sinken und zwar bei steigender Reichweite. Zudem ergibt sich weiterer Forschungsbedarf in anderen Wissenschaftsdisziplinen. So zeigen die Ergebnisse, dass für die technologische Weiterentwicklung effizientere und leichtere Motoren (thematische Erarbeitung in der Physik) und auch leistungsstärkere Akkus (thematische Erarbeitung in der Chemie) benötigt werden.

Somit wird die Möglichkeit gegeben, im weiteren Projektverlauf an die identifizierten Simulationsergebnisse anzuknüpfen und die Perspektiven der Naturwissenschaften zum Thema Elektromobilität zu ergänzen.

### 3. Unterrichtseinheit Physik

Ein wesentliches Bauteil eines Elektroautos ist der Elektromotor bzw. sind die Elektromotoren. Das sind Maschinen, bei denen elektrische Energie in kinetische Energie der Rotation umgewandelt wird. Eigentlich gibt es sehr viele verschiedene Arten von Elektromotoren (KANDSPERGER & WILHELM, 2011). Allen Motortypen ist das Grundprinzip gemeinsam, dass das Magnetfeld eines feststehenden Teils (Stator) mit dem Magnetfeld eines rotierenden Teils (Rotor) wechselwirkt. Um einige Vorteile eines Elektromotors gegenüber einem Verbrennungsmotor aufzuzeigen, muss deutlich werden, dass Elektromotore sehr einfach gebaut sein können, klein, leicht und leise sind und eine große Leistung haben können.

In heutigen Elektroautos werden von fast allen Herstellern Drehstrom-Synchronmotore verwendet (WILHELM, 2015). Diese werden zwar üblicherweise nicht im Physikunterricht behandelt, aber für das Verständnis der grundlegenden Funktionsweise genügt es zu wissen, dass sich gleichnamige Magnetpole abstoßen und ungleichnamige anziehen.

### 3.1 Der Stromwendermotor zum Vergleichen

Sinnvoll ist, die Synchronmotoren der Elektroautos den Stromwendermotoren, die üblicherweise in der Schule behandelt werden und sich in Kleingeräten im Haushalt befinden, gegenüberzustellen. Dabei ist es aber zum einfacheren Verständnis und besseren Vergleich wichtig, die Stromwendermotore nicht mit der Kraft auf einen stromdurchflossenen Leiter im Magnetfeld zu erklären, die auch als Lorentzkraft bezeichnet wird und mit der Drei-Finger-Regel bestimmt wird. Weil später auch die Synchronmotore behandelt werden sollen, ist es ratsam, schon bei den Stromwendermotoren die Kraft mit der Polregel zu erklären, d.h. ungleichnamige Pole ziehen sich an und gleichnamige Pole stoßen sich ab.

Zum Erklären des Stromwendermotors ist eine Animation wie z.B. [www.thomas-wilhelm.net/Stromwendermotor.avi](http://www.thomas-wilhelm.net/Stromwendermotor.avi) geeignet (siehe Abb. 2). Der außen fest stehende Stator besteht hier aus einem Dauermagneten, dessen Magnetfeld sich nicht ändert. Der Rotor besteht aus einer stromdurchflossenen Spule mit einem Eisenkern, die auch ein Magnetfeld erzeugt. Der Strom fließt über einen Schleifkontakt von außen zur Spule, durch diese hindurch und wieder nach außen. Weil die Stromrichtung und das Magnetfeld in der Spule des Rotors immer wieder umgepolt wird, heißt dieser Motor Stromwendermotor.

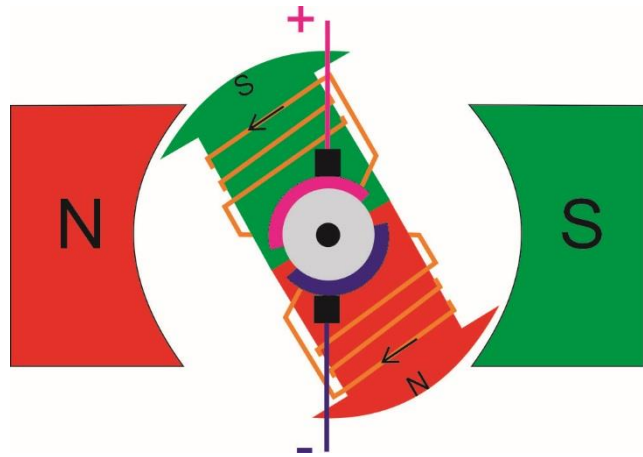


Abb. 2: Ausschnitt aus einer Animation zur Erklärung des Stromwendermotors mit der Polregel

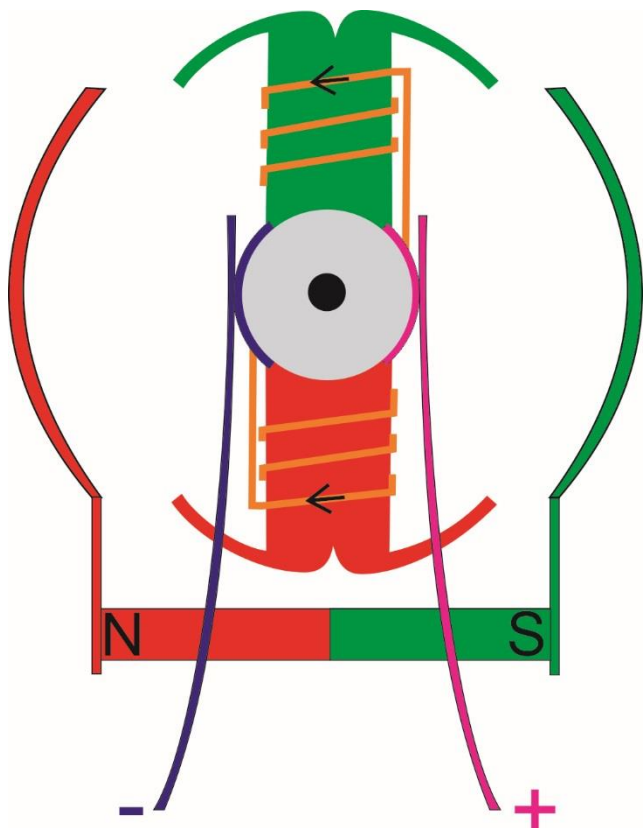


Abb. 3: Aufbau des Elektromotors clipMONT mit fertigem Rotor nach Fertigstellung des Bausatzes



Baut man einen solchen Stromwendermotor mit dem sogenannten Doppel-T-Anker als Rotor mit entsprechenden Geräten der Lehrmittelfirmen auf, stellt man fest, dass dieser nicht für Haushaltsgeräte geeignet ist. Da der Rotor beim Abschalten meistens in der Stellung stehenbleibt, in der er gerade nicht vom Strom durchflossen wird, muss er nämlich beim Anschalten meistens von Hand angeschoben werden. Verwendet man dagegen einen 3-T-Anker oder einen 12-T-Anker als Rotor, sieht man, dass dieser immer selbstständig anläuft.

Damit Schüler/innen sich auch aktiv und selbsttätig mit einem Stromwendermotor auseinandersetzen können, ist es sinnvoll, einen solchen im Unterricht selbst zu bauen. Dafür gibt es von verschiedenen Firmen verschiedene Bausätze (KANDSPERGER & WILHELM, 2011). Um nicht viel Zeit damit zu verlieren, verwendet man am besten den Elektromotor-Bausatz „clipMONT“ ([www.traudl-riess.de](http://www.traudl-riess.de), Best-Nr.: 25.104.0, 5,95 €), da dieser auch von ungeübten Schüler/innen mit der guten Bedienungsanleitung leicht in maximal 30 Minuten gebaut werden kann. Dies liegt daran, dass erstens der Stator aus einem Dauermagneten und zwei Blechen besteht (siehe Abb. 3) und zweitens der Rotor schon vorgefertigt ist, so dass die Schüler/innen weder für den Stator noch für den Rotor Spulen selbst wickeln müssen.

### 3.2 Der Synchronmotor im Unterricht

Um das Grundprinzip eines Synchronmotors zu zeigen, genügt es, einen Kompass als Rotor auf den Tisch zu legen und mit einem Stabmagneten in der Hand den Stator zu simulieren. Bewegt man den Stabmagneten kreisförmig über den Kompass, dreht sich die Kompassnadel synchron mit, d.h. mit gleicher Winkelgeschwindigkeit. Alternativ kann man einen Hufeisenmagneten an eine Schnur aufhängen und über dem Kompass rotieren lassen. Eine dritte Möglichkeit ist, auf einem Magnetrührer eine Kompassnadel zu stellen und langsam die Drehzahl des Magnetrührers zu erhöhen.

Die Schüler/innen sollen erkennen, dass hier keine Schleifkontakte nötig sind, die mit der Zeit abgerieben und verbraucht werden. Bei diesen Schleifkontakten kann es Funkenüberschläge geben, die besonders bei großen Motorleistungen einen erheblichen Verschleiß verursachen. Beim Synchronmotor besteht der Rotor dagegen aus einem Dauermagneten, so dass Strom nicht in den beweglichen Teil des Motors eingespeist werden muss.

So bleibt nur noch die Frage, wie das rotierende Magnetfeld im Stator elektrisch erzeugt wird. Um das Grundprinzip deutlich zu machen, genügt es, von drei Spulen auszugehen, die von drei um  $120^\circ$  verschobenen Wechselströmen durchflossen werden und um  $120^\circ$  versetzt um den Rotor stehen. Dazu verwendet man eine Animation wie z.B. [www.thomas-](http://www.thomas-)

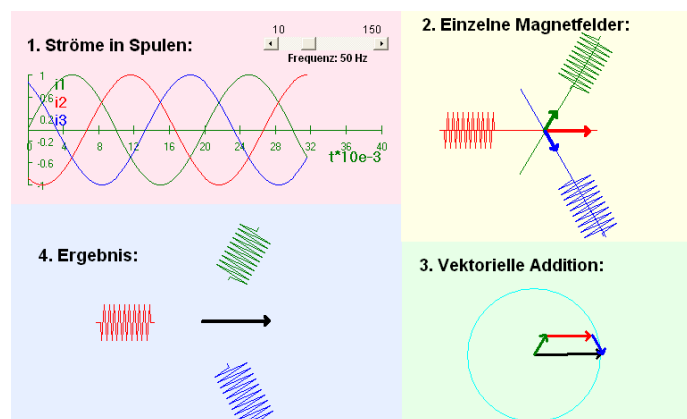


Abb. 4: Simulation zur Veranschaulichung, wie aus drei phasenverschobenen Magnetfeldern ein rotierendes Magnetfeld entsteht

[wilhelm.net/Drehfeld.avi](http://wilhelm.net/Drehfeld.avi) (siehe Abb. 4) (eine andere Simulation mit „EUKLID DynaGeo“ steht unter zur Verfügung [www.thomas-wilhelm.net/Drehfeld.zip](http://www.thomas-wilhelm.net/Drehfeld.zip) zur Verfügung). Man sieht, dass jede Spule in der Mitte ein anderes Magnetfeld erzeugt (zweites Feld rechts oben). Die vektorielle Summe der drei Magnetfelder ist ein Magnetfeld, das mit konstantem Betrag und mit konstanter Winkelgeschwindigkeit rotiert.

Will man das auch experimentell zeigen, braucht man einen Frequenzumrichter oder Dreiphasengenerator, bei dem auch die Frequenz frei eingestellt werden kann (z.B. LD-Didactic Katalog-Nr. 5721G oder LD-Didactic Artikel-Nr. 8-6715580-000-10-0 oder Conatex Bestellnummer 1102080). Eine Möglichkeit ist nun, die Maschinengrundeinheit von LD-Didactic mit drei Spulen zu verwenden, zu der es auch einen aufsteckbaren Permanentmagneten in der Form einer Kompassnadel gibt. Einfacher ist es, drei Spulen

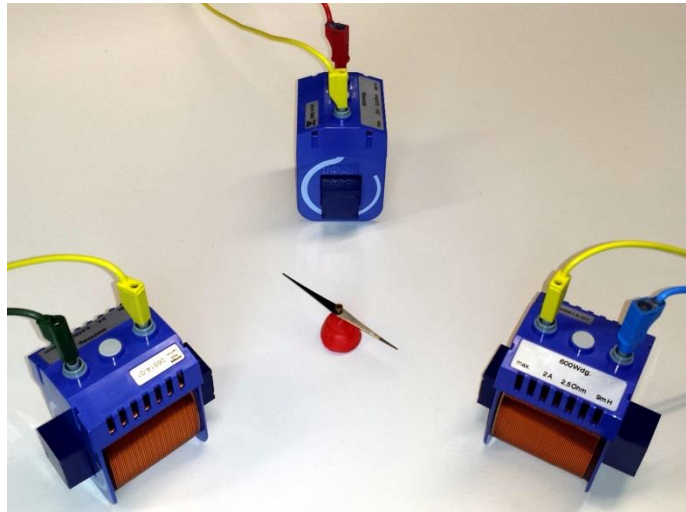


Abb. 5: Drei Spulen mit Kompassnadel als Rotor (der gelbe Nullleiter ist hier immer in der Mitte angeschlossen)

mit Eisenkernen (600 Windungen) im Winkel von  $120^\circ$  um eine Kompassnadel als Rotor zu stellen (siehe Abb. 5). Dieser Rotor folgt dem Magnetfeld in gleicher Winkelgeschwindigkeit, die sich über die Frequenz der Spannungen steuern lässt.

## 4. Unterrichtseinheit Chemie

### 4.1 Elektrische Energiespeicher für die Elektromobilität

Um eine alltagstaugliche Nutzung der Elektromobilität zu ermöglichen, ist die Speicherung großer Mengen elektrischer Energie in Akkumulatoren als Bauteil des Fahrzeugs notwendig. Die Reichweite eines Elektrofahrzeugs ist ein entscheidender Faktor, wenn es um seine Akzeptanz geht. Zudem müssen die Energiespeicher für eine praktische Nutzung neben der großen Kapazität auch leicht wieder zu beladen sein. Die Verwendung von Primärzellen (Batterien) schließt sich somit aus und macht die Nutzung von Akkumulatoren (Sekundärzellen) nötig. Akkumulatoren sind seit Jahren Bestandteil des Alltags eines jeden Menschen. Ob in portablen Elektrogeräten, Werkzeugen oder Spielwaren, die Akkumulatoren sollen möglichst viel Energie speichern können und dennoch die Anwendung nicht erschweren. Wichtige Punkte bei der Beurteilung der Tauglichkeit eines Akkus sind oft die Größe und das Gewicht. Setzt man die speicherbare Energie in Relation Masse, spricht man von der Energiedichte. Bei der Elektromobilität ist die Energiedichte der entscheidende Faktor, wenn es darum geht, ob ein Akkumulator für den Einbau in ein Elektrofahrzeug geeignet ist. Die Betrachtung der Energiedichten einiger Sekundärzellen zeigt schnell, dass Akkumulatoren mit Lithium-Ionen viel Energie bei geringem Gewicht speichern können und somit Vorteile gegenüber anderen

Akkumulatorsystemen haben (siehe Tabelle 1). Ihre Verbreitung nimmt auch in Elektrogeräten stetig zu und die Elektromobilität ist ohne sie nicht denkbar. Die Ergebnisse aus der sozialwissenschaftlichen Simulation zeigen sehr deutlich, dass eine steigende Reichweite (mittelbar erreichbar über leistungsstärkere Akkumulatoren und leichtere Fahrzeuge) die Akzeptanz von Elektromobilität erhöhen würde. Aus diesem Grund beschäftigt sich die Unterrichtseinheit Chemie im Projekt „Elektromobilität“ mit einem Modellexperiment zur Funktionsweise eines Li-Ionen-Akkumulators, das sehr umfassend von Hasselmann et. al. entwickelt wurde.

System	Energiedichte in Wh/kg
<b>Blei-Akku</b>	30 – 40
<b>NiCd-Akku</b>	40 – 50
<b>NiMH-Akku</b>	60 – 80
<b>Li-Ionen-Akku</b>	120 -180
<b>Li-Polymer-Akku</b>	130 – 150

Tabelle 1: Energiedichten einiger Akkumulatoren im Vergleich (Quelle: Löser)

Li-Ionen-Akkus erweisen sich auf Grund ihrer hohen Energiedichte sowie ihrer Zyklenstabilität als hervorragender Energiespeicher in vielen Geräten und werden auch in Elektroautos favorisiert. Seit den 1960er Jahren werden Lithium-Batterien stetig weiter entwickelt, wobei erste Modelle mit einer Metallischen Lithiumanode und einer zur Interkalation fähigen Kathode (z.B.  $MnO_2$ ) betrieben wurden. Bei diesen primären Lithium-Batterien wird die Lithiumanode ständig aufgelöst, was einen Ladeprozess unmöglich macht. Lithium-Ionen-Akkumulatoren verfügen nicht mehr über eine metallische Li-Anode, sondern arbeiten mit Graphitelektroden, in die Lithiumionen interkalieren, das heißt sich einlagern, können. Dieser Prozess ist reversibel und ermöglicht somit ein Aufladen der Zelle. Der Aufbau einer solchen Sekundärzelle ist in Abbildung 6 schematisch gezeigt.

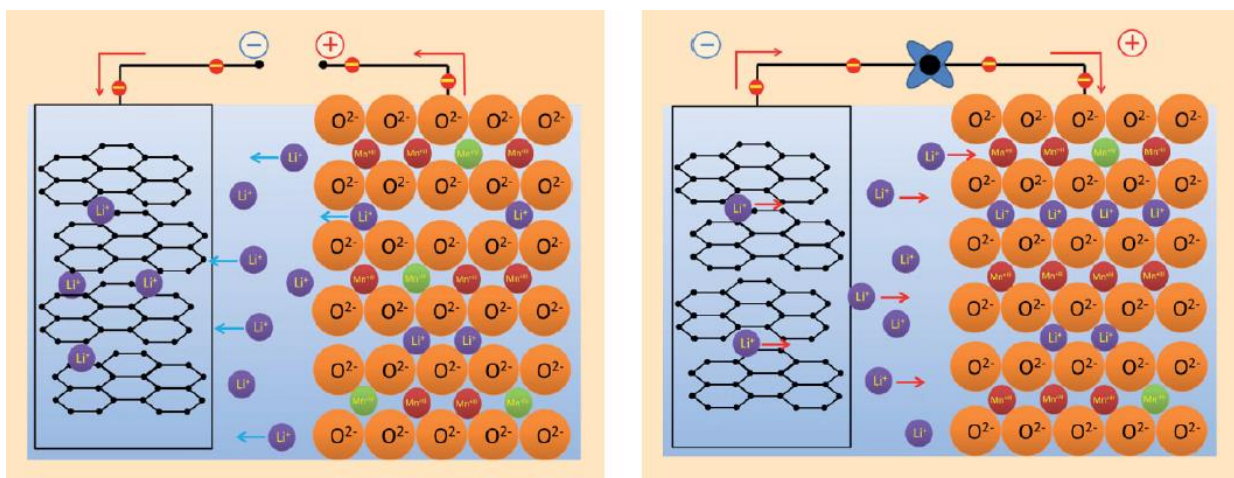


Abb. 6: Lade- (links) und Entladevorgang (rechts) eines  $LiMnO_2$ -Akkumulators (Quelle: HASSELMANN & OETKEN)



Aus der Anode, dem Pluspol, aus der die Elektronen während des Ladevorgangs abgeleitet werden, gehen die Lithiumionen in Lösung, sie deinterkalieren. An der Kathode, dem Minuspol, werden bei dem Ladevorgang Elektronen in das Graphit geladen. Um einen Ladungsausgleich zu erhalten, lagern sich Lithiumionen in das Graphitgitter ein. Während des Entladevorgangs laufen die Reaktionen rückwärts ab, so dass an der Anode Elektronen über den Verbraucher geleitet und an der Kathode aufgenommen werden.

#### 4.2 Selbstbau eines Akkus durch die Schüler

Die Li-Ionen-Akkus, die die Schüler in dieser Einheit bauen sollen, sind stark vereinfachte Modellakkumulatoren, so genannte LiPo-Powerpacks, die mit zwei Graphitelektroden betrieben werden. Somit wird vermieden mit hochgiftige Metalloxide zur arbeiten, die in industriellen Lithium-Ionen-Akkumulatoren verarbeitet werden. Dieser LiPo-Powerpack wurde von HASSELMANN UND OETKEN für die experimentelle Schulchemie entwickelt. Den schematischen Aufbau zeigt Abbildung 7.

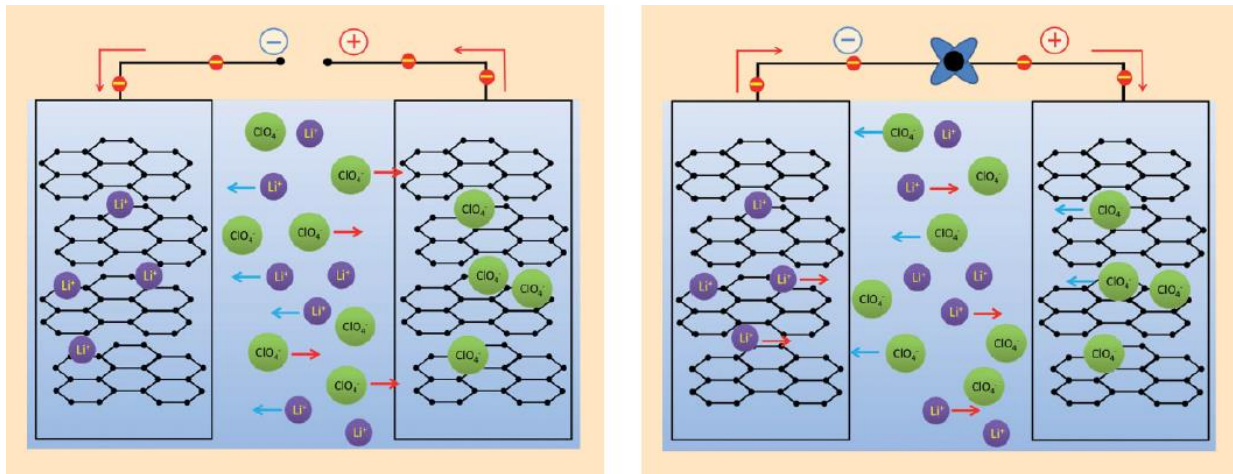


Abb. 7: Lade- (links) und Entladevorgang (rechts) eines LiPo-Powerpacks (Quelle: HASSELMANN & OETKEN)

Für unsere LiPo-Powerpacks verwenden wir Graphitfolie als Anoden- und Kathoden-Material. Das Besondere des Graphits ist hierbei zum einen seine redoxamphotere Eigenschaft, das heißt, er lässt sich je nach Reaktionspartner sowohl oxidieren als auch reduzieren und zum anderen erlaubt die Struktur des Graphits die Einlagerung anderer Elemente. Graphit besteht aus übereinander geschichteten Sechsringen.

Die chemischen Abläufe in der Zelle sind dem handelsüblichen Li-Ionen-Akku sehr ähnlich. An der Kathode, werden beim Ladevorgang ebenfalls Elektronen in das Graphit geladen und ein Ladungsausgleich durch Lithiumioneneinlagerung erreicht. An der Anode hingegen interkalieren Perchlorationen des Elektrolyten in die Schichten des Graphits. Während des Entladevorgangs laufen die Reaktionen ebenfalls rückwärts ab, so dass an der Anode Elektronen über den Verbraucher geleitet und an der Kathode aufgenommen werden.

Nach der Anfertigung des LiPo-Powerpacks wird dieser in Betrieb genommen. Das heißt die Schülerinnen und Schüler laden diesen an einer Gleichspannungsquelle auf. Danach überprüfen sie über eine Minute die Spannung der Zelle. Außerdem testen sie die Möglichkeit des Betriebs eines kleinen Elektromotors und messen dabei die Zeit, die dieser betrieben werden kann. Das Laden und Entladen des Akkumulators wird wiederholt getestet. Dabei jeweils die maximale Dauer, die der Verbraucher mit Strom versorgt werden kann, bestimmt. Die genaue Versuchsvorschrift ist in den Arbeitsanleitungen nachlesbar.

### 5. Abschließender Praxisbezug

Nachdem die Schülerinnen und Schüler die drei Arbeitsphasen durchlaufen haben, hatten die Gruppen die Möglichkeit, sich ein Elektroauto anzuschauen und teilweise auch probefahren. So war es möglich, das zuvor modellhaft Erarbeitete in der Praxis noch einmal genauer zu betrachten. Die Schülerinnen und Schüler konnten die Lage des Motors und des Akkumulators identifizieren und den beschriebenen Fahrspaß zumindest als Mitfahrer im Auto erleben. Alternativ könnte man auch Elektrofahrräder betrachten. Auch im Schulunterricht erscheint es durchaus realisierbar, einen örtlichen Fahrradhändler für eine Kooperation zu gewinnen und zwei oder drei Elektrofahrräder für eine kurze Praxispräsentation zur Verfügung zu stellen.

Ein solcher abschließender Teil führt die drei disziplinbezogenen Arbeitseinheiten noch einmal zusammen. Die bestehenden Herausforderungen im Kontext der Elektromobilität werden teilweise selbst erfahrbar, wenn der Ladezustand des Akkumulators sich im Laufe der durchzuführenden Testfahrten sichtbar verändert. Das Gewicht eines Elektrofahrrads ist für alle Schülerinnen und Schüler erlebbar. Die Ergebnisse, die zuvor vor allem mit dem Fokus auf Elektroautos erarbeitet wurden, sind auch weitestgehend problemlos übertragbar auf andere Elektrofahrzeuge, wie Elektrofahrräder. Die in der sozialwissenschaftlichen Projektphase identifizierten Herausforderungen werden auf diesem Wege noch einmal vertiefend verstanden. Die Übersetzung dieser Herausforderungen in Forschungsaufträge für die naturwissenschaftlichen Disziplinen Physik und Chemie wird ebenso erfahrbar. Gerade das Elektrofahrrad bietet hierbei hinsichtlich der Perspektive der Chemie ein ideales Anschauungsobjekt, indem der Akkumulator meistens herausnehmbar ist. So lässt sich das (aktuell noch) notwendige Gewicht dieses entscheidenden Bauteils sehr gut erfassen. Auch bei Elektrofahrrädern werden fast ausschließlich Permanentmagnet-erregte Synchronmotoren verwendet. Der Stromverlauf in den Statorwicklungen wird von einem Steuergerät so gesteuert, dass es einem Drehstrom nahe kommt. Der interdisziplinäre Projekttag endet für die Schülerinnen und Schüler damit mit einer mit Spaß und Freude verbundenen Praxiserfahrung und zum anderen verbleibt der Rückblick über alle drei erarbeiteten Disziplinen, so dass nicht nur die jeweils letzte Arbeitsgruppenphase als präzenteres Element in der Erinnerung verbleibt.

## Literatur:

BUNDESREGIERUNG: Leitmarkt und Leitanbieter für Elektromobilität, <https://www.bundesregierung.de/Webs/Breg/DE/Themen/Energiewende/Mobilitaet/podcast/node.html> (Abruf 31.3.2016)

HASSELMANN, M., OETKEN, M.: Versuche zu Lithium-Ionen-Akkus, *Chemie in unserer Zeit* 48, Nr. 2, , 2014, S. 102 - 113

Löser, R.: ABC der Batteriesysteme - Informationen rund um die gängigen Akkumulatoren - In: *Neue Mobilität*, Nr. 7, 2012, S. 20-21

KANDSPERGER, R. & WILHELM, T.: Elektromotore im Unterricht, Praxis Schriftenreihe Physik, Aulis-Verlag, Hallbergmoos, 2011

KIRCHHOFF, S.; KUHN, S.; LIPP, P. & SCHLAWIN, S.: Der Fragebogen. Datenbasis, Konstruktion und Auswertung, VS Verlag für Sozialwissenschaften, Wiesbaden, 2010.

LIEBOLD, R. & TRINCZEK R.: Experteninterview. In: Kühl, S.; Strodtholz, P. & Taffertshofer, A. (Hrsg.): Handbuch Methoden der Organisationsforschung. Quantitative und Qualitative Methoden, VS Verlag für Sozialwissenschaften, Wiesbaden, 2009, S. 32-56.

MEUSER, M. & NAGEL, U.: Das Experteninterview - konzeptionelle Grundlagen und methodische Anlage. In: Pickel, S.; Pickel, G.; Lauth H.-J. & Jahn, D. (Hrsg.): Methoden der vergleichenden Politik- und Sozialwissenschaft. Neue Entwicklungen und Anwendungen, VS Verlag für Sozialwissenschaften, Wiesbaden, 2009, S. 465-479.

PRZYBORSKI, A. & WOHLRAB-SAHR, M.: Qualitative Sozialforschung. Ein Arbeitsbuch, Oldenbourg, München, 2009.

WILHELM, T.: Welcher Elektromotor ist in Elektroautos? - In: *Praxis der Naturwissenschaften – Physik in der Schule* 64, Nr. 8, 2015, S. ? - ?

*Prof. Dr. Thomas Wilhelm war Gymnasiallehrer für Mathematik und Physik und ist Professor für Physikdidaktik an der Goethe-Universität Frankfurt am Main.*

*Dr. Dirk Dalichau ist wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Soziologie der Goethe-Universität Frankfurt am Main und Lehrbeauftragter an der Hochschule Fresenius in Idstein.*

*Prof. Dr. Arnim Lühken war Gymnasiallehrer für Biologie und Chemie und ist Professor für Chemiedidaktik an der Goethe-Universität Frankfurt am Main.*