

Elektromobilität I

Folie 12: ELEKTROMOBILITÄT I

PHYSIK AM AUTO

Verbundnetz Europa

Netzleitwarte

lokales Kontrollzentrum

Verbundnetz Europa

CP: Control Pilot; L1, L2, L3: Außenleiterkontakte; N: Neutralleiter; PP: Proximity Pilot; PE: Schutzkontakt

© Copyright 2019 reserved by Hagemann & Partner Bildungsmedien Verlagsgesellschaft mbH, Düsseldorf

Einsatz der Folie

Diese Folie kann in der Elektrizitätslehre II (Sek I) in Physik zum Thema „Zukünftige Energieversorgung, Mobilität der Bevölkerung“ eingesetzt werden. Dabei ergibt sich naheliegend ein Fächerübergreif zum gesellschaftswissenschaftlichen Bereich. Die Vergabe mehrerer Referate zur Vertiefung weiteren Hintergrundwissens bietet sich – je nach dem vom Lehrer gewünschten Umfang – an. Die zugehörige Kopiervorlage bietet zu dieser Thematik zwei Aufgaben, die in idealer Weise die Forderung erfüllen, dass zur Bearbeitung und Lösung nicht nur der Stoff aus dem unmittelbar vorangegangenen Unterrichtsgeschehen benötigt wird (im vorliegenden Falle wäre das wahrscheinlich die Elektrophysik), sondern auch Inhalte weiter zurückliegender Unterrichtsreihen aufgegriffen werden können (konkret hier: Wärmelehre, Energie und Leistung aus der Mechanik und nicht zuletzt fächerübergreifend zur Mathematik Prozentrechnung sowie allgemeine Sachaufgaben).

Inhalt der Folie

Kaum eine Branche unterliegt so vielen Änderungen, Neuerungen aber auch Auflagen wie die Automobilbranche. Ein ständiges Wettstreiten der Konzerne untereinander treibt neue Technologien voran und sorgt für einen schnellen Wandel in der Antriebstechnik. Hieraus entstanden moderne Motoren mit immer geringerem Kraftstoffverbrauch und gleichzeitig steigenden Leistungsabgaben. Stand zunächst dieser Aspekt im Vordergrund der Entwicklung, kommen seit einigen Jahren mit zunehmender Rohstoffverknappung, Belastung durch Feinstaub und nicht zuletzt dem Klimawandel neue Anforderungen auf das Automobil zu. Das Fahrzeug soll zum einen möglichst „emissionslos“ fahren, also ohne Verbrennungsabgase, und sich zum anderen in die „neue“ Infrastruktur der Welt einbinden.

Oben: Es ist eine fast emissionslose Stadt zu sehen. Die Schüler entdecken gemeinsam, welche Entwicklungen zur emissionslosen Stadt beitragen:

- Windpark
- Wasserkraftwerke
- Solarparks
- Solardächer
- Ein Flugzeug mit Solarpanels auf den Flügeln
- Segways (elektrische Roller für Personen)
- Elektrofahrzeuge
- Ladestationen für Elektrofahrzeuge
- Rapsfelder für Biokraftstoffe

Mitte: Unter **Smart Grid** versteht man im Allgemeinen die Realisierung intelligenter Stromnetze. Dies umfasst die kommunikative Vernetzung und Steuerung von Stromerzeugern, Speichern etc. und damit die effiziente und dezentrale Stromerzeugung und Verteilung. Doch wozu sind intelligente Netze notwendig? Das Problem liegt in der Stromerzeugung erneuerbarer Energien. Diese werden nicht ständig erzeugt, sondern nur nach Wetterlage. Daher sind sie schwer planbar. Durch ein effizientes Energiemanagement kann man dieses Problem jedoch unter Kontrolle bringen. Die Abbildung zeigt ein systematisches Smart Grid. Verschiedene Stromerzeuger und Stromverbraucher sind über ein Kontrollzentrum miteinander vernetzt. Große Kraftwerke können für die Absicherung der Grundversorgung benutzt werden. Erzeugter Strom aus erneuerbaren Energiequellen kann jetzt kontrolliert zugeschaltet werden oder aber auch durch das Kontrollzentrum in angeschlossene Kraftfahrzeuge mit Hochvolt-Batterien eingespeichert werden. Bei Bedarf kann diese Energie den Fahrzeugen wieder entnommen und so den Verbrauchern zur Verfügung gestellt werden. Dezentrale Stromerzeuger produzieren relativ kleine Mengen Strom, die in ein Netz eingespeist werden. Das sind zum Beispiel Photovoltaikanlagen auf den Dächern von Wohnhäusern, Windräder oder Mini-Blockheizkraftwerke. Der erzeugte Strom kann dann an einer Strombörse verkauft werden und steht über das Stromnetz anderen Verbrauchern zur Verfügung. Viele kleine Kraftwerke können so wie ein großes Kraftwerk von einer Netzleitwarte zentral gesteuert werden. Eine eigene Software sorgt für den abgestimmten Einsatz, in dem Verbrauchsanforderungen und Wetterprognosen berücksichtigt werden. Ein batteriebetriebenes Auto soll eines Tages nicht nur mit Strom fahren, sondern ihn auch speichern. Es kann bei Stromüberschuss aufgeladen werden und in Zeiten großen Bedarfs gespeicherten Strom wieder in das Netz abgeben.

Unten links: Für das Aufladen der Batterie von Elektrofahrzeugen gibt es eine Vielzahl von "Stromtankstellen". Eine **Stromtankstelle** hat mindestens zwei Aufgaben. Sie muss eine Ladesteckdose für das Fahrzeug freigeben und die Registrierung und Abrechnung für den Abnehmer einfach realisierbar machen. Die Form der Stromtankstelle richtet sich nach den Komponenten, die im Inneren verbaut werden. Das sind zum Beispiel:

- Einspeise- und Anschluss technik
- Überspannungsschutz
- Stromversorgung
- Steuerung
- Energieerfassung
- Bedienelemente

- Anzeigeelemente
- Identifikationselektronik
- Datenübertragung zur Verrechnungsstelle

Beim Aufladen der Batterie des jeweiligen Fahrzeuges fließen sehr hohe Ströme. Diese Werte erhöhen sich nochmals bei Schnellladestationen. Insgesamt gibt es drei unterschiedliche Leistungsstufen bzw. Lademodi, die sich auf die IEC Norm 62196 beziehen und an denen ein Elektrofahrzeug prinzipiell aufgeladen werden könnte. Die Gefahr geht dabei von der Schnittstelle zwischen Ladestation und KFZ aus, da dort der Mensch mit dem Stromkreis in Berührung gerät. Dies hat zur Konsequenz, dass der Stecker, der am KFZ angeschlossen wird, hohen Sicherheitsansprüchen genügen muss.

Unten rechts: Die Abbildung zeigt den Stecker, der in Europa für die Ladung von Elektrofahrzeugen an Ladesäulen seit Januar 2013 von der Europäischen Kommission als Standard festgelegt wurde (EN 62196 Typ 2). Der Typ-2-Stecker sowie die -Kupplung werden in der Norm IEC 62196-1 beschrieben und sind in ganz Europa und für alle Elektroautos und für alle Ladestationen gleich. Der Stecker wurde von MENNEKES in Kirchhundem (Kreis Olpe, NRW) in Zusammenarbeit mit RWE und der Daimler AG entwickelt.

Er hat insgesamt 7 Kontakte: PP (Proximity Pilot), CP (Control Pilot), L1, L2, L3 (Außenleiterkontakte), PE (Schutzkontakt) und N (Neutralleiter). Die Ladeströme liegen zwischen 13 A, beim Laden an einfachen Haushaltssteckdosen, bis zu 400 A, beim Schnellladen an der Ladesäule. Über die Signalleitung CP (Control Pilot) werden nach IEC 61851-1 folgende Zustände übertragen:

- +12 V: standby, Status A, kein Fahrzeug ange dockt, Ladkontakte stromlos
- 8 V bis 10 V: vehicle detected, Status B, ein Fahrzeug ist angeschlossen
- 5 V bis 7 V: ready (charging), Status C, das angeschlossene Fahrzeug wird aufgeladen, Ladestrom fließt
- 2 V bis 4 V: with ventilation, Status D, die Belüftung wird eingeschaltet
- 0 V: no power (shut off), Status E, Ladevorgang beendet
- -12 V: error, Status F, es ist ein Fehler aufgetreten, Ladevorgang abgebrochen

Der Kontakt PP (Proximity Pilot) meldet der Ladestation über eine Widerstandsmessung (PP-PE) nach IEC 61851-1 den maximal möglichen Ladestrom des Fahrzeuges (bzw. des Ladekabels). Durch die Konstruktion des Steckers sind Verpolung oder Fehlbedienung ausgeschlossen.

Die Kopiervorlage 12 nimmt unmittelbar Bezug auf die Folie 12. Sie enthält Aufgabenstellungen aus der Elektrotechnik, aber auch Bezüge zur Wärmelehre und Mechanik.

Lernziele: Die Schülerinnen und Schüler sollen

- wesentliche Merkmale einer zukünftigen "emissionslosen Umwelt" erkennen und benennen können.
- Grenzen eines reinen Elektroantriebs erkennen und für bestimmte Anwendungszwecke Alternativen aufzeigen können.
- vergleichende Energie- und Kostenrechnungen für Alltagsprobleme ausführen können.
- mehrere Teilgebiete der Physik bei der Lösung einer Aufgabe einsetzen können.

Elektromobilität II

Einsatz der Folie

Auch diese Folie kann in der Elektrizitätslehre II (Sek I) im Fach Physik eingesetzt werden. Für den ersten Teil wird als Voraussetzung die Kenntnis von Reihen- und Parallelschaltung benötigt. Es wird hierzu ein interessantes Anwendungsbeispiel aus der Praxis vorgestellt. Hierzu bietet sich Aufgabe 1 auf Kopiervorlage 13 an. Diese Aufgabe wiederholt, ähnlich wie die Aufgaben von Kopiervorlage 12, neben den Gesetzen der unmittelbaren Unterrichtsreihe "Reihen- und Parallelschaltung" zusätzlich Kenntnisse über früheren Stoff, das heißt hier: einfache geometrische Probleme (Volumenberechnungen von Quadern) sowie allgemein strategische Lösung von Sachaufgaben.

Inhalt der Folie

Hochvolt(HV)-Batterien sind die Energiespeicher im Hybridfahrzeug. Man spricht immer dann von Hochvolt-Systemen, sobald eine Gleichspannung von 60 Volt oder eine Wechselspannung von 25 Volt oder höher vorliegt. Für serienmäßig hergestellte Hybridfahrzeuge werden **Lithium-Ionen-Batterien** verwendet. Die in älteren Hybridfahrzeugen eingesetzten Nickel-

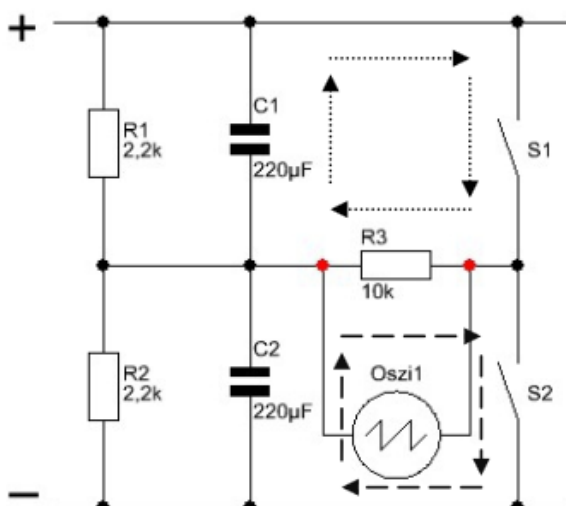
Metallhydrid- (NiMH) und Nickel-Cadmium-Batterien (NiCd) werden nicht mehr eingesetzt, da die Leistungsdichte unzureichend war.

Oben links: Lithium-Ionen-Batterien haben eine hohe Energiedichte (Wh/kg), die auch ein rein elektrisches Fahren ermöglichen. Dabei sind Reichweiten von bis zu 500 km mit einer Batterieladung möglich (Stand 2019). Lithium-Ionen-Batterien haben Zellspannungen im Bereich von 3,2 V bis 3,75 V.

Für die Entwicklung der Lithium-Ionen-Batterien wurden John Goodenough, Stanley Whittingham und Akira Yoshino im Jahr 2019 mit dem Nobelpreis für Chemie ausgezeichnet.

Oben rechts: Die Abbildung zeigt mehrere Batteriezellen, die zu einem Block zusammengefasst werden. Die Batterie wird dann aus mehreren Blöcken gebildet. Für eine Gesamtspannung von 400 V werden entsprechend viele Zellen in Reihe geschaltet. Zusätzlich zu den Batteriezellen enthält die Batterie noch ein Batteriemanagement-System, mit dem der Ladezustand sowie die Auf- und Entladung überwacht werden. Außerdem gibt es eine mechanische Trennmöglichkeit, um die Batterie beim Service, im Wartungsfall oder bei einem Unfall auf einfache Weise aus dem Fahrzeug zu entnehmen.

Mitte links: Das im Automobilbau in der Regel als **Inverter** bezeichnete Bauteil wird auch als Wechselrichter, Resonanzwandler, Phasewandler oder Umformer bezeichnet. Der Inverter ist neben dem Motor-Generator ein wesentliches Bauteil des Drehstromantriebs. Im Inverter wird die Gleichspannung der HV-Batterie so auf die Phasenanschlüsse des Antriebsmotors verteilt, dass ein dreiphasiges Spannungssystem entsteht. Sofern der Motor-Generator als Generator genutzt wird, wird die von der Maschine erzeugte dreiphasige Wechselspannung in die zum Aufladen der HV-Batterie benötigte Gleichspannung umgewandelt. Des Weiteren benötigt man den Inverter zur Drehzahlsteuerung der elektrischen Antriebsmotoren. Inverter mit Spannungszwischenkreis sind heute im Kraftfahrzeug die gebräuchlichste Umrichterform, an ihnen ist auch die Hochvolt-Batterie angeschlossen. Der Inverter erzeugt mithilfe von Pulsweitenmodulation die Spannung für den Motor.



Die Abbildung zeigt eine sehr vereinfachte Form eines Inverters. Mit dieser Schaltung kann aus einer positiven Spannung eine negative erzeugt werden. Die Schaltung zeigt auf der linken Seite einen Spannungsteiler. Es sind zwei 2,2 kOhm Widerstände in Reihe geschaltet. Wird eine Gesamtspannung von 12 Volt an die Schaltung angelegt, stehen am Mittelpunkt des Spannungsteilers 6 Volt an. Um die Schaltung weiter zu vereinfachen, gehen Sie davon aus, dass die Kondensatoren C1 und C2 unendlich viel Energie haben. Durch den Spannungsteiler ergeben sich zwei Teilsysteme in der Schaltung: der obere Bereich mit Schalter S1 und der untere Bereich mit Schalter S2. Über dem Widerstand R3 kann jetzt die Wechselspannung gemessen werden. Wird der Schalter S1 geschlossen, so fließt der Strom vom Kondensator C1 über den Schalter S1 und von rechts nach links durch den Verbraucher R3 zurück zum Kondensator (gepunktete Pfeile). Wird der Schalter S2 geschlossen, so fließt der Strom vom Kondensator C2 über den Schalter S2 und dieses Mal von links nach rechts durch den Verbraucher R3 zurück zum Kondensator (gestrichelte Pfeile).

Mitte rechts: Bei den meisten in Pkw verbauten Antriebsmotoren handelt es sich um Synchronmaschinen mit **Permanenterregtem Rotor**. Im Gegensatz zur Asynchronmaschine kann man mit der Synchronmaschine Bremsenergie in elektrische Energie umwandeln und somit die Hochvolt-Batterie laden. Während sich bei der Asynchronmaschine der Rotor asynchron zum Magnetfeld bewegt, dreht sich der Rotor der Synchronmaschine mit der gleichen Drehzahl und synchron zum umlaufenden Feld. Bei Belastung bleibt die Drehzahl konstant, bis die Maschine außer Tritt fällt und stehen bleibt. Eine maximale Differenz von 90° darf nicht überschritten werden. Auf dem Foto sind deutlich die Statorwicklungen zu erkennen. In ihnen wird das Magnetfeld aufgebaut. Der permanent erregte Rotor folgt nun diesem Magnetfeld und dreht somit die Antriebswelle.

Unten links: Je nach Antriebskonfiguration können Hybridfahrzeuge rein elektrisch oder aber auch herkömmlich mit dem Verbrennungsmotor fahren. Beide Aggregate sollen jedoch die gleiche Antriebsachse antreiben. Zudem soll der Verbrennungsmotor auch durch den Elektromotor gestartet werden. Die Kraftverteilung kann dabei durch ein Planetensatzgetriebe realisiert werden. Die Abbildung zeigt die bereits bekannte Zeichnung des Hybridfahrzeuges aus dem Kapitel "Generator". Allerdings soll hier das Augenmerk auf die **Kraftverteilung** gelegt werden. Diese kann neben Kupplungen auch mit einem Planetensatzgetriebe realisiert werden.

Unten rechts: Die Abbildung zeigt ein einfaches Planetensatzgetriebe, um die Kraftflussverteilung zu verdeutlichen. Es besteht aus den folgenden Komponenten:

- Sonnenrad (rot)
- Hohlrad (blau)
- Planetenräder (grün)
- Planetenradträger (gelb)

Ein Planetensatzgetriebe enthält in der Standardversion ein Sonnenrad, das sich in der Mitte des Getriebes befindet und sich bewegen oder arretieren lässt. Weiterhin besteht es aus drei Planetenrädern, die kleiner als das

Sonnenrad und um dieses herum angeordnet sind. Sie sind an Planetenradträgern befestigt und lassen sich frei drehen. Sie können aber auch, wie der Planetenradträger, blockiert werden. Der äußere Abschnitt des Getriebeinneren ist das Hohlrad, das sich ebenfalls bewegen oder arretieren lässt. Dreht sich das Hohlrad im Uhrzeigersinn, so wird die Kraft auf die Planetenräder übertragen. Diese drehen sich ebenfalls im Uhrzeigersinn. Die Kraft wird weiter auf das Sonnenrad übertragen, welches sich gegen den Uhrzeigersinn dreht. Je nachdem welches Rad, bzw. welche Räder arretiert werden, wird die Kraft zum einen umgelenkt und zum anderen die Drehrichtung beeinflusst. Der Elektromotor und der Verbrennungsmotor greifen auf unterschiedliche Räder zu. Ebenso ist der Abgang auf einem separaten Rad geregelt. Eine mögliche Variante wäre z. B.:

- Sonnenrad und Getriebe
- Planetenräder und Verbrennungsmotor
- Hohlrad und Antriebsachse

Ventile übernehmen dabei die Aufgabe, gezielt die einzelnen Komponenten im Planetensatzgetriebe zu blockieren, um die gewünschten Kraftflüsse zu realisieren.

Die Kopiervorlage 13 nimmt unmittelbar Bezug auf die Folien 12 und 13. Sie enthält Aufgabenstellungen aus der Elektrotechnik, aber auch Bezüge zur Wärmelehre und Mechanik.

Lernziele: Die Schülerinnen und Schüler sollen

- die Fortschritte in der Batterietechnik nennen und beschreiben können.
- das auf der Folie vorgestellte Antriebskonzept beschreiben können.
- die Hauptteile eines Planetengetriebes nennen und eine grobe Funktionsbeschreibung liefern können.
- Reihen- und Parallelschaltungen von Zellen in Batteriepacks erkennen und beschreiben sowie Aufgaben hierzu lösen können. Dabei sollen sie elektrische Schaltungen „lesen“ und einfache Aufgaben in diesem Zusammenhang erfolgreich bearbeiten können.