

C. ERNEUERBARE ENERGIEN

C4. Wind-Zu-Wasserstoff-Technologie, Elektromobilität

Autorinnen und Autoren

Dr. Beate Brase – Wilhelm-Raabe-Schule, Hannover

Wolfgang Claas – Marie Curie Schule, Ronnenberg-Empelde

Modellexperimente zur Wind-Zu-Wasserstoff-Technologie für Autos mit Brennstoffzellen

Lehrerinformationen zum Konzept und zum Ablauf der Unterrichtsreihe

Modellexperimente zur Wasserstofftechnologie mit Verknüpfung des Bereichs Elektromobilität sollten bei der Behandlung erneuerbarer Energien im Unterricht nicht fehlen, da diese das Schülerinteresse in besonderem Maße anregen, sich intensiver mit dieser zukunftsweisenden Technologie zu beschäftigen.

Die Intention dieser Einheit, die sich in verschiedene experimentelle Phasen gliedert und der eine Rechercheinheit von Schüler-Expertengruppen vorausgeht, beruht darauf, Neugierde an dieser Technik zu wecken sowie Chancen und mögliche Probleme der Wind-Zu-Wasserstoff-Technologie bei der Elektromobilität zu erkennen. Die Einheit endet mit einem Wettbewerb.

Kernaspekte dieses Unterrichtsgangs sind die Umwandlung von Windenergie in elektrische Energie, die Erzeugung von Wasserstoff mit Hilfe eines Elektrolyseurs, der Einsatz reversibler PEM-Brennstoffzellen (Proton-Exchange-Membrane), die Speicherung von Wasserstoff, der Aufbau und der Betrieb von wasserstoffbetriebenen Fahrzeugen sowie deren Befüllung an Wasserstofftankstellen.

Die hier dargestellten Schülerexperimente wurden mit Bauteilen des REES (Renewable Energies Education Set) der Firma Horizon Fuel Cell Technologies und als Windsimulator mit einem Hochleistungsbodenventilator der Firma Sichler durchgeführt.

Die Nutzung von Wasserstoff als Energiequelle für das Auto der Zukunft kann im Rahmen der Erzeugung von Wasserstoff mittels Windenergie experimentell durch verschiedene Simulationen im Mikromaßstab von Schülerinnen und Schülern selbst durchgeführt werden.

Typische Schulexperimente zur elektrolytischen Zersetzung von Wasser sind im Chemieunterricht der Hoffmannsche Zersetzungsapparat und die alkalische Elektrolyse. Brennstoffzellen werden meistens im Physikunterricht mittels Solarzellen betrieben.

Der Einsatz von Solarzellen wird bereits bei den jüngsten Schülerinnen und Schülern im Unterricht im Rahmen der Kerncurricula auf der Basis als Energiewandler thematisiert.

Der Einsatz eines Windgenerators hingegen, welcher hier im Turbinengehäuse einen Gleichrichter eingebaut hat, stellt eine über die Kerncurricula hinausgehende innovative Energiequelle zum Betrieb einer Brennstoffzelle dar. Weitergehend handelt es sich bei dem Eingangsexperiment um eine reversible PEM-Brennstoffzelle, die zunächst als Elektrolyseur eingesetzt wird. Dabei ist zum grundsätzlichen Verständnis der Nutzung regenerativer Energien das Verständnis bzw. die Thematisierung der komplexen Abläufe des Protonentransfers in der eingesetzten reversiblen PEM nicht zwingend notwendig. Hier kann im Rahmen einer didaktischen Reduzierung nur die Umkehrbarkeit der Prozesse behandelt werden. Dies bedeutet einerseits auf der Stoffebene die Erzeugung von Wasserstoff und Sauerstoff aus Wasser mittels elektrischer Energie und umgekehrt sowie andererseits auf der Energieebene die Umwandlung von elektrischer Energie in chemische Energie und umgekehrt. Dies erfolgt in der experimentellen Phase B.

Der Anforderungsgrad und die Zeitdauer der dargestellten Unterrichtseinheit lassen sich individuell mit den in dieser Schriftenreihe vorgestellten Materialien leicht weiter modifizieren.

Die beschriebenen Schülerexperimente sollen hierzu nur den roten Faden zum Einstieg in die Wasserstofftechnologie bilden.

Einzelne der beschriebenen experimentellen Aufbauten lassen sich ebenso im Unterricht, außerhalb dieser Themenreihe, als besonderes Highlight mit praktischem Anwendungsbezug einsetzen, um z.B. theoretische Betrachtungen mit eigenen experimentellen Daten zu beleben. Dies gilt z.B. im Chemie- und Physikunterricht für die Behandlung der Faraday-Gesetze und des Mols, bei Druckbetrachtungen und der allgemeinen Gasgleichung sowie bei der Behandlung von Wirkungsgraden, von Kreisbewegungen, dem Messen von Spannungen, der Reihen- und Parallelschaltung etc.

Details zum Ablauf

Es ist notwendig, dass der experimentellen **Phase B** Rechercharbeiten von drei Expertengruppen vorausgehen (siehe arbeitsteilige Rechercheaufträge in **Phase A**).

Anschließend sollten mehrere Windenergie-Elektrolysestationen von den Schülergruppen aufgebaut werden, damit konstruktive Reflexionen und Diskussionen innerhalb der einzelnen Gruppen ermöglicht werden.

Hierzu bilden sich neue Expertengruppen, so dass in jeder dieser Forschergruppen Mitglieder aus o.g. Expertengruppen integriert sind.

Es hat sich gezeigt, dass es für Schülerinnen und Schüler hilfreich ist, dass bereits von Lehrerseite ein Modellexperiment aufgebaut wird.

Auf der Basis ihrer Rechercharbeiten werden anhand des Eingangsexperimentes die Wirkungsweisen der einzelnen Elemente in der Gruppe und später im Plenum erörtert. So hat die Lehrkraft an dieser Stelle die Möglichkeit, ggf. durch zusätzliche Informationen dem besonderen Schülerinteresse in der weiteren Planung gerecht zu werden, Vertiefungen anzubieten und auftauchende Fragen zu klären.

Im Anschluss erfolgt in **Phase C** ein Vergleich des Modellexperiments mit einer realen Wasserstofftankstelle und dem Aufbau eines realen wasserstoffbetriebenen Autos.

Dies führt zu der Erkenntnis, dass sich der Windpark nicht in unmittelbarer Nähe einer Tankstelle befinden muss, der Elektrolyseur sich real außerhalb des Fahrzeugs befindet, Wasserstoff extern in Tanks gespeichert wird und das Gas von der Elektrolysestation zur Tankstelle geleitet werden muss. Die Betankung erfolgt ähnlich der Benzinbetankung eines Fahrzeugs. Wasserstoff wird ausschließlich in internen Gasflaschen im Fahrzeug mitgeführt und dort nicht erzeugt.

Falls von Schülerseite an dieser Stelle bereits der fehlende Sauerstoff angesprochen wird, könnte dieser Aspekt hier schon kurz thematisiert werden. Ansonsten wäre das folgende Experiment dazu geeignet.

In **Phase D** erfahren die Schülerinnen und Schüler in einem weiteren Experiment, dass der in Phase B erzeugte und dort gespeicherte Wasserstoff einer anderen, kleineren Brennstoffzelle zugeführt werden kann, die keine weitere zusätzliche Sauerstoffzuleitung aus externen Speichern benötigt. Hierzu charakterisieren die Schülerinnen und Schüler die beiden unterschiedlichen Brennstoffzellen auch optisch. Dadurch wird die Überleitung zu einem Realauto hergestellt.

Hier kann sich eine weitere Diskussion, z.B. über die Vorteile wie die Reduzierung der Brand- bzw. Explosionsgefahr, anschließen.

In **Phase E** sollen drei Expertengruppen aus Ingenieuren in einer Wettbewerbssituation Experimente zur Optimierung der Wasserstoffproduktion mit Windkraftträdern in Abhängigkeit von Rotorform, Rotorblättern und -anzahl durchführen. Hier können die Schülerinnen und Schüler ihr Wissen aus ihren Rechercharbeiten zu Beginn der Unterrichtseinheit einbringen. Darüber hinaus

müssen Sie in der Lage sein, Spannungen eigenständig zu messen, die Entwicklung der Gasvolumina quantitativ zu bestimmen und diese in Korrelation zur gemessenen Spannung zu setzen.

Aus den gewonnenen Erkenntnissen dieser Tests sollen alle Gruppen gemeinsam den energieeffizientesten Windpark der Zukunft konstruieren.

Zum Abschluss dieser Unterrichtseinheit bekommen die Schülerinnen und Schüler in **Phase F** die Gelegenheit, Chancen und Möglichkeiten der Wasserstofftechnologie in größerem Kontext zu reflektieren und zu diskutieren.

Darüber hinaus ist es sinnvoll, die Unterrichtseinheit hinsichtlich des Lernerfolgs und des Schülerinteresses unmittelbar zu evaluieren. Hier bieten sich verschiedene Methoden des formativen Assessments an, die auch bereits nach den einzelnen Phasen zum Einsatz kommen können.