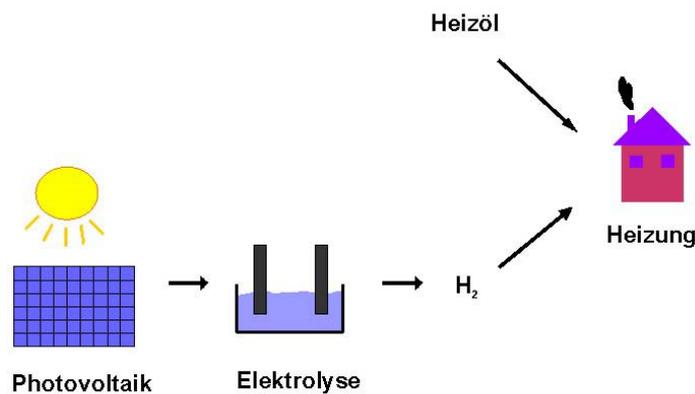


Berechnung einer solaren Wasserstoffwirtschaft

Inhalt:

Öl ist ein knappes Gut und eigentlich viel zu wertvoll um verbrannt zu werden. Doch die heutige Gesellschaft ist auf Öl angewiesen, echte Alternativen sind nicht in Sicht. Oder etwa doch?

In dieser Unterrichtseinheit wird berechnet, ob mit Hilfe von Photovoltaik genug Wasserstoff erzeugt werden kann um das in Deutschland verwendete Heizöl ganz zu ersetzen. Die Kernfrage lautet: Wie groß muss eine Fläche, bestückt mit Photovoltaikanlagen sein, die genug Energie liefert um ausreichend Wasserstoff durch Elektrolyse produzieren zu können. Dabei kann zwischen einer Fläche in Deutschland und einer Fläche in Afrika (höhere solare Einstrahlung) unterschieden werden.



Stufe, Fach:

Die Schüler benötigen Kenntnisse über Energieformen und Umwandlungsmöglichkeiten. Darüber hinaus sollten Aufbau und Funktion von Photovoltaikanlagen sowie der Begriff "Wirkungsgrad" bekannt sein. Der Unterrichtsentwurf ist deshalb für die späte Sekundarstufe 1 oder die Sekundarstufe 2 geeignet. Als Fach kommen neben Physik auch die Fächer Geographie und Wirtschaftswissenschaften in Frage.

Zeitbedarf:

Die eigentliche Berechnung ist in einer Einzelstunde durchführbar. Unter Einbezug der Vorüberlegungen und mit zunehmend detaillierter Berechnung kann die Unterrichtseinheit auf eine Doppelstunde oder mehr ausgedehnt werden.

Vorüberlegungen:

Wasserstoff, genutzt in Brennstoffzellen, besitzt als Brennstoff viele Vorteile: der Wirkungsgrad ist durch gleichzeitige Erzeugung von Strom und Wärme hoch, der Umwandlungsprozess verläuft geräuscharm und es fallen vor Ort keinerlei schädliche Emissionen an. Andererseits muss Wasserstoff aufwendig gekühlt werden, damit ein Transport beispielsweise durch Pipelines möglich ist. Das aus Umweltsicht größere Problem ist jedoch, dass zur Wasserstoffherzeugung viel Energie aufgewendet werden muss. Entscheidend für die Umweltbilanz ist also die Energiequelle: nur wenn Wasserstoff aus regenerativer Energie erzeugt wird, kann man von einem wirklich umweltfreundlichen Energieträger sprechen.

Die Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien hat in den letzten Jahren ein starkes Wachstum erfahren und liegt derzeit (Stand Jan. 2008) bei einem Anteil von etwa 14%. Wichtigste Produzenten sind die Windkraft und die Wasserkraft. Die Photovoltaik hat dagegen rein mengenmäßig in Deutschland einen geringen Anteil, selbst wenn Deutschland die höchste Photovoltaik-Stromproduktion weltweit besitzt. Ursache für den geringen Anteil ist der niedrige Wirkungsgrad von Solarzellen (in der Regel wird zwischen 10 und 15 % der Strahlungsenergie umgesetzt), hohe Kosten und eine geographisch bedingt niedrige Solarstrahlung. In einigen Regionen der Erde könnte mit der gleichen Kollektorfläche mehr als doppelt so viel Strom erzeugt werden.

Derzeit ist die Überlegung, Heizöl durch solar erzeugten Wasserstoff zu ersetzen, nicht realistisch. Zum einen wäre es wesentlich einfacher, durch Wärmedämmung Heizöl einzusparen und durch regenerative Wärmeerzeugung (Verbrennung von Biomasse, Solarthermie, Geothermie etc.) Heizöl zu ersetzen. Zum anderen wäre der Einsatz von Wasserstoff zur Wärmeerzeugung von der Energiebilanz und Wirtschaftlichkeit her unsinnig. Realistischer wäre der Einsatz im Verkehrsbereich oder zur gleichzeitigen Strom- und Wärmeproduktion. Bei der folgenden Aufgabe handelt es sich also nicht um die Berechnung eines realistischen Szenarios. Sie dient vielmehr dazu, Schülern das Gefühl dafür zu vermitteln, mit welchen Dimensionen von Energieproduktion und -verbrauch sie es zu tun haben. Die Kernfrage lautet also eher: ist unter derzeitigen technischen Voraussetzungen der Ersatz eines wesentlichen Teils der in Deutschland umgesetzten fossilen Energie durch Sonnenenergie möglich?

Ablauf:

Ein geeigneter Einstieg kann die Frage nach dem Heizölverbrauch in Deutschland sein. Schüler haben in der Regel keine Vorstellung vom der Höhe des Verbrauchs und die Zahl (am besten in Tonnen oder Litern angegeben) sorgt für einen Aha-Effekt und Aufmerksamkeit bei den Schülern. Schließt man nun die Frage der Stunde an – Welche Fläche müsste mit Photovoltaikanlagen bebaut werden um dieselbe Energiemenge in Form von Wasserstoff zu produzieren? – wird man auf weitere Schätzung oder Ratlosigkeit treffen. Nun sollte der Rechenweg in der Klasse erarbeitet werden.

1. Schritt: Berechnung des Energiebedarfs, der derzeit durch Heizöl gedeckt wird, zukünftig jedoch regenerativ erzeugt werden soll.

Dazu müssen Heizölverbrauch und Heizwert ermittelt werden. Der Verbrauch an Heizöl beträgt in Deutschland etwa 34 Mio. Tonnen. Es handelt sich hierbei um einen Mittelwert der Jahre 2000 bis 2006, wobei leichtes und schweres Heizöl zusammengenommen wurden. Leichtes Heizöl besitzt einen etwas höheren Heizwert als schweres Heizöl, der mittlere Heizwert bezogen auf die Rechnung beträgt 42.300 Kilojoule pro Kilogramm Heizöl. Ein Kilojoule entspricht 0,000278 kWh. Umgerechnet ergibt sich folglich ein Energiebedarf von:

$$34.000.000.000 \times 42.300 \times 0,000278 = 399.819.600.000 \text{ kWh}$$

oder umgerechnet etwa 400 Terrawattstunden

2. Schritt: Berechnung der nötigen Kollektorfläche um eine entsprechende Menge Wasserstoff aus Sonnenenergie zu produzieren.

In diesem Teil der Rechnung müssen statt einer nun zwei Umwandlungen berücksichtigt werden. Zunächst wird aus der Strahlungsenergie der Sonne elektrischer Strom, dieser wird im zweiten Schritt eingesetzt um Wasserstoff zu produzieren. Die solare Einstrahlung in Deutschland beträgt etwa 1.000 kWh pro Jahr und Quadratmeter Fläche. In der Sahara liegt der Wert ungleich höher bei etwa 2.300 kWh. Eine Photovoltaikanlage hat je nach Typ einen Wirkungsgrad zwischen 10 und 15 %. Als Durchschnittswert kann hier 12 % verwendet werden. Daraus folgt: Pro Quadratmeter Kollektorfläche werden in Deutschland etwa 120 kWh, in der Sahara etwa 276 kWh Strom produziert.

Bei der Elektrolyse wird mit Hilfe von Strom elementarer Sauerstoff produziert. Der Wirkungsgrad eines Elektrolyseurs liegt bei etwa 85 %. Entsprechend ergeben sich pro Quadratmeter Kollektorfläche in Deutschland 102 kWh Energie auf Wasserstoffbasis, in der Sahara ungefähr 235 kWh.

Um 400 TWh zu produzieren ist also folgende Fläche nötig:

$$400.000.000.000 / 102 = 3.921.568.627 \text{ m}^2 \text{ (etwa } 3.900 \text{ km}^2\text{)} \quad \text{oder}$$

$$400.000.000.000 / 235 = 1.702.127.660 \text{ m}^2 \text{ (etwa } 1.700 \text{ km}^2\text{)}$$

Das entspricht in Deutschland einer Fläche vom 1,5-fachen des Saarlands, In der Sahara würde „nur“ eine Fläche der doppelten Größe Berlins benötigt.

Exkurse:

Die erste Berechnung der Fläche ist eine relativ einfache Basisrechnung, die nicht ohne weiteres in die Realität übertragbar ist. Sie kann jedoch erweitert werden:

Möglichst realistische Berechnung der Fläche: Keine Solaranlage besitzt eine so große Kollektorfläche wie im oben genannten Beispiel. Vielmehr handelt es sich heute in der Regel um viele kleinere Anlagen, die zusätzlich Infrastruktur wie zum Beispiel ein Wegenetz benötigen. Entsprechend läge die real benötigte Fläche eher bei dem Zweifachen des Werts der Basisrechnung. Auf der anderen Seite wird der Wirkungsgrad von Solarzellen in Zukunft weiter steigen und so zu einem geringeren Flächenbedarf führen. Wirkungsgrade bis 20 % sind im Labor schon heute realisierbar. Zudem können Solarzellen aus flexibleren Materialien hergestellt werden, so dass es zunehmend leichter wird, sie in Gebäudefassaden o.ä. zu integrieren. Bei solchen Anlagen kann man nicht von einem Flächenverbrauch sprechen, sondern von einer Doppelnutzung.

Einbezug der Produktionskette: Heizöl wird aus Rohöl raffiniert. Rohöl muss gefördert und transportiert werden. Entsprechend muss für die Bereitstellung von einer Kilowattstunde Heizöl deutlich mehr Energie in Form von Rohöl verwendet werden. Zudem sollten die Umweltschäden von der Förderung und dem Transport des Rohöls bis hin zu Langzeit-Klimafolgen durch die Verbrennung von Heizöl mit berücksichtigt werden. Bei der Verwendung von Wasserstoff fallen kaum Umweltschäden an. Andererseits muss auch Wasserstoff gelagert und transportiert werden, im Falle einer Stromproduktion in der Sahara sogar über weite Strecken. Dazu wird der Wasserstoff heute stark gekühlt und verflüssigt – ein Prozess der viel Energie benötigt, die wiederum zusätzlich regenerativ erzeugt werden müsste.

Verwendung der Energieträger: Heizöl wird zur Wärmeproduktion in der Regel in Öfen verbrannt. Deren Wirkungsgrade sind in der Regel nicht besonders gut, so dass nur ein kleiner Teil der eingesetzten Energie am Ende wirklich zur Verfügung steht. Im günstigsten Fall werden in ölgefeuerten Blockheizkraftwerken sowohl Wärme als auch Strom produziert, wodurch sich der Wirkungsgrad deutlich erhöht. Trotzdem arbeiten Brennstoffzellen bei der Stromproduktion und Nutzung der Abwärme deutlich effektiver. Folglich muss beim Vergleich der Endenergie weniger Energie in Form von Wasserstoff eingesetzt werden, als es beim Heizöl der Fall wäre.