

Wasserstoffwirtschaft

Ziel: Energiekette der Wasserstoffwirtschaft kennen lernen, Vorteile und Probleme identifizieren

Kurzbeschreibung: In einem Versuch wird die Wirkungskette der solaren Brennstoffzellenwirtschaft von der Solarzelle bis zum Endverbraucher nachgebaut. Anhand dieses Modells kann auch eine „reale“ Wasserstoffwirtschaft diskutiert werden.

Altersstufe: Ab Klasse 9

Zeitbedarf: Eine Doppelstunde

Fachbezug: Physik, Chemie, fächerübergreifender Unterricht

Ablauf: Zunächst wird ein einfacher Versuchsaufbau nur mit Brennstoffzelle und Verbraucher erstellt. Das Schema wird auf reale Bedingungen übertragen, die Schüler lernen, dass Brennstoffzellen mit Hilfe von Wasserstoff Strom (und ggf. Wärme) liefern. Es entstehen weder Geräusche noch Schadstoffe, einziges Reaktionsprodukt ist Wasser (zur Unterrichtsdurchführung siehe Unterrichtsvorschlag 1).

Im zweiten Schritt wird die Herstellung von Wasserstoff dem Versuchsaufbau hinzugefügt. Mit Hilfe eines Solarkollektors wird Strom erzeugt. Mit diesem Strom kann durch Elektrolyse Wasserstoff hergestellt werden.

Die Schüler diskutieren schließlich Umweltfreundlichkeit und Wirkungsgrad des Verfahrens der Elektrolyse. Beide Faktoren sind zu einem wesentlichen Teil abhängig von der Art der Stromproduktion.

Unterrichtsdurchführung:

Vermittlung der Grundlagen:

Als Einstieg in die Diskussion zur Wasserstoffherstellung können Ideen gesammelt werden, aus welchen Stoffen Wasserstoff hergestellt werden kann.

Für die Herstellung von Wasserstoff können prinzipiell alle Stoffe, die Wasserstoff enthalten, herangezogen werden.

Fossile Rohstoffe: Erdgas, Öl, Kohle, Naphta oder andere Kohlenwasserstoffe.
Regenerative Rohstoffe: Holz und Biomassen verschiedener Art.

Frage: Wie ist Eure erste Einschätzung? Welchen Rohstoff würdet Ihr wählen? Warum?

Regenerative Rohstoffe sollten bevorzugt werden auf Grund der Umweltfreundlichkeit und der Verfügbarkeit.

Fazit 1: Wasserstoff ist nur so sauber wie der Energieträger, aus dem er hergestellt wurde. Wird Wasserstoff mit Hilfe von fossilen Energien hergestellt, so kann von CO₂-Neutralität oder geringen Schadstoffemissionen keine Rede sein. Dagegen ist die Bilanz bei regenerativ erzeugtem Wasserstoff, gepaart mit einem vergleichsweise hohem Wirkungsgrad (mit Kraft-Wärme-Kopplung) und Schadstofffreiheit von Brennstoffzellen, sehr günstig.

Zur Wasserstoffherstellung aus fossilen und regenerativen Rohstoffen wird meist die Dampfreformation genutzt (also ein thermisches Verfahren).

Alternative: Wasserstoff kann aber auch aus Wasser mit Hilfe der **Elektrolyse** hergestellt werden. Dieses Verfahren soll heute näher betrachtet werden bzw. mit einer Diskussion über die Realisierbarkeit einer Wasserstoffwirtschaft verbunden werden.

Zum Verfahren: Bei der Elektrolyse wird der hochwertige, elektrische Strom in die chemische Wasserstoffenergie umgewandelt (genauere Beschreibung der Elektrolyse siehe Unterrichtsvorschlag 1).

Fazit 2: Um Wasserstoff zu gewinnen, muss immer Energie hineingesteckt werden (egal aus welchem Rohstoff die Erzeugung erfolgt → Dampfreformation: Wärme; Elektrolyse: Strom).

Da der Elektrolyseur mit Strom betrieben wird, hängt die Umweltfreundlichkeit der Elektrolyse maßgeblich von der Art des Stroms ab (herkömmlich oder regenerativ erzeugter Strom). Wird der Strom aus fossilen Rohstoffen erzeugt, resultiert, wie bei der Herstellung des Wasserstoffs aus fossilen Rohstoffen, ein hoher CO₂-Ausstoß. Das Problem der Verknappung der Ressourcen ist somit auch nicht gelöst.

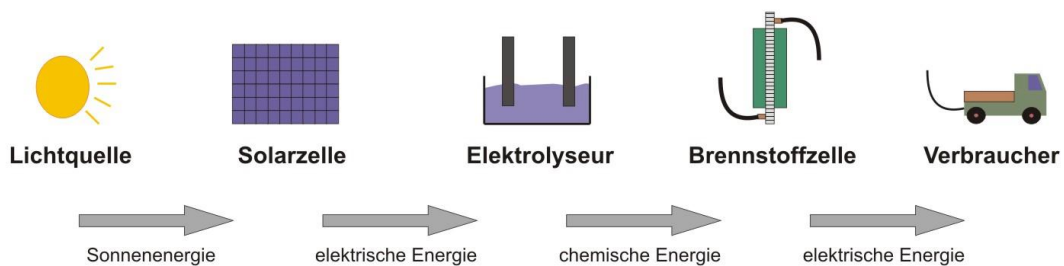
Fazit 3: Der für die Elektrolyse notwendige Strom beeinflusst die Umweltbilanz maßgeblich.

Die Herstellung von Wasserstoff mit Hilfe eines Solarkollektors wird dem Versuchsaufbau hinzugefügt.

Kritische Diskussion über solare Wasserstoffwirtschaft:

Nun wird die solare Wasserstoffwirtschaft näher betrachtet. „Solare Wasserstoffwirtschaft“ bedeutet, dass der Wasserstoff als wichtigster Energieträger fungiert. Die Wasserstoffgewinnung erfolgt in unserem Beispiel mittels solarstrombetriebener Elektrolyse.

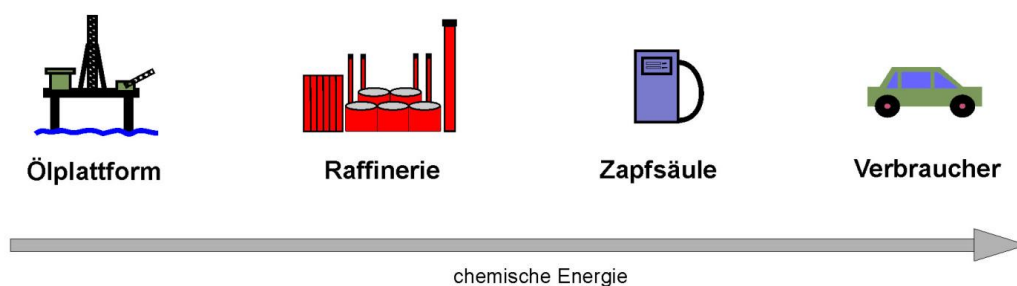
Um die Diskussion zu erleichtern, wird sich im Folgenden auf den Einsatz von Wasserstoff im Verkehrssektor beschränkt.



Die Primärenergie der Sonne wird in Strom umgewandelt, mit dem durch die elektrolytische Trennung von Wasser in Wasserstoff und Sauerstoff Wasserstoff hergestellt wird. Die chemische Energie des Wasserstoffs wird wiederum in der Brennstoffzelle in elektrische Energie umgewandelt. Mit dieser kann beispielsweise ein Brennstoffzellenauto betrieben werden.

Frage: Welchen Unterschied seht Ihr zwischen der Stoffkette der solaren Wasserstoffwirtschaft und der Stoffkette vom Öl der Rohölförderung bis zum Benzin an der Tankstelle?

Bei der Stoffkette des Rohöls bis zum Benzin an der Tankstelle sind weniger Umwandlungsschritte notwendig. Je mehr Umwandlungsschritte stattfinden müssen, desto höher sind die Energieverluste und auch die Kosten der Energiebereitstellung.



Fazit 4: Je mehr Umwandlungsschritte notwendig sind, desto höher sind die Energieverluste und Kosten der Energiebereitstellung.

Hindernisse der solaren Wasserstoffwirtschaft, die überwunden werden müssen:

Ressourcensituation und Treibhauseffekt erfordern v.a. im Verkehrsbereich Umstellung auf regenerative Kraftstoffe. Gewisse Einschränkungen bestehen jedoch bei erneuerbaren Energieträgern: Die Biomasse muss wachsen, für Sonne, Wind und Wasser müssen geeignete Flächen oder Flüsse gefunden werden. Daher erhebt nicht nur der Verkehrssektor Anspruch auf die edlen Energieträger. Biomasse kann genauso in Form von Holzheizungen oder Biogasanlagen die Verbrennung von Heizöl hinauf machen, Windstrom oder Solarzellen können Kohlekraftwerke substituieren.

Es gibt also eine Nutzungskonkurrenz um erneuerbare Energieträger. Deswegen sollte sie so eingesetzt werden, dass sie am meisten bringen = "Ökoeffizienz".

Frage: Ist es sinnvoller Wasserstoff mit erneuerbaren Energien für den Verkehrssektor herzustellen oder sie direkt zur Stromerzeugung/-nutzung und Wärmeerzeugung zu nutzen?

Die Stromerzeugung hat wegen des hohen Kohleanteils und der schlechten Wirkungsgrade hohe CO₂-Emissionen. Unter heutigen Bedingungen verhindert eine Kilowattstunde Ökostrom im Stromsektor daher doppelt so viel CO₂, als wenn sie im Verkehrsbereich zur Herstellung von Wasserstoff eingesetzt werden würde (Erinnerung: Energieverluste durch Umwandlungsschritte).

Fazit 5: Es besteht eine Nutzungskonkurrenz um erneuerbare Energieträger. MOMENTAN ist die direkte Nutzung der erneuerbaren Energien zur Stromerzeugung NOCH effizienter als zur Wasserstoffgewinnung.

Sicherheit: Gewisse sicherheitstechnische Grundstandards sollten natürlich eingehalten werden. Zahlreiche Studien zeigen, dass bei Einhaltung dieser Regeln keine zusätzlichen Gefahren bestehen.

Die Kosten erneuerbaren Stroms sind heutzutage nicht allzu weit von den Kosten der fossilen Stromerzeugung entfernt. Zwischen solaren Wasserstoff und Benzin existieren jedoch noch große Lücken. Aber: Rohöl wird knapper und teurer. Die Kostenschere wird in Zukunft schrumpfen.

Besonderes Problem des Wasserstoffs: Die Transportfähigkeit

Frage: Wie kommt der Wasserstoff als leichtes Gas, das man nicht ohne weiteres in einen Tanklastzug füllen kann von der Fabrik in den Tank eines Brennstoffzellenautos?

Möglichkeit 1a:

Zentrale Lösung: Wasserstoff wird zentral in einer chemischen Fabrik erzeugt und dann per Tanklastzug zu den Tankstellen gebracht werden. So werden heute auch Benzin und Diesel aus den Erdö Raffinerien verteilt. Dazu muss man Wasserstoff allerdings verflüssigen – ein ausgesprochen komplizierter Prozess. In mehreren Stufen muss man den Wasserstoff auf –253 Grad Celsius abkühlen und in hochvakuumisolierten Speichern lagern. Das kostet Energie. Bis zu einem Drittel des Energiegehaltes des Wasserstoffs kann die Verflüssigung kosten. Sinn macht dies dann, wenn der Wasserstoff im Auto sowieso in flüssigem Zustand gespeichert ist.

Möglichkeit 1b:

Der gasförmige Wasserstoff wird in einer großen Fabrik zentral hergestellt und per Pipeline zu den Tankstellen gebracht. Dieser Transport stellt im Prinzip kein Problem dar. Im Wesentlichen können dabei die bewährten Erdgaspipelines zum Einsatz kommen. (Verdichter überbrücken die Druckverluste des Wasserstoffs entlang der Pipeline. Ruhrgebiet: 240 Länge. Dazu wäre aber eine Umstellung der Gasnetze und Brenner erforderlich (ist aber technisch möglich)).

Möglichkeit 2:

Dezentrale Lösung: Die Idee, Wasserstoff dezentral, also direkt an der Tankstelle zu erzeugen, ist naheliegend. Man kann den Erdgasanschluss einer Tankstelle nutzen, indem das Erdgas in kleinen Reformern vor Ort in Wasserstoff umgewandelt wird. Diese Brennstoffzellen-Blockheizkraftwerke passen sogar in eine Container-Box.

Einige Firmen, vor allem in Nordamerika entwickeln zudem dezentrale Elektrolyseure. Diese Apparate werden schlicht an die Steckdose angeklemt und spalten mit dem Strom das Wasser. Sogar einen Heim-Elektrolyseur für die eigene Garage kann man bereits kaufen. So kann sich jeder zu Hause einen eigenen Kraftstoff erzeugen.

Frage: Was ist noch notwendig, um die solare Wasserstoffwirtschaft zu realisieren?

Wichtige Hürde auf dem Weg zu einer Wasserstoffwirtschaft ist die Schaffung eines flächendeckenden Versorgungsnetzes.

Der Aufbau einer Infrastruktur muss bezahlt werden: ein Netz von Tankstellen, eine Logistik, neue Produktionszentren und Pipelines. Langfristig müsste auch die Versorgung der Wasserstofffabriken mit erneuerbaren Energierohstoffen gesichert werden. Weltweit werden die Kosten für den Aufbau der Infrastruktur auf einige Billionen Euro geschätzt. Verglichen mit den heutigen Anlagevermögen und Investitionen der Energiewirtschaft, ist diese Zahl nicht mehr ganz so erschreckend.

Herausforderungen an die Tankstellen:

Der Wasserstoff muss entweder als hochkomprimiertes Gas oder als tiefgekühlte Flüssigkeit in das Auto gebracht werden – extreme Bedingungen in beiden Fällen.

Wasserstoff-Gastankstellen arbeiten ähnlich wie Erdgastankstellen. Der Wasserstoff wird auf hohen Druck gebracht, damit er überhaupt in das Fahrzeug fließt. Dazu braucht man einen teuren, technisch anspruchsvollen Verdichter, der vergleichsweise viel Energie konsumiert.

Flüssigwasserstoff muss ebenfalls sorgfältig getankt werden, damit er nicht auf dem Weg ins Fahrzeug verdampft.

In München steht eine von 4 deutschen Wasserstofftankstellen. Ein glänzender Roboterarm befüllt die Fahrzeuge. Computersteuerungen, Sensoren und eine vollautomatische Infrastruktur sorgen dafür, dass Fehlbedienungen ausgeschlossen sind. Die Handbremse des Brennstoffzellenautos muss gezogen und die Wegfahrsperrung aktiviert sein, sonst startet der Tankvorgang nicht. Auf diese Weise soll verhindert werden, dass der Tankschlauch bricht, wenn ein Auto losfährt. Die Tankstelle in München versorgt Wasserstoffbusse und PKWs auf dem Flughafengelände. 18 Millionen Euro hat die kombinierte Tankstelle gekostet. Sie ist allerdings erst im Prototypenstadium.

Um eine flächendeckende Versorgung mit Wasserstoff zu gewährleisten, müssen die Tankstellen günstiger werden. Denn 2000 Tankstellen wären für ein ausreichendes Versorgungsnetz notwendig. Doch die Erfahrung bleifreien Benzins zeigt, dass es außerordentlich lange dauert, bis genügend Tankstellen für einen neuen Kraftstoff vorhanden sind. Erst wenn mehr als die Hälfte aller Tankstellen den neuen Kraftstoff anbieten, fühlen sich die Kunden zuverlässig versorgt und sind bereit, auf einen besseren Kraftstoff umzusteigen. (In Deutschland hatten es die 100 Biodieseltankstellen sehr schwer. Erdgastankstellen gibt es in Deutschland immer noch sehr selten...Auch wenn die Niederlande und Argentinien zeigen, dass es auch anders geht).

Der Aufbau der Infrastruktur ist ein typisches Henne-Ei-Problem. Wer investiert Milliardensummen, wenn es nur wenige Wasserstoffmobile gibt? Und wer kauft sich ein Brennstoffzellenauto, wenn die Tankstellen mühsam auf der Landkarte gesucht werden müssen? Da Energieversorgung längst globalisiert ist, ist ein Konsens aller Beteiligten unabdingbar. Ohne Vorleistungen des Staates und einiger finanzkräftiger Unternehmen bleibt es schwierig die nachhaltige und emissionsfreie Mobilität voranzutreiben.

Technische Hürde:

Auch die Lagerung des Wasserstoffs im Auto ist komplizierter (neben Herstellung und Transport). Gute Speicher werden demnach gebraucht, damit das Auto nicht alle hundert km eine Tankstelle ansteuern muss.

Es gibt vier verschiedene Möglichkeiten:

1. Man setzt den Wasserstoff unter Druck und zwingt ihn auf engen Raum (Vorbild: komprimiertes Erdgas)
2. Verflüssigung von Wasserstoff: große Reichweite

3. Verwendung von Chemikalien, die verhältnismäßig viel Wasserstoff enthalten und wandelt diese wieder im Auto zu Wasserstoff um (Metallhydride, Methanol)
4. Wasserstoff in Kontakt mit reaktiven Kohlenstoffstrukturen bringen(noch Vision)

Diese Möglichkeiten unterscheiden sich nicht nur in den Kosten sondern auch in der Speicherdichte (d.h. wie viel Wasserstoff in einem Kilogramm oder Kubikmeter Speicher aufbewahrt werden kann). Glücklicherweise sind die Wasserstoffantriebe in der Regel effizienter, so dass geringere Energiemengen und damit kleinere Speicher ausreichen, um das Fahrzeug eine bestimmte Wegstrecke voranzubringen.

Fazit

Aus diesen Gründen ist eine vollständige solare Wasserstoffwirtschaft höchstwahrscheinlich nicht realisierbar. Als Insellösungen, wie beispielsweise im Verkehrsbereich ist es durchaus denkbar, dass sich die Wasserstoffoption auf Grund ihrer potentiellen Netzunabhängigkeit als gute Alternative zur fossilen Energiebereitstellung entwickelt. Die Möglichkeiten sind in jedem Fall noch nicht ausgeschöpft.



Merkblatt

Damit sich die Schüler die wichtigsten Stichpunkte merken, kann eine Art Merkblatt erstellt werden, indem die oben genannten Merksätze auf einer Tafelseite entsprechend dem Diskussionsverlauf gesammelt/angeschrieben werden.

Fazit 1: Wasserstoff ist nur so sauber wie der Energieträger, aus dem er hergestellt wurde.

Herstellung von Wasserstoff mit Hilfe von ...

... fossilen Energieträgern: hohe CO₂- und Schadstoffemissionen

... regenerativen Energieträgern: günstige Umweltbilanz, d.h. niedrige CO₂- und Schadstoffemissionen

Fazit 2: Um Wasserstoff zu gewinnen, muss immer Energie hineingesteckt werden.

Egal aus welchem Rohstoff die Erzeugung erfolgt.

→ Dampfreaktion: Wärme

Elektrolyse: Strom

Fazit 3: Der für die Elektrolyse notwendige Strom beeinflusst die Umweltbilanz maßgeblich.

Fazit 4: Je mehr Umwandlungsschritte notwendig sind, desto höher sind die Energieverluste und Kosten der Energiebereitstellung.

Fazit 5: Es besteht eine Nutzungskonkurrenz um erneuerbare Energieträger. MOMENTAN ist die direkte Nutzung der erneuerbaren Energien zur Stromerzeugung noch effizienter als zur Wasserstoffgewinnung.

Kopiervorlagen

