

# Grüner Wasserstoff – physikalisch-chemische Grundlagen

Prof. Dr. Axel Donges



© Andriy Onufriyenko/Moment

In diesem Unterrichtsmaterial setzen sich die Schülerinnen und Schüler mit grünem Wasserstoff auseinander. Sie untersuchen dessen nachhaltige Produktion und nähern sich den Themen Speicherung und Transport. Schließlich erörtern sie, wie grüner Wasserstoff als Brennstoff oder Kraftstoff eingesetzt werden kann. Diese Einheit bietet für die Lernenden einen physikalisch-chemischen Zugang zu zentralen Themen des Klimawandels.

# Grüner Wasserstoff – physikalisch-chemische Grundlagen

## Mittelstufe

Prof. Dr. Axel Donges

Hinweise	1
M1 Wasserstoff – physikalisch-chemische Eigenschaften	2
M2 Gewinnung von Wasserstoff	4
M3 Brennstoffzelle – Funktionsprinzip	6
M4 Grüner Wasserstoff	8
M5 Speicherung und Transport von Wasserstoff	9
M6 Gefahren des Wasserstoffs	11
M7 Lernerfolgskontrolle	13
Lösungen	14

## Die Schülerinnen und Schüler lernen:

was man unter grünem Wasserstoff versteht. Sie erkennen, wie er nachhaltig produziert, gespeichert und transportiert wird und erfahren, wie er als Brenn- oder Kraftstoff eingesetzt werden kann.

## Überblick:

Legende der Abkürzungen:

AB Arbeitsblatt      TA Tafelbild  
LEK Lernerfolgskontrolle      LV Lehrerversuch

Thema	Material	Methode
Eigenschaften von Wasserstoff	M1	AB, LV
Erzeugung von Wasserstoff	M2	AB, TA
Brennstoffzelle	M3	AB, TA
Grüner Wasserstoff	M4	AB, TA
Speicherung und Transport von Wasserstoff	M5	AB, TA
Gefahren des Wasserstoffs	M6	AB, TA
Lernerfolgskontrolle	M7	LEK

## Kompetenzprofil:

**Inhalt:** Wasserstoff und seine Isotope, Knallgasreaktion mit spezifischem Brennwert, Elektrolyse von Wasser, Brennstoffzelle, grüner Wasserstoff, Speicherung und Transport von Wasserstoff, Gefahren des Wasserstoffs

**Medien:** GTR, Tafel, Lehrerversuch

**Kompetenzen:** Erklären von Phänomenen unter Nutzung bekannter physikalischer Modelle und Theorien (E1), Anwenden bekannter mathematischer Verfahren auf physikalische Sachverhalte (S7), Identifizieren und Entwickeln von Fragestellungen zu physikalischen Sachverhalten (E1), physikalisches Modellieren von Phänomenen, auch mithilfe mathematischer Darstellungen und digitaler Werkzeuge, wobei theoretische Überlegungen und experimentelle Erkenntnisse aufeinander bezogen werden (E4).

## Erklärung zu den Symbolen



einfaches Niveau



mittleres Niveau

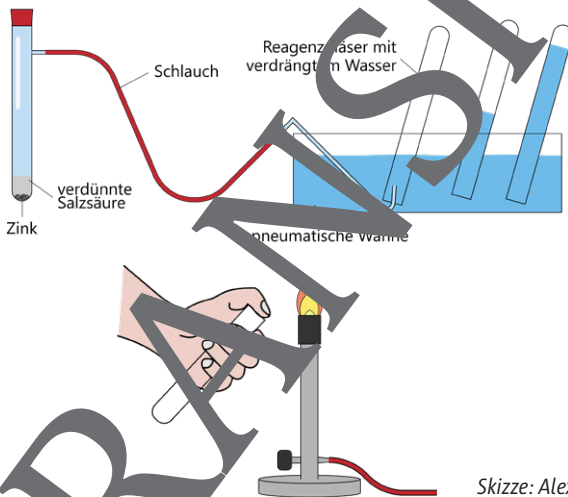


schwieriges Niveau

In Worten: Wasserstoff ( $H_2$ ) verbrennt bei Sauerstoffzufuhr ( $O_2$ ) zu Wasser ( $H_2O$ ). Bei der Knallgasreaktion wird pro verbranntem Kilogramm Wasserstoffgas eine Energie von 39,3 kWh/kg (= spezifischer Brennwert  $h^1$ ) frei, wenn das entstehende Wasser kondensiert und auf 25 °C abgekühlt wird.

### Lehrerversuch: Knallgasprobe

Mithilfe eines **Kippschen Apparates** (gefüllt mit Zink und verdünnter Salzsäure) wird Wasserstoffgas erzeugt:  $Zn + 2 HCl \longrightarrow ZnCl_2 + H_2$ . Mithilfe einer pneumatischen Wanne wird das Wasserstoffgas in einem umgedrehten Reagenzglas aufgefangen. Verschiebt man die Öffnung des Reagenzglases unter Wasser mit dem Daumen, so kann der aufgefangene Wasserstoff nicht entweichen. Wird dann das Reagenzglas einer Brennerflamme genähert und gleichzeitig die Öffnung freigegeben, ist eine heftige „Explosion“ zu hören.



### Aufgabe

- Ermittle durch Internetrecherche die spezifischen Brennwerte von Benzin und Erdgas und vergleiche diese mit dem spezifischen Brennwert von Wasserstoff.
- Berechne die Menge an Wasserstoff (in kg), welche ein Auto benötigt, um eine Strecke von 500 km zu fahren. Nimm folgende Kenndaten als gegeben an: Das Auto verbraucht 7,0 Liter auf 100 km und die Dichte von Benzin ist  $\rho = 740 \text{ kg/m}^3$ .

<sup>1</sup> Der spezifische Brennwert  $h$  ist die Wärmeenergie, die durch Verbrennung, Kondensation und Abkühlung des Wasserdampfs auf 25 °C von einem Kilogramm Brennstoff entsteht.

## M2 Gewinnung von Wasserstoff



### Chemische Gewinnung

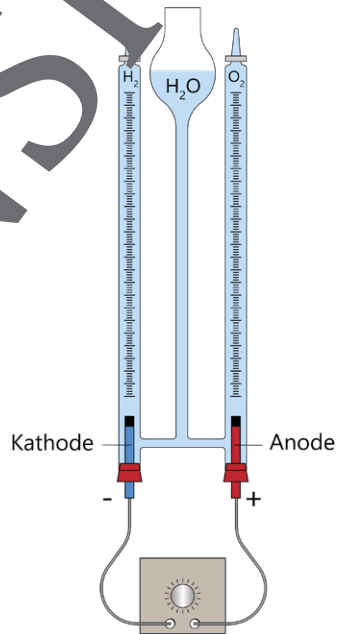
Molekularer Wasserstoff entsteht bei der **Reaktion verdünnter Säuren mit unedlen Metallen** (z. B. Salzsäure mit Zink:  $\text{Zn} + 2 \text{HCl} \longrightarrow \text{ZnCl}_2 + \text{H}_2$ ) oder durch die **Zersetzung von Wasser durch Alkalimetalle** (z. B. Natrium:  $2 \text{Na} + 2 \text{H}_2\text{O} \longrightarrow 2 \text{NaOH} + \text{H}_2$ ). Diese Methoden eignen sich jedoch nur für das Labor, nicht für die industrielle Herstellung. Im industriellen Maßstab wird molekularer Wasserstoff durch **Dampfreformierung** oder durch **partielle Oxidation** hergestellt. Diese beiden Methoden werden im Weiteren nicht näher erläutert.

### Elektrolyse von Wasser

Eine alte und effiziente Methode zur Wasserstoff-Gewinnung ist die **Elektrolyse**. Dabei wird (flüssiges) Wasser mithilfe von elektrischem Strom letztendlich in Wasserstoff und Sauerstoff zersetzt:  $2 \text{H}_2\text{O} \longrightarrow 2 \text{H}_2 + \text{O}_2$  (umgekehrte Knallgasreaktion). Im Detail laufen die folgenden Reaktionen ab (siehe Bild rechts, **Hofmannscher Wasserzersetzungsgenerator**):

1. Ein Teil des flüssigen Wassers ist dissoziiert, d. h.  $8 \text{H}_2\text{O} \longrightarrow 4 \text{H}_3\text{O}^+ + 4 \text{OH}^-$ .
2. Die  $\text{H}_3\text{O}^+$ -Ionen wandern zur negativen Kathode, wo die  $\text{H}_3\text{O}^+$ -Ionen Elektronen aufnehmen:  $4 \text{H}_3\text{O}^+ + 4 \text{e}^- \longrightarrow 2 \text{H}_2 + 2 \text{H}_2\text{O}$ . Dabei entsteht molekularer gasförmiger Wasserstoff, der in der linken Röhre aufsteigt.
3. Die  $\text{OH}^-$ -Ionen wandern zur positiven Anode, wo sie diese Elektronen abgeben:  $4 \text{OH}^- \longrightarrow \text{O}_2 + 2 \text{H}_2\text{O} + 4 \text{e}^-$ . Dabei entsteht molekularer gasförmiger Sauerstoff, der in der rechten Röhre aufsteigt.
4. In Summe gilt also  $8 \text{H}_2\text{O} \longrightarrow 4 \text{H}_3\text{O}^+ + 4 \text{OH}^- \longrightarrow 2 \text{H}_2 + \text{O}_2 + 4 \text{H}_2\text{O}$ .

Bei der Wasserelektrolyse wird mithilfe elektrischer Energie Wasser in Wasserstoff und Sauerstoff zersetzt. Der Wirkungsgrad des Prozesses liegt zwischen 60 % und 85 %.



Skizze: Alexander Friedrich

## Transport

Wasserstoff kann durch sein Speichermedium transportiert werden (z. B. durch Tanklastwagen). Alternativ, insbesondere bei größeren Strecken, wird Wasserstoff in langen Röhren (**Pipelines**) transportiert.

Im Ruhrgebiet sowie im mitteldeutschen Chemiedreieck existieren bereits seit Jahrzehnten größere Wasserstoffpipelines. Bei der Wasserstoffpipeline im Ruhrgebiet handelt es sich um die längste ihrer Art in Deutschland (240 km). Es ist weltweit geplant, neue Wasserstoffpipelines zu bauen. Auch sollen bestehende Erdgaspipelines zu Wasserstoffpipelines umgewidmet werden. Wie tauglich diese Rohrleitungen, Verdichter, Armaturen etc. für den Transport von Wasserstoff bei Gasen mit einem hohen Wasserstoffanteil sind, ist Gegenstand von umfassenden Untersuchungen.



### Aufgabe

Eine Wasserstoffpipeline hat einen Durchmesser von  $d = 1,0 \text{ m}$ . Das Gas hat eine Dichte von  $\rho = 10 \text{ kg/m}^3$  und strömt mit einer Geschwindigkeit von  $v = 2,0 \text{ m/s}$  durch die Röhre.

Berechnen Sie die transportierte Leistung  $P = \frac{E}{\Delta t}$  (d. h. den Brennwert  $\Delta H$  des Wasserstoffs, der pro Sekunde ( $\Delta t = 1 \text{ s}$ ) am Ende der Leitung entnommen wird).

# Sie wollen mehr für Ihr Fach?

## Bekommen Sie: Ganz einfach zum Download im RAABE Webshop.



**Über 5.000 Unterrichtseinheiten**  
sofort zum Download verfügbar



**Webinare und Videos**  
für Ihre fachliche und  
persönliche Weiterbildung



**Attraktive Vergünstigungen**  
für Referendar:innen mit  
bis zu 15% Rabatt



**Käuferschutz**  
mit Trusted Shops



Jetzt entdecken:  
**www.raabe.de**