WASSERSTOFF

Ein großartiger Energieträger mit vielleicht noch größerer Zukunft ist Wasserstoff. Denn bei seiner Verbrennung entsteht nichts weiter als Wasserdampf. Und er ließe sich ökologisch durch Solarenergie aus Wasser gewinnen. Und erste Fahrzeuge [Busse, Schienenfahrzeuge, wenige PKW] gibt es ja auch schon. Leider ist die Technologie noch etwas teuer und das Netz der Wasserstofftankstellen kaum ausgebaut.

Auf jeden Fall ist die Energieerzeugung aus Wasserstoff kaum umweltbelastend [ähnlich wie bei Brennstoffzellen]. Elektrofahrzeugen gehört die Zukunft sicher bislang eher nicht, denn hier entsteht die Umweltbelastung einfach nur woanders [in Kraftwerken, bei der Lithiumgewinnung für Batterien usw.] und teilweise noch schlimmer als bei herkömmlichen Kfz.

[Geschichtliches 1](#_Toc21183503)

[Vorkommen von Wasserstoff auf der Erde 2](#_Toc21183504)

[Eigenschaften 3](#_Toc21183505)

[Bau des Wasserstoffmoleküls 3](#_Toc21183506)

[Darstellung und Nachweis von Wasserstoff 4](#_Toc21183507)

[Industrielle Herstellung von Wasserstoff 5](#_Toc21183508)

[Bedeutung von Wasserstoff 6](#_Toc21183509)

[Wasserstoff aus Solarenergie 7](#_Toc21183510)

[Lexikon einiger Fachbegriffe 7](#_Toc21183511)

[Quellenangaben und Hinweise 9](#_Toc21183512)

Geschichtliches

Entdeckung von Wasserstoff

ca. 1670 Robert **Boyle** Erzeugung von Knallgas aus Säuren und Metallen

1766 Entdeckung von Wasserstoff durch Henry **Cavendish** [bei Versuch unedle Metalle mit Säuren zur Reaktion zu bringen]

Antoine Laurent de **Lavoisier** benennt Wasserstoff als hydrogenium [griech.; Wasser erzeugender Stoff – er erkannte, dass bei der Verbrennung von Wasserstoff Wasser entsteht, veröffentlicht 1784]

Knallgasprobe

Lavoisier führte auch die **Knallgasprobe** ein [um Apparaturen für brennbare Gase auf Sauerstofffreiheit zu prüfen]

Luftschiffkatastrophe Hindenburg

Am 6. Mai **1937** ereignete sich das katastrophale Unglück des größten **Luftschiffes** der Welt, der LZ 129 „**Hindenburg**“.

Der **Zeppelin** war 245 Meter lang und erreichte eine Geschwindigkeit von bis zu 125 km · h−1. In seiner Hülle befanden sich 200.000 m3 **Wasserstoff**. Nach einem 3-tägigen Flug über den Atlantik geriet es nahe New York kurz vor seiner Landung in Lakehurst in Brand und stürzte ab. In knapp einer Minute war die Hülle des Luftschiffes abgebrannt. Wie durch ein Wunder überlebten das Unglück 61 Passagiere, 35 Menschen fanden den Tod.

Raumschiffkatastrophe Challenger

Am 28.1.**1986** geschah das bis dahin schwerste Unglück in der Geschichte der bemannten Raumfahrt. Die **US-Raumfähre CHALLENGER** explodierte mit den 7 Astronauten wenige Sekunden nach ihrem Start etwa 8 km vor der Küste Floridas. Die Explosion kam aus dem riesigen Treibstofftank, der noch den größten Teil der knapp 1,5 Millionen Liter flüssigen **Wasserstoff** und mehr als eine halbe Million Liter flüssigen Sauerstoff enthielt, die den Treibstoff der Haupttriebwerke der Rakete bildeten. Die Kraft der Explosion übertraf die der größten herkömmlichen Bomben. Die Raumfähre wurde durch die Explosion in Stücke gerissen. Viele Menschen, die den Start beschaut hatten, waren Augenzeuge.

Raumschiffkatastrophe Columbia

Bereits am 12.04.**1981** startete das US-**Space-Shuttle COLUMBIA** zu ihrem ersten Flug. Die folgenden Flüge verliefen [trotz fehlender vorheriger Tests] nahezu reibungslos, abgesehen von einigen Hitzekachelschäden. Bei der Rückkehr von ihrem 28. Flug am 1. Februar **2003** jedoch brach die Raumfähre bei ihrer Rückkehr in etwa 60 km Höhe bei einer Geschwindigkeit von über 20.000 km/h auseinander. Hier lag die Ursache an einem defekten Hitzeschutzschild, da die Shuttles nur beim Starten Treibstoffbehälter mit Wasserstoff mit sich führen. Zugleich läutete diese Katastrophe das Ende der Space-Shuttles der NASA ein.

Vorkommen von Wasserstoff auf der Erde

im Universum

Wasserstoff ist das häufigste chemische Element im Universum [in unserem Sonnensystem, z.B. auf **großen** Gasplaneten wie Saturn oder Jupiter und auf der **Sonne**, sowie noch mehr in anderen Galaxien]

Vorgänge auf der Sonne

Kernfusion von Wasserstoff- zu Heliumatomkernen; dabei wird sehr viel Energie freigesetzt

unsere Sonne macht den größten Teil der Masse unseres Sonnensystems aus

in der Luft

kaum

als Element chemisch gebunden

in Verbindung als Element in Wasser und den meisten **organischen Stoffen** [z.B. **Methan** im Erdgas und in Permafrostböden, in anderen Kohlenwasserstoffen im **Erdöl**, in **Mineralien**]

Eigenschaften

Eigenschaften von Sauerstoff bei 20°C

**farbloses**, **geruchloses Gas**; sehr geringe Dichte [ρ ≈ 0,089 g · L−1 bzw. kg · m−3 , d.h. 14-mal leichter als Luft; **leichtestes Gas** überhaupt], kaum wasserlöslich, **brennbar** [im Gemisch mit Luft bzw. Sauerstoff **explosiv**]

Aufbewahrung

Stahlflaschen [Druckgasbehälter] mit Druckminderungsventil und rotem Ring

|  |  |
| --- | --- |
| GefahrstoffkennzeichnungWasserstoffBeschreibung: 2000px-GHS-pictogram-flamme.svg.pngBeschreibung: 2000px-GHS-pictogram-bottle.svg.png | Arbeits- und BrandschutzWasserstoff ist **leicht entzündlich** und extrem **explosionsgefährlich**; Stahlflaschen mit Sauerstoff stehen unter Druck [sachgerechter Umgang ist nötig] |

Verbrennung

Wasserstoff reagiert mit Sauerstoff zu Wasser [stark exotherm]

**2 H2**(g) + **O2**(g) 🠢 **2 H2O** (g) ; *ΔH = –571,8* *kJ · mol –1*

*jeweils zwei Wasserstoffmoleküle reagieren mit einem Sauerstoffmolekül zu 2 Wassermolekülen*

der Wasserdampf kondensiert nach der Verbrennung meist gut sichtbar an den Gefäßwänden

Bau des Wasserstoffmoleküls

Name

Wasserstoff

englisch

hydrogen

Struktur [Bau]

Wasserstoff besteht aus **Molekülen** [ist somit eine **Molekülsubstanz**]; Moleküle bestehen stets jeweils aus 2 Wasserstoffatomen, also desselben Elements [**Elementsubstanz**]; große Anziehungskräfte im Molekül [chemische Bindung], geringe Anziehungskräfte zwischen Molekülen

Bindungsverhältnisse im Molekül

die beiden Wasserstoffatomen sind durch eine **Elektronenpaarbindung** [Atombindung] aus **einem gemeinsamen Elektronenpaar** verbunden; beide positiv geladenen Atomkerne ziehen das gemeinsame [bindende] Elektronenpaar an

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Molekülmodell | Kalottenmodell | LEWIS-Formel |
| Ein Bild, das Ei, Objekt enthält.  Automatisch generierte Beschreibung |  | **H–H** oder **H : H** |

Formel **H2**

chemisches Zeichen für **1 Molekül Wasserstoff** und für den **Stoff** [die Elementsubstanz, also das Gas] **Wasserstoff** sowie **1 mol Wasserstoff**

|  |  |
| --- | --- |
| Atombindung und EdelgaskonfigurationWasserstoffatome besitzen je 1 Außenelektron – daher wird ein **gemeinsames Elektronenpaar** zwischen ihnen ausgebildet, denn dies ergibt für jedes der beiden Atome eine stabile Elektronenanordnung für das Molekül, wie sie sonst nur das Heliumatom [also ein Edelgasatom] besitzt |  |

Edelgaskonfiguration können Teilchen durch Molekülbildung oder Ionenbildung erreichen; Edelgaskonfiguration ist ein sehr stabiler und energiearmer Zustand

Darstellung und Nachweis von Wasserstoff

kleinste Mengen im Labor

Darstellung aus unedlen Metallen und Säurelösungen

Chemische Reaktion von **Zink** mit verdünnter Salzsäure [**Chlor-wasserstoffsäure**] zu Zinkchloridlösung und Wasserstoff; exotherm

**Zn** (s) + **2 HCl** (aq) 🠢 **ZnCl2** (aq) + **H2** (g) ; *ΔH = –n kJ · mol –1*

Redoxreaktion

Reaktionen **unedler Metalle** mit **Säurelösungen** sind **Redoxreaktionen**

Beispiel

*es lassen sich auch andere Metalle und Säuren einsetzen*

chemische Reaktion von **Zink mit verdünnter Salzsäure**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  |  | OXIDATION |  |  |  |  |  |  |
| **Zn** | + | **2 HCl** | 🠢 | **ZnCl2** | + | **H2** |
| **RM1** |  | **OM2** |  | **OM1** |  | **RM2** |
|  |  |  |  |  |  | REDUKTION |  |  |

* **Oxidation** [Elektronenabgabe] 🠞 Zn 🠢 Zn2+ + 2 e–
* **Reduktion** [Elektronenaufnahme] 🠞 2 H+ + 2 e– 🠢 H2
* **Redoxreaktion** [Elektronenübergang] 🠞 Zn+ 2 H+ 🠢 Zn2+ + H2
* mit **Gegenionen** 🠞 Zn + 2 H+ + 2 Cl– 🠢 Zn2+ + 2 Cl– + H2
* **Reaktionsgleichung** 🠞 Zn + 2 HCl 🠢 ZnCl2 + H2

Mehr dazu auf unserer Seite Redoxreaktionen!

Darstellung im KIPPschen Apparat

|  |  |
| --- | --- |
| durch Redoxreaktion von Zink mit Salzsäurelösung [exotherm]beim Öffnen des Hahn steigt die Säure zum Zink auf und die Reaktion beginnt – schließt man den Hahn, so fließt die Säure infolge des Drucks wieder in die untere Halbkugel zurück und die Reaktion endet; dadurch muss der Apparat nicht ständig neu befüllt werden | Ein Bild, das Text, Karte enthält.  Automatisch generierte Beschreibung |

Knallgas

explosives Gemisch eines brennbaren Gases [z.B. Wasserstoff] mit Luft [Sauerstoff]

Knallgasprobe

Prüfen der Sauerstofffreiheit eines brennbaren Gases [z.B. verbrennt reiner Wasserstoff mit schwach blauer Flamme und geräuschlos] bspw. an einem Gasentwickler

eine kleinste Gasmenge wird in einem kleinen Reagenzglase entnommen und mit einem brennenden Streichholz geprüft

*🠢 bei pfeifendem Knall ist das Gas noch nicht frei von Sauerstoff*

*🠢 reiner Wasserstoff verbrennt mit schwachblauer Flamme kaum hörbar*

Nachweis von Wasserstoff

**Wasserbildung** bei der **Verbrennung** bzw. Knallgasprobe [entwässertes Kupfer(II)-sulfat verfärbt sich bei Wasseranwesenheit von weiß nach hellblau]

2 H2 + O2 🠢 2 H2O ; *ΔH = –571,8 kJ · mol –1*

pneumatisches Auffangen

experimentelle Methode, um schlecht wasserlösliche Gase durch Verdrängung der Sperrflüssigkeit Wasser in einem Standzylinder o.ä. aufgefangen werden können

Industrielle Herstellung von Wasserstoff

Variante 1 • Elektrolyse von Wasser

Zerlegung von **Wasser** in **Wasserstoff** und **Sauerstoff** durch elektrischen Strom [endotherm] ...
2 H2O ⇄ 2 H2 + O2 ; *ΔH = +571,8 kJ · mol –1*

[siehe dazu auch unser Skript Redoxreaktionen]

*anstelle des elektrischen Stroms funktioniert die Reaktion theoretisch auch mit sehr hoher Wärmezufuhr*

Variante 2 • Dampfreformierung von Kohlenwasserstoffen

[z.B. aus **Erdgas**] mit Wasser unter hohem Druck und hohen Temperaturen, wobei Kohlenstoffmonooxid und Wasserstoff entstehen

hier z.B. aus **Methan** [Hauptbestandteil des Erdgases] ...
CH4 + H2O ⇄ CO + 3 H2 ; *ΔH = +206 kJ · mol –1*

um noch mehr Wasserstoff zu erhalten, wird das Kohlenstoffmonooxid mit Wasserdampf am Katalysator weiter zu Kohlenstoffdioxid umgesetzt [exotherm]...
CO + H2O ⇄ CO2 + H2 ; *ΔH = –41 kJ · mol –1*

Bedeutung von Wasserstoff

Verwendung von Wasserstoff bei Hydrierungen

z.B. zum **Hydrieren** [**Additionsreaktion an Mehrfachbindungen**; z.B. zum Härten von ungesättigten Fettsäuren bei der Margarineherstellung oder bei der Hydrierung von Alkenen zu Alkanen]

Beispiel: Hydrierung von Ethen zu Ethan

H2C=CH2 + H2 ⇄ H3C–CH3 ; *ΔH = –m kJ · mol –1*

Verwendung in der Industrie

für chemische Synthesen [Ammoniak, Chlorwasserstoff usw.]; zum autogenen Schweißen und Brennschneiden von Stahl [heute kaum noch], als Energieträger [Raketen, Wasserstofffahrzeuge etc.]

für Luftschiffe und Ballons heute nicht mehr – man verwendet dafür das nichtbrennbare Helium

Wasserstoff als Energieträger

durch die exotherme **Verbrennung von Wasserstoff** lässt sich **Wärmeenergie** gewinnen und in andere Energieformen umwandeln. beispielsweise gibt es Fahrzeuge [Schienenfahrzeuge, Busse, einige LKW und PKW], die mit Wasserstoff betrieben werden – als "Abgas" entsteht nur reiner Wasserdampf

optimaler Weise würde man **Wasserstoff mittels Solarenergie** aus Wasser erzeugen *[siehe weiter unten]*

Wasserstoff als Energiespeicher

Wasserstoff lässt sich auch **speichern** – so könnte man Energie aus regenerativen Energiequellen [z.B. Sonne, Wind] speichern und bei Bedarf verbrennen *[bislang nur Pilotprojekte]*

auch eine Alternative zur Speicherung mittels Akkus

Wasserstoff und Brennstoffzellen

Wasserstoff spielt auch als Zwischenprodukt bei der Energieerzeugung mittels Brennstoffzellen eine Rolle

Mehr dazu im Homepageteil Physik.

Wasserstoff aus Solarenergie

Hintergrund

Sonnenenergie lässt sich auch dazu nutzen, um per **Elektrolyse aus Wasser** den Energieträger **Wasserstoff** herzustellen, der dann wieder zu Wasser verbrannt werden kann. *Alternativ sind auch die wesentlich effektiveren Brennstoffzellen eine mögliche zukünftige Hauptenergiequelle.*

Prinzip

|  |  |
| --- | --- |
| Mit Hilfe von Solarzellen kann man elektrische Energie in chemische Energie umwandeln, indem **Wasser** in **Wasserstoff** (H2) und **Sauerstoff** (O2) zerlegt wird. Dadurch wird es möglich, Sonnenenergie zu stofflich speichern, da Wasserstoff ein umweltfreundlicher Energieträger ist. Denn bei seiner Verbrennung entsteht lediglich Wasserdampf. | ../../../Websites/Eine%20Welt%20Laden%20Neu/Welt/sam/design/solarhydrogen.png |

Einsatzgebiete

Wasserstoff als **Energieträger** einsetzbar, als **Energiespeicher** und außerdem u.a. Einsatz in **Kraftfahrzeugen** mit Wasserstoffbetankung

Nutzen

Die Wasserstofferzeugung aus Wasser mit Hilfe der Solarenergie bringt ...

|  |  |
| --- | --- |
| VORTEILE | NACHTEILE |
| **Wasser** ist in den **Meeren** ausreichend vorhandenzudem entsteht beim Verbrennen wieder Wasser [**Kreislaufeffekt**];**Umweltfreundlichkeit** | Wasserstoff muss in **Druckgasbehältern** aufbewahrt werden [Material- und Energieeinsatz nötig], wenn er effektiv gespeichert werden soll;Wasserstoff ist **brennbar** und damit im Gemisch mit Luft **explosiv** [erfordert Schutzmaßnahmen] |

Lexikon einiger Fachbegriffe

Reaktionswärme

**exotherm** [Abgabe von Wärmeenergie] Δ**H = –n** kJ · mol –1 [bzw. **Q** **= –n** kJ · mol –1

**endotherm** [Aufnahme von Wärme] Δ**H = +n** kJ · mol –1 [bzw. **Q** **= +n** kJ · mol –1]

*oft mit* ***Q*** *statt ΔH angegeben (Q für Wärmemenge); Schreibweise der Einheit* ***kJ · mol-1*** *auch als* ***kJ/mol*** *möglich;* ***n*** *o.a. Buchstabe als Variable für beliebige Zahlenangabe Bei umkehrbaren Reaktionen gilt die Angabe für die Hinreaktion*[für die Rückreaktion dann das Gegenteil]!

*Δ*H

**Änderung der Enthalpie** bei einer Reaktion, also die Energiebilanz bei einer chemischen Reaktion unter konstantem Druck [Differenz der Enthalpie der Reaktionsprodukte und Ausgangsstoffe, d.h. ihrer chemischen Energien]

Aggregatzustände in Reaktionsgleichungen

(**g**) gasförmig [gaseous], (**l**) flüssig [liquid], (**s**) fest [solid]; (**aq**) wässrige Lösung

umkehrbare chemische Reaktion

Einstellung eines **chemischen Gleichgewichts** zwischen Hin- und Rückreaktion; gekennzeichnet mit einem Doppelpfeil ⇄

Molekül

zusammengesetztes Teilchen, bestehend aus mindestens 2 Atomen, die durch **gemeinsame Elektronenpaare** zusammengehalten werden

Molekülsubstanz

Stoff, der aus Molekülen besteht

Elektronenpaarbindung [Atombindung]

Art der chemischen Bindung, die auf Anziehungskräften zwischen einem **gemeinsamen Elektronenpaar** [negativ geladen] und den positiv geladenen Atomkernen der beteiligten Atome beruht; typische Bindung in Molekülen

Redoxreaktion

**Reaktion mit Elektronenübergang**; mindestens ein Elektron wird von einem Teilchen abgegeben [Reduktionsmittel; wird oxidiert], das von einem anderen Teilchen [Oxidationsmittel, wird reduziert] wieder aufgenommen wird

Oxoniumion H3O+

entsteht jeweils aus einem Wasserstoffionen H+ und einem Wassermolekül [d.h. dass Wasserstoffionen in wässriger Lösung niemals frei existieren, sondern sich stets an ein Wassermolekül binden]: H+ + H2O ⇄ H3O+

Edelgaskonfiguration

Außenelektronenanordnung von Edelgasatomen [siehe VIII. Hauptgruppe]; d.h. 8 Außenelektronen [oder 2 auf der 1. Elektronenschale, wenn diese wie bei Helium die Außenschale ist]

LEWIS-Schreibweise

**Elektronenschreibweise**; durch Punkte werden einzelne Außenelektronen am Symbol des Elements angegeben, durch Striche Außenelektronenpaare; außerdem sind bei Ionen Ladungen angegeben *[die Ionenschreibweise ist eine vereinfachte Elektronenschreibweise]*

chemische Formel

zusammengesetztes chemisches Zeichen aus Symbolen und Ziffern, die die Teilchenanzahlen in Molekülen oder -verhältnisse in Baueinheiten [Formeleinheiten, Elementargruppen] kennzeichnen

Additionsreaktion

kurz Addition; organisch-chemische Reaktionsart, bei der man **Atome oder Atomgruppen** an **Mehrfachbindungen angelagert** [die dadurch aufgespalten werden]

Hydrierung

Addition von **Wasserstoff**

Eliminierung

organisch-chemische Reaktionsart, bei der **Atome oder Atomgruppen abgespalten** werden [mindestens ein Reaktionsprodukt hat dadurch Mehrfachbindungen]

Dehydrierung

Eliminierung von Wasserstoff

Isotop

Atomarten [Elemente], deren Atomkerne gleich viele Protonen, aber unterschiedliche Anzahlen von Neutronen besitzen

die meisten natürlichen Elemente kommen in verschiedenen Isotopen vor

Quellenangaben und Hinweise

Die Inhalte dieser Webseite wurden urheberrechtlich durch den Autor zusammengestellt und eigenes Wissen sowie Erfahrungen genutzt. Bilder und Grafiken sind ausschließlich selbst angefertigt.

Für die Gestaltung dieser Internetseite verwendeten wir zur Information, fachlichen Absicherung sowie Prüfung unserer Inhalte auch verschiedene Seiten folgender Internetangebote: wikipedia.de, schuelerlexikon.de, seilnacht.com, chemie.de, de.wikibooks.org; darüber hinaus die Schroedel-Lehrbücher Chemie heute SI sowie SII [Ausgaben 2004 bzw. 1998 für Sachsen] und das Nachschlagewerk Duden Basiswissen Chemie [Ausgabe 2010]. Zitate oder Kopien erfolgten nicht.

3D-Molekülmodelle wurden mit dem MolView Open-Source Project [molview.org] erzeugt.

Dieses Skript wurde speziell auf dem Niveau der Realschule erstellt.