Branchenfokus: Wasserstoff

September 2020

ESG-Risiken im Überblick

Treibhausgasemissionen	●●●●○
Energieeffizienz	●●●○○
Sicherheit	●○○○○

Übersicht

Zusammenfassung	1
Fakten	2
ESG-Risiken	4
Quellen	5

Herstellung von Wasserstoff

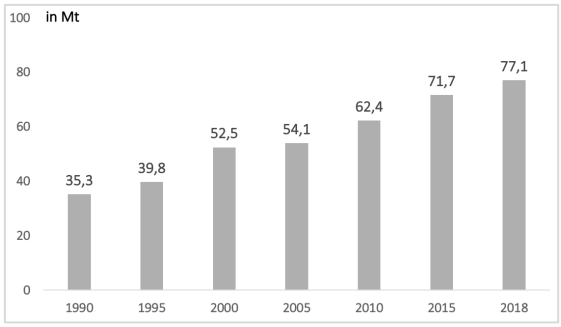


Abb. 1: Angabe in Mio. Tonnen; für 2018 geschätzt; Quelle: https://www.iea.org/reports/the-future-of-hydrogen

Sektoraler Fokus

- Energieerzeugung und -speicherung
- Transportwesen
- Stahl- und Chemieindustrie
- Luft- und Raumfahrt

Zusammenfassung: Argumente im Zusammenhang mit der Erzeugung und Nutzung von Wasserstoff

Pro

- Wasserstoff ist ein sehr vielseitiges chemisches Element, das sowohl in der Industrie, beispielsweise in chemischen Prozessen, als auch als Energieträger Anwendung findet.
- Die Erzeugung von Wasserstoff aus erneuerbaren Energien bietet einen quasi CO_2-freien Energieträger. Grüner Wasserstoff kann daher eine Schlüsselrolle in der Energiewende und bei der Erreichung der Klimaziele spielen.
- Auch wenn die Explosion des Zeppelins Hindenburg im kollektiven Gedächtnis verankert ist: Wasserstoff ist genauso sicher wie andere Brennstoffe.
- Die Herstellung von Wasserstoff als Energieträger ermöglicht mehr Unabhängigkeit von Energieimporten, sofern zur Erzeugung keine importierten fossilen Rohstoffe genutzt werden.
- Für Wasserstoff zeichnet sich ein aussichtsreicher Wachstumsmarkt ab und damit einhergehend die Schaffung von Arbeitsplätzen.

Contra

- Über 90 Prozent des Wasserstoffs werden derzeit aus fossilen Energieträgern gewonnen und sind daher bei der Erzeugung mit erheblichen CO_2-Emissionen verbunden. Nur Grüner Wasserstoff kann einen maßgeblichen Beitrag zum Klimaschutz leisten.
- Wasserstoff ist nur mit recht hohen Wirkungsgradverlusten zu erzeugen, zu transportieren und zu speichern. Transport und Speicherung sind technisch aufwändig und mit CO_2-Emissionen verbunden.
- Der Aufbau einer umfassenden Wasserstoffinfrastruktur erfordert umfassende Investitionen.

Fakten

Wasserstoff

Wasserstoff (H_2) kommt überwiegend in gebundener Form vor, etwa als Salz- oder Süßwasser, als Wasserdampf in der Atmosphäre oder gebunden in Erdöl und Erdgas sowie in allen Lebewesen. Als chemisches Element ist er vielseitig einsetzbar. So dient er beispielsweise als Rohstoff für chemische Produkte wie Düngemittel und Sprengstoffe, wird als Kühlmittel verwendet und in Brennstoffzellen als Kraftstoff für die Wärmeerzeugung und den Antrieb von Motoren eingesetzt. Darüber hinaus kann er zur Langzeitspeicherung von (erneuerbarer) Energie genutzt werden (1).

Erzeugung von Wasserstoff

Zur Herstellung von Wasserstoff gibt es unterschiedliche Verfahren, die eines gemeinsam haben: die Gewinnung von Wasserstoff aus anderen Energieträgern. Wasserstoff gilt daher als sogenannter Sekundärenergieträger. Als Ausgangsstoffe werden dabei Erdgas, vor allem Methan (CH_4), andere Kohlenwasserstoffe, Biomasse und Wasser (H_2O) genutzt (vgl. Abbildung 2).

Die am weitesten entwickelten Verfahren zur Herstellung von Wasserstoff sind Reformierungsverfahren und die Elektrolyse. Bei der Dampfreformierung (Steam Methane Reforming, SMR) und der autothermen Reformierung (ATR) wird Wasserstoff aus Kohlenwasserstoffen – etwa Kohle, Erdgas oder Erdöl – erzeugt. Die dafür benötigte Energie liefert meist der eingesetzte Ausgangsstoff selbst. Die Verfahren werden vor allem in der chemischen Industrie und in Raffinerien angewendet, wo Wasserstoff häufig ein Nebenprodukt der Verarbeitungsprozesse ist. Über 90 Prozent des weltweit produzierten Wasserstoffs wird über Dampfreformierung hergestellt (2). Dabei fallen verschiedene Nebenprodukte an, primär Wasserdampf, Kohlenmonoxid (CO) und Kohlendioxid (CO_2).

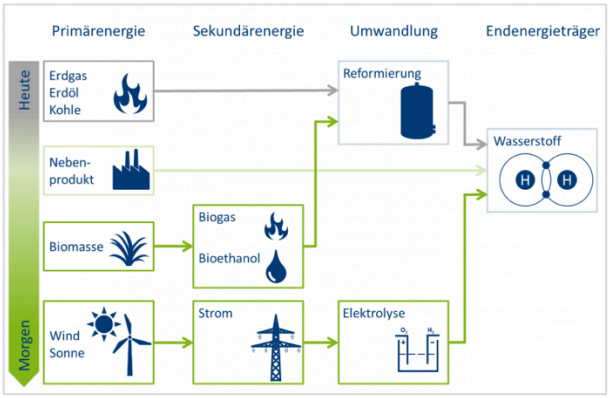


Abb. 2: Erzeugung von Wasserstoff; https://emcel.com/de/woher-kommt-gruener-wasserstoff/

Bei der Elektrolyse wird dagegen Wasser durch Zufuhr von elektrischer Energie und durch Auslösen einer chemischen Reaktion in Wasserstoff und Sauerstoff aufgespaltet. Dabei werden zwei Verfahren unterschieden: die alkalische Elektrolyse (AEL) und die Proton Exchange Membrane Elektrolyse (PEM) (3).

Wasserstoff-Farbenlehre

Je nach Art und Weise der Herstellung wird zwischen Grauem, Blauem, Türkisem und Grünem Wasserstoff unterschieden:

- Grauer Wasserstoff dominiert heute den Markt. Er wird aus fossilen Energieträgern, vorranging Erdgas, im Standardverfahren (SMR) hergestellt. Dieses Verfahren ist derzeit am kostengünstigsten, erzeugt aber große Mengen an CO_2.
- Blauer Wasserstoff wird wie Grauer Wasserstoff aus Erdgas oder Kohle in SMR- oder ATR-Anlagen hergestellt, allerdings wird das entstandene CO_2 gebunden und unterirdisch gelagert (Carbon Capture and Storage, CCS).
- Türkiser Wasserstoff wird per Methanpyrolyse im Hochtemperaturreaktor aus Erdgas gewonnen. Das Verfahren befindet sich derzeit noch in der Pilotphase und ist weniger energieeffizient als das herkömmliche SMR-Verfahren. Der Kohlenstoff fällt dabei in fester Form an und kann weiter genutzt, beispielsweise als „Black Carbon“ in industriellen Prozessen.
- Grüner Wasserstoff wird aus Wasser per Elektrolyse unter Nutzung erneuerbaren Energien hergestellt und ist damit quasi CO_2-frei.

Die globale Wasserstoffproduktion beläuft sich auf etwa 77 Mio. Tonnen pro Jahr (4,5). Mehr als 90 Prozent des produzierten Wasserstoffs dient als Rohstoff in industriellen Prozessen und wird direkt dort hergestellt, wo er auch verwendet wird. Nur etwa 5 Prozent der Gesamtmenge werden am Weltmarkt gehandelt (6). Etwa 45 Prozent des Wasserstoffs werden derzeit aus Rohöl gewonnen, 33 Prozent aus Erdgas, 15 Prozent aus Kohle und 7 Prozent aus Elektrolyseverfahren (7).

Speicherung von Wasserstoff

Wasserstoff ist im Grundzustand ein extrem leichtes und hochflüchtiges Gas. Unter normalem Druck enthalten 3.000 Liter Wasserstoff die gleiche Energiemenge wie ein Liter Benzin (33). Für eine effiziente Speicherung bzw. den anschließenden Transport muss das Gas daher stark verdichtet werden. Das kostet je nach Art und Weise der Verdichtung unterschiedlich viel Energie. Bei den zwei dabei am weitesten verbreiteten Verfahren wird Wasserstoff entweder unter hohen Druck gesetzt (Compressed Gaseous Hydrogen) oder stark abgekühlt und damit verflüssigt (Liquid Hydrogen).

Für die Druckgasspeicherung wird der Wasserstoff in Tanks unter bis zu 700 bar Druck gesetzt. Dafür werden etwa 12 Prozent des ursprünglichen Energieinhalts benötigt. Aktuelle Brennstoffzellenautos führen den Wasserstoff gasförmig mit (34). Wasserstoff für die Energiewirtschaft kann in großen unterirdischen Druckspeichern eingelagert werden.

Die höchste Speicherdichte hat flüssiger Wasserstoff. Dafür muss der Wasserstoff auf –253 °C abgekühlt werden. Er wird dann in sogenannten Kryotanks mit sehr hohen Isolationseigenschaften gelagert. Für die Verflüssigung von Wasserstoff müssen etwa 30 Prozent des Energieinhalts aufgebracht werden. Wird der Wasserstoff nicht genutzt bzw. ständig gekühlt, werden die Tanks mit der Zeit wärmer und der Wasserstoff verdampft. Diese Art der Speicherung ist nur kurzfristig oder dann sinnvoll, wenn der Wasserstoff flüssig benötigt wird.

Eine weitere Möglichkeit der Lagerung von Wasserstoff besteht in Metallhydriden, in denen verhältnismäßig viel Energie (ein m³ Metallhydrid enthält mehr Wasserstoffatome als ein m³ verflüssigter Wasserstoff) gelagert werden kann. Die Speicher sind jedoch sehr teuer, schwer und temperatursensibel. Um 5 kg Wasserstoff zu speichern, benötigt man etwa 250 kg Metallhydrid (36). Kommerzielle Anwendung fand diese Art der Speicherung bisher in U-Booten.

Eine steigende Anwendung findet die Speicherung von Wasserstoff in organischen Verbindungen (Liquid Organic Hydrogen Carriers, LOHC). Durch eine chemische Reaktion wird Wasserstoff mit einer ungesättigten Verbindung (Hydrierung) chemisch an diese gebunden. Bei der Dehydrierung entsteht gasförmiger Wasserstoff.

Transport von Wasserstoff

Sofern Wasserstoff über lange Strecken transportiert werden muss, erfolgt dies in der Regel per LKW oder Pipeline. Der Pipelinetransport von Wasserstoff findet derzeit primär im industriellen Rahmen statt, beispielsweise im Ruhr-Gebiet, in Frankreich, den Niederlanden und den USA. Der Wasserstofftransport via Pipeline ist mit hohem baulichem und wartungstechnischem Aufwand verbunden. Spezielle Rohre sind notwendig, um den hochflüchtigen Wasserstoff zu transportieren. Ein Pipelinesystem, das knapp 10.000 Tankstellen in Deutschland mit Wasserstoff versorgen könnte, würde nach Berechnungen von Experten etwa 23 Mrd. Euro kosten (15).

Im Hinblick auf eine flächendeckende Wasserstoffversorgung in der mobilen Anwendung wäre auch die Herstellung von Wasserstoff direkt an der Tankstelle durch Elektrolyse denkbar. Die Vorteile der Tankstellenelektrolyse sind eine hohe Versorgungssicherheit, die Entlastung des Straßenverkehrs und damit die Senkung von CO_2-Emissionen, eine schnelle Anpassung des Angebots an die jeweilige Nachfrage sowie eine hohe Gasreinheit (35).

Nutzung von Wasserstoff

War in der Vergangenheit die Raumfahrt eine treibende Kraft für die Wasserstofftechnik, wird Wasserstoff heute vor allem in der chemischen Industrie verwendet. Hier dient er als Ausgangselement bei der Synthese von Ammoniak zur Herstellung von Düngemittel, bei der Raffinierung von Mineralöl, zur Härtung von Fetten, bei der Synthese von Methanol und bei vielen metallurgischen Fertigungsprozessen (16, 17).

Stetig an Bedeutung gewinnt der energiewirtschaftliche Stellenwert von Wasserstoff. Derzeit wird der Einsatz des Energieträgers Wasserstoff im Zusammenhang mit Brennstoffzellensystemen in den unterschiedlichsten Bereichen erprobt. Dazu gehören u.a. die Automobil- und Schiffsindustrie, die portable Stromversorgung für Elektrogeräte, die Strom- und Wärmeversorgung von Haushalten sowie die Anwendung in Kleinkraftwerken.

Politische Rahmenbedingungen

Die deutsche Bundesregierung hat im Juni 2020 die „Nationale Wasserstoffstrategie“ beschlossen, um einerseits Grünen Wasserstoff bei der Erreichung der Klimaschutzziele einzusetzen und Deutschland andererseits als Vorreiter bei Grünem Wasserstoff und entsprechenden Technologien zu etablieren (18). Insgesamt sind in Deutschland Investitionen in Höhe von 9 Mrd. Euro vorgesehen, wobei 7 Mrd. Euro in die Förderung der Wasserstofferzeugung und -anwendung fließen sollen und weitere 2 Mrd. Euro in internationale Partnerschaften (19).

Bis 2030 soll es in Deutschland mindestens 400 Wasserstofftankstellen geben; derzeit sind es in ganz Europa rund 130, weitere 40 sind in Realisierung (20). Im gleichen Jahr sollen auf deutschen Straßen etwa 80.000 wasserstoffbetriebene PKWs unterwegs sein. Dies entspricht einem Anteil von einem Prozent des aktuellen Bestandes. Dieser soll bis 2050 auf 30 Prozent aller PKWs ansteigen (21).

Anfang Juli 2020 wurden die beiden EU-Strategie zur Integration des Energiesystems („EU Strategy for Energy System Integration) und zur Förderung von Wasserstoff („European Hydrogen Strategy“) veröffentlicht. (22). Beide Strategien sollen zur Umsetzung des Green New Deals beitragen: Die europäische Wasserstoffstrategie soll insbesondere die Energieversorgung dekarbonisieren, die Integration des Energiesystems soll parallel dazu dafür sorgen, dass die Effizienz des Energiesystems steigt.

Die Wasserstoffstrategie zielt dabei darauf ab, Wasserstoff zu einem wichtigen Energieträger zu machen und die dafür notwendigen Technologien zur Reife zu bringen. Der Anteil des Wasserstoffs am Energiemix, der sich momentan auf unter 2 Prozent beläuft, soll auf 13 bis 14 Prozent im Jahr 2050 anwachsen. Langfristiges Ziel der Kommission ist die weitläufige Nutzung erneuerbaren Wasserstoffs, der v.a. mithilfe von Wind- und Sonnenenergie erzeugt wird. Kurz- und mittelfristig werden aus Sicht der Kommission aber auch andere Formen erforderlich sein, darunter fossiler Wasserstoff mit CO_2-Abscheidung (23).

ESG-Risiken

Vorbemerkung

Folgende Aspekte werden im Zusammenhang mit der Erzeugung, Speicherung und Nutzung von Wasserstoff kritisch diskutiert.

Treibhausgasemissionen



Wie klimaverträglich Wasserstoff ist, hängt maßgeblich vom Herstellungsverfahren und dem zugrundeliegenden Energieträger ab. Grauer, Blauer, Türkiser und Grüner Wasserstoff sind mit unterschiedlich hohen Treibhausgasemissionen verbunden:

- Da Grauer Wasserstoff primär aus Erdgas oder Kohle gewonnen wird, werden sowohl in der Lieferkette als auch bei der Herstellung große Mengen an Treibhausgasemissionen, primär CO_2 und Methan (CH4), freigesetzt.
- Blauer Wasserstoff wird wie Grauer Wasserstoff hergestellt. Ein Großteil des entstehenden CO_2 wird dabei allerdings abgeschieden und unterirdisch gelagert (Carbon Capture and Storage, CCS). Er wird daher als Alternative zu Grauem Wasserstoff diskutiert. Allerdings fallen auch hier in der Lieferkette CO_2-Emissionen an und die CCS-Technologie ist mit klimarelevanten Emissionen und weiteren Risiken verbunden.
- Türkiser Wasserstoff wird aus Erdgas hergestellt. Das im Produktionsprozess entstehende CO_2 fällt in fester Form an und lässt sich daher weiter nutzen, beispielweise als „Carbon Black" in industriellen Prozessen. Je nach Einsatz des so gewonnenen Wasserstoffs können dabei später CO_2-Emissionen frei werden. Wie bei allen erdgasbasierten Verfahren treten in der Lieferkette CO_2-Emissionen auf.
- Grüner Wasserstoff wird aus Wasser in Elektrolyseverfahren zu 100 Prozent mit erneuerbaren Energien hergestellt und ist damit im Herstellungsprozess CO_2-frei.

Bei der konventionellen Erdgasreformierung werden pro Tonne gewonnenen Wasserstoffs etwa 10 Tonnen CO_2 frei. (24). Wird der Wasserstoff dagegen aus Wasser durch Elektrolyse mit erneuerbaren Energien gewonnen, ist der Produktionspfad wie dargestellt nahezu vollständig emissionsfrei.

Unabhängig von der Art seiner Herstellung kann Wasserstoff entlang der gesamten Prozesskette der Produktion, der Speicherung, des Transports und des Verbrauchs entweichen und in die Atmosphäre gelangen. Dort wird er chemisch in Wasserdampf umgewandelt, einem natürlichen und sehr wirksamen Treibhausgas. Das Forschungszentrum Jülich kommt allerdings in einem Gutachten zu dem Schluss, dass dieser Einfluss einer globalen Wasserstoffwirtschaft auf das Klima als gering eingestuft werden kann und im Bereich der natürlichen Variabilität stratosphärischen Wasserdampfes liegt (25, 26, 27).

Energieeffizienz der Nutzung von Wasserstoff



Die Energieeffizienz eines Energieträgers (z. B. Kohle) oder Energiewandlers (z. B. eines Kraftwerkes) wird häufig als Wirkungsgrad definiert. Er gibt an, welcher Anteil der zugeführten Energie im Prozess in die gewünschte Energieform umgewandelt wird. Der Wirkungsgrad hängt maßgeblich vom Umfang der Wertschöpfungskette ab, die betrachtet wird. Beim Wasserstoff beinhaltet der Gesamtwirkungsgrad Herstellung, Speicherung, Transport sowie die weitere Nutzung des Wasserstoffs zum Beispiel in Brennstoffzellenheizungen oder Wasserstoffautos.

Bei der Herstellung von Wasserstoff wird der Wirkungsgrad der Wasserelektrolyse mit 70 bis 90 Prozent angegeben, der Wirkungsgrad der Erdgasreformierung mit 75 Prozent. Durchschnittlich 80 Prozent der elektrischen Energie, die bei der Elektrolyse eingesetzt wird bzw. 75 Prozent der Energie, die im Erdgas steckt, werden also bei der Umwandlung in Wasserstoff gesichert. Im Vergleich: Der mittlere Wirkungsgrad der deutschen Kohlekraftwerke zur Stromherstellung wird mit 40 Prozent beziffert (28).

Am Beispiel der Automobilindustrie lässt sich darstellen, wie sich dieser vergleichsweise gute Wert durch die Betrachtung der Wertschöpfungskette relativiert. So liegt der Wirkungsgrad von Brennstoffzellen selbst theoretisch bei 80 bis 90 Prozent und damit doppelt so hoch wie bei einem Verbrennungsmotor (29). Die Erzeugung des Wasserstoffs durch Reformierung oder mittels elektrischer Energie, seine Speicherung und die erneute Umwandlung in Energie vermindern allerdings den Gesamtwirkungsgrad. Unter Berücksichtigung aller Faktoren ergibt sich ein sogenannter Systemwirkungsgrad zwischen 30 und 45 Prozent (29). Damit ist das Brennstoffzellenauto nur wenig effizienter als benzin- (22 Prozent) oder dieselbetriebene (25 Prozent) Fahrzeuge (30).

Wasserstoffantriebe ermöglichen darüber hinaus die Nutzung der entstehenden Abwärme zur Beheizung sowie den emittierenden Wasserdampf zur Wasserrückgewinnung. Letzteres könnte zum Beispiel bei wasserstoffbetriebenen Flugzeugen lohnend sein, da rund 90 Prozent der Wassermitnahme für die Toiletten eingespart werden könnte (32).

Sicherheit

Viele haben beim Thema Wasserstoff und Sicherheit die Bilder des Zeppelins LZ 129 „Hindenburg“ vor Augen, der am 6. Mai 1937 bei der Landung in Lakehurst (New Jersey, USA) zerstört wurde, als sich die Wasserstofffüllung entzündete. Der TÜV Süd stellt dazu allerdings fest, dass Wasserstoff in Kombination mit Sauerstoff recht „zündfreudig, aber nicht so explosiv ist, wie man vielleicht denkt (37).

Hintergrund: Wasserstoff ist ...

... nicht detonativ im Freien, nicht zerfallsfähig, nicht selbstentzündlich, nicht oxidierend, nicht brandfördernd, nicht giftig, nicht korrosiv, nicht radioaktiv, nicht übelriechend, nicht ansteckend, nicht wassergefährdend, nicht fruchtschädigend, nicht krebserzeugend.

Quelle: https://www.linde-gas.at/de/images/1007_rechnen_sie_mit_wasserstoff_v110_tcm550-169419.pdf

Wie bei allen brennbaren Gasen gelten auch für Wasserstoff entsprechende Sicherheitsvorschriften. Potenzielle Leckagestellen, Verbindungen und Ventile sind so klein wie möglich zu halten. Die Sicherheitsventile müssen bei einem übermäßigen Druckaufbau durch Feuereinwirkungen oder mechanische Verformung der Tanks dafür sorgen, dass Wasserstoff über definierte Wege sicher an die Umgebungsluft abgegeben werden kann. Steigt der Druck im Inneren der Tanks an, zum Beispiel durch die Einwirkung von Feuer oder starken Stößen und Verformung, ermöglichen vorherbestimmte Sollbruchstellen den kontrollierten Druckabbau, ohne dass es zu einer Explosion kommt (38).

Auch von Brennstoffzellenautos geht keine besondere Explosionsgefahr aus. Experimente beispielsweise an der University of Miami haben vielmehr gezeigt, dass die Brandgefahr bei Autos mit Benzin- oder Dieseltank größer ist als bei Fahrzeugen mit Brennstoffzellen (40).

Quellen

(1) https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Dossier/wasserstoff.html
(2) https://www.chemie.de/lexikon/Wasserstoffherstellung.html
(3) https://www.greenpeace-energy.de/fileadmin/docs/publikationen/Studien/blauer-wasserstoff-studie-2020.pdf
(4) http://www.hydrogeit.de/wasserstoff.htm
(5) https://www.innovationsforum-energiewende.de/fileadmin/user_upload/Potentialstudie-fuer-gruenen-Wasserstoff-in-Raffinerien.pdf
(6) http://www.hydrogeit.de/wasserstoff.htm
(7) https://www.dlr.de/tt/Portaldata/41/Resources/dokumente/institut/system/publications/Wasserstoff-Essen.pdf
(8) http://www.hydrogeit.de/wasserstoff.htm
(9) https://www.innovationsforum-energiewende.de/fileadmin/user_upload/Potentialstudie-fuer-gruenen-Wasserstoff-in-Raffinerien.pdf
(10) https://www.greenpeace-energy.de/fileadmin/user_upload/broschuere-wasserstoff.pdf
(11) https://www.itm-power.com/images/NewsAndMedia/Reports/New_energy_value_chains_Hydrogen_as_an_energy_carrier_DNV-GL_November_20.pdf
(12) https://www.dwv-info.de/wp-content/uploads/2016/01/Umrechnungstabelle_Wasserstoff.pdf
(13) http://www.hydrogeit.de/wasserstoff.htm
(14) https://www.fvee.de/fileadmin/publikationen/Themenhefte/th2004/th2004_07_02.pdf
(15) http://juser.fz-juelich.de/record/136392/files/Energie%26Umwelt_144.pdf
(16) http://www.iwr.de/wasserstoff/wasserstoff-infos.html
(17) https://www.linde-gas.de/de/legacy/attachment?files=tcm:T565-71312,tcm:565-71312,tcm:65-71312
(18) https://www.bmbf.de/files/die-nationale-wasserstoffstrategie.pdf
(19) https://www.dw.com/de/wasserstoffstrategie-deutschland-will-wasserstoff-land-nummer-eins-werden/a-53770326
(20) https://h2.live/
(21) https://www.dena.de/fileadmin/dena/Dokumente/Pdf/9060_MOB_Studie_Woher_kommt_der_Wasserstoff_in_Deutschland_bis_2050__Abschlussbericht_.pdf
(22) https://ec.europa.eu/germany/news/20200708-wasserstoffstrategie_de

(23) https://ec.europa.eu/germany/news/20200708-wasserstoffstrategie_de und https://www.vku.de/themen/europa/eu-strategien-zu-wasserstoff-und-zur-integration-des-energiesystems-veroeffentlicht/
(24) https://www.innovationsforum-energiewende.de/fileadmin/user_upload/Potentialstudie-fuer-gruenen-Wasserstoff-in-Raffinerien.pdf
(25) https://www.eskp.de/schadstoffe/wasserstoff-ein-geeigneter-umweltfreundlicher-energietraeger-935484/
(26) https://pubs.rsc.org/en/content/articlelanding/2012/ee/c2ee03181g/unauth#!divAbstract
(27) https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.1029/2010JD014234
(28) https://www.energie-lexikon.info/wirkungsgrad.html
(29) https://www.energieagentur.nrw/brennstoffzelle/brennstoffzelle-wasserstoff-elektromobilitaet/wirkungsgrad
(30) https://www.auto-motor-und-sport.de/tech-zukunft/alternative-antriebe/wasserstoffauto-brennstoffzelle-co2-neutral-batterie-lithium/
(31) https://de.wikipedia.org/wiki/Wasserstoffwirtschaft#cite_ref-Bossel2006_31-1
(32) https://www.auto-motor-und-sport.de/tech-zukunft/alternative-antriebe/wasserstoffauto-brennstoffzelle-co2-neutral-batterie-lithium/
(33) https://www.linde-gas.de/de/legacy/attachment?files=tcm:T565-71312,tcm:565-71312,tcm:65-71312
(34) https://www.tuvsud.com/de-de/indust-re/wasserstoff-brennstoffzellen-info/wasserstoff/speicherung-von-wasserstoff
(35) http://www.hydrogeit.de/wasserstoff.htm
(36) https://www.mpg.de/1326157/wasserstoff
(37) https://www.tuvsud.com/de-de/indust-re/wasserstoff-brennstoffzellen-info/wasserstoff/sicherheit-von-wasserstoff
(38) https://books.google.de/books?id=MUUXCgAAQBAJ&printsec=frontcover&hl=de#v=onepage&q&f=false
(39) https://www.unece.org/fileadmin/DAM/trans/doc/2009/wp29grsp/SGS-5-06e.pdf
(40) https://www.auto-motor-und-sport.de/tech-zukunft/alternative-antriebe/wasserstoffauto-brennstoffzelle-co2-neutral-batterie-lithium/

Disclaimer

1. Die vorliegende Unterlage und die darin zusammengestellten Daten und Fakten sind ausschließlich für den Verein für Umweltmanagement und Nachhaltigkeit in Finanzinstituten e.V. (VfU) und seine Mitglieder bestimmt und dürfen nicht ohne Rücksprache mit dem VfU an Dritte weitergegeben werden.
2. Die Unterlage wurde vom VfU in Kooperation mit dem NKI – Institut für nachhaltige Kapitalanlagen, München, erstellt. Die Daten und Fakten wurden mit größter Sorgfalt recherchiert und zusammengestellt. Das Institut weist dennoch darauf hin, dass sämtliche in dieser Unterlage dargestellten Informationen keinen Anspruch auf Vollständigkeit, Richtigkeit und Aktualität erheben. Jegliche Haftung im Zusammenhang mit der Nutzung dieser Unterlage, der darin enthaltenen Informationen und ihrer Nutzung ist ausgeschlossen.
3. Der VfU weist darauf hin, dass diese Unterlage, insbesondere die darin befindlichen Bilder, Texte, Grafiken, das Layout und das Logo des VfU dem Urheber- und Markenrecht unterliegen.