



Stand: April 2022

## Wasserstoff - Grundlagen

Wasserstoff wird aktuell oftmals als ein Schlüsselement für die bevorstehende und auch notwendige Energiewende bezeichnet. Je nach Erzeugungsart kann Wasserstoff ein Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>)-neutraler oder sogar nahezu CO<sub>2</sub>-freier Energieträger sein, welcher eine saubere Alternative zu den bisher zur Energieerzeugung verwendeten Stoffen darstellt. Weltweit deckt die Erzeugung von Wasserstoff aus fossilen Energieträgern wie Erdgas den Großteil des Verbrauchs ab. Dabei werden klimaschädliche CO<sub>2</sub>-Emissionen freigesetzt. Das farb-, geschmack- und auch geruchslose Gas kann zur Sektorenkopplung eingesetzt werden und wird bereits seit Jahrzehnten vielerorts in der Industrie (z. B. Stahlproduktion, chemische Industrie, Raffinerieprozesse) verwendet. [1]

Das hat im Gegensatz zu neuen, oftmals noch nicht großtechnisch erprobten Technologien zum Vorteil, dass die Besonderheiten im Umgang mit Wasserstoff schon bekannt sind sowie bereits bestehende Infrastrukturen genutzt werden können. Denn die Eigenschaften von Wasserstoff bleiben immer gleich, ganz egal welcher Farbe er zugeordnet wird. Außerdem wird aktuell eine mögliche Zumischung von Wasserstoff in das vorhandene Erdgasnetz untersucht, um Erkenntnisse über die Auswirkungen auf Materialien zu erlangen.

Trotz den aktuell entstehenden Möglichkeiten, mit grünem statt grauem Wasserstoff einen Großteil an CO<sub>2</sub>-Emissionen einsparen zu können, sollten Bestrebungen zur Reduktion der Emissionen und auch des Energieverbrauchs immer an vorderster Stelle stehen. Grüner Wasserstoff soll zuerst dort als klimaneutraler Energieträger eingesetzt werden, wo eine weitere Reduktion der Treibhausgasemissionen nicht mehr möglich beziehungsweise sinnvoll realisierbar ist. Grüner Wasserstoff wird vorerst ein sehr knappes und wertvolles Gut bleiben, mit dem man so effizient wie möglich umgehen muss. Nicht in jedem Bereich kann der Einsatz von grünem Wasserstoff von Beginn an sinnvoll und wirtschaftlich umsetzbar sein, wodurch eine Priorisierung der Einsatzgebiete notwendig wird. Für die Übergangszeit zwischen fossil und erneuerbar erzeugtem Wasserstoff kann auch blauer Wasserstoff eine Möglichkeit bieten, die tatsächlichen Emissionen zu vermindern, da das bei der Erzeugung entstehende CO<sub>2</sub> größtenteils eingespeichert wird. [1] Jedoch gibt es kritische Stimmen gegen blauen Wasserstoff, da trotz Abscheidung Emissionen entstehen und auch die Speicherung des CO<sub>2</sub> mit Risiken verbunden ist.

Grundsätzlich gilt es, die komplette Wasserstoffinfrastruktur in Bayern, Deutschland, aber auch global weiter auszubauen, parallel dazu die Erzeugung von Wasserstoff voranzutreiben und

letztlich die Steigerung des Anteils von grünem Wasserstoff an der gesamten Erzeugung zu forcieren sowie diese in vielfältige Anwendungsgebiete entlang der gesamten Wertschöpfungskette zu bringen.

## Wasserstoffherzeugung

Da Wasserstoff nicht nur mit einem Verfahren, sondern über verschiedene Prozesse hergestellt werden kann, wird im Nachfolgenden eine kurze Übersicht über die möglichen Verfahren gegeben.

### REFORMIERUNG

Der Großteil des global eingesetzten Wasserstoffs wird mittels Reformierung erzeugt. Am häufigsten hierbei ist die Dampfreformierung von Kohlenwasserstoffen. Dabei wird meist der fossile Energieträger Erdgas verwendet. Bei der Erzeugung von Wasserstoff aus den Kohlenwasserstoffen entsteht jedoch das klimaschädliche CO<sub>2</sub>. Nach einer weiteren Umsetzung zur Steigerung der Wasserstoffausbeute (Durchführung der Shift-Reaktion) wird daraus Kohlenmonoxid (CO) erzeugt. Bei der Reformierung sind sowohl Dampf, als auch Luft oder ein Gemisch daraus als Oxidationsmittel einsetzbar. [2, S. 60f]

### ELEKTROLYSE

Bei der Elektrolyse wird Wasser unter Einsatz von Strom in Wasserstoff und Sauerstoff aufgespalten. Dabei kann, je nach den verwendeten ionenleitenden Elektrolyten und vorherrschenden Temperaturbereichen, in verschiedene Verfahren unterschieden werden:

- Alkalische Elektrolyse mit wässriger Kalilauge als Elektrolyt (AEL-Elektrolyse bei 80 °C)
- Membranelektrolyse mit einer protonenleitenden Membran als Elektrolyt (PEM-Elektrolyse bei 80 °C)
- Wasserdampfelektrolyse mit einer Keramikmembran als Sauerstoffionenleiter (bei 650-1000 °C) [3]

Je nach Erzeugung des eingesetzten Stroms können die Emissionen unterschiedlich hoch sein und dadurch dieser Wasserstoff sowohl klimaschädlich als auch klimaneutral erzeugt sein.

Neben den beiden zuvor aufgeführten Verfahren zur Herstellung von Wasserstoff, welche den Großteil des weltweiten Bedarfs abdecken, gibt es noch weitere Verfahren, die nachfolgend kurz vorgestellt werden.

### WASSERSTOFF AUS BIOMASSE

Wasserstoff aus Biomasse kann sowohl über die Reformierung von aufbereitetem Biogas als auch über eine Reaktion von nassen, organischen Verbindungen mit überkritischem Wasser erzeugt werden. Bei diesem Verfahren (Super Critical Water Gasification) wird Wasserstoff aus dem eingesetzten Wasser, aber auch über die verwendeten organischen Materialien erzeugt. [2, S. 70] Ein Beispiel hierfür ist die Pilotanlage „VERENA“ des Karlsruher Instituts für Technologie [4]

### WASSERSTOFF AUS SONNENLICHT

Bei der thermischen Wasserspaltung wird die Energie des Sonnenlichts genutzt, um Wasserstoff direkt, ohne den Umwandschritt über elektrische Energie, herzustellen. Forschungen dazu werden z. B. bei der Hermann von Helmholtz-Gemeinschaft Deutscher Forschungszentren e.V. getätigt. [5]

Weiterführende Informationen zu den Möglichkeiten der Wasserstoffherzeugung finden Sie unter: [www.fvee.de/index.php?id=195&sb\\_damorder%255Buid%255D=2465&cHash=558562ab-def749748eb531411c1970dd.html](http://www.fvee.de/index.php?id=195&sb_damorder%255Buid%255D=2465&cHash=558562ab-def749748eb531411c1970dd.html) [2]

### **POWER TO X-TECHNOLOGIEN (PtX)**

Die sogenannten PtX-Technologien sind Verfahren zur Verarbeitung elektrischer Energie in gasförmige (Power to Gas) oder flüssige (Power to Liquid) Kraft- und Grundstoffe. Dabei wird elektrischer, aus erneuerbaren Energien erzeugter, Strom dafür eingesetzt, Wasserstoff mittels Elektrolyse zu erzeugen. Dieser Wasserstoff ist direkt verwendbar, bei Power to X wird er jedoch genutzt, um über Verfahren wie Methanisierung, Fischer-Tropsch-Verfahren, Methanolsynthese und Ammoniaksynthese zu anderen Stoffen weiterverarbeitet zu werden. Daraus ergeben sich vielfältige Einsatzmöglichkeiten, wie z. B. im Verkehrssektor (durch synthetische Kraftstoffe), der Industrie oder auch in Raffinerien. [6]

Weiterführende Informationen zu den PtX-Technologien finden Sie unter: [www.dena.de/newsroom/publikationsdetailansicht/pub/dena-factsheets-powerfuels/](http://www.dena.de/newsroom/publikationsdetailansicht/pub/dena-factsheets-powerfuels/) [6]

## Farbenlehre Wasserstoff

Die aktuell vielfach betonte Farbenlehre von Wasserstoff ergibt sich aus den unterschiedlichen Verfahren sowie dem Ursprung der zur Herstellung verwendeten Einsatzstoffe. Dabei ist festzuhalten, dass die hier aufgeführte Eingruppierung nach [7] lediglich eine Möglichkeit darstellt, oftmals erfolgt die Einordnung nicht so stark differenziert. Die wichtigsten Farben sind nachfolgend dargestellt:

Sowohl **schwarzer** als auch **brauner** Wasserstoff entstehen bei der Kohlevergasung (unter Einsatz von Stein- oder Braunkohle). Da diese Stoffe fossilem Ursprungs sind und bei der Herstellung Emissionen entstehen, wird dieser Wasserstoff als klimaschädlich angesehen.

**Grauer Wasserstoff** ist der Wasserstoff, mit dem aktuell größten Anteil an der Verwendung. Durch den Einsatz von fossilem Erdgas bei der Reformierung entsteht CO oder CO<sub>2</sub>, welches dann in die Atmosphäre gelangt.

Der natürlich auf der Erde vorkommende Wasserstoff wird als **weiß** bezeichnet und ist meist in Gestein abgelagert. Die Gewinnung kann über Fracking erfolgen, was ein sehr umstrittenes Verfahren ist.

**Blauer** Wasserstoff wird, genauso wie grauer Wasserstoff, aus Erdgas mittels Dampfreformierung gewonnen, jedoch wird hier das entstehende CO<sub>2</sub> aufgefangen und eingespeichert (carbon capture and storage: CCS). Bei dieser Art der Wasserstofferzeugung wird aber oftmals Kritik geübt, da das CO<sub>2</sub> dennoch entsteht und auch die Speicherung nicht die optimale Lösung darstellt.

Für die Herstellung von **rotem** Wasserstoff stammt der in der Elektrolyse eingesetzte Strom aus Kernenergie. Der Wasserstoff ist faktisch zwar CO<sub>2</sub>-neutral, jedoch durch den geplanten Atomausstieg in Deutschland nicht zukunftssicher.

**Oranger** Wasserstoff wird über thermochemische oder biochemische Verfahren aus organischer, nasser Biomasse erzeugt. Dabei wird der zuvor in den Pflanzen gespeicherte Kohlenstoff wieder freigesetzt.

Der bei der Methanpyrolyse entstehende Wasserstoff wird als **türkis** bezeichnet, bei dessen Erzeugung wird kein CO<sub>2</sub> emittiert.

Für den zukünftigen Einsatz ist vor allem **grüner** Wasserstoff ein Schlüsselement, da dieser über Elektrolyse von Wasser unter Einsatz von überschüssigem, aus erneuerbaren Energien erzeugter Strom, hergestellt wird. Diese Technologie erfährt in den letzten Jahren einen spürbaren Aufschwung, jedoch steht dieser Strom aktuell noch nicht immer in ausreichender Menge zur Verfügung.

Ausführlichere Informationen zu den verschiedenen Farben finden Sie unter: [www.ikem.de/publikation/hornng2020/](http://www.ikem.de/publikation/hornng2020/) [7]

## Transport und Speicherung

Sowohl in der bayerischen, als auch in der nationalen Wasserstoffstrategie ist als ein Ziel der großflächige Ausbau eines deutschen Wasserstofftankstellennetzes verankert. [8, 9]

Da die Erzeugung von grünem Wasserstoff voraussichtlich zu großen Teilen in den Gebieten, die einen Überschuss an erneuerbaren Energien aufweisen können, stattfinden wird, ist es notwendig, den dort erzeugten Wasserstoff zu speichern und anschließend so verlustarm wie möglich an den Einsatzort transportieren zu können. Die Speicherung und auch der Transport von Wasserstoff sind sowohl in reinem Zustand, als auch in Form von chemischen Verbindungen möglich.

Wasserstoff ist in seiner natürlichen Form um ein Vielfaches leichter als Luft, er weist also eine sehr geringe volumetrische Energiedichte auf. Dadurch ergeben sich besondere Anforderungen an die eingesetzten Speicher- und Transporttechnologien. Um dies dennoch effizient gestalten zu können, kommen verschiedene Vorgehensweisen zum Einsatz. Zum einen kann Wasserstoff verdichtet (gasförmiger Druckwasserstoff) oder auch abgekühlt (verflüssigter Wasserstoff) werden. [10]

Aktuell wird das LOHC (liquid organic hydrogen carrier) -Verfahren erprobt, bei welchem der Wasserstoff an einen flüssigen, organischen Trägerstoff gebunden wird, um den Transport zu vereinfachen. Dabei erfolgt zuerst eine Hydrierung (Bindung von Wasserstoff an das Trägermaterial), nach dem Transport wird eine Dehydrierung durchgeführt, um den Wasserstoff wieder in seiner ursprünglichen Form vorliegen zu haben. Der Wasserstoffträger kann ähnlich einer Pfandflasche wiederkehrend befüllt und entladen werden. [11]

Daneben ist auch eine Speicherung an Hydrid- und Oberflächenspeichern möglich, dies befindet sich aktuell jedoch noch im Forschungs- und Entwicklungsstadium. [10]

## Literaturverzeichnis

- [1] Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz: Wasserstoff: Schlüsselement für die Energiewende – unter: [BMWK - Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz](https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Dossier/wasserstoff.html) > Themen > Wasserstoffstrategie [www.bmwk.de/Redaktion/DE/Dossier/wasserstoff.html](https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Dossier/wasserstoff.html) Zugriff: 13.05.2022
- [2] ForschungsVerbund Erneuerbarer Energien (2004): Wasserstoff und Brennstoffzellen – Energieforschung im Verbund – unter [www.fvee.de/](http://www.fvee.de/) > Publikationen > Themenhefte [www.fvee.de/publikationen/themenhefte/index.html](http://www.fvee.de/publikationen/themenhefte/index.html) (Themenheft 2004) Zugriff: 25.01.2022
- [3] Fraunhofer-Institut für Keramische Technologien und Systeme IKTS: Wasserstofferzeugung und Wasserstoffmarkt – unter: [www.ikts.fraunhofer.de/](http://www.ikts.fraunhofer.de/) > Industrielösungen > Wasserstofftechnologien > Wasserstofferzeugung und Wasserstoffmarkt [www.ikts.fraunhofer.de/de/industrieloesungen/wasserstofftechnologien/wasserstofferzeugung\\_und\\_wasserstoffmarkt.html](http://www.ikts.fraunhofer.de/de/industrieloesungen/wasserstofftechnologien/wasserstofferzeugung_und_wasserstoffmarkt.html) Zugriff: 24.01.2022
- [4] Karlsruher Institut für Technologie: Pilotanlage Verena – unter: [www.ikft.kit.edu/138.php](http://www.ikft.kit.edu/138.php) Zugriff: 25.01.2022
- [5] Hermann von Helmholtz-Gemeinschaft Deutscher Forschungszentren e.V. (2018): Wasserstoff aus Sonnenlicht – unter: [www.helmholtz.de/newsroom/artikel/wasserstoff-aus-sonnenlicht/](http://www.helmholtz.de/newsroom/artikel/wasserstoff-aus-sonnenlicht/) Zugriff: 25.01.2022
- [6] Deutsche Energie-Agentur (2018): dena Factsheets: PowerFuels – unter [www.dena.de/startseite/](http://www.dena.de/startseite/) > Newsroom > Publikationen [www.dena.de/newsroom/publikationsdetailansicht/pub/dena-factsheets-powerfuels/](http://www.dena.de/newsroom/publikationsdetailansicht/pub/dena-factsheets-powerfuels/) Zugriff: 13.05.2022
- [7] Institut für Klimaschutz, Energie und Mobilität e.V. (2020): Wasserstoff – Farbenlehre: Rechtswissenschaftliche und rechtspolitische Kurzstudie – unter: [www.ikem.de/](http://www.ikem.de/) > Ergebnisse > Publikationen [www.ikem.de/publikation/horng2020/](http://www.ikem.de/publikation/horng2020/) Zugriff: 25.01.2022
- [8] Bayerisches Staatsministerium für Wirtschaft, Landesentwicklung und Energie (2020): Bayerische Wasserstoffstrategie – unter: [www.stmwi.bayern.de/](http://www.stmwi.bayern.de/) > Energie > Energiewende > Wasserstoffstrategie [www.stmwi.bayern.de/energie/energiewende/wasserstoffstrategie/](http://www.stmwi.bayern.de/energie/energiewende/wasserstoffstrategie/) Zugriff: 27.01.2022
- [9] Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (2020): Die Nationale Wasserstoffstrategie – unter: [www.bmwk.de/](http://www.bmwk.de/) > Publikationen > Energie [www.bmwk.de/Redaktion/DE/Publikationen/Energie/die-nationale-wasserstoffstrategie.html](http://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Publikationen/Energie/die-nationale-wasserstoffstrategie.html) Zugriff: 13.05.2022
- [10] Shell Deutschland Oil GmbH (2017): Shell Wasserstoff-Studie – unter: [www.shell.de/](http://www.shell.de/) > Übers uns > Newsroom > Shell Wasserstoffstudie [www.shell.de/ueber-uns/newsroom/shell-wasserstoffstudie.html](http://www.shell.de/ueber-uns/newsroom/shell-wasserstoffstudie.html) Zugriff: 13.05.2022
- [11] Forschungszentrum Jülich: Speicherung und Transport: eine flüssige Pfandflasche für Wasserstoff – unter: [www.fz-juelich.de](http://www.fz-juelich.de/) > Forschung > Energie [www.fz-juelich.de/portal/DE/Forschung/EnergieUmwelt/wasserstoff/tb\\_h2\\_speicher.html](http://www.fz-juelich.de/portal/DE/Forschung/EnergieUmwelt/wasserstoff/tb_h2_speicher.html) Zugriff: 27.01.2022

Impressum:

Herausgeber:

Bayerisches Landesamt für Umwelt (LfU)  
Bürgermeister-Ulrich-Straße 160  
86179 Augsburg  
Tel.: 0821 9071-0  
E-Mail: [poststelle@lfu.bayern.de](mailto:poststelle@lfu.bayern.de)  
Internet: [www.lfu.bayern.de/](http://www.lfu.bayern.de/)

Stand:

April 2022

Bearbeitung:

Landesagentur für Energie  
und Klimaschutz (LENK) im LfU  
Franz-Mayer-Straße 1  
93053 Regensburg  
Tel.: 0941 46297-871  
E-Mail: [info@lenk.bayern.de](mailto:info@lenk.bayern.de)  
Internet: [www.lenk.bayern](http://www.lenk.bayern)

Diese Publikation wird kostenlos im Rahmen der Öffentlichkeitsarbeit der Bayerischen Staatsregierung herausgegeben. Jede entgeltliche Weitergabe ist untersagt. Sie darf weder von den Parteien noch von Wahlwerbern oder Wahlhelfern im Zeitraum von fünf Monaten vor einer Wahl zum Zweck der Wahlwerbung verwendet werden. Dies gilt für Landtags-, Bundestags-, Kommunal- und Europawahlen. Missbräuchlich ist während dieser Zeit insbesondere die Verteilung auf Wahlveranstaltungen, an Informationsständen der Parteien sowie das Einlegen, Aufdrucken und Aufkleben parteipolitischer Informationen oder Werbemittel. Untersagt ist gleichfalls die Weitergabe an Dritte zum Zweck der Wahlwerbung. Auch ohne zeitlichen Bezug zu einer bevorstehenden Wahl darf die Publikation nicht in einer Weise verwendet werden, die als Parteinahme der Staatsregierung zugunsten einzelner politischer Gruppen verstanden werden könnte. Den Parteien ist es gestattet, die Publikation zur Unterrichtung ihrer eigenen Mitglieder zu verwenden.

Das Werk ist urheberrechtlich geschützt. Alle Rechte sind vorbehalten. Die publizistische Verwertung der Veröffentlichung – auch von Teilen – wird jedoch ausdrücklich begrüßt. Bitte nehmen Sie Kontakt mit dem Herausgeber auf, der Sie – wenn möglich – mit digitalen Daten der Inhalte und bei der Beschaffung der Wiedergaberechte unterstützt.

Diese Publikation wurde mit großer Sorgfalt zusammengestellt. Eine Gewähr für die Richtigkeit und Vollständigkeit kann dennoch nicht übernommen werden. Für die Inhalte fremder Internetangebote sind wir nicht verantwortlich.



BAYERN | DIREKT ist Ihr direkter Draht zur Bayerischen Staatsregierung. Unter Tel. 0 89 12 22 20 oder per E-Mail unter [direkt@bayern.de](mailto:direkt@bayern.de) erhalten Sie Informationsmaterial und Broschüren, Auskunft zu aktuellen Themen und Internetquellen sowie Hinweise zu Behörden, zuständigen Stellen und Ansprechpartnern bei der Bayerischen Staatsregierung.