

# Wasserstoff verkleinert den CO<sub>2</sub>-Fußabdruck – auf vielen Wegen



The illustration depicts a green landscape with various elements: a yellow solar panel on the left, a blue wind turbine in the center, a brown tree, a blue hot air balloon, and green industrial structures on the right. The background is a mix of green and blue tones, suggesting a clean and sustainable environment.



**Das Ziel ist grün,  
der Weg dorthin bunt.**

## Darum geht's



- Klimafreundliche Moleküle sind ein Treiber der Energiewende.
- Die Erzeugungspfade und Farben von Wasserstoff sind vielfältig.
- Jeder Wasserstoff hinterlässt einen anderen CO<sub>2</sub>-Fußabdruck.
- Grüner Wasserstoff ist (fast) klimaneutral.
- Die Hauptsache ist, dass Wasserstoff klimafreundlich hergestellt wird – egal wie und aus welcher Herkunft.



# Klimafreundliche Moleküle – Treiber der Energiewende

Die Europäische Union und damit auch Deutschland haben sich verpflichtet, die Pariser Klimaschutzziele bis zum Jahr 2045 fristgerecht umzusetzen. Damit muss die Gesellschaft innerhalb der kommenden zwei Jahrzehnte klimaneutral werden. In allen wirtschaftlichen Bereichen muss deshalb die Geschwindigkeit der Energiewende erhöht werden. Dafür sind alle Maßnahmen und technischen Optionen notwendig, die Treibhausgasemissionen (THG) kurz-, mittel- und langfristig auf ein Minimum reduzieren.

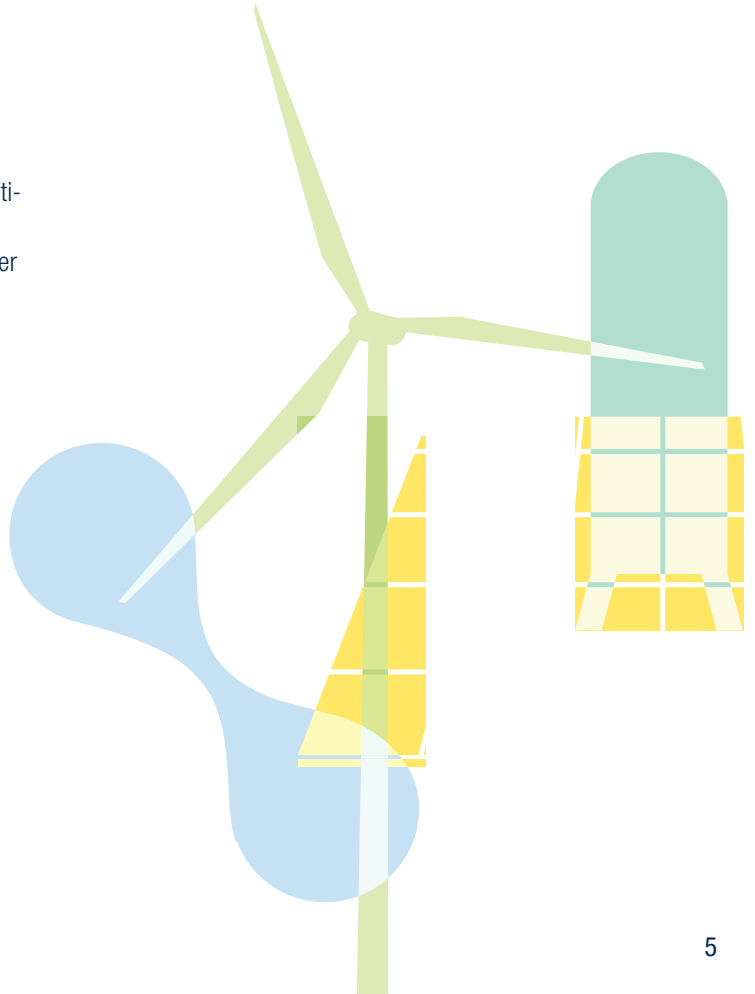
Neben dem Ausbau Erneuerbarer Energien und der Elektrifizierung bietet auch die Nutzung klimafreundlicher Gase die Möglichkeit, Emissionen zu senken – und sie werden gebraucht, um die Klimaneutralität möglichst

rasch zu erreichen. Denn aktuell machen Moleküle aus fossilen Energierohstoffen den weitaus größten Teil des Energieverbrauchs in Europa und vor allem in Deutschland aus. Nicht alle werden durch „grüne Elektronen“ aus Wind- oder Solarstrom zu ersetzen sein.

Insbesondere mit Wasserstoff ( $H_2$ ) steht ein gasförmiger Energieträger bereit, der den Weg hin zu einer klimaneutralen Gesellschaft in allen Bereichen ebnet – in Industrieprozessen, in der Mobilität, bei der zentralen und dezentralen Wärmeversorgung von Haushalten und Gewerbe sowie als Speichermedium. Wasserstoff bildet damit einen elementaren Baustein der Energiewende.



Für seine Erzeugung stehen mehrere Verfahren zur Verfügung, die je nach Ausgangsmaterial und Art der verwendeten Energie einen kleinen oder sogar negativen CO<sub>2</sub>-Fußabdruck hinterlassen. Expertinnen und Experten der DVGW-Forschungsstelle am Engler-Bunte-Institut des Karlsruher Instituts für Technologie (DVGW-EBI) haben berechnet, wie hoch die THG-Emissionen der jeweiligen Art der Wasserstoffherzeugung sind, und kommen zu dem Ergebnis: Mit Wasserstoff lassen sich bei entsprechend klimafreundlicher Erzeugung die Treibhausgas (THG)-Emissionen im Vergleich zum heute eingesetzten Erdgas um mindestens 70 Prozent reduzieren.



# Die Erzeugungspfade und Farben von Wasserstoff

Bei der Herstellung von Wasserstoff sind bisher zwei Verfahren üblich: die Dampfreformierung und die Elektrolyse. Daneben gibt es weitere Verfahren. Je nach Herstellungsart werden dem Wasserstoff unterschiedliche Farben zugeordnet.

Aktuell wird hauptsächlich **grauer** Wasserstoff über die Dampfreformierung aus fossilen Brennstoffen, wie zum Beispiel Erdöl oder Erdgas, gewonnen. Dabei wird der Energieträger unter Einfluss von Wasserdampf und Wärme in Wasserstoff und Kohlenstoffdioxid ( $\text{CO}_2$ ) umgewandelt. Das  $\text{CO}_2$  gelangt bei diesem Verfahren ungehindert in die Atmosphäre.

**Blauer** Wasserstoff entsteht im ersten Schritt auch durch Dampfreformierung. Das im Prozess entstandene  $\text{CO}_2$  wird jedoch direkt abgeschieden und gespeichert. Neben der Speicherung besteht auch die Option, das  $\text{CO}_2$  zu nutzen, etwa zur Herstel-

lung von Kunststoff (engl. Carbon Capture Use and Storage, CCUS). Somit gelangt bei diesen Verfahren das Treibhausgas nicht in die Atmosphäre.

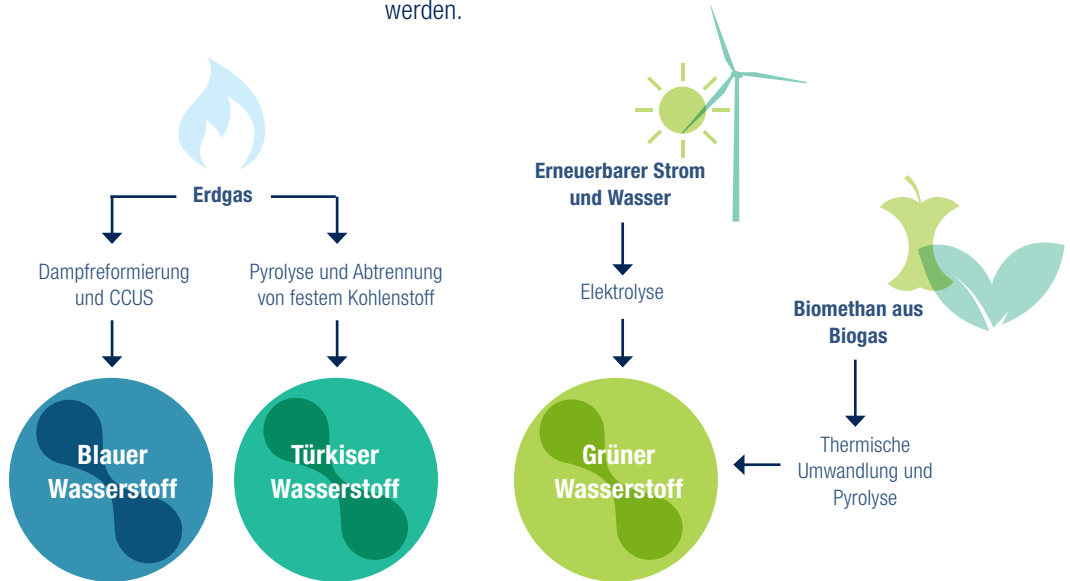
**Türkiser** Wasserstoff entsteht, wenn das in Erdgas enthaltene Methan ( $\text{CH}_4$ ) durch sehr hohe Temperaturen unter Sauerstoffabschluss direkt in Wasserstoff und festen Kohlenstoff getrennt wird. Dieses Verfahren wird Pyrolyse genannt. Der Kohlenstoff fällt hierbei in fester Form an und ist deshalb einfacher in seiner weiteren Handhabung als gasförmiges  $\text{CO}_2$ .

**Grüner** Wasserstoff wird mittels Elektrolyse von Wasser hergestellt. Dabei wird elektrischer Strom aus Erneuerbaren Energien genutzt, um Wasser ( $\text{H}_2\text{O}$ ) in Wasserstoff ( $\text{H}_2$ ) und Sauerstoff ( $\text{O}_2$ ) zu spalten. Hierfür wird hochreines Wasser benötigt, das entweder durch die Aufbereitung von Süßwasser oder Meerwasser hergestellt werden kann.

## Sonderfall: grüner Wasserstoff aus Biogas

Genauso wie Erdgas kann auch Biomethan für die Herstellung von Wasserstoff genutzt werden, zum Beispiel durch Pyrolyse. Der im

Biomethan enthaltene Kohlenstoff wird zuvor von Pflanzen per Photosynthese der Atmosphäre entzogen und bei dem Verfahren abgetrennt. Damit kann eine „CO<sub>2</sub>-Senke“ geschaffen und CO<sub>2</sub> aus der Luft entzogen werden.



Vereinfachte Darstellung der Erzeugungsverfahren von Wasserstoff

# Jeder Wasserstoff hinterlässt einen anderen CO<sub>2</sub>-Fußabdruck

Die unterschiedlichen Verfahren machen deutlich: Nicht jeder Wasserstoff ist gleich – und das insbesondere im Hinblick auf seine THG-Reduktionspotenziale. Wie klimafreundlich ein Erzeugungsverfahren oder die Wasserstoffart ist, hängt maßgeblich von den eingesetzten Ressourcen und für den Prozess verwendeten Energieträgern ab.

Zum Beispiel: Wird Erdgas als Ausgangsmaterial genutzt, erhöht dies den Fußabdruck. Kommen ausschließlich erneuerbare Energieträger zum Einsatz, wie zum Beispiel beim grünen Wasserstoff, fallen geringere Mengen an THG-Emissionen an. Neben der Art der Ausgangsprodukte sind auch ihre Herkunft und die Emissionen relevant, die beim Herstellungsprozess der Anlagenkomponenten entstehen.

Ob die Herstellung als THG-arm oder klimaneutral einzustufen ist, hängt somit nicht

ausschließlich vom Verfahren selbst ab, sondern von einem komplexen Zusammenspiel verschiedener Faktoren. Jedes Verfahren weist Eigenheiten bezüglich seiner CO<sub>2</sub>-Bilanz auf; sie wird nicht von allen Faktoren gleichermaßen beeinflusst.

## **Herkunft des Ausgangsmaterials ist entscheidend für die Schuhgröße**

Die Forschenden des DVGW-EBI haben berechnet, dass es einen wesentlichen Unterschied gibt zwischen den Verfahren, die Erdgas als Ausgangsmaterial nutzen, und der Elektrolyse, bei dem Wasserstoff vereinfacht aus Strom und Wasser erzeugt wird. Bei den Erzeugungsverfahren von blauem oder türkischem Wasserstoff haben die Emissionen in der Vorkette des Ausgangsprodukts einen wesentlichen Einfluss auf die THG-Bilanz.



Je nachdem aus welcher Quelle das Erdgas stammt oder welcher Strom verwendet wird, ist der Fußabdruck größer oder kleiner.

Eine entscheidende Rolle spielen dabei die Herkunftsregion, aus der das Erdgas stammt, und die Methode, mit der es gefördert und transportiert wird. Denn bei der Förderung und dem Transport des Erdgases entweichen Treibhausgase, die als Vorkettenemissionen in der Bilanz des daraus erzeugten Wasserstoffs zu berücksichtigen sind. So besitzt norwegisches Erdgas einen wesentlich kleineren CO<sub>2</sub>-„Rucksack“ als Flüssiggas (LNG) aus Nordamerika.

Auch hat der eingesetzte Strom einen bedeutenden Einfluss. Da das Pyrolyseverfahren im Vergleich stromintensiver ist, wirken sich beim türkisen H<sub>2</sub> die Vorkettenemissionen des Stroms besonders stark aus. Das heißt: Je mehr Strom aus Erneuerbaren Energien, desto kleiner sein Fußabdruck. Beziehungsweise: Je geringer die Emissionen des eingesetzten Stroms, desto relevanter ist der Einfluss der Erdgas-Vorkette.

# Grüner Wasserstoff – (fast) klimaneutral

Grüner Wasserstoff ist nahezu klimaneutral. Bei genauerer Betrachtung seiner Vorkette weist auch er einen – wenn auch kleinen – CO<sub>2</sub>-Fußabdruck auf. Der verwendete Strom stammt zwar per Definition aus erneuerbaren Energiequellen. Aber bei der Herstellung von Solar- und Windanlagen entstehen THG-Emissionen, hauptsächlich bei der Produktion der Bauteile und bei der Herstellung der dafür verwendeten Materialien wie Stahl, Beton, Kupfer, Aluminium etc.

Diese Emissionen schlagen beim grünen Wasserstoff insbesondere deshalb zu Buche, da Elektrolyseure nicht durchgehend betrieben werden können, sondern nur, wenn der Wind weht oder die Sonne scheint. Daraus ergibt sich über die gesamte Lebensdauer eine kürzere Betriebszeit als bei den anderen Verfahren. Denn im Gegensatz dazu können beim blauen und türkisen Wasserstoff die Emissionen, die aus dem Bau der Produktionsanlagen resultieren, aufgrund der langen Betriebsdauer und den hohen Stoffdurchsätzen vernachlässigt werden.


## CO<sub>2</sub>-Skala


CO<sub>2</sub>-Ausstoß (in Gramm) pro kWh von erneuerbaren und fossilen Gasen im Vergleich

  
Biomethan

  
Wasserstoff

  
Erdgas

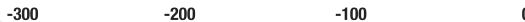
 -287  
**Grüner H<sub>2</sub>**  
aus Biomethan  
(Abfall) mit Pyrolyse

 -202  
**Grüner H<sub>2</sub>**  
aus Biomethan (Abfall) mit  
Dampfreformierung & CCUS

 < 16  
**Grüner H<sub>2</sub>**  
aus Elektrolyse mit  
Windstrom

 40  
**Türkiser H<sub>2</sub>**  
aus Pyrolyse  
mit EE-Strom

 24  
**Biomethan**  
aus Abfall

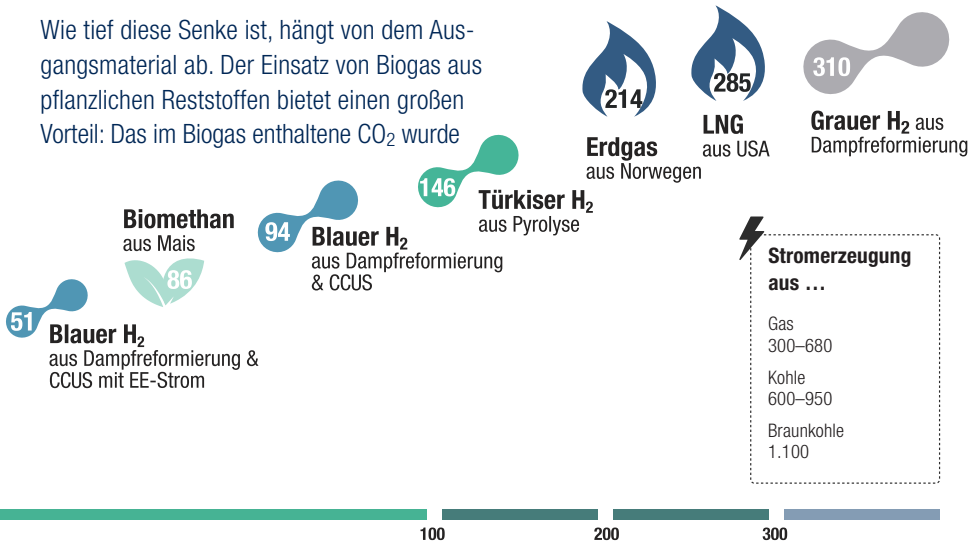


## Wasserstoff aus Biogas entzieht der Luft CO<sub>2</sub>

Bei der Erzeugung von Wasserstoff kann statt fossilem Erdgas auch Biogas aus Biomasse eingesetzt werden. Wird Biogas eingesetzt, ist der Effekt ähnlich: Sowohl bei der Dampfreformierung mit CCUS als auch bei der Pyrolyse wird CO<sub>2</sub> aus der Atmosphäre gebunden und somit eine „CO<sub>2</sub>-Senke“ geschaffen. Die CO<sub>2</sub>-Bilanz fällt in diesem Fall negativ aus.

Wie tief diese Senke ist, hängt von dem Ausgangsmaterial ab. Der Einsatz von Biogas aus pflanzlichen Reststoffen bietet einen großen Vorteil: Das im Biogas enthaltene CO<sub>2</sub> wurde

zuvor der Luft durch Photosynthese der Pflanzen entzogen und wird bei der Dampfreformierung mit CCUS bzw. der Pyrolyse abgetrennt und gespeichert. Die H<sub>2</sub>-Erzeugung mit Biogas aus Gülle ermöglicht wiederum, THG-Emissionen aus der Tierhaltung zu reduzieren. So kann der Landwirtschaftssektor bei der Emissionsminderung unterstützt und zusätzliche Energie erzeugt werden. Das im Biogas enthaltene CO<sub>2</sub> gelangt zudem nicht in die Atmosphäre.



## Hauptsache klimafreundlich – egal welcher Herkunft

Der mittels Elektrolyse und mit erneuerbarem Strom erzeugte grüne Wasserstoff hat unter den gängigen Verfahren selbstverständlich den kleinsten CO<sub>2</sub>-Fußabdruck. Das Ziel ist es, so viel wie möglich davon zu nutzen. Allerdings werden die Erzeugungspotenziale in Deutschland nicht ausreichen, um den zukünftigen Bedarf zu decken. Importe aus dem europäischen Ausland oder auch von anderen Kontinenten werden dafür notwendig sein – aber auch Wasserstoff aus anderen Erzeugungsarten.

Neben dem zügigen Aufbau von Elektrolyse- und Importkapazitäten wird auch die Erzeugung von blauem und türkischem H<sub>2</sub> notwendig sein. Denn auch diese können klimafreundlich produziert werden, zur Dekarbonisierung beitragen und THG-Emissionen reduzieren – sofern für den Prozess erneuerbarer Strom genutzt wird. Die Analysen des DVGW-EBI zeigen, dass zum Beispiel über den Weg der Erdgas-

pyrolyse die THG-Emissionen von Wasserstoff gegenüber dem aktuellen Stand der Technik deutlich reduziert werden können.

Letztlich sollte nicht die Farbe darüber entscheiden, ob und wie welcher Wasserstoff verwendet wird, sondern die jeweilige Verfügbarkeit in Kombination mit dem Potenzial, THG-Emissionen einzusparen. Es sollten alle Technologien und Verfahren genutzt werden, mit denen der CO<sub>2</sub>-Austoß schnell und effektiv gesenkt werden kann. Dank unterschiedlicher Verfahren und Ausgangsmaterialien lassen sich die Energiebezugsquellen diversifizieren und das System resilient gestalten.

Beachtlich ist das Emissionsminderungspotenzial von Wasserstoff aus Biomethan oder Biogas. Auch wenn diese Verfahren noch nicht in großem Maßstab zur Verfügung stehen, sollte dieser Pfad weiter verfolgt werden. Denn das Wachstum von Pflanzen, ihre Verwertung und die Abtrennung des Kohlenstoffs ermöglichen es, eine „CO<sub>2</sub>-Senke“ zu schaffen.



**” Sowohl blauer, türkiser als auch grüner Wasserstoff hat schon heute das Potenzial, THG-Emissionen im Vergleich zum aktuellen Stand der Technik um 50 bis 95 Prozent zu senken. “**



### **FRIEDEMANN MÖRS**

Gruppenleiter Verfahrenstechnik an der DVGW-Forschungsstelle am Engler-Bunte-Institut des Karlsruher Instituts für Technologie

# „Zeit für einen Stoffwech2el“

## Publikationen des DVGW

Wasserstoff ist der Energieträger der Zukunft und ein wichtiger Baustein für den Klimaschutz und die Energiewende in Deutschland. Der DVGW engagiert sich bereits seit über zehn Jahren in diesem Bereich. Seine Forschungsinstitute beschäftigen sich in zahlreichen Projekten mit der Frage, wie und wo Wasserstoff erzeugt, transportiert, verteilt und genutzt

werden kann. Vor drei Jahren hat der DVGW zudem damit begonnen, sein Technisches Regelwerk an den Wechsel zu Wasserstoff anzupassen. In unserer Reihe „Zeit für einen Stoffwech2el“ präsentieren wir den aktuellen Stand der Forschung und das gesammelte technische Know-how aus der Regelwerksarbeit.

### **Bereits erschienen:**

- Klimafreundliche Gase. Mehr als genug Potential.
- Das Gasnetz – Rückgrat der Wasserstoffwelt

### **Weitere Themen in Vorbereitung**

- Netze und Speicher sind H2-ready
- Kommunale Wärmeplanung

### **Mehr Informationen unter:**

[www.h2-dvgw.de](http://www.h2-dvgw.de)

## Quelle

Deutscher Verein des Gas- und Wasserfaches e.V. (2023).  
Ökologische Bewertung der Wasserstoffbereitstellung – eine  
Sensitivitätsanalyse zu THG-Emissionen von Wasserstoff.  
Studie durchgeführt von der DVGW-Forschungsstelle am  
Engler-Bunte-Institut (DVGW-EBI).



Weitere Informationen zum Projekt und  
die Ergebnisse im Detail finden Sie unter  
[www.dvgw.de/co2-footprint](http://www.dvgw.de/co2-footprint)

© DVGW Bonn

DVGW Deutscher Verein des  
Gas- und Wasserfaches e. V.  
Technisch-wissenschaftlicher Verein  
Josef-Wirmer-Straße 1-3, 53123 Bonn

Telefon: +49 228 9188-5  
E-Mail: [info@dvwg.de](mailto:info@dvwg.de)  
Internet: [www.dvgw.de](http://www.dvgw.de)

Gestaltung: [waf.berlin](http://waf.berlin)

Stand: 1. Auflage, April 2023