

## Teil 2

# Grüner Wasserstoff – Energieträger der Zukunft

## POWERFUEL WEEK – VERKEHRSHAUS LUZERN

### Informationsthemen

- Teil 1 | Nachhaltigkeit – Energieträger der Energiewende
- **Teil 2** | Grüner Wasserstoff – Energieträger der Zukunft
- Teil 3 | Der Wasserstoffkreislauf
- Teil 4 | Grüner Wasserstoff in der Mobilität



agvs.ch  
autoagtruck.ch  
autoberufe.ch

# GRÜNER WASSERSTOFF – ENERGIETRÄGER DER ZUKUNFT

## Was ist Grüner Wasserstoff?

Wasserstoff (H<sub>2</sub>) ist das häufigste Element des Universums und fast unbegrenzt verfügbar. Er kommt hauptsächlich in gebundener Form vor, wie zum Beispiel in Wasser. Um ihn als Energieträger nutzen zu können, muss das Wasserstoffmolekül von der Verbindung (z.B. H<sub>2</sub>O) getrennt werden. In ungebundener Form ist Wasserstoff ein farb- und geruchloses Gas. Er darf nur als «grün» bezeichnet werden, wenn bei der Herstellung ausschliesslich Strom aus erneuerbaren Energiequellen (Sonne, Wasser, Wind, Biomasse) verwendet wird.

Grüner Wasserstoff ist vielseitig einsetzbar und dient als Energieträger und Rohstoff:

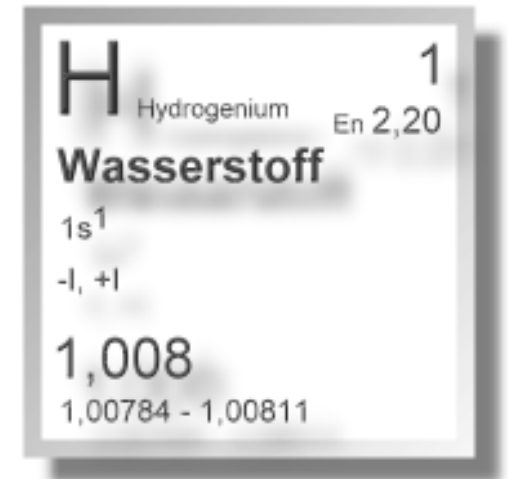
- **Strom- und Wärmeversorgung**
- **Kraftstoff für die Mobilität**
- **Rohstoff für Chemie-, Lebensmittel- und Raffinerieindustrie**

Bei der Herstellung von grünem Wasserstoff und der energetischen Verwertung fallen keine CO<sub>2</sub> Emissionen an, somit gilt er als CO<sub>2</sub>-neutral.

# GRÜNER WASSERSTOFF – ENERGIETRÄGER DER ZUKUNFT

## Wasserstoff Eigenschaften

Symbol	<b>H</b> ( <i>engl. Hydrogen</i> )
Ordnungszahl	<b>1</b> ( <i>Periodensystem</i> )
Serie	<b>Nichtmetalle</b>
Hauptgruppe	<b>I</b>
Gruppe	<b>1</b>
Periode	<b>1</b>
Atommasse	<b>1.008</b>
Dichte (kg/m <sup>3</sup> ) bei 293 K (20 °C)	<b>0.084</b>
Schmelzpunkt	<b>13.99 K</b> (-259.16 °C)
Siedepunkt	<b>20.271 K</b> (-252.88 °C)
Energiedichte	<b>33.33 kWh/kg</b>
Zersetzungsspannung minimal	<b>1.23 V</b> (25°C, 1 bar)
Explosionsgrenzen UEG/OEG	<b>4 % - 77 %</b>



# GRÜNER WASSERSTOFF – ENERGIETRÄGER DER ZUKUNFT

## Welche Vorteile bietet Grüner Wasserstoff als Energieträger?

- Grüner Wasserstoff ist klimaschonend, d.h. er wird zu 100% aus erneuerbarer Energie produziert. Bei der energetischen Nutzung fallen keine CO2 Emissionen an
- Wasserstoff hilft das Speicherproblem von Strom im Zusammenhang mit den erneuerbaren Energien zu lösen. Das Netz kann nur so viel Strom aufnehmen, wie auch gleichzeitig verbraucht wird. Die durch die starken Schwankungen unterlegenen Strommengen aus erneuerbaren Energiequellen können nun als Überschuss kurz- oder langfristig in Wasserstoff gespeichert werden. Die in Wasserstoff umgewandelte Energie kann entweder direkt genutzt werden oder über Monate in einer Gasinfrastruktur gespeichert und zurückverstromt werden. Somit wird Wasserstoff für die Sicherung der Netzstabilität nutzbar.
- Wasserstoff ist flexibel. Wasserstoff kann wie Erdgas verdichtet und unter hohem Druck oder in flüssiger Form gespeichert und transportiert werden. Wasserstoff kann in grossen Mengen über ein Gasleitungsnetz über weite Strecken transportiert werden.
- Über das Gasnetz kann Wasserstoff in allen Sektoren eingesetzt werden. In Form von Wasserstoff wird erneuerbare Energie in andere Sektoren wie Wärme, Verkehr und Industrie gebracht (Sektorenkoppelung).
- Wasserstoff bietet die Chance, bislang getrennte Sektoren Strom, Wärme und Verkehr zu verbinden. Mittels Wasserstoff wird aus der Stromwende eine wirkliche Energiewende, die alle Sektoren gleichermassen umfasst.

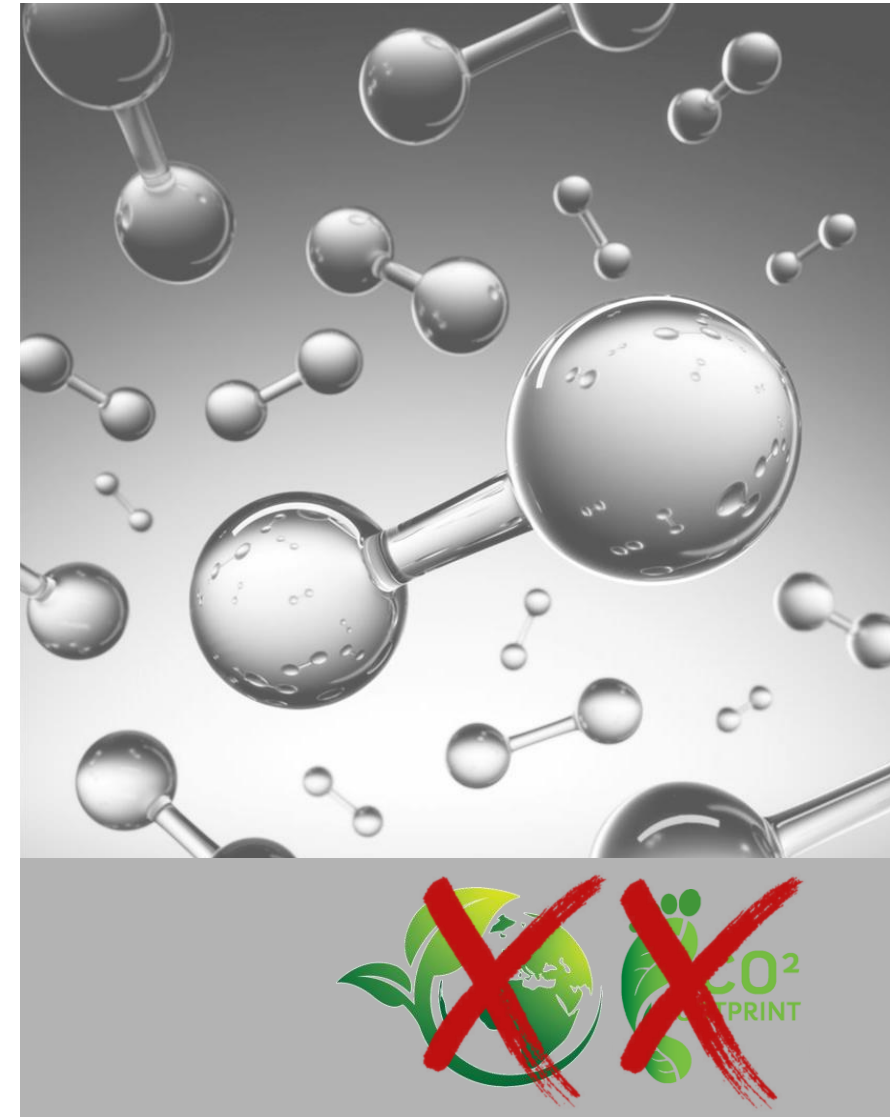
# GRÜNER WASSERSTOFF – ENERGIETRÄGER DER ZUKUNFT

## Welche Bedeutung haben Farben bei Wasserstoff?

Wasserstoff ist ein farbloses Gas. Doch je nach Ursprung und Herstellung wird Wasserstoff mit einer Farbe bezeichnet.

### **Grauer Wasserstoff**

Grauer Wasserstoff wird unter Einsatz fossiler Brennstoffe (Kohle, Rohöl, Erdgas) hergestellt. Dabei werden die Rohstoffe unter Hitze in Wasserstoff und CO<sub>2</sub> getrennt. Das CO<sub>2</sub> gelangt ungenutzt in die Atmosphäre und wirkt sich negativ auf den Treibhauseffekt aus. Bei der Herstellung einer Tonne Wasserstoff entstehen bei diesem Herstellungsverfahren rund 10 Tonnen CO<sub>2</sub>.

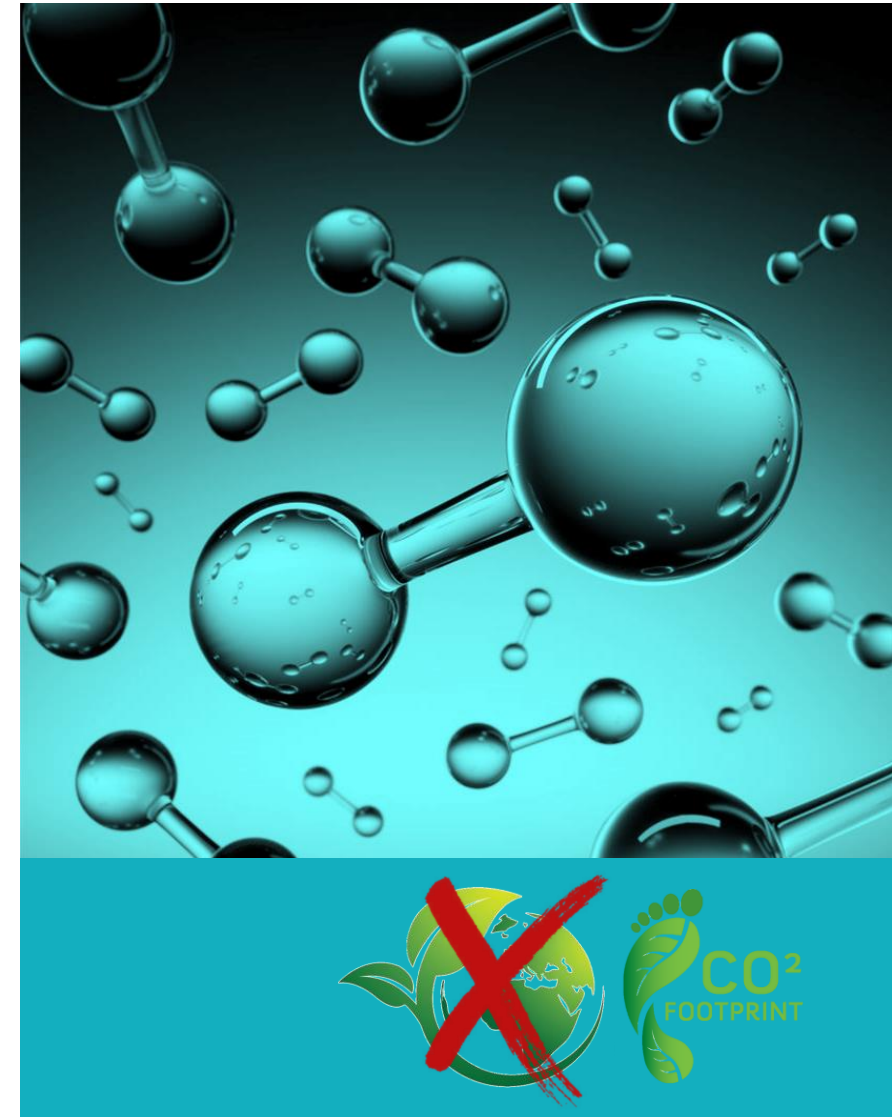


# GRÜNER WASSERSTOFF – ENERGIETRÄGER DER ZUKUNFT

## Welche Bedeutung haben Farben bei Wasserstoff?

### Türkiser Wasserstoff

Türkiser Wasserstoff wird durch das Verfahren der Methanpyrolyse hergestellt. Dabei wird Methan ( $\text{CH}_4$ ) thermisch gespalten und Wasserstoff gewonnen. Der im Methan enthaltene Kohlenstoff (C) wird abgespalten und in fester Form eingelagert. Wenn der Hochtemperaturreaktor mit erneuerbarer Energie betrieben wird, ist dieses Verfahren klimaneutral.



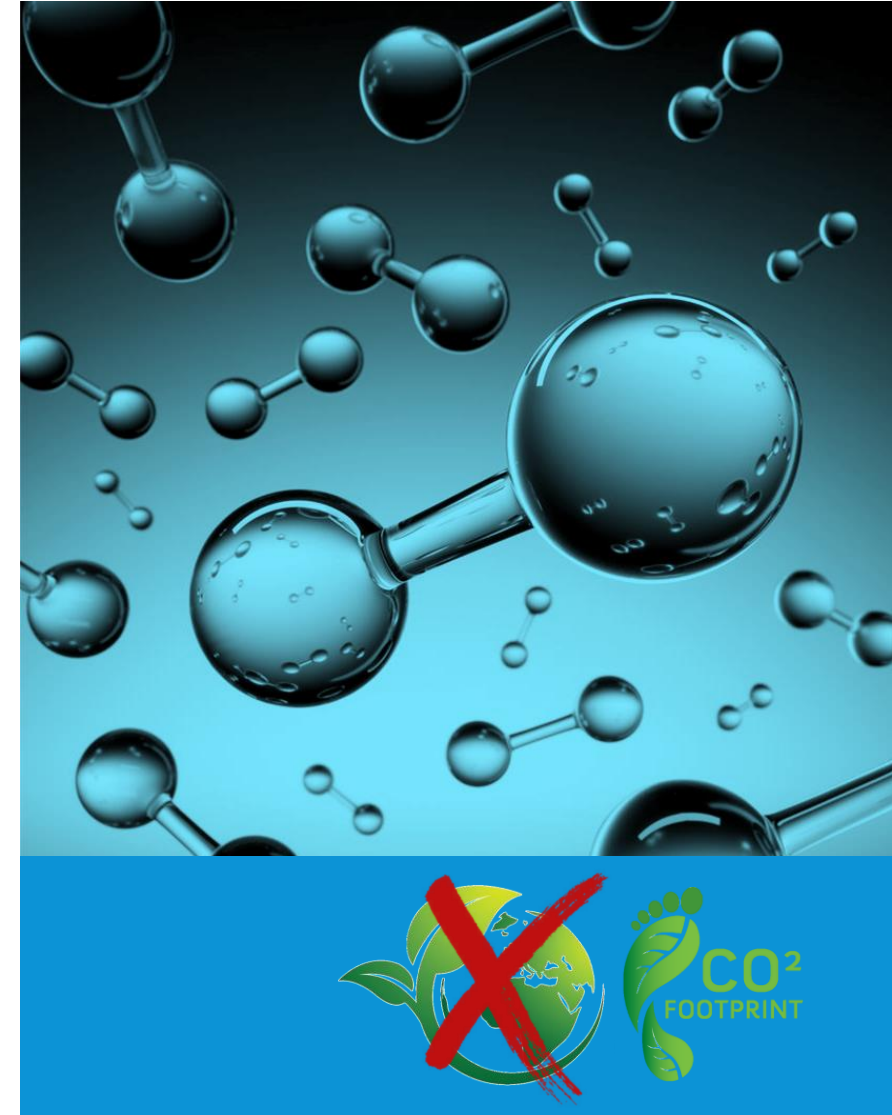


# GRÜNER WASSERSTOFF – ENERGIETRÄGER DER ZUKUNFT

## Welche Bedeutung haben Farben bei Wasserstoff?

### Blauer Wasserstoff

Blauer Wasserstoff wird wie Grauer Wasserstoff aus fossilen Brennstoffen erzeugt, aber klimaneutral. Das CO<sub>2</sub>, welches bei diesem Prozess entsteht, wird nicht in die Atmosphäre abgegeben. Es wird abgespalten und gesondert eingelagert (Carbon Capture and Storage CCS). Damit kann Blauer Wasserstoff in der Gesamtbilanz als klimaneutral betrachtet werden.



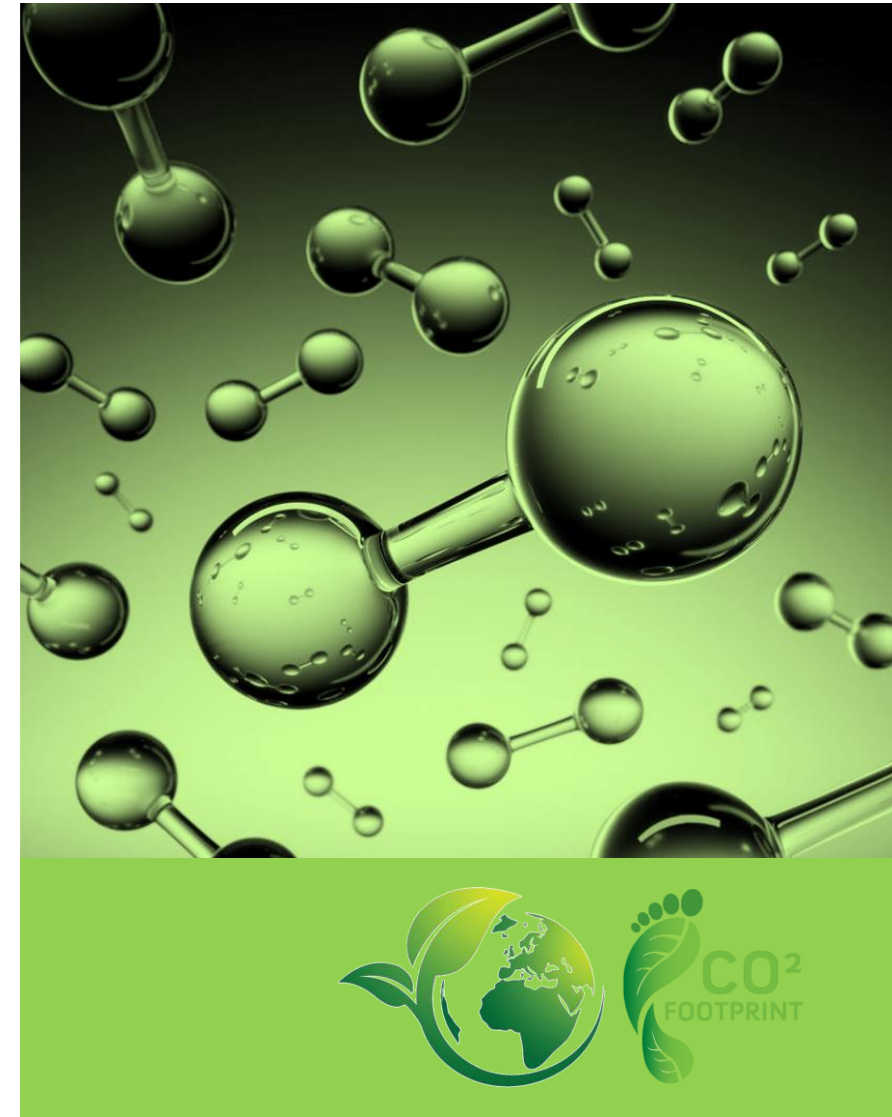


# GRÜNER WASSERSTOFF – ENERGIETRÄGER DER ZUKUNFT

## Welche Bedeutung haben Farben bei Wasserstoff?

### Grüner Wasserstoff

Grün wird dieser Wasserstoff bezeichnet, weil er durch die Nutzung von erneuerbaren Energien produziert wird. Dabei wird aus Wasser mittels Elektrolyse Wasserstoff produziert. Der dafür notwendige Strom kommt aus regenerativen Quellen wie Photovoltaik, Wasser- oder Windkraft. Die Herstellung ist klimaneutral und CO<sub>2</sub>-frei.



# GRÜNER WASSERSTOFF – ENERGIETRÄGER DER ZUKUNFT

## Welche Bedeutung haben Farben bei Wasserstoff?

... weitere Herstellungsmethoden

**Gelber Wasserstoff:** mittels Wasserelektrolyse unter Nutzung von Netzstrom (Mix) hergestellt

**Pinker/Lila/Roter Wasserstoff:** mittels Wasserelektrolyse unter Nutzung von Kernenergie (Atomstrom) hergestellt

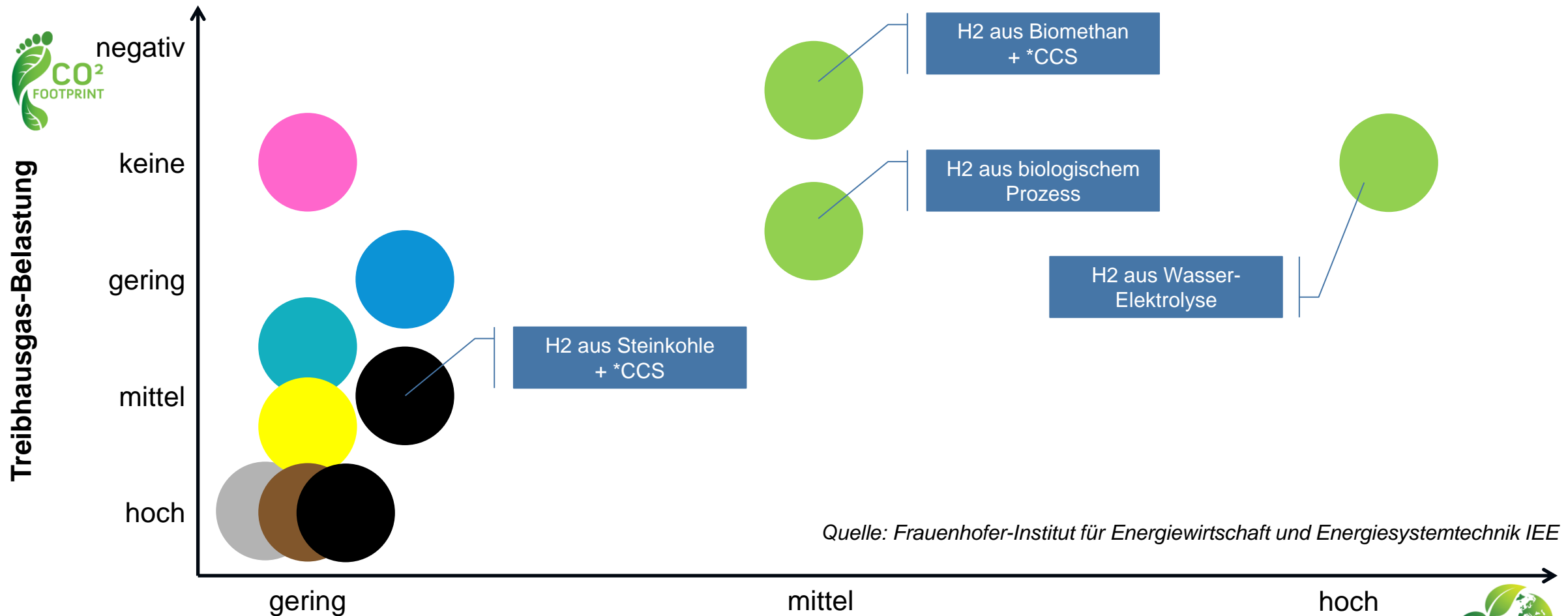
**Weisser Wasserstoff:** entsteht als Nebenprodukt in Industrieprozessen

**Schwarzer Wasserstoff:** mittels Vergasung von fossilen Energieträgern wie Steinkohle hergestellt

**Brauner Wasserstoff:** mittels Vergasung von fossilen Energieträgern wie Braunkohle hergestellt

# GRÜNER WASSERSTOFF – ENERGIETRÄGER DER ZUKUNFT

## Herstellungsverfahren im Zusammenhang mit der Nachhaltigkeit



Quelle: Fraunhofer-Institut für Energiewirtschaft und Energiesystemtechnik IEE

\*Carbon Capture and Storage (Absonderung und Speicherung des Kohlenstoffs)

# GRÜNER WASSERSTOFF – ENERGIETRÄGER DER ZUKUNFT

## Meilensteine der Wasserstoffgeschichte

- 1766** Der englische Chemiker und Physiker Henry Cavendish experimentiert mit Eisen, Zink, Zinn und Säuren. Er entdeckt dabei den Wasserstoff. Antoine Laurent de Lavoisier führte seine Experimente quantitativ weiter. Er bezeichnete den Wasserstoff als «Wasser erzeugenden Stoff» oder «Hydrogen».
- 1838** Professor Christian Schönbein und William Grove erfinden die Brennstoffzelle.
- 1970** Der südafrikanische Elektrochemiker John Bockris verwendet erstmals den Begriff «Wasserstoffwirtschaft» (hydrogen economy) während einer Besprechung mit General Motors. Zusammen mit dem Physiker Eduard Justi entwirft Bockris 1975 ein vollständiges Konzept einer Wasserstoffwirtschaft, mit dem Ziel, unabhängig von den fossilen Energieträgern Kohle und Erdöl zu werden.
- 1994** Die Deutsche Forschungsanstalt für Luft- und Raumfahrt DLR erprobt die Produktion von Grünem Wasserstoff mit solarer Energie in der saudi-arabischen Wüste. Die direkte Kopplung von solarer Stromerzeugung und Wasserelektrolyse beweisen, dass eine Produktion von Grünem Wasserstoff möglich ist.
- 1999** Am 5. Mai 1999 wird weltweit die erste öffentliche Wasserstofftankstelle am Münchner Flughafen eröffnet.
- 2014** TOYOTA stellt weltweit den ersten Serien-Brennstoffzellen-PKW «Mirai» auf der Los Angeles Auto Show vor.
- 2018** Inbetriebnahme der weltweit ersten wasserstoffbetriebenen Personenzüge «Coradia iLint» aus der Serienfertigung von ALSTOM. Die Züge verkehren im niedersächsischen Elbe-Weser-Netz der EVB (BRD).
- 2020** Im Oktober 2020 werden weltweit die ersten 10 Serien-Brennstoffzellen-LKW von HYUNDAI in der Schweiz in Betrieb genommen.

# GRÜNER WASSERSTOFF – ENERGIETRÄGER DER ZUKUNFT

## Was sind die Anwendungsmöglichkeiten von Grünem Wasserstoff?

Die hauptsächlichen Anwendungsgebiete von Wasserstoff lassen sich in drei Bereiche aufteilen:

- **Strom- und Wärmeerzeugung**
- **Industrie**
- **Mobilität**

Grüner Wasserstoff birgt als vielseitig einsetzbarer Energieträger grosse Potenziale für den Weg hin zu einer klimaneutralen Energieversorgung.

Wasserstoff soll zuerst dort eingesetzt werden, wo er in grossen Mengen benötigt wird und wohin sich der Transport verhältnismässig einfach organisieren lässt. Dies ist auf internationaler Ebene die Industrie – die Chemie- und Stahlindustrie haben einen hohen Bedarf an Grünem Wasserstoff.

# GRÜNER WASSERSTOFF – ENERGIETRÄGER DER ZUKUNFT

## Was sind die Anwendungsmöglichkeiten von Grünem Wasserstoff?

**Industrie:** Dekarbonisierung von nicht elektrifizierbaren Prozessen

Grüner Wasserstoff kann als alternativer Brennstoff Öfen anfeuern oder zusammen mit CO<sub>2</sub> als Baustein von Polymeren dabei helfen, die fossile Rohstoffbasis der Chemieindustrie zu ersetzen.

In der chemischen Industrie wird Wasserstoff aktuell hauptsächlich verwendet:

- Zur Herstellung von Stickstoffdünger
- Zur Raffinierung von Mineralöl
- Zur Herstellung von synthetischen Kraftstoffen

# GRÜNER WASSERSTOFF – ENERGIETRÄGER DER ZUKUNFT

## Was sind die Anwendungsmöglichkeiten von Grünem Wasserstoff?

### **Strom- und Wärmeerzeugung:** Flexibilität durch Speicher

Durch den Einsatz von Wasserstoff kann Energie gespeichert, transportiert und zu einem späteren Zeitpunkt wieder frei gegeben werden. Diese Eigenschaft eignet sich vorteilhaft als Speichertechnologie für Erneuerbare Energien. Durch das Power-to-Gas Verfahren (PtG/P2G) kann aus regenerativ erzeugtem Strom Wasserstoff produziert werden. Dieser Grüne Wasserstoff kann gespeichert und weitertransportiert werden.

Grüner Wasserstoff bietet sich auch für die Wärmeversorgung an. Bereits heute ist es möglich bis zu 5 % ins Erdgasnetz einzuspeisen, ohne dass es eine Anpassung der Gasheizungen in den Haushalten bedarf. In Pilotprojekten wird eine Beimischung bis zu 30 % erforscht.



# GRÜNER WASSERSTOFF – ENERGIETRÄGER DER ZUKUNFT

## Was sind die Anwendungsmöglichkeiten von Grünem Wasserstoff?

**Mobilität:** Schwerlastverkehr ohne CO<sub>2</sub>-Emissionen

Im Mobilitätssektor gibt es einige Verkehrsmittel, für die sich ein direktelektrischer Antrieb nur bedingt anbietet. Vor allem im Schwerlastverkehr wird aufgrund des Gewichts und des Reichweitenbedarfs viel Energie gebraucht. Dementsprechend würde eine grosse und schwere Batteriekapazität benötigt, um die erforderlichen Reichweiten abbilden zu können. Mit der Brennstoffzelle lassen sich Nutzlast, Reichweite und Betankungszeit verbessern.

Auch im Bereich der Bahn gibt es erste Projekte, die in die Wasserstoff-Technologie investieren. Gerade in Bereichen, wo es keine Oberspannungsleitungen gibt und Dieselloks eingesetzt werden, können so Emissionen eingespart werden.

Gleiches gilt für den Schiffsverkehr, wo noch fossile Treibstoffe, insbesondere das Schweröl dominiert.

# GRÜNER WASSERSTOFF – ENERGIETRÄGER DER ZUKUNFT

## Wie wird Grüner Wasserstoff erzeugt?

Auf der Erde ist Wasserstoff praktisch nicht in freier Form (Gasmolekül) vorhanden, sondern in Verbindungen. Unter dem Begriff «Wasserstoffherstellung» oder «Wasserstofferzeugung» wird die Bereitstellung von molekularem Wasserstoff ( $H_2$ ) bezeichnet. Er muss mit Hilfe von Energie aus einem wasserstoffreichen Ausgangsstoff abgespalten werden. Die Herstellung ist nur dann klimaneutral, wenn es die Energiequelle auch ist.

Folgende Ausgangsstoffe kommen für die Wasserstoffherstellung hauptsächlich in Frage:

- **Wasser** ( $H_2O$ )
- **Erdgas/Methan** ( $CH_4$ )
- **Biomasse**
- **Kohlenwasserstoffverbindungen** wie Erdöl, Kohle...

Als Energiequelle dient chemische, elektrische, thermische oder solare Energie.

# GRÜNER WASSERSTOFF – ENERGIETRÄGER DER ZUKUNFT

## Elektrolyse – emissionsfreie Erzeugung von Grünem Wasserstoff

Elektrolyse bezeichnet eine chemische Reaktion, bei der ein Ausgangsstoff (Verbindungen) mit Hilfe von elektrischem Strom in höherwertige energetische Bausteine gespalten wird. Bei der Elektrolyse von Wasser beispielsweise entsteht nebst Sauerstoff der Energieträger Wasserstoff.

Bei der Elektrolyse wird Wasser ( $H_2O$ ) in einem ersten Schritt mit einem Stoff (z.B. Salz  $NaCl$ ) angereichert um den Ionentransport zu verbessern oder es wird eine protonenleitende Membrane eingesetzt. Unter Einsatz von Strom wird das Wasser nun in seine Bestandteile Wasserstoff ( $H_2$ ) und Sauerstoff ( $O_2$ ) zerlegt. Dabei wandert der Wasserstoff zum negativ geladenen Pol (Kathode) und der Sauerstoff zum positiv geladenen Pol (Anode). Die eingesetzte elektrische Energie wird in chemische Energie umgewandelt und im Wasserstoff gespeichert.

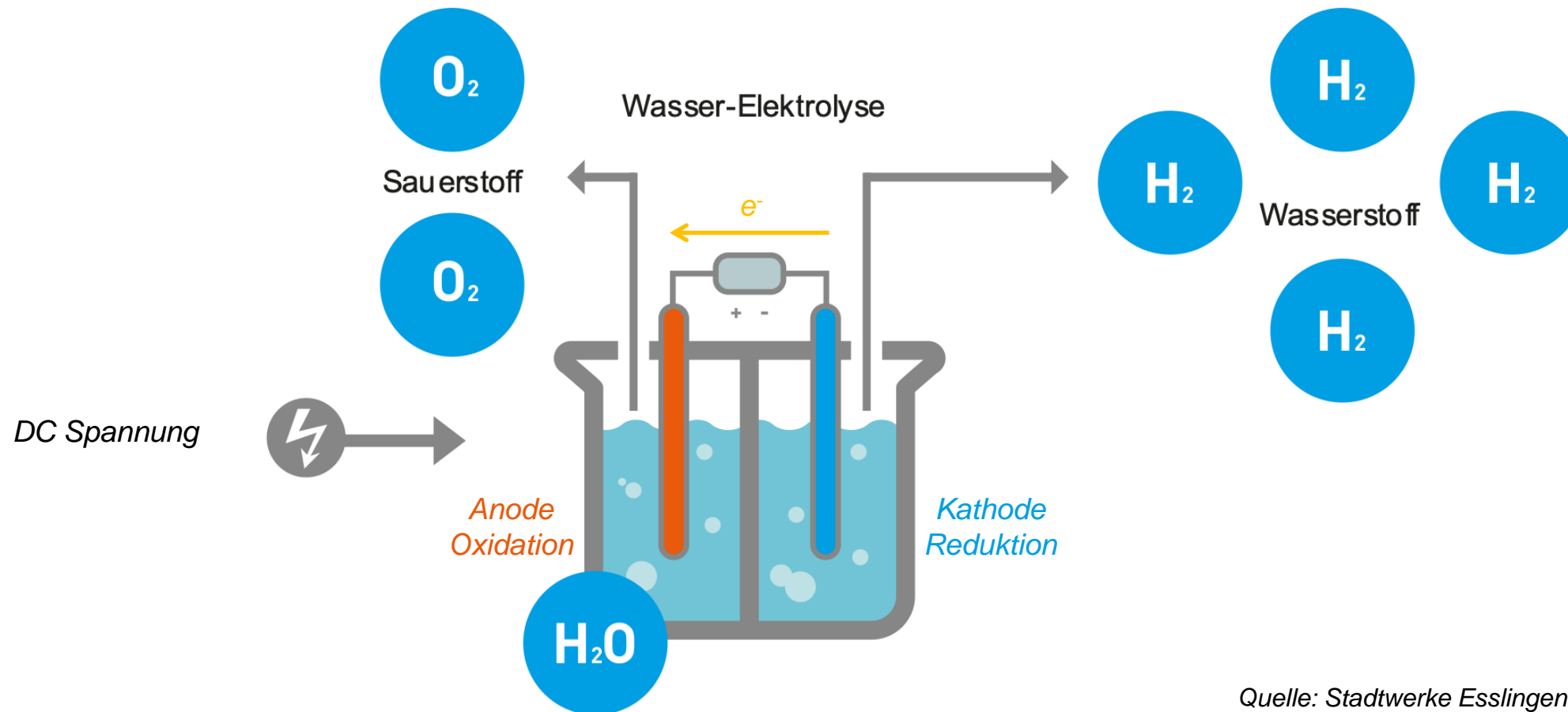
Es gibt drei Elektrolyseverfahren, die aktuell von zentraler Bedeutung für die Herstellung von Grünem Wasserstoff sind. Sie unterscheiden sich in der Technologie und haben verschiedene Vor- und Nachteile:

- **Alkalische Elektrolyse (AEL)**
- **Membran Elektrolyse (PEM, Proton Exchange Membran)**
- **Hochtemperatur Elektrolyse (HTEL)**

# GRÜNER WASSERSTOFF – ENERGIETRÄGER DER ZUKUNFT

## Elektrolyse – emissionsfreie Erzeugung von Grünem Wasserstoff

Mit einer Gleichspannungsquelle (elektrische Energie) wird Wasser in seine Bestandteile Wasserstoff (chemischer Energieträger) und Sauerstoff getrennt. Chemischer Prozess:  $2\text{H}_2\text{O} \rightarrow 2\text{H}_2 + \text{O}_2$

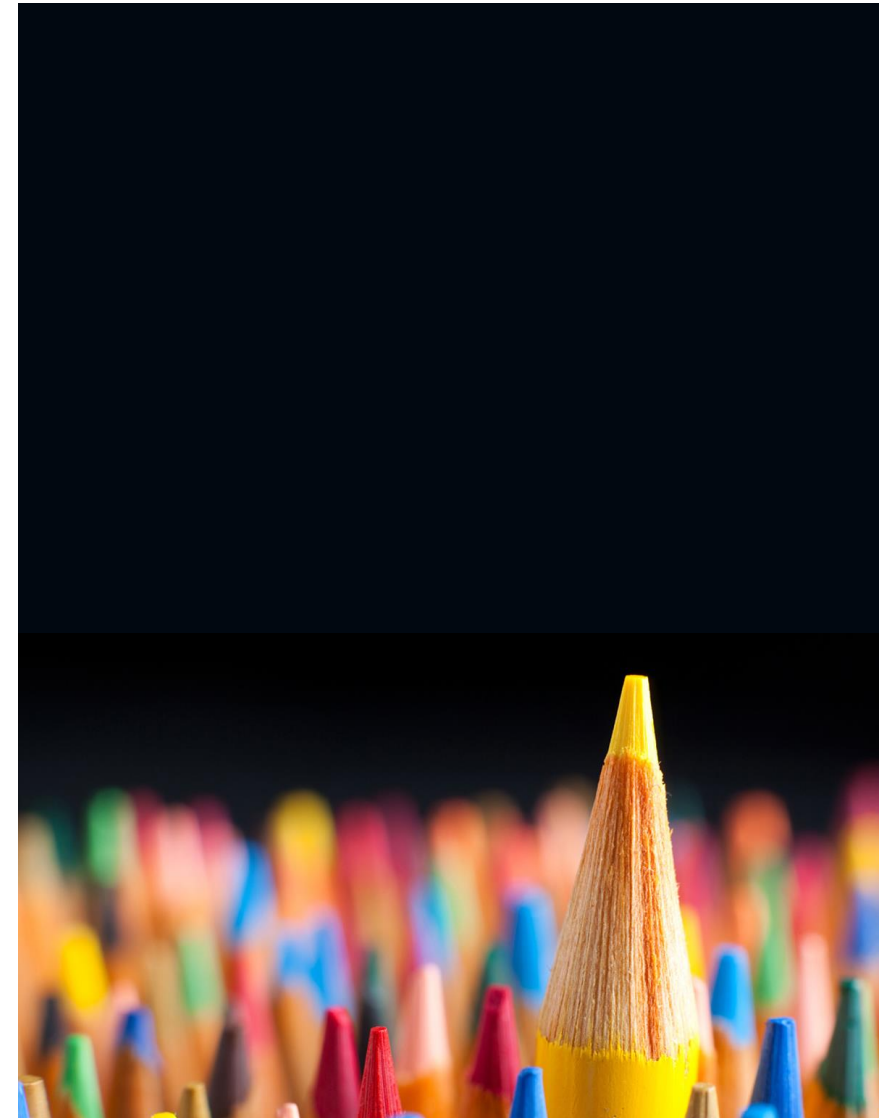


Quelle: Stadtwerke Esslingen am Neckar GmbH & Co. KG

# GRÜNER WASSERSTOFF – ENERGIETRÄGER DER ZUKUNFT

## Zusammenfassung Teil 2

- Wasserstoff (H<sub>2</sub>) ist das häufigste Element des Universums und fast unbegrenzt verfügbar.
- Auf der Erde kommt Wasserstoff hauptsächlich in gebundener Form vor, wie zum Beispiel in Wasser.
- Um Wasserstoff als Energieträger nutzen zu können, muss das Wasserstoffmolekül von der Verbindung getrennt werden, u.a. durch die Elektrolyse.
- Wasserstoff darf nur als «grün» bezeichnet werden, wenn bei der Herstellung ausschliesslich Strom aus erneuerbaren Energiequellen (Sonne, Wasser, Wind, Biomasse) verwendet wird. Somit fallen bei Herstellung von grünem Wasserstoff und der energetischen Verwertung keine CO<sub>2</sub> Emissionen an.
- Wasserstoff hilft das Speicherproblem von Strom im Zusammenhang mit den erneuerbaren Energien (Netzstabilität) zu lösen.
- Wasserstoff verbindet die Sektoren Strom, Wärme, Verkehr (Sektorkoppelung)



## POWERFUEL WEEK 2022 - IMPRESSUM

### Kontaktadresse

Auto Gewerbe Verband Schweiz  
Sektion Zentralschweiz  
Ebenastrasse 14  
CH-6048 Horw  
Schweiz

info@agvs-zs.ch  
+41 41 349 00 20  
CHE-112.378.983

Diese Informationen werden ohne kommerzielle Interessen zur Verfügung gestellt.

### Haftungsausschluss

Der Autor übernimmt keinerlei Gewähr hinsichtlich der inhaltlichen Richtigkeit, Genauigkeit, Aktualität, Zuverlässigkeit und Vollständigkeit der Informationen.

Haftungsansprüche gegen den Autor wegen Schäden materieller oder immaterieller Art, welche aus dem Zugriff oder der Nutzung bzw. Nichtnutzung der veröffentlichten Informationen, durch Missbrauch der Verbindung oder durch technische Störungen entstanden sind, werden ausgeschlossen.

Alle Angebote sind unverbindlich. Der Autor behält es sich ausdrücklich vor, Teile der Seiten oder das gesamte Angebot ohne gesonderte Ankündigung zu verändern, zu ergänzen, zu löschen oder die Veröffentlichung zeitweise oder endgültig einzustellen.

### Haftung für Links

Verweise und Links auf Webseiten Dritter liegen ausserhalb unseres Verantwortungsbereichs. Es wird jegliche Verantwortung für solche Webseiten abgelehnt. Der Zugriff und die Nutzung solcher Webseiten erfolgen auf eigene Gefahr des Nutzers oder der Nutzerin.

### Urheberrechte

Die Urheber- und alle anderen Rechte an Inhalten, Bildern, Fotos oder anderen Dateien auf der Website gehören ausschliesslich dem Betreiber dieser Webseite oder den speziell genannten Rechteinhabern. Für die Reproduktion jeglicher Elemente ist die schriftliche Zustimmung der Urheberrechtsträger im Voraus einzuholen.