

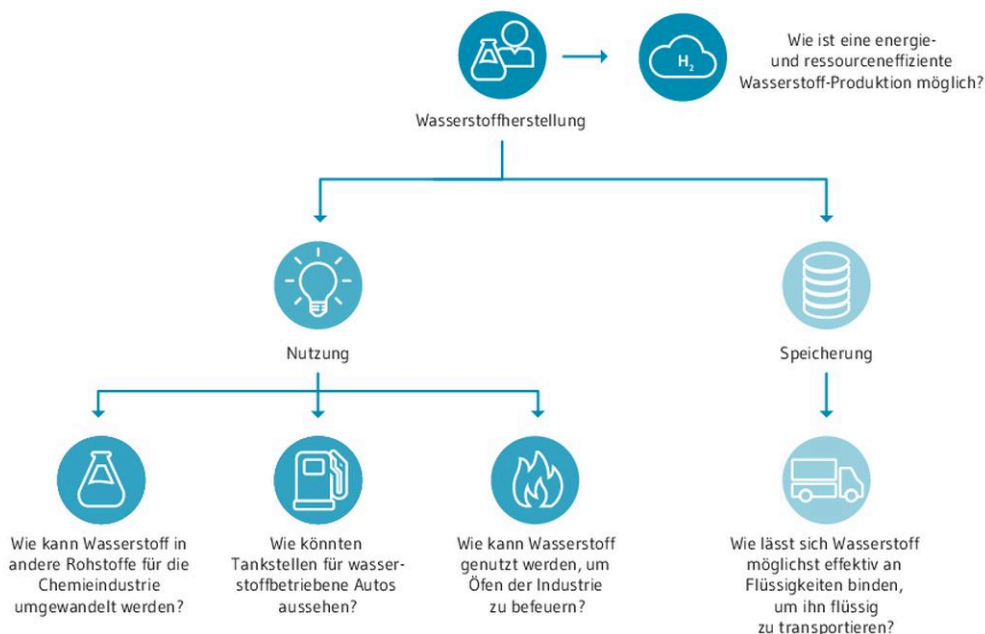
## Kopernikus-Projekt P2X: Wasserstoff als Forschungsprojekt [2]

### Nutzen von Grünem Wasserstoff

Grüner Wasserstoff, der unter Nutzung von erneuerbaren Energien erzeugt wird, ist zentral für das Erreichen der Pariser Klimaschutzziele: Mit seiner Hilfe ist es möglich, Deutschlands größte Treibhausgasverursacher in Verkehr und Industrie klimafreundlich umzugestalten.

Grüner Wasserstoff...

- kann als Treibstoff genutzt werden. Zusammen mit Kohlenstoffmonooxid (CO, hergestellt aus CO<sub>2</sub>) lässt er sich in klimafreundliche Kraftstoffe umwandeln, die Pkw, Lkw, Schiffe und Flugzeuge antreiben.
- kann Brennöfen der Industrie anfeuern. Mithilfe von Brennstoffzellen beheizt er außerdem Gebäude. Alternativ lässt sich aus ihm und Kohlenstoffdioxid Methan (CH<sub>4</sub>) herstellen, das als Heizgas in Haushalten und Industrie dient.
- ist zusammen mit Kohlenstoffdioxid Baustein für Grundstoffe, die die Chemieindustrie benötigt. So können z. B. Kunststoffprodukte hergestellt werden.
- lässt sich in Strom umwandeln, um Schwankungen im Stromnetz auszugleichen.



### 01: Fragestellungen bei der Wasserstoffforschung

### Herstellung von Wasserstoff durch Elektrolyse

Wasser kann mithilfe von Strom in dem als Elektrolyse bezeichneten Verfahren in Wasserstoff und Sauerstoff zerlegt werden. Dies geschieht beispielsweise in schwach saurer Lösung an einer protonendurchlässigen Polymer-Membran (engl. *proton exchange membrane*, kurz PEM).

#### Kathode:

Elektrochemische Reduktion  
 $4 \text{H}^+(\text{aq}) + 4 \text{e}^- \rightarrow 2 \text{H}_2(\text{g})$

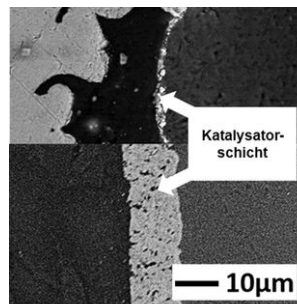
#### Anode:

Elektrochemische Oxidation  
 $2 \text{H}_2\text{O}(\text{l}) \rightarrow \text{O}_2(\text{g}) + 4 \text{H}^+(\text{aq}) + 4 \text{e}^-$

#### Gesamtreaktion:

$2 \text{H}_2\text{O}(\text{l}) \rightarrow 2 \text{H}_2(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g})$  | endotherm

Die Kathodenseite des PEM-Elektrolyseurs besitzt eine poröse, mit Platin beschichtete Elektrode, während die Elektrode auf der Anodenseite beispielsweise mit *Iridium* beschichtet ist. Durch die katalytische Wirkung der Platinelektrode wird Wasser an der Anodenseite gespalten, wobei Sauerstoff, freie Elektronen und  $H^+$ -Ionen entstehen. Die  $H^+$ -Ionen diffundieren durch die protonenleitende Membran auf die Kathodenseite, wo sie an der Iridiumelektrode mit den Elektronen zu Wasserstoff reagieren.



02: Rasterelektronenmikroskopische Aufnahme der Iridium-Beschichtung aus einem P2X-Elektrolyseur (oben) und einem üblichen Elektrolyseur (unten)

In P2X werden Wasserstoff-Elektrolyseure untersucht, die besonders wenig Iridium benötigen. Das Edelmetall ist äußerst selten, die Vorräte sind begrenzt und das Metall ist sehr teuer. Den Forschern von P2X gelang es, den Iridium-Anteil in der Wasserstoff-Elektrolyse um den Faktor zehn zu verringern – bei gleichbleibender Leistung.

### Wasserstoff transportfähig machen

Ein Problem bei der Nutzung von Wasserstoff, das überwunden werden muss, ist der Transport des Gases. Wasserstoff hat bei Normalbedingungen (Normaldruck und -temperatur) einen äußerst geringen Energieinhalt pro Volumen. Zum Transport gibt es daher verschiedene Verfahren zur Verdichtung. Momentan werden Druckspeicher (bis zu 800 bar) für kleinere Mengen und Tieftemperaturspeicher (unter  $-253\text{ °C}$ ) für größere Mengen Wasserstoff verwendet.

Deswegen forscht das P2X-Team daran, den Wasserstoff vorübergehend an spezielle Flüssigkeiten, sog. flüssige organische Wasserstoffträger, zu binden, um ihn leichter und vor allem sicher transportieren zu können.

Als flüssige organische Wasserstoffträger (engl. *liquid organic hydrogen carriers*, kurz: LOHC) werden organische Verbindungen bezeichnet, die Wasserstoff durch chemische Reaktion binden und wieder abgeben können. Dafür kommt prinzipiell jede ungesättigte organische Verbindung infrage, deren Moleküle C–C-Doppel- oder Dreifachbindungen besitzt. Solche Verbindungen nehmen durch eine als *Hydrierung* bezeichnete Reaktion Wasserstoff auf. LOHCs können daher als Speichermedien für Wasserstoff verwendet werden.

Die Hydrierung einer ungesättigten organischen Verbindung ist eine exotherme Reaktion und wird unter erhöhtem Druck (30–50 bar) und bei ca.  $150\text{--}200\text{ °C}$  in Gegenwart eines Katalysators durchgeführt. Wenn der an LOHC gebundene Wasserstoff wieder verfügbar gemacht werden soll, wird die nun hydrierte, wasserstoffreiche Form des LOHCs dehydriert, wobei der Wasserstoff wieder aus dem LOHC freigesetzt wird. Diese Reaktion ist endotherm und erfolgt bei  $250\text{--}320\text{ °C}$  in Gegenwart eines Katalysators. Dafür wird ein Dehydrierkatalysator verwendet, der ebenfalls möglichst wenige Edelmetalle benötigen sollte, um kostengünstig zu sein.



03: Wasserstoff löst sich vom Dehydrierkatalysator



04: Mit Wasserstoff beladenes LOHC (links) bzw. unbeladenes LOHC (rechts)

- 1 Beschreiben Sie stichpunktartig den Wasserstoff-Forschungsbereich des Kopernikus-Projekts P2X.
- 2 Erläutern Sie die Herstellung von Wasserstoff durch die hier beschriebene Elektrolyse.
- 3 Fassen Sie anhand des Materials die Vor- und Nachteile von Wasserstoff zusammen.
- 4a Erläutern Sie an einem selbstgewählten Beispiel das Prinzip der Wasserstoffspeicherung an einem LOHC. Geben Sie die entsprechende Reaktionsgleichung an. Beachten Sie bei der Wahl Ihrer exemplarischen LOHC-Verbindung den erforderlichen Aggregatzustand.
- b Zeichnen Sie ein Schema, das den Prozess des LOHC-Verfahrens zur Speicherung elektrischer Energie verdeutlicht.