



# Kopernikus-Projekt P2X

Ergebnisse der zweiten Förderphase

## P2X für die Energiewende

Die Industrie steht vor der großen Herausforderung, CO<sub>2</sub>-Emissionen zu reduzieren und nachhaltige Alternativen zu fossilen Rohstoffen und Energieträgern zu finden. Einen wichtigen Beitrag zum Gelingen der Energiewende stellen Power-to-X-Technologien (PtX) dar, die im Kopernikus-Projekt P2X (Power-2-X) von 42 Projektpartnern aus Wissenschaft und Industrie entwickelt werden. Damit soll mittels erneuerbaren Energien Wasserstoff (H<sub>2</sub>) hergestellt und dort eingesetzt werden, wo eine Direktelektrifizierung nicht möglich ist. Ziel ist es, fossile Rohstoffe zu ersetzen und neue Produktionsrouten für die Chemie- und Grundstoffindustrie zu entwickeln, über die aus Wasser, CO<sub>2</sub> und erneuerbar erzeugtem Strom nachhaltige Produkte hergestellt werden können.

Inzwischen befindet sich das Kopernikus-Projekt P2X in der zweiten von insgesamt drei Förderphasen und hat bereits deutliche Fortschritte in den Bereichen der Wasserstoff-Erzeugung/-Infrastruktur und der Entwicklung von Kraftstoffen, Kunststoffen, Kosmetika und bei der Glasherstellung vorzuweisen.



# POWER-to-GAS

## Elektrolyse



Mit dem erneuerbaren Strom muss zunächst Wasser über Elektrolyse in Wasserstoff und Sauerstoff gespalten werden. Im Rahmen von P2X werden zwei Ansätze verfolgt: Neben der Wasser-Elektrolyse wird in der Ko-Elektrolyse zusätzlich  $\text{CO}_2$  in  $\text{CO}$  umgewandelt. So können je nach Verwendungszweck reiner  $\text{H}_2$  oder ein  $\text{H}_2/\text{CO}$ -Gemisch (Synthesegas) hergestellt werden. Zu den wichtigsten Projektergebnissen zählt die Optimierung von Elektroden für die PEM-Wasser-Elektrolyse, die mit stark reduzierter Iridium-Beladung auskommen (bis zu 10-mal niedriger), wodurch die Kosten gesenkt werden können. Für die Hochtemperatur-Ko-Elektrolyse (ca.  $850\text{ }^\circ\text{C}$ ) wurde die Prozessführung verbessert, sodass das Synthesegasgemisch beliebig variiert werden kann. Daneben wurde die Integration eines Moduls in einem Power-to-Liquid-System erfolgreich demonstriert. Darin kann die bei der Fischer-Tropsch-Reaktion entstehende Wärme genutzt werden, um die Elektrolyse zu beheizen, wodurch sich ihr Wirkungsgrad erhöht. Zudem wurde ein  $\text{CO}_2$ -zu- $\text{CO}$ -Elektrolyseur im niederen Temperaturbereich (unter  $100\text{ }^\circ\text{C}$ ) entwickelt, dessen Elektrolysezelle von  $300\text{ cm}^2$  auf  $5.000\text{ cm}^2$  hochskaliert werden konnte.

# INFRASTRUKTUR

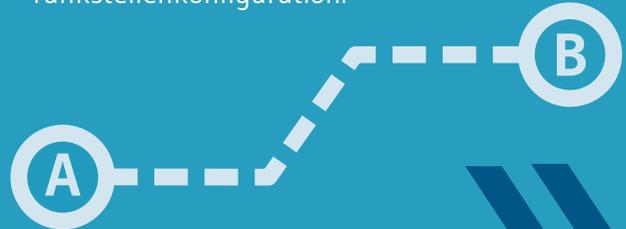
## $\text{H}_2$ -Transport



Durch den Einsatz von flüssigen organischen Wasserstoffträgern (LOHC) ist es möglich,  $\text{H}_2$  in flüssiger Form chemisch zu binden. Im Vergleich zum gasförmigen Zustand kann der gebundene  $\text{H}_2$  in viel höherer Energiedichte gespeichert und mit bestehender Infrastruktur wie zum Beispiel Tanklastern transportiert werden. LOHC sind im Gegensatz zu  $\text{H}_2$  im be- und entladenen Zustand schwer entflammbar. In der zweiten Projektphase wurden Reaktoren, Katalysatoren und der Wasserstoffträger optimiert.

## $\text{H}_2$ -Tankstelle

Daneben wird ein Konzept für eine  $\text{H}_2$ -Tankstelle entwickelt. Eine Machbarkeitsstudie beschreibt die technisch notwendigen Komponenten und zeigt die günstigste Tankstellenkonfiguration.



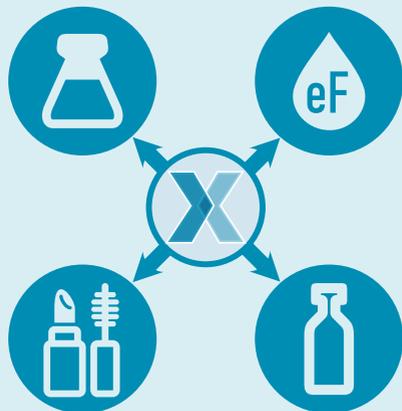
# ANWENDUNGEN

## Polymere

In der Atmosphäre schadet zu viel  $\text{CO}_2$  dem Klima. In der Chemieindustrie kann es ein wertvoller Rohstoff sein. Im Kopernikus-Projekt P2X werden neue Reaktionsrouten entwickelt, mit denen zunächst  $\text{CO}_2$  in unterschiedliche Formaldehyd-Derivate umgewandelt wird. Diese Moleküle können im nächsten Schritt zu Polymeren umgesetzt werden, welche zum Beispiel als Schaumstoff für Matratzen oder in Sportschuhen ihren Einsatz finden können. Für die Herstellung und Verwendung im Bereich der Klebstoffe existiert inzwischen eine Patentanmeldung. Der Schwerpunkt des Projekts verschiebt sich nun von der Entwicklung der Reaktionsrouten in Richtung der industriellen Umsetzbarkeit.

## Pflegeprodukte

Auch in der Kosmetikindustrie können grüner  $\text{H}_2$  (aus Elektrolyse) und  $\text{CO}_2$  fossile Rohstoffe ersetzen. Dafür wird  $\text{CO}_2$  von Mikroorganismen durch Fermentation in längererkettige Alkohole umgewandelt, die ein Ausgangsstoff für verschiedene Rohstoffe für Kosmetika sein können. In der zweiten Projektphase gelang es, die Ausbeute der längererkettigen Alkohole zu erhöhen und die Kultivierungsbedingungen zu optimieren.



## Kraftstoffe

Synthetische Kraftstoffe (e-Fuels) sollen überall dort angewendet werden, wo einer direkten Elektrifizierung die technische Reife fehlt, zum Beispiel im Flug-, Schiffs- und Schwerlastverkehr. Im Projekt wird ein modulares Container-System erprobt, mit dem dezentral e-Fuels hergestellt werden können. Es enthält alle wesentlichen Komponenten, um aus Wasser und  $\text{CO}_2$  aus der Luft Kraftstoffe herzustellen. In der zweiten Förderphase konnten bereits normgerechte Kraftstoffe wie Kerosin, Benzin und Diesel produziert werden.

## Glasherstellung

Die Glasherstellung ist besonders energieintensiv und könnte durch den Einsatz von PtX klimafreundlicher werden. Ein Test zur Glasschmelze mit Wasserstoff anstelle von Erdgas wurde innerhalb des Projekts erfolgreich abgeschlossen. Dabei gelang es, eine ähnliche Brennerleistung bei vergleichbaren Temperaturen zu erreichen wie beim konventionellen Betrieb mit Erdgas und Sauerstoff. Auch die Qualität des innovativ hergestellten Glases ähnelte derjenigen aus herkömmlicher Produktion.

## » Roadmapping



Eine Roadmap bewertet fortlaufend die Realisierbarkeit und das Potenzial der unterschiedlichen PtX-Technologien. Diese sind für das Erreichen der Klimaziele zwingend notwendig. Dies zeigten die ökonomischen, ökologischen und sozialen Analysen, die entlang eines einheitlichen, im Projekt entwickelten Modells bis 2045 durchgeführt wurden.

>> [Link zum Download](#) <<



## Kommunikation und Bildungsarbeit

PtX-Produkte werden in Zukunft im Alltag ankommen, zum Beispiel in Kosmetika oder Sportartikeln. Deshalb ist es wichtig, schon während ihrer Entwicklung darüber zu informieren und sie der breiten Öffentlichkeit bekannt zu machen, um frühzeitig den Grundstein für ihre Akzeptanz zu legen. Deswegen werden die wissenschaftlichen und technischen Arbeiten im Projekt von vielfältigen Maßnahmen der Kommunikation und Bildungsarbeit begleitet. Dazu gehören unterschiedliche Veranstaltungsformate für Fachleute, interessierte Bürger:innen und Studierende. Um das Fachwissen auf anschauliche Weise der breiten Öffentlichkeit näherzubringen, kooperierte das Projekt mit Influencer:innen, die das Thema PtX auf ihren Kanälen kreativ aufbereitet haben. Eine Virtual-Reality-Welt macht PtX „erlebbar“, in einem E-Learning-Kurs geben Expert:innen Einblicke und mehr.

## Konsortium

AUDI AG | AVL List GmbH | Beiersdorf AG | Bund für Umwelt und Naturschutz Deutschland e.V. | CAT Catalytic Center | Clariant Produkte (Deutschland) GmbH | Climeworks Deutschland GmbH | Covestro Deutschland AG | DB Energie | DECHEMA Gesellschaft für Chemische Technik und Biotechnologie e.V. | Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. | DWI - Leibniz-Institut für Interaktive Materialien e.V. | Elogen GmbH | Evonik Operations GmbH | Ford-Werke GmbH | Forschungszentrum Jülich GmbH | Framatome GmbH | Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme | Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg | Greenergy GmbH | Helmholtz-Institut Erlangen-Nürnberg | Helmholtz-Zentrum Berlin für Materialien und Energie GmbH | Heraeus Deutschland GmbH & Co. KG | H-TEC SYSTEMS GmbH | Hydrogenious Technologies GmbH | IASA e.V. | ifeu - Institut für Energie- und Umweltforschung GmbH | INERATEC GmbH | Institut für ZukunftsEnergie und Stoffstromsysteme gGmbH | Karlsruher Institut für Technologie | Linde AG | Ludwig-Maximilians-Universität München | Max-Planck-Institut für Chemische Energiekonversion | Öko-Institute e.V. | Ostbayerische Technische Hochschule Regensburg | RWTH Aachen University | SCHOTT AG | Siemens Energy | sunfire GmbH | Technische Universität München | Volkswagen AG | Wacker Chemie AG | WWF Deutschland | ZAE Bayern

# IMPRESSUM

## HERAUSGEBER

Verbundvorhaben P2X: Erforschung, Validierung und Implementierung von „Power-to-X“-Konzepten

Stand August 2022

## REDAKTION

DECHEMA e.V.  
Maximilian Kotzur  
Theodor-Heuss-Allee 25  
60486 Frankfurt am Main

## AUTOR:INNEN

Julia Biermann, Chokri Boumrifak

## GESTALTUNG & ILLUSTRATION

Chokri Boumrifak

## KONTAKT

E-Mail: [kopernikus-p2x@dechema.de](mailto:kopernikus-p2x@dechema.de)

[www.kopernikus-projekte.de/p2x](http://www.kopernikus-projekte.de/p2x)

Unter der Koordination von:



GEFÖRDEBT VOM



Bundesministerium  
für Bildung  
und Forschung