Leitprojekt
$H_2$Mare

# Grüne Wasserstoffproduktion auf hoher See

GEFÖRDERT VOM

Bundesministerium
für Bildung
und Forschung

Finanziert von der
Europäischen Union
NextGenerationEU

© Bundesregierung / Guido Bergmann

# Liebe Leserinnen und Leser,

viele von Ihnen kennen die Potenziale von Wasserstoff. Regenerativ erzeugt, kann er drei wichtige Ziele verbinden: Energiesicherheit, Klimaneutralität und Wettbewerbsfähigkeit. Das macht Wasserstoff zur Jahrhundertchance und zu einem unserer Schwerpunktthemen im Bundesforschungsministerium.

Dabei gilt es, unsere Voraussetzungen optimal zu nutzen. Deutschland als Industrienation braucht viel Energie, verfügt aber über vergleichsweise wenig Wind und Sonne. Allein auf hoher See weht ständig eine steife Brise. Hier lässt sich der erneuerbare Strom erzeugen, den wir so dringend brauchen. Und hier lässt sich aus diesem Strom gleich an Ort und Stelle der Wasserstoff herstellen.

Das Leitprojekt $H_2$Mare ist angetreten, genau das zu ermöglichen: die effiziente Offshore-Erzeugung von Wasserstoff und seinen Folgeprodukten. Allerdings gab es dabei auch stürmische Zeiten. Corona, Energiekrise, Lieferengpässe und ihre Konsequenzen haben das Leitprojekt verändert. Umso beachtlicher sind die bisherigen Ergebnisse. In Dänemark testet $H_2$Mare derzeit die Kopplung eines Elektrolyseurs an eine Windkraftanlage, in Deutschland den Betrieb einer Meerwasser-Entsalzungsanlage. Außerdem entwickelt $H_2$Mare einen innovativen Offshore-Elektrolyseur und nimmt im kommenden Jahr einen Container in Betrieb, der Kraftstoffe direkt auf hoher See produziert.

Damit schafft $H_2$Mare – wie die beiden anderen Wasserstoff-Leitprojekte $H_2$Giga und TransHyDE – wichtige Grundlagen zum Erhalt der deutschen Versorgungssicherheit. Gleichzeitig entstehen die Innovationen, mit denen wir uns im internationalen Wettbewerb im Spitzenbereich positionieren können.

Unsere Ziele sind klar: Wir wollen Deutschland zur Wasserstoff-Republik machen und möglichst häufig die Marktführerschaft entlang der Wasserstoff-Wertschöpfungskette erringen. Diese Broschüre gibt einen tieferen Einblick in die Arbeit von $H_2$Mare und die vielfältigen Herausforderungen. Mir zeigt diese Zwischenbilanz: Wasserstoff kann Meer!

Auch Ihnen eine inspirierende Lektüre.

**Bettina Stark-Watzinger**
Mitglied des Deutschen Bundestages
Bundesministerin für Bildung und Forschung

# $H_2$Mare

## Wie $H_2$Mare Wasserstoff direkt auf hoher See produzieren will

Auf See herrschen beste Bedingungen zur Erzeugung erneuerbaren Stroms. Die direkte Herstellung von Grünem Wasserstoff in Offshore-Anlagen aus Windenergie ohne Netzanbindung kann die Kosten gegenüber der Erzeugung an Land deutlich senken. Das Leitprojekt $H_2$Mare erforscht daher die Offshore-Erzeugung von Grünem Wasserstoff und anderen Power-to-X-Produkten.

Windenergieanlagen auf See erzeugen deutlich mehr und regelmäßiger Strom als ihre Pendants an Land. Dieses Potenzial will das Wasserstoff-Leitprojekt $H_2$Mare nutzen, indem es direkt auf See erneuerbaren Strom nutzt, um daraus Wasserstoff und Wasserstoff-Folgeprodukte herzustellen.

Dabei wollen die Partner den Wasser-Elektrolyseur direkt mit einer Windkraftanlage koppeln – und damit innovative Technologien bereitstellen, um offshore Grünen Wasserstoff zu erzeugen. Damit dies gelingt, müssen sowohl der Elektrolyseur als auch die Windkraftanlage angepasst werden.

Das $H_2$Mare-Projekt $H_2$Wind erforscht einen Elektrolyseur direkt für die rauen Bedingungen auf See. Das $H_2$Mare-Projekt Offgrid-Wind kümmert sich hingegen um die Anpassungen auf Seiten der Windkraftanlage. Die direkte Kopplung von Windkraftanlage und Elektrolyseur soll die Kosten der Wasserstoffproduktion reduzieren.

Denn ohne Anbindung an das Stromnetz können Infrastrukturkosten erheblich gesenkt werden. Zudem bedeutet die Entkopplung von Elektrolyse und Netz eine Entlastung für örtliche Netzstrukturen. Ein weiterer Vorteil der Wasserstoff-Herstellung auf dem Meer: Hier stehen weit größere potenzielle Flächen zur Erzeugung von Windenergie zur Verfügung als an Land.

Wegen der zahlreichen Vorteile der Produktion auf See arbeitet $H_2$Mare auch an Lösungen, um mit Grünem Wasserstoff direkt **Folgeprodukte** wie Grünes Methanol zu erzeugen – offshore Power-to-X also. Damit das gelingt, wollen die Partner aus dem $H_2$Mare-Projekt **PtX-Wind** auch zukunftsweisende Ansätze wie die Meerwasser-Elektrolyse weiter vorantreiben.

In allen technischen $H_2$Mare-Projekten werden ebenfalls Fragen zu Sicherheit und Umweltauswirkungen untersucht. Ebenso werden Lebenszyklusanalysen und Technologiebewertungen erarbeitet.

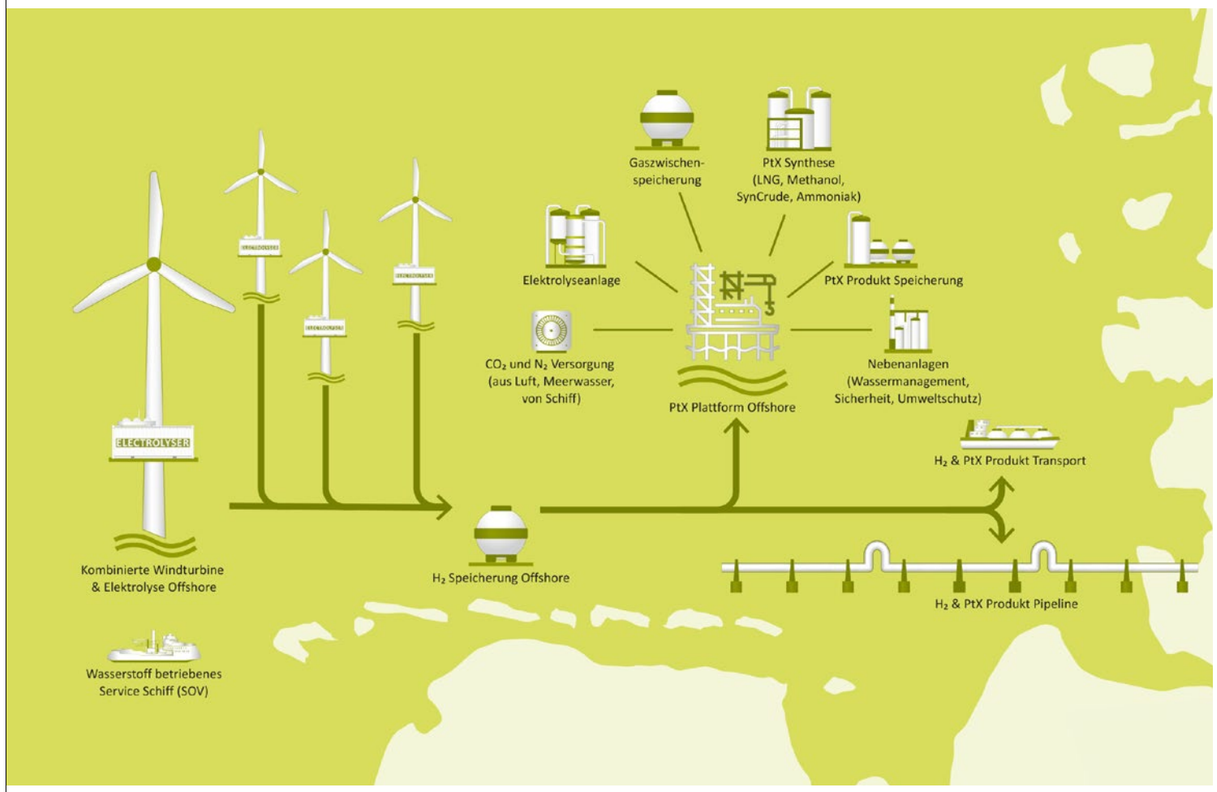
Übergeordneten Fragestellungen sowie der Kommunikation und dem Wissenstransfer widmet sich das $H_2$Mare-Projekt TransferWind. Dabei stehen auch Akzeptanzmanagement und Fragen der regulatorischen Rahmenbedingungen im Zentrum der Arbeiten.

© Projektträger Jülich im Auftrag des BMBF





© $H_2$Mare




### Thematische Schwerpunkte von $H_2$Mare:

- Übertragbarkeit
- Potenzial von $H_2$ & PtX
- Umwelt & Sicherheit
- Regulatorik & Normen
- Allgemeine Öffentlichkeit & Gesellschaft
- Technologie Offshore Wind & $H_2$

### Zahlen und Fakten zum Projekt

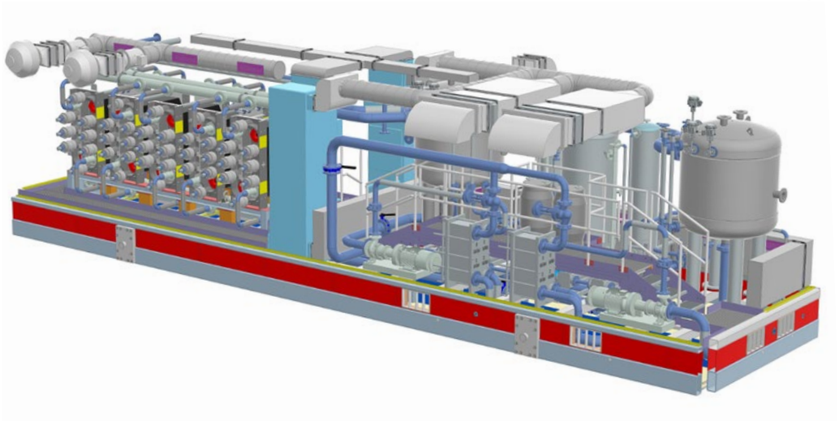
| | |
|---|---|
| **Partner:** | 31 *(plus 2 assoziierte Partner)* |
| **Fördersumme:** | über 100 Millionen EUR |
| **Projektlaufzeit:** | 01.04.2021 bis 31.03.2025 |

$H_2$Mare ist eines von drei Wasserstoff-Leitprojekten des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF) zur Umsetzung der Nationalen Wasserstoffstrategie.

# $H_2$Wind

## Autarke Wasserelektrolyseure auf See

Abb. 1: 5-Megawatt-Elektrolyse-Container



Das $H_2$Mare-Projekt **$H_2$Wind** erforscht den Elektrolyseur, der zur Kopplung mit einer Windenergieanlage vorgesehen ist. Dieser neuartige, kompakte PEM-Elektrolyseur soll trotz rauer Bedingungen auf See effizient und quasi-autark arbeiten. Dafür müssen seine Komponenten unter Hochsee-Bedingungen getestet und entsprechend angepasst werden (Abb. 1). Eine in $H_2$Wind entwickelte Datenbank ermöglicht die isolierte Betrachtung einzelner Bestandteile des Elektrolyseurs und deren Bewertung anhand von Testdaten. Die Anordnung der Komponenten wird ebenfalls überarbeitet. Denn eine Wartung und Montage der Anlage auf hoher See stellt deutlich größere Anforderungen an das Anlagendesign.

Ein bedeutender Meilenstein, der auf dem Foto zu sehen ist, wurde durch den Aufbau eines Prototyp-Stacks mit reduzierter Zellenzahl erreicht. Mit ihm soll das Betriebsverhalten realitätsnah abgebildet und erforscht werden (Abb. 2).

Zusätzlich erarbeitet $H_2$Wind Verfahren zur Speicherung des produzierten Wasserstoffs sowie zur Wasseraufbereitung und -bereitstellung für die Elektrolyse. Forschende am Fraunhofer-Institut für Windenergiesysteme untersuchen dabei die Nutzung von vor Ort verfügbarem Meerwasser. Hierzu testen sie ein thermisches Entsalzungsverfahren – basierend auf der vorhandenen Prozesswärme des Elektrolyseurs (Abb. 3).

Erste Tests zeigen, dass Temperaturunterschiede zwar das Anlaufverhalten der Entsalzungsanlage beeinflussen, jedoch kaum Auswirkungen auf die Produktionsmenge an Reinstwasser haben.

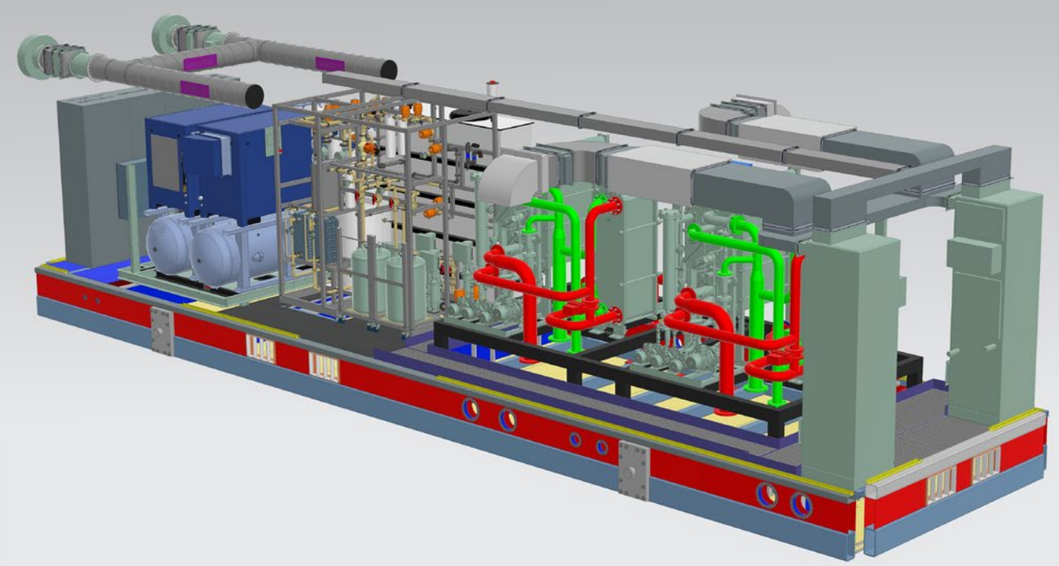
$H_2$Wind untersucht zudem den Zeit- und Energieaufwand, der nach dem Kaltstart der Anlage erforderlich ist, bis aus dem eingeleiteten Seewasser das benötigte Reinstwasser hergestellt werden kann. Das Projekt prüft darüber hinaus die Möglichkeit, auf übliche Chemikalien zu verzichten.

Durch die gesamtheitliche Betrachtung der Anlage identifiziert $H_2$Wind außerdem die Bedingungen für einen gewinnbringenden Betrieb.

© Siemens-Energy

Abb. 2: Protoyp-Stack mit reduzierter Zellenzahl

Abb. 3: Prozesswasser-Container für die Meerwasserentsalzung



OffgridWind

# OffgridWind

## Neue Windkraftanlage für die Wasserstoff-Erzeugung

Der neue offshore-taugliche Elektrolyseur soll zukünftig auf der Plattform der Windkraftanlage Platz finden. Wie sich die Anlage und der Elektrolyseur am besten kombinieren lassen, erarbeitet das $H_2$Mare-Projekt **OffgridWind**. Getestet werden die erarbeiteten Konzepte zunächst an Land – an einer Onshore-Windenergieanlage. Dafür wurde eine eigene Testinfrastruktur errichtet. Die Tests haben im Frühjahr 2024 begonnen.

Die Offshore-Anlage wird zukünftig neben einer größeren Plattform außerdem ein neues Fundament benötigen. Beides erforscht OffgridWind – ergänzt durch den Transport des produzierten Wasserstoffs ans Festland. Zudem simulieren die Partner den Betrieb und berechnen die Kosten über den gesamten Lebenszyklus der Windenergieanlagen zur Wasserstoff-Produktion auf See.

Elektrolyse-Plattform mit Platzierung der Container für Elektrolyse an Windturbine. © Siemens Gamesa Renewable Energy

# PtX-Wind

## Offshore-Produktion weiterer Power-to-X-Produkte

Im $H_2$Mare-Projekt **PtX-Wind** wird die Erzeugung weiterer Power-to-X-Produkte auf See, beispielsweise von Methan, Methanol, Fischer-Tropsch-Produkten und Ammoniak getestet. Dazu werden neben Wasser auch $CO_2$ und Stickstoff benötigt. Diese sollen unter anderem direkt vor Ort aus der Luft (Direct Air Capture) oder dem Meer gewonnen werden. Zudem konzentriert sich PtX-Wind auf die Co-Elektrolyse von $CO_2$ und Wasser sowie die Meerwasser-Elektrolyse. Ist die Nutzung der Meerwasser-Elektrolyse erfolgreich, muss das aus dem Meer gewonnene Wasser vor der Elektrolyse nicht mehr entsalzt werden.

Die erarbeiteten Konzepte für alle Syntheseprodukte will PtX-Wind zunächst an Land testen. Für die erste Demonstration einer Power-to-X Prozesskette – bestehend aus einer Co-Elektrolyse und der Synthese von Kraftstoffen – haben Forschende am EnergyLab des Karlsruher Instituts für Technologie (KIT) einen Power-to-Liquid-Container (PtL) aufgebaut. In diesem werden Kraftstoffe per Fischer-Tropsch-Synthese aus Wasserstoff und $CO_2$ hergestellt. Anschließend wird die gesamte PtL-Prozesskette, gekoppelt an eine Co-Elektrolyse des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt (DLR), auf einer schwimmenden Plattform auf See demonstriert. Diese wird neben der Co-Elektrolyse eine Direct-Air-Capture-Anlage, PtL-Synthese und Abwasseraufbereitung in Containern beherbergen und Fischer-Tropsch-Produkte herstellen, die später als nachhaltige Kraftstoffe wie beispielsweise Diesel oder Kerosin genutzt werden können.

Power-to-X-Container für den Offshore-Einsatz. © KIT

# TransferWind

## Mit geteiltem Wissen zu neuen Lösungen

Das $H_2$Mare-Projekt **TransferWind** arbeitet an Fragestellungen, die alle vier $H_2$Mare-Projekte betreffen. Dazu gehören regulatorische Rahmenbedingungen für Offshore- und Power-to-X-Anlagen, der Wissenstransfer, die Akzeptanzforschung sowie übergeordnete technische Aspekte. TransferWind erstellt außerdem ein Konzept für ein Tankstellennetz, das die direkte Betankung von Wasserstoff-betriebenen Schiffen ermöglicht. Dies dient der Darstellung und Bewertung potenzieller Anwendungen von offshore produziertem Wasserstoff, insbesondere in Hinblick auf den Transportsektor.

Nachdem das Projekt die bestehenden Regularien für den sicheren und umweltverträglichen Bau und Betrieb von Offshore-Anlagen analysiert hat, arbeitet es an deren Verzahnung. Durch die Definition von „Leitplanken“, an denen sich Anlagenbauer und -betreiber später orientieren können, sollen Handlungsoptionen erarbeitet und künftige Genehmigungsprozesse vereinfacht werden.

Der fachliche Austausch zwischen den einzelnen $H_2$Mare-Projekten sowie der Wissenstransfer zwischen Wissenschaft, Wirtschaft, Politik und Zivilgesellschaft sind ebenfalls im Projekt verankert. In Interviews mit Stakeholdern und Bürgerdialogen entstand ein Meinungsbild zur Offshore-Produktion von Wasserstoff und es gelang die Identifizierung von Schlüsselfaktoren für die Akzeptanz des Ausbaus von erneuerbaren Energien. Wichtig sind den Befragten der lokale Nutzen für die Region, Teilhabe an den Planungs- und Umsetzungsprozessen sowie transparente Informations- und Kommunikationsabläufe.

TransferWind befasst sich neben der externen Kommunikation auch mit Bildungsarbeit. Das Magazin „Meer & Küste“; eine Wanderausstellung der Küstenunion und ein $H_2$Mare-Online-Spiel präsentieren der Küstenbevölkerung die Potenziale und Auswirkungen Grüner Offshore-Wasserstofferzeugung. So fördert das Projekt die Akzeptanz der in $H_2$Mare entwickelten Technologien.

$H_2$Mare präsentiert sich der Öffentlichkeit. © Fraunhofer IWES

# $H_2$Mare

## Projektpartner

BAM Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung

cruh21 PART OF DREES & SOMMER

DECHEMA Gesellschaft für Chemische Technik und Biotechnologie e.V.

DECHEMA FORSCHUNGSINSTITUT Stiftung bürgerlichen Rechts

DLR

DVGW Forschungsstelle ebi

EnBW

Technology for Water ENVIROCHEMIE

EUCC-D

Fraunhofer

fumatech Membranes for Separation and Energy Storage BWT GROUP

Helmholtz-Zentrum hereon

HOCHSCHULE WISMAR UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES TECHNOLOGY BUSINESS AND DESIGN

INERATEC

KIT Karlsruher Institut für Technologie





Leibniz Universität Hannover

MAX-PLANCK-INSTITUT FÜR DYNAMIK KOMPLEXER TECHNISCHER SYSTEME MAGDEBURG

RWE

SALZGITTER MANNESMANN FORSCHUNG Ein Unternehmen der Salzgitter Gruppe

SIEMENS energy

SIEMENS Gamesa RENEWABLE ENERGY

STIFTUNG OFFSHORE WINDENERGIE

TECHNISCHE UNIVERSITÄT BERLIN

thyssenkrupp

Universität Stuttgart

WindMW

## Impressum

**Herausgeber**
Fraunhofer-Institut für Windenergiesysteme IWES
Am Seedeich 45 | 27572 Bremerhaven
info@iwes.fraunhofer.de | www.iwes.fraunhofer.de
Telefon +49 471 14290-100

**Kontakt**
Wasserstoff-Leitprojekt $H_2$Mare
Technologieplattform-Office (TPO)
Matthias Müller
Christian Hiemisch
E-Mail: h2mare@iwes.fraunhofer.de

**Gefördert durch:**

Bundesministerium
für Bildung
und Forschung

**Stand**
Mai 2024

© Wasserstoff-Leitprojekt $H_2$Mare, 2024