



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 H₂Mare 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 H₂Mare derzeit die Kopplung eines Elektrolyseurs an eine Windkraftanlage, in Deutschland den Betrieb einer Meerwasser-Entsalzungsanlage. Außerdem entwickelt H₂Mare einen innovativen Offshore-Elektrolyseur und nimmt im kommenden Jahr einen Container in Betrieb, der Kraftstoffe direkt auf hoher See produziert.

Damit schafft H₂Mare – wie die beiden anderen Wasserstoff-Leitprojekte H₂Giga 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 H₂Mare 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

H₂Mare

Wie H₂Mare Wasserstoff direkt auf hoher See produzieren will

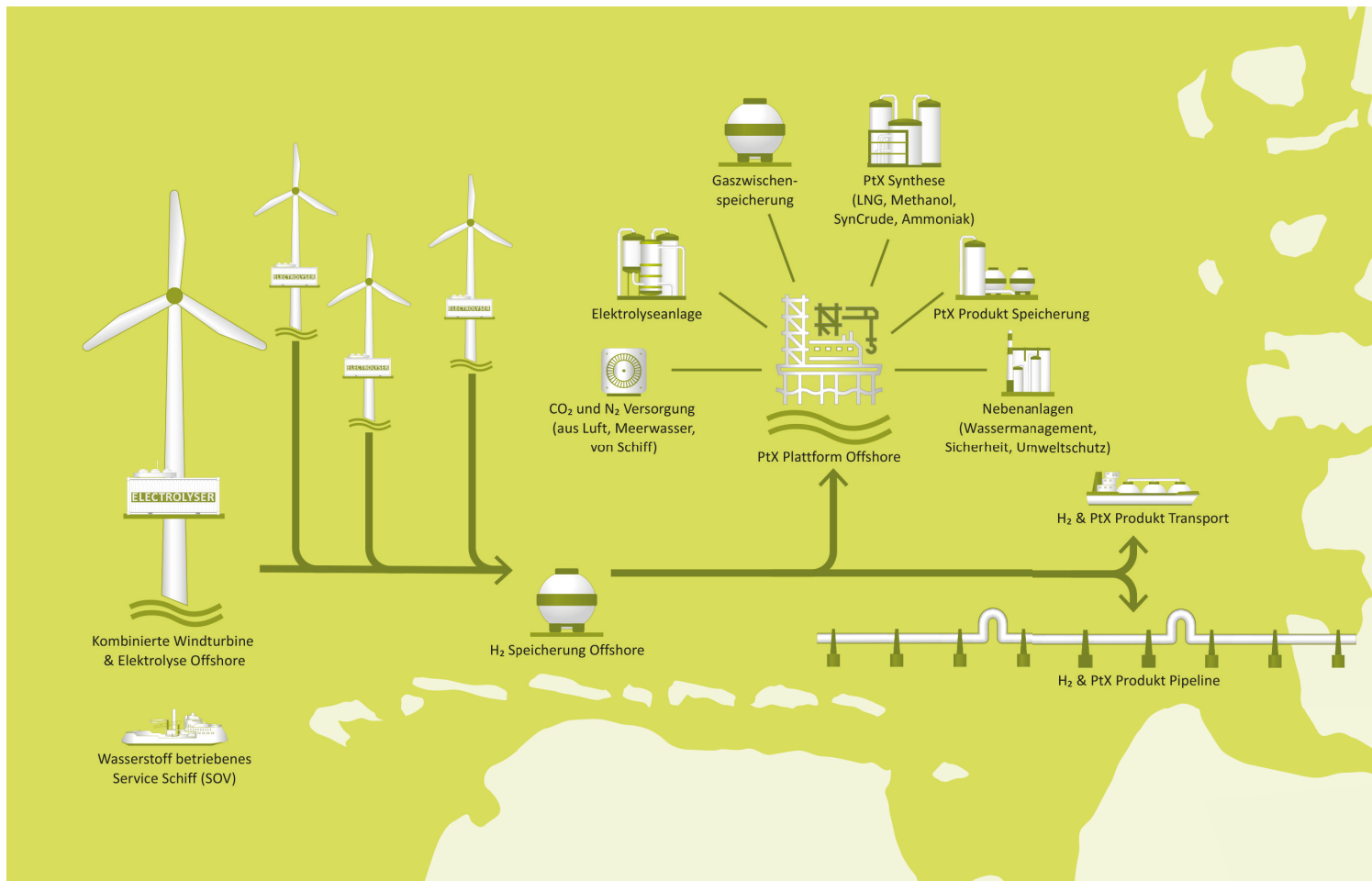
Auf See herrschen beste Bedingungen zur Erzeugung erneuerbaren Stroms. Die direkte Herstellung von Grünem Wasserstoff in Offshore-Anlagen aus Windenergie ohne Netzanbindung kann die Kosten gegenüber der Erzeugung an Land deutlich senken. Das Leitprojekt H₂Mare erforscht daher die Offshore-Erzeugung von Grünem Wasserstoff und anderen Power-to-X-Produkten.

Windenergieanlagen auf See erzeugen deutlich mehr und regelmäßiger Strom als ihre Pendanten an Land. Dieses Potenzial will das Wasserstoff-Leitprojekt H₂Mare 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 H₂Mare-Projekt H₂Wind erforscht einen Elektrolyseur direkt für die rauen Bedingungen auf See. Das H₂Mare-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.





Thematische Schwerpunkte von H₂Mare:

- › Übertragbarkeit
- › Potenzial von H₂ & PtX
- › Umwelt & Sicherheit
- › Regulatorik & Normen
- › Allgemeine Öffentlichkeit & Gesellschaft
- › Technologie Offshore Wind & H₂

Zahlen und Fakten zum Projekt

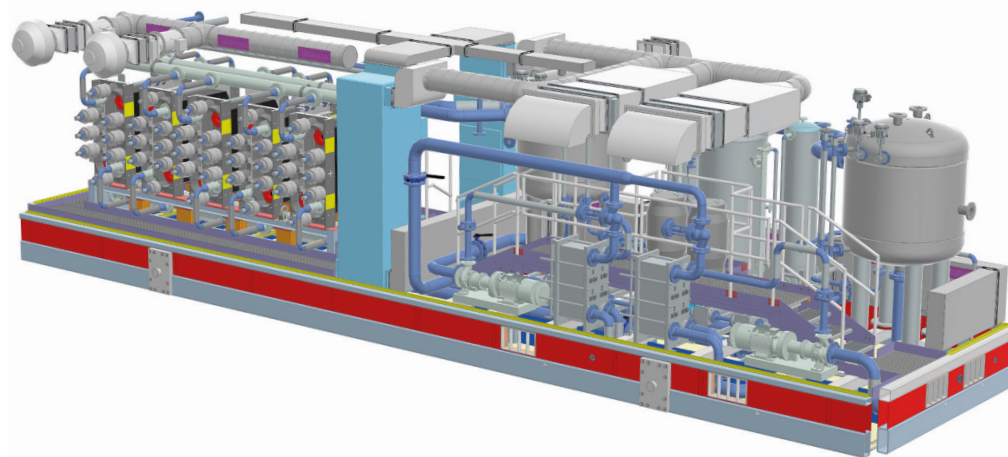
Partner:	31 (plus 2 assoziierte Partner)
Fördersumme:	über 100 Millionen EUR
Projektlaufzeit:	01.04.2021 bis 31.03.2025

H₂Mare ist eines von drei Wasserstoff-Leitprojekten des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF) zur Umsetzung der Nationalen Wasserstoffstrategie.

H₂Wind

Autarke Wasserelektrolyseure auf See

Abb. 1: 5-Megawatt-Elektrolyse-Container



Das H₂Mare-Projekt **H₂Wind** 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 H₂Wind 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 H₂Wind 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.

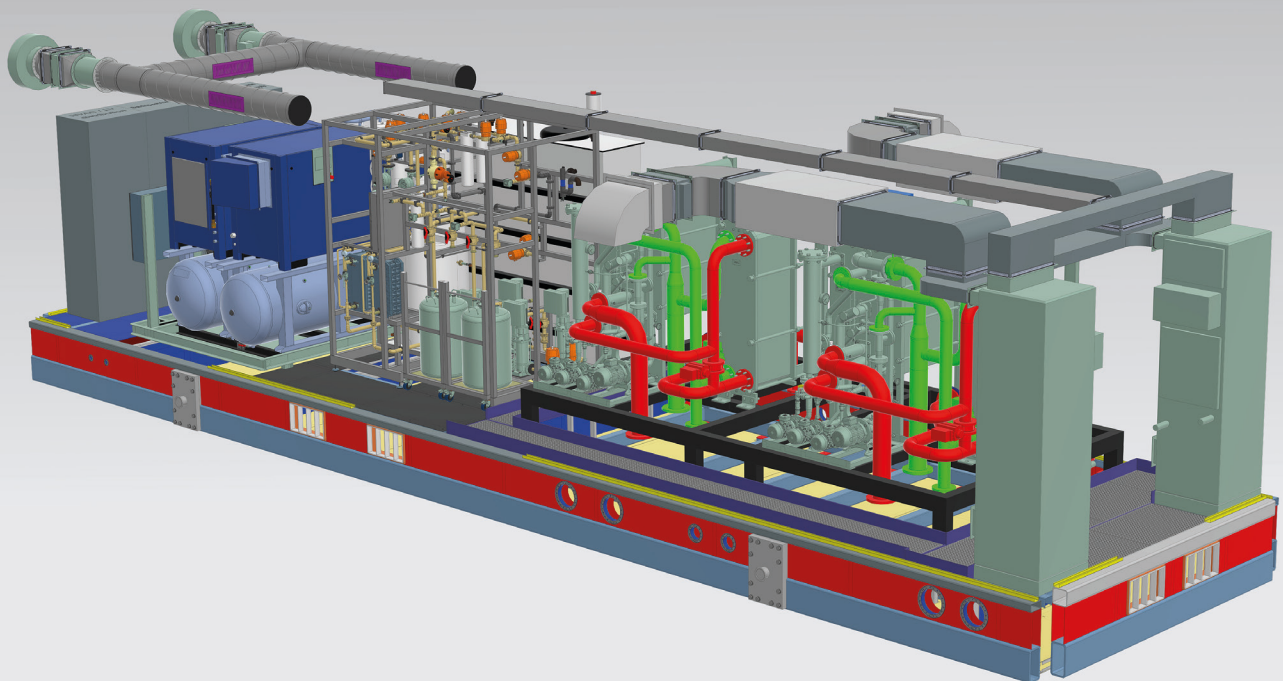
H₂Wind untersucht zudem den Zeit- und Energieaufwand, der nach dem Kaltstart der Anlage erforderlich ist, bis aus dem eingeleiteten Seewasser das benötigte Reinstwasser hergestellt werden kann. Das Projekt prüft darüber hinaus die Möglichkeit, auf übliche Chemikalien zu verzichten.

Durch die gesamtheitliche Betrachtung der Anlage identifiziert H₂Wind außerdem die Bedingungen für einen gewinnbringenden Betrieb.



Abb. 2: Protoyp-Stack mit reduzierter Zellenzahl

Abb. 3: Prozesswasser-Container für die Meerwasserentsalzung







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 H₂Mare-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 H₂Mare-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 CO₂ 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 CO₂ 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 CO₂ 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 H₂Mare-Projekt **TransferWind** arbeitet an Fragestellungen, die alle vier H₂Mare-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 H₂Mare-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 H₂Mare-Online-Spiel präsentieren der Küstenbevölkerung die Potenziale und Auswirkungen Grüner Offshore-Wasserstoffherzeugung. So fördert das Projekt die Akzeptanz der in H₂Mare entwickelten Technologien.

H₂Mare

Green offshore hydrogen
and power-to-X production
from wind turbines



ISO 12245/67890
CERTIFIED

SAFETY

PROTECTION

EXCHANGE

TRANSPARENCY

Flagship Project
H₂Mare

Transferring knowledge and involving civil society play a key role.



H₂Mare Update

H₂Mare

Projektpartner







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 H₂Mare
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 H₂Mare, 2024