



Grüner Wasserstoff
Herstellung auf See



Flora & Fauna
Energiewende naturverträglich gestalten



Beteiligung
Akzeptanz von Maßnahmen steigern





Mit Winddrachen Strom erzeugen

Stromerzeugung funktioniert auch mit einem Flugdrachen, der die starken und stetigen Höhenwinde in mehreren Hundert Metern Höhe nutzt und herkömmliche Windräder mit geringerem Landschaftseingriff ergänzt. Befestigt ist er an einer Bodenstation mit einer Seilwinde, in die ein Generator integriert ist. Das Konzept der Stromgewinnung, das hinter dem Höhenwindenergiesystem steckt, wird als „Jo-Jo-Prinzip“ bezeichnet. In der Powerphase steigt der Drachen in bis zu 500m Höhe auf und fliegt dort in liegenden Achtern durch den Wind, während



das Seil von der Seilwinde gezogen wird und der Generator Strom erzeugt. In der Rückholphase gleitet der Drachen zum Ausgangspunkt zurück, wobei der Generator im Motorbetrieb arbeitet und das Seil wieder aufrollt. Hierbei wird nur ein Bruchteil der Energie aus der Powerphase benötigt. Die Drachen bestehen aus High-tech-Kunstfasern und haben eine Spannweite von 17m und eine Fläche von 120m². Das aktuelle Potential der Anlagen bietet eine Versorgung von 400-500 Haushalten.

skysails-power.com

Wasserstoffvorhaben interaktiv erkunden



Wer ist wo in Wasserstoffprojekte involviert? Welche Nutzungen sind geplant oder existieren bereits? Einen guten Überblick über den Wasserstoffausbau geben der „Wasserstoffatlas Deutschland“ und die App „H₂Connect – Wir verbinden die Zukunft“. Beide Anwendungen stellen Informationen über aktuelle und geplante Wasserstoffprojekte und -anwendungen bereit und ermöglichen eine Vernetzung interessierter Fachleute. Während der „Wasserstoffatlas Deutschland“ einen Überblick über Potentiale, Verbrauch, Kosten und Emissionsminderung von Wasserstoffanwendungen in Deutschland bietet, stellt die App „H₂Connect – Wir verbinden die Zukunft“ eine europaweite, interaktive Karte bereit, die eine Suche und Vernetzung von Produzenten, Verbrauchern und Projektvorhaben mit Wasserstoff ermöglicht.

app.h2connect.energy

wasserstoffatlas.de

Testfeld Warnemünde

Zehn Kilometer vor der Küste von Warnemünde ist das erste Offshore-Testfeld in deutschen Gewässern in Planung. Hier sollen unter Realbedingungen verschiedene neue Windenergieanlagentypen getestet und neue Konzepte für Service-, Wartungs- und Sicherheitsarbeiten erprobt werden. Weiterhin können innovative Speichertechnologien („Power-to-X“) und Ansätze für die Mehrfachnutzungen von Offshore-Flächen, wie z. B. durch Aquakulturen, erforscht werden. Durch Langzeitmonitoring können zusätzlich ökologische Aspekte über längere Zeit erfasst und dadurch dringend benötigte Daten zum Einfluss von Offshore-Windparks auf ihre direkte Umgebung generiert werden. Die Nähe zur Küste erleichtert dabei die Forschungsarbeit und die Optimierung der Hafeninfrastruktur. Der Windpark kann voraussichtlich eine Leistung von 160-180 MW mit 9-12 Anlagen generieren. Mit einem Netzanschluss ist frühestens 2026 zu rechnen. Dann könnten bis zu 180.000 Haushalte mit dem erzeugten Strom versorgt werden.

testfeld-mv.de



Vorwort

Das Jahr 2022 ist bisher das heißeste Jahr seit Wetteraufzeichnung. Ohne eine schnelle Senkung der Treibhausgasemissionen und eine Begrenzung der Erderwärmung auf unter 2°C erhöht sich die Gefahr, dass der Klimawandel unbeherrschbare Ausmaße annimmt. Als entscheidender Baustein gilt die Energiewende, die weg von der Nutzung fossiler Energieträger hin zu erneuerbaren Energien führt. Neben der Stärkung von Wind- und Solarenergie wird Grüner Wasserstoff eine Schlüsselrolle einnehmen. Dieser vielfältig einsetzbare Energieträger soll helfen, die CO₂-Emissionen von Industrie, Kraftwerken und Verkehr deutlich zu verringern. Er wird dort eingesetzt, wo eine direkte Nutzung von Strom aus erneuerbaren Energien nicht ausreicht

oder nicht möglich ist. Mit der Fortschreibung der Nationalen Wasserstoffstrategie wurde das Ziel für die heimische Wasserstoffproduktion auf mindestens 10 Gigawatt bis 2030 angehoben. Auch auf dem Meer kann die Wasserstoffproduktion Sinn machen – hier weht der Wind stärker und beständiger als an Land. Zudem kann die direkte Kopplung von Windkraftanlage und Elektrolyseur Kosten senken. Im Wasserstoff-Leitprojekt H₂Mare wird erforscht, welche Parameter erfüllt sein müssen – von der technischen Umsetzung, über die Gesetzgebung bis hin zu den Effekten für den Küstenraum Norddeutschlands. Damit verbundene Themen und Perspektiven stellt Ihnen die Autorenschaft aus Wissenschaft und Praxis in diesem Heft vor.

Interessante Lesestunden wünschen
Nardine Stybel & das EUCC-D Redaktionsteam.

Inhaltsverzeichnis

Herausforderungen für das Energiesystem der Zukunft.....	4	Lesestoff & mehr.....	20
Energiewende in Norddeutschland.....	6	Mit Grünem Wasserstoff zu mehr Nachhaltigkeit?	21
Kompakt: Grüne Energiegewinnung auf See.....	8	Junge Menschen für Neues begeistern	22
Planung für die Meere	9	Wie stark beeinflussen Windkraftanlagen die Meeresumwelt? ...	24
Wasserstoffherzeugung auf dem Meer.....	10	Veränderung der Landschaft	26
Offshore-Herstellung von Power-to-X-Produkten	12	Klimaschutz und Meeresschutz gemeinsam meistern	27
Sind Grüner H ₂ und synthetische Brennstoffe konkurrenzfähig?	13	Interview	28
Was denkt die Bevölkerung?	14	Grüner Wasserstoff – Anwendungsfelder in der Praxis	30
Helgoland: Eine Insel schreitet voran.....	16	Grüne Zukunft in Europa.....	32
Mal- & Rätselspaß	18	Projekte	34

Impressum

Herausgeber:

EUCC – Die Küsten Union
Deutschland e.V.
Friedrich-Barnewitz-Str. 3
18119 Warnemünde

Redaktion: Nardine Stybel, Nina Efelsberg, Lena Schall, Franziska Stoll und Anke Vorlauf; mit Unterstützung von Jane Hofmann, Leon Stephani und Regina Lünemann

Layout & Herstellung: mediamor,
Am Bahnhof 1, 27472 Cuxhaven,
(047 21) 66 43-0, www.mediador.de

ISBN 978-3-939206-30-9
ISSN 2190-5754

Magazin Nr. 9/2023

Auflage: 35.000

Dieses und vorherige Magazine finden Sie auch im Internet unter:
www.meer-und-kueste.eucc-d.de

Diese Veröffentlichung ist im Rahmen des H₂Mare-Projektes TransferWind mit Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung unter dem Förderkennzeichen 03HY303E erarbeitet und finanziert worden. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autorinnen und Autoren.





Herausforderungen für das Energiesystem der Zukunft

Das Energiesystem steht heute mehr denn je unter einem enormen Veränderungsdruck. Gefragt sind schnelle, zugleich aber auch robuste und langfristig tragfähige Lösungen. Erneuerbare Energien spielen dabei eine bedeutende Rolle.

Der Angriffskrieg Russlands auf die Ukraine hat uns die Verletzlichkeit unseres Energiesystems vor Augen geführt. Weltweit und vor allem auch in Deutschland sind im Jahr 2022 die Preise für Energieträger und Rohstoffe drastisch gestiegen. Über Jahrzehnte als selbstverständlich wahrgenommene Aspekte, wie die Rolle von Erdgas als Brücke in das Zeitalter der erneuerbaren Energien, gelten plötzlich nicht mehr. Dynamik, Unsicherheiten und Komplexität bei der Suche nach guten Lösungen für die vielschichtigen Herausforderungen bei der Transformation haben deutlich zugenommen.

Neben der Versorgungssicherheit bestimmt der Klimaschutz die Notwendigkeit zur Veränderung des Energiesystems. Die Folgen des Klimawandels zeichnen sich immer stärker ab und manifestieren sich u. a. in Form von Hitzeperioden, Starkregenereignissen oder Stürmen – nicht nur in weit entfernten Ländern, sondern auch bei uns in Deutschland.

65 % Minderung und gibt für das Jahr 2045 Treibhausgasneutralität vor. Vereinfacht ausgedrückt bedeutet dies, dass wir den gleichen Minderungsbeitrag, der über rund 30 Jahre erreicht werden konnte, innerhalb weniger Jahre noch einmal erbringen müssen. Die Minderungsgeschwindigkeit muss sich also etwa um den Faktor 4 erhöhen.

Auch wenn Versorgungssicherheit schon immer Teil des energiepolitischen Zieldreiecks, d. h. einer stets sicheren, sauberen und bezahlbaren Energieversorgung war, hat sich die Gewichtung infolge des Krieges offensichtlich verschoben. Was bedeutet die Akzentverschiebung für den Klimaschutz? Laufen wir sehenden Auges in zentrale Zielkonflikte? Ja und nein, denn die gute Nachricht ist, dass der überwiegende Anteil der Klimaschutzmaßnahmen positiv auf die Versorgungssicherheit einzuwirken. Dies gilt für die Elektrifizierung der Endenergieanwendungen in Verkehr, Industrie und Haushalten, den Ausbau der erneuerbaren Energien ebenso wie für die Steigerung der Energie- und Ressourceneffizienz als zentrale Gestaltungselemente der Energiewende. Die zweite gute Nachricht ist, dass wir durch die Vielzahl der für Deutschland in den letzten Jahren veröffentlichten Transformationsstudien auch in quantitativen Größen relativ genau wissen, was zu tun ist.

Windenergie als Schlüssel der Energiewende

So gehen Transformationsstudien z. B. davon aus, dass der Strombedarf der Endverbraucher von heute rund 500 Mrd. Kilowattstunden (kWh) auf 730 – 820 Mrd. kWh bis zum Jahr 2045 ansteigen wird. Die Zielvorgabe der Treibhausgasneutralität bedingt dabei, dass dieser Strom aus erneuerbaren Energien her-

Klimaschutzziele und Versorgungssicherheit

Nach wie vor sind wir global wie national weit entfernt von der Erreichung der notwendigen Klimaschutzziele. Zwischen 1990, dem internationalen Bezugsjahr für den Klimaschutz, und dem Jahr 2021 konnten die Treibhausgasemissionen in Deutschland um 38,5 % gesenkt werden. Das ist im Vergleich zu anderen Ländern gut, gegenüber dem was uns das deutsche Klimaschutzgesetz vorgibt, aber deutlich zu wenig. Dieses setzt für das Jahr 2030 eine Zielmarke von





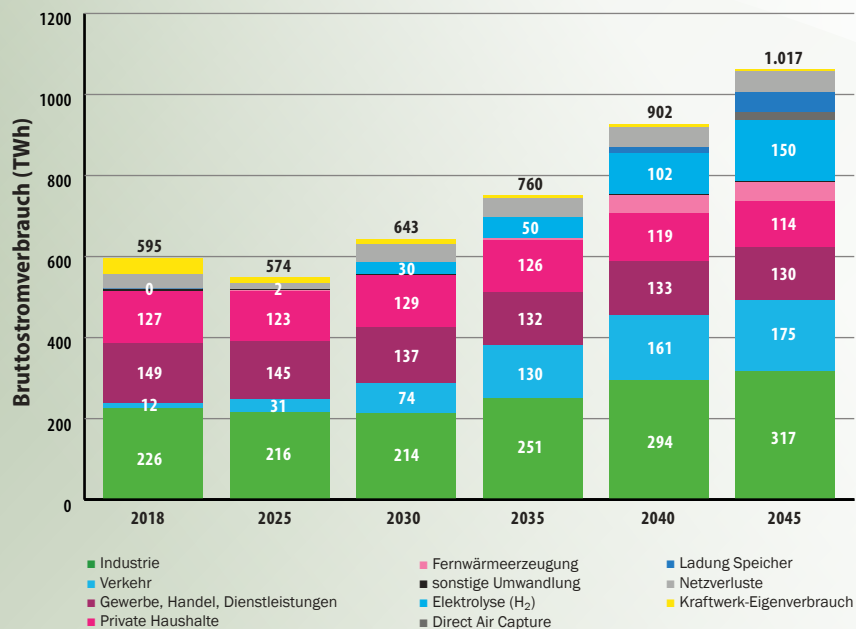
gestellt werden muss. Dabei spielt die Windenergie an Land und auf See eine ganz zentrale Rolle. Deshalb hat die Bundesregierung in ihrem sogenannten Osterpaket im Jahr 2022 die Ausbauziele für die erneuerbaren Energien drastisch erhöht. Für die Windenergie an Land soll das jährliche Ausbauziel von 5,4 Gigawatt (GW) installierte Leistung für 2023 und 2024, über 7,5 GW bis 2028 auf über 8 GW pro Jahr ab 2029 erhöht werden. Im Vergleich dazu wurde im Jahr 2022 gerade einmal etwa 2 GW an zusätzlicher Kapazität hinzugebaut. Insgesamt steigt das Ausbauziel für Windenergie auf See bis 2030 auf eine installierte Leistung von mindestens 30 GW, bis 2035 sollen mindestens 40 GW und bis 2045 mindestens 70 GW erreicht werden. Zum Vergleich: Bis Ende 2020 sind rund 8,1 GW installiert worden.

Inwieweit es gelingen wird, diese ambitionierten Ziele zu erreichen, hängt von verschiedenen Faktoren ab. So müssen z. B. Lösungen gefunden werden, um Konflikte mit dem Natur- und Vogelschutz abzumildern, die viel zu langen Planungs- und Genehmigungszeiten drastisch zu verringern sowie die Kapazitätsengpässe im Handwerk zu überwinden.

Herausforderungen und gemeinsames Handeln

Für die zu meistern den Herausforderungen bei der Transformation des Energiesystems gibt es bisher weltweit keine Blaupause. Hinzu kommt die Notwendigkeit schnelle Entscheidungen treffen zu müssen. Bei aller gebotenen Eile darf der Zusammenhang mit anderen Herausforderungen aber nicht verloren gehen. Sogenannte Lock-in-Situationen, d. h. Investitionen in Strukturen, die andere Pfadentscheidungen später verhindern, müssen unbedingt vermieden werden.

Zu den politischen Aufgaben gehört auch mehr Transparenz und Ehrlichkeit. Es geht bei der Umsetzung der Energiewende auf vielen Ebenen um strukturelle Umstellungen. Um diese gestalten zu können, braucht es einen breiten und ehrlichen gesellschaftspolitischen Diskurs über die notwendigen Maßnahmen und ihre Folgewirkungen. Zusätzlich muss der gesellschaftliche Nutzen immer wieder dargestellt werden. Es bedarf auch proaktiver Maßnahmen, um die potentiellen Verlierer der Umstellungen bei ihrer Neuorientierung

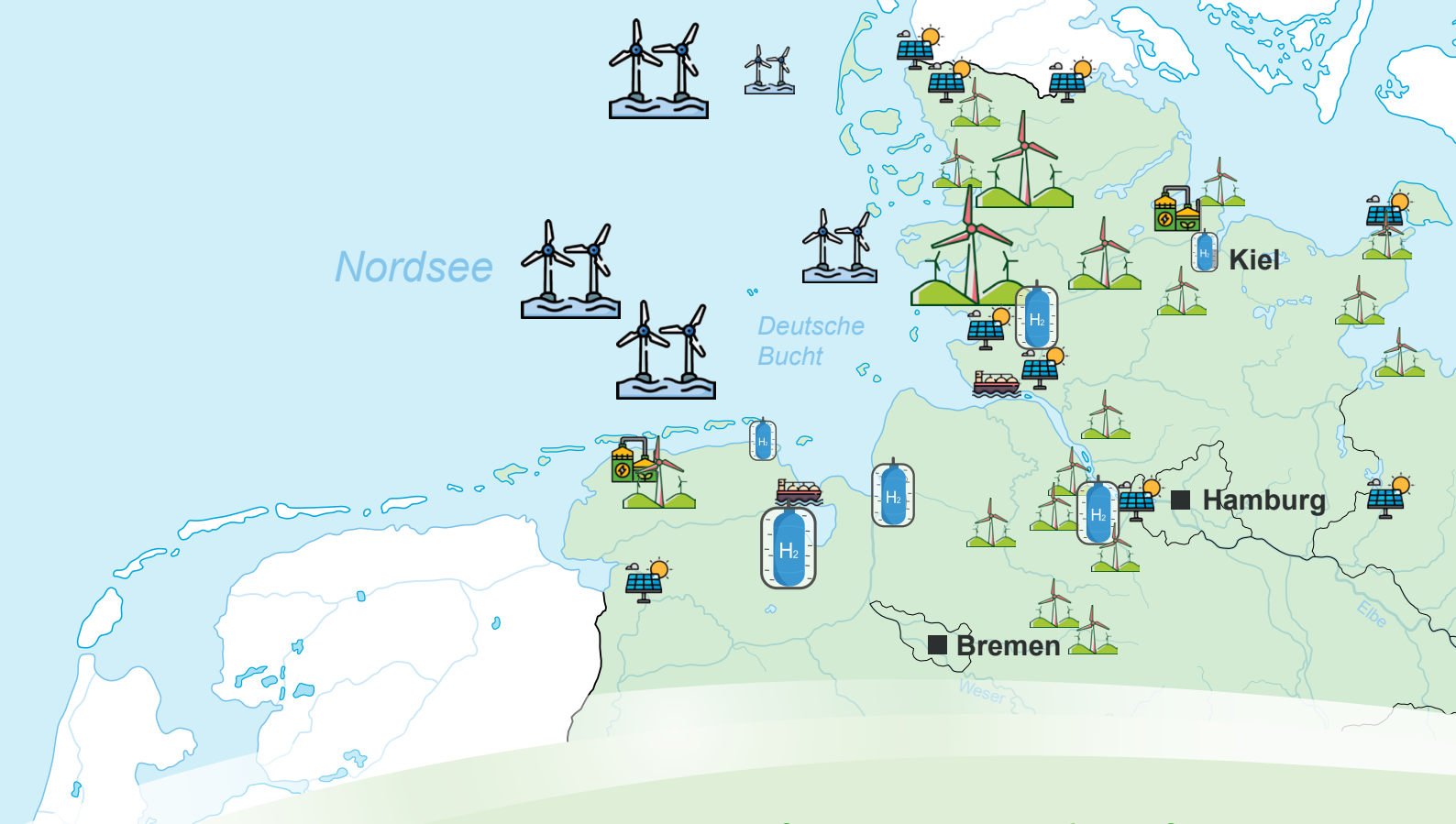


Prognose des Bruttostromverbrauchs (TWh) Deutschlands bis 2045

zu unterstützen (z. B. Förderung von Kompetenz- und Produktanalysen). Dringend notwendig ist auch eine deutlich höhere Dynamik auf internationaler Ebene. Nationale Klimaschutzbemühungen (z. B. Umsetzung von Energieeffizienzmaßnahmen) progressiver Länder werden nicht selten durch eine klimapolitische Ignoranz von großen Emittenten konterkariert. Faire Energiepartnerschaften können hier Abhilfe schaffen. Am Ende steht und fällt erfolgreicher Klimaschutz aber auch mit der Herausforderung der Überwindung des sogenannten Präventionsparadoxon. Denn nach wie vor besteht ein großer Unterschied zwischen dem Wissen über die Risiken und Folgen des Klimawandels und der Bereitschaft des schnellen und konsequenten Handelns. Dies gilt für Politik und Wirtschaft genauso wie für uns, die Konsumenten, denn auch wir bestimmen z. B. durch unser Mobilitätsverhalten oder unsere Ernährungsgewohnheiten ganz entscheidend über die Zukunft des Klimas mit. Haben wir den Mut jetzt konsequent auf allen Ebenen zu handeln?

Manfred Fischechik

Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie gGmbH



Energiewende in Norddeutschland

Die Küsten der Nord- und Ostsee sowie die geografischen Gegebenheiten der fünf norddeutschen Bundesländer bieten herausragende Standortvorteile, um den Norden zur Energiewende Deutschlands zu machen.

Salzkavernenspeicher

Zur langfristigen Speicherung von Gasen und Flüssigkeiten eignen sich unterirdische, künstliche Hohlräume im Salzgestein, da sie besonders stabil und dicht sind. Salzkavernen liegen in Norddeutschland in einer Tiefe von 500-2.500 m und haben eine Höhe von 100-500 m sowie einen Durchmesser von 50-100 m.



Mit der Windenergie an Land und auf See, Solarenergie, Bioenergie, Geothermie und Wasserkraft ist der Norden in Sachen erneuerbare Energien führend. Schleswig-Holstein erzeugte im Jahr 2021 23,2 Mio. MWh Strom aus erneuerbaren Energien und damit mehr als innerhalb des Bundeslandes verbraucht wurde (rund 16,3 Mio. MWh). Es konnte somit seinen Stromverbrauch zu rund 140% decken. Auch Mecklenburg-Vorpommern kann sich rechnerisch zu 100% aus erneuerbaren Energien versorgen und wird bis zum Jahr 2025 entsprechend seines Anteils am Bundesgebiet 6,5% der elektrischen Energie der Bundesrepublik erzeugen. Niedersachsen hat sich zum Ziel gesetzt, seinen Energiebedarf bis 2040 bilanziell zu 100% aus regenerativen Quellen zu decken. Im Strombereich kommt das Land dem Ziel näher: Im Jahr 2020 wurden rechnerisch bereits rund 92% des Bruttostromverbrauchs mit erneuerbaren Energien abgedeckt. Dafür wird vor allem der Standortvorteil Küste genutzt, denn hier weht der Wind, weshalb die norddeutschen Bundesländer vor allem auf die Windkraft an Land und auf See setzen.

Aber auch die Seehäfen spielen eine wichtige Rolle. Sie sind die künftigen Dreh- und Angelpunkte der Energiewirtschaft, da hier die benötigten Kraftstoffe und in Zukunft auch Grüner Wasserstoff bzw. andere grüne Gase, wie Biomethan und

synthetische Kraftstoffe, sogenannte E-Fuels, angelandet und verarbeitet werden. Die großen Terminals für Flüssigerdgas (LNG = liquefied natural gas) sind ebenfalls an den norddeutschen Küsten verortet und speisen über Pipelines in das öffentliche Erdgasnetz ein. Von hier aus versorgen sie Industrie und Haushalte in der Bundesrepublik.

Energieerzeugung als Standortvorteil

Norddeutschland ist also ein entscheidender Akteur der Energiewende. Hier gestaltet sich die Stromerzeugung aus erneuerbaren Energiequellen besonders wirtschaftlich. Daher siedeln sich viele Unternehmen in den Küstenbundesländern an oder planen eine Ansiedlung. Der Hintergrund ist klar: Seit jeher ist die Industrie der Energieerzeugung gefolgt. Einige norddeutsche Standorte, an denen vorrangig in den 1970er- und 1980er-Jahren Atomkraftwerke errichtet wurden, profitieren durch die Ansiedlung industrieller Partner bis heute davon. Spätestens mit dem Krieg in der Ukraine und mit wachsender Unsicherheit auf den Weltmärkten hat Norddeutschland einen klaren Vorteil bei der Energieerzeugung, der zu einem bedeutenden Standortfaktor geworden ist: Die hier produzierten regenerativen Energien sind sowohl unabhängig von der Lieferung fossiler Brennstoffe (aus nicht verlässlichen Staaten) als auch unabhängig von stör anfälligen globalen Lieferketten. Zudem ge-



währleistet die Nutzung erneuerbarer Energiequellen Klimaneutralität.

Obwohl im Norden die Sonne oftmals nicht so kräftig scheint wie im Süden, gewinnen die norddeutschen Bundesländer mittlerweile 10,3 GW Leistung aus Solaranlagen. Viele weitere Solarparks werden gebaut und bieten neue Kapazitäten. Dazu zählt bspw. der Solarpark in Lüttow-Valluhn an der A24 mit einer Leistung von 14 MW, der den Jahresbedarf von ca. 4.300 3-Personen-Haushalten deckt. Im Vergleich dazu liegt die Energieerzeugung aus Biomasse mit etwa 3 GW Leistung in allen norddeutschen Bundesländern etwas zurück.

Grüner Wasserstoff bietet Chancen

Um die für die Energiewende nötige Strommenge zu erzeugen, sind fortlaufend neue Ausbau- bzw. Erweiterungsmöglichkeiten zu erschließen. Windparks auf See müssen ausgebaut werden, wie z.B. der im März

2023 eingeweihte Windpark Kaskasi nördlich der Insel Helgoland mit einer installierten Kapazität von 325 MW. Mit dieser Strommenge können rechnerisch über 400.000 Haushalte pro Jahr mit grünem Strom versorgt werden. Um den Zielvorgaben der Bundesregierung gerecht zu werden, lassen sich ältere Windräder auch durch das sogenannte Repowering zu höherer Leistungsfähigkeit ertüchtigen, indem alte Anlagenteile durch neue Teile mit einem höheren Wirkungsgrad ersetzt werden. Leider fehlen derzeit noch die dringend benötigten Stromleitungen in den Süden, damit der überschüssige Strom, der im Norden erzeugt wird, in die Industrieregionen in West- und Süddeutschland geleitet werden kann. Ihr Fehlen behindert die Energiewende massiv, die norddeutschen Erzeugungskapazitäten werden nicht in vollem Umfang ausgeschöpft. Stattdessen werden Windräder abgeschaltet. Somit drehen sich manche

Windräder nicht, obwohl der Wind weht. Es würde zu viel Strom erzeugt werden, der in Norddeutschland nicht verbraucht wird.

Diese Überkapazitäten in Norddeutschland sollen im Sinne der Energiewende nicht länger vergeudet oder ins Ausland exportiert werden. Die norddeutschen Bundesländer wollen den grünen Strom nutzen und ihn mithilfe des Elektrolyseprozesses in Wasserstoff umwandeln. Wasserstoff, der auf diese Weise aus erneuerbaren Energien hergestellt wird, kann gespeichert werden und bei der Energiewende eine Schlüsselrolle spielen.

Mit dem Aufbau einer Wasserstoffwirtschaft und einer klimaneutralen Energieversorgung bieten sich dem Norden viele wirtschafts- und strukturpolitische Chancen. Ohne Norddeutschland wird die Energiewende nicht gelingen.

Klaus-Jürgen Strupp
IHK Nord

Anlagen zur grünen Stromerzeugung



	Biomasse		Solar-Energie		Onshore-Windenergie		Offshore-Windenergie	
	Anzahl	Leistung MW	Anzahl	Leistung MW	Anzahl	Leistung MW	Anzahl	Leistung MW
Mecklenburg-Vorpommern	553	397,3	24.276	3.015,9	1.847	3.523,6	21	48,3
Schleswig-Holstein	947	611,3	60.408	2.050,8	3.295	7.000,5	-	-
Bremen	10	11,6	2.972	59,2	93	207,8	-	-
Hamburg	42	39,1	5.237	64,7	68	118,6	-	-
Niedersachsen	3.054	1.884,8	213.774	5.063,7	6.254	11.676,4	48	224,1
Ausschließliche Wirtschaftszone							1.430	7.514,4

* Umrechnung in Energieverbrauch (MWh) = Leistung (MW)*Anzahl Stunden

Kompakt

Grüne Energiegewinnung auf See



1991
1. Offshore
Windpark
in Dänemark

6.000
Haushalte

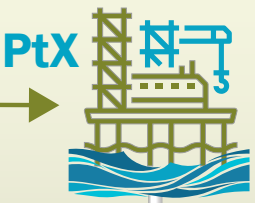
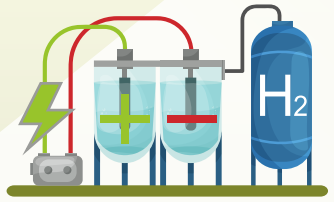
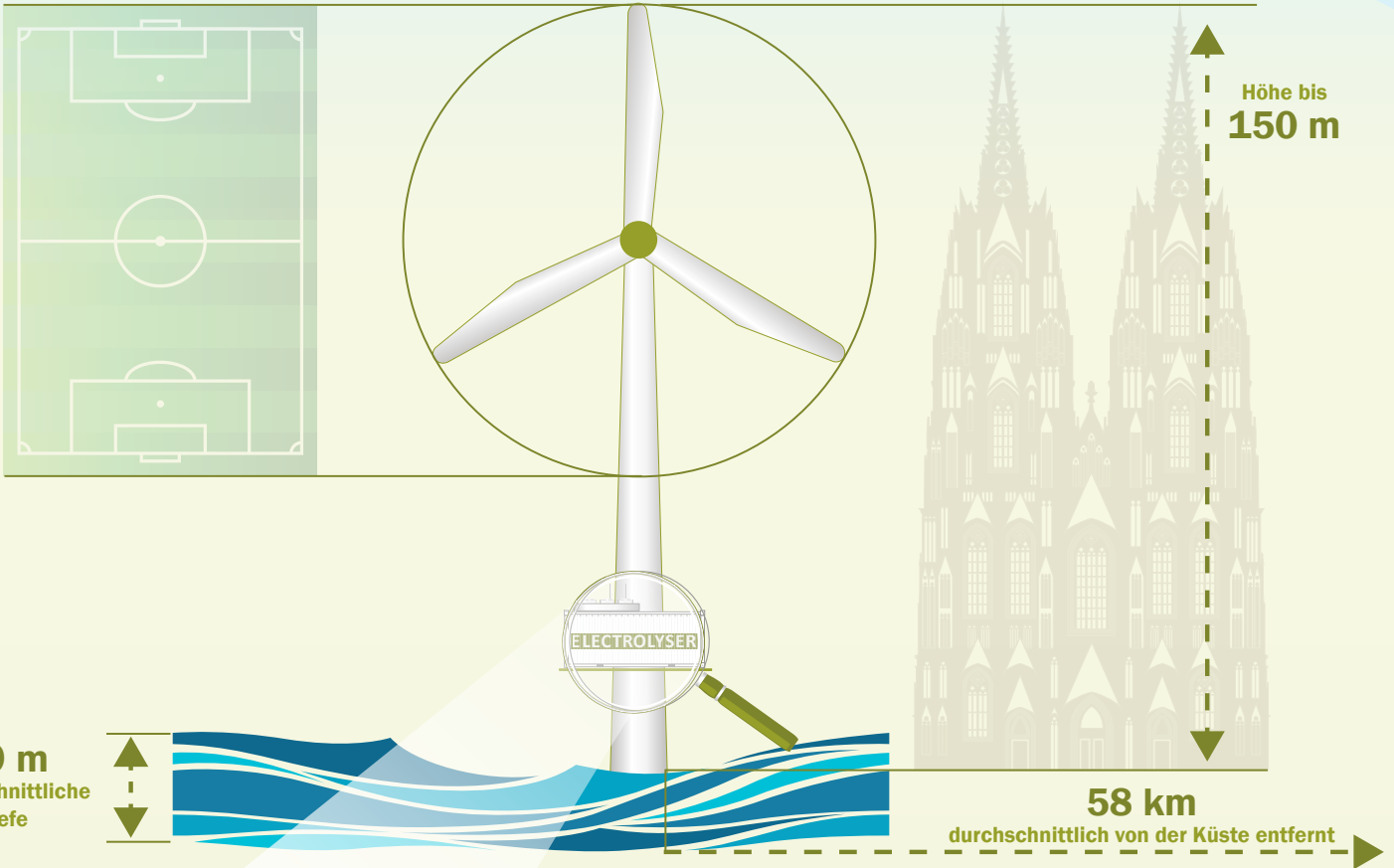
bis zu
90%
recyclbar

bis zu
6 MW
im Jahr

Betriebsdauer:
20-30 Jahre

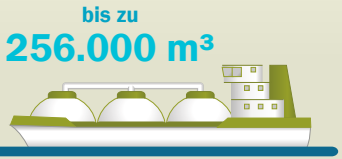
1.000 t
≈ 250
Elefanten

320 km/h
Rotorblätter
schnell wie ein ICE



25 l
Seewasser
für 1 kg H₂

9 t
CO₂ Einsparung
pro t H₂ im
Vergleich mit
„grauem“ Wasserstoff



3x
so viel l/s wie Erdgas

Langfristige
Speicherung und
bedarfsorientierte Nutzung

- Metallverarbeitung
- Härtung von Fetten
- Herstellung von Düngemitteln
- Entschwefelung von Kraftstoffen

H₂
700 km
mit 54 kg
Wasserstoff

Planung für die Meere

Bis zum Jahr 2045 will Deutschland in der Nord- und Ostsee Windenergieflächen bis mindestens 70 GW ausweisen. Die Zulassung der dort zu realisierenden Windparks ist von Gesetzen und Plänen abhängig.

Aktuell sind in der deutschen ausschließlichen Wirtschaftszone (AWZ) Flächen von 3.886 km² zur Nutzung durch Windenergie festgelegt, was knapp 544.000 Fußballfeldern und einer Leistung von etwa 8 GW entspricht. Bis 2045 sollen die für die Windkraft zu nutzenden Flächen massiv aufgestockt werden. Doch wie werden eigentlich Flächen für die Windkraft geplant und für Interessenten ausgewählt?

Zunächst bestimmt die Raumplanung entsprechend der Regelungen im Raumordnungsgesetz, welche Flächenbedarfe aktueller und künftiger Nutzungen bestehen. Dazu gehören Schifffahrt, Rohstoffgewinnung, Fischerei, Offshore-Windenergie, Strom- und Datenkabel, Pipelines, Forschung und Verteidigung aber auch Schutz und Verbesserung der Meeresumwelt. Der aktuelle Raumordnungsplan für die deutsche AWZ der Nord- und Ostsee trat 2021 mit Zustimmung aller betroffenen Bundesministerien in Kraft. Über eine öffentliche Beteiligung waren zuvor Nutzergruppen und die Öffentlichkeit aufgerufen, ihren räumlichen Bedarf zu übermitteln. Durch einen vom zuständigen Bundesministerium eingesetzten wissenschaftlichen Begleitkreis wurden darauf aufbauend die Nutzungs- und Schutzansprüche in Vorrang- und Vorbehaltsgebiete koordiniert. Während dabei z. B. bestehende Meeresnaturschutzgebiete als Vorranggebiete festgelegt wurden, sind Flächen für Leitungen als Vorbehaltsgebiete geplant worden. Darüber hinaus wurden z. B. Regelungen für die Hummerfischerei getroffen, die zum Teil bis zu 300 m an die Außengrenze von Offshore-Windparks (OWP) heranreichen kann.

Von der Fachplanung zur Zulassung

Aufbauend auf den Vorgaben des Windenergie-auf-See-Gesetzes (WindSeeG) wurde 2023 der Flächenentwicklungsplan für die Erreichung des nächsten Ausbauziels für Windenergie von 30 GW bis 2030 aktualisiert. Er gibt sowohl die Flächen vor, auf denen künftig OWP errichtet werden, als auch wie und wann diese Flächen ausgeschrieben, an die Konverter und Kabel angebunden und in Betrieb gehen müssen. Für die erforderliche Beschleunigung der Zulassung wurde entschieden, dass neben staatlich voruntersuchten Flächen auch nicht staatlich voruntersuchte Flächen durch die Bundesnetzagentur öffentlich ausgeschrieben und versteigert werden. Bei voruntersuchten Flächen wird die Eignung zur Nutzung als OWP unter konkreten Bedingungen, wie z. B. die zu installierende Leistung, Anzahl und Höhe der Windenergieanlagen festgelegt. Die nicht voruntersuchten Flächen müssen durch die erfolgreichen Bieter selbst untersucht werden. Die Zulassung der Vorhaben erfolgt dann auf Grundlage des WindSeeG durch das Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie.

Auf jeder Ebene der Planung und auch der Zulassung wird eine Umweltprüfung durchgeführt, bei der die voraussichtlichen Auswirkungen des Vorhabens auf z. B. am Boden lebende Organismen, Fische, marine Säuger, Rast- und Zugvögel sowie Fledermäuse ermittelt und beschrieben sowie bei der Entscheidung für oder gegen Windkraftanlagen abgewogen werden.

Jeannette Edler

Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie

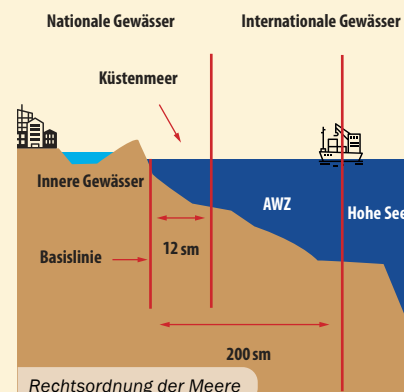
Gebiete für die Offshore-Elektrolyse

Zusätzlich zu den Ausbaufächern für Windenergieanlagen mit Netzanschluss wurden auf hoher See Flächen für sonstige Energiegewinnungsbereiche festgelegt. Auf 101 km² können Anlagen zur Erzeugung anderer Energieträger errichtet werden, z. B. Elektrolyseure zur Herstellung von Grünem Wasserstoff.

www.bsh.de

Vorrang-/Vorbehaltsflächen:

Während ein Vorranggebiet für eine bestimmte raumbedeutsame Funktion oder Nutzung vorgesehen ist, wird für ein Vorbehaltsgebiet nur ein Rahmen vorgegeben und die konkrete Ausgestaltung ist der nachfolgenden Planung überlassen.





Wasserstoffherzeugung auf dem Meer

H₂Mare

Grüner Offshore Wasserstoff und Power-to-X Produktion von Windkraftanlagen – offshore!

www.youtube.com/H2Mare

Für die zukünftige Offshore-Produktion von Grünem Wasserstoff muss zunächst getestet werden, wie sich die rauen Bedingungen auf dem Meer auf die Erzeugung und Effizienz auswirken.

Wasserstoff ist einer der großen Hoffnungsträger der Energiewende. Entlang der gesamten Wasserstoffwertschöpfungskette – von der Erzeugung über Transport und Speicherung bis hin zur Verwertung – steigen die Investitionen von Unternehmen ins „neue Öl“ rasant an. Dabei geht es nicht nur um die Erschließung neuer Märkte. Im Vordergrund steht die Dekarbonisierung von Industrien mit großem Energiebedarf und CO₂-Fußabdruck, wie der Stahl- und der chemischen Industrie.

Bislang wird Wasserstoff hauptsächlich aus fossilem Erdgas gewonnen. Auf diesen sogenannten grauen Wasserstoff entfallen derzeit noch rund 90 Prozent des produzierten Wasserstoffs, der vorwiegend in der chemischen Industrie zum Einsatz kommt. Durch klimaneutral, z. B. durch Windenergie, erzeugten Wasserstoff, könnten im Jahr 2050 schätzungsweise 54 Mio. Tonnen Kohlendioxid (CO₂) allein im Chemiesektor eingespart werden. Eine effektive Möglichkeit zur Erzeugung von Windenergie bieten dabei Offshore-Windenergieanlagen, z. B. in der Nord- oder Ostsee. Ihr Vorteil: Abseits von Festland und Küste weht der Wind beständiger und stärker als an Land. Das sorgt pro Flächeneinheit für einen drei- bis viermal höheren Energieertrag und bildet damit die Basis für einen effizienten Gesamtprozess.

Ein positiver Aspekt ist zudem, dass bei Windenergieanlagen auf dem Meer weniger Interessenskonflikte bei der Flächennutzung durch Windenergieanlagen zu erwarten sind als an Land, wo Energiewendeprojekte nicht selten auf Skepsis und Widerstand stoßen.

Effizienz durch Meerwassernutzung

Die Herstellung von Wasserstoff direkt auf See ist relativ simpel: Ein Elektrolyseur spaltet Wasser mithilfe von erneuerbarem Strom aus Windenergieanlagen in seine Bestandteile Wasserstoff und Sauerstoff auf. Der Wasserstoff wird zwischengespeichert, der Sauerstoff wird in die Luft entlassen. Die Herausforderung liegt darin, dieses einfach klingende Prinzip in robuste technische Verfahren, Anlagen und Gesamtlösungen zu übersetzen, die möglichst wirtschaftlich sind.

Forschung und Industrie untersuchen im Wasserstoff-Leitprojekt H₂Mare die dezentrale Wind-Wasserstoffherzeugung, bei der Windenergieanlagen direkt mit einem Elektrolyseur auf See gekoppelt sind. Dezentral bedeutet dabei, dass jede Windenergieanlage direkt mit einer Elektrolyseplattform am Turm ausgestattet ist. Allerdings ist für die Elektrolyse Reinstwasser in Pharmaziequalität, mit einem sehr geringen elektrischen Leitwert nötig. Dafür muss Meerwasser,



das einen hohen elektrischen Leitwert hat, vorbehandelt und entsalzt werden. Wasserorganismen, die natürlicherweise im Meerwasser vorkommen, oder Verunreinigungen müssen herausgefiltert werden. Innerhalb des Projektes werden deshalb verschiedene Techniken der direkten Kopplung von Meerwasserentsalzungsanlagen an einen Elektrolyseur getestet. Die Idee ist es, die bei der Elektrolyse entstehende Abwärme zu nutzen, um die benötigte Prozesswärme für eine Entsalzungsanlage bereitzustellen. Hierdurch könnte sich der Wirkungsgrad der Wasserstofferzeugung deutlich erhöhen. Robustheit, Verlässlichkeit und Korrosionsbeständigkeit sind weitere wichtige Aspekte für den maritimen Einsatz. Außerdem ist entscheidend, dass die Einleitung des bei der Meerwasserentsalzung übrigbleibenden Salzkonzentrats keine Auswirkungen auf die lokale marine Umwelt haben darf.

Wenngleich noch einige Entwicklungsschritte und Hürden bis zur marktreifen Umsetzung zu nehmen sind, ist diese Technik realisierbar und nicht nur aufgrund der Effizienz vorteilhaft.

Geringere Kosten durch Elektrolyse-Plattform

Während reine Windkraftanlagen je nach Wetterlage mal mehr und mal weniger Energie produzieren, ermöglicht die Kopplung mit Wasserstofftechnologien,

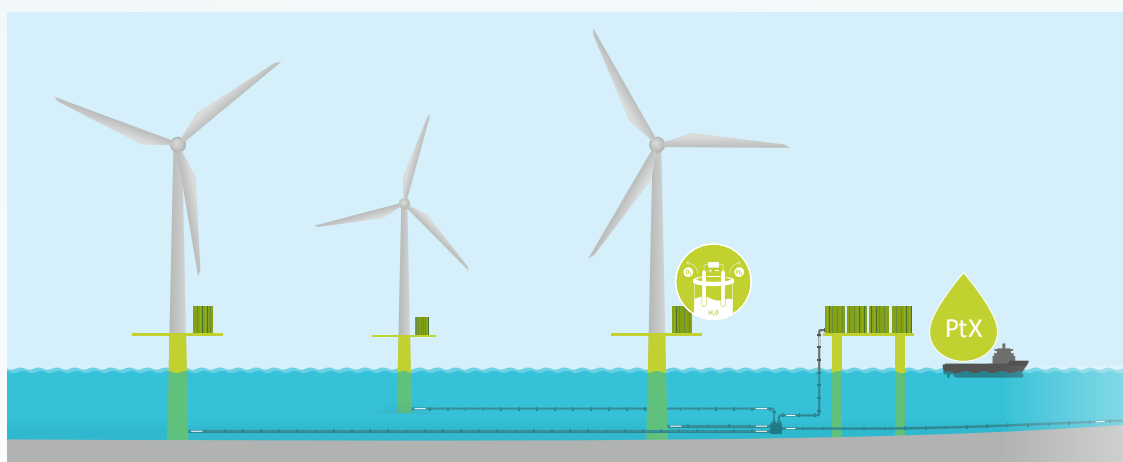
die so gewonnene Energie direkt in Form von Grünem Wasserstoff in Tanks zu speichern. Damit steht auch bei anhaltender Windflaute Energie zur Verfügung, die sich wiederum verlustarm über weite Strecken transportieren und vielseitig nutzen lässt.

Die Kosten der Wasserstoffproduktion werden durch die direkt auf See installierte Elektrolyse-Plattform gesenkt. Wo ansonsten viele Seekabel benötigt werden, um den Windpark an das Stromnetz anzubinden, reicht eine einzige Rohrleitung bzw. ein Tankschiff. Es kommen darüber hinaus Elektrolyseure zum Einsatz, die besonders kompakt sind, um die Kosten der Gesamtstruktur möglichst gering zu halten. Hohe Stückzahlen, wie sie eine zukünftige Serienproduktion ermöglichen würde, können die Kosten weiter absenken. Entscheidend für den Erfolg des Vorhabens wird am Ende aber auch sein, einen politischen Konsens über die zukünftige Nutzung der Nord- und Ostsee zu erreichen. Die schrittweisen Ausbaupläne des Bundesamts für Seeschifffahrt und Hydrographie gehen von einem Zeitraum von zehn bis 15 Jahren aus. Das ist vor dem Hintergrund des Klimawandels viel Zeit, die aber auch dazu dient, Chancen zu erkennen und die Zukunft der Nord- und Ostsee mit all ihren Nutzergruppen gemeinsam zu gestalten.

Sylvia Schattauer
Fraunhofer-Institut für Windenergiesysteme

Grüner Wasserstoff

...gilt als unverzichtbar für das Erreichen der Klimaziele. Er wird durch Elektrolyse hergestellt. Dabei wird Wasser unter Zufuhr von Strom aus erneuerbaren Energien in Wasserstoff und Sauerstoff aufgespalten. Wasserstoff ist das leichteste und am häufigsten vorkommende Element im Universum. Das Gas kommt auf der Erde natürlich fast ausschließlich in gebundener Form, als H_2O , vor. Außerdem ist es Bestandteil von fossilen Rohstoffen, wie Erdgas und Erdöl, und einer Vielzahl von Mineralien.



Aufbau der H_2 Mare-Anlage mit Elektrolyseur-Containern am Turmfuß. Der gewonnene Wasserstoff wird durch eine Pipeline abgeführt oder für die Herstellung von Folgeprodukten genutzt, die sich leichter transportieren lassen.

Offshore-Herstellung von Power-to-X-Produkten

Die Technik zur Umwandlung von Wasserstoff in chemische Nachfolgeprodukte muss auf See besondere Herausforderungen bewältigen. Die aktuelle Forschung dazu ist komplex.

Power-to-X oder kurz PtX steht für einen Umwandlungsprozess von Strom (Power) in verschiedene chemische Energieträger (X), die kostengünstiger und technisch einfacher zu transportieren und zu speichern sind als die primär erzeugte elektrische Energie. Ob diese an Land funktionierende Technik auch auf weit vor der Küste, im Meer stehende Windparks übertragen werden kann, wird aktuell erforscht. Dabei steht die Umwandlung von grünem, offshore produziertem Wasserstoff zu Produkten, wie verflüssigtes Methan, Methanol, synthetische Kraftstoffe (eFuels) oder Ammoniak im Fokus. Die Umwandlung des gasförmigen Wasserstoffs in seine flüssigen Folgeprodukte ist erstrebenswert, da bezogen auf das gleiche Volumen eine deutlich größere Energiemenge transportiert werden kann. Diese über verschiedene Prozessschritte hergestellten Folgeprodukte können wiederum als klimaneutrale Kraftstoffe oder als industrielle Einsatzstoffe verwendet werden. Somit können auch Firmen und Industriezweige mit klimaneutralen Energieträgern versorgt werden, die bislang auf fossile Quellen angewiesen sind.

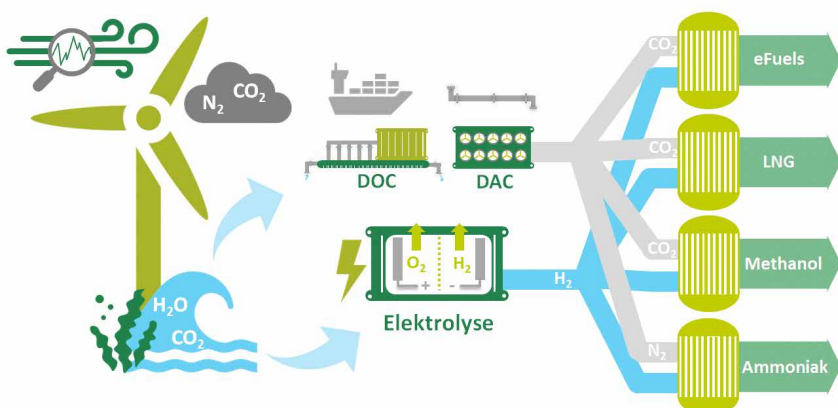
Die untersuchten Offshore-Plattformen für die Umwandlung in PtX-Produkte verhalten sich als sogenannte „Inselssysteme“, was bedeutet, dass sie nicht am bestehenden Stromnetz angeschlossen werden. Die PtX-Plattformen und die einzelnen PtX-Verfahrens-

schritte müssen demzufolge in der Lage sein, sich mit der durch den Windpark zur Verfügung gestellten Energie selbst zu versorgen. Außerdem müssen sie der Dynamik der durch die Windturbinen erzeugten erneuerbaren elektrischen Energie folgen können, also gleich gut bei starken oder geringen Windverhältnissen arbeiten. Grundlegend hierfür sind stoffliche und elektrische Zwischenspeicher zum Ausgleich der Schwankungen und ein lastflexibler Betrieb. Gelingt dies, könnte es möglich sein, auch weit entfernte Windpark-Standorte zu erschließen, bei denen die klassische Netzanbindung über Seekabel und Konverterstationen zu kostenintensiv wäre.

Bereitstellung auf See

Da für die Produktion von eFuels, Methanol und verflüssigtem Methan neben Grünem Wasserstoff auch Kohlendioxid (CO₂) bzw. für die Produktion von Ammoniak Stickstoff (N₂) benötigt wird, muss zudem betrachtet werden, wie diese Stoffe auf See bereitgestellt werden könnten. Für CO₂ kommen prinzipiell die Versorgung durch eine Pipeline, per Schiff oder die Gewinnung aus Meerwasser (Direct Ocean Capture, DOC) oder Luft (Direct-Air-Capture, DAC) in Betracht. Während das Verfahren zur Gewinnung von CO₂ direkt aus der Umgebungsluft wegen des hohen Platzbedarfs wenig aussichtsreich erscheint, ergäbe sich bei der CO₂-Gewinnung aus Meerwasser möglicherweise eine Synergie mit der Meerwasserentsalzung, so dass gleichzeitig auch das entsalzte Wasser für die Elektrolyse, das für alle Power-to-X-Verfahren essenziell ist (S. 10-11), bereitgestellt werden könnte. Um die Umwelt zu schützen und das in PtX-Prozessen entstehende Wasser wiederzuverwenden, müssen auf den Plattformen auch Aufbereitungsanlagen für das entstehende Abwasser eingesetzt werden.

Direkt gekoppelt an Offshore-Windparks auf dem Meer sollen Power-to-X-Produkte produziert werden. Die Herausforderung besteht darin, dass die Anlagen der Dynamik des Windes folgen müssen, da keine Netzanbindung besteht.





Sind Grüner Wasserstoff und synthetische Brennstoffe konkurrenzfähig?

Ob die Herstellung von Grünem Wasserstoff und synthetischen Brennstoffen konkurrenzfähig ist, hängt wesentlich von den eingesetzten Technologien und von dem Produktionsort ab. Die Nord- und Ostsee könnten dabei eine wichtige Rolle spielen.

Im Jahr 2020 wurden in Deutschland rund 2.300 TWh Endenergie verbraucht, überwiegend in Form von Erdgas, Heizöl oder Strom. Bei einer Steigerung der Energieeffizienz, z. B. durch eine verbesserte Wärmedämmung oder den Einsatz von Wärmepumpen, könnte der Endenergiebedarf von Privathaushalten und Industriebetrieben auf 1.300-1.700 TWh sinken. Bislang wird der Endenergiebedarf überwiegend durch fossile Brennstoffe sowie Grundstoffe gedeckt, wie bspw. Mineralölprodukte, Erdgas oder auch Methanol für die Produktion von industriellen Folgeprodukten. Durch den Ausbau von erneuerbaren Energien soll die Lücke in Zukunft Schritt für Schritt geschlossen und in 2045 klimaneutral gedeckt werden.

In der Stromerzeugung wurden in den letzten Jahren Fortschritte erzielt und knapp 50% des deutschen Stroms stammen heute aus erneuerbaren Energien. Die noch zu meisternden Herausforderungen bestehen darin, dass Gebiete mit hohem Energiepotential häufig dort liegen, wo kein nennenswerter Strombedarf besteht, und dass ein bedeutender Teil der Erzeugung dann anfällt, wenn gleichzeitig keine Nachfrage besteht. Auch lassen sich nicht alle Anwendungen einfach elektrifizieren, also auf Strombetrieb umstellen. Als Alternative kommen z. B. im Flugverkehr aufgrund des hohen Eigengewichts von Batteriespeichern nur grüne Brennstoffe in Frage. Zu diesen Brennstoffen zählen bspw. Ammoniak, Methan oder Wasserstoff, welche sich durch eine lokale Speicherbarkeit und eine vergleichsweise hohe Energiedichte auszeichnen. Experten gehen daher davon aus, dass grüne Brennstoffe zukünftig eine immer wichtigere Rolle spielen werden.

Erzeugung in Nord- und Ostsee

In welchem Umfang grüne Brennstoffe gegenüber Alternativen vorteilhaft sein werden, hängt stark von der Entwicklung der eingesetzten Produktionstechnologien ab. So gilt die Offshore-Produktion von Grünem Wasserstoff in Kombination mit einem Windpark wegen der geringeren Flächenkonkurrenz und der besseren Windverhältnisse als attraktiv (S. 10-11). Durch eine Offshore-Produktion könnten die Kosten für einen Netzanschluss und für den Ausbau der Transportnetze eingespart werden. Außerdem ist auf dem Meer das Ausgangsprodukt Wasser reichlich vorhanden, das allerdings aufbereitet werden muss.

Institutseigene Abschätzungen zeigen, dass sich die Bereitstellungskosten für Grünen Wasserstoff aus Windkraft in Nord- und Ostsee auf 11-15 ct/kWh, aus Windkraft an Land auf 9-15 ct/kWh und aus Photovoltaik auf 12-16 ct/kWh belaufen. Das ist zwar teurer als Erdgas, dessen Preis am Großhandelsmarkt im Jahr 2022 auf rund 11 ct/kWh angestiegen ist, allerdings wäre Grüner Wasserstoff klimaneutral. Da die Potentiale für erneuerbare Energieproduktion im dichtbesiedelten Deutschland begrenzt sind, ist davon auszugehen, dass ergänzend zur inländischen Produktion zusätzlich grüne Brennstoffe zukünftig auch aus Ländern mit hohen Potentialen für erneuerbare Energien (z. B. Chile, Marokko) importiert werden müssen.

Pascal Häbig & Kai Hufendiek
Institut für Energiewirtschaft und Rationelle
Energieanwendung der Universität Stuttgart



Endenergie

Alle Energieformen, die den Endverbrauchern geliefert werden (z. B. Erdgas, Heizöl oder Strom).

Energieeffizienz

Verhältnis zwischen Nutzen einer Energieanwendung (z. B. Betrieb eines Gerätes) und der dafür aufgewendeten Energie.

Energiedichte

Energiemenge, die in einer Masse (bspw. in einer Batterie) oder einem Volumen (bspw. 1 Liter Kraftstoff) gespeichert ist.

Bereitstellungskosten

Sämtliche Kosten entlang der Wertschöpfungskette, von der Stromerzeugung bis zum Bereitstellungspunkt (Haushalt, Tankstelle).



Was denkt die Bevölkerung?

Akzeptanz und Beteiligung in der Energiewende

Neben technischen und wirtschaftlichen Aspekten müssen auch soziale, gesellschaftliche Faktoren beim Ausbau erneuerbarer Energien berücksichtigt werden.

Akzeptanz von PtX

Erfahrungen zu relevanten Akzeptanzfaktoren lassen sich auch auf neue Technologien bzw. Energieinfrastrukturen wie Wasserstoff und andere Power-to-X-Anwendungen übertragen. Bei Umfragen in 2021 und 2022 (Kopernikus Projekt P2X) zeigte sich, dass das aktuelle Wissen über Wasserstoff und weitere PtX-Anwendungen noch relativ gering ist. Als relevante Kriterien werden vor allem positive Umwelt- und Nachhaltigkeitsaspekte angesehen. So wird z. B. die Rolle von erneuerbarem Strom als Grundstoff für die Elektrolyse als wichtig erachtet, ebenso wie gesellschaftliche Beteiligungsmöglichkeiten an diesem Transformationsprozess.

Die gesellschaftliche Wahrnehmung und Reaktion auf die Transformation des Energiesystems ist vielfältig. Während ein Großteil der Bevölkerung in repräsentativen Meinungsumfragen auf Bundesebene die Transformation befürwortet, kommt es auf lokaler Ebene immer wieder zu Konflikten um geplante Projekte, insbesondere bei Windenergieanlagen. Die Gründe dafür sind verschieden. Auf der einen Seite werden mit der Windenergienutzung, neben dem Beitrag zum Klimaschutz, positive Impulse für die regionale Entwicklung verbunden. Auf der anderen Seite sehen Gegner unerwünschte Landschaftsveränderungen, haben Angst vor Infraschall und damit verbundenen Gesundheitsbeeinträchtigungen oder befürchten negative ökologische Auswirkungen, vor allem auf die Vogelwelt.

Möglichkeiten der Mitwirkung

Verschiedene Studien haben in den letzten Jahren gezeigt, dass Beteiligungsmöglichkeiten für die lokale Bevölkerung ein wichtiger Faktor für die gesellschaftliche Akzeptanz sind. Dies betrifft sowohl die Mitwirkung an Planungs- und Genehmigungsverfahren, als auch die Chance, an den ökonomischen Vorteilen zu partizipieren, beispielsweise über Renditeanteile oder günstigere Regionalstromtarife. Sind Möglichkeiten zur Beteiligung der betroffenen Anwohnerschaft vor-

handen, kann dies einen positiven Einfluss auf die Wahrnehmung der Verfahrens- und Verteilungsgerechtigkeit haben.

Ebenso spielen die Einbettung der Projekte in die lokale Ortsidentität und der Aufbau von Ortsbindung eine wichtige Rolle für die Akzeptanz, d. h. als wie zugehörig zur Region die Anlagen empfunden werden. Dies hängt ebenfalls mit Beteiligungsangeboten zusammen, da durch die aktive Mitgestaltung auch der Bezug zu den Anlagen verstärkt wird. In manchen Kommunen werden dafür z. B. jährliche Windfeste veranstaltet. Aber auch die bereits vorhandene regionale Identität hat einen Einfluss darauf, wie die Anlagen wahrgenommen werden. So zeigt sich z. B. in Norddeutschland ein gewisses Selbstverständnis als Windregion, verbunden mit alten Windmühlen und der Seefahrt, nach dem Motto „an der Küste weht nun mal der Wind“ und somit eine prinzipiell höhere Verbundenheit zur Windenergienutzung. Nichtsdestotrotz gibt es auch hier Beispiele dafür, dass Menschen die Anlagen ablehnen oder sich von einer inzwischen zu hohen Anzahl „umzingelt“ fühlen.

Haltung zu Offshore-Windenergie

Mit der Offshore-Windenergie verhält es sich ähnlich. Wird die Bevölkerung in der jeweiligen Region gefragt, lässt sich feststellen, dass die lokale Zustimmung zur

Positive Effekte durch lokale Windenergieanlagen

4,76

Durch die Windenergieanlagen können wir in unserer Gemeinde gemeinsam viel bewegen.

4,08

Der Bau der Windenergieanlagen hat den Zusammenhalt in der Gemeinde gestärkt.

4,68

Ich bin stolz, dass wir durch den Bau der Windenergieanlagen hier vor Ort einen Beitrag zur Energiewende leisten.

4,47

Durch die Windenergieanlagen wird unsere Gemeinde positiv verändert.

4,89

Durch die regionale Wertschöpfung bei den Windenergieanlagen können wir unsere Gemeinde stärken.

Offshore-Nutzung mit dem lokal wahrgenommenen Nutzen zusammenhängt, also z.B. mit dem zugeschriebenen Beitrag für die lokale Stromversorgung verbunden mit der Energieversorgungssicherheit. Wahrgenommene mögliche Risiken, z.B. für die maritime Flora und Fauna können im Gegenzug zu einer ablehnenden Haltung gegenüber der Offshore-Windenergie führen. Hier sind beispielsweise die Schallbelastung für Schweinswale oder die mögliche Beeinträchtigung von Zugvögeln wichtige Themen.

Anders als bei Windenergieprojekten an Land gibt es auf See in der Regel keine direkten Nachbarn, sodass die Sichtbarkeit der Anlage im Wohnumfeld nicht der vordringliche Faktor für die lokale Akzeptanz ist. Allerdings gibt es teilweise Bedenken aus der Tourismusbranche. Aktuelle Studien aus Deutschland und den USA zeigen jedoch, dass Urlaubsgäste zwar bewusst wahrnehmen, dass Offshore-Windenergie die umliegende Region beeinflusst. Dies wurde aber nicht durchweg negativ beurteilt, sondern es überwog die positive Bewertung der erneuerbaren Energieerzeugung, sodass insgesamt eine zustimmende Akzeptanzlage bei den befragten Personen feststellbar war. Eine weitere Besonderheit der Offshore-Nutzung ist, dass betroffene Akteursgruppen, z.B. aus der Fischerei oder dem Militär, andere Interessenslagen haben können, wie z.B. eine frei befahrbare Meeresfläche oder die Sorge um die Vergrämung von Fischeschwärmen durch die Anlagen.

Akzeptanz im Wandel

Interessant ist generell, dass sich die Akzeptanz mit der Zeit verändern kann, oftmals entwickelt sie sich sogar positiv. Hier lässt sich in manchen Fällen das Phänomen der sogenannten U-Kurve beobachten: Vor einem Windprojekt ist die lokale Akzeptanz relativ hoch, diese sinkt mit dem Beginn einer konkreten Planung, steigt dann aber nach dem Bau während der

Betriebsphase wieder an. Eine Erklärung für dieses Phänomen ist, dass die prinzipielle Zustimmung durch die Konfrontation mit einem konkreten Projekt und den damit verbundenen Diskussionen und Unsicherheiten sinkt. Dass sie später wieder steigt, lässt sich u. a. damit erklären, dass zuvor befürchtete negative Aspekte nicht so stark eintreten und positive Effekte wahrgenommen werden, die im Vorfeld nicht erwartet wurden. Außerdem können Gewöhnungseffekte auftreten.

Das Forschungsprojekt ReWA beschäftigt sich mit der Frage, welche Rolle der Faktor Teilhabe für die regionale Wertschöpfung und die individuelle finanzielle Beteiligung für die Akzeptanz spielt und welche Wechselwirkungen bestehen. In dem Projekt wurde u. a. die in Nordfriesland liegende Gemeinde Reußenköge betrachtet, die sich durch eine starke bürgerschaftlich getragene Windenergienutzung auszeichnet. Dort werden 84 Windenergieanlagen als gemeinsamer Bürgerwindpark betrieben. Fast alle Haushalte der Gemeinde sind mittlerweile mit Eigenkapital am Bürgerwindpark beteiligt und profitieren dementsprechend auch finanziell von den Gewinnen. Die Ergebnisse einer Umfrage bei Anwohnenden im Frühjahr 2022 zeigen, dass die Windenergieanlagen sehr positiv wahrgenommen und ihnen verschiedene positive Effekte auf die Gemeinde zugeschrieben werden. Es wird deutlich, dass durch den Bürgerwindpark eine gelungene Einbindung der Anwohnenden inklusive finanzieller Beteiligung stattgefunden hat. Dies äußert sich nicht nur in der großen Zustimmung zum Windpark selbst (rund 95 %), sondern auch in der persönlichen Überzeugung der Befragten, in der Gemeinde gemeinsam viel bewegen zu können sowie im Stolz, etwas zur Energiewende beigetragen zu haben.

Jan Hildebrand
Institut für Zukunftssysteme- und
Stoffstromsysteme gGmbH

Beispielhafte
Befragungsergebnisse:
Die Antwortskala reichte von 1
(keine Zustimmung) bis 5
(volle Zustimmung).



Eine Insel schreitet voran

Helgoland hat sich in den letzten Jahren zum Windpark-Hub entwickelt. Von hier aus werden vier Offshore-Windparks versorgt. Für die Inselbevölkerung spielt die Vorreiterstellung jedoch keine große Rolle.

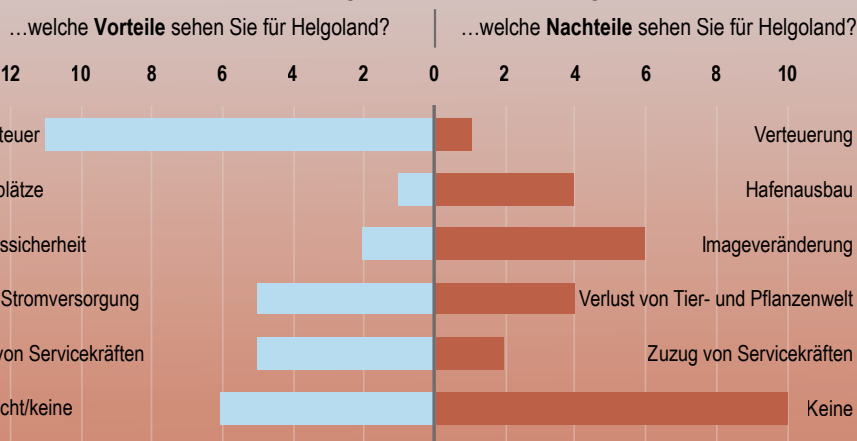
Passagiere der FRS Helgoland sitzen bei schönstem Spätsommerwetter auf dem Außendeck und überhören fast den letzten, über Lautsprecher kommenden Hinweis, mit dem die Reisenden nach wenigen Fahrtstunden von Bord entlassen werden: Viel Spaß beim Shopping! Ist das die Insel, die als Paradebeispiel für den Ausbau erneuerbarer Energien beschrieben wird und auf der Visionen zur Erzeugung von Grünem Wasserstoff diskutiert werden?

Helgolands Charakter ist einzigartig. Das lässt sich schnell erkennen. Eine Insel fernab vom Festland mit rotem Felsen, der Langen Anna und dem Lummenfelsen, auf der jährlich bis zu

350.000 Gäste zu verzeichnen sind. Lässt man den industriell geprägten Hafen hinter sich und tritt dem Schwung an Tagesbesuchern und Urlaubersuchenden hinterher, entdeckt man schmucke, farbenfrohe Buden, die zu einem Besuch für Fischbrötchen und Souvenirs einladen, gefolgt von Duty-free-Shops, die günstig Spirituosen und Parfums anbieten. Erst im Oberland eröffnet sich der Blick zum Leuchtturm, auf eine Schafherde, prächtiges Grün und später auch auf die Nordsee, mit Windrädern weit entfernt am Horizont. Rebecca Ballstaedt, ortsansässige Biologin, unterstreicht das Vorkommen von Tangwäldern, Seehunden und Hummern als ökologisch wertvoll und hofft auf die Ausrichtung der Insel zu mehr Nachhaltigkeit und Naturschutz. Denn zwei Naturschutzgebiete sind der kleinen Insel zugehörig und werden vom Verein Jordsand betreut. Naturerfahrung spielt auch für den Tourismus eine wichtige Rolle, denn in Umfragen kommen Gäste größtenteils wegen der Ruhe und guten, salzreichen Luft auf die Insel. Aber auch das Erleben von Meeresforschung und Sternegucken darf laut Tourismusdirektor Stephan Hauke bei der zukünftigen Inselentwicklung nicht fehlen. Auch Grüner Wasserstoff ist in seinen Augen ein Zukunftsthema, das mit dem Tourismus in Einklang gebracht werden kann.

Befragungsergebnisse von Inselbevölkerung und Gästen

Wenn mehr Windkraftanlagen in der Nordsee gebaut werden...



Erwartungen der Bevölkerung

Hört man sich jedoch unter der Inselbevölkerung um, sehen nur wenige im Themenbereich erneuerbare Energien, also Windkraft und zukünftig



vielleicht Grüner Wasserstoff, ein Aushängeschild für Helgoland. Obwohl die Offshore-Windkraft seit fast 10 Jahren zur Insel gehört, ist sie abgesehen vom Ausblick auf die in weiter Ferne sichtbaren Windparks und den externen Servicekräften, die täglich früh morgens zur Wartung in die Windparks fahren, kaum ein Thema. Die ursprüngliche Hoffnung der Helgoländer Bevölkerung, dass sich mit der Errichtung und dem Betrieb der Anlagen neue Einwohner, Nachwuchs und Kaufkraft ergeben, hat sich seitdem nur geringfügig erfüllt. Und auch touristisch ist das Angebot dazu mager, obwohl die nur vier Mal im Jahr stattfindende und ziemlich beeindruckende Ausfahrt zum Windpark Wind MW, bei der man sich auf 500 m den Windkraftanlagen nähert, viele Gäste anspricht, die sich gern ein umfassenderes Bild von der Insel verschaffen wollen.

Und dazu gehört Offshore-Windkraft allemal. Gewerbesteuer in zweistelliger Millionenhöhe, die die Gemeinde Helgoland für das Schleswig-Holsteinische Küstengewässer der Nordsee erhebt, kommen jährlich durch die Windparkfirmen auf die Insel. Dass diese Einnahmen der noch bis 2014 hoch verschuldeten Insel zu Stabilität verholfen haben, kann laut Heiko Ederleh, Betreiber des lokalen Fuhrparks, nicht oft genug betont werden. Auch die Finanzierung von Wohnraum und Kitaplätzen, sowie die Subventionierung der teuren Wasserversorgung auf der Insel konnte dadurch gelingen. „Menschen sind immer erst gegen alles Neue, brauchen Zeit und müssen vor allem den eigenen Vorteil begreifen.“ Und der ist bislang für die Helgoländer noch nicht ausreichend zu entdecken. Das auf der Insel genutzte Trinkwasser wird schon heute durch die eigene Meerwasserentsalzungsanlage erzeugt – einmalig in Deutschland. Auch diese Vorreiterstellung hat Helgoland insbesondere touristisch kaum genutzt, meint Ederleh.

Energiewende gestalten

Aushängeschild mit Nutzen für die Insel könnte auch die autarke Versorgung durch klimaneutrale Energie darstellen. Trotz der Windparks vor der Tür, ist Helgoland aktuell von der Stromanbindung zu St. Peter-Ording auf dem Festland abhängig. Ideen, die Insel mit Grünem Wasserstoff – hergestellt aus Offshore-Windenergie – zu dekarbonisieren, sind bisher nur Visionen geblieben. Doch nicht alle Inselbewohnende sind begeistert. Für viele erscheint das Vorhaben zu groß für die kleine Insel; sie fürchten eine zunehmende Industrialisierung und einen Imagewechsel. „Menschen müssen in Prozesse eingebunden werden, nicht nur vor schön gemalte Planungskarten gesetzt werden, die bei der älteren Bevölkerung als vollendet verstanden werden.“ Die Art und Weise von Kommunikation und auch die Regelmäßigkeit des Austausches, so Ederleh, ist von Bedeutung. Doch als Teil der Bevölkerung muss man sich auch selbst auf den Weg begeben wollen, Informationen annehmen und hinterfragen wollen. Eventuell ist das die größte Herausforderung bei der Energiewende – wie schaffen wir es, Menschen zu gewinnen, so dass ein gemeinsamer Diskurs gelingen kann? Dass dabei verschiedene Informationsveranstaltungen über die Stadt angeboten werden, findet Rebecca Ballstaedt positiv und will sich auch zukünftig an Dialogen und anderen Formaten beteiligen. Die Vision von der Umsetzung von Grünem Wasserstoff auf und für die Insel läuft als Animationsfilm im Inselmuseum. Und auch wenn aktuell unklar ist, ob die Pläne dazu umgesetzt werden können, so könnte der Mut, mit dem die Insel immer wieder Neues wagt, einzigartig sein und etwas, was andere Küstengemeinden von der Nordseeinsel lernen können.

Nardine Stybel & Laura Schmidt
EUCC – Die Küsten Union Deutschland e.V.
Climate Service Center Germany (GERICS),
Helmholtz-Zentrum Hereon



Ausfahrt zum
Offshore-Windpark

Von der Planung bis zum Bau einer Offshore-Windenergieanlage können bis zu zehn Jahre vergehen. Ein Windrad wiegt stolze 1.000 Tonnen.

R O R B T

T M

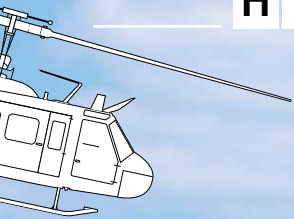
Transportschiff

Konverterstation

F D A T

E

H E R

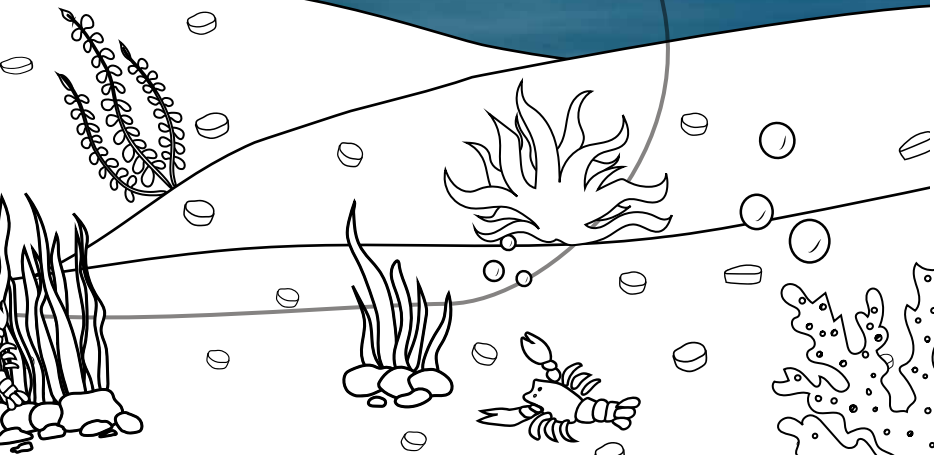
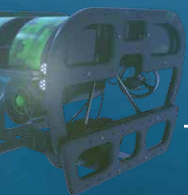


Schwerlastkran

Errichterschiff

K L

U C H B O



Bauleiter Timo

Wenn ein neues Windrad gebaut werden soll, kommt ein Errichterschiff zum Einsatz. Timo ist als Bauleiter auf dem Schiff und plant und überwacht von dort aus die jeweiligen Arbeitsschritte.

Das Errichterschiff ist durch seine vier Beine stabil und kann so nicht kentern.

Seilkletterin Jenny

Auf See kann es zu Verletzungen oder Erkrankungen des Personals kommen. In solchen Fällen ist Jenny als Seilkletterin gefragt. Mittels eines Helikopters steuert sie die Windenergieanlagen an und kann aus großer Höhe Menschen abseilen, bei Bedarf erste Hilfe leisten und so retten.

Durch die Entfernung zum Festland sind die Anforderungen an eine medizinische Versorgung auf See hoch. Daher sind für diesen Beruf zusätzliche Ausbildungen notwendig.



Betriebsleiter Max

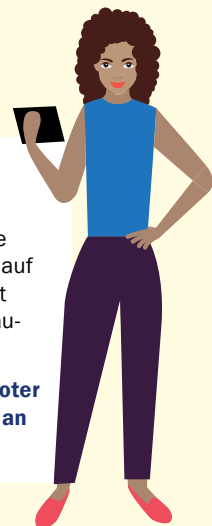
Für Reparatur- und Wartungsarbeiten müssen das zuständige Personal sowie Materialien direkt zu den Anlagen gebracht werden. Max ist als Betriebsleiter für die Organisation dieser Ausfahrten zu dem Windpark zuständig.

Um das Personal sicher zu den Anlagen zu bringen, drückt das Schiff seine Vorderkante direkt an die Fundamente der Windturbine. Von dort aus kann man auf eine befestigte Leiter steigen.

Tauchroboterpilotin Nina

Mit einem Tauchroboter lassen sich die Fundamente einer Windenergieanlage auf ihren Zustand überprüfen. Nina steuert diesen Tauchroboter und kann so schauen, ob noch alles in Ordnung ist.

Mithilfe eines Arms am Tauchroboter lässt sich z. B. eine Schweißnaht an einem Fundament überprüfen.



Lösungswort:

Lesestoff & mehr

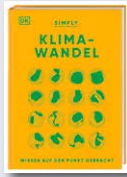


SIMPLY Klimawandel

Wissen auf den Punkt gebracht

Clive Gifford, Daniel Hooke, Adam Levy, Frans Berkhout

In elf Kapiteln stellen die Autoren die wichtigsten Klimawandel-Fakten in anschaulichen Grafiken und verständlichen Kurztexten dar. Dabei werden sowohl die Ursachen der Erderwärmung als auch die Folgen für Land, Ozeane und Atmosphäre beleuchtet. Zudem sind mögliche Lösungsansätze in diesem Nachschlagewerk ergänzt. 160 Seiten, ISBN: 978-3-8310-4608-9, 12,95 €



So retten wir das Klima

Wie wir uns unabhängig von Kohle, Öl und Gas machen

Michael Sterner

Der Autor, auch Berater der Bundesregierung in Energiefragen, widmet sich den Lösungsansätzen für die Abkehr von fossilen Brennstoffen und den Umstieg auf erneuerbare Energien. Dabei gibt er konkrete Tipps für nachhaltige und umweltfreundliche Maßnahmen, so dass jeder einen Teil zur Transformation beitragen kann. 304 Seiten, ISBN: 978-3-8312-0563-9, 22,22 €



Wie wir Energie erzeugen

Von Sonne, Wind, Gas, Öl, Atomen und anderen Energiequellen

Philip Bunting

Dieses Sachbilderbuch eröffnet die faszinierende Welt der Energiequellen – von fossilen Energieträgern wie Kohle und Gas bis hin zu erneuerbaren Energien wie Sonnenlicht. Auf unterhaltsame Weise wird die Energiewende verständlich gemacht, für Kinder und Erwachsene. 32 Seiten, ISBN: 978-3-551-25158-9, 14,00 €



Erneuerbare Energien zum Verstehen und Mitreden

Christian Holler, Joachim Gaukel, Harald Lesch, Florian Lesch

Dieses mit Studierenden erstellte Buch bietet eine anschauliche und verständliche Einführung in erneuerbare Energien, ihre technologischen Möglichkeiten und die Vorteile gegenüber fossilen Brennstoffen. Verschiedene Energiequellen werden bewertet und ansprechend illustriert. 176 Seiten, ISBN: 978-3-641-28496-1, 18,00 €, Hörbuch: ab 12,95 €



Energiewende Jetzt!

Mobilität, Wohnen, grüner Strom und Wasserstoff

Volker und Cornelia Quaschnig

Optimistisch und anschaulich zeigt das Buch, wie eine nachhaltige Zukunft ohne fossile Energiequellen aussehen kann und welche Herausforderungen und Chancen die Energiewende birgt. Dabei wird deutlich, dass eine vollständige Umstellung auf erneuerbare Energien notwendig, machbar und sinnvoll ist. 288 Seiten, ISBN: 978-3-446-27301-6, 20,00 €, Hörbuch: ab 15,99 €



Wasserstoff und Brennstoffzellen

Die Technik von gestern, heute und morgen

Sven Geitmann, Eva Augsten

Die vierte Auflage dieses Buches gibt einen umfassenden Überblick über die Technologien für die Nutzung von Wasserstoff als Energiespeicher und der Brennstoffzelle als Energiewandler. Vorteile wie Umweltfreundlichkeit, Anwendungsmöglichkeiten und Zukunftsperspektiven in Mobilität und Energieversorgung werden präsentiert. 244 Seiten, ISBN: 978-3-937863-54-2, 18,90 €



Podcasts – Energiewende zum Hören

Fachleute vermitteln ihr Wissen zu Windenergie, Photovoltaik, Energiepolitik und innovativen Technologien. So bleibt das Wissen nicht in Instituten und Laboren versteckt, sondern wird für Alle verständlich gemacht. Viel Spaß beim Hören!



Quaschnig Live

#3: Kann uns Wasserstoff aus den Krisen retten?
#12: Wasserstoff: Lösung oder Irrweg für die Klimakrise

Volker und Cornelia Quaschnig



Naturschutz und Energiewende

Der KNE Podcast

Kompetenzzentrum Naturschutz und Energiewende



WINDKANAL

Der Windenergie Podcast

Julia Wolf



enPower

Der Energiewende Podcast

Julius Wesch, Markus Fritz



Wissen schafft Energie

Deutsche Energie-Agentur



Handelsblatt Green & Energy

Der Podcast rund um Nachhaltigkeit, Klima und Energiewende

Kathrin Witsch, Kevin Knitterscheidt, Michael Scheppe



Filme & Dokumentationen

Spannende Dokus und Kurzfilme beleuchten Aspekte von Wasserstoff in der Energiewende: Produktionsverfahren, Speicherung und Anwendung sowie Herausforderungen und Chancen.

Wasserstoff

Retter aus der Klimakrise

Planet Wissen, 57:58 Minuten

www.planet-wissen.de

🔍 Retter Wasserstoff



Sauber in die Zukunft starten

Wasserstoff für die Energiewende

ZDF, plan B, 29:00 Minuten

www.zdf.de

🔍 Saubere Zukunft

Kraftstoff der Zukunft direkt auf See produzieren

Das Leitprojekt H₂Mare

Karlsruher Institut für Technologie, 2:02 Minuten

www.youtube.com

🔍 H₂Mare



Mit Grünem Wasserstoff zu mehr Nachhaltigkeit?

Um die Wasserstoffwirtschaft ganzheitlich zu gestalten, müssen von Anfang an intakte Ökosysteme, wirtschaftliche Teilhabe und sozialer Zusammenhalt berücksichtigt werden. Nachhaltigkeitskriterien können dabei helfen.

Mit dem Weltzukunftsvertrag „Transformation unserer Welt: Die Agenda 2030 für nachhaltige Entwicklung“ der Vereinten Nationen liegt ein international vereinbarter Referenzrahmen vor, der bei der Entwicklung von Nachhaltigkeitskriterien für Grünen Wasserstoff als Orientierung dienen kann. Herzstück der Agenda 2030 sind die 17 Nachhaltigkeitsziele (Sustainable Development Goals, SDGs). Diese fokussieren auf die Herstellung, Verbesserung und den Erhalt des Wohlstandes innerhalb der planetaren Grenzen für alle derzeitigen und zukünftigen Generationen. Damit bringen die Vereinten Nationen erstmals gleichwertig die ökologische, ökonomische und soziale Dimension zusammen und fordern, sowohl die bisherigen als auch zukünftige Missstände systematisch bis 2030 abzuschaffen.

Fahrplan für die Zukunft

Ähnlich vielschichtig und anspruchsvoll sind die Anforderungen, die an eine nachhaltige Energieversorgung und damit auch an Grünen Wasserstoff gestellt werden. Zuverlässig, autark, umweltfreundlich, gewinnbringend und sozialverträglich sind nur einige Beispiele hierfür. Offensichtlich ist, dass Grüner Wasserstoff und PtX-Technologien u. a. durch eine Dekarbonisierung der Stahl- und Chemieindustrie zu einer (zukünftig) bezahlbaren und sauberen Energie (SDG 7) und damit zum Klimaschutz (SDG 13) beitragen können. Rund 58% der Teilnehmenden einer im Leitpro-

jekt H₂Mare durchgeführten Umfrage sprechen Grünem Wasserstoff einen „sehr förderlichen“ Effekt auf die Verwirklichung von Maßnahmen zum Klimaschutz (SDG 13) zu. Rund 52 % sehen einen „sehr förderlichen“ Effekt für den Aufbau einer widerstandsfähigen Infrastruktur, die Förderung einer inklusiven und nachhaltigen Industrialisierung sowie die Unterstützung von Innovationen (SDG 9).

Welche Wirkungsdimensionen Grüner Wasserstoff auf weitere Nachhaltigkeitsaspekte, wie z. B. menschenwürdige Arbeit und Wirtschaftswachstum (SDG 8), Meeres- und Landökosysteme (SDG 14 & 15) oder friedliche Gesellschaften (SDG 16) hat, erschließt sich erst auf den zweiten Blick. Beispielsweise resultieren aus dem Abbau von Rohstoffen für Grüne Wasserstofftechnologien ökologische, sozioökonomische und geopolitische Folgen, die gleichermaßen berücksichtigt werden müssen. Daher fordern insbesondere Umwelt- und Sozialverbände, aber auch Gremien wie der Nationale Wasserstoffrat, die Formulierung und Festlegung von Kriterien, die eine nachhaltige Ausgestaltung der Energiewende gewährleisten. Die Teilnehmenden der Projektumfrage messen 13 von 17 SDGs mindestens einen mittleren, wenn nicht sogar hohen oder sehr hohen Stellenwert für die Entwicklung solcher Nachhaltigkeitskriterien bei.

Anke Vorlauf

EUCC – Die Küsten Union Deutschland e. V.

Bildungsangebote

Grüner Wasserstoff & SDGs
www.ikzm-d.de

Grüner Wasserstoff im Unterricht
www.kuestenschule.de



Junge Menschen für Neues begeistern

Mehr Wissen

www.energie-macht-schule.de

www.youtube.com

🔍 Deeper Learning

Ziel jeder Unterrichtseinheit sollte sein, dass sich Lernende gerne mit neuen Themen auseinandersetzen und langfristigen Wissenszuwachs haben. Drei Dinge sind dabei entscheidend.

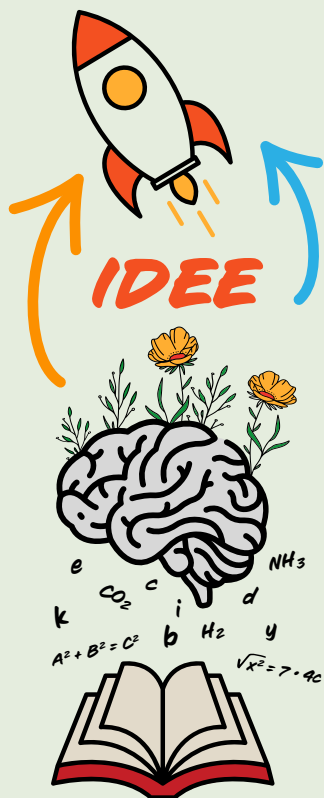
Das Modell des „Deeper Learning“, eine Reformidee für modernes Lernen, beschreibt eine tiefgreifende Auseinandersetzung mit Lerninhalten, die dazu beiträgt, Wissen nachhaltig im Gedächtnis zu verankern und gleichzeitig junge Menschen zu begeistern. Nachhaltiges und gehaltvolles Lernen entsteht, wenn drei Aspekte eng miteinander verwoben werden: Mastery (Fachwissen), die individuelle Identitätsentwicklung und die Entfaltung von Kreativität.

Der Begriff Mastery beschreibt den gesamten Lernprozess – von der Auseinandersetzung mit basalen Wissenskonzepten über ein grundlegendes Verständnis der Struktur einer Fachdisziplin bis hin zum Wissenstransfer. Um Mastery zu entwickeln, sind nicht nur rein fachliche Fähigkeiten oder gar rein fachliches Wissen notwendig. Die Lernenden müssen auch angeregt werden, kritisch zu denken und Probleme aktiv handelnd zu lösen. Auf diese Weise erhalten sie Kompetenzen, ihre eigene Lebenswelt zu gestalten. Um tiefgreifende Lernleistungen zu erzielen, reicht es jedoch nicht aus, Fachwissen zu durchdringen. Lernprozesse entstehen durch Motivation, die Lernende auch durch Schwierigkeiten und über Durststrecken trägt. Motivation entwickelt sich, wenn Lernende erleben, dass sie sich selbst in

den Lernprozess einbringen können, und zeigen dürfen, wer sie sind, um sich in eine Richtung zu entwickeln, die ihnen entspricht. Nachhaltige tiefgreifende Lernprozesse hängen somit eng mit der Identitätsentwicklung zusammen. Wenn Kinder und Jugendliche Facetten ihrer selbst beim Lernen entdecken und sich von den Lehrkräften gesehen und gehört fühlen, trägt dies dazu bei, dass sie motiviert in die Leistungsentwicklung einsteigen und diese selbständig vorantreiben.

Kreativität als Schlüsselqualifikation

Hier kommt die Kreativität ins Spiel. Kreativität gilt international als wichtige Schlüsselqualifikation und Kompetenz zur Zukunftsgestaltung. Sie unterstützt die Lernenden dabei, sich von passiven Wissensempfängenden zu aktiv Handelnden innerhalb eines Themengebiets zu entwickeln. Sie beginnt im Kleinen, wenn Lernende Dinge neu zusammendenken und dadurch eine für sie veränderte Welt entsteht. Sie entwickelt sich im Zusammenspiel von fachlichem Wissen, Lernmotivation und überfachlichen Kompetenzen, wie Selbstdisziplin, die Bereitschaft Risiken einzugehen, Durchhaltevermögen sowie Freude daran, sich auf unterschiedliche Weise auszudrücken.





Kreativität, als die Fähigkeit, Zusammenhänge wahrzunehmen und Ideen zu entwickeln, ist damit eine grundlegend menschliche Fähigkeit, die dazu beiträgt, die eigene Umwelt zu gestalten, Probleme zu bewältigen, aber auch etwas völlig für die jeweilige Person Neues zu kreieren, wodurch diese sich selbst weiterentwickelt. Kreativität ist jedoch kein ausschließlich individueller Prozess, sondern entsteht immer innerhalb eines fachlichen, sozialen und kulturellen Umfeldes der kreativen Person, oftmals in einer Gruppe. Wenn wir also Lernende für Themen-

felder begeistern und tiefgreifende Lernprozesse anstoßen möchten, gilt es, spannende grundlegende fachliche Aspekte zu vermitteln, die nicht nur passiv wahrgenommen, sondern aktiv handelnd erfahrbar gemacht werden. Kreativität und Identität sind dabei keine Aspekte, die unverbindlich punktuell hinzugezogen werden können, sondern wesentlicher Teil der Lernerfahrung.

Britta Klopsch
Karlsruhe Institut für Technologie (KIT),
Institut für Schulpädagogik und Didaktik

Erlebe VR



www.wwf.de/p2x

Fast real – mit virtueller Realität dem Wasserstoff auf der Spur

Komplexe Inhalte lassen sich mittels VR-Brille erfahrbar machen und erhöhen die Motivation, sich mit den Details zu befassen.

Eine neue Form, sich mit komplexen Inhalten auseinanderzusetzen, bietet die sogenannte Virtuelle Realität (VR), also eine künstlich in einer computergenerierten Umgebung erschaffene Wirklichkeit. Mittels einer VR-Brille lässt sich so in Echtzeit die physische Welt imitieren und Dinge erfahrbar machen, die in der Realität (noch) nicht vorhanden sind. Das ermöglicht sogar „Zeitreisen“ – wie hier ins Jahr 2045 – in eine klimaneutrale Zukunft.

Mit der VR Erlebniswelt werden den Teilnehmenden spielerisch Chancen und Risiken von Power-to-X Technologien (PtX) vermittelt, denn wenn es ins Detail geht, wird es beim Wasserstoff knifflig. Adressiert werden Fragen, wie z.B.: Wie funktioniert eigentlich die Umwandlung von PtX genau? Wofür sollte Wasserstoff eingesetzt werden und wofür nicht? Und wie kann das alles zur Erreichung unserer Klimaziele beitragen?

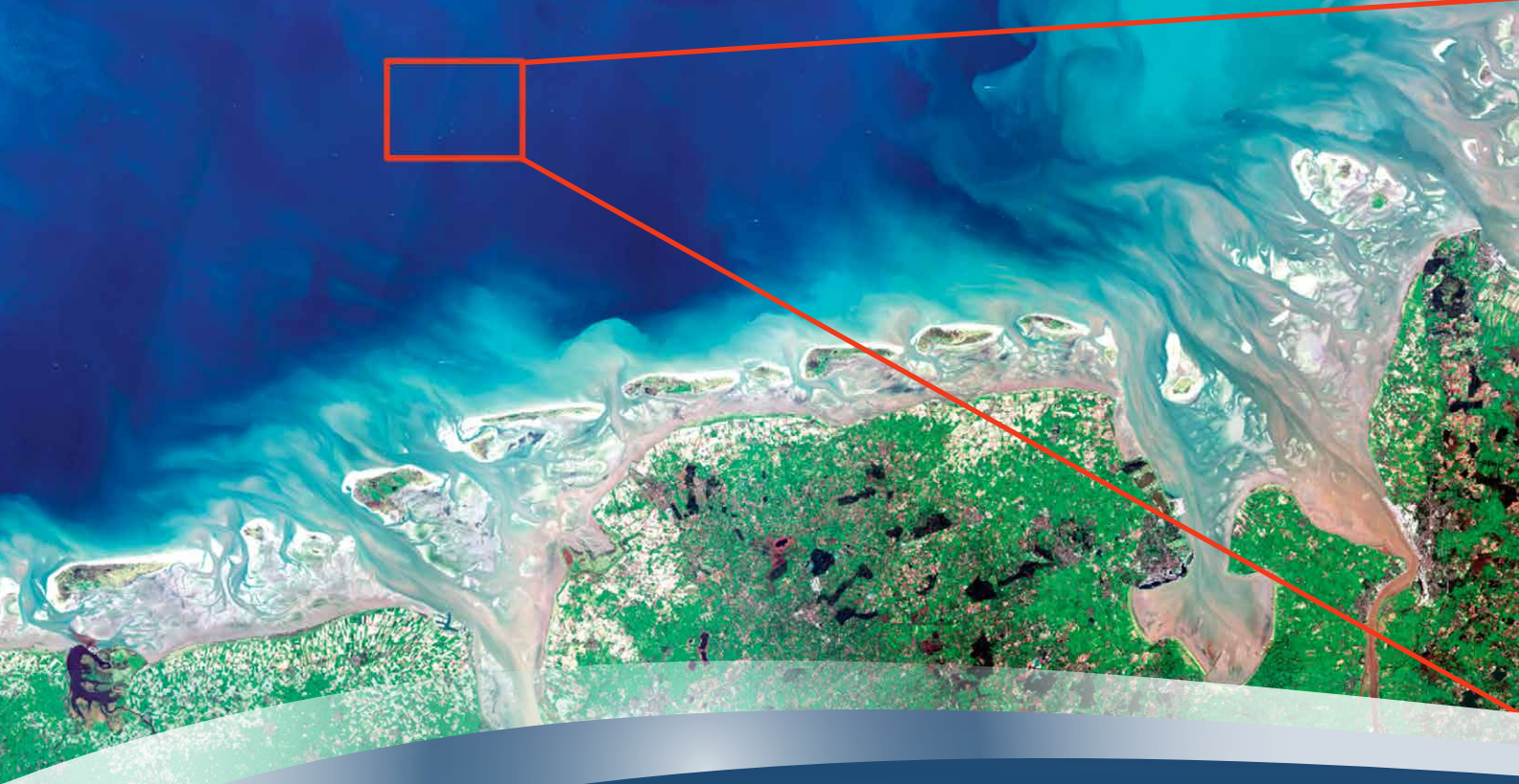
In der virtuellen Erlebniswelt wird dabei ein positives Zukunftsbild aufgezeigt, das

deutlich macht, dass die Entscheidungen, die wir heute treffen, große Auswirkungen für die nahe Zukunft haben. Stellen wir heute die richtigen Weichen, können wir es schaffen 2045 klimaneutral zu sein.

Die Inhalte der virtuellen Erlebniswelt wurden zudem in das kostenlose E-Learning-Modul „Wasserstoff für Energiewende und Klimaschutz – Power-to-X“ überführt. In zwölf Lerneinheiten wird anschaulich der aktuelle Wissensstand zu PtX-Technologien vermittelt. Die durch Deutschland tourende VR Erlebniswelt wird an verschiedenen Orten zu erleben sein. Die Anwendung kann auch von zuhause genutzt werden, ohne VR-Brille in einer PC-Version oder per Smartphone-App.

Der WWF hat die Bildungsangebote für das BMBF-geförderte P2X Kopernikus-Projekt entwickelt.

Ulrike Hinz
WWF Deutschland



Wie stark beeinflussen Windkraftanlagen die Meeresumwelt?

Modellergebnisse zeigen, dass der Ausbau der Offshore-Windenergie Veränderungen für das Windklima und die Strömungen rund um die Anlagen bedeutet. Auch die marinen Ökosysteme sind von den Änderungen betroffen.

Mehr Informationen

...zu den Modellierungen und Auswirkungen der Offshore-Windenergie:

www.coastalfutures.de

Die Nordsee ist bereits heute ein globaler Hotspot für Offshore-Windenergie. In den kommenden 25 Jahren soll die dort derzeit installierte Kapazität von 23 GW mehr als verzehnfacht werden. Hinzu kommen ambitionierte Pläne für den Aufbau von Offshore-Elektrolyse-Kapazitäten sowie von Offshore-Energieinseln für die Erzeugung von Grünem Wasserstoff. Auch der Ausbau der Windkraft in der Ostsee wird sich im kommenden Jahrzehnt verstärken, insbesondere Schweden aber auch Polen und die Baltischen Staaten haben ehrgeizige Pläne. Diese massiven Ausbaupläne werden die Meeresumwelt in Nordsee und Ostsee grundlegend verändern, aber in welcher Weise ist bisher unzureichend erforscht. Weite Flächen in der Nordsee sind heute schon als mögliche Entwicklungsflächen für die Offshore-Windenergieproduktion deklariert. Diese liegen zum Teil dicht an oder sogar in Meeresschutzgebieten. Im Fokus der Forschung und der per Gesetz zu tätigen Umweltverträglichkeitsuntersuchungen standen bisher die Erfassung von Belastungen durch die Konstruktion und den Betrieb von Windkraftanlagen, speziell für die an der Spitze der Nahrungskette stehenden Top-Räuber, wie z. B. Meeressäuger, Seevögel und größere Fische sowie am Boden lebende Gemeinschaften. Die Studienlage

ist dabei zum Teil widersprüchlich. Während einige Arten von den Anlagen angezogen werden und eine Zunahme der Bestände zu verzeichnen ist, sind die Studienergebnisse für andere Arten widersprüchlich. Wiederum andere Arten meiden die Anlagen deutlich und es lässt sich zum Teil eine erhebliche Abnahme dieser Bestände innerhalb eines Umkreises von 10 km um die Windparkgebiete beobachten. Es ist bislang völlig unklar, welche Auswirkungen die unterschiedlichen räumlichen Verteilungen auf die Gesamtbestände der Arten haben und wie sich die Bestände unter zukünftig erheblich zunehmenden Installationen von Windkraftanlagen entwickeln werden.

Windfarmen ändern Windklima & Strömungen

Durch neuere Studienergebnisse wird zunehmend klarer, dass sich auch erhebliche geophysikalische Veränderungen einstellen werden. Mit Hilfe von Simulationsmodellen, in denen die Einflüsse der Offshore-Windfarmen auf den Wind und die Strömung in Abhängigkeit von der Art und Weise der installierten Anlagen berechnet werden, lassen sich zukünftige Veränderungen auf lokaler und regionaler Skala vorhersagen. Klar ist, dass die Offshore-Windenergie das Windklima



200 m

deutlich verändert. Im Windschatten, im sogenannten Nachlauf der Offshore-Windfarmen, nimmt der Wind durch die Energieentnahme merkbar ab und wird turbulenter. Diese Nachläufe können zwischen 10 und 100 km lang sein und zu Abnahmen der Windgeschwindigkeit um bis zu ca. 20% führen, abhängig von der Farmgeometrie, der Dichte der Installationen, der Art und Größe der installierten Windräder und den Wetterbedingungen. Auf Satellitenbildern sind diese bereits heute klar zu erkennen.

Diese abnehmenden Windgeschwindigkeiten und die entstehenden Strukturen im Wind aber auch die Strukturen der Offshore-Windturbinen zeigen erhebliche Auswirkungen auf die Ozeandynamik. Für den aktuellen Stand der Windparkentwicklung in der südlichen Nordsee konnte die Entstehung von großskaligen Änderungen der mittleren Strömungen simuliert werden, die weit über die Gebiete der Windfarmen hinausgehen. Diese Veränderungen in der vertikalen und horizontalen Strömung sind ausreichend stark, um Veränderungen in der Temperatur- und Salzverteilung und damit Veränderungen der Schichtung von Wasserkörpern in Gebieten mit Windparkbetrieb und darüber hinaus hervorzurufen. Insbesondere in der Deutschen Bucht entstehen dadurch großräumige strukturelle Veränderungen in der Schichtungsstärke des Wasserkörpers, die wiederum potentielle Auswirkungen auf die marinen Ökosysteme erwarten lassen.

Marine Ökosysteme werden beeinflusst

Ein modelliertes Zukunftsszenario mit etwa fünfmal mehr Windfarmen als heute zeigte auch, dass sich die Primärproduktion, die die Grundlage für das Nahrungsnetz im Ozean darstellt, durch Windfarmen erheblich verändern wird. Durch immer

größere Windfarmen und die zunehmende Gruppierung von Windfarmen, wie sie gegenwärtig auf der in der Nordsee liegenden Doggerbank gebaut werden, ist zu erwarten, dass sich diese noch verstärken könnten.

Diese ersten Ergebnisse legen nahe, dass die laufenden Entwicklungen im Offshore-Windbereich erhebliche Auswirkungen auf die Strukturierung küstennaher mariner Ökosysteme haben können. Die Entwicklung von Offshore-Energie hat zweifellos das Potential, einen wichtigen Beitrag zur Energiewende zu leisten. Es ist jedoch essentiell, diesen Ausbau wissenschaftlich zu begleiten, um die Auswirkungen auf die Meeresumwelt besser zu verstehen. Die Modellierung kann dabei helfen, negative Auswirkungen auf die Meeresumwelt frühzeitig zu erkennen, um diese geeignet abzuwenden.

Corinna Schrum

Helmholtz-Zentrum Hereon, Institut für Küstensysteme



Schweinswal



Veränderung der Landschaft

Was wir unter Landschaft verstehen, ist von der Herkunft sowie von kulturellen, sprachlichen und sozialen Faktoren abhängig. Zukünftig wird sich wohl niemand mehr an Windkraftanlagen stören.

Der Begriff Landschaft reicht bis ins Mittelalter zurück und entwickelt sich bis heute weiter. Während er zu Zeiten der Renaissance mit der ästhetischen Betrachtung einer ausschnitthaften Darstellung eines Naturraums verbunden wurde, stand Landschaft zur Zeit der Romantik für die Einheit von Mensch und Natur gegen die Modernisierung und Industrialisierung. Gerade im deutschsprachigen Raum werden viele Dinge landschaftlich betrachtet. Landschaft wird nicht zur Synthese räumlicher Elemente verwendet, sondern auch metaphorisch, wenn etwa von Bildungslandschaft oder von politischer Landschaft gesprochen wird. Individuell wird die sogenannte heimatliche Normallandschaft bereits im frühen Kindesalter gebildet. Mit dieser wird die Norm verbunden: „In diesem Raum, in dieser Landschaft darf sich nichts verändern“. Dabei handelt es sich um eine sehr konservative Betrachtungsweise, wobei jeder Mensch seine eigene Landschaft individuell konstruiert.

Landschaft im Kontext der Energiewende

Kommt es im persönlichen Wahrnehmungsbereich von Landschaft zu sichtbaren Veränderungen, die im Rahmen der Energiewende vor allem mit einer Technisierung verbunden sind, entstehen nicht selten Konflikte. Dabei zeigen empirische Studien, dass die ältere Generation Windenergieanlagen eher als störend im Landschaftsbild empfindet, während die Jüngeren die Anlagen nicht problematisieren, sondern vielmehr mit Fortschritt und Nachhaltigkeit in Verbindung bringen. Der Grund dafür ist ganz einfach: Die Älteren sind nicht damit aufgewachsen und halten sehr an der ästhetischen und nicht-technischen Komponente von Landschaft aus der Renaissance und Romantik fest, während hingegen die junge Genera-

tion mit solchen Anlagen im als Landschaft gedeuteten Raum aufgewachsen ist und zudem die ökologische Komponente dahinter sehen. Kommen in den nächsten Jahrzehnten neue Energietechnologien auf den Markt, kann es sehr gut sein, dass die jetzige junge Generation Widerstand gegen diese Veränderungen leistet, vor allem, wenn dann beispielsweise die Windkraftanlagen wieder rückgebaut werden. Dies ist ein immer wiederkehrendes Verhaltensmuster. Das Phänomen in Bezug auf erneuerbare Energien besteht zudem darin, dass die Transformation auf Bundesebene zwar mehrheitlich befürwortet wird, es lokal aber immer wieder zu heftigen Konflikten kommt. Das liegt nicht zuletzt an Veränderungen von vertrauter Landschaft, mit der persönliche Heimat und Identität verbunden wird.

Aber nicht nur zwischen Generationen, sondern auch deutschlandweit lassen sich Unterschiede in Bezug auf Landschaft und Technologien für erneuerbare Energie feststellen. Norddeutschland wurde schon früh mit Windkraftanlagen ausgestattet und es finden sich heute kaum noch Bürgerinitiativen dagegen, während in Süddeutschland im Vergleich der organisierte Widerstand gegen Windkraftanlagen verbreiteter ist. Auch zwischen Einheimischen und Gästen findet sich häufig eine solche Diskrepanz. Wenn Einheimische Eingriffe in den als Landschaft gedeuteten Raum als störend empfinden, haben Touristen hingegen oft keine Probleme damit. Inwiefern sich dies in Küstengebieten mit sichtbaren Windenergieanlagen auf See oder nahe der Küste verhält, ist empirisch noch nicht belegt. Vermutlich verhält es sich aber ähnlich.

Olaf Kühne
Universität Tübingen,
Lehrstuhl Stadt- und Regionalentwicklung

Podcast



Weitblick
Der Podcast zu Landschaft,
Naturschutz und Nachhaltigkeit

Folge 10 zu Landschaft und Sozialisation

Folge 11 zur Beziehung zu Landschaft

Überall wo es Podcasts gibt

🔍 Weitblick



Klimaschutz und Meereschutz gemeinsam meistern

In einer aktuellen Studie werden Flächen für einen möglichst naturverträglichen Offshore-Ausbau identifiziert, die sensible Lebewesen und geschützte Gebiete berücksichtigen.

Der letzte Report des Weltklimarats verdeutlicht, dass wir die Energiewende schnell umsetzen müssen. Gleichzeitig ist jedoch auch klar: Die Biodiversitätskrise ist die zweite große globale Herausforderung, die wir parallel angehen müssen. Auch Nord- und Ostsee sind betroffen und in einem schlechten ökologischen Zustand. Überfischung, massive Lärmbelastung, Klimawandel, Rohstoffgewinnung und Belastung mit Schadstoffen bedrohen die Vielfalt im Meer und machen auch vor Meeresschutzgebieten keinen Halt. Durch den geplanten Ausbau der Offshore-Windenergie, insbesondere in der Nordsee, wird die Belastung für das Ökosystem weiter verschärft. So werden einige Vogelarten, wie z. B. Stern- und Prachtttaucher, in ihrem bewohnbaren Lebensraum massiv eingeschränkt und das Kollisionsrisiko für Zugvögel und Fledermäuse wird steigen. Lärmempfindliche Arten, wie z. B. der Schweinswal, werden durch den Bau von Windenergie-Anlagen über Jahrzehnte belastet.

Naturverträgliche Energiewende

Doch wie können Klimaschutz und Meeresschutz Hand in Hand gehen? Einen Vorschlag hat der NABU erarbeitet: Basierend auf ökologischen Kriterien werden in einer Studie die naturverträglichsten Offshore-Windkraftstandorte identifiziert. Als Kriterien dienen die Verbreitungsschwerpunkte sensibler Seevogelarten und Schweinswale sowie Vorkommen geschützter Biotope. Auch Schutzgebiete (Aufzuchtgebiete, Rastgebiete etc.) werden einbezogen. In einigen Gebieten, die nicht für einen potentiell natur-

verträglichen Zubau ausgemacht wurden, können Vermeidungs- und Minderungsmaßnahmen, wie temporäre Abschaltungen zur Reduktion des Kollisionsrisikos, dazu beitragen, Naturschutzkonflikte zu reduzieren oder auszuräumen. Wo das nicht der Fall ist und zu viele sensible Arten betroffen wären, ist eine naturverträgliche Offshore-Wind-Nutzung nicht möglich; diese Flächen sollten aus Naturschutzsicht nicht bebaut werden.

Dass sich die naturverträglicheren Offshore-Wind-Flächen vielfach mit Schifffahrtsrouten und militärischen Übungsflächen überschneiden, verdeutlicht, dass der gesetzlich vorgeschriebene Ausbau der Offshore-Windkraft weitreichende Kompromisse bei allen Interessengruppen erfordern würde. Die Herausforderung wird sein, alle menschlichen Nutzungen so zu regulieren und zu verorten, dass das Ökosystem Meer nicht als Verlierer der Energiewende dasteht. Die Studie macht auch deutlich, dass baubedingte Effekte (z. B. Schall) leichter, betriebsbedingte Effekte (z. B. Kollision und Habitatverluste) jedoch schwieriger zu reduzieren sind. Es muss Aufgabe der Fachbehörden sein, Forschung voranzutreiben und Regularien zu entwickeln, die die ökologische Belastung durch Windparks künftig besser reduzieren können. Als Positivbeispiel ist der niederländische Windpark „Hollandse Kust West“ zu nennen, in dem eine Vielzahl potentieller Minderungsmaßnahmen getestet werden soll. Wichtigste Voraussetzung bleibt aber eine Standortwahl, die Biotope und Lebewesen schützt.

Dominik Auch
Naturschutzbund Deutschland e. V.

NABU-Studie

...zum naturverträglichen Offshore-Ausbau:
www.nabu.de
Q Studie Offshore

Bericht des Weltklimarates

www.de-ipcc.de/358.php



Stern-taucher



„Wir können einen nennenswerten Beitrag innerhalb Deutschlands leisten.“

Matthias Müller über die Herausforderungen und Potentiale, Grünen Wasserstoff auf dem Meer zu produzieren.



Matthias Müller studierte Elektrotechnik in Dresden und bei Paris. Danach startete er seine berufliche Laufbahn bei Siemens und war in den letzten 15 Jahren in verschiedenen Funktionen (u. a. Engineering, Project Management und General Management) für internationale Energieübertragungsprojekte verantwortlich. Seit Ende 2020 ist er bei Siemens Energy tätig und dort in die Wasserstoffaktivitäten involviert. Er koordiniert alle diesbezüglichen Offshore-Themen. Eine seiner Rollen hierbei ist die Gesamtkoordination des Leitprojektes H₂Mare, gefördert durch das BMBF.

■ Grüner Wasserstoff ist ein wichtiger Baustein der Energiewende und wird bereits in einigen Pilotanlagen erzeugt. Neu ist die Idee, Grünen Wasserstoff direkt auf dem Meer zu produzieren. Wieso genau dort?

Um Grünen Wasserstoff zu erzeugen, brauche ich Grünen Strom. Mit dessen Hilfe wird in der Elektrolyse Wasser in Wasserstoff und Sauerstoff aufgespalten. Das macht vor allem dort Sinn, wo viel erneuerbare Energie zur Verfügung steht. Da denke ich vor allem an den Windstrom, den es besonders im Norden und draußen auf dem Meer gibt. Wasserstoff auch gleich dort herzustellen, wo dieser Strom erzeugt wird, bietet große Vorteile, die wir im Leitprojekt H₂Mare untersuchen.

■ Wann wird diese Technologie Realität und wann kann sie in Deutschland eingesetzt werden?

Eines der Projektziele ist, eine Fünf-Megawatt-Offshore-Elektrolyse bis 2025 fertig erforscht zu haben, sodass die ersten Real-Tests an Land starten können. Die Überlegungen gehen aber schon weiter: Wir arbeiten daran, eine echte Offshore-Anlage mit einer 15-Megawatt-Elektrolyseeinheit am Turm bis etwa 2027 umsetzen zu können. Den ersten größeren Windpark, der mit dieser Technologie Wasserstoff erzeugt, werden wir wahrscheinlich bis Ende dieses Jahrzehnts sehen.

■ Warum dauert die Entwicklung so lang?

Wenn ich draußen auf dem Meer einmal viele dieser Wasserstoff-Windräder aufstellen möchte, sollte die Technologie unbedingt funktionieren und

ausreichend getestet sein. Dafür brauchen wir einzelne Entwicklungsstufen. Zu Beginn an Land, wo das ganze System zusammengestellt wird. Danach sollte ein einzelnes Windrad und in der Folge ein kleiner Windpark auf dem Meer getestet werden, bevor wir in Gigawatt-Dimensionen denken. Aber bis dahin müssen viele Dinge gleichzeitig passieren, nicht nur technologisch, sondern auch auf dem Gebiet der Normen und Regularien, und natürlich bedarf es zu Beginn auch passender Förderung für die Pionierprojekte da draußen. Das zu orchestrieren, ist nicht ganz einfach – weder für die Industrie, die Forschung, noch für die Bundesregierung. Aber meine Sicht ist schon, dass alle ihr Möglichstes tun, um das gesamtgesellschaftlich in die richtige Richtung zu schieben.

■ Inwieweit wird uns Grüner Wasserstoff dabei helfen, unabhängiger von global agierenden Akteuren zu werden?

Wasserstoff macht es möglich, erneuerbare Energie in Molekülform zu speichern, sodass diese über weite Strecken transportiert und zudem in die Bereiche gebracht werden kann, die nicht oder nur schwer elektrifiziert werden können. Das macht ihn als Energieträger zu einem Kernelement der Energiewende. Und an vielen Stellen zu einem Ersatz für fossile Energieträger wie Öl und Gas. Alles, was wir an Wasserstoff in deutschen Gewässern oder bei benachbarten befreundeten Nationen erzeugen können, hilft von den klassischen fossilen Energielieferanten unabhängiger zu werden. Dieser Aspekt ist in seiner Prägnanz nach Februar 2022 sehr gestiegen. Wir werden bei Wasserstoff nicht dahin kommen, dass wir



unseren Bedarf vollumfänglich innerhalb deutscher Hoheitsgewässer erzeugen können. Aber wir können zumindest einen nennenswerten Beitrag innerhalb Deutschlands leisten, vielleicht sogar komplett deckend innerhalb Europas. Wenn wir die notwendige Technologie in Deutschland entwickeln, können wir diese exportieren, was uns volkswirtschaftlich hilft und auch eine gewisse strategische Rolle sichert.

■ **Wenn wir den Großteil des benötigten Grünen Wasserstoffs importieren müssen, warum verfolgen wir dann überhaupt das Ziel, in Deutschland Wasserstoff auf dem Meer zu erzeugen?**

Wir werden in den kommenden Jahren sehr große Mengen Grünen Wasserstoffs benötigen, wenn wir die Klimaziele erreichen wollen. Dafür werden wir eigentlich alles an Erzeugungskapazitäten einsetzen müssen, was möglich und wo immer es möglich ist. Und dabei kann die Erzeugung auf dem Meer einen wichtigen Beitrag leisten.

■ **Neben technischen Aspekten sind es Gesetze, Richtlinien und auch die gesellschaftliche Akzeptanz, die Forschung und Umsetzung kompliziert und ggf. auch langsamer machen. Wie nehmen Sie das wahr?**

Im Leitprojekt H₂Mare sind wir sehr divers aufgestellt, sowohl von den Themenstellungen als auch von den beteiligten Partnern. Das führt natürlich dazu, dass die eine oder andere interne Diskussion stattfindet. Und das ist ja auch das tolle an dieser Projektarbeit – so können wir von Beginn an verschiedene Akteure mit ihren unterschiedlichen Sichtweisen beteiligen. Das hilft uns, frühzeitig mit möglichen Bedenken und Sorgen umzugehen, mit denen wir spätestens dann konfrontiert werden, wenn wir die Projektpläne der Öffentlichkeit vorstellen. Für uns ist es auch wichtig, die Bevölkerung vor Ort, also an den Küsten, zu beteiligen. Wir können dann informieren und aufklären, damit z. B. Vorurteile abgebaut werden.

■ **Umfragen zeigen, dass die deutsche Bevölkerung die Energiewende für dringend notwendig hält.**

Die Erreichung der Ziele sieht sie jedoch in weiter Ferne. Woran liegt das?

Die meisten Menschen haben die Dringlichkeit der Energiewende erkannt. Aber wahrscheinlich ist nicht allen bewusst, was für ein komplexer Transformationsprozess dahintersteckt. Damit die Energiewende ein Erfolg wird, müssen ganz viele Dinge gleichzeitig gelingen: Wir brauchen einen massiven Ausbau der erneuerbaren Energien und müssen gleichzeitig die Stromnetze stärken. Das muss einhergehen mit mehr Effizienz und auch Einsparungen, da wo es möglich ist. Die vorhandenen Technologien zur Stromerzeugung müssen weitergenutzt, aber Schritt für Schritt nachhaltiger und effizienter werden. Dies sind nur einige der Herausforderungen, wenn es darum geht, die zukünftig nötige Energieleistung nachhaltig, sicher und bezahlbar zu generieren.

Und schließlich müssen die grünen Technologien auch implementiert werden. Wenn der Solarpark oder das Windrad demnächst direkt nebenan steht, sieht man das Thema Energiewende eventuell anders. Das Dilemma ist auch, dass wir alles sehr nachhaltig haben wollen, aber auf der anderen Seite möchte ich trotzdem mein Tablet oder Smartphone nicht missen, möchte ab und zu mit dem Auto in den Urlaub fahren oder vielleicht sogar in ein Flugzeug steigen. Wenn wir das weiterhin ermöglichen wollen, dann wird es auch darum gehen, wie das vor der eigenen Haustür umgesetzt werden kann. Was bedeutet das für die Bundesländer, für einzelne Kommunen, Haushalte, jeden Einzelnen? Dafür müssen wir gemeinsam Antworten und Lösungen finden.

Das Interview führten Nardine Stybel, Anke Vorlauf und Lena Schall.

Leitprojekt H₂Mare

Das vom Bundesministerium für Bildung und Forschung geförderte Wasserstoff-Leitprojekt H₂Mare leistet einen entscheidenden Beitrag zur Umsetzung der Nationalen Wasserstoffstrategie. Ziel ist es, zur Erzeugung von Grünem Wasserstoff einen völlig neuen Anlagentyp zu konstruieren, der einen Elektrolyseur optimal in eine Offshore-Windenergieanlage integriert. Aber auch die Herstellung von Wasserstoff-Folgeprodukten auf See wird erforscht. Denn Grünen Wasserstoff offshore auf einer zentralen Plattform gleich in weitere, gut handhabbare und nachgefragte Basisstoffe wie beispielsweise Ammoniak oder Methanol umzuwandeln, macht deren Transport noch einfacher und kosteneffizienter.

www.wasserstoff-leitprojekte.de/h2mare

GEFÖRDERT VOM



Bundesministerium für Bildung und Forschung

Grüner Wasserstoff

Anwendungsfelder in der Praxis

In der Energiewelt von morgen soll Wasserstoff als grüner Energieträger eine zentrale Rolle einnehmen. Die Einsatzmöglichkeiten, die im größeren Maßstab funktionieren und wirtschaftlich sind, sind jedoch noch rar. Hier schreiben drei Experten über die Potentiale und Grenzen der Wasserstoffanwendung.



Prof. Dr.-Ing. Axel Rafoth

Projektleiter der Hochschule Wismar, Standort Warnemünde

Grüner Wasserstoff in der Schifffahrt

In der Seefahrt wird noch immer auf Verbrennungsmotoren gesetzt. Dabei ließe sich der immense Schadstoffausstoß von Schiffen deutlich reduzieren, wenn der auf See generierte Grüne Wasserstoff möglichst unmittelbar und effektiv in diesem Transportsektor eingesetzt werden würde. Für welche Schiffe und Einsatzgebiete das

zukünftig möglich sein könnte, untersuchen wir aktuell im Leitprojekt H₂Mare. Wir betrachten dabei verschiedene Schiffsklassen, Routen, Antriebsleistungen und Bauvolumen. Mit Blick auf die Zyklenfestigkeit, die angibt wie oft ein Speicher ge- und entladen werden kann, sowie den Kühlaufwand verschiedener Speicherverfahren, wird der Einsatz von kompri-

miertem Wasserstoff favorisiert. Damit kommen für den baldmöglichsten Einsatz nur Schiffe aus der existierenden Flotte in Frage, die auf kürzeren Routen oder mit kleinerer Antriebsleistung verkehren. Das könnten küstennahe Frachter, Fähren oder kleinere Fischereischiffe sein. Um transatlantische Fahrten zu ermöglichen, müssten auf dem Atlantik „schwimmende Tankstellen mit Windkraftanlagen“ installiert werden, an denen nachgetankt werden könnte.

Außerdem untersuchen wir, wie bestehende Dieselmotoren durch die Injektion von Wasserstoff grüner fahren können. Denn mit etwa 90.000 Schiffen (ohne Fischereifahrzeuge) auf den Weltmeeren werden auch zukünftig noch allerhand Verbrennungsmotoren im Betrieb bleiben. Mit der Zugabe von Wasserstoff als zweitem Kraftstoff gäbe es eine Möglichkeit, die Abgasqualität zu verbessern und den grünen Anteil der Kraftstoffe der bestehenden Flotte zu vergrößern.



Dr. Dr. Reinhard Löser

WWP. Beratung Wirtschaft, Wissenschaft, Politik – Berlin

Grüner Wasserstoff in der Mobilität

Grüner Wasserstoff (H₂) lässt sich als Gas direkt für den Antrieb verwenden. Im konventionellen, also mit Verbrennungsmotor betriebenen Pkw kann es wie Autogas verbrannt werden. Modifikationen an Motor und Tank sind jedoch notwendig. Berücksichtigt werden muss der für Wärmekraftmaschinen typisch geringe Wirkungsgrad

von 30-40%. Alternativ kann H₂-Gas auch in einer Brennstoffzelle elektrischen Strom erzeugen, um ein Elektroauto anzutreiben. Auch hier entsteht kein klimaschädliches CO₂ sondern Wasser. Der Wirkungsgrad einer Brennstoffzelle erreicht jedoch über die Kette Elektrizität – H₂ und H₂ – Elektrizität nur einen Wirkungsgrad von maximal 30% gegenüber 70-90% bei der direkten Nutzung von Strom mit Batterie.

Bei der direkten Verwendung von H₂-Gas sind Transport und Speicherung technisch sehr aufwändig – sowohl bis zur Tankstelle als auch im Auto selbst, was die Kosten treibt. In den letzten 25 Jahren sind in Deutschland kaum mehr als 100

H₂-Tankstellen entstanden bei flächendeckend 14.000 „normalen“ Tankstellen. Direkt- oder Großabnehmer sind hier klar im Vorteil.

Schließlich kann H₂ bei der chemischen Synthese zu flüssigen Kohlenwasserstoffen eingesetzt werden, wobei vollwertiger Diesel- und Benzin-Ersatz entsteht. Wenn das bei Verbrennung dieser E-Fuels im herkömmlichen Motor produzierte CO₂ nicht aus fossilen Quellen stammen soll, muss es deshalb zuvor der Atmosphäre entzogen werden. Das ist technisch sehr aufwändig und äußerst kostenintensiv. Der energetische Wirkungsgrad des Verbrenners sinkt dadurch auf katastrophale 15% ab.

Da auch die E-Fuel-Produktion im großtechnischen Maßstab noch nicht beherrscht wird, können nur wenige Anwendungsfälle sinnvoll sein. Jedenfalls ist es illusorisch, in Deutschland die knapp 50 Mio. Pkw zu versorgen. Es scheitert schlicht an Verfügbarkeit, Effizienz und hohen Kosten.

Wie elektrischer Strom wird auch Grüner Wasserstoff in Zukunft als klimafreundlicher Energieträger ein knappes und wertvolles Gut sein, das dort eingesetzt werden muss, wo es höchsten Nutzen verspricht. E-Fuels im Fahrzeug sind in speziellen Fällen notwendig und sinnvoll. Für die Pkw-Bestandsflotte sind sie nicht geeignet; hier macht das Batterieauto das Rennen.



Ties Kaiser

Leiter Kommunikation, Hansen & Rosenthal Gruppe Hamburg

Grüner Wasserstoff in der Spezialchemie

Die öffentliche Debatte dreht sich aktuell viel um die Dekarbonisierung von Energieerzeugung und Mobilität. Diese Diskussion ist unvollständig, denn Kohlenwasserstoffverbindungen sind wesentlicher Bestandteil vieler Alltagsprodukte, wie z. B. kosmetische und pharmazeutische Artikel. Sie werden auch zukünftig benötigt. Allerdings müssten diese Kohlenwasserstoffverbindungen nicht zwingend aus fossilen Quellen, z. B. Mineralöl, stammen. Sie können zukünftig aus nachhaltigen Rohstoffen gewonnen werden. In unserer Firma nutzen wir z. B. Grünen Wasserstoff und biogenes CO₂. Daraus gewinnen wir synthetische Kraftstoffe, sogenannte eFuels, und Wachse, die sehr ähnliche Eigenschaften wie mineralölbasierte Produkte aufweisen. Allerdings wurde mit dem grünen CO₂ eine nicht-fossile Kohlenstoffquelle verarbeitet. So erhält der Kunde von uns kein de-karbonisiertes, sondern ein de-fossilisiertes Produkt mit einem reduzierten CO₂-Fußabdruck.

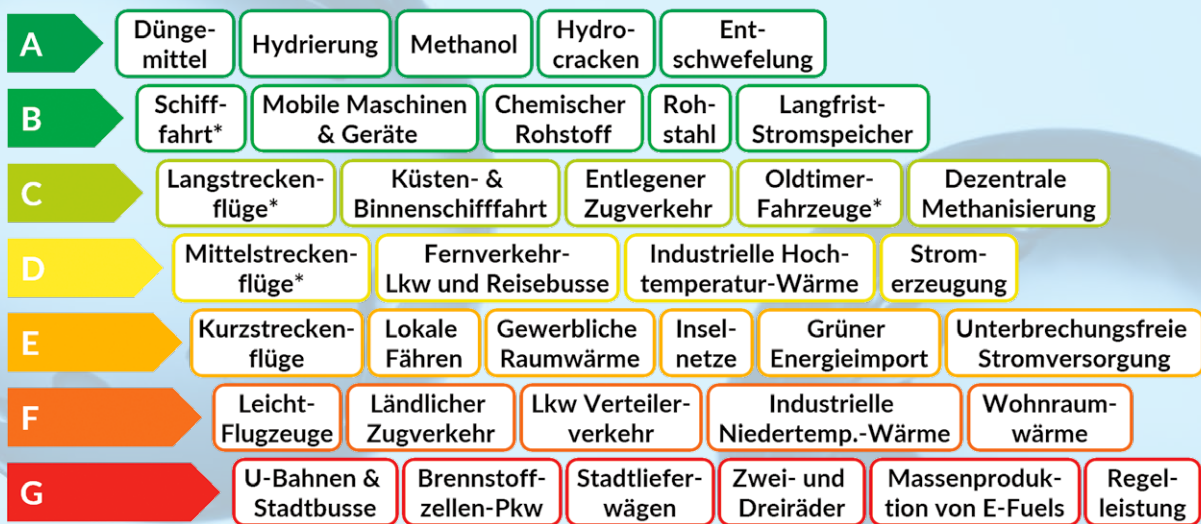
Unseren Grünen Wasserstoff erzeugen wir durch Elektrolyse seit 2017 mit zertifiziertem Grünstrom. Wir nutzen ihn aktuell für unsere Produktionsprozesse, etwa zur Herstellung von technischen und medizinischen Weißölen für die Pharmazie oder Kosmetikindustrie oder Wachsen für die Lebensmittel- oder die Bauindustrie. Diese Kunden setzen unsere Grundstoffe z. B. bei der Produktion von Salben und Cremes sowie für wasserbeständige Beschichtungen ein.

Das biogene CO₂ für unsere Syntheseprozesse stammt aus einer Bioethanol-Anlage. Unsere neue Power-to-Liquid-Demonstrationsanlage am Standort Hamburg hat eine maximale Kapazität von ca. 350t pro Jahr. Zukünftig sollen rund 200t E-Fuels und 150t Wachse für Anwendungen in der Kosmetik, Pharmazie sowie Lebensmittelindustrie hergestellt werden. Dies reicht aus, um unseren Kunden nennenswerte Mengen zu Testzwecken und für deren eigene Produktentwicklung zur Verfügung zu stellen. Auf diese Weise liefern wir einen ersten Proof of Concept, aus dem sich die Umsetzbarkeit eines Wechsels auf nachhaltige Inhaltsstoffe überprüfen lässt und bereiten so – gemeinsam mit den Kunden – einen späteren Markthochlauf vor.

Einsatzbereiche sauberen Wasserstoffs

(Schätzungen, nach Michael Liebreich, 2021)

Alternativlos



Unwirtschaftlich

* Sehr wahrscheinlich in Form von mittels Wasserstoff erzeugten E-Fuels oder Ammoniak

Bildnachweis

S. 1 hi., li., S. 10-11 o., S. 29 o.: Siemens Gamesa Renewable Energy; **S. 1 mi., S. 25 u. re.:** Sven Koschinski; **S. 1 re., S. 14-15 o.:** Tim Riediger; **S. 2 o., mi.:** SkySails Power, **u.:** Nina Effelsberg; **S.3 u.:** EUCC-D; **S. 4-5 o.li.:** Michielverbeek, **o.mi.:** Armin Kübelbeck (CC-BY-SA) Wikimedia Commons; **S. 4-5 o.re., S. 16 o.:** Lena Schall; **S. 4-5 u.li., S. 6-7 Icons, S. 8, S. 10-11 o.re., S. 18-19, S. 32-33 hi., S. 36:** mediamor; **S. 4-5 re.:** mediamor basierend auf Prognos, Öko-Institut, Wuppertal Institut (2021); **S. 6-7 o., o.re., S. 12-13 re., S. 22-23 o., S. 27 u.:** Adobe Stock; **S. 6-7 Icons:** Flaticon.com, **u.re.:** EUCC-D basierend auf Bericht des EEG Bund-Länder-Kooperationsausschusses – Berichtsjahr 2022; **S. 8 mi., S. 28-29 o.li.:** Fraunhofer IWES; **S. 9 o., u. re.:** BSH; **S. 10-11 u.re.:** Fraunhofer

IWES/Andrea Schreiber; **S. 12-13 o.:** Projektträger Jülich im Auftrag des BMBF, **u. li.:** Philipp Rentschler/KIT; **S. 16-17 o.re.:** Laura Schmidt/Hereon, **li., re.:** Nardine Stybel; **S. 18-19** Konzeption: Stiftung Offshore-Windenergie; **S. 21: o.:** UN Department of Global Communications; **S. 22-23 re.:** WWF; **S. 24-25 o.:** Copernicus Sentinel data (2017), modifiziert und verarbeitet durch ESA und Hereon; **S. 26 o.:** C. Stadler/Bwag (CC-BY-SA-4.0); **S. 27 o.:** Eilert Voß; **S. 30-31 u.re.:** Hagedorn et al. (2021) in Anlehnung an Liebreich (2021), CC BY 4.0, creativecommons.org/licenses/by/4.0/; **S. 32-33 re.u.:** Principle Power/Ocean Winds, **mi.re.:** SolarDuck; **S. 34-35 hi.:** pixabay, **o.li.:** Fraunhofer IFAM, Icons8; **S. 36 u.li.:** Greenfields ID/Martin Hoss

Grüne Zukunft in Europa

Multifunktionale Tankstelle für Schiffe

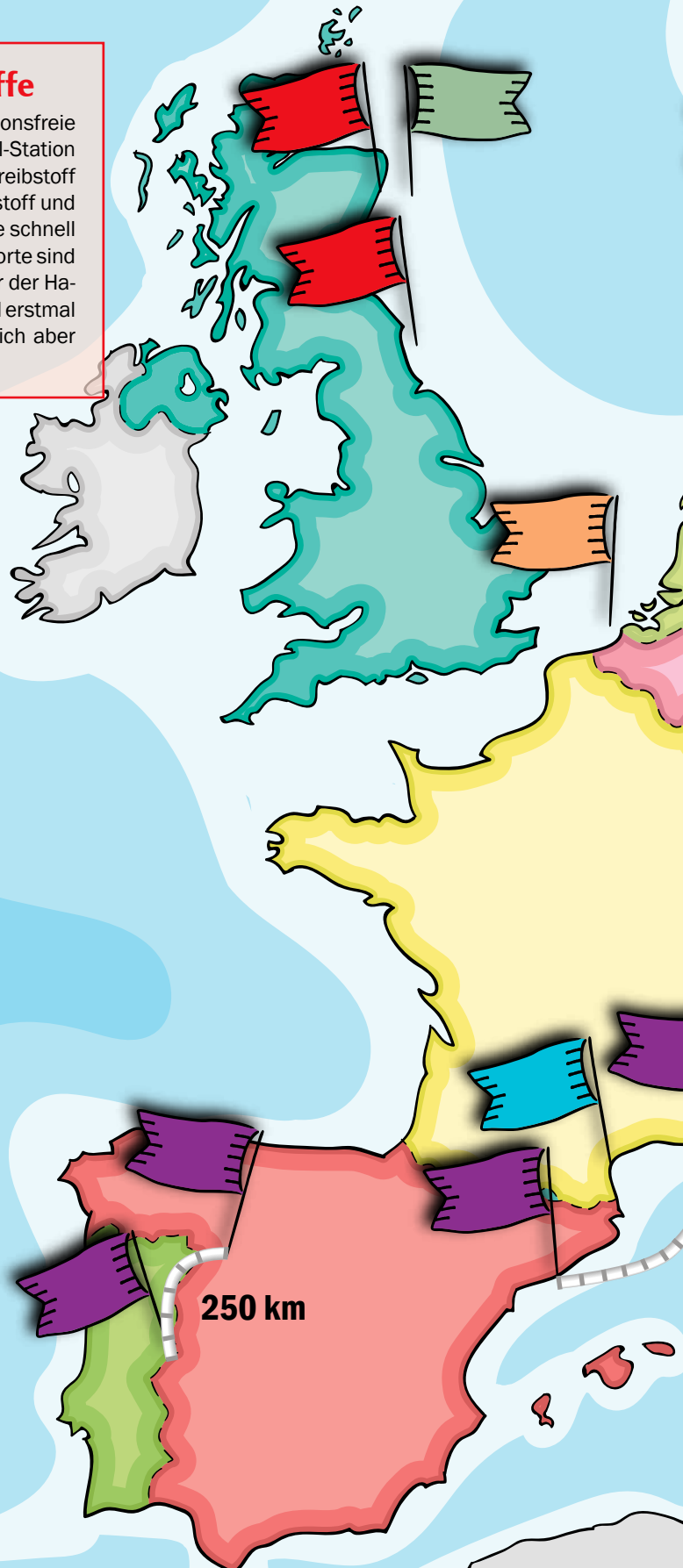
2022 startete ein Projekt in Loughborough, England für die emissionsfreie Betankung kleinerer Schiffe. Dafür wird eine sogenannte Multi-Fuel-Station entwickelt, die drei verschiedene Arten von emissionsfreiem Treibstoff liefert: flüssiger Wasserstoff, komprimierter gasförmiger Wasserstoff und Strom. Die Station ist als mobile Tankstelle konzipiert, so dass sie schnell am jeweiligen Ort einsatzbereit sein kann. Mögliche erste Einsatzorte sind der Hafen von Tyne (der mit dem Projekt zusammenarbeitet) oder der Hafen von Aberdeen. Bis März 2025 soll die Station betriebsfähig und erstmal für Schiffe unter 24 m Länge nutzbar sein. Das System lässt sich aber leicht an Schiffsgröße und Hafeninfrastruktur anpassen.

Schwimmende Windräder

Vor der Nord-Ost-Küste Schottlands befindet sich der, zum Zeitpunkt der Inbetriebnahme, größte und leistungsstärkste schwimmende Windpark: die Kincardine Offshore Windfarm. In 15 km Entfernung von der Hafenstadt Aberdeen stehen seit Oktober 2021 sechs Windräder auf Plattformen, die in 60-80 m tiefem Wasser schwimmen. Gemeinsam haben sie eine Leistung von 50 MW und erzeugen jährlich mehr als 200 GWh Ökostrom. Auf See schwimmende Anlagen können anders als Anlagen auf festem Fundament in größerer Entfernung von der Küste und in tieferen Gewässern arbeiten – und damit an Standorten mit stärkerem und stetigerem Wind. Damit vergrößert sich auch die potentielle Fläche, die für die Erzeugung von Windenergie zur Verfügung steht um ein Vielfaches.

Wasserstoff-Pipelines sollen Europa versorgen

Ab 2030 sollen jährlich 2 Mio. t Wasserstoff durch Pipelines zwischen Portugal, Spanien, Frankreich und Deutschland fließen. Das Projekt H₂MED wurde im Oktober 2022 angekündigt, um die Energieabhängigkeit Europas zu verringern. Der Bau der zwei Pipelines mit einer Gesamtlänge von ca. 700 km soll Mitte 2025 beginnen. Portugal und Spanien werden mit einer etwa 250 km langen Leitung verbunden. Mit etwa 450 km ist die zweite geplante Wasserstoffleitung zwischen Barcelona und Marseille fast doppelt so lang und verläuft unter dem Mittelmeer in einer Tiefe von bis zu 2.600 m. Diese Unterwasserpipeline kostet allein 2,5 Mrd. Euro. Von Marseille soll der Wasserstoff dann weiter nach Deutschland und in andere Industrieregionen fließen.



Energie-Inseln der Zukunft

Für eine effiziente Nutzung regenerativer Energien und die Versorgung von mindestens 5 Mio. Haushalten will Dänemark zwei Energie-Inseln in Nord- und Ostsee entstehen lassen. Auf ihnen soll die produzierte Energie der umgebenden Windparks gesammelt und verteilt werden. In der Nordsee, 80 km vor der Küste der Halbinsel Jütland, wird dafür eine etwa 12 ha große, künstliche Insel entstehen. Sie soll eine Mindestkapazität von 3 GW haben und erweiterbar auf 10 GW Offshore-Windkraft sein. In der Ostsee soll die dänische Insel Bornholm als Energie-Drehscheibe dienen und bis zu 3 GW Strom erzeugen. Von dort aus soll auch Deutschland über ein 470 km langes Netzkabel versorgt werden. Zusätzlich ist die Erzeugung von Grünem Wasserstoff und anderen PtX-Produkten geplant.

Solarpark auf dem Meer

Merganser, ein schwimmendes Offshore-Solkraftwerk mit Energiespeichern, soll mitten in einem Offshore-Windpark 2026 vor der Küste von Ostende in Betrieb gehen. RWE investierte 2023 in dieses Pilotprojekt des niederländisch-norwegischen Unternehmens SolarDuck. Zusammen sollen Möglichkeiten für eine schnellere Kommerzialisierung der Technologie ausgelotet und Einblicke in Installation und Betrieb in rauen Bedingungen erfasst werden. Die Plattform schwebt wie ein Teppich mehrere Meter über dem Wasser. So bleiben elektrische Komponenten trocken und stabil. Langlebigkeit, sicherer Betrieb und Wartung werden gewährleistet. Gerade in Ländern mit geringeren Windgeschwindigkeiten aber hoher Sonneneinstrahlung könnte die Offshore-Anwendung den Flächendruck an Land verringern.



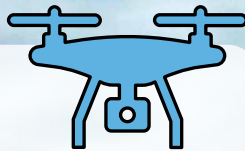
Schwimmende Windkraftanlagen im Naturpark

Das Projekt Éoliennes Flottantes du Golfe du Lion wird vor der Küste von Perpignan im französischen Mittelmeer entwickelt und umfasst 3 Windturbinen (30 MW), die in einer Wassertiefe von 70 m installiert werden. Das von Ocean Winds und der Banque des Territoires (Caisse des Dépôts) unterstützte Projekt soll ab 2024 den Strombedarf von 50.000 Menschen pro Jahr decken. Zum ersten Mal werden die schwimmenden Plattformen, die auf der WindFloat®-Technologie von Principle Power basieren, innerhalb eines Meeresschutzgebiets installiert. Umweltverträglichkeitsprüfungen sind wesentlicher Bestandteil des Projekts, ebenso eine Boje, die mit „BioHuts“ des lokalen Unternehmens Ecocean ausgestattet ist. Die Boje (Biodiversity Observation Buoy – BoB) dient der Beobachtung und Förderung der Artenvielfalt, die sich um und auf den schwimmenden Metallstrukturen entwickelt.



450 km

Unbemannte Wartung von Windparks



Mit dem Ausbau der Offshore-Windenergie steigen die Inspektions- und Wartungsarbeiten. Zukünftig könnten unbemannte Luftfahrtsysteme (Unmanned Aircraft System, kurz UAS) diese Aufgaben übernehmen, um Kosten und Risiken für Menschen zu reduzieren. Außerdem könnten Transport-UAS kleinere Ersatzteile bereitstellen. Um die Entwicklung der UAS zu beschleunigen, hat das Fraunhofer-Institut für Fertigungstechnik und Angewandte Materialforschung (IFAM) den „Offshore Drohnen Campus Cuxhaven“ geschaffen. Dabei handelt es sich um eine Test- und Entwicklungsinfrastruktur, in der Erfahrungen und Kompetenzen für den

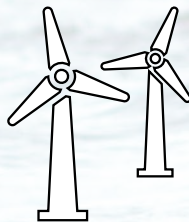
Offshore-Betrieb von UAS gebündelt werden. Offen für Forschung und Industrie, werden hier z. B. Fähigkeiten der UAS, Seewettertauglichkeit oder Flugbetriebsprozesse zur sicheren Integration in den heutigen Verkehr vorangetrieben.



www.ifam.fraunhofer.de 🔍 Offshore UAS

Auswirkungen von Korrosionsschutz bei Windkraftanlagen

Das Interreg-Nordseeprojekt „Anemoi“ untersucht die stofflichen Emissionen von Offshore-Windparks und ihre möglichen Auswirkungen auf marine Ökosysteme und Aquakulturen. Um Windkraftanlagen vor den in der Meeresumwelt herrschenden rauen Bedingungen zu schützen, finden verschiedene Beschichtungs- und Korrosionsschutzsysteme Anwendung. Diese potentielle stoffliche Verschmutzung in Form von gelösten und partikulären Schadstoffen ist noch weitgehend unbekannt. Im Projekt werden die stofflichen Emissionen der Anlagen erfasst und ihre Auswirkungen auf das marine Ökosystem bewertet. Es werden Lösungen zur Verringerung der stofflichen Emissionen sowie Vorschläge für einheitliche Regularien erarbeitet. Zusätzlich sollen die möglichen Auswirkungen auf die Aquakultur in der Umgebung von Windparks untersucht werden.



www.interregnorthsea.eu/anemoi

Windparks als Algenzuchtstationen?

Im Rahmen des Projekts „Klimafreundliche Offshore-Produktion von Algenbiomasse“ der Universitäten Rostock und Kiel sowie des GEOMAR Kiel, wird an einer Testanlage in der Eckernförder Bucht mit verschiedenen Floßstrukturen untersucht, ob und wie sich Blasentang an den Fundamenten von Offshore-Windenergieanlagen züchten lässt. Diese Fundamente stellen aus Sicht des Meeresschutzökologischer problematische Strukturen dar, sind aber für eine nachhaltige Energieerzeugung notwendig. Mit dem Projekt soll somit eine Doppelnutzung von bereits in der Ostsee gebauten Offshore-Windenergieanlagen erreicht werden. Gelingt es, kann die Wasserqualität verbessert werden, denn der Blasentang entzieht der Ostsee beim Wachsen Nährstoffe. Nach der Ernte soll er über eine Wertschöpfungskette für kosmetische Rohstoffe und Biogas sowie der Gärrest als mineralienreicher Düngersatz in der Landwirtschaft genutzt werden.



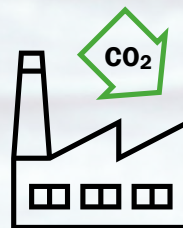
www.uni-rostock.de 🔍 Blasentang

Mit grünem Stahl Emissionen reduzieren

Das Großprojekt „Clean Hydrogen Coastline“ soll dazu beitragen, die Wasserstoffwirtschaft in der Region Nordwest auf- und auszubauen. Dabei kommen mehrere Teilprojekte für die Erzeugung, den Transport, die Speicherung und den Einsatz von Grünem Wasserstoff in der Industrie und Mobilität zum Tragen. Bis zum Jahr 2027 sollen so bis zu 400 MW Elektrolysekapazität aufgebaut werden. Im Mittelpunkt stehen die Bremer Stahl- und Kraftwerke. Durch die Verwendung von

Grünem Wasserstoff für die Stahlproduktion könnten bspw. fast 60% der CO₂-Emissionen eingespart werden. Das Großprojekt ist eins der bundesweit 62 Wasserstoff-Großprojekte (sog. Wasserstoff-IPCEI – Important Projects of Common

European Interest), die staatlich gefördert werden sollen und dabei helfen, die Nationale Wasserstoffstrategie umzusetzen.

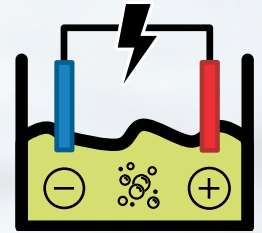


www.clean-hydrogen-coastline.de/de/

Aufbau einer regionalen Wasserstoffwirtschaft im industriellen Maßstab

Ziel des Reallabors WESTKÜSTE 100 ist es, mit erneuerbaren Energien eine Wasserstoffwirtschaft unter realen Bedingungen aufzubauen. Innovative Unternehmen aus Industrie, Entwicklung und Forschung entwickeln dazu gemeinsam sektorenübergreifend, geschlossene Wertschöpfungsketten. Herzstück des Forschungsprojekts ist eine 30-MW-Elektrolyseanlage, die Grünen

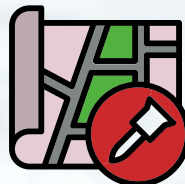
Wasserstoff primär für die Raffinerieprozesse in Heide produziert, der aber auch für eine Tankstelle und zur Beimischung ins örtliche Gasnetz zur Verfügung stehen wird. Als starke Windenergie-Region mit ausgezeichneten geologischen Speicherbedingungen bietet die Westküste Schleswig-Holsteins ideale Voraussetzungen.



www.westkueste100.de

Roadmap für den Ostseeraum

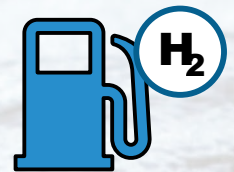
Um den Ausbau der Offshore-Windenergie und die Wasserstoffproduktion im Ostseeraum voranzutreiben, wird im Projekt BOWE2H die transnationale Zusammenarbeit der Anrainer gefördert. Fachleute aus Forschung, Industrie, Stromnetz und Politik tauschen sich bei Veranstaltungen und Workshops aus. Die daraus gewonnenen Erkenntnisse werden in eine Roadmap überführt. Die Roadmap zeigt das Entwicklungspotential für den Ostseeraum auf, illustriert Hindernisse, die der Erschließung dieses Potentials entgegenstehen und zeigt Maßnahmen und Lösungen auf, um einen klimaneutralen Energiesektor im Ostseeraum zu erreichen.



www.interreg-baltic.eu 🔍 BOWE2H

Drehscheibe für erneuerbare Energien

Der Tiefseewasserhafen und Kavernenspeicher in Wilhelmshaven bietet den optimalen Standort für den Import und die Produktion von Grünem Wasserstoff. Um den Import im Großmaßstab zu ermöglichen, soll im Rahmen der Initiative „Energy-Hub Port of Wilhelmshaven“ ein Wasserstoff-Terminal errichtet werden. Es soll sechs Schiffs Liegeplätze und zehn Tanks mit einer Speicherkapazität von 22 Mio. m³ umfassen. Der Wasserstoff soll in Form eines Wasserstoff-Derivats, wie Ammoniak, importiert und vor Ort wieder zu Wasserstoff umgewandelt werden. So könnte er in das deutsche Wasserstoff-Pipeline-Netzwerk eingespeist und auch unmittelbar im Hafen genutzt werden. Der Betriebsbeginn ist für 2026 geplant. Ab 2030 soll die Leistung auf bis zu 250 TWh gesteigert werden. Damit sollen 56% des deutschen Wasserstoffbedarfs gedeckt werden.



www.energyhub-wilhelmshaven.de

Hamburger Hafen setzt auf Wasserstoff

Beispielhaft für die Energiewende in der Hafenvirtschaft steht das Innovationscluster „Clean Port & Logistics“ der Hamburger Hafen und Logistik AG (HHLA), welches nachhaltige Lösungen für die Hafenlogistik testet. Gemeinsam mit Partnerunternehmen entwickelt die HHLA Lösungen, um wasserstoffbetriebene Schwerlastfahrzeuge und Terminalgeräte in kurzer Zeit zur Marktreife zu bringen und die für den Einsatz notwendigen Maßnahmen vorzubereiten. Die entwickelten Konzepte für Betrieb, Sicherheit, Reparatur, Wartung, Betankung und Versorgung werden dazu im praktischen Betrieb erprobt und optimiert. Auch Ausbildungs- und Schulungskonzepte werden erarbeitet. Auf dem Testfeld am HHLA Container Terminal Tollerort in Hamburg wird außerdem eine Wasserstoff-Tankstelle in Betrieb genommen. Ziel des Innovationsclusters ist es, die Emissionen im Hafenumschlag und in den assoziierten Logistikketten zu senken. Die Teilnahme steht grundsätzlich allen interessierten Unternehmen offen.



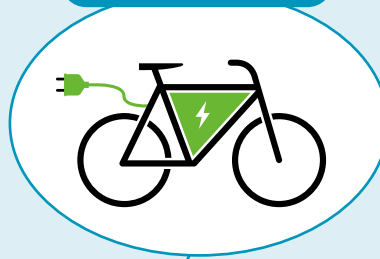
www.hydrogenports.org

Gewusst? Energieverbrauch im Alltag

1-2 x 30°C waschen



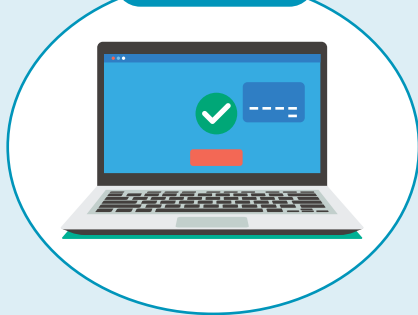
80-120 km radeln



66 x laden



50 h nutzen



7 h fernsehen



1 kWh

ca. 3.333 x suchen



5,5 km fahren



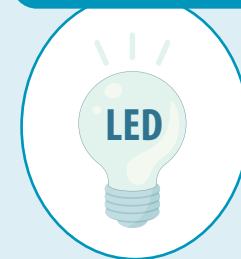
70 Tassen kochen



10 h leuchten



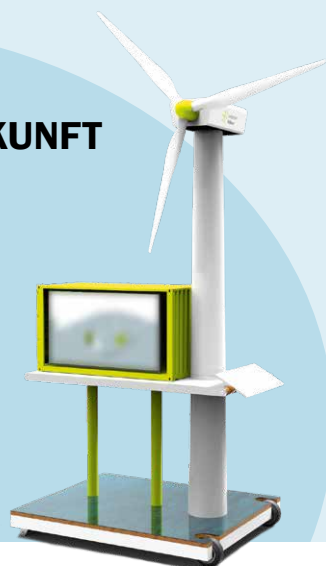
100 h leuchten



MEER • GRÜNE • ZUKUNFT

Mehr zu Grünem Wasserstoff in
Küstenregionen in unserer
Wanderausstellung

www.eucc-d.de



Rebound-Effekt

Effizienzsteigerungen senken oft die Kosten für Produkte oder Dienstleistungen wie z. B. bei der LED-Lampe. Dies kann dazu führen, dass sich das Verhalten der Nutzenden ändert: Sie verbrauchen mehr und die ursprünglichen Einsparungen werden teilweise wieder aufgehoben.

Für die Unterstützung und
Realisierung dieses
Magazins danken wir:



GEFÖRDERT VOM

ISBN 978-3-939206-30-9
ISSN 2190-5754