Mission Meer-Wasserstoff

Grüner Wasserstoff lässt sich direkt auf hoher See erzeugen – theoretisch. Praktisch klafft zwischen Vision und Wirklichkeit der technischen Umsetzung noch eine große Lücke. Das zeigt auch ein Megaprojekt vor Helgoland.

von KATJA MARIA ENGEL





Konzept für die Nordsee: Elektrolyseure, die wie Baumhäuser an Windkraftanlagen hängen, gewinnen Wasserstoff mit Windstrom.

Bei stürmischem Wind könnten Windkraftanlagen besonders viel erneuerbare Energie ernten, doch gerade dann stehen die meisten Windräder still. Grund dafür ist nicht etwa, dass die Anlagen durch die wütenden Böen zerstört werden könnten. Stattdessen schalten die Netzbetreiber die Anlagen ab, um eine Überlastung des Stromnetzes zu vermeiden. Eine weit über dem üblichen Volumen liegende Menge an Strom könnte das Netz so kurzfristig nicht aufnehmen.

Wären die Rotoren dagegen Teil von Offshore-Windkraftanlagen auf dem offenen Meer und würden diese statt elektrischem Strom Wasserstoff produzieren, könnten sie sich auch bei starkem Wind weiterdrehen, sogar bei einem Sturm vom Kaliber des Orkantiefs „Ylenia“, das Mitte Februar vor allem über den Norden Deutschlands hinweggefegt ist.

Neue Pläne sehen genau das vor: Windräder sollen künftig abgekoppelt vom Stromnetz auf dem Meer Wasserstoff herstellen – und dann auch bei großer Windstärke laufen. Vereinfacht gesagt: „Die Anlagen zur Wasserstoffproduktion nehmen dann alles mit, was der Wind liefert“, sagt Jan Wenske, Technischer Direktor des Fraunhofer-Instituts für Windenergiesysteme IWES in Bremerhaven. Überhaupt könne das gesamte Design von Windkraftanlagen neu gedacht werden, wenn die Restriktionen für die Stromversorgung über das Netz nicht beachten werden müssten. Auch einen teuren Netzanschluss bräuchten die Anlagen dann nicht. Und das offene Meer bietet weitere Vorteile: es gibt auf hoher See keine Häuser mit Abstandsregeln zu den Rotoren, viel und stetig wehenden Wind sowie reichlich Wasser als Ausgangsprodukt für die Gewinnung von Wasserstoff. Allerdings: Viele technische und rechtliche Fragen sind noch ungeklärt.

Das Riesenprojekt in der Deutschen Bucht

Ob die Vision vom Wasserstoff aus Windenergie in naher Zukunft Wirklichkeit werden kann, wird ein Projekt in der Nordsee zeigen: In der Deutschen Bucht nicht weit vor der Insel Helgoland könnte schon in den nächsten Jahren eine der weltweit größten Anlagen zur Wasserstoff-Erzeugung auf See entstehen. Motor hinter dieser Idee ist der Förderverein Aquaventus mit Sitz auf Helgoland. Nach Überzeugung seiner Mitglieder ist in dem ausgewählten Gebiet Platz für einen Windpark mit einer Leistung von 10 Gigawatt, der rund eine Million Tonnen Wasserstoff jährlich erzeugen könnte. Akteure in dem 2020 gegründeten Verein sind mehr als 90 Unternehmen aus der Energiebranche, darunter EnBW, RWE und E.ON, Ölkonzerne wie Avia, Shell und Total sowie einige Finanzdienstleister.

Schon ab 2035, so die Vorstellung des Vereins, könnte diese „Gigafactory“ für Wasserstoff in der

Nordsee den Betrieb aufnehmen. Ihr geplanter Output von einer Million Tonnen Wasserstoff entspricht etwa der Menge des Gases, die die chemische Industrie in Deutschland pro Jahr verbraucht, um daraus unter anderem Dünger, Pflanzenschutzmittel und eine Vielzahl von Grundchemikalien zu produzieren. Bisher bilden die Grundlage dafür fossile Rohstoffe wie Erdgas oder Kohle, aus denen „grauer“ oder „schwarzer“ Wasserstoff gewonnen wird (siehe S. XX, „Die Wasserstoff-Farbpalette“). Künftig könnten Windenergie und Meerwasser diese Aufgabe übernehmen – und „grünen“ Wasserstoff liefern.

Die Wasserstoff-Baumhäuser

Wie so eine Fabrik für grünen Wasserstoff auf hoher See aussehen könnte, zeigt Aquaventus in einem animierten Video. Alles darin ist groß, angefangen bei den Türmen der Offshore-Windräder mit etlichen Megawatt installierter Leistung. Sie sind fast so hoch wie der Eiffelturm – und erzeugen schon mit einer halben Umdrehung ihrer Rotoren so viel elektrischen Strom wie ein durchschnittlicher Haushalt an einem Tag verbraucht. Die sogenannten Elektrolyseure – die Anlagen zum Spalten von Wasser in seine chemischen Bestandteile – befinden sich ähnlich wie Baumhäuser direkt an den Türmen



Die Insel Helgoland ist auf dem Weg zu einer Musterregion für saubere Energie.

der Windräder oder stehen in Stockwerken übereinander gestapelt auf einer Sammelplattform. Sie nutzen die von den mächtigen Windkraftanlagen gelieferte elektrische Energie, um Wasser in Sauerstoff und Wasserstoff zu zerlegen. Der auf diese Weise auf See produzierte Wasserstoff muss dann nur noch an Land transportiert werden – per Schiff oder Pipeline.

Nach den Plänen von Aquaventus soll ein Teil des grünen Wasserstoffs zum nahegelegenen Hafen von Helgoland gelangen und dort helfen, das Urlaubsrefugium in der Nordsee CO_2-neutral zu machen. Der Großteil des grünen Kraftstoffs soll aber bis an die Elbmündung transportiert und an Tankstellen, Industriebetriebe und Raffinerien geliefert werden.

Hoch gepokert

Das Konzept klingt vielversprechend – doch ist es umsetzbar? Offshore-Windkraftanlagen zur Stromerzeugung sind zwar eine etablierte Technik, aber bislang wird nirgendwo Wasserstoff in großem, industriellem Maßstab aus der ständig schwankenden Windenergie produziert. Erste, vergleichsweise kleine Pilotanlagen sollen im Spätsommer 2022 in Betrieb gehen, darunter eine schwimmende Meerwasser-Elektrolyseanlage vor der französischen Atlantikküste bei Le Croisic im Bezirk Nantes. Andere Projekte reichen weiter in die Zukunft.

Auch auf Helgoland wird wohl erst 2026 der erste mit der Energie aus zwei Windkraftanlagen erzeugte Wasserstoff ankommen. Zwei Jahre später sollen dafür immerhin 280 Megawatt installierte Leistung nutzbar sein. Doch auch das ist nur ein kleiner Schritt hin zu den visionären 10 Gigawatt Windkraftleistung für die Wasserstoff-Produktion in Massen.

Vor der niederländischen Nordseeküste wollen der Energiekonzern RWE und eine Ölförderfirma in einem Projekt namens „H2opZee“ bis 2030 Elektrolyseure mit einer Leistungskapazität bis zu 500 Megawatt aufbauen. Die Pipeline, um den damit erzeugten Wasserstoff an Land zu bringen, ist bereits verlegt. Jedoch gibt es noch keine Machbarkeitsstudie für das Großprojekt. Sie soll erst in diesem Jahr erstellt werden.

Bislang habe man noch nie ernsthaft versucht, Wasserstoff auf See zu produzieren, sagt Andreas Reuter, Co-Direktor des Fraunhofer IWES. Er hält die Pläne von Aquaventus für „extrem ambitioniert“ und weiß, wovon er spricht. Er forscht mit seinem Team in Bremerhaven zu grünem Wasserstoff aus Wind und Meerwasser. Sein Projekt „H2Mare“ startete Mitte 2021 und ist eines von drei Wasserstoff-Leitprojekten, gefördert von der Bundesregierung, mit denen die Techniken für die Wasserstoff-Erzeugung auf dem Meer verbessert werden sollen. Auch das Ziel der Fraunhofer-Forscher ist ambitioniert:



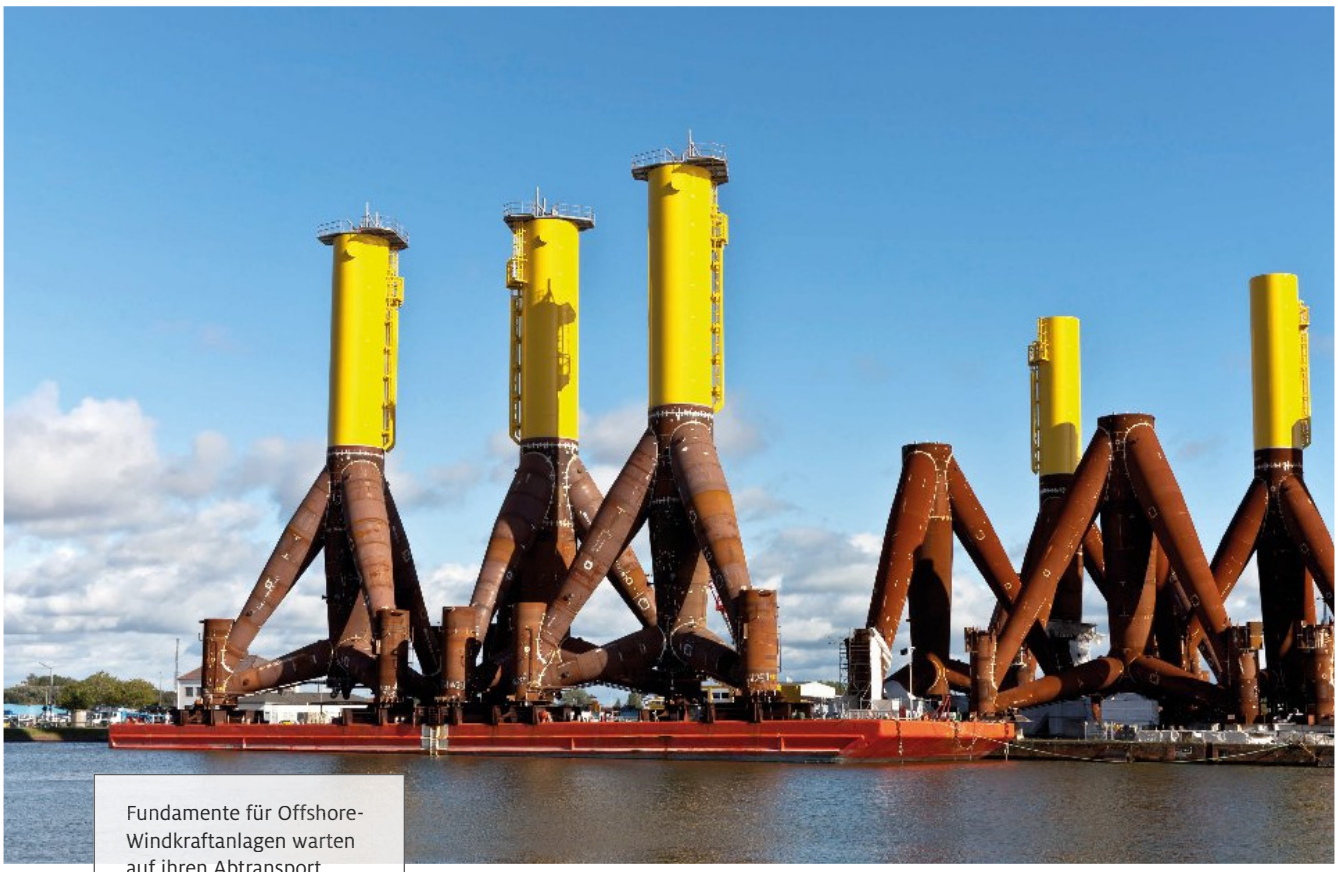
In Bremerhaven planen die Forscher eine Testhalle für Offshore-Anlagen.

Sie wollen bis 2025 Elektrolyseure und Wasserstoff-Speicher entwickeln, die in Offshore-Windparks mit Windstrom fast völlig autark arbeiten können. Doch noch feilt das IWES-Team an den Grundlagen für eine wirtschaftliche Produktion von Wasserstoff aus Offshore-Windenergie.

Das entscheidende Plus an Wind

Moderne Offshore-Windräder erreichen auf dem Meer eine Auslastung von 40 bis 50 Prozent Volllaststunden – das ist fast doppelt so viel wie an Land. Der Nachteil ist jedoch, dass die Windstärke auf See stark schwankt. Das passt schlecht zu den heute verfügbaren Elektrolyseuren, die auf eine möglichst konstante Last ausgelegt sind. Ein besseres Zusammenspiel der Komponenten würde die Gesamtauslastung deutlich erhöhen, sind die Fraunhofer-Forscher überzeugt. Daher müssen die Leistungsprofile der Windkraftanlagen und der Wasserstoff-Erzeuger komplett neu aufeinander abgestimmt werden – eine Aufgabe, die Andreas Reuter zusammen mit seinem Team lösen will.

Dazu haben die Forscher noch etliche Fragen zu klären: „Wie lege ich die Leistungen der Elektrolyseure so aus, dass sie unter den Bedingungen auf See optimal arbeiten?“, nennt Reuter ein Beispiel. Andere sind: Wie reagieren die Membranen des Elektrolyseurs auf die schwankende Produktion, wie altern sie, wie zuverlässig sind sie, wenn der Strom auch mal weg ist? Oder auch: Wie stark müssen die Anlagen gekühlt werden, damit sie möglichst wenig verschleißen?



Fundamente für Offshore-Windkraftanlagen warten auf ihren Abtransport.

„Es gibt noch nicht einen einzigen Elektrolyseur auf See“, stellt IWES-Direktor Jan Wenske fest. „Beim Bau von Elektrolyseuren existiert keinerlei Offshore-Erfahrung.“ Die Fraunhofer-Forscher in Bremerhaven planen gerade eher eine Art „Near-Shore“-Testfeld in der Halle des ehemaligen Regionalflughafens in Bremerhaven. Immerhin werden die Elektrolyseure dort nur wenige Hundert Meter vom Meerwasser entfernt stehen. Sie erhalten auch eine Entsalzungsanlage und werden mit Windstrom betrieben. Doch Wenske wünscht sich ein Testfeld für Elektrolyseure, um sie für den Einsatz im Meerwasser zu optimieren. Dazu will er solche Anlagen künftig in den Hafen setzten und mobil auf einem Ponton schwimmen lassen, bevor sie auf eine Plattform auf hoher See umziehen dürfen. Das wären dann die ersten echten Praxistests in Deutschland. Sie sollen 2023 starten.

Allerdings: Noch muss die Halle genügen. Sie ist für ihren Einsatz längst gefegt, doch auch hier zeigt sich eine Engstelle: die Lieferzeit für einen Elektrolyseur mit mehreren Megawatt Leistung liegt bei rund anderthalb Jahren. Mitte 2021 haben die Fraunhofer Forscher ihre Bestellung aufgegeben – noch bis Ende 2022 müssen sie warten, bis die ersten Bauteile in Bremerhaven eintreffen.

Die Anlage als Ganzes überdenken

Neben einer reinen Optimierung des Zusammenwirkens von Windrad und Elektrolyseur, steht auch der Gedanke im Raum, das Design der Windkraftanlage grundlegend zu überarbeiten. Der Turm, die Rotorblätter und das Fundament einer bisher auf das Stromnetz ausgerichteten Anlage müssen für eine Gewinnung von Wasserstoff möglicherweise vollkommen neu konzipiert werden. „Vielleicht hat das ideale Windrad den Rotor von einer 14 Megawatt-Anlage – aber die Turbine einer 10 Megawatt-Anlage“, spekuliert Andreas Reuter. Darüber hinaus könnte es sinnvoll sein, das Fundament einer neuen Bauart von Windkraftanlagen völlig anders als bislang üblich auszulegen.

Ekaitz Zulueta-Guerrero widmet sich einer dieser Herausforderungen. Die Ingenieurin forscht an der Universität des Baskenlandes in Bilbao daran, die Aerodynamik von Windrädern, die mit Elektrolyseuren kombiniert sind, zu verbessern. Dazu testet sie Bauteile, mit denen sich die Strömung durch die Turbinen steuern lässt: etwa einen Wirbelgenerator – ein künstliches Störelement, das die Luftströmung gezielt verändert. Getestet werden in Bilbao auch sogenannte Gurney-Klappen. Diese zusätzlich an den Rotorblättern angebrachten, Laschen ähneln-



Bislang noch eine Vision: Wasserstoff-Anlage als Herz eines Meeres-Windparks.

den Bauteile stabilisieren die Strömung, wodurch deren Schubkraft und damit die Aerodynamik in der Turbine verbessert wird. Anfang 2022 berichtete die spanische Forscherin in einem Fachjournal, dass eine mit diesen Klappen ausgerüstete 5 Megawatt starke Turbine rund drei Prozent mehr Energie produzieren kann.

Die Krux mit dem Salzwasser

Dass draußen auf See das Wasser zur Gewinnung von Wasserstoff im Überfluss vorhanden ist, scheint ideal – doch es handelt sich um Salzwasser. Und Elektrolyseure funktionieren am besten mit destilliertem, salzarmem Wasser. Aus diesem Grund müssen zusätzlich Meerwasser-Entsalzungsanlagen an den Türmen der Windkraftanlagen angebracht werden: ein Posten, der in die Investitionskosten für die Anlage eingeht und auch während des Betriebs drei bis fünf Prozent der Windenergie abzweigt. Das hat eine Schätzung durch den Aquaventus-Verein ergeben.

Doch laut Peter Strasser besteht Hoffnung, dass diese Verluste künftig vermeidbar sein werden. Der Leiter der Forschungsgruppe Technische Chemie am Institut für Chemie der Technischen Universität Berlin arbeitet daran, die zusätzliche Meerwasseraufbereitung einzusparen und eine Spaltung von Wasser in Wasserstoff und Sauerstoff auch ohne Entsalzung und Reinigung möglich zu machen. Dazu entwickelt der Experte für Elektrochemie und -katalyse Elektrolyseure, die direkt mit Meerwasser oder nur grob gereinigtem Wasser arbeiten können. Was im Labor bereits funktioniert, will Strasser demnächst auch unter realitätsnahen Bedingungen testen. Bislang sei das Thema Wasserqualität in der Elektrolyseforschung „weitgehend vernachlässigt worden“, kritisiert er.

Doch das Salz im Wasser ist jedoch noch nicht das ganze Problem, auch die salzhaltige Luft setzt den Anlagen zu. Die salzige Gischt greift viele in den Elektrolyseeinheiten enthaltene Materialien an, lässt sie korrodieren oder verspröden. Zudem müssen die Elektrolyseure noch einer Bedrohung standhalten: filmartigen Ablagerungen von Mikroorganismen, dem sogenannten Biofouling.

Schutz vor der rauen Umgebung

Eine Lösung schlägt Marius Holst vor. Er ist Projektleiter am Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE in Freiburg und entwickelt gemeinsam mit Industriepartnern ein Konzept für eine Offshore-Wasserstoff-Produktion auf einer Plattform.



Die Fabrik für grünen Wasserstoff ruht fest auf dem Meeresgrund.

Sein Lösungskonzept sieht eine speziell eingehauste, also baulich gegen die Umgebung abgeschirmte, Anlage vor, in der ein Luftmanagement Elektrolyseure, Pumpen, Gasreinigung und die Leistungselektronik vor schädlichen Umwelteinflüssen schützt.

Allerdings: Ganz wasserdicht ist das Konzept nicht, merkt Mark Richter dazu an. Denn irgendwann muss die Tür zu der Einrichtung geöffnet oder die Anlage gewartet werden. Richter leitet das Geschäftsfeld Klimaneutraler Fabrikbetrieb des Fraunhofer-Instituts für Werkzeugmaschinen und Umformtechnik IWU in Chemnitz. Der Elektroingenieur und sein Team machen Komponenten mit geeigneten Materialen fit für den gezielten Einsatz im Offshore-Bereich. Für die maritime Wasserstoffgewinnung arbeiten die Wissenschaftler daran, neue Bipolarplatten an die harschen Bedingungen auf dem offenen Meer anzupassen. Diese Platten sind die Kernelemente der sogenannten Stacks, in denen der Wasserstoff erzeugt wird.

Aufwendige Anpassung der Technik

Mark Richter denkt an ein komplettes „See-Paket“, das nicht nur neue Komponenten berücksichtigt, sondern auch andere Arbeitsabläufe: den Transport zum Windpark, Montage, Reparaturen bis hin zu einem späteren Austausch defekter Bauteile auf hoher See. Dort herrscht dann nicht nur ein raues Klima, es gibt auch keinen Stapler oder Kran. Zwei Jahre hat der Chemnitzer Forscher mit seinem Team noch Zeit für die Anpassung der Technik an die speziellen Hochsee-Bedingungen. Das ist eine „sehr sportliche Aufgabe“, meint Richter.

Nicht nur technische Probleme sind noch zu lösen, wenn es um eine großangelegte Produktion von Wasserstoff auf dem Meer geht. Es fehlt auch noch der nötige Rechtsrahmen, etwa was die Ausweisung von Flächen oder die Genehmigungsverfahren für den Bau der Anlagen betrifft. Erst im Januar 2022 hat das Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrografie (BSH) einen neuen Flächennutzungsplan vorgelegt, der eine Nutzung von insgesamt 57,5 Gigawatt installierter Windenergieleistung in deutschen Meeresgewässern vorsieht – allerdings nur für die Stromerzeugung. Politisch verkündet wurden Ausbauziele in der deutschen Nordsee von 30 Gigawatt bis 2030, 40 Gigawatt bis 2035 und 70 Gigawatt bis 2045.

Anfang 2022 hat das BSH damit begonnen, Flächen im Meer für zunächst drei Gigawatt installierter Windkraftleistung kartieren zu lassen. Die Produktion von Wasserstoff ist dabei nur in winzigen

Mengen vorgesehen. Mitte 2022 soll eine erste Fläche für 300 Megawatt installierter Leistung ausgeschrieben werden. Es ist eine Art Restfläche, die sich nicht für die Stromgewinnung eignet.

Es mangelt an einer Strategie

Eine echte Strategie, um die Offshore-Wasserstoff-Produktion zu beflügeln, sei nicht erkennbar, kritisiert Fraunhofer-IWES-Direktor Jan Wenske. Technische Gründe für die aktuelle Vorgabepraxis gebe es nicht. Wenn es nicht erlaubt sei, auf den Flächen zur Stromerzeugung alternativ Wasserstoff zu erzeugen, sei das, als ob ein Landwirt nur Mohrrüben anbauen dürfe und keine Kartoffeln.

Fragt man Co-Direktor Andreas Reuter, welches das schwierigste Problem auf dem Weg zur Produktion von Wasserstoff aus Offshore-Windstrom sein wird, antwortet er spontan: „alles". Dennoch spürt er eine Aufbruchsstimmung und hofft auf einen „Boost" für diese Technologie. Wenn man es ernsthaft will, meint Reuter, kann es klappen. Gerade jetzt sei genug Druck auf dem Kessel, um die Vision zu realisieren.

Ein eindringlicher Appell

Druck kommt auch von ungewöhnlicher Seite. So meldet sich die Meeresforscherin Antje Boetius mit einem Appell zu Wort. Allzu lange dürfte es nicht dauern, sagt sie in einem Video-Statement auf der Internetseite von Aquaventus. „Die Zeit läuft uns weg", mahnt die Leiterin des Alfred-Wegener-Instituts, Helmholtz-Zentrum für Polar- und Meeresforschung (AWI). Die Nordsee biete Lösungen im Hinblick auf die Klimaerwärmung und die deshalb drängende Energiewende – nicht nur für die Erzeugung von elektrischem Strom, sondern auch für grünen Wasserstoff.



Ablagerungen von Meerestieren: Das Biofouling ist für Elektrolyseure ebenso schädlich wie für Schiffe.

Und nicht nur Deutschland hat sich in Sachen Wasserstoff aus dem Meer in Bewegung gesetzt. Japan beispielsweise setzt ebenfalls auf Offshore-Wasserstoff, um seine Klimaziele zu erreichen. Produziert werden soll er vor den Küsten Chinas. Forscher unter anderem der Harvard University in den USA und der chinesischen Universität Shandong schätzen, dass sich dort jährlich bis zu zwölf Petawattstunden an elektrischem Strom aus Windenergie gewinnen lassen – und etwa ab 2030 damit hergestellter Wasserstoff zu wettbewerbsfähigen Kosten an Japan geliefert werden kann. ■

Schutz für die Natur und das Meer

Bevor Karen Wiltshire die ökologischen Folgen des Ausbaus in der Nordsee benennt, spricht sie zuerst vom Klimawandel als „Monsterproblem", das auf uns zukomme. „Auch wenn das Meer wohl dafür herhalten muss", es stehe an erster Stelle, dass „wir jetzt etwas tun", sagt die engagierte Meeresforscherin und Direktorin des Standortes des Alfred-Wegener-Instituts auf Helgoland. Denn der Klimawandel erwärmt und verändert schon jetzt spürbar das Leben in der vergleichsweise flachen Nordsee. Die sei auch kein unberührtes Paradies, sondern eher ein urbanisiertes Meer. Sorgen macht sie sich um den künftigen Lärm. Zwar können die Fundamente für die Offshore-Windräder mit einem schallabsorbierenden Blasenteppich in den Boden gerammt werden, doch drehen sich die Riesenflügel erst einmal, wird deren Schall nach unten geleitet. Robben und Tümmler könnten fliehen, aber wie sich Kleintiere wie Krebse verhalten, ist noch unbekannt. „Noch wissen wir viel zu wenig über diese Veränderungen", sagt Wiltshire. Andererseits bewachsen die Sockel der Pylone, und für Fische gebe es dann hier viel zu holen. Es gebe halt noch viele offene Fragen, zum Beispiel wie sich die Strömungsverhältnisse im Wasser verändern. Allerdings: Wenn man wolle, könnte man ökologisch einiges besser machen, ist die Wissenschaftlerin überzeugt, auch zum Schutz der Vögel.

