



Regelmäßig sind die Wissenschaftler unterwegs, um die komplexen Vorgänge an der Meeresoberfläche besser zu verstehen.

# Spannende Oberfläche

Hauchdünn ist die Schicht zwischen Meer und Luft. Doch sie beeinflusst, wie Gase aus der Atmosphäre ins Wasser eintreten oder umgekehrt und wirkt sich so auf das Klima aus. Wie wichtig die Haut der Meere wirklich ist, untersuchen Oldenburger Forscher weltweit

Ein Sonntag am Jadebusen vor Wilhelmshaven, draußen auf dem Wasser treiben zwei Geräte: ein quadratisches Gestell, das eine Schüssel umspannt, die von einem Rettungsring an der Wasseroberfläche gehalten wird. Das Rot der an den vier Ecken befestigten Bojen leuchtet weit über die Bucht. Ein zweites Gerät, ein etwa vier Meter langer ferngesteuerter Katamaran, beherrscht Alukisten und eine runde Metalltonne, auf der ein Licht blinkt. Am vorderen Teil drehen sich mehrere Glasscheiben langsam durchs Wasser. Ein regelmäßiges Quietschen

durchzieht die spätsommerliche Stille. Unmerklich treiben die Geräte mit dem Gezeitenstrom. Dr. Oliver Wurlan Bord des Forschungsbootes „Otzum“ ist zufrieden: „Die Messungen laufen gut“, sagt er und blickt über das Wasser. Das Gerät mit den roten Bojen, „Sniffle“ genannt, und der Katamaran sind das Herzstück in der Ausstattung der Arbeitsgruppe „Meeresoberflächen“ des Instituts für Chemie und Biologie des Meeres (ICBM): Sie helfen den Wissenschaftlern, sich einem kaum erforschten Teil der Ozeane zu widmen: der nur wenige tausend-

tel Millimeter dünnen Schicht an der Oberfläche. Hier reichern sich verschiedenste Moleküle an, wie Proteine, Vielfachzucker und Fettsäuren. Auch bestimmte Bakterien und mikroskopisch kleine Algen befinden sich darin. Das Faszinierende für Meeresforscher Wurl: „Ob Wärme, Kohlendioxid oder Sauerstoff – alles, was zwischen Ozean und Atmosphäre ausgetauscht wird, muss durch die dünne Schicht an der Oberfläche hindurch.“ Allein wegen der Ausdehnung hat diese Schicht eine immense Bedeutung: Die Ozeane bedecken rund

70 Prozent der Erdoberfläche. Sie speichern Wärme und Treibhausgase wie Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>) und spielen so eine wesentliche Rolle im Klimageschehen. Mikroorganismen im Meer produzieren gut die Hälfte des für das Leben auf unserem Planeten so wichtigen Sauerstoffs. Doch noch wissen Wissenschaftler wenig darüber, wie die Haut der Meere die Wechselwirkungen zwischen Ozean und Atmosphäre beeinflusst. So schreibt auch ein internationales Konsortium von Wissenschaftlern (SOLAS-Surface Ocean – Lower Atmosphere Study) in einem 2015 erschienenen Bericht, dass dringend mehr Wissen über Oberflächenfilme nötig sei.

## Der Einfluss des Winds ist nicht alles

Genau darum geht es Wurl in seinem Projekt PassMe (Air-Sea Gas Exchange: Parameterization of the Sea-Surface Microlayer), für das er einen der begehrten „Starting Grants“ des Europäischen Forschungsrats (European Research Council – ERC) erhalten hat. „Unser großes Ziel ist es, den Gasaustausch zwischen Ozean und Atmosphäre besser zu beschreiben“, sagt er. Bisher berechnen die meis-

ten mathematischen Modelle, die beispielsweise Klimaforscher nutzen, den Gasaustausch – Experten sprechen von Parametrisierungen – vor allem in Abhängigkeit zur Windgeschwindigkeit. „Der Einfluss des Winds ist einleuchtend, aber längst nicht alles. Es ist ein komplexer Vorgang“, erläutert Wurl. In PassMe messen die Wissenschaftler daher den Gasaustausch und charakterisieren die Meeresoberfläche: Welche Stoffe und Organismen befinden sich darin? Unter welchen Bedingungen reichern sich diese an? „Wir versuchen, dies in Beziehung zu bringen. So können wir in der Literatur beschriebene Parametrisierungen entweder bestätigen oder verbessern“, ergänzt Wurl. 1,5 Millionen Euro erhält der Meereschemiker vom ERC über fünf Jahre verteilt für diese Forschung. Bevor Wurl sich 2014 das ICBM als neuen Standort für seine Forschung aussuchte, hatte er in Singapur, Kanada und den USA geforscht. Am Oldenburger Institut schätzt er vor allem die gute interdisziplinäre Zusammenarbeit. Inzwischen hat der Meereschemiker eine kleine internationale Gruppe um sich geschart. Eine Postdoktorandin stammt aus Spanien, von den insgesamt vier Doktorandinnen kommt eine aus Malaysia, eine andere aus den USA. Um ihrem Ziel näher zu kom-

men, braucht das Team nun vor allem Daten aus verschiedenen Teilen der Weltmeere. Nur so kann es abschätzen, welche Rolle Oberflächenfilme weltweit spielen. Gerade ist Wurl von einer Reise in den Nordatlantik und die norwegischen Fjorde zurück. Auch in der Ostsee und im Pazifik war er bereits. Im kommenden Jahr wird es zurück in die Ostsee gehen und für 2019 sind Expeditionen in arktische Gefilde geplant. An diesem Spätsommertag aber ist Wurl's Team auf dem Jadebusen unterwegs – er ist ihr Freiluftlabor. Hier testen sie ihre Geräte und führen Messungen durch, die ihre Daten von größeren Seereisen ergänzen. Vorm Ablegen muss jeder Handgriff sitzen: Auf der engen Mole rangiert Werkstattleiter Helmo Nicolai mit dem Anhänger, auf dem sich „Sniffle“ befindet. Zentimetergenau fährt er neben das Boot an die Kaimauer. Schließlich soll die Messboje unbeschadet an Bord gelangen. Als sie endlich sicher am Heck des Boots befestigt ist, sind alle erleichtert. „Die Halterung hat Helmo extra für uns gebaut. An Bord der Otzum war einfach nicht genug Platz“, sagt Wurl. Viele solcher Konstruktionen seien mit der Zeit aus der Praxis entstanden. Der Katamaran, ebenfalls zu groß für die Otzum, liegt fest vertäut hinter einem Schlauchboot. Gleich werden Otzum



Über mehrere Stunden sammeln die Sensoren der Messboje und des Katamarans wichtige Freilanddaten.



Nicht nur automatisch: Manche Geräte bedient Meeresforscher Wurl auch von Hand.



Das Herz der Messboje: Ein Sensor misst, wie sich der CO<sub>2</sub>-Gehalt ändert.



Ein ausgeklügeltes System: Die rotierenden Scheiben am Katamaran fangen den Oberflächenfilm ein.

und Schlauchboot ablegen, um die Geräte aufs Wasser zu bringen.

Das Projekt begann für Wurl zunächst mit einer technischen Herausforderung: „Sobald ich mit einem Schiff durchs Wasser fahre, das womöglich auf der gewünschten Position auch noch dreht, ist alles durchmischt“, erläutert er. Für ihn war dies der Ansporn, neue Instrumente zu entwickeln, um sinnvolle Daten von der dünnen Oberflächenschicht der Meere zu erhalten. „Und nicht nur im Labor zu arbeiten“, sagt er. Ein Jahr lang haben Wurl und seine Kollegen, vor allem auch Postdoktorandin Mariana Ribas-Ribas, daran gearbeitet, die Geräte zu konstruieren und mithilfe des universitären Werkstatt-Teams zu bauen.

Die Proben vom Oberflächenfilm zu nehmen, ist Aufgabe der sechs rotierenden Glasscheiben des Katamarans: Diese tauchen zu einem Drittel ins Wasser. Dank Oberflächenspannung bleibt der dünne Film an den Scheiben hängen. Wischer befördern diesen kontinuierlich in ein Probengefäß; anschließend wird das Wasser durch verschiedene Sensoren gepumpt, die alle zehn Sekunden Daten aufzeichnen. Hochaufgelöst erhalten die Wissenschaftler so verschiedenste Informationen, etwa über den pH-Wert oder die Temperatur des Wassers, die Menge des im Wasser gelösten Sauerstoffs oder

bestimmte gelöste organische Stoffe. Mit einer weiteren Methode können die Forscher auch die Effektivität der Photosynthese messen, also wie gut es den mikroskopisch kleinen Algen, dem Phytoplankton, im Wasser geht. Alle diese Daten sind wichtige Puzzle-teile, um besser zu verstehen, was in den Oberflächenfilmen passiert. Und, worauf Wurl besonders stolz ist: Dank des Systems aus mehreren Glasscheiben können die Wissenschaftler gut 20 Liter Probenwasser pro Stunde von der dünnen Oberflächenschicht analysieren.

### Keine Schönwetter-Truppe

Als Ergänzung zum Katamaran liefert Messboje „Sniffle“ die wichtigen Daten zum eigentlichen Gasaustausch: Innerhalb der auf der Wasseroberfläche aufliegenden Schüssel misst ein Sensor den CO<sub>2</sub>-Gehalt der eingeschlossenen Luft. „Wir beobachten 15 bis 20 Minuten lang, ob der CO<sub>2</sub>-Gehalt innerhalb der Schüssel ansteigt oder sinkt“, erläutert Wurl. So können die Wissenschaftler feststellen, ob das Gas aus dem Wasser in die Luft eintritt oder umgekehrt. „Wie viel CO<sub>2</sub> sich anreichert beziehungsweise verloren geht, zeigt mir außerdem, wie schnell der Austausch stattfindet“, ergänzt der

Meereschemiker. Der Sensor misst in regelmäßigen Intervallen auch den CO<sub>2</sub>-Gehalt in der Atmosphäre und in einem Meter Tiefe für die Berechnung.

Diese Methode sei allerdings nicht unumstritten, gibt Wurl zu. Denn die Kammer schirme natürlich den Wind ab. Wind jedoch, erläutert der Forscher, verursache immer Turbulenzen unter der Wasseroberfläche. „Und das bringt frisches, mit CO<sub>2</sub> angereichertes Wasser nach oben.“ Um dies Problem in den Griff zu bekommen, messen die Forscher mit einer akustischen Methode Turbulenz sowohl unterhalb der Schüssel als auch anderthalb Meter von der Schüssel weg. „So vergleichen wir die Turbulenzen und können dann korrigieren“, sagt Wurl.

Von Turbulenzen ist an diesem windstillen Tag an Bord der Otzum nichts zu spüren. Nach kurzer Fahrt haben Kapitän und Doktorandinnen „Sniffle“ in die Gezeitenströmung des Jadebusens gesetzt. Auch den Katamaran haben der Bootsführer und Wurl mit dem Schlauchboot neben die Boje geschleppt. Vier bis fünf Stunden werden die Geräte jetzt auf dem Wasser bleiben, um Daten zu sammeln. „An einem ruhigen Tag wie heute ist das Ausbringen der Geräte kein Problem“, sagt Doktorandin Nur Ili Hamizah Mustaffa. Aber an windigen Tagen sehe das ganz anders aus.

Dennoch sind die Forscher keine Schönwetter-Truppe: „Wir lieben Regen“, sagt Mustaffa lachend. Denn dieser ändere die Zusammensetzung des Oberflächenfilms und beeinflusse so den Gasaustausch. Solche Effekte wollen die Forscher messen. Die junge Frau aus Malaysia ist fast am Ende ihrer Doktorarbeit. Sie nutzt die Daten des Katamarans und analysiert im Labor noch zusätzlich Wasserproben auf verschiedene Stoffe; zum Beispiel sogenannte natürliche Tenside, auch oberflächenaktive Substanzen genannt. Diese Tenside stammen beispielsweise vom Phytoplankton oder entstehen beim Abbau organischen Materials. Da diese die Oberflächenspannung des Wassers herabsetzen, können sie den Gasaustausch wesentlich beeinflussen.

Mustaffas Kollegin Tiera-Brenda Robinson untersucht andere Stoffe im Wasser – zum Beispiel gelartige Teilchen. Diese sogenannten TEPs, auf Englisch „Transparent Exopolymer Particles“, stammen ebenfalls vom Phytoplankton. Da die Partikel sehr klebrig sind, bleiben an ihnen viele andere Stoffe aus dem Wasser hängen und beeinflussen so wiederum die Struktur des Oberflächenfilms. Brechende Wellen auf offener See können diesen Film in die Tiefe befördern oder als sogenannte Aerosole in die Luft. Wie dies den Austausch

über die Meeresoberfläche beeinflusst, untersuchen die Oldenburger unter anderem in dem Forschungsnetzwerk MarParCloud.

### Chemische Reaktionen beeinflussen den Gasaustausch

Für die Arbeitsgruppe ist aber noch ein weiterer Aspekt wichtig: Reichert sich besonders viel organisches Material an der Meeresoberfläche an, beispielsweise in windgeschützten Küstengewässern, „dann wird die Oberfläche schlierig, wir nennen das Slicks“, erläutert Wurl. Diesen Effekt kann man mit dem bloßen Auge erkennen. Der Meereschemiker zeigt auf einige Stellen des Jadebusens, wo das Wasser spiegelglatt ist. Das viele Material an der Oberfläche dämpft selbst kleinste Rippeln, sogenannte Kapillarwellen, die sonst bei wenig Wind auf der Wasseroberfläche entstehen. Dieser dicht zusammengepackte Film lässt Gase deutlich langsamer durch die Oberfläche diffundieren. „Wir haben gezeigt, dass sich in solchen Gebieten der Gasaustausch um bis zu 15 Prozent verringern kann“, sagt Wurl. Und immerhin können Slicks in Küstengewässern bis zu 20 Prozent der Fläche abdecken.

„Wir wissen heute außerdem, dass chemische Reaktionen im Oberflä-

chenfilm den Gasaustausch beeinflussen“, sagt der Meereschemiker. Zum Beispiel arbeitet eine Studentin daran, dass Enzym Carboanhydrase im Oberflächenfilm zu bestimmen. Dieses Molekül nutzt das Phytoplankton eigentlich, um im Wasser gelöstes Hydrogenkarbonat – also das Salz der Kohlensäure – in gasförmiges CO<sub>2</sub> umzuwandeln, um dies in die Zelle einzuschleusen. Auch dieses Enzym reichere sich in Oberflächenfilmen an, erläutert Wurl. Den Effekt auf den Gasaustausch schätzen die Wissenschaftler auf maximal 10 Prozent. Diese Auswirkungen von Slicks und der Carboanhydrase sind für den Forscher ein wichtiges Indiz, dass Oberflächenfilme künftig in den Modellrechnungen der Klimaforscher eine Rolle spielen sollten.

Endgültige Aussagen mag Wurl jedoch noch nicht treffen. Da ist er ganz der kritische Wissenschaftler, der seine Schlussfolgerungen auf möglichst viele Daten stützen will. Doch für heute sind die Messungen beendet. Bis zur nächsten Ausfahrt werden die Forscher nun ihre Daten auswerten und weitere Versuche durchführen. Auf dem Jadebusen ist jetzt Wind aufgekommen. „Das ist oft so nachmittags“, sagt Wurl. Zufrieden sammeln die Forscher ihre Geräte wieder ein – alles hat gut geklappt. Im gemächlichen Tempo geht es zurück zum Anleger in Wilhelmshaven. (cb)