

# Leben an der Grenze: Die alltägliche Sintflut

Von Michael E. Böttcher und Bo B. Jørgensen

Materialeintrag aus der Wassersäule, Wasserströmungen und die biologische Aktivität bestimmen die komplexen Prozesse in der Oberflächenschicht des Watts. Erst der kombinierte Einsatz moderner Feld- und Labor-Methoden ermöglicht es, die Bedeutung einzelner Reaktionen in diesem hochdynamischen System zu erkennen.



Zur Winter-Probenahme mit dem Forschungsschiff - hier eine Tjaek - im Wattenmeer.

„Im Watt leben vielerlei Viecher, ihr Lifestyle füllt Bücher um Bücher: je kleiner geraten - je größer die Daten. Da hilft nur der richtige Riecher!“

Im Watt gibt es keinen Anfang und kein Ende, alles ist Teil eines dynamischen Kreislaufs, der gelöste und feste Stoffe im Rhythmus der Gezeiten zwischen Wattboden und Meerwasser austauscht. Die sedimentären Prozesse werden durch Organismen entscheidend beeinflusst. Dramatische Wechsel der Lebensbedingungen, z.B. bestimmt von Temperatur, Sonneneinstrahlung, Salzgehalt, Sauerstoffverfügbarkeit, Trockenfallen und Überflutung, prägen das Leben besonders in den oberen Zentimetern des Watts. Wie wird die Aktivität von Mikroorganismen und Kleinstlebewesen durch diese extremen Bedingungen beeinflusst, und was sind die Konsequenzen für die Stoffströme und die Ausbildung von geochemischen Signalen? In seinem Limerick verweist Kirchenrat a.D. Helmut Oeß aus Dangast auf die Vielzahl von Messwerten, die erhoben werden müssen, will man die biogeochemischen Prozesse in den Oberflächensedimenten des hochdynamischen Wattenmeeres verstehen.

Die biologischen und chemischen Reaktionen im Wattboden bestimmen in besonderem Maße die Bildung, Umwandlung, Mobilität und Festlegung von festen, gelösten und gasförmigen Stoffen sowie ihren Transport über die Sediment-Wasser-Grenze. Unterschiedliche Ablagerungsbedingungen im Watt führen je nach Schlickgehalt zu Sand-, Misch- und Schlickwatt-Sedimenten. Damit einher gehen Änderungen anderer Sedimenteigenschaften wie z.B. der Gehalt an organischem Material, Metalloxiden und -sulfiden sowie unterschiedliche Durchlässigkeiten für das oberflächennahe Porenwasser. Die saisonalen, täglichen und tidenabhängigen Änderungen der Hydrodynamik, Temperatur, Lichtintensität, Sedimentumlagerung, Produktivität und Einarbeitung von organischem Material im hochdynamischen Ökosystem Wattenmeer verstärken die Komplexität der im Watt ablaufenden Prozesse. Diese Reaktionen haben darüber hinaus weitreichende ökologische Konsequenzen z.B. für die Festlegung und Remobilisierung von Substanzen, die für andere Organismen lebenswichtig oder auch schädlich sind. Die Erforschung dieser Vorgänge ist technisch sehr aufwändig und geschieht oft unter abenteuerlichen Bedingun-

Material input from the water column, water flow and biological activity determine the complex processes in the surface layer of tidal flats. Only the combination of modern field and laboratory measurements makes it possible to clarify the significance of individual reactions in this highly dynamic system.



Dramatischer Wechsel der Lebensbedingungen: Auflaufendes Wasser.

gen mit einem Forschungsschiff, das sich bei Niedrigwasser trockenfallen lassen kann.

### Wat´n Lifestyle: Leben im Zeichen der Sintflut

In den oberen 20 Zentimetern des Wattbodens findet man die größte Anzahl von Mikroorganismen. So leben im Schllick von der Größe eines Stückchens Würfelzucker etwa eine Milliarde Bakterien in einer Artenvielfalt, wie man sie auch im Regenwald antrifft. Sie ernähren sich von den Überresten von Pflanzen und Tieren. Die Größe dieser „kleinen Viecher“ liegt meist im Mikrometer-Bereich. Um sie und die durch sie verursachten chemischen Reaktionen zu erfassen, bedarf es einer Kombination von aufwändiger Probenahmetechnik mit modernsten analytischen Methoden. Die gezielte Anfärbung der Zellen in Sedimentproben mittels spezifischer Sonden (Fluoreszenz-in-situ-Hybridisierung) ermöglicht es, unter

dem Mikroskop die Bakterien bestimmten Gruppen und ihren unterschiedlichen Aufgaben in den Stoffkreisläufen zuzuordnen. Die bakterielle Verwertung von Abbauprodukten des organischen Materials erfordert die Einbeziehung von Oxidationsmitteln wie Sauerstoff, Nitrat, der festen Oxide von Eisen und Mangan sowie gelöstem Sulfat. Aufgrund ihrer Verfügbarkeit in den oberflächensedimenten sind Sauerstoff und Sulfat hinsichtlich ihrer Menge die wichtigsten Reagenzien. Die Größe, Aktivität und Zusammensetzung der bakteriellen Gemeinschaft variieren mit den Umweltbedingungen im Sediment. Mit radioaktiv markiertem Sulfat wurde nachgewiesen, dass mit steigender Umgebungstemperatur die Menge an gelöstem Sulfat, das pro Zeiteinheit mikrobiell zu Schwefelwasserstoff umgewandelt wird, deutlich zunimmt. Deshalb ist das Maximum der Sulfatumsetzung in den Sommermonaten zu beobachten. Darüber hinaus führen die höheren Gehalte an organischen Resten im

Schllick im Vergleich zum Sand zu einer verstärkten Aktivität der sulfatreduzierenden Bakterien, die zudem in den oberen Sedimentschichten höher ist als in der Tiefe. Dennoch fungieren auch die durchlässigen Sande als eine Art Bioreaktor, der durch eindringendes Porenwasser mit frischem organischem Material versorgt wird. Die erhöhte mikrobielle Aktivität in den Sommermonaten führt zu einer Intensivierung der biogeochemischen Elementkreisläufe. Beispielsweise wird Manganoxid in der oberflächenschicht der Sedimente in eine lösliche mobile Form überführt. Das Mangan kann dann bei Wasserbedeckung in das Bodenwasser übergehen, wo es wieder oxidiert und sich zurück in einen Feststoff verwandelt.

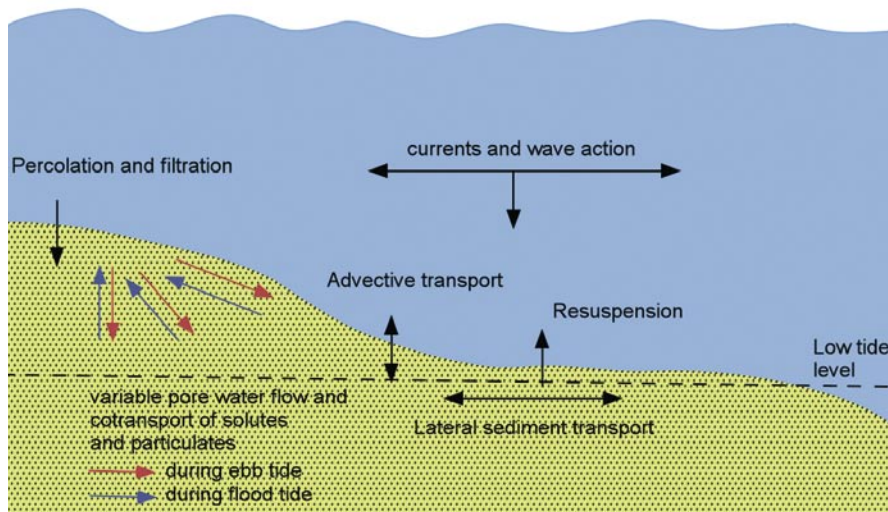
Die Farbübergänge im Sediment von Gelbbraun an der Oberfläche bis hin zu tiefem Schwarz in tieferen Schichten spiegeln die verschiedenen Nahrungsangebote und -ansprüche der Bakterien wider. Eine Schwarzfärbung an der Sedimentoberfläche durch Eisensulfide, wie sie in größerer Sedimenttiefe normal ist, zeugt von einem vollständigen Verbrauch des Sauerstoffs. Wenn diese Zone bis an die Oberfläche reicht, wird dieses Phänomen im Wattenmeer mit dem Begriff „Schwarze Flecken“ bezeichnet. Das Auftreten großer schwarzer, sauerstofffreier Flächen Mitte der 90er Jahre führte zu einer öffentlichen Diskussion über den Zustand des Ökosystems Wattenmeer.



Unter für den Menschen lebensfeindlichen Bedingungen ohne Sauerstoff fühlt sich ein Großteil der Bakterien erst richtig wohl. Hier ist der Austritt von sauerstofffreien Porenwässern im Sandwatt durch die Bildung von Schwarzen Flecken angezeigt.

### Nadelstiche im Watt: Räumliche und zeitliche Skalen

Die Anzahl und Art der Mikroorganismen und die Bedeutung der durch sie katalysierten Reaktionen werden durch die sich



Vereinfachte Darstellung der Transport-Prozesse in sandigen Sedimenten.

ständig ändernden Bedingungen von Licht, Temperatur, Druck, Strömungsverhältnissen, Sauerstoff- und Salzgehalt beeinflusst, die sich zum Teil kleinskalig im Zentimeter- bis hinunter in den Millimeter-Maßstab unterhalb der Sediment-Wassergrenzschicht abspielen. Das Ökosystem Wattenmeer erfordert die richtigen Instrumente, um die Änderungen in ihrer zeitlichen und räumlichen Dynamik erfassen zu können, da viele Prozesse nicht im Labor nachgestellt werden können.

Sauerstoff dringt häufig nur wenige Millimeter in das Sediment ein, so dass die Messung der unterschiedlichen Sauerstoffgehalte über kurze Distanzen hochempfindliche Sensoren („Riecher“) erfordert. Bei Wind und Wetter dringen daher die Forscher vom Max-Planck-Institut für marine Mikrobiologie in Bremen mit nadelfeinen Mikrosensoren Millimeter für Millimeter in die Welt der Kleinstlebewesen im Wattboden vor. Die Messinstrumente werden dafür auf Gestellen befestigt, ein Motor ermöglicht eine automatische Messung z.B. von Sauerstoff, Schwefelwasserstoff und Temperatur als Funktion der Sedimenttiefe im Gezeitenverlauf. So wurde festgestellt, dass sauerstoffgesättigtes auflaufendes Wasser kurzfristig bis zu mehrere Zentimeter in sandige Sedimente eindringen und so eine erhöhte Bedeutung für die Oxidation von organischem Material bekommen kann.

### Grenzflüsse: Dem Transport auf der Spur

Die Kraft der Wellen pumpt Wasser in den Wattboden, besonders dort, wo er sandig und durchlässig ist, und spült Substanzen

aus dem Untergrund zutage. Das Was und Wieviel, das Woher und Wohin zu klären, ist das Ziel. Die Wattoberfläche wirkt als Brücke zwischen dem Leben in der Unter- und der Oberwelt. Der Austausch von Sauerstoff über die Sediment-Wassergrenzschicht lässt sich experimentell erfassen. Mit aquariummähnlichen Kammern, mit markierten und ohne markierte Substanzen auf den Wattboden gesetzt, kann der Austausch von gelösten Stoffen bei Wasserbedeckung direkt gemessen werden. Farbstoffe ermöglichen darüber hinaus die Verfolgung der Porenwasserströmung in den Oberflächensedimenten. Der Einsatz von Diffusions-Probennehmern ermöglicht die hochaufgelöste Porenwasserbeprobung für die Untersuchung auf gelöste Metalle. Die Kopplung der verschiedenen Feld- und Labormethoden erlaubt die Erfassung des strömungsinduzierten Porenwasserflusses und des damit verbundenen Austauschs von gelösten Substanzen über die Sediment-Wasser-Grenze hinweg.

Als ein erstes Ergebnis der bisherigen Felduntersuchungen lässt sich bereits zeigen, dass der Transport von sauerstofffreien Wässern im Sediment eine entscheidende Rolle bei der Ausbildung schwarzer Flecken spielt. Diese Flecken können zum Fenster für die Freisetzung von mikrobiell gebildeten Stoffen werden. Die Untersuchungen tragen dazu bei, die Rolle der Wattenmeersedimente als Zwischenspeicher von Metallen und anderen Stoffen und die Kontrolle durch die biogeochemischen Prozesse im Bioreaktor Watt besser zu verstehen.

### Die Autoren



Dr. habil. Michael E. Böttcher, Privatdozent für Geochemie am ICMB und Wissenschaftler am Max-Planck-Institut für marine Mikrobiologie in Bremen, studierte Geowissenschaften an den Universitäten Hamburg

und Göttingen, wo er 1993 auch promovierte. Nach Tätigkeiten als Wissenschaftlicher Mitarbeiter an der Universität Oldenburg und am Max-Planck-Institut habilitierte er sich 2003 an der Universität Oldenburg. Seine Forschungsschwerpunkte liegen überwiegend im Bereich der Biogeochemie und Isotopengeochemie mariner und terrestrischer sedimentärer Systeme, der Physikochemie von Wasser-Gesteins-Organismen-Wechselwirkungen sowie der experimentellen Geochemie. Die Skalen hierbei reichen von der Zelle bis hin zum globalen Elementkreislauf.



Prof. Bo Barker Jørgensen ist seit 1992 Direktor am Max-Planck-Institut für marine Mikrobiologie in Bremen und Leiter der Abteilung Biogeochemie und zugleich Hochschul-lehrer am Fachbereich Geowissenschaften an

der Universität Bremen sowie Adjunkt-Professor am Biologischen Institut der Universität Aarhus, Dänemark. Er studierte Biologie an der Universität Kopenhagen und promovierte 1977 an der Universität Aarhus. Von 1975 bis 1987 war er Lecturer und Senior Lecturer an der Universität Aarhus, anschließend bis 1992 dort Professor. Seine Forschungsinteressen umfassen die mikrobiologischen und geochemischen Prozesse im Meer, von der Wassersäule bis zur tiefen Biosphäre.