

Altes Thema noch immer aktuell

Nährstoffe im Wattenmeer und in der Nordsee

*"Ich höre des gärenden Schlammes
geheimnisvollen Ton,
einsames Vogelrufen -
so war es immer schon."*

*So beschrieb Theodor Storm vor über
130 Jahren prägnant die Remi-
neralisierung im Wattenmeer. Man
kann diesen Ton immer noch hören,
wenn die Flut steigt oder die
Wattwürmer mit leisem Schmatzen ihre
Gänge im trockengefallenen Watt
ausbauen.*

Aber es ist nicht mehr immer so, denn da sind zeitweilig die schwarzen Flecken, schwarzen Priele (siehe SDN Magazin 1/1996) und schwarzen Flächen im Watt, in denen es still geworden ist, weil nur noch die Bakterien dort leben, wo der Sauerstoff ausgegangen ist, und der Schwefelwasserstoff schwarze Metallsulfide gebildet hat.

Die Zusammenhänge sind bekannt zwischen

- dem Nährstoffangebot,
- der Bildung von Algenblüten,
- der Remineralisierung unter Sauerstoffverbrauch,

die im Sediment mit der Bildung von Schwefelwasserstoff verbunden ist.

Wenn das sauerstofffreie Sediment bis an die Oberfläche durchbricht,

entstehen im Watt die schwarzen Flächen, die besonders nach dem Winter 1995/1996 auffällig hervorgetreten waren.

Wie kam es zu diesen schwarzen Flächen im Watt? Der kalte Winter hatte mit Treibeis die Wattoberfläche und damit den Sauerstoff produzierenden Rasen von Kieselalgen an vielen Stellen zerstört. Im nachfolgenden, ruhigen Wetter hatten sich vor der Küste Algen gebildet, die mit ihren Zerfallsprodukten, in diesem Fall gehörten auch an der Wasseroberfläche treibende Fette dazu, in das Watt eingetragen wurden und sich dort absetzten. Diese zusätzlich eingetragene Biomasse führte dann beim Abbau zur Sauerstoffzehrung an der Sedimentoberfläche.

Schwarz durch Überdüngung

Die schwarzen Flächen waren also ein Effekt der Überdüngung oder Eutrophierung, da im Küstenwasser zu viele Nährstoffe für die Entwicklung von Algen zur Verfügung standen und die Algenbiomasse nicht durch Beweidung des Zooplanktons allmählich im Nahrungsnetz abgebaut werden konnte. Die Algen starben nach Verbrauch der Nährstoffe innerhalb kurzer Zeit ab und wurden z.T. in das Watt transportiert, wo sie zersetzt

wurden. Bei den Algen handelte es sich um relativ große Zellen (0,3 mm Durchmesser) einer Kieselalge (*Coscinodiscus wailesii*), für die im frühen Frühjahr noch kein nennenswerter Zooplanktonbestand vorhanden war, der die Algen hätte beweidet können.

Verknüpfung ungünstiger Prozesse

Diese Verknüpfung ungünstiger Prozesse kann nicht isoliert, nur bezogen auf das aktuelle Ereignis, betrachtet werden, sondern es muß auch die Vorbelastung des Wattenmeeres mit organischen Stoffen aus vorhergehenden Algenwachstum im Watt und im vorgelagerten Küstenwasser und aus den direkten Einträgen berücksichtigt werden. Diese stetigen Einträge spielen eine große Rolle für die Beladung der Sedimente mit organischen Stoffen.

Wie kommt es zu den permanenten Einträgen von Nährstoffen und organischen Substanzen in das Wattenmeer?

Das Wattenmeer als flach hingestrecktes, den ständigen Tideströmungen ausgesetztes Übergangsgebiet zwischen Land und Meer importiert

Nährstoffe

viele Schwebstoffe, herangebracht von den asymmetrischen Tideströmungen: stärkerer Flut als Ebbstrom.

Unser Wattenmeer wird von den Flußmündungen von Ems, Weser und Elbe durchschnitten. Besonders Elbe und Weser bringen gewaltige Schweb- und Nährstofffrachten in das Wattenmeer und das vorgelagerte flache Küstenwasser. Bei auflandigen (westlichen) Winden breiten sich die nährstoffreichen Flußfahnen über lange Strecken direkt im Wattenmeer aus. Die der Weser kommt meistens über das Wurster Watt direkt zur Elbe und verschwindet dann in der größeren Elbwasserfahne (Abb.1). Besonders typisch für Elbe und Weser sind die hohen Nitratkonzentrationen, an denen sich im Winter, wenn das Algenwachstum vom Lichtmangel begrenzt wird, noch über weite Strecken die vereinigte Flußfahne verfolgen läßt.

Die jährlichen Nährstoffeinträge für die für die Deutsche Bucht bedeutenden Flüsse wurden für das Jahr 1993 aufgelistet (Tab.1).

Tabelle 1.: Nährstoffeinträge von Rhein, Elbe, Weser, Ems und Eider (1993)

	Σ -P	Σ -N	Σ -C
	1000 t/Jahr		
Rhein	12	300	280
Elbe	6	80	180
Weser	2	60	80
Ems	1	30	
Eider	0,1	4	

— Quellen: ARGE Elbe 1994, ARGE Weser 1995, IKS 1995, LNU 1994

Für unser Wattenmeer sind die direkten Einträge von Elbe und Weser besonders gravierend. Die Veränderung

der Nährstofffrachten über mehrere Jahre läßt sich wegen der starken und variablen biologischen Einflüsse am besten durch Vergleich von Wintermessungen feststellen, da dann die biologische Aktivität am geringsten ist. Allerdings erschweren dann immer noch die variablen Flußeinträge und Niederschläge genaue Trendberechnungen.

Auch die Einträge des Rheins sind für die Nährstoffgehalte im Wattenmeer von Bedeutung, denn die Fahne des Rheinwassers, die im nördlich gerichteten Küstenstrom dicht an der holländischen Küste entlang zieht, hat sich vor der Deutschen Bucht zwar schon aufgelöst, doch die Nährstoffelemente erreichen trotzdem die Deutsche Bucht. Die Nährsalze, die der Rhein in das niederländische Küstengewässer und das westfriesische Wattenmeer bringt, werden zwar bald vom Phytoplankton aufgenommen, bleiben aber als Stickstoff- und Phosphorverbindungen im Wasser oder werden vorübergehend im Watt mit den Algen oder Schwebstoffen abgelagert. Zum Teil werden sie schnell wieder, zum Teil erst nach längerer Zeit aus dem Wattenmeer und Sediment freigesetzt. Im Sommer, wenn die chemischen Umwandlungen auch das Phosphat freigeben, werden oft große Mengen von diesem Nährstoff im Küstenwasser nachgewiesen. Mit dem nordöstlich gerichteten Küstenstrom gelangen diese Frachten schließlich auch zur Deutschen Bucht. Von dort aus werden die Nährstofffrachten im jütländischen Küstenstrom nordwärts transportiert und gelangen schließlich auch in den Skagerrak.

Stickstoff wird bei den Umsetzungsprozessen (Denitrifizierung) am Sediment zum Teil in flüchtige Verbindungen überführt und kann in die

Atmosphäre entweichen. Auf der anderen Seite werden besonders Stickstoffverbindungen auch aus der Atmosphäre in das Wasser eingebracht: Stickoxide aus den Abgasen von Industrie und Verkehr und Ammoniak aus der industriellen Landwirtschaft - Einträge, die in auch in Küstennähe wirksam werden.

Die immer noch hohen Nährstoffeinträge in das Küstenwasser verursachen eine Reihe von Überdüngungsproblemen (Eutrophierung), auch wenn die Phosphateinträge inzwischen wieder halbiert worden sind. Allgemein läßt sich eine Folge von Eutrophierungseffekten auflisten:

1. verstärkter Eintrag von Nährstoffen,
2. Konzentrationsanstieg der Nährstoffe,
3. verstärkte Phytoplanktonproduktion, Verschiebung der Artenspektren, -Veränderung jahreszeitlicher Entwicklungszyklen, -Verminderung der Artenvielfalt,
4. Entkopplung im Nahrungsnetz,
5. verstärkte Sedimentation von Biomasse,
6. erhöhter Sauerstoffverbrauch im Tiefenwasser,
7. Sauerstoffmangel Absterben bodenlebender Organismen, Veränderungen des Sediment.

In der Deutschen Bucht ließen sich in den letzten Jahren eine Reihe dieser Phänomene beobachten.

Die Verminderung der Phosphateinträge, beispielsweise durch

die Elbe seit 1989 um 50%, hat bei gleichbleibenden Nitrateinträgen eine erhebliche Zunahme des N/P-Verhältnisses bewirkt, das allerdings ungünstige Auswirkungen auf das Ökosystem durch die Förderung von Algenblüten einzelner Arten hat, wie die der Schleimalge *Phaeocystis*, die sich jetzt schon regelmäßig nach der Frühjahrsblüte der Kieselalgen entwickelt.

Wenn sich in eutrophierten Küstenregionen eine stabile Schichtung der Wassersäule entwickelt, wie z.B. bei auch noch ruhigen sommerlichen Wetterlagen in der Deutschen Bucht bereits bei Wassertiefen von mehr als 25m, kann es hier zu einer so starken Sauerstoffzehrung im abgeschlossenen Bodenwasser kommen, daß die Fische und bodenlebenden Organismen fliehen oder absterben. Diese Situation wurde in den 80er Jahren mehrfach beobachtet und trat auch in den letzten Jahren wieder auf. Hierbei ermöglichen die bereits im Küstenwasser vorhandenen und von der Elbe aktuell eingetragenen Nährstoffe eine permanente Phytoplanktonentwicklung, die durch die Stabilisierung der obersten Wasserschicht, in der sich die Algen schnell vermehren, noch begünstigt wird. Die Algen nehmen die Nährsalze innerhalb weniger Tage vollständig auf und sedimentieren bald danach zu Boden. Hier erfolgt dann ein Abbau der Biomasse unter Sauerstoffverbrauch und Freisetzung von Nährsalzen. Die untere Wasserschicht ist dann nährsalzreich und die Deckschicht nährsalzarm. Wenn diese Situation einige Wochen anhält, kommt es zu den hier beobachteten ernsten Sauerstoffproblemen.

Wegen des schnellen Nährstoffverbrauches treten im Küstenwasser im Sommer generell keine überhöhten

Nährstoffkonzentrationen auf. Hier ist es der ständige Eintrag, der die Probleme bei stabilen Wetterlagen bringt, zusätzlich zur Mobilisierung von "Altlasten" aus dem Frühjahr oder aus entfernteren Gebieten, die in den Sedimenten und Watten zwischengelagert wurden. Eine Stabilisierung der Wassersäule, die die Algenvermehrung begünstigt, erfolgt auch durch die Frischwassereinträge der Flüsse oder im Skagerrak der Ostsee. Durch Tide und Wind entstehen hieraus Küstenströme, die den Ferntransport von Nährstoffen beschleunigen.

Die Flußfahnen und der Küstenstrom sind oft durch starke Gradienten, sogenannte "Fronten", vom Wasser der offenen See abgegrenzt. Besonders über tiefem Wasser bildet sich auch durch den Frischwassereintrag schneller eine stabile Schichtung. Beides hat zur Folge, daß häufig dann günstige Lichtbedingungen im Oberflächenwasser benachbart zu nährstoffhaltigen Wassermassen unter oder neben dem Küstenwasser anzutreffen sind. Hierdurch wird die Entwicklung außergewöhnlicher und oft auch giftiger Algenblüten begünstigt. Solche Algenblüten treten vor der norwegischen Küste häufig auf und können dort die Fischbestände im offenem Wasser und in den Aquakulturen vernichten. Für die Bildung solcher Blüten und deren Stabilisierung ist die Nährstoffzufuhr von großer Bedeutung. In diesem Zusammenhang sind dann auch die Ferntransporte von Interesse, die beispielsweise nährstoffreiches Winterwasser in die Problemgebiete bringen.

Im Winter, wenn im Küstenwasser die Primärproduktion infolge der hohen Schwebstofffrachten lichtlimitiert ist, tritt die Nährsalzbelastung deutlich hervor: Die winterlichen

Nitratgradienten zeigen beispielsweise erhöhte Konzentrationen im kontinentalen Küstenwasser, das sich von dem der mittleren Nordsee deutlich absetzt. Hier wirken sich auch im Winter biologische Einflüsse aus, denn trotz der ständigen Durchmischung der Wassersäule findet über der flachen Doggerbank ein ständiges Algenwachstum statt, das die Nährsalzkonzentrationen deutlich vermindert.

Wie sieht es nun in der zentralen Nordsee während des Sommers aus? Hier sedimentiert zwar auch schon vom Frühjahr an das Phytoplankton mit seinen Zerfallsprodukten in die untere Wassersäule, wo es schnell abgebaut wird und bis zum Sommer die Ammoniumwerte auf 3-5 mmol/l hochtreibt (gegenüber Winterwerten um 1 mmol/l). Aber die sauerstoffzehrenden Prozesse, zu denen neben der Oxydation von organischen Kohlenstoffverbindungen auch die Nitrifizierung des Ammoniums gehört, verlaufen so langsam, daß in der Regel kein Sauerstoffmangel entsteht, der die Fauna gefährdet.

Bei der Betrachtung der Nährstofffrachten sind nicht nur die Nährsalze zu berücksichtigen, sondern auch die in den gelösten und partikulären organischen Verbindungen gebundenen Stickstoff- und Phosphormengen. Diese können in den gelösten Verbindungen die der Nährsalze erheblich übertreffen. Trotzdem fehlen sie in vielen Untersuchungen. Die partikulären Frachten sind wegen der Sedimentationsverluste für direkte Ferntransporte von geringerer Bedeutung. Lediglich in turbulenten, flachen Küstengewässern, während des Winters und bei Algenblüten werden sie schnell verdriftet.

Was ist zu tun, um Eutrophierungseffekte zu vermindern? Das Wetter und seine manchmal anhaltenden stabilen Bedingungen können wir nicht beeinflussen, aber die Nährstofffrachten sollten noch weiter vermindert werden, um die aktuelle Belastung und das Potential in den Sedimenten weiter abzubauen. Ein Vergleich des Anteils der Nährstoffeinträge aus Punktquellen in den alten und neuen Bundesländern in die Elbe zeigt, daß der Anteil der punktuellen Einträge durch Ausbau der Klärwerke in den neuen Bundesländern noch erheblich vermindert werden kann.

Wichtig ist auch die Verminderung der Stickstoffeinträge, um die molaren Relationen von Nitrat zu Phosphat, die sogar in den Sommermonaten kaum unter 50:1 (N:P) zurückgehen, wieder zu vermindern; normal sind in der Nordsee Verhältnisse von ca. 20:1.

Hohe N:P-Verhältnisse begünstigen Algenblüten, die sich so schnell entwickeln, daß sie sich vom ausgewogenen Ökosystem abkoppeln und so schnell wieder absterben, daß ihr bakterieller Abbau Sauerstoffmangel verursacht. Noch problematischer sind giftige Algen, deren Entwicklung und Toxizität auch durch hohe N:P-Verhältnisse gefördert werden kann.

Auch wenn sich Trends nicht eindeutig nachweisen lassen, haben Häufigkeit, Dauer und Ausdehnung von Algenblüten vermutlich zu genommen. Da diese Entwicklung auch von variablen Strömungen und den wechselnden Windverhältnissen beeinflusst wird, sind Entwicklungen trotz verstärkter Beobachtungsaktivität nur schwer nachzuweisen. Tatsache ist, daß die Schleimalgen inzwischen fast jährlich in großen Blüten auftreten und

daß immer häufiger giftige Algenarten vor unseren Küsten beobachtet werden.

Die Verbesserung der Kläranlagen wird für die zentrale Nordsee nach dem gegenwärtigen Kenntnisstand nichts bringen, da die Nordsee als Nährstoffs Senke große Nährstoffmengen mit dem Atlantik austauscht. Und es soll auch nicht verschwiegen werden, daß es Überlegungen gibt, die zwar heftig umstritten sind, Teile des norwegischen Küstenwassers mit Nährstoffen zu düngen, um die lokale Fischproduktion zu erhöhen. Eine Düngung mit Silikat wäre möglicherweise sinnvoll, um die giftigen Flagellaten zugunsten von Kieselalgen zurückzudrängen, doch eine generelle Düngung würde Sauerstoffprobleme vor der fjordzerfurchten Küste noch verschärfen, denn die tiefe norwegische Rinne ist das einzige Sedimentationsgebiet der Nordsee, in der die erhöhten Nährstofffrachten in Form von sedimentierter Biomasse langfristig liegen- bleiben.

Uwe H. Brockmann,
Universität Hamburg,

Dr. Uwe Brockmann, geboren 1936 in Berlin, studierte an der Universität Hamburg Biologie, im Hauptfach Biochemie, arbeitete zunächst über Biomembranen und begann 1970 in der Meeresforschung mit der Untersuchung von gelösten organischen Verbindungen ökosystemaren Fragen nachzugehen. Schwerpunkte sind Stoffflußuntersuchungen planktischer Ökosysteme im Wattenmeer, in der Deutschen Bucht und in der freien See, ergänzt durch Experimente mit Mesokosmen. Er arbeitet am Zentrum für Meeres- und Klimaforschung der Universität Hamburg, im Institut für

Biogeochemie und Meereschemie.