

Oldenburger Universitätsreden

Nr. 31

Thomas Höpner

**Der ökologische Zustand
der Deutschen Bucht
und des Wattenmeeres**



VORWORT

Die Universität Oldenburg ist auch unter dem Aspekt der Regionalentwicklung gegründet worden. Dabei ging es nicht nur um einen Beitrag zu wirtschaftlichen Entwicklungen und zu den Arbeitsplatzproblemen oder um die Tatsache, daß in Oldenburg keine Bibliothek vom Standard einer Universitätsbibliothek im Nordwest-Raum vorhanden war, sondern auch ganz allgemein um wissenschaftliche Einrichtungen und Fachbehörden. Um so wichtiger ist, daß die vorhandenen, zu denen nun also auch die Universität zählt, zusammenarbeiten. Die Universität hat vor allem in ihrer Phase des Projektstudiums sehr viel von der regionalen Kompetenz der Fachbehörden profitiert, dennoch gibt es auch heute noch Schwierigkeiten in der Kooperation; auch heute noch lohnen Anstrengungen, die Zusammenarbeit zu verbessern.

In diesem Zusammenhang scheint uns eine Einladung aus der Bezirksregierung Weser-Ems an Prof. Dr. Thomas Höpner vom Institut für Chemie und Biologie des Meeres bemerkenswert, ging es doch darum, daß man dort einen Überblick über die ökologische Situation der Küste und des Wattenmeeres erbeten hatte, also eine Bewertung des Gegenstandes seiner eigenen Bemühungen. Dies ist ein Zeichen gestiegenen Vertrauens, von dem offensichtlich in zunehmender Weise beide Seiten profitieren.

Der Vortrag des Kollegen Höpner ist in ähnlicher Form auch in Schneverdingen, Norderney, Braunschweig, Wilhelmshaven und Emden gehalten worden und weitere Einladungen liegen vor: Es geht also um ein Thema des aktuellen Interesses, was eine Aufnahme in die Reihe 'Oldenburger Universitätsreden' rechtfertigt.

THOMAS HÖPNER

Der ökologische Zustand der Deutschen Bucht und des Wattenmeeres

Meine Damen und Herren,

Ihre Einladung* an ein Universitätsmitglied, vor Fachleuten Ihres Hauses über einen der Gegenstände Ihrer Arbeit vorzutragen, ist ein Zeichen gestiegenen Vertrauens zwischen Bezirksregierung und Universität, über das wir uns freuen. Mehr als die Hälfte der hier Anwesenden ist mir aus Fachverhandlungen der letzten Jahre bekannt, wobei es meist darum gegangen war, bei Ihnen Daten zu erbitten für Gutachteraufgaben oder für die Vorbereitung des Ökosystem-Forschungsprogramms Wattenmeer. Heute habe ich die Gelegenheit einer Rückmeldung bzw. Rechenschaft: Waren wir in der Lage, mit Hilfe Ihrer Daten ein vermittelbares Ökosystemverständnis zu entwickeln und aus ihm eine Bewertung des ökologischen Zustands des Wattenmeeres abzuleiten?

Noch eine Vorbemerkung: Ich gehöre zu der Gruppe von Wissenschaftlern, die die Eutrophierung der Nordsee und des Wattenmeeres für den maßgeblichen Prozeß halten, der auch die Mehrzahl der Argumente für die Beurteilung des ökologischen Zustands liefert. Ohne in den Fehler zu verfallen, die übrigen Einwirkungen für vernachlässigbar zu halten, möchte ich doch in diesem Vortrag einer angemessenen Behandlung des Eutrophierungsproblems den Vorzug geben vor dem Versuch, über alles zu reden, über das hier geredet

* Vortrag vor Mitarbeitern der Bezirksregierung Weser-Ems auf Einladung des Dezernats Wasserwirtschaft (am 19. Januar 1989).

werden könnte. Ich werde mich also auf die Eutrophierung konzentrieren. Die Schadstoffproblematik kann, wenn Sie es wünschen, einmal gesondert und in entsprechender Angemessenheit behandelt werden.

Zur Abgrenzung des Ökosystems

Wir definieren die Deutsche Bucht als ein Ökosystem und das Wattenmeer als sein Teil-Ökosystem. Wer über Ökosysteme redet, wird zuerst sein Ökosystem abgrenzen müssen. Grenzsetzungen sind immer bis zu einem gewissen Grade willkürlich, und jedes Ökosystem kann als Teil eines übergeordneten Systems angesehen werden. Im Fall des Wattenmeers soll die Abgrenzung gegen das terrestrische Ökosystem in Form einer plausiblen Behauptung gelöst werden: Es gibt kaum eine andere lineare geographische Struktur, die abgesehen vom Überfliegen durch die Vögel so wirkungsvoll biologische Grenze ist wie der Deich. Die Abgrenzung gegen die Nordsee ist weit schwieriger.

Die Unterarbeitsgruppe Ozeanographie der Wissenschaftliche-Technischen Arbeitsgruppe zur Vorbereitung der Internationalen Nordseeschutzkonferenz 1987 hat Daten über Strömungen in der Nordsee und über Lage und Stabilität von Frontensystemen vorgelegt, die in der Tat die Deutsche Bucht unter ein eigenständiges hydrographisches Regime stellen. (QSR 1987). Es hält Süßwasser und die Frachten der Inhaltsstoffe von Rhein/Maas, Ems, Weser, Elbe und Eider landseitig einer relativ scharfen Grenze. Dies wurde über Salinitätsmessungen und über Messungen der Konzentrationen der gelösten Stoffe belegt (Abb. 1). Es gibt eine sozusagen über den Umkehrschluß geführte Bestätigung: Von Schottland ausgehende radioaktive Belastung (deren Verfolgung pikanterweise die Kenntnisse über die Nordsee-Strömungen enorm bereichert hat) wird durch die gleichen

Fronten und Strömungsverhältnisse aus der Deutschen Bucht ferngehalten, die die Fluß-Frachten in der Bucht hält.

Einen solchen Tatbestand zur Abgrenzung eines Ökosystems zu benutzen, ist bereits Ergebnis eines bestimmten Ökosystem-Verständnisses. Dieses negiert nicht, daß die hydrographische Grenze von Fischen und Vögeln überschritten werden kann und daß physikalische und meteorologische Wirkungen die Grenze nicht achten. Es nimmt auch zur Kenntnis, daß die Schadstoff-Fracht aus der Atmosphäre eine wesentliche Komponente der Belastung der Nordsee ist, die mit der gesuchten Abgrenzung nichts zu tun hat. Es zieht die Grenze so, daß der eingegrenzte Bereich möglichst weitgehend unter einheitlichem biologisch-chemischem Einfluß steht. Nach dem gleichen Grundsatz haben Nelissen & Stefels (1988) ihre Nordsee-Kompartimente 3, entsprechend etwa der deutschen Bucht, und ihr Sub-Kompartiment 4, "coast strip", definiert, dessen seewärtige Grenze ungefähr 10 km vor den Inseln liegt und somit größer ist als das Wattenmeer der üblichen Definition mit seewärtiger Grenze an der 10-m-Tiefenlinie.

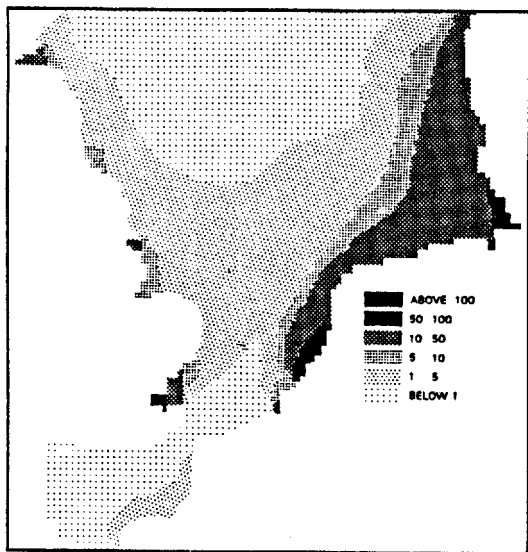


Abb. 1. Verteilung gelöster "passiver" Stoffe bei kontinuierlicher Fracht aus den unten angegebenen Flußmündungen in willkürlichen Einheiten nach einem Rechenmodell. Die höchste vorkommende Verschmutzung wurde gleich 100 % gesetzt. An den Flußfrachten (zusammen 100 %) haben die 10 berücksichtigten Flüsse folgende Anteile: Rhein/Maas 52 %, Elbe 13 %, Firth of Forth 6 %, Tyne 6 %, Weser 5 %, Schelde 5 %, Themse 4 %, Seine 4 %, Humber 3 % und Ems 2 % (QRS 1987).

Nährstoff-Frachten

Nelissen & Stefels haben 1988 eine differenzierte Abschätzung der Einträge von Nährstoffen verschiedener Herkunft vorgelegt, und dies (in den Spalten 1 bis 4 der Tabelle 1) getrennt für vier verschiedene Kompartimente der Nordsee. Diese Kompartimente sind auf der Kartenskizze (Abb. 2)

ingezeichnet. Die Kompartimente 3 und 4, Deutsche Bucht und Wattenmeer, habe ich vorhin bereits definiert, als ich von der Abgrenzung gesprochen habe.

Der Zustrom von Atlantikwasser bei Schottland und durch den Kanal liefert den größten Beitrag zur Versorgung der Gesamt-Nordsee (Spalte 1) mit Nährstoffen. Er ist mit 83 % (N) bzw. 87 % (P) beherrschend und kann als kaum beeinflussbarer "natural background" der Nährstoffversorgung angesehen werden. Die Winterkonzentrationen an Phosphat und Nitrat waren 1973 im Nordatlantik höher als die in der mittleren Nordsee (Gerlach 1988). Der Grund dürfte sein, daß der in Biomasse gebundene Anteil der Nährstoffe wegen des höheren Anteils der photischen Zone in der Nordsee größer ist als im Atlantik. Über die heutigen Nährstoffkonzentrationen in der mittleren Nordsee gibt es nur unsichere Daten. Es ist durchaus möglich, daß sie auch heute noch niedriger liegen als entsprechende Werte des Atlantiks. Es ist wichtig, einzusehen, daß die Nordsee insoweit natürlicherweise ein nährstoffarmes Randmeer war (ist?), als ihre Primär- und Sekundärproduktion nährstofflimitiert war (ist?).

Der Anteil der Nährstoff-Fracht aus dem Atlantik an der Gesamtfracht nimmt beim Übergang auf die Kompartimente 2 und 3 (also in der Tabelle von links nach rechts) ab und wird für das Kompartiment 4, das Wattenmeer, unbedeutend. Die Fracht aus den Flüssen dagegen ist für die ganze Nordsee mit 12 % bzw. 8 % unbedeutend, wird aber im Wattenmeer mit 86 % bzw. 83 % beherrschend. Die Flußfrachten (in 1000 t/Jahr) bleiben in der Tabelle von links nach rechts ziemlich gleich, d.h. sie treffen das Wattenmeer nahezu voll und unvermindert, und wenn etwas von ihnen durch Vermischung in die freie Nordsee "verlorengeht", kommt es aus der Atmosphäre und durch Direkteinleitung und Dumping wieder dazu. Wegen der Verkleinerung der Fläche geht auch der Beitrag der Atmosphäre in der Tabelle von links nach rechts zurück. Wir müssen neuerdings davon ausgehen, daß die

Luftdepositionsdaten für Stickstoff die unterste Grenze der Schätzungen sind, weil der Ammonium-Anteil an der Stickstoff-Deposition bisher unterschätzt worden ist.

Kompartiment	1		2		3		4	
Stickstoff	Fracht	%	Fracht	%	Fracht	%	Fracht	%
Nordatlantik	7.000	75	767	27			-	-
					742	43		
Kanal	705	8	705	25			88	9
Atmosphäre	400	4	220	8	53	3	17	2
Flüsse	1.073	12	1.000	36	890	52	890	86
Direkteinleitung und Dumping	129	1	114	4	28	2	28	3
Summe Stickstoff	9.307	100	2.806	100	1.713	100	1.023	100
Phosphor	Fracht	%	Fracht	%	Fracht	%	Fracht	%
Nordatlantik	1.085	81	112	34			-	-
					92	47		
Kanal	82	6	82	25			10	9
Atmosphäre	20	2	10	3	2.4	1	0.8	1
Flüsse	111	8	96	29	92	47	92	83
Direkteinleitung und Dumping	35	3	31	9	8	5	8	5
Summe Phosphor	1.333	100	331	100	194	100	111	100

Tab. 1. Abschätzung der Beiträge des Atlantik (über Nord und über Kanal), der Atmosphäre, der Flußfrachten und der Direkteinleitungen/Dumping an der Fracht (in 1000 t/Jahr) von Gesamtstickstoff und Gesamtphosphor in die Nordsee. Nordsee-Kompartimente: 1 = Nordsee mit nördlicher Grenze Hebriden-Bergen. 2 = Nordsee südlich des 56. Breitengrades. 3 = cirka Deutsche Bucht, 4 = cirka Wattenmeer plus Niederländischer Küstenstreifen. Nach Nelissen & Stefels 1988.

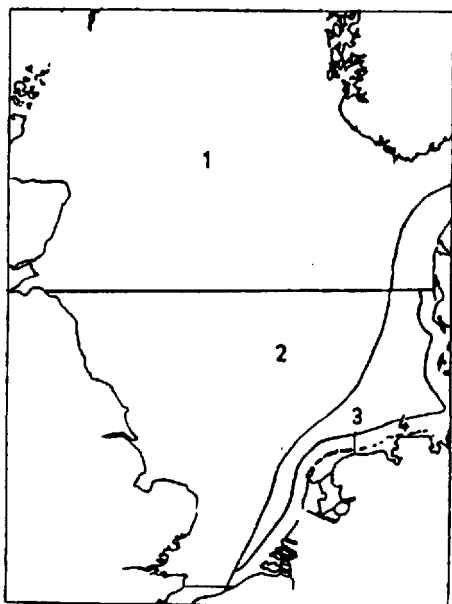


Abb. 2. Nordsee-Kompartimente der Tabelle 1. Beachte, daß jedes Kompartiment die jeweils kleineren einschließt, d.h. Kompartiment 1 besteht aus den Seegebieten Nr. 1 + 2 + 3 + 4 der Karte, Kompartiment 2 aus 2 + 3 + 4, Kompartiment 3 aus 3 + 4.

Nährstoff-Konzentrationen

Nährstoffkonzentrationen im Seewasser wechseln in einem saisonalen Zyklus zwischen sehr niedrigen Werten im Sommer- und wesentlich höheren im Winterhalbjahr. Hinter diesen saisonalen Schwankungen Langzeit-Trends zu erkennen, erfordert jahre- bis jahrzehntelange Messungen und "highly sophisticated" statistische Auswertung. Beides ist von Mitar-

beitern der Biologischen Anstalt Helgoland (BAH) geleistet worden (Radach & Berg 1986). Mit beispielloser Hartnäckigkeit sind seit 1962 Proben bei Helgoland-Reede genommen und chemisch und biologisch untersucht worden. Zu den Nordseeschutzkonferenzen 1984 und 1987 sind dann erste Auswertungen vorgelegt worden, wobei präzise differenziert worden ist zwischen Zeiten mit bzw. ohne Einfluß von Elbewasser im Probenahmegebiet. Die Bundesrepublik präsentierte so die überzeugendsten und vollständigsten Daten, die es je über Umweltprobleme der Nordsee gegeben hat.

Die Nitrat-Winterkonzentrationen sind in der 23-jährigen Beobachtungszeit angestiegen und haben sich verdoppelt. Phosphat stieg zunächst ebenfalls linear an und stagnierte in den letzten 7 bis 10 Jahren beim ca. 1,5-fachen des Ausgangswertes. Das N/P-Verhältnis hat sich also zugunsten von N verschoben. Die Silikatkonzentrationen haben abgenommen, d.h. das N/Si- und das N/P-Verhältnis haben sich noch drastischer geändert.

Es ist nicht ganz einfach, die Bedeutung der Helgoland-Reede-Daten in Zusammenhang mit den Kompartimenten von Nelissen & Stefels (1988) zu klären. Im Bereich Helgoland, d.h. im Elbe-Mündungsbereich, pendeln die Salinitäts-Isolinien in Abhängigkeit vom Abfluß der Elbe und von Temperaturverhältnissen, entsprechend muß die Grenzlinie zwischen den Kompartimenten 3 und 4 variieren (für eine genauere Diskussion siehe Gerlach 1988), und die Probenahmestelle kann zeitweise dem Kompartiment 3, zeitweise dem Kompartiment 4 zugerechnet werden. Funktionell unterscheiden sich diese beiden Kompartimente dadurch, daß 3 im Sommer geschichtet, 4 durchmischt ist. Die Auswertungen von Radach & Berg (1986) zeigen den Nitrat-Anstieg sowohl unter "Kompartiment-3-Verhältnissen" höherer wie unter "Kompartiment-4-Verhältnissen" niedrigerer Salinität. Auch der Phosphat-Anstieg einschließlich der schon

genannten Stagnation ab etwa 1975 wird unter beiden Bedingungen beobachtet. Daraus ergibt sich die Schlußfolgerungen, daß Nitrat in beiden Kompartimenten steigt.

Sucht man die Gründe für den Anstieg der Nährstoffkonzentrationen, dann muß man die Änderungen der Frachten der verschiedenen Nährstoffquellen analysieren. Über einen Anstieg der Atlantik-Konzentrationen gibt es keine Informationen. Die Fracht von Stickstoff-Verbindungen aus der Atmosphäre nimmt zu, sie hat sich nach dänischen Messungen zwischen 1955 und 1977 annähernd verdreifacht. Daten über Trends der Nährstoff-Frachten der Flüsse überstreichen einen kürzeren Zeitraum als die Helgoland-Reede-Daten und sind deshalb weniger aussagekräftig. Für Rhein, Weser und Ems ergibt sich folgendes Bild:

Daten über die Rhein-Frachten von Gesamtphosphat, Ammonium und Nitrat liegen von 1976 bis 1986 für die Meßstelle Bimmen/Lobith vor (Abb. 3a-c, Internat. Kommission 1986). Nelissen und Stefels (1988) haben sie mit älteren Daten aus niederländischen Quellen kombiniert und einen Anstieg ab etwa 1945 dokumentiert. Gesamtphosphat hat seit 1976 abgenommen (Abb. 3a), bei Nitrat (Abb. 3c) wurde ein Anstieg bis 1981 und danach Stagnation festgestellt, die bei Berücksichtigung des abnehmenden Ammonium-Trends (Abb. 3b) zu einer leichten Abnahme-Tendenz wird. Bei der Weser müssen wir uns mit Konzentrationen anstatt Frachten behelfen. Die Gesamtphosphat-Konzentrationen stiegen von 1967 bis 1976 an und fielen von da ab bis 1985 wieder ab (Abb. 4a, ARGE Weser 1985). Nitratkonzentrationen (Abb. 4b) blieben ab 1977 konstant, die ab 1976 tendenziell abnehmenden Ammoniumkonzentrationen (Abb. 4c) waren niedrig und beeinflussten die Stickstoffkonzentrationen wenig. Die Gesamtphosphat-Frachten der Elbe bei Glückstadt (Tab. 2, Gemeinsames Bund-Länder-Meßprogramm 1986) waren von 1980 bis 1985 konstant, die Gesamt-Stickstoff-Frachten hatten abnehmende Tendenz. 1986 und 1987 allerdings

stiegen die Frachten als Folge hohen Abflusses stark an (pers. Mitteilung aus dem Umweltbundesamt).

Ich werde etwas später versuchen, aus diesen Informationen Prognosen abzuleiten.

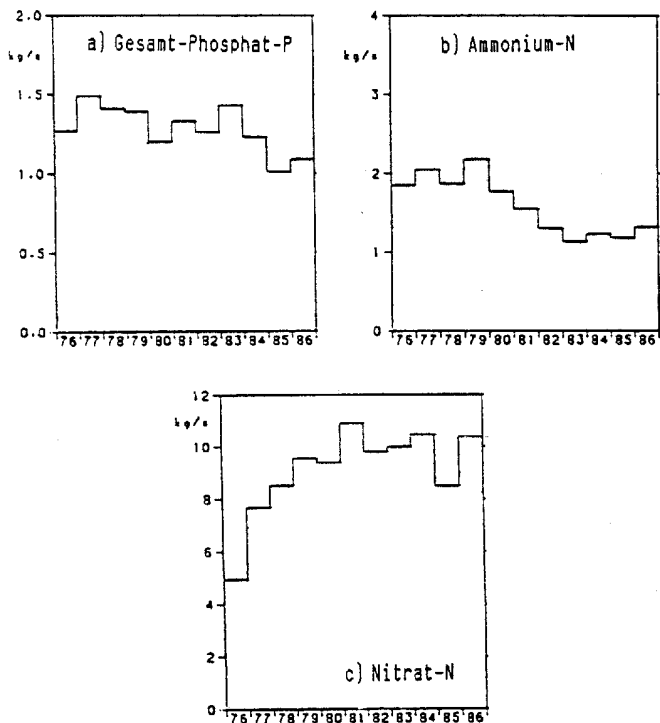


Abb. 3. Frachten des Rheins bei Bimmen/Lobith in kg/s Gesamt-Phosphat-Phosphor (a), Ammonium-Stickstoff (b) und Nitrat-Stickstoff (c). Internationale Kommission 1986.

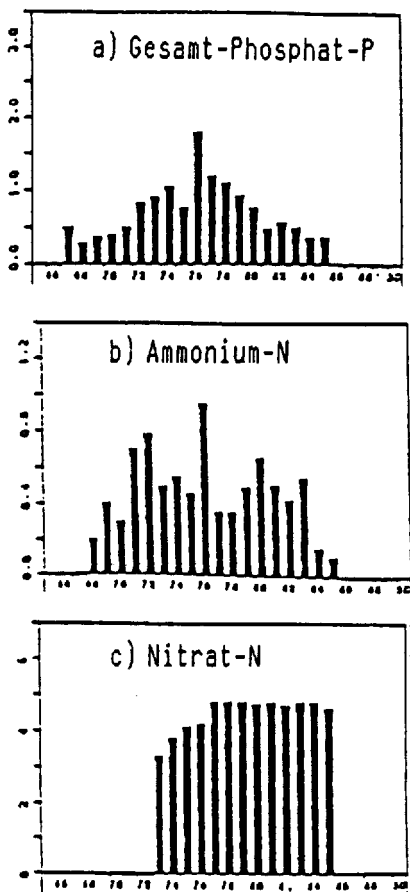


Abb. 4. Mittlere Konzentrationen in der Weser bei Brake von 1973 bis 1985 in mg/l an Gesamtphosphat (a), Ammonium (b) und Nitrat (c), jeweils in mg/l. ARGE Weser 1985.

Jahr	Abfluß	Gesamt- Phosphor	Gesamt- Stickstoff
1980	1 062	13 000	223 000
1981	1 209	13 000	205 000
1982	802	11 500	200 000
1983	664	11 000	160 000
1984	623	12 000	150 000
1985	583	11 000	155 000

Tab. 2. Jahresmittelwerte des Abflusses (in m³/s) und der Fracht an Gesamt-Phosphor und Gesamt-Stickstoff (jeweils in t/Jahr) in der Elbe bei Glückstadt. Gemeinsames Bund/Länder Meßprogramm 1986.

Biologische Erscheinungen

Bis in einem flachen Nebenmeer mit überdurchschnittlich hoher Wind- und Wellenenergie Sauerstoffdefizite auftreten, muß der Eutrophierungsprozess schon sehr weit fortgeschritten sein. 1981/82 wurden große Flächen mit weniger als 4 mg O₂ pro Liter vor der nordfriesischen und getrennt davon vor der jütländischen Küste gefunden (Gerlach 1984). Ihre Lage nördlich des Bereichs der Flußmündungen mit ihren Nährstoff-Frachten -auch hier ist man im Nachhinein klüger- war eigentlich voraussehbar, denn der Prozeß der Eutrophierung von der Primärproduktion bis zum Biomasse-Abbau braucht Zeit, und in dieser Zeit bewegt die Südwest-Nord-Strömung die belasteten Wasserkörper nach Norden. Selbst die Unterbrechung der Sauerstoff-Defizit-Zone in der Höhe

von Esbjerg war naheliegend: Hier liegt die Untiefe "Horns Riff", die für eine vorübergehende Vertikal-Durchmischung und damit für Sauerstoff-Anreicherung sorgt.

Unter ungestörten Umständen ist das Phytoplankton nährstofflimitiert, nicht lichtlimitiert. Noch in den ungewöhnlich sonnenschein-reichen Sommern 1975 und 1976 gab es keine problematischen Algenblüten, zu Pfingsten 1988 genügten zwei Wochen, um die Chrysochromulina-Blüte ("Killeralge") zu erzeugen. Im Jahr 1962 dauerte die Phase der Phosphat-Erschöpfung von Mai bis Oktober (d.h. keine weitere Biomassebildung möglich, die Biomasse war in dieser Zeit phosphatlimitiert). In den 80er Jahren hatte sich diese Zeit auf Mai-Juli verkürzt. Eine ähnliche Verkürzung hat sich für die Dauer der Nitratlimitierung ergeben: von sechs (Juni bis November) auf einen Monat (September). Der Umschlag von der Nährstoff- zur Lichtlimitierung ist also fast vollzogen. Wahrscheinlich haben uns nur die relativ sonnenschein-armen Sommer 1987 und 1988 vor Schlimmerem bewahrt. Salopp formuliertes Ergebnis: Die Nordsee verträgt gutes Wetter nicht mehr. Wissenschaftlicher formuliert: Die Nordsee ist sensitiver geworden sogar gegenüber Einflüssen, die noch uneingeschränkt innerhalb der normalen meteorologischen Schwankungsbreite liegen.

Die Verschiebung des Silikat/Nitrat- und des Silikat/Phosphat-Verhältnisses zu Lasten des Silikats hat biologische Folgen. Die (silikatanabhängige) Flagellaten-Biomasse ist exponentiell angestiegen, die (silikatabhängige) Diatomeen-Biomasse stagnierte (Angaben nach Radach 1988). Am Startpunkt des Nahrungsnetzes hat sich das Artenspektrum also massiv verschoben. (Wir streben hinsichtlich biologischer Erscheinungen in diesem Bericht nicht Vollständigkeit an. Biologische Folgeerscheinungen erstrecken sich zweifellos über viele Glieder der Nahrungspyramide bis hin zu denjenigen Vogelarten, die sich auf See von Kleinfischen ernähren: sie vermehren sich drastisch).

Das Wort vom Umkippen eines Ökosystems, im landläufigen Sprachgebrauch bereits entfernt von der ursprünglichen Bedeutung des Umklappens einer aeroben in eine anaerobe Grundsituation, scheint hier angebracht: Änderung chemischer Grundparameter, hier der N/P/Si-Relationen, hat signifikante Verschiebung des Artenspektrums zu Folge, und vielleicht noch gewichtiger: das Ökosystem schaltet von Nährstoff-Steuerung auf Licht-Steuerung um. Das geht an die Wurzeln der Grundlagen des Ökosystems.

Entwicklungstrend des ökologischen Zustands der Deutschen Bucht

Die stetige Verschlechterung des ökologischen Zustands der Deutschen Bucht gehört mittlerweile zum umweltpolitischen Allgemeinwissen. Die Trends ab 1963, gemessen an Planktondichten und Eutrophierungs-Folgeerscheinungen, sind von Radach 1988 überzeugend dargestellt worden. Die Beziehung zur Verschlechterung der Bedingungen, hier der seit 1963 steigenden Nährstoffkonzentrationen (Radach & Berg 1986), ist offensichtlich. Die Stickstoffkonzentrationen steigen in einem linearen Trend an. Es gibt keine Hinweise auf eine Abnahme des Anstiegs. Die Daten für Phosphor sprechen für einen linearen Anstieg bis 1973, die Entwicklung seit 1974 kann mit einer Stagnation der Konzentrationen gedeutet werden. Eine begründete Hoffnungen auf eine Umkehr der Trends gibt es nicht. Es muß vermutet werden, daß die Eutrophierungs-Folgeerscheinungen so lange nicht abnehmen, wie die Nährstoff-Frachten nicht abnehmen, und auch dann bestenfalls mit einer kaum vorhersagbaren zeitlichen Verzögerung.

Nährstoffbelastung des Wattenmeers

Ein Ergebnis der Diskussion der Daten von Tabelle 1 war, daß die Nährstoff-Frachten der Flüsse die Deutsche Bucht unvermindert treffen und belasten. Werden die bei Abb. 1 angegebenen relativen Anteile der Frachten der wichtigsten Flüsse an der Nährstoffbelastung der Nordsee verwendet, um die relativen Anteile der an der Belastung des Wattenmeers beteiligten Flüsse anzuschätzen, dann kommt heraus: Rhein/Maas 67.5 %, Schelde 6.5 %, Ems 2.6 %, Weser 6.5 % und Elbe 16.9 % .

Weil damit noch keine direkte Aussage über die Belastung des Wattenmeers im Vergleich zu den anderen Komponenten gemacht wird, schätzen wir die Flächengröße der Kompartimente der Abb. 2 und der Tab. 1 und benutzen die Ergebnisse für eine Kalkulation der Belastung pro Jahr und Quadratkilometer (Tab. 3). Die Wahl der Fläche als Bezugseinheit anstelle des Wasservolumens ist sinnvoll, weil der Umsatz der Nährstoffe lichtabhängig ist und der Lichteinfall flächenproportional ist. Der etwas überraschende Schluß ist, daß die jährliche Stickstoffbelastung des Kompartiments 4 nur 2,1 mal so hoch ist wie die des Kompartiments 1 und daß der entsprechende Faktor beim Phosphor sogar nur 1,6 ist. Bedenkt man die Unsicherheiten, die hinter Zahlen wie denen der Tab. 1 stehen, dann ist Vorsicht geboten: Es liegt zwar nahe, anzunehmen, daß das Wattenmeer pro Flächeneinheit höher mit Nährstoffen belastet ist als die Nordsee insgesamt, aber abschließend bewiesen ist es nicht. Und wenn die kalkulierten Faktoren insoweit richtig sein sollten, daß die Belastung des Wattenmeers höher ist, dann scheint es im Bereich des Möglichen, daß die wattenmeer-spezifischen (der freien Nordsee fehlenden) Prozesse diese Mehrbelastung bewältigen (ich muß anmerken, daß meine flächenbezogene Wattenmeer-Belastung sehr stark von der für das Wattenmeer angesetzten Fläche abhängt. Es mag einer Debatte mit

Hydrographen vorbehalten bleiben, ob meine 30.000 km² akzeptabel sind).

Kompartiment	Fläche km ²	N-Fracht gesamt	P-Fracht gesamt	N-Fracht pro km ²	P-Fracht pro km ²
1	575.000	9.307.000	1.333.000	16	2.3
2	216.000	2.806.000	331.000	13	1.5
3	77.000	1.713.000	194.000	22	3.7
4	30.000	1.023.000	111.000	34	3.7

Tab. 3. Abschätzung der Fracht an Stickstoff und Phosphor (jeweils in t N bzw. P pro Jahr) pro km² der Kompartimente der Tab. 1. Frachten aus Tabelle 1. Abschätzung der Flächengrößen der Kompartimente mit Hilfe der Quadrate der ICES-Boxen und ihrer Flächengrößen (entnommen aus aus Nelissen & Stefels 1988).

Zur Bewertung des ökologischen Zustands

Würden die Deutsche Bucht (Kompartimente 3 einschl. 4) und das Wattenmeer gleichartig oder ähnlich auf gleichartige oder ähnliche Belastungen reagieren, dann müßte sich das Wattenmeer in einem ebenso alarmierenden Zustand befinden wie die Deutsche Bucht. Die Wahrheit sieht anders aus.

Die Deutsche Bucht ist, wie verschiedene Indikatoren zeigen, offensichtlich an der Grenze ihrer Belastbarkeit angekommen, und trotz des Fehlens einvernehmlicher oder gar verbindlicher Bewertungsmaßstäbe wird ihr ökologischer Zustand zunehmend und unwidersprochen als schlecht bewer-

tet. Der Zustand kann gekennzeichnet werden mit gesteigerter Sensitivität gegenüber meteorologischen Bedingungen, die noch eindeutig innerhalb der normalen Schwankungsbreiten liegen.

Die Unsicherheit der Bewertung ist beim Wattenmeer viel größer. Trotz vieler und energisch formulierter Sorgen sind großflächige und länger andauernde biologische Schäden bisher nicht beobachtet worden, wenn von lokalen, punktuellen Belastungen zuzuordnenden Erscheinungen abgesehen wird und wenn der Sonderfall des mit organischen Stoffen hoch belasteten (und gegen Ende der 70er und Beginn der 80er Jahre noch höher belasteten) Dollarts (BOEDE 1983) auch als solcher akzeptiert wird. Elastizität und Regenerationskraft des Wattenmeers sind offensichtlich hoch, und nur wenige Aspekte der Biologie und des Chemismus sprechen bisher für das Erreichen von Grenzen der Belastbarkeit. Das Wattenmeer ist sogar zu der Ehre eines Etiketts gekommen, das ihm attestiert, "sich in einem vom Menschen nicht oder wenig beeinflussten Zustand (zu) befinden", denn diese ist eine der vier in § 14 des Bundesnaturschutzgesetzes genannten Bedingungen für die Einrichtung eines Nationalparks.

Das Wattenmeer verfügt über einige biologisch-chemische Prozesse, die der offenen Nordsee fehlen und die kompensierend und korrigierend an der Erhaltung des skizzierten Zustandes mitwirken:

- Geringe Wassertiefe und intensive Turbulenz sorgen für Verfügbarkeit von Sauerstoff im Wasserkörper und in der obersten Sedimentschicht: die aerobe Mineralisierung ist sehr aktiv.
- Anaerobe Mineralisierung in darunter liegenden Sedimentschichten, gekoppelt an Nitrat- und Sulfatreduktion, kommt dazu, versorgt mit abbaubarem Material durch Bioturbation und Produktion.

- Stickstoff aus Seewasser und aus Biomasse wird durch Denitrifikation in elementaren Stickstoff umgewandelt und aus dem System eliminiert.
- Hohe zeitliche und örtliche Fluktuation der Lebensgemeinschaften erzeugt einen "Flickenteppich" unterschiedlicher Sensitivität, so daß Angriffe und Katastrophen immer nur die jeweils sensitiven Bereiche, kaum aber das gesamte Wattenmeer treffen.
- Wattorganismen sind in extremer Weise "r-Strategen" mit sehr langdauernden Larvenfall-Perioden (Heiber 1988), so daß immer und überall ein großes Wiederbesiedlungspotential vorhanden ist.
- Die unscharfe Grenze zwischen Eu- und Sublitoral einerseits und die Verbreitung vieler Wattorganismen über Eu- und Sublitoral andererseits garantieren ein Wiederbesiedlungspotential auch nach großflächigen, das Eulitoral erfassenden Katastrophen, wie etwa einem Eiswinter (Heiber 1985).

Die Kenntnisse über diese Prozesse reichen noch nicht aus, um die Stabilität des Wattenmeers zu verstehen. Die Aufzählung kann auch deshalb nicht beruhigen, weil Phosphat im Sediment akkumuliert wird und weil Schwermetalle irreversibel im Sediment gebunden und ebenfalls akkumuliert werden. Weder die Kapazität der Sedimente noch die Bioverfügbarkeit der gebundenen Schadstoffe sind bekannt.

Vor diesem ambivalenten Hintergrund verwundert es nicht, daß die Bandbreite der Bewertung des ökologischen Zustandes von der positiven umweltpolitischen Einschätzung reicht bis zum "es ist 5 vor Zwölf" der Umweltschützer, die spätestens nach dem Seehundsterben plausible Gründe für ihre Bewertung zu haben glauben.

Entwicklungstrend des Ökologischen Zustands des Wattenmeeres

Bei der Frage nach Trends der Entwicklung des ökologischen Zustands des Wattenmeeres sind zunächst die Trends der Bedingungen, hier vor allem die Trends der Fluß-Frachten, zu berücksichtigen. Demnach gibt es Anzeichen dafür, daß die Zunahme der Frachten gestoppt werden konnte.

Bei der Frage nach dem Trend des ökologischen Zustandes selbst gibt es im Gegensatz zur Nordsee bisher keine allgemein bekannten oder zugänglichen Erscheinungen, die geeignet wären, ein umweltpolitisches Meinungsbild zu erzeugen. Wir sind auf einige wenige langfristige Beobachtungsreihen und Datenvergleiche angewiesen, deren Ergebnisse eher Indikatorwert haben als daß sie den ökologischen Zustand beschreiben.

Bei einem Langzeitvergleich zwischen Daten von Linke 1939 und den Ergebnissen eigener Erhebungen von 1975-77 fand Michaelis (1987) keine signifikanten Veränderungen der Biomassedichte und Artendiversität im Jadebusen. Ähnlich konnten Reise und Schubert (1987) bei der Prüfung sogar 60 Jahre alter Daten über subtidale Makrofauna im nordfriesischen Wattenmeer keine überzeugenden Anhaltspunkte für eine Verschlechterung des ökologischen Zustandes finden. Im westlichen Wattenmeer sind die Biomassedichten nach Beukema (1987) von 1970 bis 1984 etwa auf das Doppelte angestiegen, die Beiträge einzelner Arten zur Biomassedichte z.T. noch viel stärker (Beukema & Cadeé 1986). Ebenfalls im westlichen Wattenmeer verdoppelten sich sowohl die Mikrophytobenthos-Produktivität wie auch der "standing stock" des Mikrophytobenthos-Chlorophylls von 1968 bis 1981 annähernd (Cadeé 1984).

Soweit die wenigen Angaben über die Entwicklung autochthoner Primär- und Sekundärproduktion im Wattenmeer.

Postma weist 1984 darauf hin, daß das Wattenmeer "Senke" von Primär- und Sekundärprodukten der Nordsee ist. Er postuliert eine "line of no return", über die ein einsinniger Transport von Plankton und Detritus in Richtung Wattenmeer erfolgt und die ungefähr die Lage des eingangs diskutierten Frontensystems hat. Insofern steht das Wattenmeer dann doch unter den Folgen der Eutrophierungsprozesse der Nordsee: Eine Komponente der Belastung mit abbaubarem organischen Kohlenstoff ist diese allochthone Partikelfracht, die in dem Maße ansteigen dürfte, wie die Planktondichten in der Nordsee steigen. Die genannten Biomassezunahmen dürften eine Folgeerscheinung sein, wären also der Eutrophierung zuzurechnen.

Es gibt also einige Anzeichen von und Hinweise auf Veränderungen, bei denen ein Zusammenhang mit Nährstoffbelastung naheliegt. Ihre gemeinsame Erscheinungsform ist die steigende Versorgung mit abbaubarem biogenem Kohlenstoff und damit eine steigende Belastung des Sauerstoff-Haushalts des Wattenmeers. Das Ergebnis wird ein Absinken des relativen Anteils aerober und ein Anstieg des Anteils anaerober Mineralisierung sein. Als beobachtbare Folgeerscheinung wird der Reduktionshorizont höher steigen. Solange über ihm noch eine aerobe Wattschicht vorhanden ist, deren mikrobiologische Aktivität ausreicht, um Produkte der anaeroben Mineralisierung sauerstoffabhängig zu oxidieren, werden biologische Schäden kaum auftreten. Der Reduktionshorizont kann aber die Wattoberfläche erreichen. Dies ist flächenweise in dem in den 70er/80er Jahren hoch belasteten Dollart beobachtet worden und tritt zunehmend auf kleinen Flächen des Wattenmeers auf, und zwar an Orten, wo eine Beziehung zu lokalen Belastungen nicht erkennbar ist. Die erste Folge ist der Übergang von toxischem Sulfid aus dem Sediment in den Wasserkörper mit verheerenden Wirkungen für die Benthosorganismen. Außerdem werden adsorbierte Schwermetalle mobilisiert und werden damit bio-verfügbar,

und ähnliches gilt von Phosphat, so daß der Eutrophierungseffekt den Nährstoff freisetzt (selbstverstärkender Effekt).

Dennoch ist die Feststellung, daß die ökologische Qualität des Wattenmeers im Gegensatz zur Deutschen Bucht zur Zeit relativ gut ist, kaum widerlegbar.

Ansätze für ein prognostisches Modell

Der gedankliche Ansatz ergab sich aus dem Versuch, biologische Folgen der Belastung der Jadebusen-Watten durch Wilhelmshaven und die Sieleinfläufe nachzuweisen, wobei das Wangerooger-Spiekerooger Rückseitenwatt als Vergleichsfläche benutzt wurde (ARSU 1988). Die sorgfältige Analyse der Bedingungen (hier Schadstoffe einschließend), unter denen die Wattflächen stehen, und des Zustandes, in dem sie sich befinden, führte zu einem ebenso klaren wie unerwarteten Ergebnis: Der Zustand des Ökosystems ist besser als die Bedingungen, unter denen es steht.

In Abb. 5 ist dies zu jedem dargestellten Zeitpunkt der Fall: Die Gerade für die Qualität der Bedingungen liegt unter der für die Qualität des Zustandes des biologischen Systems. Die gegenseitige Lage der Geraden ist zu erklären mit der zeitlichen Verzögerung zwischen Zustand und biologischer Folge des Zustands. Die Verschlechterung der Bedingungen könnte möglicherweise, wie oben dargestellt, aufgehalten werden (z.B. durch Errichtung und Verbesserung von Abwasser-Reinigungsanlagen an den Flüssen). In der Abbildung geht deshalb die abfallende Bedingungs-Linie als Alternative in eine waagerechte über. Als hypothetischer Zeitpunkt dieser Verzweigung könnte ca. 1977 bis 1980 angenommen werden. Das Modell erwartet, daß auch die Verschlechterung des Zustandes des biologischen Systems irgendwann aufhören könnte, d.h. die obere abfallende Linie geht auch irgendwann

in eine waagerechte über, aber diese Verzweigung gehört zu einem späteren (Pfeil) Zeitpunkt. Ich halte dieses Modell für naheliegend, aber für falsch. Es trifft nicht zu, daß sich der Zustand des biologischen Systems ebenso graduell, wenn auch zeitlich verzögert, verschlechtert wie die Bedingungen.

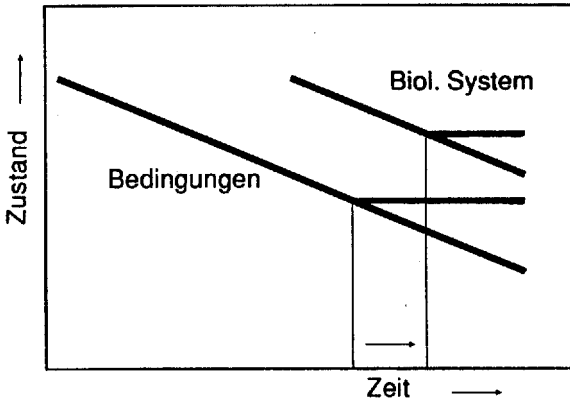


Abb. 5. Modellhafte Vorstellung von der Entwicklung der Qualität des Ökosystems Wattenmeer in Abhängigkeit von der Entwicklung der Bedingungen (hier vor allem Nährstoff-Frachten). Beachte, daß das biologische System einer Änderung der Bedingungen mit einer Verzögerung folgt. Annahme: Der Zustand des biologischen Systems folgt der linearen Änderung der Bedingungen linear mit Zeitverzögerung.

Mit Abb. 6 wird eine Alternative vorgeschlagen. Sie berücksichtigt, daß sich der Zustand des biologischen Systems trotz Verschlechterung der Bedingungen bisher nicht wesentlich verschlechtert hat. Es soll nicht behauptet werden, daß gar keine Verschlechterung eingetreten ist; deshalb fällt die Linie leicht ab. Irgendwann sind die aerobe Mineralisierungskapazität, die Akkumulations- und Eliminationskapazität überfordert. Die dazu gehörende Erscheinung dürfte das Auf-

treten anaerober Sedimente an der Wattoberfläche sein. Für eine davon betroffene Wattfläche bedeutet das den ökologischen Absturz, beschrieben mit der steil abfallenden Linie. Die eingezeichnete zeitliche Verzögerung beschreibt hier die Zeit zwischen Beginn einer überfordernden Fracht und dem "Umkippen". Von entscheidenden Fragen haben wir keine Ahnung: Kann das Umkippen ausgeschlossen werden lediglich durch Stagnation der Frachten (wie in Abb. 5 optimistisch vermutet) oder müssen die Frachten deutlich sinken? Was bedeutet flächenweises Umkippen für das Wattenmeer? Wird es zu synchronen Erscheinungen kommen oder reagieren einzelne Flächenelemente unabhängig voneinander?

Im Fall Deutsche Bucht hat die Überzeugung von einer größeren Labilität noch nicht dazu geführt, Art, Ort und Zeitpunkt von Erscheinungen prognostizieren zu können. Im Fall Wattenmeer sind wir von solchen Fähigkeiten noch viel weiter entfernt. Wir werden sie aber entwickeln müssen, sonst laufen wir in die Gefahr, dem Wattenmeer wegen seiner Pufferkapazität zu viel zuzumuten. Das Vorsorgeprinzip allein wird nicht ausreichen, dies zu verhindern, denn Vorsorge, die nur auf Vermutung beruht, ist nicht durchsetzbar.

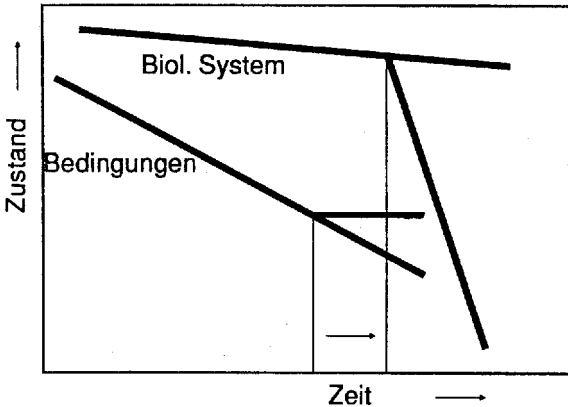


Abb. 6. Alternative zur modellhaften Vorstellung der Abb. 5. Annahme: Der Zustand des biologischen Systems ändert sich bei Verschlechterung der Bedingungen nicht oder nur langsam bis zu einem Punkt, wo die Pufferkapazität erschöpft ist. Auch hier folgt das biologische System der Änderung der Bedingungen mit zeitlicher Verzögerung.

Maßnahmen gegen die Eutrophierung der Nordsee und des Wattenmeeres.

Maßnahmen sind nur realistisch, wenn klare Entwicklungsziele gesetzt und konsequent beachtet werden. Die Eutrophierung der Nordsee bekämpfen zu wollen, ist sinnlos, denn im Sinne des Kompartiments 1 kann die Nordsee kaum als eutrophiert gelten. Das gilt auch für Kompartiment 2. Realismus beginnt bei Bekämpfungsstrategien im Kompartiment 3, wo die prinzipiell beeinflussbaren Flußfrachten die Hälfte der Belastung bringen. Alles andere ist globaler Natur mit unerreichbaren Zeitdimensionen.

Erfolgversprechend ist die Bekämpfung der Eutrophierung in Kompartiment 4 und somit dem Wattenmeer, denn hier ist der Anteil der Belastung aus den Flüssen 80 % bis 90 %, und seine Reduzierung ist entscheidend. Programme des Bundes und der Küstenländer mit dem Ziel der Modernisierung von Kläranlagen und ihrer Ausstattung mit "3. Reinigungsstufen" (Phosphatfällung) sind Schritte in die richtige Richtung. Sie sind teuer und benötigen Zeit, und wir wissen nicht, wieviel Zeit wir haben. Deshalb sind auch innerhalb dieser Programme entschiedene Entwicklungsziele und Prioritäten nötig. Primäres Entwicklungsziel ist in diesem Fall die Wattenmeer-Vorsorge. Die Fluß-Sanierung ist dann sekundäres Entwicklungsziel. Für das primäre Entwicklungsziel muß die Priorität der Kläranlagen-Modernisierung lauten: Zuerst die ins Salzwasser, dann die ins Brackwasser einleitenden Kläranlagen, danach Reihenfolge nach Maßgabe steigender Entfernung vom Wattenmeer. Grund: Eine Kläranlage bzw. Nährstoffeinleitung ist im Hinblick auf das Wattenmeer umso unbedenklicher, je länger die zwischengeschaltete Eliminations- und Kontrollstrecke des Flusses ist. Alles bleibt aber vergeblich, werden nicht die diffusen Belastungen aus der Landwirtschaft nach gleichen Grundsätzen vermindert.

Definiert man als primäres Entwicklungsziel die Fluß-Sanierung, würde man umgekehrt vorgehen. Gelte es, zwischen diesen beiden Entwicklungszielen zu entscheiden, dann gäben ich dem Wattenmeer den Vorrang, denn während die Verschlechterung der ökologischen Qualität der Flüsse gestoppt werden konnte, ist das Nordsee-Kompartiment 3 eindeutig, das Wattenmeer wahrscheinlich im Abwärts-Trend.

Und wenn diese Fluß- und Einleitungs-Sanierung geleistet wird, was kann bestenfalls von ihr erwartet werden? Nicht erwartet werden darf, daß die Belastung -etwa gemessen in Konzentrationen- um diejenigen 80 % bis 90 % zurückgeht, die aus den Flüssen stammen. Erreicht werden kann be sten-

falls, daß die Konzentrationen im Wattenmeer (Kompartiment 4) die Werte der Deutschen Bucht (Kompartiment 3) oder, sehr optimistisch, des Kompartiments 2 erreichen. In dem Maße, in dem die Frachten aus den Flüssen zurückgehen, steigt der relative Anteil der Atlantik-Frachten an. Allerdings: Wenn das Wattenmeer wirklich eine Eliminationskapazität hat, die die der freien Nordsee übersteigt, dann kann es sogar einen Gradienten abnehmender Konzentrationen von See her in Richtung Land geben. Aber das ist nicht mehr als Theorie.

Kausalzusammenhänge

Das Verursacherprinzip als Grundlage unseres Immissionsrechts läßt uns im Falle von Umweltschäden nach dem Verursacher suchen. Es gibt Fälle der klaren Zuordnung von Schaden und Verursacher wie Vogelverölungen und Öleinleitung oder Fischkrankheiten und Dünnsäure-Verklappung. In allen anderen Fällen ist es sehr schwierig, biologische Schäden definierten Verursachern, und sei es auch nur einer Flußmündung in ihrer Pauschalität, anzulasten. Der direkte Schadstoff-"Pfad" vom Emittenten zur Immissionsstelle ist nicht nachvollziehbar.

Solche Erkenntnisse sind fatal, denn sie erschweren Maßnahmen. Wir werden aber lernen müssen, die Zusammenhänge anders zu sehen: Die Deutsche Bucht und das Wattenmeer leiden unter der überregionalen und globalen Belastung, hier der Flüsse, der flußmündungs-beeinflußten Meeresteile und der Atmosphäre. Zu dieser globalen Belastung leisten alle ihre Beiträge, die küstennahe Industrie und Landwirtschaft, das ferne Ruhrgebiet, und weit, weit darüber hinaus. Die Suche nach dem direkten Verursacher ist bis auf Sonderfälle müßig. Die Gesamtbelastung muß niedriger werden, und jede dazu geeignete Maßnahme muß ergriffen werden, und scheint ihr Beitrag zunächst auch noch so verzweifelt klein.

Dies ist für die politische Exekutive eine sehr schwierige Aufgabe, um die ich Sie, das Dezernat Wasserwirtschaft, nicht beneide, und bei der Sie unserer Unterstützung sicher sein können.

Zu dem Ökosystem-Verständnis, das diesem Vortrag zugrunde liegt, haben Herr Prof. Dr. W. Ebenhöf (Fachbereich 6) und Herr Dr. G.-P. Zauke (Fachbereich 7) wesentliche Beiträge geleistet. Frau A. Hemming und Herrn M. Köritz danke ich für Zusammenstellung und Aufarbeitung von Daten über Biologie und Belastung des Wattenmeeres, wobei es um Daten der Forschungsstelle Küste des Nds. Landesamtes für Wasserwirtschaft, der Bezirksregierung und des Wasserwirtschaftsamtes Brake ging. Diesen drei Fachbehörden danke ich für ihre Kooperativität. Herrn Prof. Dr. S. Gerlach, Kiel, danke ich für eine kritische Diskussion der hier vorgetragenen Aspekte.

Glossar

allochthon:	Durch Transportprozesse in das betrachtete Gebiet gelangtes Material.
anaerob:	unter Ausschluß von Sauerstoff (Gegenteil: aerob).
biogen:	biologischer Herkunft.
Bioturbation:	Vermischungs- und Wühltätigkeit der im Sediment lebenden Organismen.
Denitrifikation:	Umwandlung von Stickstoff-Verbindungen in gasförmigen elementaren Stickstoff, der in die Atmosphäre entweicht.
Diatomeen:	silikatabhängige Algen.
Eulitoral:	bei Hochwasser überflutete, bei Niedrigwasser trockenliegende Flächen.
Eutrophierung:	Sammelbegriff für Folgeerscheinungen von Überdüngung.
Mikrophytobenthos:	Alle pflanzlichen einzelligen Organismen (Algen) der Sedimentoberfläche.
photisch:	belichtet.
Phytoplankton:	alle pflanzlichen einzelligen Organismen (Algen) des Wasserkörpers.
r-Strategen:	Organismen, deren Überlebensstrategie auf extrem hohen Zahlen von Nachkommen beruht.
Salinität:	Salzgehalt.
Silikat:	Nährstoffkomponent, die speziell von Diatomeen benötigt wird.

Sublitoral:	auch bei Niedrigwasser noch überflutete Fläche.
terrestrisch:	landbezogen (Gegensatz: marin, meeresbezogen).

Literatur

- ARGE Weser 1985. Zahlentafeln der physikalisch-chemischen Untersuchungen. Bremen.
- ARSU (Arbeitsgruppe für regionale Struktur- und Umweltforschung GmbH) 1988. Ökologische Potential- und Belastungsanalyse Jadebusen. Endbericht an die Stadt Wilhelmshaven und an das Umweltbundesamt. Oldenburg.
- Beukema, J. J., 1987. Eutrophication of the North Sea: reason for satisfaction or concern? In: Proc. 2nd North Sea Seminar, Werkgroep Noordzee Amsterdam. pp 27-38.
- Beukema, J. J. & Cadeé, G. C., 1986. Zoobenthos responses to eutrophication of the Dutch Wadden Sea. *Ophelia* 26:55-64.
- BOEDE 1983. Biologisch Onderzoek Eems-Dollard-Estuarium. Boede-Publicaties en verslagen No. 1. Den Burg/Texel.
- Cadeé, G. C., 1984. Has Input of Organic Matter into the Western Part of the Dutch Wadden Sea Increased during the last Decades? Netherlands Institute for Sea Research - Publications Series 10:71-82.
- Gemeinsames Bund-Länder Meßprogramm für die Nordsee 1986. Stickstoff- und Phosphoreinträge in die Nordsee über das Fluß-System der Elbe: Wassergütemessungen im Küstenbereich der Bundesrepublik Deutschland. Hannover.
- Gerlach, S. (ed.), 1984. Oxygen Depletion 1980-1983 in Coastal Waters of the Federal Republic of Germany. Bericht Nr. 130, Institut f. Meereskunde, Kiel.
- Gerlach, S., 1988. Nutrients - an overview. In: P. J. Newman & A. R. Agg, eds., Environmental Protection of the North Sea. Heinemann Professional Publ. Ltd. Oxford.
- Heiber, W., 1985. Möglichkeiten der Wiederbesiedelung von Wattflächen nach "Umweltkatastrophen". *SEEVÖGEL* 6:89-97.

-
- Heiber, W., 1988. Die Faunengemeinschaft einer großen Stromrinne des Wurster Wattengebiets (Deutsche Bucht). Dissertation. Bonn.
- Internationale Kommission zum Schutz des Rheins gegen Verunreinigungen, 1986. Zahlentafeln der physikalisch-chemischen Untersuchungen des Rheinwassers. Koblenz.
- Linke, O., 1939. Die Biota des Jadebusenwatts. Helgol. Wiss. Meeresunters. 1 (3).
- Michaelis, H., 1987. Bestandsaufnahme des eulitoralen Makrobenthos im Jadebusen in Verbindung mit einer Luftbild-Analyse. JBer. Forschungsstelle Küste 38, 13-97 mit 23 Tabellen und 15 Anlagen.
- Nelissen, P. H. M. & Stefels, J., 1988. Eutrophication in the North Sea. Nederlands Instituut voor Onderzoek der Zee, Rapport 1988 - 4. Den Burg.
- Postma, H., 1984. Introduction to the symposium on organic matter in the Wadden Sea. Netherlands Institute for Sea Research - Publication Series 10:15-22.
- QSR (Quality Status Report) 1987. 2nd Int. Conference on the Protection of the North Sea - A Report by the Scientific and Technical Working Group. London.
- Radach, G., 1988. Welche Entwicklung nimmt das Ökosystem in der Deutschen Bucht? Mitteilungen Nr. 2/1988 der Deutschen Gesellschaft für Meeresforschung, Hamburg.
- Radach, G. & Berg, J., 1986. Trends in den Konzentrationen der Nährstoffe und des Phytoplanktons in der Helgoländer Bucht (Helgoland Reede Daten). Berichte der Biologischen Anstalt Helgoland 2. Hamburg.
- Reise, K. & Schubert, A., 1987. Macrobenthic Turnover in the subtidal Wadden Sea: the Norderaue revisited after 60 years. Helgoländer Meeresunters. 41, 69-82.

Autor

THOMAS HÖPNER (1936)

Dr. rer. nat. habil., Professor für Biochemie am Institut für Chemie und Biologie des Meeres der Universität Oldenburg.

Studium der Chemie an der Universität Heidelberg. Promotion (Chemie) 1965 in Heidelberg. Habilitation (Biochemie) 1971 in Heidelberg. 1973 Ruf auf die Professorenstelle Biochemie der Universität Oldenburg.

Mitglied des Beirats für Naturschutz und Landschaftspflege beim Bundesminister für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit. Mitglied des Beirats der Nationalparkverwaltung Niedersächsisches Wattenmeer. Vorsitzender des Ausschusses für Umweltfragen beim DGB-Landesbezirksvorstand Niedersachsen. Vertrauensdozent der Hans-Böckler-Stiftung.

Arbeitsgebiet: Geophysiologische Prozesse im Wattenmeer.