

# Pflanzennährstoffe und die Nordsee – ein Überblick

Von Sebastian A. Gerlach

## 1. Einleitung

Pflanzen-Nährstoffe werden vom Landwirt als Dünger bezeichnet. Es handelt sich dabei nicht eigentlich um Schadstoffe, sondern um Biostimulantien, denn Pflanzen-Nährstoffe gehören zu den Elementen, aus denen sich die Körpermasse der lebenden Bakterien, Pflanzen und Tiere zusammensetzt. Manche dieser Elemente sind reichlich vorhanden, wie Wasserstoff, Kohlenstoff und Sauerstoff.

Die als Pflanzen-Nährstoffe bezeichneten Elemente dagegen sind nur in begrenzter Menge verfügbar, und deswegen limitieren sie bei sonst optimalen Umweltverhältnissen das Pflanzenwachstum entsprechend dem Liebig'schen Gesetz des Minimums. 3,3 kg Pflanzen-Masse können mit 310 kJ Sonnen-Energie produziert werden, wenn 1 Mol Phosphat, 16 Mol Nitrat, 90 Mol Wasser und 106 Mol Kohlendioxid verfügbar sind. Will man eine höhere Pflanzenproduktion haben, hilft es nicht, nur einen der Pflanzen-Nährstoffe reichlicher anzubieten: sie müssen alle im richtigen Verhältnis steigen, sonst begrenzt der Minimumfaktor das Wachstum. In den terrestrischen Lebensräumen sind Kalium und Kalzium oft Minimumfaktoren, also limitierende Faktoren. Im Meerwasser sind jedoch die Konzentrationen dieser beiden Elemente hoch, etwa  $400 \text{ g/m}^3$ , und das ist mehr, als die Planktonalgen brauchen können. Silizium dagegen, in den Landlebensräumen reichlich vorhanden, hat im Meerwasser nur Konzentration um  $3 \text{ g/m}^3$ . Deshalb limitiert Silizium oft das Wachstum des Diatomeen-Planktons. Neben den genannten Elementen werden weitere benötigt zum Pflanzenwachstum, wenn auch nur in Spurenmengen: Kobalt, Kupfer, Eisen, Mangan, Molybdän, Vanadium und Zink; bisher weiß man aber noch nicht so viel über Konzentrationen im Meerwasser und Bedarf der Pflanzen, als daß man diese Elemente wie Umweltfaktoren beurteilen könnte. Übrigens brauchen manche Dinoflagellaten zusätzlich bestimmte Vitamine, um wachsen zu können.

Von den Pflanzen-Nährstoffen stehen gegenwärtig Phosphor und Stickstoff im Mittelpunkt des Interesses, weil in den vergangenen Jahrzehnten immer größere Mengen durch menschliche Aktivitäten in die Meere gelangt sind. Für die Ostsee insgesamt wird angenommen, daß die Stickstoff-Frachten der einmündenden Flüsse jetzt 4,2mal höher, die Phosphor-Frachten 7,6mal höher sind als vor 1900 (LARSSON et al. 1985). Ähnlich sind die Verhältnisse auch für die Nordsee: die naturgegebenen Konzentrationen im Flußwasser werden auf  $1,5 \text{ g N/m}^3$  und  $0,1 \text{ g P/m}^3$  geschätzt, während 1980 die Konzentrationen etwa  $6 \text{ g N/m}^3$  und  $0,7 \text{ g P/m}^3$

waren. Zu diesen Werten kommt man beim Bezug aller Einträge mit Flußwasser, über direkte Einleitungen und Verklappungen auf die zufließende Süßwassermenge (Tab. 1). Man kann also vielleicht allgemein davon ausgehen, daß solche Flüsse, welche dicht bevölkerte Gebiete entwässern, gegenwärtig etwa 4mal mehr Stickstoff-Verbindungen und 7mal mehr Phosphor dem Meer zuführen, als das früher allein durch naturgegebene Erosion geschah. Dazu kommt jetzt noch der atmosphärische Eintrag über die Luftverschmutzung, welcher auf  $1000 \text{ kg N/km}^2$  und  $45 \text{ kg P/km}^2$  im Jahr geschätzt wird (ANONYMUS 1985 b).

Vermutlich begannen die Nährstoff-Konzentrationen im Flußwasser bereits zu steigen, als die ersten landwirtschaftlichen Aktivitäten des Menschen begannen und die Erosion der Erdkrume beschleunigten. Menschliche Ansiedlungen fanden schon immer vorzugsweise an Flüssen und Bächen statt, und diese nahmen die Abwässer auf. Seit dem Ende des vorigen Jahrhunderts bis jetzt wurden immer mehr Abwasserkanäle gebaut, um die Wasser-Klosetts mit dem nächsten Wasserlauf und so auch mit dem Meer zu verbinden. Immer mehr Guano und Phosphat wurden importiert, immer größere Mengen Stickstoffsalze wurden aus Luftstickstoff produziert, damit sie als Düngemittel die Ernte steigern sollten. In den vergangenen Jahren wurden große Men-

gen eiweißreichen Kraftfutters importiert für die Produktion von Rindfleisch, Schweinefleisch, Geflügel und Forellen. Die Ausdünstungen des Viehs und der Gülle belasten die Luft mit Ammoniak. Bei der Verbrennung von Öl und Kohle gelangen Stickoxide in die Atmosphäre. Große Phosphatmengen werden immer noch in Waschmitteln verwendet, weitere Phosphor- und Stickstoff-Mengen bei anderen industriellen Prozessen.

Welche Auswirkungen haben die stark angestiegenen Einträge von Phosphor und Stickstoff auf die Nordsee? Düngen die zusätzlichen Frachten dieser Pflanzen-Nährstoffe die Küstengewässer, bewirken sie eine Eutrophierung (besser Hypertrophierung) dieser Wassermassen, welche eigentlich schon von Natur aus nährstoffreich, eutroph, sind? Seit etwa 1984 werden diese Fragen unter Meeresforschern diskutiert, nicht nur in der Bundesrepublik Deutschland (GERLACH 1984), in Dänemark (ANONYMUS 1984 b), Schweden (ROSENBERG et al. 1986) und in den Niederlanden (ANONYMUS 1985 a, b), sondern auch im Internationalen Rat für Meeresforschung (ICES) und in der Joint Monitoring Group von OSPARCOM, den Abkommen von Oslo und Paris gegen die Verschmutzung der Meere. Im Rahmen der Paris-Konvention zur Verhütung der Meeresverschmutzung vom Lande aus wurde 1986 eine Arbeitsgruppe für Pflanzen-Nährstoffe eingesetzt, und bei der UNESCO

Tab. 1: Nährstoff-Einträge in die Nordsee südlich  $56^\circ \text{ N}$  durch Flüsse, Einleitungen und Verklappungen, 1980. Nach PAGEE und POSTMA 1987.  
Inputs of nutrients into the North Sea south of  $56^\circ \text{ N}$  by rivers, emissions and dumping, in 1980. From PAGEE u. POSTMA 1987.

| Quellen               | Süßwasser             |                           | Phosphor<br>$10^3 \text{ t/Jahr}$ | Stickstoff<br>$10^3 \text{ t/Jahr}$ |
|-----------------------|-----------------------|---------------------------|-----------------------------------|-------------------------------------|
|                       | $\text{m}^3/\text{s}$ | $\text{km}^3/\text{Jahr}$ |                                   |                                     |
| <b>Großbritannien</b> |                       |                           |                                   |                                     |
| Firth of Forth        | 65                    | 2,0                       | 0,2                               | 1                                   |
| Tyne                  | 51                    | 1,6                       | 0,2                               | 1                                   |
| Tees                  | 17                    | 0,5                       | 0,2                               | 2                                   |
| Humber                | 280                   | 8,8                       | 0,6                               | 44                                  |
| Wash                  | 48                    | 1,5                       | 1,1                               | 18                                  |
| Themse                | 154                   | 4,9                       | 0,1                               | 33                                  |
| andere Quellen        |                       |                           | 25,6                              | 98                                  |
| <b>Belgien</b>        | 17                    | 0,7                       | 1,2                               | 7                                   |
| <b>Niederlande</b>    |                       |                           |                                   |                                     |
| Schelde               | 216                   | 5,9                       | 5,7                               | 45                                  |
| Maas                  | 900                   | 28,4                      | 12,0                              | 120                                 |
| Rhein                 | 2222                  | 65,9                      | 40,4                              | 342                                 |
| Ems-Dollart           | 120                   | 3,3                       | 3,1                               | 35                                  |
| andere Quellen        |                       | 1,4                       | 11,3                              | 41                                  |
| <b>Deutschland</b>    |                       |                           |                                   |                                     |
| Weser                 | 500                   | 15,8                      | 8,6                               | 42                                  |
| Elbe                  | 1150                  | 36,2                      | 14,0                              | 250                                 |
| andere Quellen        |                       | 0,8                       | 2,5                               | 17                                  |
| <b>Dänemark</b>       |                       | 2,5                       | 0,3                               | 4                                   |
| <b>Insgesamt</b>      |                       | 182                       | 127                               | 1100                                |

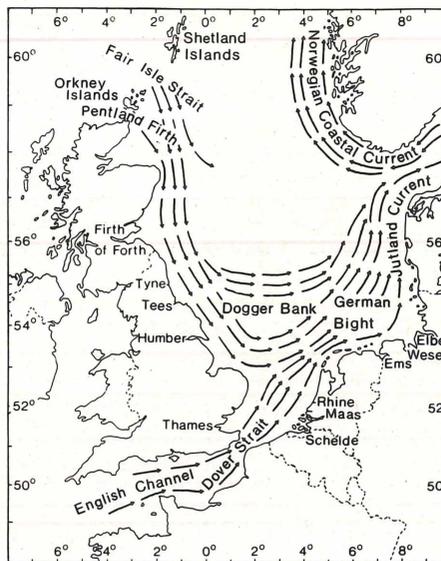
beschäftigt sich die Expertengruppe GE-SAMP mit dem Thema.

Ich werde versuchen, einen Überblick über die gegenwärtige Situation zu geben und benutze dafür die oben genannten Quellen, den Bericht über den Gütezustand der Nordsee, der sich aus der ersten Nordsee-Schutzkonferenz ergab (ANONYMUS 1986), sowie Diskussionen der »Arbeitsgruppe Eutrophierung der Nord- und Ostsee«, welche seit 1984 vom Umweltbundesamt in Berlin gefördert wird. Wesentliche Teil dieser Ausarbeitung sind in englischer Sprache als Beitrag zur »International Conference on Environmental Protection of the North Sea« eingereicht worden (GERLACH 1987); DUURSMA et al. (1987) befassen sich mit den Auswirkungen der Eutrophierung. Eine weitere Analyse wurde von BROCKMANN et al. (im Druck) erarbeitet. Ich werde aber auch versuchen zu zeigen, daß den Meeresforschern noch nicht genug Grundlagen bekannt sind, als daß sich zur Zeit schon eine beweiskräftige Bilanzierung der Pflanzen-Nährstoffe in der Nordsee geben ließe. Viel Forschungsarbeit ist noch nötig.

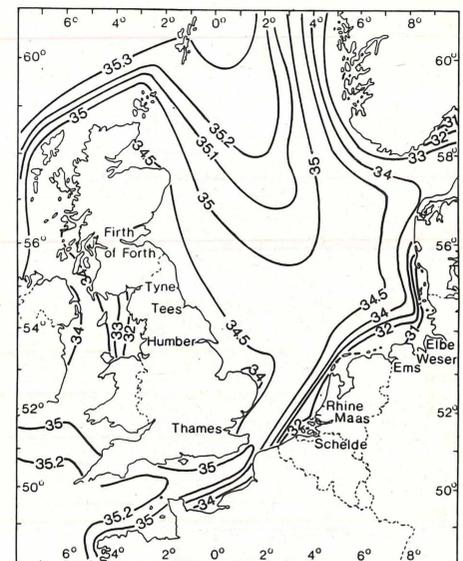
## 2. Bilanzierung der Pflanzen-Nährstoffe in der Nordsee

Die Nordsee ist 575 000 km<sup>2</sup> groß und im Mittel 70 m tief; sie fällt von 20 bis 40 m Wassertiefe im Süden auf 40 bis 150 m im Norden ab. Einschließlich Skagerrak enthält die Nordsee 47 000 km<sup>3</sup> Wasser (41 000 km<sup>3</sup> ohne Skagerrak). Wenn man ganz grob annimmt, daß im Winter in 1 m<sup>3</sup> Nordseewasser 19 mg Phosphor (0,6 µmol/l Phosphat) und 112 mg Stickstoff (8 µmol/l Nitrat) enthalten sind, und wenn man außer acht läßt, daß es auch organisch gebundene Nährstoffe im Nordseewasser gibt, dann enthält das Nordseewasser insgesamt 0,9 Millionen t Phosphor und 5,3 Millionen t Stickstoff. Die Konzentrationen sind nicht überall gleich: in den zentralen Bereichen der Nordsee werden nur 16 mg Phosphor und 85 mg Stickstoff pro m<sup>3</sup> analysiert, also deutlich weniger als im Wasser des Nordatlantiks (Abb. 1 C–D).

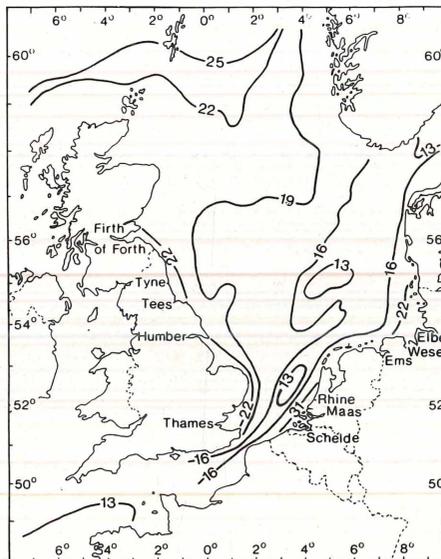
Der bedeutendste Zustrom von nährstoffreichem Atlantikwasser in die Nordsee findet zwischen den Shetland-Inseln und Norwegen statt; es handelt sich um etwa 40 000 km<sup>3</sup>/Jahr (ANONYMUS 1986). Allerdings scheinen diese Wassermassen nicht die südlichen Regionen der Nordsee zu beeinflussen: sie dringen vorwiegend in der Tiefe in den nördlichen Teil und in das Skagerrak vor und vermischen sich dort a) mit dem Baltischen Strom, dem aus der Ostsee ausströmenden Wasser, b) mit dem Wasser des Jütland-Stroms und c) mit Nordseewasser, welches von Westen nach Osten vordringt. Nach der Vermischung verlassen diese Wassermassen als Norwegischer Küstenstrom die Nordsee. Dieser nach Norden gerichtete Ausstrom ist mit schätzungsweise 57 000 km<sup>3</sup> pro Jahr größer als das Gesamtvolumen



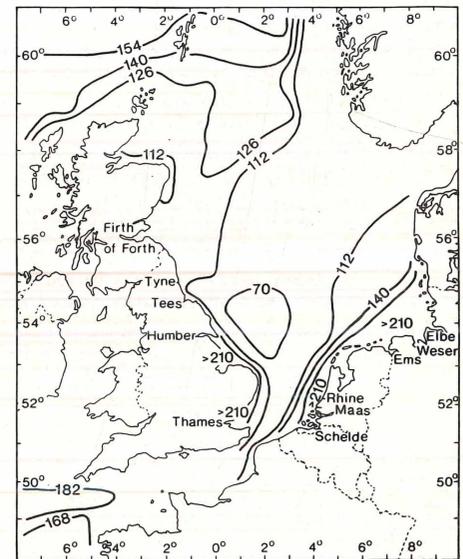
A Wasserzirkulation (Modellsimulation bei mittl. SW-Wind von 3 m/s). Nach MÜLLER-NAVARRA und MITTELSTAEDT (1985).  
A Water circulation (model simulation with mean southwesterly wind of 3 m/s speed). From MÜLLER-NAVARRA and MITTELSTAEDT (1985).



B Salzgehalt (‰, Februar-Mittel 1905–1954). Nach ANONYMUS (1962).  
B Salinity (‰, February mean 1905–1954). From ANONYMUS (1962).



C Phosphat (mg/m<sup>3</sup>, Winter-Mittel). Nach JOHNSTON (1973).  
C Phosphate (mg/m<sup>3</sup>, midwinter mean). From JOHNSTON (1973).



D Nitrat (mg/m<sup>3</sup>, Winter-Mittel). Nach JOHNSTON (1973).  
D Nitrate (mg/m<sup>3</sup>, midwinter mean). From JOHNSTON (1973).

Abb. 1: Hydrographie und Nährstoff-Konzentrationen in der Oberflächenschicht der Nordsee.  
Hydrography and nutrient concentrations in the surface layer of the North Sea.

der Nordsee. Aber der Einfluß dieses nordöstlichen Stromsystems auf die südlichen Gebiete der Nordsee scheint gering zu sein. Weil sich die folgende Betrachtung vor allem auf die Nordsee südlich von 56° nördlicher Breite bezieht, kann ich den Einstrom von Atlantikwasser zwischen den Shetland-Inseln und Norwegen vernachlässigen.

Mit dem Fair Isle-Strom fließen jährlich 9500 km<sup>3</sup> Nordatlantik-Wasser zwischen den Orkney-Inseln und den Shetland-Inseln nach Süden in die Nordsee; dazu strömen 1000 km<sup>3</sup>/Jahr aus der Irischen See durch den Pentland Firth, also zwi-

schen Schottland und den Orkney-Inseln in die Nordsee. Zum Teil strömen diese Wassermassen nach Südosten; die größten Mengen fließen jedoch südwärts an den britischen Küsten entlang (Fig. 1 A). Neuerdings ist es möglich, mit dreidimensionalen numerischen Modellen die Strömungsverhältnisse der Nordsee zu simulieren (BACKHAUS 1985) und dabei sogar alle sechs Stunden die aktuellen Windverhältnisse aus einem 150 km – Gitter einzugeben (HAINBUCHER et al. 1986, HAINBUCHER et al. im Druck). So konnten die Strömungsverhältnisse in der Nordsee zwischen 1969 und 1981 simuliert werden

(Abb. 3). Der für diese Zeitspanne gemittelte Wassertransport ist etwas größer als die oben mitgeteilten Daten. Die Werte liegen jedoch in derselben Größenordnung. Messungen und Modell-Simulationen stimmen also recht gut überein, wobei die beträchtlichen jahreszeitlichen Unterschiede und die großen Unterschiede von Jahr zu Jahr auffallen. Die Variationen sind eigentlich wohl auch aussagekräftiger als ein errechneter Mittelwert. Das gilt auch für die Straße von Dover, wo die Modell-Simulation (Abb. 3) etwas geringere mittlere Flüsse ergibt als die Abschätzung von PRANDLE (1984). Danach strömen jährlich  $5300 \text{ km}^3$  Wasser aus dem Englischen Kanal durch die Straße von Dover in die Nordsee. Diese Wassermassen gelangen in die Deutsche Bucht und fließen dann als Jütland-Strom nach Norden, wobei sich sowohl Flußwasser als auch Nordatlantik-Wasser beimischen.

Für die Bilanzierung der Nordsee südlich von  $56^\circ$  nördlicher Breite nutze ich Daten von PAGEE und POSTMA (1987) (Tab. 2): Ich rechne mit einem Zustrom von  $5900 \text{ km}^3/\text{Jahr}$  aus dem Nordatlantik und mit  $4800 \text{ km}^3/\text{Jahr}$  aus dem Englischen Kanal. Die Nährstoffkonzentrationen sollen  $19 \text{ mg P/m}^3$  und  $130 \text{ mg N/m}^3$  in dem Wasser sein, welches von Nordwesten in die Nordsee einströmt, und  $25 \text{ mg P/m}^3$  und  $200 \text{ mg N/m}^3$  im Wasser aus dem Englischen Kanal. Daraus ergeben sich Nährstoff-Frachten von jährlich  $112000 \text{ t P}$  und  $767000 \text{ t N}$  aus dem Nordwesten und von  $120000 \text{ t P}$  und  $1745000 \text{ t N}$ , die jährlich mit Wassermassen aus den benachbarten Meeresgebieten einströmen. Überwiegend strömen diese Nährstoffmengen natürlich mit dem Norwegischen Küstenstrom auch wieder aus der Nordsee heraus.

Charakteristisch für die Nordsee ist der Gürtel mit Wasser verminderten Salzgehaltes (Abb. 1 B), welcher den Küsten von Großbritannien, Belgien, der Niederlande, von Deutschland und Dänemark

folgt. Die Wassermassen dieses Gürtels bewegen sich entgegen dem Uhrzeigersinn mit einer mittleren Geschwindigkeit von  $2,5\text{--}5 \text{ km/Tag}$  ( $3\text{--}6 \text{ cm/s}$ ), wobei der Reststrom gemeint ist, welcher sich aus der Differenz von Flut- und Ebbsstrom ergibt. Diese mittleren Verhältnisse gelten nicht, wenn der Wind aus einer anderen als der mittleren Windrichtung weht. Bei Gegenwind kann sich die Strömungsrichtung im Küstengürtel auch umkehren. Aber im Mittel wird das Küstenwasser vor der Rheinmündung und in der Deutschen Bucht später Teil des Jütland-Stroms, der bei Skagen in das Kattegat einschwenkt, und der deshalb teilweise eventuell später als Tiefenwasser wiedergefunden werden kann, welches durch die Beltsee in die Ostsee strömt. Der größte Teil der Wassermassen des Küstengürtels vereinigt sich jedoch mit dem Baltischen Strom, dem oberflächlich aus der Ostsee ausströmenden Brackwasser, und setzt sich als Norwegischer Küstenstrom an den norwegischen Küsten entlang nach Norden fort. Jährlich erhält die Nordsee  $500 \text{ km}^3$  Süßwasser mit dem Brackwasser des Baltischen Stromes sowie  $400 \text{ km}^3$  Süßwasser von den in die Nordsee mündenden Flüssen. Niederschläge bringen mit  $330 \text{ km}^3/\text{Jahr}$  mehr Süßwasser in die Nordsee, als verdunstet; der Überschuß ist  $80 \text{ km}^3/\text{Jahr}$  (ANONYMUS 1986). Der südliche Teil der Nordsee, also die Region zwischen dem Firth of Forth und Dänemark, erhält  $182 \text{ km}^3$  Süßwasser-Zustrom pro Jahr mit Flußwasser (Tab. 1); überwiegend kommen diese Flüsse aus dichtbevölkerten Gebieten und sind stark verschmutzt. In Tab. 2 multipliziere ich diesen Süßwasser-eintrag mit den Nährstoffkonzentrationen. Dadurch wird deutlich, wie stark der Mensch die Nährstoff-Bilanz der Nordsee verändert hat.

Naturegebenen haben die Flußfrachten nur 7–14 Prozent der Gesamtfrachten an Nährstoffen, welche die südliche Nordsee erreichen, ausgemacht, 1980 dagegen war der Anteil der Flußfrachten 34–36 Pro-

zent. Im Vergleich mit naturgegebenen Verhältnissen werden jetzt jedes Jahr zusätzlich  $119000 \text{ t Phosphor}$  und  $1047000 \text{ t Stickstoff}$  der Nordsee zugeführt. Welche Auswirkungen hat das?

PAGEE et al. (1986) haben versucht, die Nährstoffverhältnisse zu modellieren (Abb. 2 B–C): Mehr als 30 Prozent und im inneren Teil sogar mehr als 50 Prozent der Nährstoffkonzentrationen, die man in der Deutschen Bucht findet, könnten vom Menschen verursacht sein. HAINBUCHER et al. (im Druck) haben komplizierte Modellsimulationen durchgeführt (Abb. 5), die allerdings nicht speziell auf Pflanzen-Nährstoffe abgestimmt sind; denn die prozentualen Beiträge der Hauptflüsse decken sich nicht mit den Angaben der Tab. 1, und in dieser Tabelle sind die mit Klärschlamm verklappten Nährstoffmengen nicht lokalisiert. Die Modelle simulieren auch nur den windgetriebenen Transport von Substanzen, die sich konservativ wie ein Wasserpartikel verhalten, und auch die Wirkung des zufließenden Süßwassers auf die Schichtungsprozesse im Küstengebiet ist nicht in den Modellen berücksichtigt worden. Trotzdem zeigen die Modelle wohl richtig, daß sich Schadstoffe und Pflanzen-Nährstoffe in dem küstennahen Gürtel von Wasser verringerten Salzgehalts konzentrieren, der sich von Belgien bis nach Skagen erstreckt (Abb. 5).

### 3. Forschungslücken: Saisonalität, Analytik und Sedimentation

Die Nährstoff-Frachten der Flüsse gelangen nicht gleichmäßig in die Nordsee, sondern folgen den jahreszeitlich bedingten Veränderungen im Süßwasserablauf. Bei heftigen Regenfällen werden Stickstoff-Salze von den Äckern erodiert, werden nährstoffreiche Schlickzonen im Stromschatten der Bühnen ausgeräumt. Bei hohen Abflußwerten sind deshalb auch die Konzentrationen oft hoch. Der größte Teil der Stickstoff-Frachten gelangt im Winter und Frühling in die Nordsee. Aber 1980–81 gab es auch während des Sommers Regenstürme in Mitteleuropa; entsprechend hohe Nährstoff-Frachten der Elbe wurden auch im Sommer beobachtet (Abb. 4). Bei den Modellrechnungen sollte man die starken Schwankungen berücksichtigen: 1981 war die Gesamtstickstoff-Fracht der Elbe  $273000 \text{ t}$ , 1984 waren es nur  $142000 \text{ t}$ .

Diese Frachten wurden errechnet aus täglichen Abflußmengen und wöchentlichen Nährstoff-Analysen oberhalb der Gezeitengrenze der Elbe. Bisher ist nur unvollkommen bekannt, was im Unterlauf der Elbe und anderer Flüsse passiert, also im Ästuarbereich zwischen der Gezeitengrenze und der Brackwasser-Meerwasser-Grenze. Dieser Ästuarbereich ist in der Elbe  $150 \text{ km}$  lang. Bei mittleren Abflußverhältnissen dauert es zwei Wochen, bis ein Wasserkörper ihn durchflossen hat; wahrscheinlich vergeht eine weitere Woche oder mehr Zeit, bis er Helgoland

Tab. 2: Vergleich der naturgegebenen Einträge in die Nordsee südlich  $56^\circ \text{ N}$  mit der Situation 1980. Daten von PAGEE und POSTMA 1987.

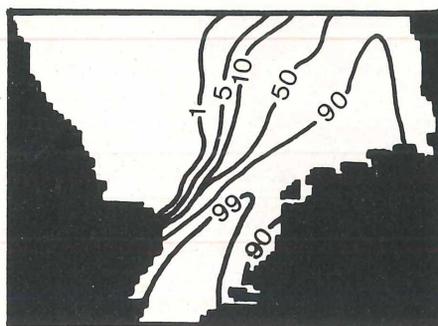
Inputs of nutrients into the North Sea south of  $56^\circ \text{ N}$ , comparing the »natural« situation with the situation in 1980. Data from PAGEE u. POSTMA 1987.

| Quellen   | Phosphor                        |                   |           | Stickstoff                      |                   |           |
|---|---------------------------------|-------------------|-----------|---------------------------------|-------------------|-----------|
|   | Fracht<br>$10^3 \text{ t/Jahr}$ | naturgegeben<br>% | 1980<br>% | Fracht<br>$10^3 \text{ t/Jahr}$ | naturgegeben<br>% | 1980<br>% |
| Wasser aus benachbarten Meeresgebieten  | 232                             | 93                | 63        | 1724                            | 86                | 57        |
| Flußwasser:<br>naturegegebene Fracht<br>(bei $0,1 \text{ g P/m}^3$<br>$1,5 \text{ g N/m}^3$ ; Süßwasser-<br>fluß aus Tabelle 1) | 18                              | 7                 | –         | 273                             | 14                | –         |
| Flußwasser, Einleitungen<br>und Verklappungen 1980<br>(aus Tabelle 1)   | 127                             | –                 | 34        | 1100                            | –                 | 36        |
| Atmosphärischer Eintrag<br>1980 (jährlich $45 \text{ kg P/km}^2$ ,<br>$1000 \text{ kg N/km}^2$ ,<br>$220000 \text{ km}^2$ )     | 10                              | –                 | 3         | 220                             | –                 | 7         |

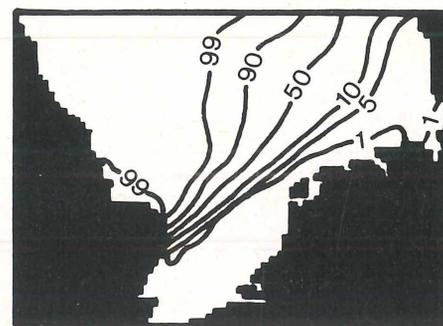
erreicht (ANONYMUS 1984 a). Im Ästuarbereich erfolgt Denitrifikation, Sedimentation, Remobilisierung (BILLEN et al. 1985); es ist eigentlich nicht zulässig, Nordsee-Modelle mit den Nähr- und Schadstoff-Frachten zu beschicken, wie sie an der Gezeitengrenze gemessen werden. Andererseits: Nur dort können die Frachten einigermaßen zuverlässig analysiert werden.

Während inzwischen die Analyse von Phosphat (gelöster anorganischer Phosphor) und Gesamtphosphor (gelöst und partikulär) für Routineuntersuchungen geeignet ist, gibt es bei Stickstoff-Komponenten noch Probleme. Nur die Analyse des gelösten anorganischen Stickstoffs (Nitrat, Nitrit, Ammoniak) war bisher Routine in Meeres-Monitoring-Programmen. Um den organisch gebundenen Stickstoff zu bestimmen, subtrahiert man Nitrat, Nitrit und Ammoniak vom »Gesamtstickstoff«, der gewöhnlich durch Oxidation mit Kaliumperoxodisulfat analysiert wird (KOROLEFF in GRASSHOFF et al. 1983). Mit dieser Methode werden auch die organischen Stickstoffkomponenten Harnstoff und Harnsäure sowie Aminosäuren und einige andere erfaßt, aus denen Pflanzen den Stickstoff nutzen können, welche also auch zu den Pflanzen-Nährstoffen zu rechnen sind. Wenn man jedoch die nasse Oxidation mit der Kjeldahl-Methode anwendet, werden weitere organische Stickstoff-Verbindungen aufgeschlossen, aus denen der Stickstoff den Pflanzen normalerweise nicht zugänglich ist. Mit Hochtemperatur-Methoden schließlich kann man auch den Stickstoff in »Geopolymeren« wie Huminsäuren aufschließen, der als biologisch weitgehend inaktiv betrachtet wird. GRANALI et al. (1985) glauben allerdings gefunden zu haben, daß von Dinoflagellaten der Gattung *Prorocentrum* auch der Stickstoff als Nährstoff genutzt werden kann, der in Humin- und Fulvinsäuren gebunden ist. Kürzlich haben SUZUKI et al. (1985) eine Hochtemperatur-Methode auch für die Meerwasser-Analyse entwickelt, welche im Vergleich zur Koroleff-Methode mehrfach höhere Stickstoffkonzentrationen ergibt. Darüber diskutieren die Meeres-Chemiker gegenwärtig. Man sollte mit vergleichbaren Methoden Flußwasser- und Meerwasser-Konzentrationen messen, bevor man Bilanzen aufstellt, aber das ist bisher wohl nicht möglich gewesen. Alle Aussagen über Bilanzen sind deshalb anfechtbar.

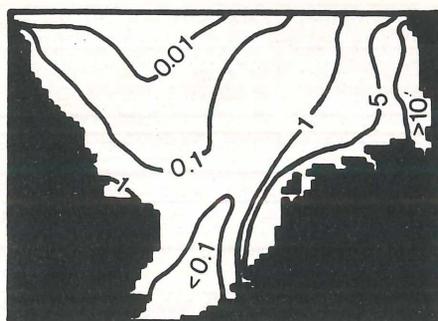
Nur im Winter liegen die Pflanzen-Nährstoffe im Meerwasser überwiegend in gelöster Form vor, so daß sie passiv mit den Wassermassen verfrachtet werden. Während der Frühlingsblüte des Phytoplanktons wird ein Teil der Nährstoffe in die lebenden Algen, also in Partikel aufgenommen: Die Konzentrationen der gelösten Nährstoffe im Wasser sinken dadurch drastisch (Abb. 10). In den Sommermonaten können Nährstoffe in Algenzellen ganz verschiedene Schicksale haben: Teilweise werden sie mit den Algen vom Zooplankton gefressen und in gelöster Form als Exkret rezirkuliert. Teilweise se-



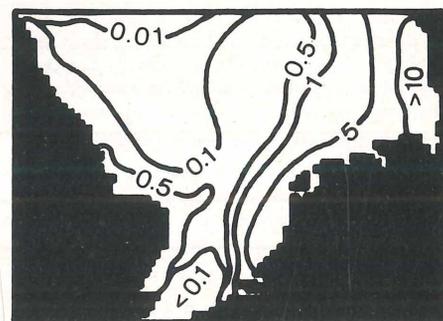
Kanalwasser, Winter (%)  
Channel water, winter (%)



Atlantikwasser, Winter (%)  
Atlantic water, winter (%)

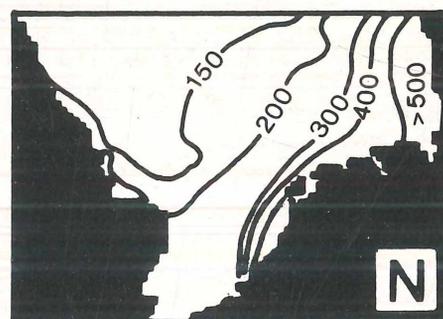
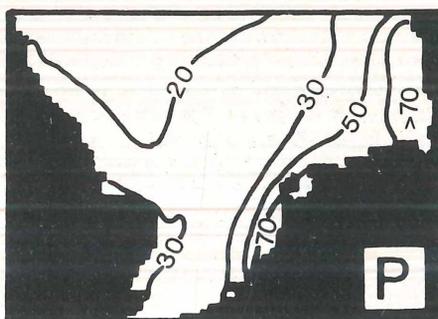


Flußwasser, Winter (%)  
River water, winter (%)

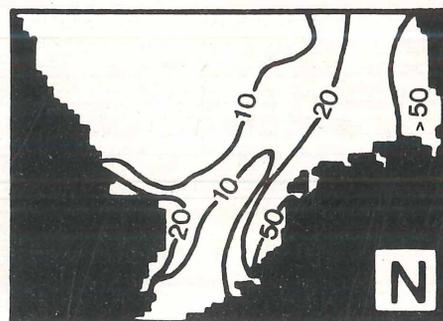
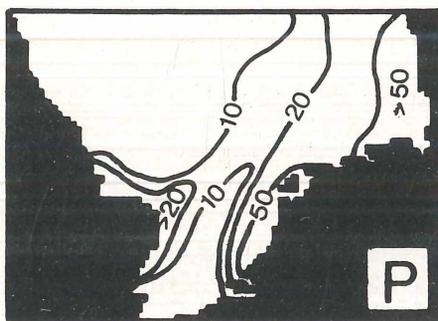


Flußwasser, Sommer (%)  
River water, summer (%)

A Berechnete Anteile verschiedener Wassermassen.  
Calculated percentages of different water masses.



B Berechnete Nährstoff-Konzentrationen im Winter ( $\text{mg}/\text{m}^3$ ).  
Calculated nutrient concentrations, winter ( $\text{mg}/\text{m}^3$ ).



C Anthropogene Anteile an den berechneten Nährstoff-Konzentrationen im Winter (%).  
Anthropogenic percentages of the calculated nutrient concentrations, winter (%).

Abb. 2: Ergebnisse einer Modellierung der Nordsee südlich von  $56^\circ$  N. Nach ANONYMUS (1985 a).  
Results of modelling the North Sea south of  $56^\circ$  N. From ANONYMUS (1985 a).

dimentieren die Algen und die Nährstoffe werden in das Sediment eingearbeitet. Die Remineralisierung erfolgt dann in der Benthos-Gemeinschaft und gelöste Nährstoffe werden vom Sediment an das Wasser abgegeben. Der Prozeß dauert jedoch Wochen und Monate, so daß es nicht dieselbe Wassermasse ist, welche schließ-

lich die Nährstoffe aufnimmt. Im Sommer ist oft das Meerwasser thermisch geschichtet, so daß das Bodenwasser ohnehin kaum mit dem Oberflächenwasser ausgetauscht wird. Erst nach der herbstlichen Abkühlung wird die Schichtung aufgebrochen. Diese Prozesse folgen den Jahreszeiten und lassen sich also grund-

sätzlich modellmäßig erfassen. Jedoch ist die Variabilität groß, und ein eigenes biologisches Modell muß mit dem hydrographischen Modell gekoppelt werden, wie das z. B. von FRANZS und VERHAGEN (1985) für die niederländischen Küstengewässer versucht wurde.

Zusammen mit Ton und Silt sammeln sich organische Partikel in Vertiefungen am Meeresboden an, letzten Endes im Skagerrak oder in der Norwegischen Rinne. Dort werden also Nährstoffe deponiert. Im Gürtel küstennahen Wassers mit vermindertem Salzgehalt gibt es aber auch einen landwärts gerichteten Transport: der Dichtegradient zwischen salzärmerem vom Land kommendem Wasser und salzreicherem Tiefenwasser bewirkt einen landwärts gerichteten Unterstrom. Durch etwa 30 Seegatts zwischen Texel und Esbjerg und durch die Mündungen von Ems, Weser, Elbe und Eider strömen zweimal am Tag mit jeder Flut etwa  $10 \text{ km}^3$  Wasser aus dem Küstengürtel in das Wattenmeer. Diese Wassermasse transportiert 10000 t suspendierter Partikel, davon 15% organische Substanz. 1% des Materials wird im Schlick des Wattenmeeres deponiert. Schätzungsweise 18% der organischen Partikel werden im Wattenmeer remineralisiert (POSTMA 1981). Am größten ist der Import von organischen Partikeln in das Wattenmeer zwischen Ende März und Mai, nach der Frühlingsplanktonblüte. Die Konzentration des Phosphats im Wasser des Wattenmeeres ist anschließend in den Sommermonaten am höchsten, wenn die Remineralisierung im Sediment den Phosphor freisetzt. 158 g organisch gebundener Phosphor ( $51 \mu\text{mol/g}$ ) sind in 1 Tonne suspendierter Partikel vorhanden (Daten vom Wattenmeer südlich von Texel, 1970–1971). Mit 70 Millionen t suspendierter Partikel gelangen pro Jahr 11 100 t organisch gebundener partikulärer Phosphor in das Wattenmeer. Davon 18% sind etwa 2000 t Phosphor pro Jahr, die im gesamten Wattenmeer remineralisiert werden. Es handelt sich eher um Spekulationen als um begründete Rechnungen. Sie sollen nur auf Größenordnungen hinweisen (Tab. 2). Interessant ist, daß 1950–1951 die Phosphat-Konzentrationen im Wasser des Wattenmeeres bei Texel nur ein Drittel, die Phosphor-Konzentrationen in suspendierten Partikeln nur halb so groß waren wie die Werte, welche zwanzig Jahre später, 1970–1976, ermittelt wurden (DE JONGE und POSTMA 1974).

#### 4. Langfristige Veränderungen beobachtet an Dauerstationen

Ein klassisches Beispiel für langfristige Phosphat-Messungen ist Station E1 auf 70 m Wassertiefe 22 Seemeilen südwestlich von Plymouth: dabei handelt es sich allerdings nicht um die Nordsee, sondern um den Englischen Kanal. In den Jahren 1922–1929 lagen die Wintermaxima bei  $22 \text{ mg P/m}^3$  ( $0,7 \mu\text{mol/l}$ ), jedoch wurden zwischen 1931 und 1954 Werte unter  $15 \text{ g P/m}^3$  ( $0,5 \mu\text{mol/l}$ ) gemessen, und diese Ab-

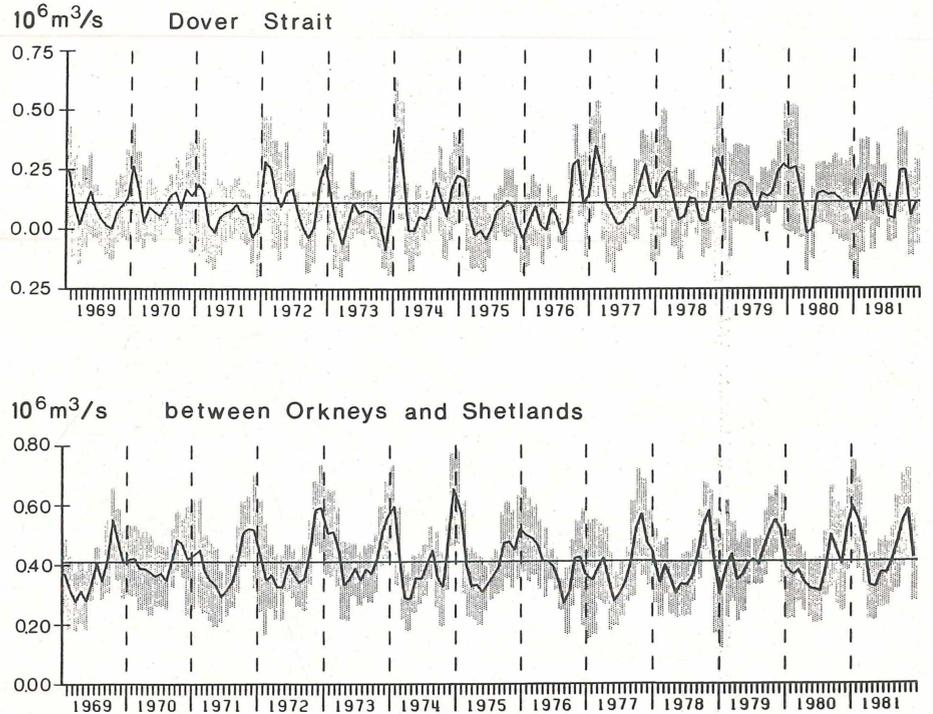


Abb. 3: Unterschiede von Jahr zu Jahr und in verschiedenen Jahreszeiten beim Wassermassen-transport durch die Straße von Dover und die Fair Isle Straße (zwischen den Orkney und den Shetland Inseln) in der Zeit 1969–1981, nach Simulationen mit einem dreidimensionalen baroklinen Zirkulationsmodell. Nach HAINBUCHER et al. (1986), unveröffentlichtes Manuskript, mit freundlicher Genehmigung der Verfasser ( $10^6 \text{ m}^3/\text{s}$  = Sverdrup).

Year to year differences (seasonal means) of flow of water masses ( $10^6 \text{ m}^3/\text{s}$  = Sverdrup) through the sections Dover Strait and Fair Isle Strait (between Orkneys and Shetlands) 1969 to 1981, according to simulations with a three dimensional baroclinic primitive equation model based upon a semi-implicit scheme. From HAINBUCHER et al. (1986) (unpublished manuscript, by courtesy of the authors).

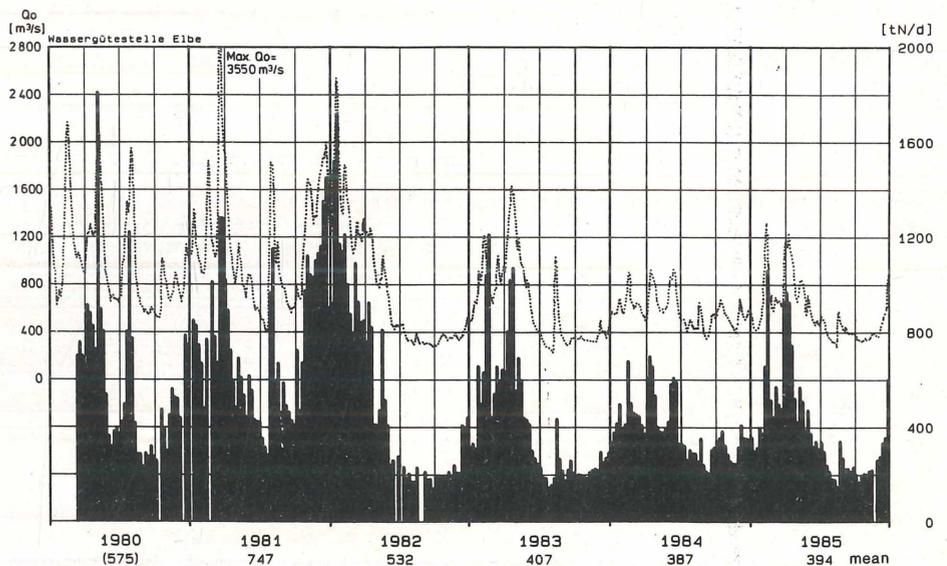


Abb. 4: Gesamtstickstoff-Frachten der Elbe 1980–1985 (t/Tag) berechnet nach täglichen Abflußmessungen und etwa wöchentlichen Konzentrations-Analysen oberhalb der Gezeiten-grenze (Geesthacht, 30 km oberhalb von Hamburg). Nach ANONYMUS, im Druck.

Total nitrogen loads of Elbe river 1980 to 1985 in tons per day, calculated from daily discharge measurements and more or less weekly concentration analyses at the tidal limit (Geesthacht), about 30 km upriver from Hamburg. From ANONYMUS, in press.

nahme war mit Veränderungen bei den Beständen von Zooplankton, Hering, Sardine und anderen Organismen korreliert (CUSHING 1975, Abb. 58–59). COOPER (1955) vermutet, daß die Nährstoff-Abnahme auf eine veränderte Vermischung mit tiefem Atlantikwasser zurückzuführen sei, aber ARMSTRONG und BUTLER (1962) stellten dann fest, daß diese Station in einer Region liegt, wo sich die Wassermassen des Englischen Kanals mit dem Küstenwasser vermischen. Die hydrographischen Verhältnisse dort sind so veränderlich und die Veränderungen ge-

ren sei, aber ARMSTRONG und BUTLER (1962) stellten dann fest, daß diese Station in einer Region liegt, wo sich die Wassermassen des Englischen Kanals mit dem Küstenwasser vermischen. Die hydrographischen Verhältnisse dort sind so veränderlich und die Veränderungen ge-

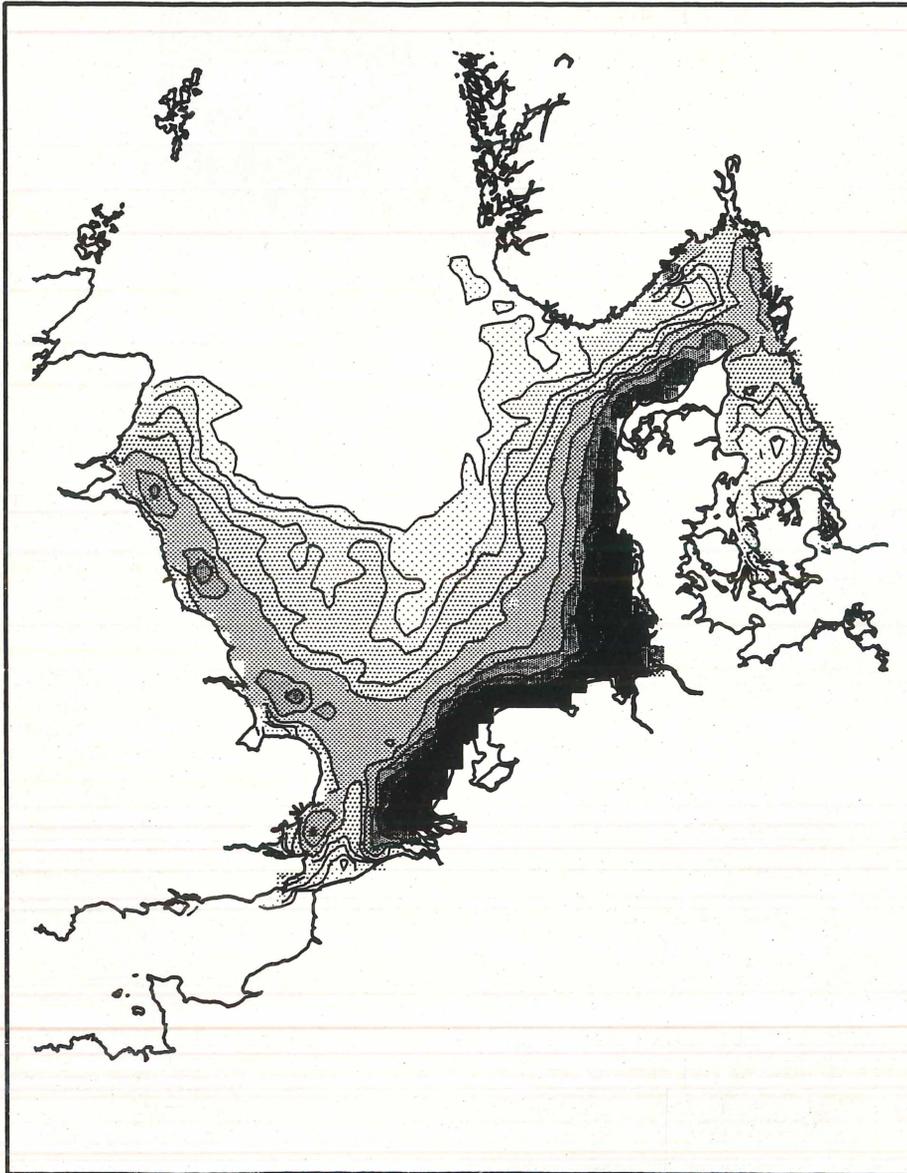


Abb. 5: Modell-Simulation der Verschmutzung der Nordsee durch Einleitungen über sechs Flußsysteme: 57% von Rhein, Maas und Ems, 7% über den Firth of Forth, 7% über den Tyne, 4% über die Themse und 3% über den Humber. Der Grad der Schattierung gibt die relative Konzentration von konservativen passiven Markern nach kontinuierlichen Einleitungen zwischen 1969 und 1982 wieder. Nach HAINBUCHER et al., im Druck.

Model simulation of the relative contamination of the North Sea from inputs of conservative passive tracers via 6 river systems: 57% from Rhine, Maas and Schelde, 21% from Elbe, Weser and Ems, 7% from Firth of Forth, 7% from Tyne, 4% from Thames and 3% from Humber. Mean relative concentration after continuous inputs 1969 to 1982. From HAINBUCHER et al., in press.

schehen so schnell, daß diese Station nicht als repräsentativ für den westlichen Englischen Kanal angesehen werden kann. Auf keinen Fall war die Abnahme der Phosphat-Konzentrationen eine Folge menschlicher Aktivitäten; man darf annehmen, daß allein hydrographische Bedingungen dafür verantwortlich waren.

Eigentlich sollte eine Dauerstation repräsentativ für eine bestimmte Wassermasse sein, denn beim »Monitoring« möchte man ja feststellen, ob sich die Verhältnisse im Laufe der Zeit in miteinander vergleichbaren Wassermassen verändert haben. Im küstennahen Gürtel des Wassers mit vermindertem Salzgehalt und mit durch Flußeintrag erhöhten Nährstoffkonzentrationen

sind die Veränderungen in Raum und Zeit so groß, daß man mit einer festen Station selten vergleichbare Situationen erfaßt. Ich habe deshalb vorgeschlagen, nicht eine Station, sondern Stationen auf einem Gradienten quer durch den Küstengürtel zu bearbeiten, von der Küste bis zum wenig beeinflussten Nordseewasser (GERLACH 1986). Man könnte noch weiter gehen und die Lage der Stationsprofile entsprechend den hydrographischen Fronten festlegen (Abb. 6–7).

Leider ist die einzige Dauerstation, von welcher Nordsee-Daten verfügbar sind, Helgoland-Reede. Diese Station liegt dicht bei der Biologischen Anstalt, so daß es möglich war, fast täglich von Montag

bis Freitag morgens um 8–9 Uhr Proben zu sammeln, und das seit 1962. Hinsichtlich der Probenhäufigkeit ist die Datenreihe einmalig. Andererseits erfüllt die Station Helgoland-Reede nicht alle Qualitätsmerkmale einer guten Dauerstation:

- Die Zunge des aus der Elbe ausfließenden Flußwassers umgibt manchmal Helgoland, liegt aber manchmal auch östlich oder westlich von Helgoland, und erreicht manchmal die Region von Helgoland gar nicht. Das hängt von der Menge des abfließenden Flußwassers und von den Zirkulationsverhältnissen in der inneren Deutschen Bucht ab (Abb. 6).
- Der küstennahe Gürtel von Wasser mit vermindertem Salzgehalt und erhöhten, aus Flußfrachten stammenden Nährstoffkonzentrationen ist manchmal schmal, so daß Helgoland von Nordseewasser umgeben ist, manchmal aber liegt Helgoland auch innerhalb dieses Küstenwasser-Gürtels.
- Um Helgoland führt die Grenzlinie herum, wo unter normalen Verhältnissen die küstennahen vertikal durchmischten Wassermassen auf die im Sommer geschichteten küsternen Wassermassen treffen (Abb. 7). Es handelt sich dabei um die 2,0 Isolinie des Simpson-Hunter-Parameters  $SH = \log(h/u^3)$ , wobei  $h$  die Wassertiefe und  $u$  die Amplitude des Springzeit-Gezeitenstromes ist (CZITROM et al., im Druck).
- Die Station liegt auf etwa 5 m Wassertiefe in der engen Durchfahrt zwischen Helgoland und der Düne (Abb. 8). Zur Springzeit ist morgens bei Helgoland Niedrigwasser, so daß sich die Wassermasse, welche beprobt wird, wahrscheinlich einige Stunden zuvor 11 km östlich von Helgoland befand. Findet die Probennahme zur Nippzeit statt, dann ist morgens bei Helgoland Hochwasser, und das beprobte Wasser kommt dann vermutlich aus der Gegend 6 km nordwestlich von Helgoland.

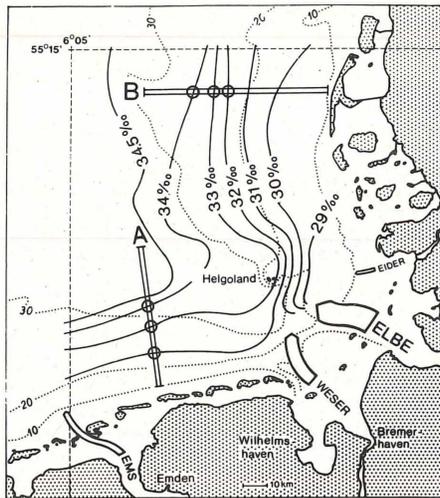
Mit diesen Argumenten wird deutlich, warum die Meßdaten der Station Helgoland-Reede schwierig zu interpretieren sind, und warum die Auswertung bislang noch nicht abgeschlossen ist. RADACH und BERG (1986) haben eine erste Dokumentation der linearen Trends die gesamten 23 Jahre 1962 bis 1984 gegeben sowie die nicht-linearen Trends für Perioden von länger als 2 Jahren dargestellt (Abb. 9).

Als linearer Trend 1962 bis 1983 der Oberflächenwassertemperaturen ergibt sich ein Anstieg von  $1,08^\circ \text{C}$ . In dieser Zeit verringerte sich der Salzgehalt im Sommer (Mai bis September) um  $0,56 \text{‰}$ , jedoch blieb er im Winter (November bis März) unverändert. Dagegen stieg der Süßwasserabfluß der Elbe (gemessen an der Grenze des Gezeitenbereiches) im Winter um  $320 \text{ m}^3/\text{s}$  an. Die nicht-lineare Berechnung der Daten ergibt eine gute Korrelation zwischen dem Salzgehalt bei Helgoland-Reede und dem Süßwasserabfluß der Elbe (Abb. 9a–b). Anscheinend hat der Einfluß des Nordseewassers auf die Ver-

hältnisse bei Helgoland im Zeitraum 1962 bis 1983 abgenommen, während sich der Einfluß der Küstenwasser- und der Flußwassermassen verstärkt hat und das Wasser zunehmend intensiv geschichtet war. Ein Teil der Veränderungen in den Nährstoffkonzentrationen mag sich so erklären. Diese sind in Abb. 9–10 in  $\mu\text{mol/l}$  angegeben:  $1 \mu\text{mol/l} = 14 \text{ mg N/m}^3$ ,  $31 \text{ mg P/m}^3$ ,  $28 \text{ mg Si/m}^3$ .

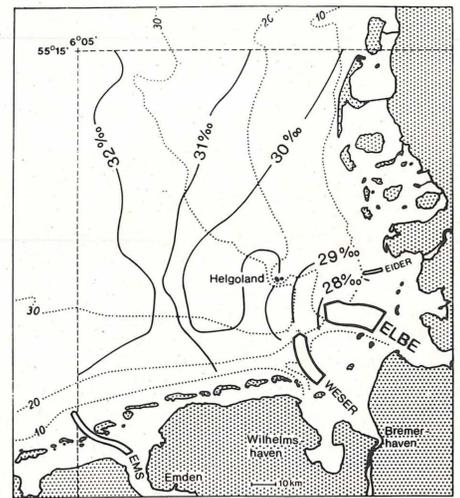
Für die Winterwerte (November bis März) des Phosphats ergibt die lineare Regression einen Anstieg von 0,77 auf  $1,20 \mu\text{mol/l}$ , also 1,6fach in 22 Jahren. Auch die Winterwerte für gelösten anorganischen Stickstoff stiegen 1,6fach an (von 17,7 auf  $27,6 \mu\text{mol/l}$ ). Allerdings sind die Stickstoffdaten nicht zuverlässig, da es teilweise bei der Ammoniak-Bestimmung Probleme gab. Die Ammoniak-Konzentrationen sind zwischen 1962 und 1984 geringer geworden, während Nitrat von 5,7 auf  $21,7 \mu\text{mol/l}$ , also 3,8fach angestiegen ist. Die höchsten Phosphat- und Nitrat-Konzentrationen wurden in den Wintern 1964–1968, 1974–1975 und 1980–1982 gemessen, als der Süßwasser-Abfluß der Elbe hoch und der Salzgehalt niedrig war.

Gegenwärtig ist noch nicht errechnet worden, welcher Anteil der Veränderungen auf die veränderte Zusammensetzung der Wassermassen bei Station Helgoland-Reede zurückzuführen ist, welcher Anteil auf die erhöhten Nährstoffkonzentrationen im Flußwasser. Ganz allgemein ergeben sich keine Widersprüche zu den Ergebnissen der Modellsimulation (Abb. 2): Schätzungsweise 50% oder mehr der Nährstoffe im Wasser bei Helgoland mögen auf Einträge durch den Menschen beruhen. Zu dem gleichen Schluß kam WEICHAART (1985, 1986) beim Vergleich der Phosphat-Konzentrationen 1936 und



A January 1978. Nach WEICHAART (1985), mit den von GERLACH (1986) vorgeschlagenen Monitoring-Schnitten.

A January 1978. From WEICHAART (1985), with the proposal for monitoring transects from GERLACH (1986).



B August 1981. Nach Daten von HICKEL aus GERLACH (1985 c).

B August 1981. Data of HICKEL reproduced in GERLACH (1985 c).

Abb. 6: Die Lage von Helgoland in den verschiedenen Wassermassen der Deutschen Bucht. The situation of Helgoland in different water masses of the German Bight.

1978. Näher an den Küsten und im Wattenmeer wird der Prozentsatz höher sein. Der Gradient der Nährstoff-Konzentrationen quer durch den Küstengürtel ist stark; die Daten von der Station Helgoland-Reede dürfen deshalb nicht für Aussagen hinsichtlich der »Nordsee« an sich verallgemeinert werden. Nach meinen Kenntnissen gibt es keine Belege dafür, daß jetzt die Wassermassen der zentralen Nordsee höhere Nährstoffkonzentrationen aufweisen als vor einigen Jahrzehnten. Allerdings ist mangels langfristiger Meßreihen wohl ebenfalls unbekannt, ob während dieser Zeit die Konzentrationen in den Wassermassen, welche aus dem Nordatlantik und aus dem Englischen Kanal in die Nordsee flossen, wirklich konstant geblieben sind. Man sollte deshalb mit Deutungen zurückhaltend sein.

Es gibt Hinweise, daß sich das Phytoplankton der offenen Nordsee zwischen 1958 und 1975 verändert hat (GIESKES und KRAAY 1977). Die großen Diatomeen, welche von Planktongaze mit der Maschenweite 0,25 mm zurückgehalten werden, sind zurückgegangen, gleichzeitig ist aber die Grünfärbung intensiver geworden, welche die Netzseide annimmt, nachdem man den Plankton-Recorder in 10 m Wassertiefe hinter einem Handelsschiff durch das Nordseewasser gezogen hat. Es handelt sich bei diesen Forschungen um Zooplankton-Untersuchungen, die wegen der großen Maschenweite nicht für Phytoplankton-Erkenntnisse taugen. Das normale Phytoplankton ist so klein, daß es durch die Netzmaschen gespült wird, so daß allenfalls etwas Chlorophyll an der Netzseide zurückbleibt. In der Zeit zwischen 1958 und 1975 ist aber nicht nur möglicherweise das Phytoplankton der offenen Nordsee zahlreicher geworden, gut dokumentiert ist auch ein Rückgang des Zooplanktons. Man kann darüber speku-

lieren, ob weniger Zooplankton-Wegfraß höhere Phytoplankton-Biomasse bedeutet. Zu weniger Zooplankton paßt nicht, daß die Fischereierträge aus der Nordsee von etwa 2 Millionen t um 1960 auf etwa 3 Millionen t um 1970 angestiegen sind. Wieder stellt sich die Frage, ob dafür eine Veränderung in den Lebensbedingungen der Nordseefische oder der gestiegene Fischereiaufwand verantwortlich ist. Solange kein intensiveres »Monitoring« der Verhältnisse in der offenen Nordsee erfolgt, gibt es keine zuverlässigen Antworten. Korrelationen mit klimatischen und

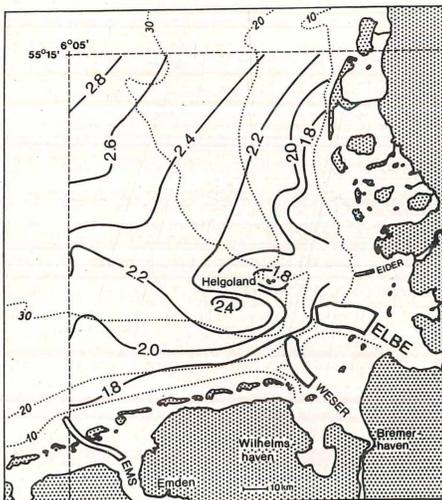


Abb. 7: Isolinen des Simpson-Hunter-Parameters  $\log(h/\mu^3)$  in der Deutschen Bucht. Normalerweise sollte Schichtung im Sommer bei Werten größer als 2 auftreten. Nach CZITROM et al., in Druck. Isolines of the Simpson-Hunter-parameter  $\log(h/\mu^3)$  in the German Bight. Thermal stratification in summer normally should occur at values greater than 2. From CZITROM et al., in press.

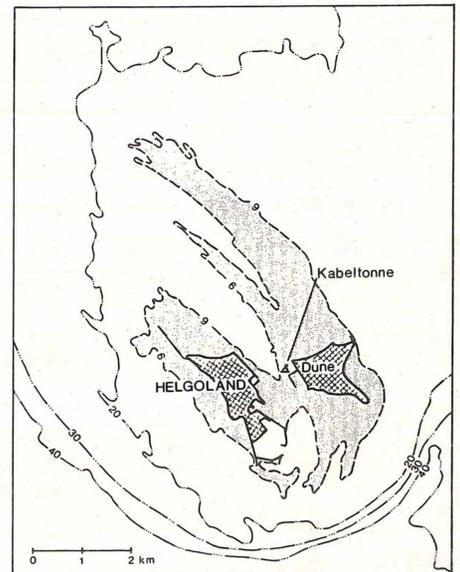


Abb. 8: Die Helgoland-Reede-Station bei der Position Kabeltonne zwischen der Insel Helgoland und der Düne. Nach MEYERS et al. (1967). Helgoland-Reede station (at position Kabeltonne) between Helgoland Island and Düne. From MEYERS et al. (1967).

hydrographischen Veränderungen sind z. B. von COLEBROOK (1982) und von RADACH (1984) aufgezeigt und interpretiert worden.

### 5. Auswirkungen der Nährstoffe auf das Phytoplankton

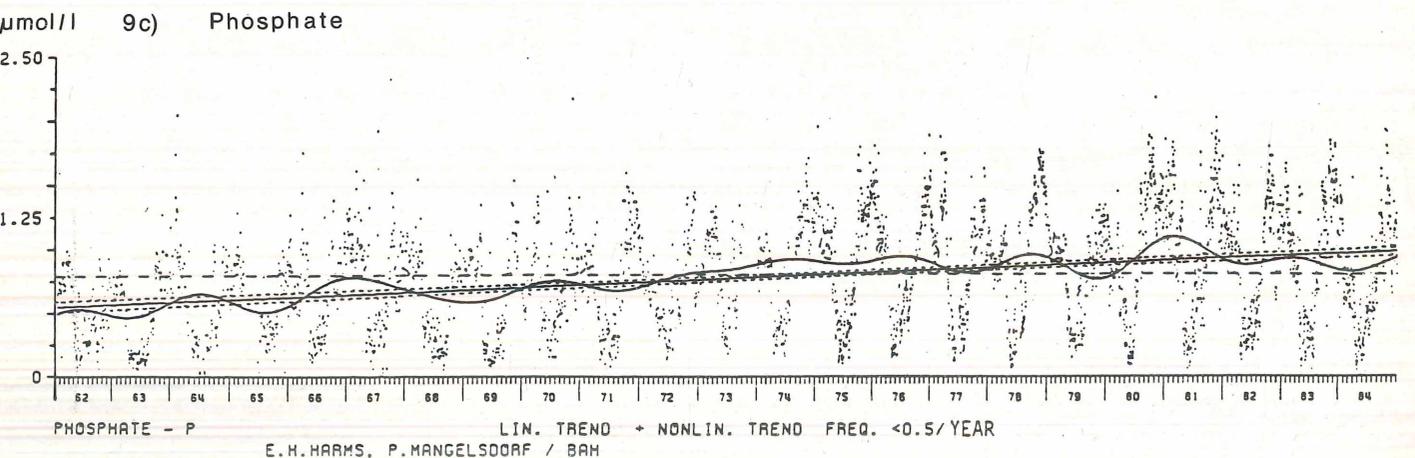
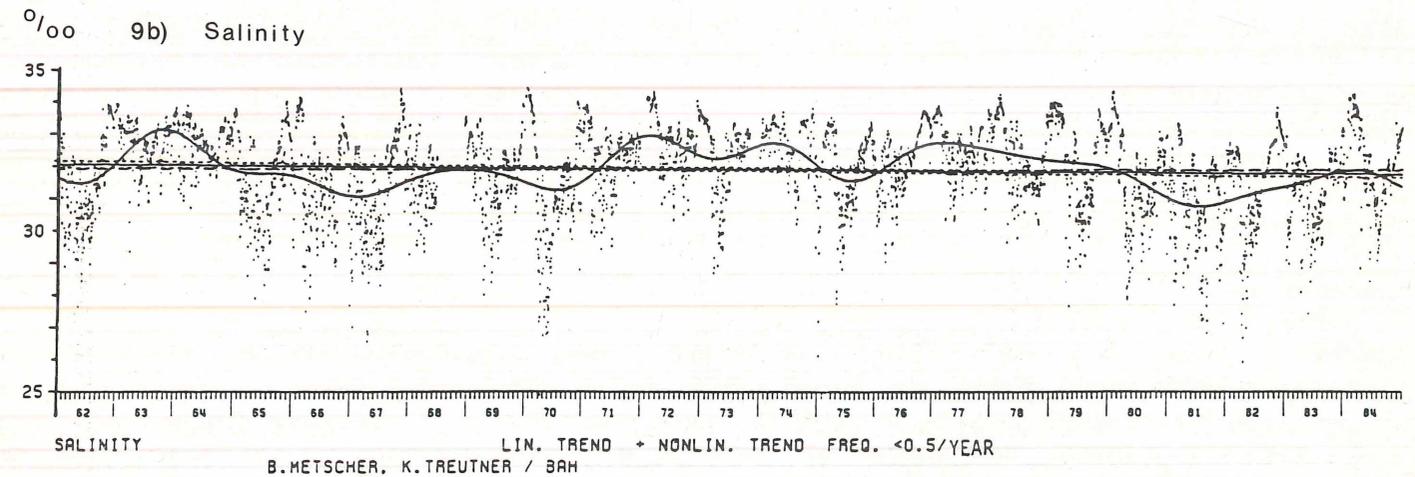
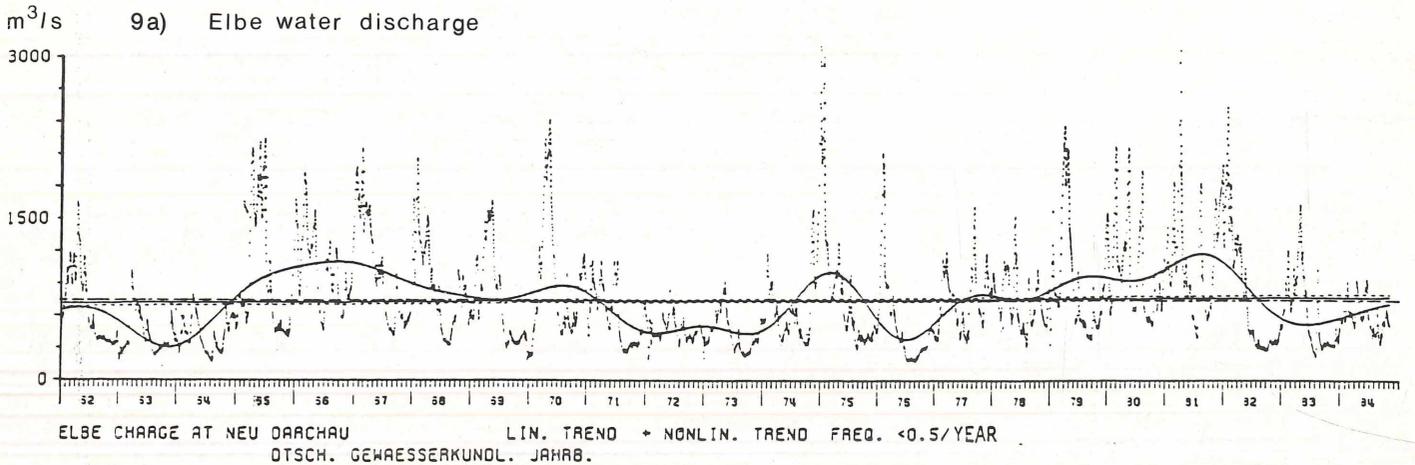
Ich möchte mit einigen Phytoplankton-Daten das Bild vervollständigen, welches sich aus den Messungen 1962 bis 1984 an der Station Helgoland-Reede ergibt. Der lineare Trend zeigt keine Erhöhung der Diatomeen-Biomasse (Abb. 9h), vielleicht kann man sogar von einer schwachen Erniedrigung sprechen. Vermutlich ist das darauf zurückzuführen, daß im gleichen

Zeitraum die Silikat-Konzentrationen geringer wurden (Abb. 9f). Silikat limitiert das Wachstum der Diatomeen. Aber warum verringerten sich die Silikat-Konzentrationen im Wasser bei Helgoland?

Die Biomasse des gesamten Phytoplanktons (Diatomeen und Flagellaten) stieg zwischen 1962 und 1984 von 28 auf  $76 \mu\text{g C/l}$  im Sommer (Mai bis September) und von 2 auf  $16-22 \mu\text{g C/l}$  im Winter (November bis März) an, oder von 9 auf  $37 \mu\text{g C/l}$ , also 4fach, wenn man alle Jahreszeiten berücksichtigt. Für diesen Anstieg sind die Flagellaten verantwortlich, deren Biomasse zwischen 1962 und 1984 von 2,5 auf  $25 \mu\text{g C/l}$  zunahm. Dieser Anstieg war am stärksten ausgeprägt (16fach), wenn

die Wassermassen bei Helgoland durch Flußwasser beeinflusst waren.

Sind die mit Flußwasser transportierten Nährstoffe verantwortlich für die Vermehrung des Phytoplanktons? Sicherlich nicht im Winter, wenn überall die Nährstoffkonzentrationen hoch sind und kaum limitierend wirken. Im Sommer mag das anders sein. Die höchsten Phytoplankton-Biomassewerte an der Station Helgoland-Reede wurden im August 1981 während einer *Ceratium*-Blüte beobachtet (Abb. 10). Tatsache ist, daß im Winter zuvor, 1980/81 der Süßwasserabfluß der Elbe und die Flußwasserfrachten der Nährstoffe extrem hoch waren (Abb. 4). Aber gibt es eine Verbindung zwischen



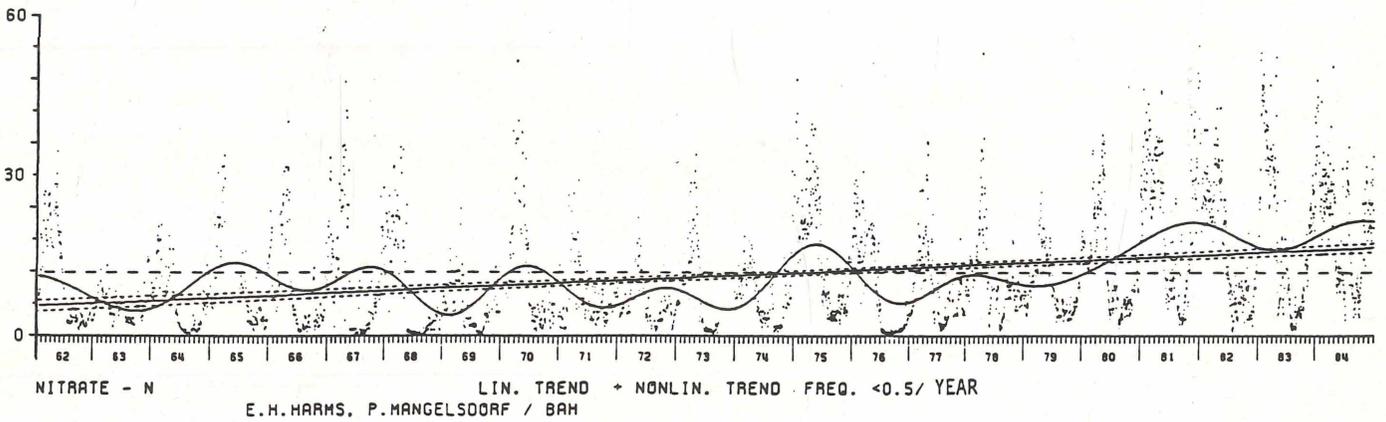
diesen beiden Daten? Und wenn ja: war es der Nährstoffeintrag oder einfach der Süßwassereintrag, welcher die Wachstumsbedingungen des Phytoplanktons beeinflusste? Oder anders ausgedrückt: würde ein vergleichsweise ebenso hoher Flußwasser-Ausstrom aber mit nur 20% der gegenwärtigen Nährstoff-Frachten (naturgegebene Konzentrationen) eine ebenso intensive *Ceratium*-Blüte zur Folge gehabt haben?

GILLBRICHT (1983, 1986) hat Argumente geliefert, daß die *Ceratium*-Blüte im Sommer 1981 nicht durch Nährstoffe gesteuert wurde. Ich habe versucht, nachzuweisen (GERLACH 1985 c), daß das Sommerhochwasser der Elbe 1981 zu spät kam, als daß es diese *Ceratium*-Blüte noch

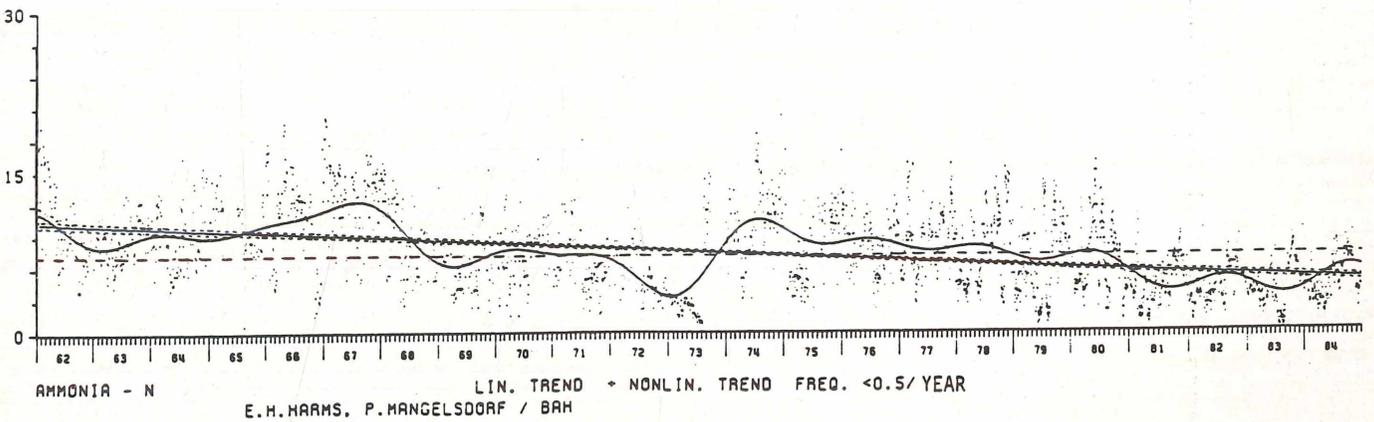
hätte beeinflussen können. Ein Symposium des Internationalen Rats für Meeresforschung (ICES 1984) kam zu dem Schluß, daß Flagellatenblüten grundsätzlich eher durch geschichtete Wasserkörper und durch Prozesse an hydrographischen Fronten gesteuert werden als durch den Nährstoffeintrag von Flüssen. Muschelfischer fürchten die Massenentwicklung giftiger Dinoflagellaten. An der deutschen Nordseeküste hat es zuletzt 1880-1887 paralytische Muschelvergiftungen gegeben; die Muscheln stammten aus dem durch Schleusen abgesperrten Hafenbecken von Wilhelmshaven (GERLACH 1985 a, b). 1938 waren die Muscheln im Seekanal von Zeebrügge giftig. Es ist möglich, aber nicht sicher, daß es damals

Phytoplanktonblüten des Dinoflagellaten *Gonyaulax* nicht nur hinter den Schleusen, sondern auch im Wasser vor der belgischen und der deutschen Küste gegeben hat. Seit 1968 kommt *Gonyaulax* an der nordenglischen Nordseeküste wieder regelmäßig vor, seitdem müssen dort die Muschelbestände hinsichtlich des Algengiftes überwacht werden. Phytoplanktonblüten des Dinoflagellaten *Dinophysis* werden seit Jahrzehnten vor den niederländischen Küsten beobachtet (KAT 1983). Wenn Küstenwasser mit hohen *Dinophysis*-Konzentrationen in das Wattenmeer einströmt, gelangt das *Dinophysis*-Gift in Muscheln und kann dann die mit Durchfall verbundene Muschelvergiftung verursachen, die zum Glück nicht tödlich

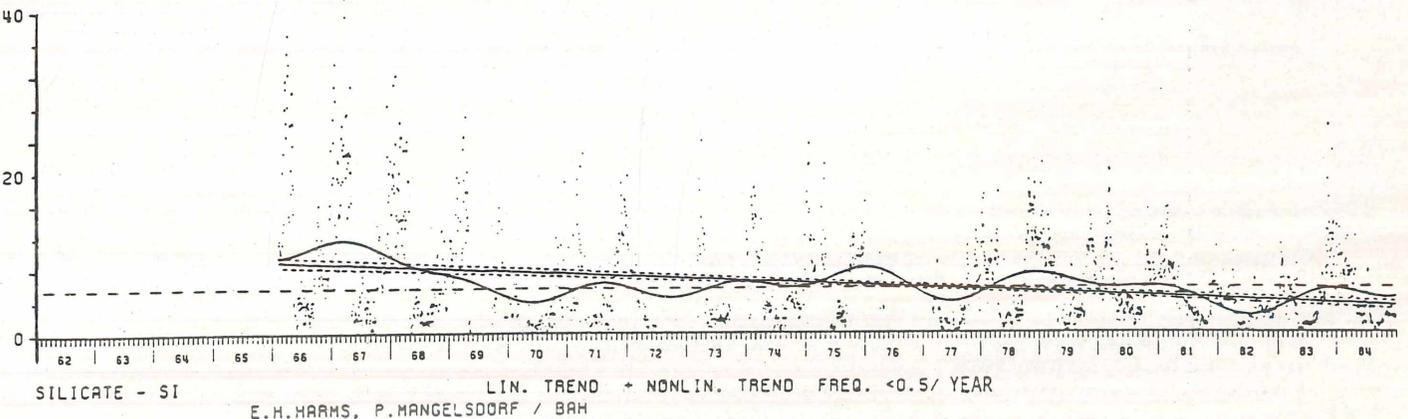
µmol/l 9d) Nitrate



µmol/l 9e) Ammonia



µmol/l 9f) Silicate

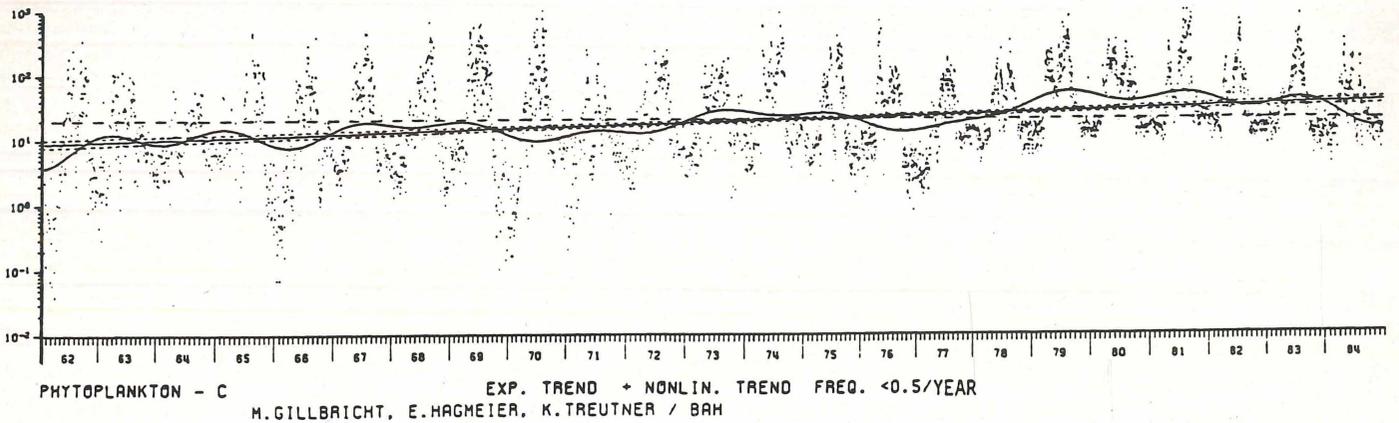


ist, im Gegensatz zur paralytischen Muschelvergiftung durch *Gonyaulax*-Gift. Im November 1986 waren nicht nur im niederländischen Wattenmeer, sondern auch im niedersächsischen Wattenmeer manche Miesmuscheln giftig, wohl durch *Dinophysis*-Gift. Nach dem Dinoflagellaten-Blüten sinken Dauerstadien der Algen an den Meeresboden und überwintern dort. Wenn die in Massen auskeimenden Algen im nächsten Sommer günstige Le-

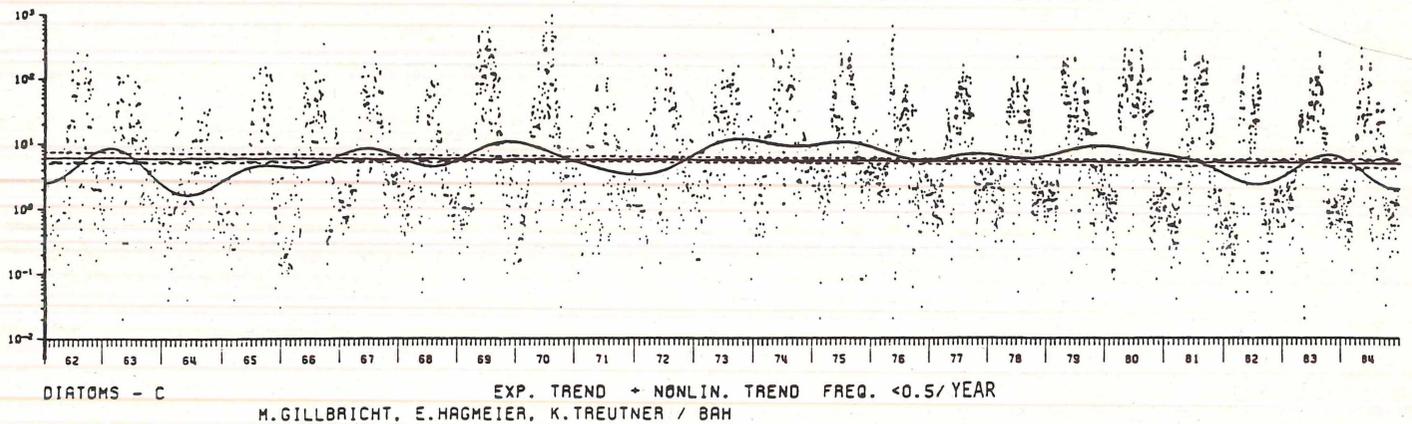
bensbedingungen vorfinden, gibt es noch intensivere Dinoflagellaten-Blüten. Wie bei einer ansteckenden Krankheit dehnt sich mit den Meeresströmungen von Jahr zu Jahr das Areal aus, in welchem giftige Algenblüten auftreten. Man darf auf die Entwicklung 1987 an den deutschen Küsten gespannt sein. Aber auch für diese giftigen Algenblüten ist bislang nicht eindeutig festgestellt worden, ob sie wegen der gestiegenen Nährstoffkonzentrationen im Nordseewasser jetzt auffällig werden, oder ob veränderte hydrographische Bedingungen ihre epidemiehafte Ausbreitung ermöglichen. Einerseits ist klar, daß es ohne Pflanzen-Nährstoffe, ohne Stickstoff und Phosphor keine Algenblüten, kein vermehrtes Algenwachstum gibt. Strittig ist aber, ob im Küstengürtel der Nordsee Nährstoffe eine Rolle als limitierende Faktoren früher gespielt haben und jetzt, bei erhöhten Kon-

zentrationen im Nordseewasser jetzt auffällig werden, oder ob veränderte hydrographische Bedingungen ihre epidemiehafte Ausbreitung ermöglichen. Einerseits ist klar, daß es ohne Pflanzen-Nährstoffe, ohne Stickstoff und Phosphor keine Algenblüten, kein vermehrtes Algenwachstum gibt. Strittig ist aber, ob im Küstengürtel der Nordsee Nährstoffe eine Rolle als limitierende Faktoren früher gespielt haben und jetzt, bei erhöhten Kon-

µg C/l 9g) Phytoplankton - Biomass



µg C/l 9h) Diatom - Biomass



µg C/l 9i) Flagellate - Biomass

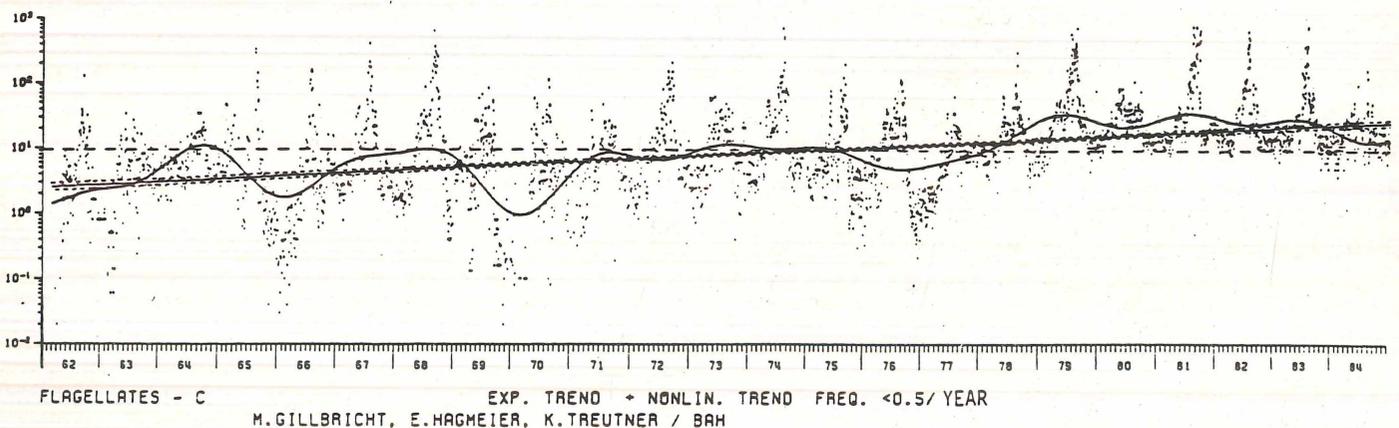


Abb. 9: Lineare Trends für den Zeitraum 1962 bis 1983/84 sowie nichtlineare Trends für Zeiträume größer als zwei Jahre, berechnet für Nährstoffe und Phytoplankton-Konzentrationen im Wasser der Helgoland-Reede-Station. Maßstab für Nährstoffe linear, für Phytoplankton logarithmisch. Nach RADACH und BERG (1986).  
 Linear trends 1962 to 1983/84, and non linear trends for periods greater than 2 years of nutrient and phytoplankton concentrations in water from Helgoland-Reede station. Linear scale for nutrients, log scale for phytoplankton. From RADACH and BERG (1986).

zentrationen, noch spielen. Nur dann könnten sich steigende Flußfrachten und atmosphärischer Eintrag im Sinne einer Eutrophierung auswirken. Auch das Licht spielt eine große Rolle als limitierender Faktor, so daß das Phytoplanktonwachstum auch durch die Länge der Vegetationsperiode, durch die Durchsichtigkeit des Meerwassers und durch die Begrenzung der turbulenten Durchmischungstiefe gesteuert wird, außerdem über den Wegfraß durch das Zooplankton.

Es handelt sich also um ein multifaktorielles System, und nach meinem Urteil kann die Meeresforschung gegenwärtig keine eindeutige Antwort auf die scheinbar einfache Frage geben, ob die vom Menschen verursachte Verdoppelung der Nährstoffkonzentrationen im Küstenwasser Ursache dafür ist, daß jetzt in diesem Wasser mehrfach höhere Phytoplankton-Konzentrationen auftreten, als vor 20 Jahren beobachtet wurden. Nur um diesen Primäreffekt geht es bei der Nährstoff-Diskussion.

Die unstrittige Erhöhung der Phytoplankton-Konzentrationen hat unabhängig davon, ob sie durch Nährstoffe, Lichtangebot oder geringeren Zooplankton-Wegfraß bewirkt wurde, zur Folge, daß die Phytoplankton-Algen mehr organisches Material produzieren. Organische Partikel sinken an den Meeresboden und verbrauchen bei der Remineralisierung Sauerstoff. Höhere Phytoplankton-Konzentrationen können also die Ursache für häufigeren Sauerstoffmangel im bodennahen Meerwasser sein (RACHOR und ALBRECHT 1983, WESTERNHAGEN und DETHLEFSEN 1983). Aber auch in einem normalen Sommer wie 1984, wo es keine extremen Phytoplanktonblüten gab, hatte ein Kubikmeter Tiefenwasser aus dem Seegebiet westlich von Sylt eine Sauerstoffzehrung von etwa 9 mg Sauerstoff pro Stunde, und es ließ sich errechnen, daß der Sauerstoffgehalt in diesem Tiefenwasser sich nach 30 Tagen bis auf 2 g Sauerstoff/m<sup>3</sup> erniedrigen würde, falls keine Wassererneuerung erfolgt (WESTERNHAGEN et al. 1986). Sauerstoffmangel ist also auch eine Zeitfrage: Er tritt auf, wenn die Wassermassen geschichtet sind und über einige Wochen hinweg keine Nachlieferung sauerstoffreicher Wassermassen aus der Oberflächenschicht erfolgt. Sauerstoffmangel hängt also vom Wetter ab.

Mehr organische Partikel durch gesteigerte Primärproduktion des Phytoplanktons bedeuten mehr Nahrung für Tiere. Wie in britischen Vogelkolonien wird gegenwärtig auch auf Helgoland eine drastische Zunahme der Trottellummen beobachtet, von weniger als 1000 Vögeln vor 1976 auf mehr als 2000 Vögel in den Jahren nach 1980, und das trotz der dokumentierten Verluste durch Ölverschmutzung (VAUK-HENTZELT et al. 1986). Das könnte mit der höheren Phytoplankton-Biomasse in der Nordsee zusammenhängen, nämlich über mehr Zooplankton und reichere Vorkommen von Beutefischen. Die Zunahme kann aber auch Ausdruck anderer Veränderungen der Nordsee-

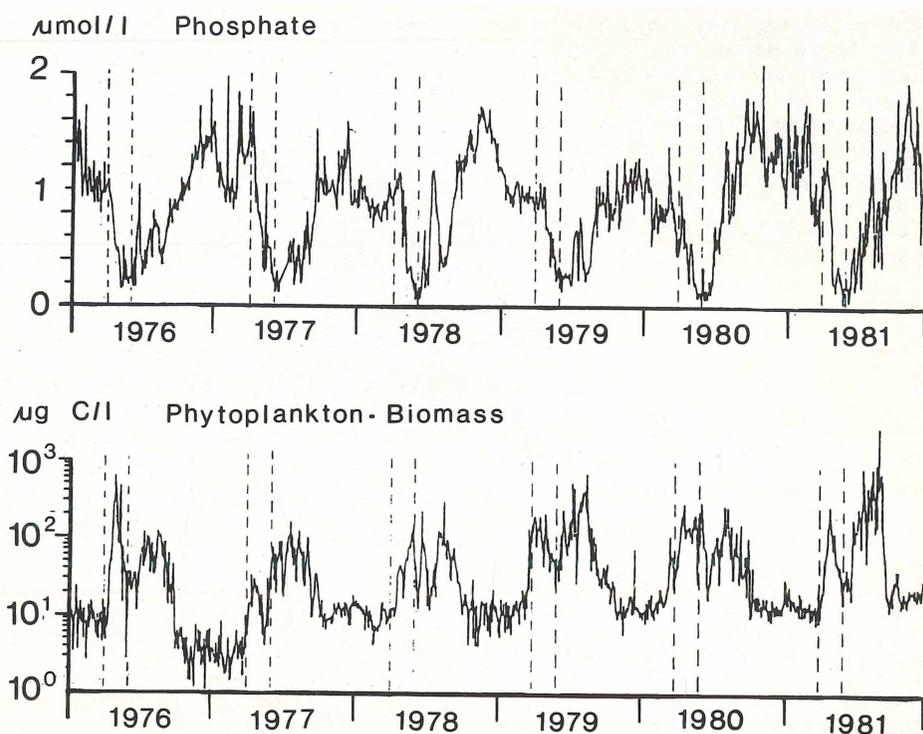


Abb. 10: Phosphat- und Phytoplankton-Konzentrationen (Dreitages-Mittel) in der Zeit 1976 bis 1981 an der Helgoland-Reede-Station. Maßstab für Phosphat linear, für Phytoplankton logarithmisch. Nach RADACH 1984. Phosphate and phytoplankton concentration (three day means) 1976 to 1981 at Helgoland-Reede station. Linear scale for phosphate, log scale for phytoplankton. From RADACH 1984.

Umwelt sein, wie die immer zahlreicher im Wattenmeer vorkommenden Meeräschchen, die seit 1974 auch östlich der Jade, seit 1980 an der Küste Jütlands auftreten (MOHR 1986), oder wie die Veränderungen im Beifang der deutschen Krabbenfischerei (TIEWS 1983), ohne daß sich einfache Korrelationen mit der Wassertemperatur finden ließen.

Zwischen 1970 und 1984 hat sich im westlichen Teil des niederländischen Wattenmeeres die Bodenfauna fast verdoppelt, von 27 auf 40 g organische Substanz pro Quadratmeter (BEUKEMA und CADEE 1986). An dieser Zunahme ist die Muschel *Macoma baltica* ebenso beteiligt wie verschiedene Polychaeten. Eine Zunahme der Makrofauna gibt es auch im Sublittoral der Deutschen Bucht (SALZWEDEL et al. 1985) und im Sublittoral vor der Küste von Northumberland (BUCHANAN und MOORE 1986). Es ist gut möglich, daß eine bessere Ernährung durch mehr Phytoplankton für alle diese gleichsinnigen Veränderungen verantwortlich ist, aber Artenauswahl und Biomasse der Bodenfauna sind eng mit dem Schlickgehalt und mit dem organischen Gehalt des Sedimentes korreliert. Wieviel Schlickanteil ein Sediment hat, hängt nicht zuletzt von hydrographischen Bedingungen ab, also von der Intensität der Wasserbewegung.

Wer argumentiert, daß häufigeres Auftreten von Sauerstoffmangel am Boden mancher Nordseegebiete und höhere Bodenfauna-Biomasse in anderen Gebieten auf die gesteigerten Stickstoff- und Phosphor-Einträge zurückzuführen sind, der muß an drei Stellen die Möglichkeit diskutieren,

ob nicht auch Klimaveränderungen eine Rolle spielten: beim Licht als möglicherweise limitierendem Faktor des Phytoplanktonwachstums, bei der Wasserschichtung, welche sowohl auf das Phytoplankton-Wachstum als auch auf die Sauerstoff-Bilanz im bodennahen Wasser einwirkt, und bei dem Trübstoff-Transport und der Sedimentation als wesentlicher Voraussetzung dafür, daß ein Sediment als Wohnort einer reichen Bodenfauna geeignet ist.

Wer argumentiert, daß Klimaveränderungen die Hauptrolle spielen, der muß diskutieren, ob bereits vor Jahrzehnten die Nährstoff-Konzentrationen im Küstenwasser der Nordsee so hoch waren, daß sie nicht limitierend wirkten, und ob die jetzt noch reichlicher angebotenen Nährstoffe keine Auswirkungen haben.

Die Meeresforscher streiten sich noch darum, welcher Anteil des Sauerstoffmangels und der unerwünschten Algenblüten auf Klimaveränderungen, welcher Anteil auf Nährstoffeinträge zurückzuführen ist.

### Schlußfolgerungen

Es gibt nur wenige zuverlässige Daten über Nährstoff-Einträge in die Nordsee und über die Veränderungen der Nährstoff-Konzentrationen im Nordseewasser: die Angaben in Tab. 1-2 sind kaum mehr als erste Schätzungen. Aus verschiedenen Annahmen kommen jedoch genug Argumente zusammen für die Feststellung, daß die aus dicht besiedelten Gegenden stammenden Flüsse, wenn man die direkten Einleitungen und die

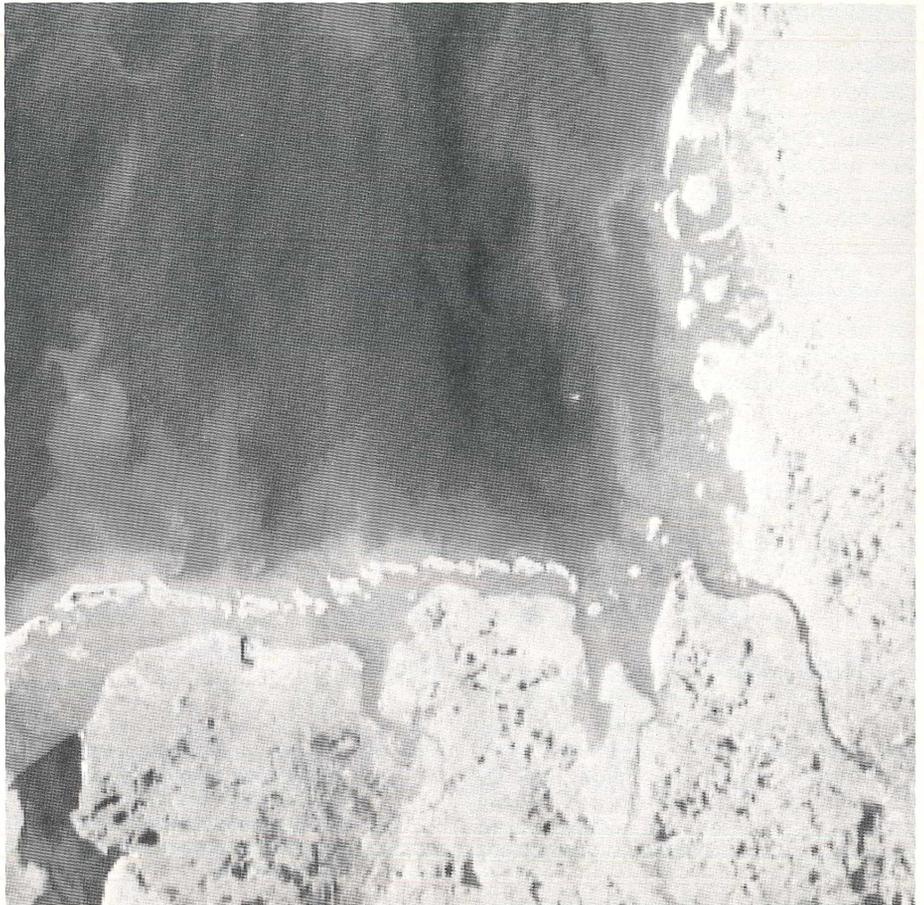
Klärschlammverklappungen mit einbezieht, heute viermal mehr Stickstoff und siebenmal mehr Phosphor in die Nordsee bringen als naturgegeben ist. Das bedeutet zusätzliche Frachten von rund 100 000 t Phosphor und 1 000 000 t Stickstoff pro Jahr, also dieselbe Größenordnung wie die 366 000 t Phosphor und 1 551 000 t Stickstoff, welche als Mineraldünger 1980/81 an die Landwirtschaft der Bundesrepublik Deutschland geliefert wurden.

Wenn ein deutscher Landwirt Mineraldünger kauft, zahlt er etwa DM 250 für eine Tonne Kalium-Ammonium-Salpeter (mit 27% N) und DM 360 für eine Tonne Triple-Superphosphat (mit 19% P). 1 000 000 t Stickstoff sind also 1 Milliarde DM wert (oder etwas weniger, wenn man den Kalium-Wert berücksichtigt), und 100 000 t Phosphor kosten 200 Millionen DM.

Über 1 Milliarde DM werden mit Pflanzennährstoffen jährlich in die Nordsee eingeleitet, durchaus ein erheblicher ökonomischer Verlust. Man sollte etwas dagegen unternehmen durch besseres Recycling und indem man Fäkalien als Dünger verwendet. Eine Verringerung der Phosphorimporte würde gleichzeitig auch die Belastung durch unerwünschtes Kadmium verringern, eine Verringerung der industriellen Produktion von Stickstoffdünger würde Energie-Einsparung bedeuten.

Heute wissen wir besser als früher Bescheid über die Zirkulation der Wassermassen in der Nordsee, und Abschätzungen sind möglich. Im südlichen Teil der Nordsee hat sich der Anteil der Flußraten am Nährstoff-Import von vielleicht 7–14 Prozent unter naturgegebenen Verhältnissen auf 1980 34–36 Prozent erhöht, der Rest kommt aus dem Nordatlantik und aus dem Englischen Kanal. Die Flußfrachten gehen in den 20–50 km breiten Gürtel von Küstenwasser mit vermindertem Salzgehalt, der sich von Belgien bis nach Skagen an den Küsten entlang bewegt. Unter mittleren Windverhältnissen findet man Rheinwasser einen Monat später vor Texel am Eingang in das niederländische Wattenmeer, drei Monate später in der Deutschen Bucht. Elbewasser braucht von der Elbemündung bis zur dänischen Grenze einen Monat und findet sich drei Monate später nördlich von Skagen. Vermutlich stammen 50 Prozent der Nährstoffe in diesem Küstenwasser vom Menschen, mehr in den küstennahen Regionen und in den Flußmündungsgebieten, weniger in den küstenferneren Zonen.

Ob diese Verdoppelung der Phosphor- und Stickstoff-Konzentrationen im Küstenwasser das Phytoplankton beeinflusst, oder ob Nährstoffe so hoch konzentriert sind, und auch unter naturgegebenen Verhältnissen so reichlich vorhanden waren, daß Licht der das Phytoplankton limitierende Umweltfaktor ist, darüber werden von den Meeresforschern noch widersprüchliche Argumente vorgetragen. Unstrittig ist die vierfache Erhöhung der Phytoplankton-Biomasse an der Station Helgoland-Reede zwischen 1962 und 1984; dafür muß eine kausale Erklärung



Das Foto zeigt eine Satellitenaufnahme der südöstlichen Nordsee des Coastal-Zone-Color-Scanners (Kanal 3) vom 22. 2. 1982. Die grauen Strukturen im Wasser zeigen die Verteilung von suspendiertem Material im Oberflächenwasser der Nordsee.

The satellite picture of the Coastal-Zone-Color-Scanner (Channel 3) from 22. 2. 1982 shows the distribution of suspended matter (grey structures) in the surface waters of the southeastern North Sea.

Bildverarbeitung: U. Horstmann/IfM-Kiel und H. van der Piepen/DFVLR-Oberpfaffenhofen.

gefunden werden. Solange sich die Meeresforscher darüber noch nicht einig sind, muß man nach dem Vorsorgeprinzip Maßnahmen verlangen.

Eine Verringerung der Nährstoff-Konzentrationen in den Flüssen kann nur auf lange Sicht erreicht werden; erforderlich ist internationale Zusammenarbeit bei Schelde, Maas und Rhein sowie bei der Elbe. Nur 12 Prozent des Abflußgebietes der Elbe liegen auf dem Gebiet der Bundesrepublik Deutschland. Die Deutsche Demokratische Republik hat einen Anteil von 53 Prozent, die Tschechoslowakei 34 Prozent. Es müssen also auch Länder für Maßnahmen gegen die Eutrophierung gewonnen werden, welche nicht Nordsee-Küstenstaaten sind. Es muß überzeugend deutlich gemacht werden, daß eine Verringerung der Nährstoff-Frachten tatsächlich die Phytoplankton-Biomasse in der Nordsee verringern wird, tatsächlich weitere giftige Planktonblüten und Sauerstoffmangel verhindern wird. Darüber haben Meeresforscher gegenwärtig aber noch widersprüchliche Meinungen, weil die Datenbasis für wissenschaftliche Erkenntnisse und Wertungen noch zu gering ist.

Die einzige Dauerserie wurde 1962 von Wissenschaftlern der Biologischen An-

stalt Helgoland eingerichtet und seitdem regelmäßig weitergeführt, obwohl es lange keine Ermutigung gab von den Regierungsstellen, die mit Problemen der Meeresverschmutzung befaßt sind. Erst nach 1981 wurde die Arbeit dieser Wissenschaftler plötzlich wichtig, als die Öffentlichkeit aufgeschreckt wurde von Nachrichten über Sauerstoffmangel, und als das »Biologische Monitoring« modern wurde. Wenn man Veränderungen über die Zeit erforschen will, kann man Fortschritte nicht ohne solche Dauermessungen erhoffen, ähnlich wie bei der Wettervorhersage. Für Dauermeßstationen ist eine dauerhafte Regierungsfinanzierung notwendig. Notwendig ist auch eine Weiterentwicklung der Modelle über die Nordsee-Zirkulation und ihre Verifizierung, wobei die Effekte des Süßwasserflusses eingeschlossen werden müssen. Mehr muß man wissen über das Schicksal der Nährstoffe, nachdem sie in Partikeln vorliegen, sowie über Denitrifizierung, Remineralisierung im Sediment und Exkretion durch Tiere. Vor allem aber muß man verstehen, wie Nährstoffe unter den konkreten Bedingungen des Nordseeküstenwassers auf das Phytoplankton einwirken. Insgesamt ist noch viel Grundlagen-Wissenschaft notwendig, um die Eutrophierungsprozesse zu verstehen.

## Danksagungen

Dieses Manuskript entstand in der »Arbeitsgruppe Eutrophierung der Nord- und Ostsee«, die vom Umweltbundesamt in Berlin gefördert wird (Wasser 102 04 215). Ich danke meinen Kollegen in Hamburg, Bremerhaven und Kiel für Kritik und Diskussionen.

## Zusammenfassung

In den zur südlichen Nordsee strömenden Flüssen sind gegenwärtig die Stickstoff-Frachten viermal, die Phosphor-Frachten siebenmal höher, als sie vermutlich naturgegeben waren. Die gegenwärtigen Nährstoff-Einträge mit Flüssen machen etwa 34 Prozent der gesamten Nährstoffeinträge in die südliche Nordsee aus, während ihr natürlicher Anteil vermutlich bei 7–14 Prozent lag. Dadurch haben sich die Nährstoffkonzentrationen ungefähr verdoppelt in dem küstennahen Wassergürtel mit verringertem Salzgehalt, der entgegen dem Uhrzeigersinn von Belgien an den Küsten der Deutschen Bucht entlang zum Skagerrak fließt. An der Meßstation Helgoland-Reede sind zwischen 1962 und 1984 die Winterwasser-Konzentrationen des Phosphats und des anorganischen Stickstoffs 1,6fach angestiegen. Das Phytoplankton ist in dieser Zeit vierfach angestiegen; besonders drastisch ist der Anstieg der Flagellaten, während sich die Diatomeen kaum veränderten. Es gibt also begründete Hinweise dafür, daß die gestiegenen Phytoplankton-Mengen mit den Nährstoffen aus den Flüssen korreliert sind, aber es gibt auch andere Erklärungsmöglichkeiten. Pflanzennährstoffe im Abwasser, welches in die Nordsee fließt, sind auf jeden Fall aber ein ökonomischer Verlust von jährlich 1,2 Milliarden DM, den man vermeiden sollte.

## Summary

### Nutrients and the North Sea – an overview.

In the rivers which flow to the southern North Sea, present loads of nitrogen are 4 times, loads of phosphorus 6 times higher than they probably were natural. At present, river loads represent about 34 per cent of total nutrient inflow to the southern North Sea, while originally they probably contributed only 7–14 per cent. As a consequence, nutrient concentrations doubled in the coastal belt of water with reduced salinity which flows anticlockwise from Belgium along the shores of the German Bight to the Skagerrak. Between 1962 and 1984 at monitoring station Helgoland Reede phosphate concentrations and inorganic nitrogen concentrations increased 1.6 times in winter water. Phytoplankton increased in this period 4 times; there was a drastic increase of flagellates, but not of diatoms. Though there is circumstantial evidence that increased phytoplankton biomass is correlated with river loads of nutrients, other explanations are possible. However, nutrients in waste water flowing to the North Sea are an economic loss of about 1200 million DM per year and should be avoided.

## Literatur

- ANONYMUS (1962): Mean monthly temperature and salinity of the surface layer of the North Sea and adjacent waters, 1905–1954. – ICES, Copenhagen
- ANONYMUS (1984a): Gewässerökologische Studie der Elbe. – Wassergütestelle Elbe, Hamburg, 1–98
- ANONYMUS (1984b): Iltsvind og fiskedød i 1981. Omfang og årsager. – Miljøstyrelsen: København, 1–247
- ANONYMUS (1985a): Harmonisatie Noordzeebeleid, Waterkwaliteitsplan Noordzee. Achtergronddocument 2: De ecologie van de Noordzee, b) Analyse. – Rijkswaterstaat and Waterloopkundig Laboratorium
- ANONYMUS (1985b): Desgleichen, Achtergronddocument 3: Activiteiten en bronnen van verontreiniging
- ANONYMUS (im Druck): Stickstoff- und Phosphoreinträge in die Nordsee über das Flußsystem der Elbe. In: Gemeinsames Bund/Länder-Meßprogramm für die Nordsee. Gewässergütemessungen im Küstenbereich der Bundesrepublik Deutschland 1984/85. – Niedersächsisches Umweltministerium, Hannover
- ANONYMUS (1986): Physical oceanography, contribution submitted by the United Kingdom. – In: Quality status of the North Sea (ed. Carlson, H.) p. 40–47. Dt. hydrogr. Z. Suppl. B 16
- ARMSTRONG, F. A. J. and E. J. BUTLER (1962): Hydrographic surveys off Plymouth in 1959 and 1960. – J. mar. biol. Ass. U.K. 42, 445–463
- BACKHAUS, J. (1985): A three-dimensional model for the simulation of shelf sea dynamics. – Dt. hydrogr. Z. 38, 165–187
- BEUKEMA, J. J. and G. C. CADÉE (1986): Zoobenthos responses to eutrophication of the Dutch Wadden Sea. – Ophelia 26, 55–64
- BILLEN, G., M. SOMEVILLE, E. DE BECKER and P. SERVAIS (1985): A nitrogen budget for the Scheldt hydrographical basin. – Netherl. J. Sea Res. 19, 223–230
- BROCKMANN, U., G. BILLEN and W. W. C. GIESKES (im Druck): North Sea nutrients and eutrophication. – In: North Sea Pollution (ed. W. SALOMON, B. BAYNE, E. DUURSMAN, U. FÖRSTNER), Springer-Verlag: Berlin–Heidelberg–New York
- BUCHANAN, J. B. and B. MOORE, (1986): A broad review of variability and persistence in the Northumberland benthic fauna 1971–1985. – J. mar. biol. Ass. UK 66, 641–657
- CADÉE, C. G. (1986): Increased phytoplankton primary production in the Marsdiep area (Western Dutch Wadden Sea). – Netherl. J. Sea Res. 20, 285–290
- COLEBROOK, J. M. (1982): Continuous plankton records: phytoplankton, zooplankton and environment, North East Atlantic and North Sea, 1958–1980. – Oceanolog. Acta 5, 473–480
- COOPER, L. H. N. (1955): Hypothese connecting fluctuations in Arctic climate with biological productivity of the English Channel. – Deep Sea Res. Suppl. to Vol. 3 (Papers in Mar. Biol. Oceanogr.), 212–223
- CUSHING, D. H. (1975): Marine Ecology and Fisheries. – Cambridge Univ. Press. Cambridge, 1–278
- CZITROM, S. P. R., G. BUDERUS and G. KRAUSE (im Druck): A tidal mixing front in an area influenced by land runoff. – Continental Shelf Res.
- DE JONGE, V. N. and H. POSTMA (1974): Phosphorus compounds in the Dutch Wadden Sea. – Netherlands J. Sea Res. 8, 139–153
- DUURSMAN, E. K., J. J. BEUKEMA, C. G. CADÉE, H. J. LINDEBOOM and P. A. W. I. DE WILDE (im Druck): Assessment of environmental impact of nutrients. Book of Reprints. – Int. Conf. Environm. Protection of the North Sea, London 24–27 March 1987
- FRANZ, H. G. and J. H. G. VERHAGEN (1985): Modelling research on the production cycle of phytoplankton in the Southern Bight of the North Sea in relation to riverborne nutrient loads. – Netherl. J. Sea Res. 19, 241–250
- GERLACH, S. A. (1984): Oxygen depletion 1980–1983 in coastal waters of the Federal Republic of Germany. First report of the working group »Eutrophication of the North Sea and the Baltic«. – Ber. Inst. Meereskunde Kiel 130, 1–87
- GERLACH, S. A. (1985a): Kann es beim Genuß der Miesmuscheln aus deutschen Wattenmeer-Gebieten zur paralytischen Muschelvergiftung (PSP) kommen? – Berichte und Referate 28. Jahrestagung Ernährungswissenschaftl. Beirat dt. Fischwirtschaft (FIMASchriftenreihe 5, Fischwirtschaftliches Marketing-Institut, Bremerhaven), 54–90
- GERLACH, S. A. (1985b): Paralytische Muschelvergiftungen. – Seevögel 6 (Sonderband: Festschrift Vauk), 98–101
- GERLACH, S. A. (1985c): Wurde der 1981 in der Deutschen Bucht beobachtete Sauerstoffmangel durch anthropogene Nährstofffrachten begünstigt? – In: Wasser Berlin '85 Kongressvorträge (ed. AMK Berlin), p. 430–541. Berlin: Wissenschaftsverlag V. Spiess
- GERLACH, S. A. (1986): Monitoring of plant nutrients in the sea. – Eleventh Meeting Joint Monitoring Group (JMG) of OSPARCOM, Summary Report JMG 11/19/1 – Annex 8, 1–13
- GERLACH, S. A. (1987): Nutrients – an overview. Book of Reprints. Int. Conf. on Environm. – Protection of the North Sea, London 24–27 March 1987
- GIESKES, W. W. C. and G. W. KRAAY (1977): Continuous plankton records: changes in the plankton of the North Sea and its eutrophic Southern Bight from 1948 to 1975. – Neth. J. Sea Res. 11, 334–363
- GILLBRICHT, M. (1983): Eine »red tide« in der südlichen Nordsee und ihre Beziehungen zur Umwelt. – Helgoländer Meeresunters. 36, 393–426
- GILLBRICHT, M. (1986): Phytoplankton and nutrients near Helgoland. – ICES, C.M. 1986/L 20, 6 S.
- GRANELI, E., L. EDLER, D. GEDZIOROWSKA and U. NYMAN (1985): Influence of humic and fulvic acids on *Prorocentrum minimum* Pav. (J. Schiller). – In: Toxic Dinoflagellates (ANDERSON, D. M.; WHITE, A. M.; BADEN, D. G., eds.) p. 201–206. Elsevier, Amsterdam
- HAINBUCHER, D., T. POHLMANN and J. BACKHAUS (in press): Transport of conservative passive tracers in the North Sea: first results of a circulation and transport model. – Continental Shelf Res.
- HAINBUCHER, D., J. O. BACKHAUS and T. POHLMANN (1986): Atlas of climatological and actual seasonal circulation patterns in the North Sea and adjacent shelf regions: 1969–1981. – Inst. Meereskunde Univ. Hamburg Techn. Report 1–86 (unveröffentlicht. Manuskript), 1–201
- ICES (1984): Report of the ICES special meeting on the causes, dynamics and effects of exceptional marine blooms and related events. – ICES C. M. 1984/E: 42, Marine Environmental Quality Committee, 1–16
- JOHNSTON, R. (1973): Nutrients and metals in the North Sea. – In: North Sea Science (E. D. GOLDBERG, ed.) p. 293–307. MIT-Press: Cambridge Mass.
- KAT, M. (1983): *Dinophysis acuminata* blooms in the Dutch coastal areas related to diar-

- rhetic mussel poisoning in the Dutch Waddensea. – *Sarsia* 68, 81–84
- KOROLEFF, F. (1983): Chapter total and organic nitrogen – In: GRASSHOFF, K.; EHRHARDT, M.; KREMLING, K. (eds.), *Methods of sea water analysis* (second ed.), p. 162–173, Verlag Chemie: Weinheim
- LARSSON, U., R. ELMGREN and F. WULFF (1985): Eutrophication and the Baltic Sea: causes and consequences. – *Ambio* 14, 9–14
- MEYERS, S.P., D.G. AHEARN, W. GUNKEL and F. J. ROTH, Jr. (1967): Yeasts from the North Sea. – *Mar. Biol.* 1, 118–123
- MOHR, H. (1986): Die Meeräsche – eine neue Fischart in unserem Wattenmeer. – *Seevögel* 7, 63–65
- MÜLLER-NAVARA, S. and E. MITTELSTAEDT (1985): Schadstoffausbreitung und Schadstoffbelastung in der Nordsee. Eine Modellstudie. – *Deutsches Hydrographisches Institut: Hamburg*, 1–50
- PAGEE, J.A. VAN, H. GERRITSEN, and W.P.M. DE RUIJTER (1986): Transport and water quality modelling in the southern North Sea in relation to coastal pollution research and control. – *Wat. Sci. Techn.* 18, 245–256
- PAGEE, J.A. VAN and L. POSTMA, (1987): North Sea pollution: The use of modelling techniques for impact assessment of waste inputs. – In: *Reasons for Concern. Proc. 2nd North Sea Seminar '86* p. 97–113. Werkgroep Noordzee, Amsterdam
- POSTMA, H. (1981): Exchange of materials between the North Sea and the Wadden Sea. – *Mar. Geol.* 40, 199–213
- PRANDLE, D. (1984): Monthly-mean residual flows through the Dover Strait 1949–1980. – *J. mar. biol. Assoc. U.K.* 64, 722–724
- RACHOR, E. und H. ALBRECHT, (1983): Sauerstoff-Mangel im Bodenwasser der Deutschen Bucht. – *Veröff. Inst. Meeresforsch. Bremerh.* 19, 209–227
- RADACH, G. (1984): Variations in the plankton in relation to climate. – *Rapp. P.-v. Reun. Cons. int. Explor. Mer* 185, 234–254
- RADACH, G. und J. BERG (1986): Trends in den Konzentrationen der Nährstoffe in der Helgoländer Bucht (Helgoland Reede Daten). – *Ber. Biol. Anst. Helgoland* 2, 1–63
- ROSENBERG, R., U. LARSSON and L. EDLER (1986): Eutrophication in marine waters surrounding Sweden. – *Nat. Swedish Env. Protection Bd. Rep.* 3054, 1–137
- SALZWEDEL, H., E. RACHOR and D. GERDES (1985): Benthic macrofauna communities in the German Bight. – *Veröff. Inst. Meeresforsch. Bremerh.* 20, 199–267
- SUZUKI, Y., Y. SUGIMURA and T. ITOH (1985): A catalytic oxidation method for the determination of total nitrogen dissolved in sea water. – *Mar. Chem.* 16, 83–97
- TIEWS, K. (1983): Über die Veränderungen im Auftreten von Fischen und Krebsen im Beifang der deutschen Garnelenfischerei während der Jahre 1954–1981. – *Arch. Fischereiwiss.* 34 Beiheft 1, 1–156
- VAUK-HENTZELT, E., E. SCHREY und G. VAUK (1986): Bestandsentwicklung der Trottelumme (*Uria aalge*) auf Helgoland 1956–1984 – *Seevögel* 7, 40–44
- WEICHART, G. (1985): High pH values in the German Bight as an indication of intensive primary production. – *Dt. hydrogr. Z.* 38, 93–117
- WEICHART, G. (1986): Nutrients in the German Bight, a trend analysis. – *Dt. hydrogr. Z.* 39, 197–206
- WESTERNHAGEN, H.v. and V. DETHLEFSEN (1983): North Sea oxygen deficiency 1982 and its effects on the bottom fauna. – *Ambio* 12, 264–267
- WESTERNHAGEN, H.v., W. HICKEL, E. BAUERFEIND, U. NIERMANN and I. KRÖNCKE (1986): Sources and effects of oxygen deficiencies in the south-eastern North Sea. – *Ophelia* 26, 457–473

**Anschrift des Verfassers:**

Prof. Dr. S. A. Gerlach  
 Institut f. Meereskunde  
 Universität Kiel  
 Düsternbrooker Weg 20  
 2300 Kiel

## Buchbesprechungen

ZUCCHI, H. (1984):

### **Fortschritt schreitet fort – vom Menschen**

Gedichte und Lesestücke über unsere schöne, geschundene Mutter Erde. Mit Fotos von Günter Zucchi. Morsak Verlag Grafenau, 75 Seiten, 34 SW-Fotos; ISBN 3-87553-236-8; Preis: 12,80 DM.

Es gehört heute zum selbstverständlichen Bild des wissenschaftlich arbeitenden Fachbiologen, daß er, sachlich und nüchtern, ebensolche Fakten zum besseren Verständnis des Lebens und des Lebensgefüges zu erarbeiten habe, Gefühle und Empfindungen hingegen Feierabendsache seien. Doch ist gerade das Engagement in der angewandten Biologie, im Bereich Natur- und Umweltschutz, vor dem Hintergrund der immens angewachsenen Bedrohung des Lebens schlechthin in höchstem Maße von Triebfedern abhängig, die tief im Bereich des Emotionalen verankert sind. Beide Sphären sind gerade hier untrennbar verknüpft, und es ist oft nicht einfach, sie im Interesse der Sache in Wort und Schrift, wo notwendig, unterscheidbar zu halten.

Herbert Zucchi, im Naturschutz engagierter Hochschullehrer am Fachbereich Biologie der Universität Osnabrück, geht einen für Biologen seltenen Weg. Er vermochte es, seine bei Arbeit und Leben in der Natur und ihren zivilisationsbedingten Randbereichen gewonnenen Eindrücke in Lyrik- und Prosaform festzuhalten und in einem kleinen Bändchen gesammelt vorzulegen. Die Schönheit

des Erhaltenen und die Schrecken rückichtsloser Überformung sind die Leitthemen, die in einfacher, klarer und damit leicht nachempfindbarer Form, termalt von eindruckvollen Fotos, bedacht werden. Es ist anzunehmen und zu hoffen, daß auf diesem Weg auch solche Leserkreise, die mit der Lektüre von Fachliteratur nicht viel im Sinn haben, anzusprechen und womöglich wachzurütteln sind.

J. Prüter

FISCHER, Lili und G. JAPPE (1986):

### **Schreibpegel Bleckede**

Verlag Herbert Costard, Hamburg; ISBN 3-926246-05-7; 99 Seiten mit zahlreichen SW-Fotos; Zeichnungen und Schriftbildern; Preis: 79,-DM.

Es ist ein Kunstbuch im DIN A3-Format, längs geschnitten. Man findet stille, oft mystische Landschaftsbilder, Schreibbilder, Texte, die Erlebtes nachvollziehen, Exkursionsberichte, zur Kunst erhobene, Lyrik und Poesie, inmitten der Landschaft entstanden. Thema ist der Elbstrom und das umliegende Land bei der Kleinstadt Bleckede, seit einigen Jahrzehnten Grenzgebiet.

Die Grenze hat vieles zerstört, doch auch geholfen, vieles zu erhalten: eine kaum industrialisierte Auenlandschaft an einem schiffbaren Strom (den Niederrhein kannst Du vergessen\*), naturnahe Kleinlebensräume und Gebiete, in denen

man manchmal noch wirkliche Ruhe findet. Dies wird erkannt und deutlich gesagt; doch es ist nur ein Aspekt: die tägliche Konfrontation mit der eisernen Wand jenseits des Wassers birgt viele weitere.

So ist dies Buch keine idealisierte Landschaftsverehrung, wie sie im literarischen Zeitalter der Hochglanzbilderbücher fast jede Region für sich hat anfertigen lassen. Es ist vielmehr eine aktive, engagierte, aber auch verträumte und verspielte, ebenso schwermütige wie leichte, in den verschiedensten Tönen zwischen schwarz und weiß fließende – eben künstlerisch freie – Auseinandersetzung mit einer Landschaft, die den Begriff »Lebensraum« eher verdient hat, als viele andere von Menschen für Menschen eingerichtete Landstriche unserer Republik. Lili Fischer und Prof. Georg Jappe, der an der Hochschule für Bildende Künste in Hamburg lehrt, haben mit einem Künstlerstipendium des Landkreises Lüneburg längere Zeit in Bleckede und seiner Umgebung zugebracht und für ihre dabei gewonnenen Eindrücke Ausdrucksformen gefunden, die dem hier Beheimateten neuartige Einblicke ermöglichen und dem Ortsfremden die Besonderheiten dieser Gegend sicher einprägsam vor Augen zu führen vermögen.

Den Lesern der Zeitschrift »Seevögel« dürften beide Autoren bereits durch das »Winterbuch von Norderoog« sowie den Katalog »Die Kunst ist die Schwester der Natur« (1985) bekannt sein.

J. Prüter

# ZOBODAT - [www.zobodat.at](http://www.zobodat.at)

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Seevögel - Zeitschrift des Vereins Jordsand zum Schutz der Seevögel und der Natur e.V.](#)

Jahr/Year: 1987

Band/Volume: [8\\_4\\_1987](#)

Autor(en)/Author(s): Gerlach Sebastian A.

Artikel/Article: [Pflanzennährstoffe und die Nordsee - ein Überblick 49-62](#)